Archive of SID

مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲ شماره های ۳ و ۴ صفحه های ۱۲۵ تا ۱۴۲ (۱۳۸۰)

اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گیاهان کاهو و اسفناج در خاک های با pH متفاوت[1]

EFFECT OF SEWAGE SLUDGE ON HEAVY METAL CONCENTRATIONS OF SPINACH AND LETTUCE IN SOILS WITH DIFFERENT PH

سکینه واثقی، حسین شریعتمداری، مجید افیونی و مصطفی مبلی[2]

چکیده

استفاده از لجن فاضلاب درکشاورزی به عنوان منبع عناصر غذایی گیاهی در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مشکلاتی که با استفاده از لجن فاضلاب همراه است فراهم کردن مقادیر زیاد فلزات سنگین قابل دسترس برای گیاه و در نتیجه افزایش جذب آن ها به وسیله گیاه است. در این تحقیق تاثیر لجن فاضلاب برجذب عناصر غذایی کم مصرف و فلزات سنگین به وسیله اسفناج و کاهو و همچنین عملکرد این گیاهان در خاک های با pH متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح لجن فاضلاب، صفر یا شاهد(S_0)، ۵۰ (S_1)، ۱۰۰ (S_2) و ۲۰۰ (S_3) تن در هکتار و یک سطح کود شیمیایی (F) شامل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات دی آمونیوم و ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در چهار خاک، لنگرود (pH=۴/۸) ، لاهیجان (pH=۵/۷)، رشت (pH=۶/۸) و اصفهان (pH=۷/۹) برای دو گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*) و کاهو (*Lactuca sativa*) در سه تکرار اعمال شدند. تاثیر لجن فاضلاب بر عملکرد گیاهان بسته به نوع خاک متفاوت بود. بیشترین عملکرد کاهو و اسفناج درخاک رشت در تیمار ۲۰۰ کیلو گرم لجن در هکتار و در خاک های اصفهان و لاهیجان در تیمار ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار لجن و در خاک لنگرود در تیمار ۵۰ کیلو گرم در هکتار لجن مشاهده گردید. لجن فاضلاب باعث افزایش معنی دار غلظت فلزات آهن، زوی، مس، سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه گیاهان شد، به طوری که غلظت برخی از عناصر در گیاهان رشد کرده در سطوح بالای لجن فاضلاب در خاک های لنگرود و لاهیجان، با توجه به استانداردهای تعیین شده به حد سمیت رسید. این پدیده می تواند به دلیل اسیدی بودن این خاک ها و حلالیت بالای فلزات در این خاک ها باشد. بنابراین

۱- تاریخ دریافت: ۸۰/۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۸۰/۱۱/۴

۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه خاکشناسی و استادیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، جمهوری اسلامی ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

می توان نتیجه گیری کرد که در صورت استفاده صحیح از لجن فاضلاب خصوصاً با توجه به pH خاک می توان از پتانسیل کودی این ماده در باروری خاک بهره برد.

واژه های کلیدی: لجن فاضلاب، فلزات سنگین، عناصر کم مصرف، اسفناج و کاهو.

مقدمه

لجن فاضلاب به عنوان کودآلی از دیر باز جایگاه ویژه ای در کشاورزی داشته و استفاده از آن برای تامین عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف گیاهی و مواد آلی خاک مورد توجه بوده است. لجن فاضلاب حاوی عناصر پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف شامل آهن، روی، منگنز و مس می باشد. ارزش کودی لجن فاضلاب در تحقیقات مختلف نشان داده شده است (۲، ۹، ۱۲، ۱۴، ۲۵). از سوی دیگر با افزایش جمعیت و تولید روزافزون لجن فاضلاب، از نظر زیست محیطی مطمئن ترین راه پیشگیری از انباشته شدن این ماده افزودن آن به زمین های کشاورزی است.

علیرغم اثرات مفید لجن فاضلاب، استفاده از این ماده دارای خطرات بالقوه ای است که باید قبل از ارزش کودی و اقتصادی آن مورد ارزیابی قرار گیرد. یکی از مواردی که باید به آن توجه خاص شود وجود فلزات سنگین در لجن فاضلاب است. لجن فاضلاب اغلب دارای مقادیر نسبتاً زیادی فلزات سنگین نظیر کادمیم، سرب و نیکل می باشد. کاربرد مکرر لجن فاضلاب باعث تجمع این عناصر در خاک شده و می تواند مسائلی از قبیل سمیت گیاهان و صدمه به ریزجانداران خاک و یا انتقال عناصر سمی به زنجیره غذایی انسان را موجب گردد (۸، ۱۱، ۱۸، ۲۱).

افیونی و همکاران (۱) در تحقیقی که به مدت ۲ سال در اصفهان انجام شد مشاهده کردند مقدار جذب مس، روی و سرب به وسیله کاهو و اسفناج با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش یافته است. مطالعات برتی و همکاران[۱] (۵) نشان داد که عناصر آهن، روی، مس و منگنز در خاک های تحت تیمار لجن فاضلاب به حد سمیت برای گیاهان افزایش یافت. دیویس[۲] (۸) گزارش کردند که در بین عناصر سنگین، روی و کادمیم تمایل زیاد به انباشت در بافت های گیاهی داشته و مقدار این دو عنصر در گیاه تابعی از تعداد دفعات اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک و مقدار کل این دو عنصر در خاک می باشد.

رفتار فلزات سنگین اضافه شده به خاک از طریق لجن فاضلاب تحت تاثیر عوامل مختلفی است که از مهمترین آنها می توان به pH خاک اشاره کرد. اسمیت[۳] (۲۳) گزارش کرد که رسوب عناصر به صورت هیدروکسیدها و کربنات های

۱- Berti *et al.* ۲- Davis ۳- Smith

www.SID.ir

Archive of SID

نامحلول و کمپلکس های آلی با افزایش pH خاک، افزایش می یابد. بنابراین قابلیت دسترسی عناصر سنگین خاک برای گیاهان درpH پایین نسبت به pH بالا بیشتر است. فلزاتی مثل کادمیم و روی به راحتی با اسیدی شدن خاک متحرک می شوند، به طوری که روی تا حد سمیت می رسد و کادمیم نیز از مقدار مجاز آن در محصولات گیاهی تجاوز می کند (۱۵). با افزایش هر واحد pH تقریباً ۱۰۰ بار از حلالیت روی کاسته می شود (۱۶). در یک تحقیق انجام شده در سه نمونه خاک آهکی، خنثی و اسیدی نشان داده شده که افزودن لجن فاضلاب به خاک اسیدی باعث سمیت فلزات سنگین در گیاه چغندر قند شده است (۲۷). جان و همکاران[۱] (۱۰) pH را عاملی موثر در جذب کادمیم ناشی از لجن فاضلاب توسط گیاه می داند. سایر متخصصان عقیده دارند که سمیت عناصر سنگین می تواند نتیجه استفاده از مقادیر زیاد لجن فاضلاب باشد اما بالا بودن pH خاک می تواند تا حدود زیادی از بروز سمیت جلوگیری کند (۶، ۱۲، ۲۸) . همچنین استریت و همکاران[۲] (۲۶) در تحقیقی مشاهده کردند که با افزایش pH خاک از ۵/۷ به ۷/۸ ، غلظت کادمیم گیاه ذرت ۷۰ درصد کاهش یافت که این کاهش ناشی از افزایش جذب کادمیم روی سطح کلوئید های خاک و یا رسوب ترکیب های کادمیم دار بوده است.

