19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مطالعه مزرعه‌ای اثر کاربرد لجن فاضلاب بر عملکرد ذرت علوفه‌ای و غلظت فلزات سنگین در خاک

محسن سیلسپور

عضو هیات علمی بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران

چکیده

استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان یک اصلاح کننده خاک ارزان قیمت و غنی از عناصر غذایی در مناطقی از ایران رواج یافته است. اما کاربرد آن در مقادیر زیاد و پی در پی ممکن است تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه را به‌دنبال داشته باشد. هدف تحقیق حاضر بررسی اثر لجن فاضلاب شهری بر عملکرد ذرت علوفه‌ای و تجمع فلزات سنگین در محصول بود. بدین منظور، این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج سطح مصرف لجن فاضلاب (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ تن در هکتار) اجرا شد. اثر تیمارهای مختلف لجن بر عملکرد ذرت علوفه معنی دار بود. بالاترین عملکرد ذرت علوفه‌ای از تیمار ۱۰۰ تن در هکتار مصرف لجن فاضلاب به مقدار ۷۱/۱ تن در هکتار به‌دست آمد که ۲/۵۶ برابر تیمار شاهد بدون مصرف لجن بود. مصرف لجن در تمامی تیمارها موجب افزایش غلظت کل فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل در خاک و بافت گیاه شد، اما این افزایش، حتی در بالاترین تیمار مصرف، فرا تر از حد مجاز غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه نبود.

واژگان کلیدی

عملکرد علوفه، سرب، کادمیوم، نیکل، خاک

مقدمه

کاربرد لجن فاضلاب شهری در زمین‌های کشاورزی در جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که خاک‌ها با کمبود مواد آلی مواجه هستند، معمول می‌باشد. کاربرد لجن فاضلاب در خاک باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود. همچنین کاربرد لجن فاضلاب ماده آلی و حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد. تحت این شرایط استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان تکنیک احیای خاک مطرح می‌شود(Cieślik et al., 2015). در حالی مشخص شده است که لجن فاضلابی که حاوی فلزات سنگین است باید مورد ارزیابی از این نقطه نظر قرار گیرد. اخیرا توجه بیشتری به آلودگی به فلزات سنگین ناشی از کاربرد لجن فاضلاب شده است زیرا فلزات سنگین از طریق جذب توسط گیاه، تجمع و آبشویی آنها در خاک باعث ایجاد یک خطر زیست محیطی و آلوده‌شدن آب‌های سطحی و زیرمینی می شود و از این نظر برای متخصصین محیط زیست نگران کننده است(Feyzi et al., 2019). فلزات سنگین موجود در لجن فاضلاب ممکن است توسط اکسیدها، رس‌ها و ماده آلی خاک جذب شوند، رسوب پیدا کنند و یا از ذرات لجن فاضلاب رهاسازی شوند(Jalali and Khanlari, 2006; Krchmann et al., 2017). یگانه و همکاران نیز طی یک پژوهش مزرعه‌ای به مطالعه اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت چهار ساله کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین خاک بر اثر کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب(صفر، ۲۵، ۵۰ و۱۰۰ تن در هکتار) پرداختند. نتایج نشان داد که غلظت سرب خاک، در بیشترین مقدار کاربرد لجن فاضلاب، یعنی چهار سال متوالی و هر سال ۱۰۰ تن در هکتار، از حداکثر مجاز غلظت سرب در خاک طبق استاندارد آمریکا(USEPA) کمتر بود. غلظت کادمیوم در تیمار شاهد ۰/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که در اثر کاربرد چهار سال متوالی لجن، هر سال به میزان ۱۰۰ تن در هکتار به غلظت ۰/۲۵ میلی گرم در کیلوگرم رسید که کمتر از حداکثر مجاز غلظت کادمیوم در خاک طبق استاندارد آمریکا(USEPA) بود(یگانه و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این مطلب که اکثر مطالعات صورت‌گرفته داخل کشور در خصوص کاربرد لجن فاضلاب بر رشد گیاه و غلظت فلزات سنگین در خاک از نوع گلخانه‌ای بوده(به‌ویژه مطالعات در مورد ذرت علوفه‌ای) و ضرورت مطالعات دقیق مزرعه‌ای در این خصوص، این پژوهش با هدف مطالعه اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر خصوصیات رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای و غلظت فلزات سنگین در خاک طراحی اجرا شد.