بنابراین پیش از توصیه کاربرد لجن فاضلاب لازم است که حد آستانه سمیت برای هر فلز بسته به نوع گیاه و نوع خاک و شرایط محیطی مکان کاربرد لجن تعیین گردد و مقادیر کاربرد لجن بر اساس آن معرفی شود. در ایران تحقیقات کمی در مورد اثر افزایش لجن فاضلاب در خاک و تاثیر pH خاک بر جذب عناصر سنگین به وسیله گیاه انجام گرفته است. هدف از اجرای این تحقیق بررسی تاثیر کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت تعدادی از عناصر کم مصرف و سنگین درگیاهان کاهو و اسفناج در تعدادی از خاک های با pH متفاوت بود.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۷۹ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت. خاک های مورد آزمایش با تاکید بر داشتن pH متفاوت از استان های اصفهان و گیلان به ترتیب از مناطق لورک اصفهان، رشت، لاهیجان و لنگرود در استان گیلان انتخاب شدند. پس از تعیین محل نمونه برداری، نمونه های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر سطح خاک برداشت شده و به محل انجام تحقیق انتقال یافتند. لجن فاضلاب مورد استفاده از تصفیه خانه شاهین شهر اصفهان تهیه شد که از نوع هضم شده به صورت بیهوازی بود. لجن بعد از مرحله نهایی تصفیه فاضلاب کاملاً خشک و شکننده شده بود.

۱- John *et al.* ۲- Street *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

ابتدا نمونه های خاک و لجن جهت تعیین تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد تجزیه قرار گرفتند. pH نمونه های خاک و لجن در گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به روش های معمول اندازه گیری شد. فسفر قابل جذب به روش اولسن و سومرز[1] (۱۹)، پتاسیم قابل جذب توسط استات آمونیوم (۱۳) عصاره گیری گردید. غلظت فسفر و پتاسیم به ترتیب به وسیله دستگاه رنگ سنجی (اسپکترو فتومتر هیتاچی مدل ۲۰-۲۰۰) و شعله سنجی (فیلم فتومتر مدل ۴۱۰) تعیین شد. مواد آلی خاک با استفاده از روش والکلی و بلاک و نیتروژن کل خاک ها به وسیله دستگاه کلدال اندازه گیری شد. علاوه براین، غلظت قابل جذب عناصر Fe, Cu, Zn, Pb و Cd در لجن فاضلاب به وسیله DTPA ۰/۰۰۵ نرمال و غلظت کل این عناصر به وسیله هضم لجن فاضلاب به وسیله اسید نیتریک غلیظ، اسید کلریدریک ۷۰ درصد و آب اکسیژنه ۳۰ درصد عصاره گیری شد (۲۹). سپس غلظت عناصر مذکور در عصاره های حاصل توسط دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ تعیین شد.

در مرحله بعد طی یک آزمایش گلدانی اثرات کاربرد لجن با استفاده از آزمایش فاکتوریل ۲×۴×۵ در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای مورد آزمایش عبارت بودند از: لجن فاضلاب ، شامل سطوح صفر یا شاهد (s_0)، ۵۰ (s_1) ، ۱۰۰ (s_2) و ۲۰۰ (s_3) تن در هکتار و نیز یک سطح کود شیمیایی ۲۵۰ کیلو گرم فسفات دی آمونیوم در هکتار و ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار (به صورت سرک) (F)، خاک، شامل خاک های رشت، لنگرود، لاهیجان و اصفهان و گیاه، شامل کاهو[2] و اسفناج[3].

لجن فاضلاب یا کود شیمیایی در مقادیر ذکر شده به هر سری خاک جداگانه اضافه شده و داخل گلدان های پلاستیکی (با ظرفیت تقریبی ۳ کیلو گرم خاک) شماره گذاری شده ریخته شد. به این ترتیب برای هر تیمار از هر سری خاک ۶ گلدان آماده گردید که به هر گیاه ۳ گلدان اختصاص داده شد. داخل هر گلدان تعداد ۱۰ بذر گیاه کاهو یا اسفناج کشت شد. پس از استقرار گیاهان، تعداد بوته ها به چهار عدد تنک گردید.

در طول دوره رشد گیاهان، عملیات آبیاری و وجین علف های هرز با دست انجام شد. آبیاری گلدان ها با آب شهر تقریباً هر ۳ الی ۴ روز یک بار انجام گرفت. هر هفته یکبار نیز گلدان ها کاملاً جابه جا شدند تا تمام گیاهان در شرایط محیطی (نور، گرما) یکسان قرار گیرند. برای تیمار کود شیمیایی (F) در اواسط دوره رشد گیاهان از کود اوره به صورت سرک استفاده شد و برای بقیه گیاهان از هیچ نوع کود شیمیایی استفاده نشد. در این آزمایش سموم آفت کش نیز به کار نرفت.

۱- Olsen and Sommers ۲- *Lactuca sativa* ۳- *Spinacea oleracea*

www.SID.ir

Archive of SID

برداشت گیاهان در مراحل ۴ تا ۵ برگی (۴۵ روز بعد از کاشت) صورت گرفت. پس از برداشت نمونه های گیاهی عملکرد و وزن تر آن ها با توزین بخش اندام هوایی و ریشه به طور جداگانه تعیین گردید. سپس نمونه ها در آون تهویه دار در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده، وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان نیز جداگانه اندازه گیری شد. برای تعیین غلظت آهن، مس، روی، سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه گیاهان، ابتدا نمونه های گیاهی پودر شده و برای هضم آن ها از روش اکسیداسیون تر با استفاده از اسید نیتریک غلیظ، اسیدکلریدریک ۷۰ درصد و آب اکسیژنه ۳۰ درصد استفاده شد (۲۹). سپس غلظت عناصر مذکور در عصاره های حاصل، به وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین المر ۳۰۳۰ اندازه گیری شد. آنالیز آماری نتایج با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها به روش دانکن (NDMRT) انجام گردید.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک ها

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. این خاک ها از لحاظ pH و سایر خصوصیات از قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد مواد آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم با یکدیگر تفاوت دارند.

خصوصیات لجن فاضلاب

بعضی از ویژگی های شیمیایی لجن فاضلاب در جداول ۲ و۳ نشان داده شده است. لجن مورد استفاده دارای حدود ۲۷ درصد ماده آلی است که می تواند باعث بهتر شدن خواص فیزیکی و شیمیایی خاک گردد. pH لجن فاضلاب به علت وجود اسیدهای آلی در آن، اسیدی است. مقدار عناصر غذایی لجن مخصوصاً نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز قابل توجه بوده و می تواند نیاز گیاه را تأمین کند. غلظت عناصر کم مصرف و سنگین موجود در لجن (جدول ۳) در محدوده معرفی شده برای لجن فاضلاب نقاط مختلف دنیا می باشد (۲۰).

تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد اسفناج

عملکرد وزن خشک اندام هوایی اسفناج در خا ک رشت متناسب با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش نشان داد که این افزایش برای همه تیمارها معنی دار شده است (جدول۴). دلیل اصلی این پدیده را می توان وجود مقادیر نسبتاً زیاد مواد آلی و عناصر غذایی پرمصرف گیاهی شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در لجن فاضلاب دانست. در خاک های لنگرود، لاهیجان و اصفهان نیز وزن خشک اندام هوایی اسفناج در همه سطوح لجن فاضلاب نسبت به شاهد افزایش یافت. ولی تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتارخاک لنگرود و تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک های لاهیجان و اصفهان نسبت به سطوح کمتر لجن

www.SID.ir

www.SID.ir

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد آزمایش†.

Table 1. Physical and chemical properties of different soils†.

منطقه نمونه برداری (Sampling region)		رده بندی خاک (Soil classification)	بافت (Texture)		pH	Ece ($ds\ m^{-1}$)	مواد آلی(OM) (%)	CEC ($mol^{+}\ kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	فسفر(P) ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم(K) ($mg\ kg^{-1}$)
Rasht	رشت	Calcic Argiudolls	Clay Loam	لوم رسی	6.8	1.4	2.5	31.6	0.28	120	190
Langaroud	لنگرود	Typic Haploudults	Sandy clay loam	لوم رسی شنی	4.8	1.0	1.9	14.5	0.15	65	150
Lahijan	لاهیجان	Typic Haploudults	Clay loam	لوم رسی	5.7	1.0	1.0	19.5	0.20	47	230
Isfahan	اصفهان	Typic Haplargids	Clay	رسی	7.9	3.0	0.6	13.4	0.09	35	245

† Data are mean of three samples.

† ارقام میانگین سه نمونه می باشند.

جدول ۲. خواص شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده†.

Table 2. Chemical properties of used sewage sludge†.

خصوصیت Properties		pH	Ece ($ds\ m^{-1}$)	مواد آلی (OM) (٪)	نیتروژن (N) (٪)	فسفر (P) (٪)	پتاسیم (K) (٪)
مقدار	Amount	6.5	13.5	26.8	3.8	0.62	0.23

† Data are mean of three samples.

† ارقام میانگین سه نمونه می باشند.

Archive of SID

Archive of SID

جدول ۳- غلظت عناصرکم مصرف و فلزات سنگین (میلی گرم در کیلو گرم) موجود در لجن فاضلاب.

Table 3. Concentration of micronutrient and heavy metals (mg kg^{-1}) in sewage sludge.

محدوده غلظت کل در لجن فاضلاب نقاط مختلف دنیا Total for the world	قابل جذب† Available	کل Total		عنصر Element
2-3520	2.4	60.5	Ni	نیکل
3-3410.	0.2	4.3.	Cd	کادمیم
58-19730	18.0	160.0	Pb	سرب
3-18	0.8	12.0	Co	کبالت
58-7100	41.7	375.0	Mn	منگنز
85-10100	5.7	450.0	Cu	مس
108-27800	99.0	1090.0	Zn	روی
1000-153000	89.7	11910.0	Fe	آهن

† Extracted by DTPA

† عصاره گیری شده با DTPA

جدول ۴- عملکرد وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان (گرم در گلدان) در تیمارهای مختلف.

Table 4. Dry weight of plants shoots and roots (g pot^{-1}) in different treatments.

		Spinach اسفناج		Lettuce کاهو	
خاک Soil	تیمار Treatment	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root
رشت Rasht	S_0	0.95d	0.09c	1.48e	0.07d
	S_1	2.37b	0.26a	3.52c	0.19c
	S_2	3.28a	0.28a	4.80b	0.35b
	S_3	3.68a	0.29a	5.38c	0.41a
	F	1.35c	0.14b	2.46d	0.15c
لنگرود Langaroud	S_0	0.80c	0.08c	2.08c	0.11c
	S_1	2.14a	0.23a	4.36a	0.32a
	S_2	1.95a	0.18b	3.83a	0.17b
	S_3	1.01b	0.11c	2.64b	0.14b
	F	1.31b	0.11c	2.60b	0.15b
لاهیجان Lahijan	S_0	1.03c	0.09b	2.43d	0.20d
	S_1	1.99a	0.20a	5.10b	0.40b
	S_2	2.20a	0.23a	6.07a	0.51a
	S_3	1.35bc	0.10b	5.20b	0.41b
	F	1.61ab	0.11b	3.01c	0.32c
اصفهان Isfahan	S_0	0.92d	0.09c	1.00d	0.13a
	S_1	2.29b	0.19b	1.96c	0.15a
	S_2	3.13a	0.26a	3.81a	0.18a
	S_3	2.39b	0.25a	2.42b	0.17a
	F	1.65c	0.15b	2.26bc	0.14a

† In each column for each soil, means with the same letter are not different ($P \leq 0.05$).

† . در هر خاک و در هر ستون، میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند، درسطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی دار می باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

فاضلاب، اثر کمتری بر عملکرد وزن خشک اندام هوایی اسفناج داشته اند که دلیل آن احتمالاً جذب نسبتاً زیاد برخی فلزات توسط گیاه دراین تیمار (سرب و روی درخاک لنگرود و روی درخاک لاهیجان) و همچنین افزایش شوری خاک (خاک اصفهان) می باشد. تیمار کود شیمیایی در همه خاک ها نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داد ولی این افزایش کمتر از تیمارهای لجن فاضلاب بود. روند تغییرات وزن خشک ریشه اسفناج نیز تقریباً مشابه اندام هوایی بود. افیونی و همکاران (۱) درتحقیقی گزارش کردند که افزایش لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش عملکرد کاهو و اسفناج شده است.