مواد و روش ها

به‌منظور ارزیابی مزرعه‌ای کاربرد لجن فاضلاب در زراعت ذرت علوفه‌ای و تأثیر آن بر عملکرد محصول و غلظت فلزات سنگین خاک، یک آزمایش مزرعه‌ای به مدت یک سال در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف لجن فاضلاب(صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ تن در هکتار) بودند. قبل از اجرای آزمایش از خاک بستر کشت نمونه‌برداری انجام شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن (شامل میزان کربن آلی، هدایت الکتریکی، بافت، عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، فلزات سنگین و عناصر کم‌مصرف) اندازه‌گیری شد(جدول۱). همچنین از لجن فاضلاب به کار گرفته شده نیز نمونه‌ای تهیه و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت(جدول۱).

جدول۱-ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

ویژگی خاک	مقدار	ویژگی لجن	مقدار
واکنش	۷/۶	هدایت الکتریکی(dS/m)	۱/۴
هدایت الکتریکی(dS/m)	۲/۰	کربن آلی(٪)	۱۶/۶
کربن آلی(٪)	۰/۵	نسبت کربن به نیتروژن	۱۰
مواد خنثی شونده با اسید(٪)	۱۷	فسفر کل(mg/kg)	۸۳۴۰
فسفر قابل جذب(mg/kg)	۸/۳	پتاسیم کل(mg/kg)	۴۷۰۰
پتاسیم قابل جذب(mg/kg)	۲۵۳	آهن کل(mg/kg)	۴۵۲۷
آهن قابل جذب(mg/kg)	۳/۱	منگنز کل(mg/kg)	۳۶۵۱
منگنز قابل جذب(mg/kg)	۱۱/۱	روی کل(mg/kg)	۱۸۸۵
روی قابل جذب(mg/kg)	۰/۷۲	مس کل(mg/kg)	۲۷۰
مس قابل جذب(mg/kg)	۰/۸۷	سرب کل(mg/kg)	۱۸۰
سرب کل(mg/kg)	۴/۵	کادمیوم کل(mg/kg)	۱/۸۸
کادمیوم کل(mg/kg)	۰/۱۲	نیکل کل(mg/kg)	۷۰/۸
نیکل کل(mg/kg)	۲۱	کروم کل(mg/kg)	۱۸۰
کروم کل(mg/kg)	۳۰	آرسنیک کل(mg/kg)	۱۵/۸
کبالت کل(mg/kg)	۱۵		
آرسنیک کل(mg/kg)	۴/۷		

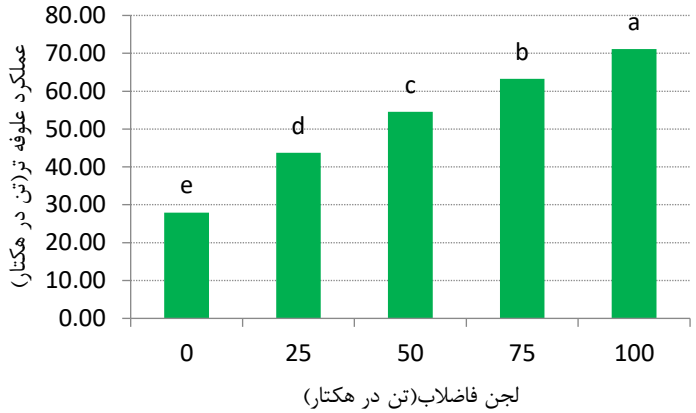
آزمایش با کاشت ذرت علوفه‌ای در اواخر خرداد شروع شد. رقم ذرت علوفه‌ای مورد نظر، رقم سینگل‌کراس بود که در هر کرت آزمایشی به عرض پنج و طول شش متر کشت شد. عملیات داشت شامل آبیاری و مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد به‌صورت یکنواخت برای همه تیمارهای آزمایش صورت پذیرفت. پس از سپری شدن دوره کشت، برداشت محصول در اواخر مهرماه به‌صورت کف بر صورت گرفت و به تفکیک بلال و علوفه برگ و ساقه توزین گردید. در پایان دوره کشت از خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌برداری صورت گرفت و غلظت کل فلزات سنگین در آن اندازه گیری شد.