تاثیر لجن فاضلاب بر عملکرد کاهو

وزن خشک اندام هوایی کاهو در خاک رشت با افزایش سطح لجن فاضلاب روند افزایشی نشان داد، به طوری که مقدار آن در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار به حدود ۴ برابر شاهد رسید. در خاک های لنگرود، لاهیجان و اصفهان، گیاه کاهو عکس العملی همانند اسفناج نشان داده است. یعنی در خاک لنگرود بیشترین عملکرد در تیمار ۵۰ تن لجن در هکتار و در خاک های لاهیجان و اصفهان بیشترین عملکرد در تیمار ۱۰۰ تن لجن در هکتار به دست آمد. با توجه به این که کاهو از گیاهان حساس به شوری می باشد (۳)، بالا رفتن شوری خاک ها در سطوح بالای لجن فاضلاب می تواند دلیل عملکرد کمتر گیاه نسبت به سطوح کمتر لجن فاضلاب باشد. سیمونی و همکاران[۱] (۲۲) نیز در نتایج تحقیق خود استفاده از مقادیر زیاد لجن فاضلاب را موجب کم شدن عملکرد گیاهانی چون کاهو و یولاف دانسته اند که دلیل آن را افزایش بیش از حد شوری خاک مطرح کرده اند. در مورد وزن خشک ریشه کاهو ، روند تغییرات همانند اندام هوایی بوده است.

مقایسه عملکرد وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان در تیمارهای لجن فاضلاب با تیمار کود شیمیایی ، مؤثر تربودن لجن فاضلاب را در افزایش عملکرد گیاهان نسبت به کود شیمیایی نشان می دهد (جدول ۴)، این تفاوت عملکرد ممکن است به خاطر اثر مطلوب مواد آلی بر خواص فیزیکی خاک باشد. کلینگ و همکاران (۱۲) گزارش کردند که افزایش لجن فاضلاب در سطح ۱۵ تن در هکتار باعث افزایش عملکرد محصول چاودار شد. آنان نشان دادند که غلظت نیتروژن و فسفر در بافت گیاه با افزایش لجن فاضلاب به طور مشخص زیاد شد که می تواند دلیل افزایش عملکرد باشد. تحقیقات به عمل آمده بیانگر این است که عملکرد گیاه با افزایش لجن فاضلاب به خاک بستگی به کیفیت لجن و غلظت عناصر کم مصرف و فلزات سنگین موجود در آن و نیز گونه گیاهی دارد (۷).

۱- Simeoni *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت عناصر کم مصرف و فلزات سنگین در اسفناج و کاهو

آهن. غلظت آهن در اندام هوایی اسفناج در خاک های لنگرود و لاهیجان متناسب با افزایش سطح لجن فاصلاب افزایش یافت (جدول ۵) که این افزایش درخاک لاهیجان بین تمام سطوح لجن معنی دار شد. در خاک لنگرود فقط تیمار های ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسب به شاهد افزایش معنی دار نشان دادند. در خاک اصفهان نیز کاربرد لجن فاضلاب نسبت به شاهد تفاوت معنی داری ایجاد کرد. گر چه تفاوت سطح ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به سطوح ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن در هکتار معنی دار نگردید. در خاک رشت افزایش غلظت آهن در اندام هوایی اسفناج در تیمار ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی دار شده است.

غلظت آهن در ریشه اسفناج نیز با افزایش سطح لجن فاضلاب برای همه خاک ها افزایش یافت. در خاک اصفهان تمام سطوح لجن فاضلاب نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان دادند. در خاک های رشت، لنگرود و لاهیجان نیز افزایش غلظت آهن ریشه در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار لجن نسبت به شاهد معنی دار شد گر چه بین تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار این خاک ها و نیز بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن در هکتار خاک لنگرود این تفاوت معنی دارنشد. غلظت آهن در اندام هوایی کاهو در همه خاک ها متناسب با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش نشان داد (جدول ۶). این افزایش در خاک اصفهان بین همه تیمارهای لجن فاضلاب معنی دار شد. در خاک لنگرود و لاهیجان نیز تمام سطوح لجن نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان دادند و در خاک رشت این افزایش در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار مشاهده شد.

غلظت آهن در ریشه کاهو نیز در خاک های لنگرود و اصفهان با افزایش سطح لجن فاضلاب تا ۲۰۰ تن در هکتار افزایش نشان داد. این افزایش در هر دو خاک در تمام سطوح لجن نسبت به شاهد معنی دار شد. در خاک های رشت و لاهیجان نیز لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت آهن در ریشه کاهو شد. تیمار کود شیمیایی با شاهد از نظر جذب اندام هوایی در هیچ یک از خاک ها و از نظر جذب آهن در ریشه به جز در خاک لاهیجان برای کاهو تفاوت معنی دار نشان نداد.

همانطور که مقایسه گروهی منعکس در جدول ۷ نشان می دهد بیشترین جذب آهن توسط گیاهان در خاک لنگرود و کمترین مقدار آن در خاک اصفهان صورت گرفت و تفاوت مقدار جذب آهن به وسیله گیاهان بین خاک لنگرود و لاهیجان معنی دار نبود ولی این خاک ها افزایش معنی داری نسبت به خاک های رشت و اصفهان نشان دادند (جدول ۷). این تفاوت متناسب با pH خاک ها بود و گیاهان درخاک های با pH کمتر (جدول۱)، آهن بیشتری را جذب کردند. تفاوت غلظت آهن د راندام هوایی کاهو و اسفناج، معنی دار نشد (جدول ۷). حد معمول غلظت آهن در گونه های مختلف گیاهی ۷۵۰ میلی گرم در کیلو گرم معرفی شده است، که به این نکته در توصیه برای استفاده از لجن فاضلاب بایستی دقت شود.

www.SID.ir

جدول ۵- غلظت فلزات (میلی گرم در کیلو گرم) در اندام هوایی و ریشه گیاه اسفناج در تیمارهای مختلف.

Table 5. Metal concentration in spinach shoots and roots (mg kg^{-1}) in different treatments.