نتایج و بحث

اثر لجن فاضلاب بر عملکرد علوفه تازه ذرت علوفه‌ای

اثر تیمارها بر عملکرد علوفه تر معنی‌دار بود($P<0.01$). نتایج نشان داد که عملکرد علوفه تر با افزایش مقدار مصرف لجن فاضلاب افزایش داشته است. کم‌ترین میزان علوفه تر از تیمار شاهد به میزان ۲۷/۹ تن در هکتار به‌دست آمد و بیشترین میزان علوفه تر از تیمار مصرف ۱۰۰ تن در هکتار جامد زیستی به میزان ۷۱/۱ تن در هکتار حاصل شد که موید ۲/۵۶ برابر افزایش عملکرد می‌باشد(شکل۱). افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در اثر کاربرد لجن فاضلاب توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است. محققین نشان دادند که لجن فاضلاب می‌تواند مواد مغذی بیشتری برای گیاهان فراهم کند(Krrpka et al., 2016). همچنین نتایج تحقیقات نشان داده است که مقادیر عناصر ماکرو و میکرو در لجن فاضلاب، اثرات سمی فلزات سنگین در گیاه را کاهش می‌دهد، به گونه‌ای که وقتی لجن فاضلاب به خاک اضافه شد، زیست‌توده گیاهی افزایش یافت(Yari et al., 2016). هم‌چنین گزارش شده است که لجن فاضلاب می‌تواند عناصر ماکرو و مواد آلی موجود در خاک را افزایش دهد و واکنش خاک را برای رشد گیاه بهبود بخشد(سعادت و همکاران، ۱۳۹۱).

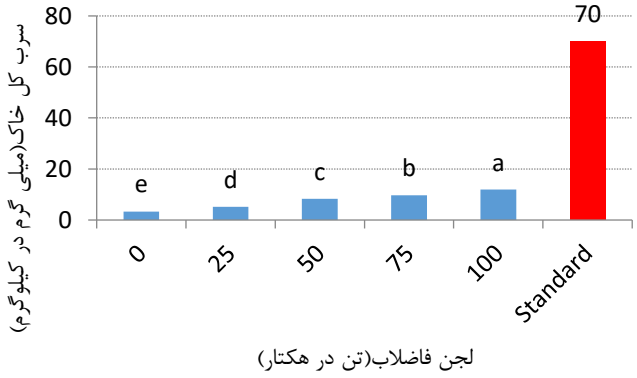
با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد لجن فاضلاب از طریق ایجاد شرایط بهتر برای رشد گیاه، موجب افزایش عملکرد شود که با نتایج محققین فوق همخوانی دارد.



شکل۱-اثر کاربرد لجن فاضلاب بر عملکرد علوفه ذرت علوفه ای

اثر مصرف لجن فاضلاب بر غلظت سرب خاک

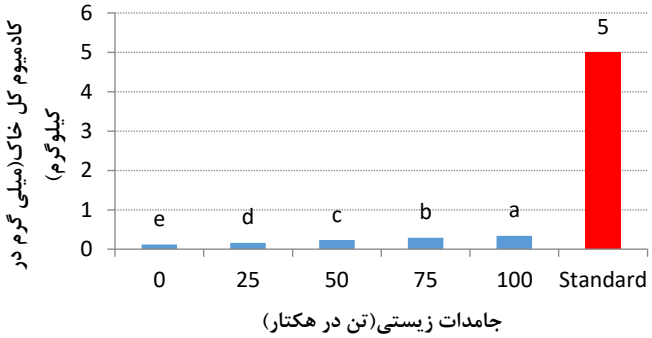
اثر کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت سرب خاک معنی‌دار بود($P<0.01$). داده‌های آزمایش نشان داد که در تمامی سطوح مصرف لجن فاضلاب ، غلظت سرب خاک افزایش معنی‌دار داشته است. . کمترین غلظت سرب کل خاک از تیمار شاهد به میزان ۳/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد و بیشترین غلظت سرب کل خاک به میزان ۱۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار مصرف ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب مشاهده شد که ۳/۶ برابر تیمار شاهد بود. علیرغم افزایش غلظت سرب کل خاک با مصرف لجن فاضلاب، غلظت این عنصر حتی در بیشترین میزان مصرف لجن فاضلاب، فراتر از بیشینه مجاز غلظت سرب(استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران،۱۳۹۲) که ۷۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک است، نرفت(شکل۲). این نتایج با نتایج یگانه و همکاران مطابقت داشت که طی چهار سال متوالی، هر ساله ۱۰۰ تن لجن فاضلاب به خاک اضافه نمودند و پس از چهار سال، غلظت کل سرب خاک افزایش یافت، اما از بیشینه رواداری(USEPA, 1978) فراتر نرفت(یگانه و همکاران، ۱۳۸۷).



شکل۲-اثر کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت سرب کل خاک

اثر مصرف لجن فاضلاب بر غلظت کادمیوم کل خاک

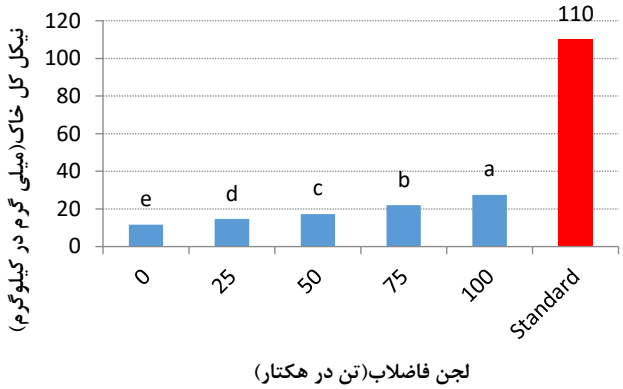
اثر کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت کادمیوم کل خاک معنی‌دار بود($P<0.01$). داده‌های آزمایش نشان داد که در تمامی سطوح مصرف لجن فاضلاب، غلظت کادمیوم کل خاک افزایش معنی‌دار داشته است. کمترین غلظت کادمیوم کل خاک از تیمار شاهد به میزان ۰/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد و بیشترین غلظت کادمیوم کل خاک به میزان ۰/۳۴ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار مصرف ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب مشاهده شد که ۲/۸ برابر تیمار شاهد بود. علیرغم افزایش غلظت کادمیوم با مصرف لجن فاضلاب، غلظت این عنصر حتی در بیشترین میزان مصرف لجن فاضلاب فراتر از بیشینه مجاز غلظت کادمیوم(استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران،۱۳۹۲) که پنج میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است، نرفت(شکل۳). نتایج این پژوهش در خصوص افزایش غلظت کادمیوم کل با مصرف لجن فاضلاب با نتایج به‌دست آمده توسط سایر محققین مطابقت داشت(Keller et al., 2002). نتایج تحقیقات باقری و همکاران نیز بر افزایش غلظت کل کادمیوم در خاک با کاربرد لجن فاضلاب (صفر، ۰/۵، ۲ و ۴ درصد وزنی) دلالت دارد که البته افزایش غلظت کادمیوم کل خاک، بیشتر از حداکثر مجاز غلظت این فلز در خاک نبود(باقری و همکاران، ۱۴۰۲).