خاک Soil	تیمار Treatment	آهن Fe		روی Zn		مس Cu		سرب Pb		کادمیم Cd	
		اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root
رشت Rasht	S_0	625c†	645c	57.0d	47.0cd	6.5c	10.1d	18.8c	25.5c	1.2b	1.5c
	S_1	683a	995b	68.8c	48.5c	6.5c	12.3c	23.5a	29.3a	2.3a	2.5b
	S_2	670ab	1043a	95.5a	55.5b	9.5d	13.8b	20.8b	27.5b	2.8a	3.0a
	S_3	645bc	1065a	80.8b	60.5a	11.5a	15.6a	20.1b	27.0b	2.6a	2.8ab
	F	638bc	690c	60.1d	46.0d	5.5c	103d	18.1c	28.0b	1.3b	1.7c
لنگرود Langaroud	S_0	793b	885c	91.3d	57.5c	9.0c	10.5d	16.8c	36.0b	1.8b	2.0c
	S_1	877a	1011b	114c	65.5bc	11.0b	14.0c	20.5b	37.0b	2.8a	2.6b
	S_2	925a	1121ab	141b	69.0b	14.5a	17.1b	27.6a	37.0b	3.1a	3.4a
	S_3	1088a	1294a	154a	74.5a	16.0a	20.6a	28.8a	38.5a	3.2a	3.4a
	F	805b	870c	90.0d	49.0d	7.0d	9.3d	20.8b	34.5c	1.8b	2.3bc
لاهیجان Lahijan	S_0	672d	790c	78.6d	50.5c	10.5c	12.3d	27.8c	30.0c	1.3c	1.7c
	S_1	822c	860b	104c	58.0d	13.5ab	15.1c	29.1b	31.0b	2.3b	2.5b
	S_2	918b	1020a	125b	65.0a	12.5b	17.3b	31.8a	31.0c	2.8a	2.8ab
	S_3	975a	1070a	138a	65.5a	15.0a	19.6a	30.0ab	32.0a	3.0a	3.2a
	F	640d	715c	80.5d	45.5d	10.0c	11.8d	20.0d	30.0c	1.3c	1.8c
اصفهان Isfahan	S_0	410c	510d	48.0d	42.5c	9.0b	10.8c	17.3a	29.5a	1.0c	1.5c
	S_1	476b	662c	59.5c	47.0b	10.0b	12.1b	16.8a	28.5ab	2.3a	2.5b
	S_2	519a	718b	67.6b	55.0a	12.0a	14.8a	17.0a	27.5b	2.6a	3.0a
	S_3	490ab	745a	87.0a	52.0a	11.5a	15.1a	17.8a	27.5b	1.8b	3.0a
	F	438c	490d	43.5e	37.5c	8.5b	11.8b	13.8b	30.0a	1.1c	1.5c

† In each column for each soil, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

† . در هر خاک و در هر ستون، میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی دار می باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

Archive of SID

جدول ۶- غلظت فلزات (میلی گرم در کیلو گرم) در اندام هوایی و ریشه گیاه کاهو در تیمارهای مختلف.

Table 6. Metal concentration in lettuce shoots and roots (mg kg^{-1}) in different treatments.

خاک Soil	تیمار Treatment	آهن Fe		روی Zn		مس Cu		سرب Pb		کادمیم Cd	
		اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	ریشه Root
رشت Rasht	S_0	517b†	735c	45.3cd	44.5d	7.0c	9.8c	31.8c	35.5b	1.5c	2.0b
	S_1	425c	971b	48.5c	47.5c	10.5b	10.3c	34.0b	36.8ab	1.8bc	3.0ab
	S_2	682a	1089a	61.0b	56.0b	12.0a	12.3b	37.3a	38.1a	2.0ab	3.5a
	S_3	652a	1047a	82.1a	59.0a	13.0a	15.3a	35.3b	38.8a	2.3a	3.5a
	F	513b	765c	42.1d	40.0d	7.5c	8.6d	27.0b	34.8b	1.6bc	1.9b
لنگرود Langaroud	S_0	750d	865c	83.8c	52.5c	9.5c	11.0d	37.1d	39.0c	2.3b	2.5c
	S_1	825bc	1040b	102b	62.0b	13.5b	14.1c	43.5c	44.5b	2.8b	3.0bc
	S_2	838b	1122b	123a	72.5a	15.5a	17.3b	46.5b	48.0a	3.3a	3.5b
	S_3	920a	1225a	120a	66.0b	15.0a	19.0a	48.6a	48.5a	3.8a	4.2a
	F	790cd	894c	65.8d	50.0c	10.0c	10.0d	35.0e	39.5c	2.3b	2.1c
لاهیجان Lahijan	S_0	813c	820c	52.0c	49.0c	10.0c	9.8d	34.0b	32.0d	2.3b	2.5b
	S_1	943b	943b	88.8b	57.0b	12.0b	11.8c	35.5b	35.6c	2.5b	3.5a
	S_2	1063a	1265a	91.0b	63.5a	14.0a	15.1b	42.3a	38.8b	2.8b	3.0ab
	S_3	1025ab	1251a	114a	65.0a	14.5a	17.1a	41.1a	42.1a	3.3a	3.5a
	F	825c	950b	49.0c	50.5c	10.5bc	10.8d	34.8b	30.5e	2.3b	2.5b
اصفهان Isfahan	S_0	392d	477b	48.8c	37.5d	8.0c	9.6c	28.1b	30.1c	1.8a	2.0b
	S_1	525c	619a	56.5b	44.5c	9.5b	11.5b	26.3c	28.8d	2.1a	3.0a
	S_2	580b	693a	46.5c	57.3a	11.5a	14.0a	30.6a	31.6b	2.3a	3.0a
	S_3	623a	697a	70.1a	50.5b	12.0a	15.3a	31.3a	33.5a	2.0a	2.0b
	F	335d	455b	30.8d	41.5cd	9.0bc	9.3c	28.8b	27.3d	1.8a	2.5ab

† In each column for each soil, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

† در هر خاک و در هر ستون، میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی دار می باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- نتایج مقایسه های گروهی میانگین غلظت عناصر در اندام هوایی گیاهان (میلی گرم در کیلو گرم).

Table 7. Group comparison of element concentration in plant shoots (mg kg^{-1}).

موارد مقایسه	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	سرب Pb	کادمیم Cd
خاک Soil:					
رشت Rasht	605b	64.1c	8.9c	26.7b	1.96c
لنگرود Langaroud	861a	108.5a	12.1a	32.5a	2.75a
لاهیجان Lahijan	870a	92.1b	12.2a	32.7a	2.41b
اصفهان Isfahan	464c	54.2d	9.9b	22.9c	1.91c
کود Fertilizer:					
S_0	621d	63.1d	8.7d	26.5c	1.66c
S_1	697c	80.4c	10.8c	28.8b	2.29b
S_2	755b	91.5b	12.5b	31.8a	2.77a
S_3	802a	105.7a	13.6a	31.7a	2.79a
F	623d	57.7e	8.5d	24.8b	1.73c
گیاه Plant:					
اسفناج Spinach	698a	88.4a	10.6a	21.9b	2.15b
کاهو Lettuce	702a	71.0b	11.1a	35.5a	2.47a

† In each column for each factor, means with the same letter are not significantly different ($P \leq 0.05$).

† در هر ستون و در هر مورد، میانگین هایی که دارای حروف یکسان هستند، در طح ۵٪ فاقد تفاوت معنی دار می باشند.

روی. غلظت روی در اندام هوایی اسفناج با افزایش سطح لجن در خاک ها (به جز برای ۲۰۰ کیلو گرم در هکتار خاک رشت) افزایش نشان داد (جدول ۵). این افزایش در همه خاک ها در تمام سطوح لجن فاضلاب نسبت به شاهد معنی دار گردید و تیمار های لجن فاضلاب نیز در این خاک ها تفاوت معنی دار نشان دادند.

غلظت روی در ریشه اسفناج نیز متناسب با افزایش سطح لجن در خاک ها افزایش یافت که این افزایش در خاک های لاهیجان و اصفهان در تمام سطوح لجن فاضلاب نسبت به شاهد معنی دار شد ولی در خاک های رشت و لنگرود این افزایش فقط در تیمارهای ۱۰۰و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی دار گردید.

اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر غلظت روی در گیاه کاهو (جدول۶) نشان می دهد که غلظت روی در اندام هوایی کاهو در خاک های رشت و لاهیجان متناسب با افزایش سطح لجن تا ۲۰۰ تن در هکتار افزایش یافت این افزایش در خاک لاهیجان و لنگرود در تمام سطوح لجن فاضلاب، در خاک رشت در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن و در خاک اصفهان در تیمارهای ۵۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی دارشد. در خاک لاهیجان بین تیمار های ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن در هکتار و در خاک لنگرود بین تیمارهای ۱۰۰و ۲۰۰ تن لجن در هکتار تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

غلظت روی در ریشه کاهو در خاک های رشت و لاهیجان با افزایش سطح لجن تا ۲۰۰ تن در هکتار افزایش نشان داد. این افزایش در هر دو خاک در تمام سطوح لجن نسبت به شاهد معنی دار گردید. در خاک های لنگرود و اصفهان نیز

www.SID.ir

Archive of SID

تیمارهای لجن نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان دادند ولی تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار این دو خاک نسبت به تیمار ۱۰۰ تن لجن در هکتار اثر کمتری بر غلظت روی در ریشه کاهو نشان داد.

با توجه به این که حد معمول غلظت روی در گونه های مختلف گیاهی ۲۷ تا ۱۵۰ و حد سمی آن ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی گرم در کیلو گرم وزن خشک می باشد (۲۰)، مقدار روی در اندام هوایی اسفناج در همه تیمارهای لجن فاضلاب در خاک لنگرود و در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک لاهیجان به حد سمیت رسید. از طرف دیگر مقایسه گزوهی تیمارها نشان داد که جذب روی در اندام هوایی اسفناج نسبت به کاهو بیشتر است (جدول ۷). این مطلب نظر پیس و جونز[1] (۲۰) مبنی بر این که اسفناج از گیاهان تجمع دهنده روی می باشد را تأیید می کند. جذب روی به وسیله گیاهان در خاک های مختلف تفاوت معنی دار نشان داد و بیشترین جذب روی در هر دو گیاه در خاک لنگرود صورت گرفت (جدول ۷). بیشتر بودن غلظت روی در گیاهان (حد سمیت) در خاک های اسیدی نسبت به خاک های آهکی، توسط والدرز و همکاران[2] (۲۷) نیز گزارش شده است. دلیل این امر بالا بودن حلالیت روی در خاک های اسیدی می باشد (۳)، که خاک لنگرود نیز بین چهار خاک آزمایش شده کمترین pH را دارا می باشد.

مس. افزایش سطح لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت مس در اندام هوایی اسفناج شد (جدول ۵). این افزایش در خاک های لنگرود و لاهیجان در تمام سطوح لجن فاضلاب و در خاک های رشت و اصفهان در تیمارهای ۱۰۰و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی دار گردید. غلظت مس در ریشه اسفناج نیز درهمه خاک ها در تمام سطوح لجن نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داد و فقط بین تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک اصفهان تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

اثر تیمار های لجن فاضلاب بر غلظت مس در کاهو (جدول۶) نشان می دهد که غلظت مس در اندام هوایی کاهو در هر ۴ نوع خاک در تمام سطوح لجن فاضلاب نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد. بین تیمار کود شیمیایی و شاهد در این خاک ها تفاوت معنی داری مشاهده نشد. تیمار کود شیمیایی در خاک های لاهیجان و اصفهان با تیمار ۵۰ تن لجن در هکتار نیز تفاوت معنی دار نشان نداد.

روند افزایشی غلظت مس در ریشه کاهو نیز مشاهده گردید. این افزایش در تمام خاک ها برای تمام سطوح لجن فاضلاب (به جز ۵۰ تن لجن در هکتار خاک رشت) نسبت به شاهد معنی دار شد. تیمار کود شیمیایی و شاهد در همه خاک ها فاقد تفاوت معنی دار بودند و بین تیمار های ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک اصفهان نیز تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

۱- Pais and Jones

۲- Valders *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

دو گیاه کاهو و اسفناج تفاوت معنی داری در جذب مس نشان ندادند ولی تفاوت بین خاک ها در جذب مس توسط گیاهان معنی دار گردید و بیشترین جذب مس در خاک های لنگرود و لاهیجان صورت گرفت (جدول ۷)، این یافته ها می تواند به دلیل بیشتر بودن غلظت مس قابل جذب خاک های اسیدی نسبت به خاک های غیر اسیدی باشد (۴، ۷، ۲۴).

با توجه به این که حد معمول غلظت مس در گونه های مختلف گیاهی بین ۵ تا ۳۰ و حد سمی آن ۲۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک می باشد (۲۰)، غلظت مس فقط در ریشه اسفناج در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک لنگرود به حد سمیت رسید.