شکل۳-اثر لجن فاضلاب بر غلظت کادمیوم کل خاک

اثر لجن فاضلاب زیستی بر غلظت نیکل کل خاک

اثر کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت نیکل کل خاک معنی‌دار بود($P<0.01$). کمترین غلظت نیکل کل خاک از تیمار شاهد به میزان ۱۱/۶ میلی گرم در کیلوگرم به‌دست آمد و بیشترین غلظت نیکل کل خاک به میزان ۲۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار مصرف ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب مشاهده شد که ۲/۴ برابر تیمار شاهد بود. علیرغم افزایش غلظت نیکل با مصرف لجن فاضلاب، غلظت این عنصر حتی در بیشترین میزان مصرف جامد زیستی فراتر از بیشینه مجاز غلظت نیکل(استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران،۱۳۹۲) که ۱۱۰میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است، نرفت. نتایج مشابهی در خصوص افزایش غلظت نیکل کل خاک توسط سایر محققین به‌دست آمده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت(روانبخش و همکاران، ۱۳۸۸.، شاکرمی و معروفی، ۱۳۹۸.، محمدیان و همکاران، ۱۳۹۹)(شکل۴).



شکل۴-اثر لجن فاضلاب بر غلظت نیکل کل

نتیجه گیری

نتایج داده‌های آزمایش اثر لجن فاضلاب بر عملکرد ذرت علوفه‌ای و تاثیر آن بر خصوصیات شیمیایی خاک نشان داد که جامدات زیستی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت علوفه‌ای می گردد و این افزایش عملکرد در تمام تیمارها مشهود بود. افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای در اثر کاربرد جامدات زیستی به دلیل اثرات تغذیه‌ای این ماده می باشد. کاربرد جامدات زیستی غلظت فلزات سنگین در خاک را افزایش معنی‌دار داد، اما با این وجود غلظت هیچ یک از فلزات سنگین در خاک، فراتر از بیشینه رواداری نبود.

منابع مورد استفاده

باقری, ی.، گلچین، ا.، رضایی، ح و و اسماعیل نژاد، ل.(۱۴۰۲). تجمع فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی ذرت علوفه‌ای رشد یافته در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب. پژوهش های خاک, ۳۷(۳), ۲۴۳-۲۵۷.

بینام، استاندارد ۱۲۹۶۸ خورک انسان – دام بیشینه رواداری فلزات سنگین و روشهای آزمون. تجدیدنظر اول. سازمان ملی استاندارد ایران. https://www.inso.gov.ir

روانبخش, م. ح و حق نیا, غ. (۱۳۸۸). تاثیر لجن فاضلاب و زمان بر فراهمی و توزیع گونه‌های نیکل و کادمیم در محلول خاکهای آهکی .آب و خاک. جلد۲۳، شماره یک.

سازمان حفاظت محیط زیست ایران(۱۳۹۲). حدود مجاز آلودگی خاک و آلاینده های ورودی به آن برای کاربری های مختلف خاک و راهنماهای آن. سازمان حفاظت محیط زیست ایران.

سعادت، ک.، بارانی مطلق، م.، دردی پور، ا.، و قاسم نژاد، ع. (۱۳۹۱). اثر لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات خاک، عملکرد و غلظت سرب و کادمیوم ریشه و اندام هوایی ذرت. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد دوم، شماره دوم.

شاکرمی, م و معروفی. ص. (۱۳۹۸). اثر فاضلاب و لجن فاضلاب بر جذب برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه نعناع محیط شناسی. جلد۴۵ شماره یک. ۱-۱۵

محمدیان, ا.، هاشمی گرم دره، س.ا و وراوی پور, م. (۱۳۹۹). تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک در شرایط کشت گلخانه‌ای گل آفتابگردان زینتی .علوم و مهندسی آب و فاضلاب، جلد پنج. شماره سه.

یگانه، م.، افیونی، م و رضایی نژاد، یحیی. (۱۳۷۸). اثرات باقیمانده و تجمعی لجن فاضلاب بر حرکت کادمیم، روی، سرب و مس در خاک .*پژوهش های خاک*.جلد ۲۲. شماره یک. ۴۶-۳۳.