سرب. غلظت سرب در اندام هوایی اسفناج در خاک لنگرود با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش نشان داد که این افزایش در تمام سطوح نسبت به شاهد معنی دار شد. در خاک های رشت و لاهیجان نیز افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش سرب در اندام هوایی اسفناج گردید. لیکن در خاک اصفهان تیمارهای لجن فاضلاب تاثیری بر غلظت سرب در اندام هوایی اسفناج نداشت که دلیل آن احتمالاً وجود pH بالا در این خاک می باشد که باعث رسوب سرب و جلو گیری از جذب آن به وسیله گیاه شده است.

افزایش لجن فاضلاب در هر سه سطح در خاک های لاهیجان و رشت موجب افزایش سرب در ریشه اسفناج نسبت به شاهد گردید. در خاک لنگرود این افزایش تنها در ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی دار شد. در خاک اصفهان، غلظت سرب ریشه اسفناج با افزایش مقدار ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد کاهش معنی دار نشان داد. در این مورد شاید بتوان اظهار نظر نمود که حضور سایر فلزات از جمله مس با غلظت قابل توجه در این تیمارها با جذب سرب در سطح ریشه رقابت نموده و غلظت آن را کاهش داده است. از طرفی کاهش غلظت سرب ریشه در تیمار کود شیمیایی مشاهده نشد که می تواند مؤید این نکته باشد.

لجن فاضلاب اثر معنی دار بر غلظت سرب در اندام هوایی کاهو داشت (جدول ۶) و غلظت آن در خاک های رشت و لنگرود در تمام سطوح لجن فاضلاب و در خاک های لاهیجان و اصفهان در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داد. روندافزایشی غلظت سرب در ریشه کاهو نیز مشاهده شد. در خاک های لنگرود و لاهیجان، تمام سطوح فاضلاب و در خاک های رشت و اصفهان تیمارهای ۱۰۰و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان دادند.

با توجه به این که حد معمول غلظت سرب در گونه های مختلف گیاهان ۵ تا ۱۰ وحد سمی آن ۳۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در کیلو گرم وزن خشک است (۲۰)، مقدار سرب در اندام هوایی اسفناج در تیمارهای ۱۰۰و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک لاهیجان و در اندام هوایی کاهو در خاک های رشت، لاهیجان و لنگرود به حد سمیت رسید.

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه های گروهی (جدول ۷) نشان داد که جذب سرب در اندام هوایی کاهو نسبت به اسفناج، افزایش معنی دار نشان داد و بیشترین جذب سرب توسط گیاهان در خاک لنگرود و لاهیجان صورت گرفت. دلیل آن اسیدی بودن این خاک ها و حلالیت بیشتر سرب در آنهاست که قابلیت جذب بیشتری برای گیاهان پیدا کرد و دلیل جذب کم سرب توسط گیاهان در خاک اصفهان، pH بالای این خاک می باشد. رسوب عناصر به صورت هیدروکسید ها و کربنات های نا محلول و کمپلکس های آلی با افزایش pH خاک افزایش می یابد. بنابراین قابلیت دسترسی فلزات برا ی جذب شدن توسط گیاهان در pH پایین نسبت به pH بالا بیشتر است (۴، ۱۶، ۲۳).

کادمیم. تیمارهای لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت کادمیم در اندام هوایی اسفناج شده است (جدول ۵) ، به طوری که مقدار آن در همه خاک ها در تمام سطح لجن فاضلاب نسبت به شاهد افزایش نشان داد. البته در خاک لنگرود و رشت بین تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار و در خاک لاهیجان بین تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار تفاوت معنی دار مشاهده نشد. در خاک اصفهان نیز تفاوت بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن در هکتار این خاک معنی دار نگردید. تیمار کود شیمیایی و شاهد نیز درهمه خاک ها فاقد تفاوت معنی دار بودند.

غلظت کادمیم در ریشه اسفناج نیز با افزودن لجن فاضلاب افزایش نشان داد که این افزایش برای کلیه سطوح لجن فاضلاب در همه خاک ها در مقایسه با شاهد معنی دارشد، ولی بین تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار در همه خاک ها تفاوت معنی داری مشاهده نشد. تیمار کود شیمیایی نیز در هیچ یک از خاک ها تفاوت معنی داری با شاهد نشان نداد.

غلظت کادمیم در اندام هوایی کاهو در تیمارهای ۱۰۰و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک های رشت و لنگرود و در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک لاهیجان نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داد (جدول ۶) . در خاک اصفهان تاثیر تیمارهای لجن فاضلاب بر غلظت کادمیم در اندام هوایی کاهو معنی دار نشد.

غلظت کادمیم ریشه کاهو در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک های رشت و لنگرود و تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن در هکتار خاک اصفهان و تیمارهای ۵۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک لاهیجان نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داد. با توجه به این که حد سمی غلظت کادمیم در گیاهان بین ۵ تا ۳۰ میلی گرم در کیلو گرم وزن خشک می باشد (۲۰)، غلظت کادمیم در هر دو گیاه در همه خاک ها زیر حد سمیت بود.

نتایج مقایسه های گروهی نشان داد که جذب کادمیم در اندام هوایی کاهو نسبت به اسفناج افزایش معنی دار نشان داد (جدل۷). به طور کلی کاهو و اسفناج از گیاهان تجمع دهنده کادمیم می باشند (۸، ۲۰). گیاهان در خاک لنگرود نسبت به خاک های دیگر مقدار کادمیم بیشتری را جذب کردند و در خاک های با pH بالاتر جذب کادمیم کمتری توسط گیاهان صورت گرفته است (جدول۷). این کاهش می تواند ناشی از افزایش جذب کادمیم روی کلوئیدهای خا ک و یا رسوب

www.SID.ir

Archive of SID

کانی های کادمیم دار باشد (۷، ۲۶،۱۷). افزایش غلظت کادمیم با افزایش لجن فاضلاب به خاک در تحقیقات متعدد گزارش شده است (۴، ۷، ۱۰، ۱۱، ۲۴، ۲۸).

نتیجه گیری

۱- لجن فاضلاب مورد استفاده با دارا بودن ۳/۸ درصد نیتروژن، ۰/۶۲ درصد فسفر و ۰/۲۳ درصد پتاسیم باعث افزایش عملکرد گیاهان شده است که نشان می دهد این ماده سهم مهمی در حاصلخیزی خاک داشته است.

۲- تأثیرلجن فاضلاب برعملکرد گیاهان بسته به نوع خاک متفاوت بود. تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک رشت و ۵۰ تن لجن در هکتار خاک لنگرود و نیز تیمار ۱۰۰ تن لجن در هکتار خاک لاهیجان و اصفهان بیشترین عملکرد وزن خشک گیاهان کاهو و اسفناج را داشته اند، که این نتایج می تواند به طور تقریبی حد مجاز کاربرد لجن در خاک ها را برای این دو گیاه تحت شرایط این آزمایش نشان دهد. لازم به ذکراست که این آزمایش باید در شرایط مزرعه تکرار شود.

۳- افزایش لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش غلظت عناصر در ریشه و اندام هوایی گیاهان شد، به طوری که مقادیر بالای آن در برخی از خاک ها باعث رسیدن غلظت برخی از عناصر به حد سمیت گردید، که می تواند دلیلی برای کاهش عملکرد گیاهان در این تیمارها نسبت به سطوح کمتر لجن فاضلاب در این خاک ها باشد.

۴- با توجه به این که جذب فلزات سنگین به وسیله گیاهان در خاک های اسیدی (خاک لنگرود و لاهیجان) به دلیل حلالیت بالای فلزات در این خاک ها نسبت به خاک های غیر اسیدی (خاک رشت و اصفهان) بیشتر بوده است، توصیه می شود از به کاربردن سطوح بالای لجن فاضلاب (۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار) در خاک های اسیدی تر خودداری شود.

۵- به هر حال لازم به یاد آوری است که این پژوهش بایستی در مزرعه تکرار و در طی چند سال اثرات تجمعی استفاده از لجن فاضلاب از هر جهت بررسی گردد.

منابع REFERENCES

۱. افیونی، م.، ی. رضایی نژاد، و.ب. خیام باشی. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۳۰-۱:۱۹.

۲. عرفان منش، م. ۱۳۷۶. اثر تیمارهای لجن فاضلاب بربرخی خصوصیات خاک و جذب و تراکم عناصر به وسیله اسفناج وگوجه فرنگی . پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

www.SID.ir

Archive of SID

۳. مجللی، ح. مترجم. ۱۳۶۶. شیمی خاک. مرکز نشر دانشگاهی تهران، ۳۴۳ صفحه.

4. Basta, N.T. and J.J. Sloan. 1999. Bioavailability of heavy metals in strongly acidic soils with exceptional quality biosolids. J. Environ. Qual. 28:633-638.
5. Berti, W.R. and L. W. Jacobs. 1996. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. J. Enviton. Qual. 25:1025-1032.
6. Bierman, P.M. and J. Rosen. 1994. Sewage sludge incinerator ash effects on soil chemical properties and growth of lettuce and corn. Soil Sci. Plant Anal. 25:2409-2437.
7. Cunningham, J.D., J.A. Ryan. and D.R. Keeney. 1975. Phytotoxicity and metal uptake from soil treated with metal amended sewage sludge. J. Environ. Qual. 4:422-428.
8. Davis, R.D. 1984. Cadmium in sludge used as fertilizer. Environ. Protec. Direct. 40:117-126.
9. Hyun, H., A.C. Chang, D.R. Parker and A.L. Page. 1988. Cd solubility and phytoavailability in sludge-treated soil: Effect of soil organic carbon. J. Environ. Qual. 27:329-334.
10. John, M.K., C.J. Valaerhoven and H.H. Chuah. 1972. Factors effecting plant uptake and phytotoxicity of Cd assed to soils. Environ. Sci. Techn. 6: 1005-19009.
11. Kabata, P. and A.H. Pendias. 1992. Trace element in soil and plants. 2nd edition, New York.
12. Kelling, K. A., A. E. Peterson, L.M. Waldh, J.A. Ryan and D.R. Keeney. 1977. A field study of the agricultural use of sewage sludge: Effect of crop yield and uptake of N and P.J. Environ Qual. 6:339-343.
13. Knudsen, D. and G.A. Peterson. 1990. Lithium, sodium, and potassium. In: A.L. Page. (eds.), Methods of soil analysis. Part2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madison, WI, U.S.A. 225-246.
14. Korte, N.E., J. Skopp, W. Fuller, E.E. Nieble and B.A. Alesh. 1974. Trace element movement in soil: Influence of soil physical and chemical properties. Soil Sci. 122:350-359.
15. Krebs, R., S.K. Gupta and R. Sehulin. 1998. Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amended soils. J. Environ. Qual. 27:18-23.
16. Lindsay, W.l. 1992. Chemical equalibria in soils. John Wiley and Sons, New York, NY, U.S.A.
17. McBride, M.B. 1995. Toxic metals accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulation protective?. J. Environ. Qual. 24:5-18.
18. MeGrath, S.P., F.J. Zhao, S.J. Dunham, A.R. Crosland and K. Coleman. 2000. Long-term changes in the extractability and bio availability of zinc and cadmium after sludge application. J. Environ. Qual. 29:815-883.
19. Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1990. Phosphorus. pp. 403-431. In: A. L. Page. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 2.2nd ed. Agron. Monogr. 9, A.S.A, Madison, WI, U.S.A.
20. Pais, I.J., and B. Jones. 1997. The handbook of trace elements. St. Luci Press, N. W. Boca Roton, FL, U.S.A.

www.SID.ir

Archive of SID

21. Silviera, D.J. and L. E. Sommers. 1977. Extractability of copper, zinc, cadmium and lead in soils incubated with sewag sludge. J. Environ. Qual. 6:47-52.

22. Simeoni, L.A., K.A. Barbarik and B.R. Sabey. 1984. Effecct of small-scal composting of sewage sludge on heavy metal availability to plants. J. Environ. Qual. 13:264-268.

23. Smith, S.R. 1994. Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge treated soil. I: Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to tyegrass. Environ. Pollut. 85:321-327.

24. Smith, S.R. 1994. Effect of pH on availability to crops of metals in sewage sludge treated soils. II: Cadmium uptake by crops and implication for human dietary intake . Environ. Pollut. 86:5-13.

25. Sommers, L.E. 1977. Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizer. J. Environ. Qual. 6:225-231.

26. Street, J.J., B.R. Sabey and W.L. Lindsay. 1978. Influence of pH. Phosphorus, cadmium, sewage sludge, and incubation time on the solubility and plant uptake of cadmium. J. Environ. Qual. 7:286-290.

27. Valders, J.M., M. Gal, U. Mingelgrin and A.L. Page. 1983. Some heavy metals in soil treated with sewage sludge, their effect on yield and their uptake by plants. J. Environ. Qual. 12:49-57.

28. Villaroel, J.R., A.C. Chang and C., Amrhein. 1993. Cd and Zn phytoavailability of a field-stabilized sludge treated soil. J. Environ. Qual. 155; 197-205.

29. Westerman, R.L. 1990. Soill testing and plant analysis. SSSA, Madison, WI.

www.SID.ir