Al Zoubi, M.M., Arsalan, A., Abdegawad, G.N., Pejon, Tabbaa, M., and Jouzdan, O. 2008. The effect of sewage slusge on productivity of a crop rotaion of wheat, maize and vetch and heavy metals accumulation in soil and plant. Aleppo governorate. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 3: 4. 618-625.
Bolan, N.S., and V.P. Duraisamy. 2003. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: A review involving specific case studies. Aust. J. Soil Res. 41:533-555.
Casado-vela, J., Selles, S., Dias-Crespo, C., Navarro-Pedreno, J., Mataix-Beneyto, J., and Grmez, I. 2007. Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop)capsicum annuum var. annuum) grown under two explotation regimes. Waste Management. 27: 1509-1518.
Castaldi, P., Santona, L., and Melis, P. 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. Chemosphere, 60:365-371 .
Cieślik, B.M., Namieśnik, J. and Konieczka, P., 2015. Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. Journal of Cleaner Production, 90, pp.1-15.
Cui, Y.J., Zhu, Y.G., Zhai, R.H., Chen, D.Y., Huang, Y.Z., Qiu, Y.,andJ.Z. Liang. 2004. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanging, China. Environ Int. 30:785–791.
Feizi, M., Jalali, M. and Renella, G., 2019. Assessment of nutrient and heavy metal content and speciation in sewage sludge from different locations in Iran. Natural Hazards, 95(3), pp.657-675.
Gondec, K. 2009. Assessment of the influence of sewage sludge fertilization on yield and content of nitrogen and sulphur in maize. J. Elementol. 15: 1. 65-79.
Hooda, P.S. 2010. Trace Elements in Soils. A John and Sons, Ltd., Publication. 596p.
Keller, C., S. P. Mc Grath and S. I. Dunhan. 2002. Trace metal leaching through a soil grassland system after sewage sludge application. J. Environ. Qual. 31: 1550- 1560.
Kerpka, W., Antonkiewicz, J., Jasiewicz, C., Gambus, F., and R. Witkowicz. 2016. The effect of municipal sewage sludge on the chemical composition of spring barley. Soil Science Annual. 67:124–130.
Moldes, A., Cendon, Y., and M.T. Barral. 2007. Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. Bioresource Technology.98:3069–3075.
Singh, R.P., and Agrawal, M. 2007. Effects of sewage slusge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants. Chemosphere. 59:167–175.
U. S. Environmental protection Agency. 1978. Sludge treatment and disposal. Vol. 2.
Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. 2005. Effect of Sewage Sludge on Some Macronutrients Concentration and Soil Chemical Properties. J. Water and waste water. 53: 15-22.
Yari, M., Rahimi, G., Ebrahimi, E., Sadeghi, S., Fallah, M., and E. Ghesmatpoor. 2016. Effect of three types of organic fertilizers on the heavy metals transfer factor and maize biomass. Waste Biomass Valorization. 8: 2681–2691.
Zhou, M.D., Hao, X.Z., Wang, Y.J., Dong, Y.H.,andL. Cangl. 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. Chemosphere, 67: 2229-2240.

Field study of the effect of sewage sludge application on silage corn yield and heavy metal concentration in soil

Mohsen Seilespour
Greenhouse Crop Research Department, Tehran Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Varamin, Iran

Abstract
The use of sewage sludge (biosolids) as a cheap and nutrient-rich soil amendment has become widespread in some areas of Iran. However, its application in large quantities and continuously may lead to the accumulation of heavy metals in soil and plants. The aim of the present study was to investigate the effect of urban sewage sludge on the yield of forage corn and the accumulation of heavy metals in the crop. For this purpose, this study was conducted in the research farm of the Tehran Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center in three replications and in a randomized complete block design with five levels of sewage sludge application (0, 25, 50, 75 and 100 tons per hectare). The effect of different sludge treatments on forage corn yield was significant. The highest yield of forage corn was obtained from the treatment of 100 tons/ha of sewage sludge application at a rate of 71.1 tons/ha, which was 2.56 times higher than the control treatment

without sludge application. Sludge application in all treatments increased the total concentration of heavy metals lead, cadmium and nickel in the soil, but this increase, even in the highest application treatment, did not exceed the permissible concentration of heavy metals in the soil.

Keywords: Forage yield, lead, cadmium, nickel, soil