Archive of SID

حرکت آرسنیک در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب و جذب آن توسط گندم

پری رستمی[۱]، یحیی رضائی‌نژاد[۲]، مجید افیونی[۳]، محمدعلی حاج‌عباسی[۴]

چکیده

امروزه استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود رواج یافته است. اما پیامدهای ناشی از انباشته شدن فلزات سنگین درخاک اصلی‌ترین عامل ایجاد نگرانی در کاربرد لجن در خاک می باشد. در این تحقیق طی یک برنامه‌ی ۶ ساله، به بررسی اثرات تعداد دفعات کوددهی لجن فاضلاب بر حرکت آرسنیک در خاک و جذب آن توسط گندم پرداخته‌شده است. لجن فاضلاب به مقدار صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار به خاک داده و نمونه‌برداری از پنج عمق خاک و نیز گیاه انجام گرفت. نتایج نشان داد که غلظت آرسنیک کل خاک متناسب با افزایش مقدار لجن فاضلاب مصرف شده به طور معنی داری افزایش یافت. بیشترین مقدار آرسنیک در عمق ۲۰- ۰ سانتی متر مشاهده گردید که مقدار آن با افزایش عمق، کاهش یافت. در خاک تیمار شده با ۱۰۰ تن در هکتار لجن، غلظت آرسنیک خاک بیشتر از حد مجاز بود اما غلظت های موجود در گیاه گندم در حد نرمال بود. تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کودآلی در خاک های آهکی با توجه به شرایط خاک و نوع گیاه و در نظر گرفتن تعداد دفعات کوددهی و مقدار آن، عنصر آرسنیک هیچ گونه سمیتی برای گیاه نداشت.

واژه های کلیدی: آرسنیک، لجن فاضلاب، گندم

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشدگروه خاکشناسی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- استاد گروه خاکشناسی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
۴- استاد گروه خاکشناسی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه به دلیل افزایش جمعیت و تولید هرچه بیشتر مواد زائد آلی و به دنبال افزایش تقاضای محصولات کشاورزی، مصرف کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب به دلیل غنی بودن از عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف مثل آهن، روی، مس و منگنز مورد توجه قرارگرفته است. افزودن مواد آلی به خاک می تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد محصولات در واحد سطح داشته باشد. ولی مسئلهای که باید قبل از استفاده از این کودها مورد توجه قرار گیرد، آلودگی این کودها به عناصر سنگین مانند سرب، کادمیوم، نیکل و آرسنیک است (۱ و۲). وجود عناصرسنگین در محیط ریزوسفر گیاه سبب انتقال این عناصر به زنجیرهی غذایی انسان و حیوان میشود که می تواند پیامدهای خطرناکی داشته باشد. (۳و۴). اگرچه برخی از فلزات سنگین برای رشد بیولوژیکی لازمند، ولی غلظت های بیش از حد آستانهی آنها می تواند برای حیات گیاهی و جانوری بسیار خطرآفرین باشد. بنابراین، یکی از مسائل عمدهی زیست محیطی، که هنگام استفاده از لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی باید مورد توجه قرار گیرد، افزایش عناصر سمی به خاک است (۵).

افیونی و شولین (۲۰۰۲) در تحقیقی اثرات تجمعی و باقی ماندهی لجن فاضلاب بر قابلیت عصارهگیری و غلظت Cd, Pb, Cu و Zn گیاه را بررسی کردند. آن ها دریافتند که Pb, Zn و Cu قابل عصارهگیری با EDTA در خاک و غلظت آن ها در ریشه و ساقهی گیاه به طور معنیداری با مقدار لجن افزایش یافت. مقدار باقی مانده لجن اثر معنیداری بر شکل قابل عصارهگیری فلزات با EDTA و جذب آنها به وسیله گیاه داشت (۲). کرب و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که بعد از ۱۵ سال کاربرد لجن فاضلاب، شکل قابل جذب فلزات سنگین با گذشت زمان زیاد میشود. آن ها دلیل این مسئله را کاهش pH در اثر مصرف لجن فاضلاب گزارش کردند(۴).

چاپین و آلووی (۲۰۰۷) ، با تحقیق بر روی یکسری خاکهای آلوده به عناصر سنگین، گزارش کردند که غلظت عناصر سنگین با افزایش عمق خاک کاهش یافت. آن ها علت این مسئله را ظرفیت بالای جذب خاک دانستند که سبب میشود عناصر سنگین چندان متحرک نباشند و به راحتی به عمق نروند و از عمق فعال ریشه خارج نشوند(۷). مورمدی و همکاران(۲۰۰۷) نیز کاهش غلظت آرسنیک با افزایش عمق را گزارش کردند. آن ها نشان دادند که ۲۱ درصد از آرسنیک به صورت کمپلکس با هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم بوده و ۵۲ درصد آن در بخش باقی مانده قرار داشت گورنی(۱۹۹۷) نیز حرکت آرسنیک به عمق را گزارش کردند. آن ها نشان دادند که آرسنیک نسبت به کروم و مس حرکت سریع تری را در عمق داشته است. هم چنین گیزر و همکاران(۲۰۰۵) نیز در تحقیقی مشابه، غلظت آرسنیک را در عمقهای بالا بیشتر از عمقهای زیرین گزارش کردند. علت حرکت سریع آرسنیک به عمق را میتوان در گونهی آنیونی آن دانست. آرسنیک معمولاً به صورت $HAsO_4^{2-}$ و $H_2AsO_4^-$ تحت شرایط اکسید خاک حرکت میکند (۱۰).

در مطالعات دیگر نیز مشخص شد که غلظت آرسنیک در ریشهی گیاه نسبت به اندامهوایی زیادتر است. استیلول (۲۰۰۲) بیان نمود که ریشههای گیاه دارای غلظت آرسنیک بالاتری نسبت به ساقه،

www.SID.ir

Archive of SID

میوه و برگ هستند (۲۰). در مطالعه‌ای دیگر اونیل بیان نمود که از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار بر مقدار آرسنیک در بافت‌های گیاه می‌توان نوع گیاه، بخش مورد مطالعه (ریشه یا ساقه)، غلظت و شکل آرسنیک در محلول خاک، نوع خاک، مقدار اکسیدهای‌آهن و مقدار فسفر اضافه شده به خاک را نام برد و از بین بخش‌های مختلف یک گیاه در بیشتر گیاهان غلظت آرسنیک در ریشه بیشتر از اندام‌هوایی است. گولز (۲۰۰۳) نیز در یک آزمایش گلخانه‌ای مشاهده کرد، با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، غلظت آرسنیک ریشه‌ها نسبت به اندام هوایی بالاتر است. کوهیان (۱۳۸۳) نیز در تحقیق خود، افزایش غلظت آرسنیک با افزایش غلظت تیمارهای آرسنیک‌دار، چه دراندام هوایی و چه در ریشه را معنی‌دار گزارش کرد و بیان نمود که غلظت آرسنیک ریشه‌ی اسفناج، تربچه و کاهو بیشتر از اندام هوایی می‌باشد.

علی رغم سطح وسیع خاک های آهکی در ایران و استفاده‌ی روز افزون از انواع کودهای آلی از جمله لجن فاضلاب، از سرنوشت فلزات سنگین نظیر آرسنیک، در خاک‌هایی که به طور پی در پی (سالیانه) این کود را دریافت می کنند اطلاع دقیقی در دست نیست. سمیت آرسنیک بالا بوده و حتی در غلظت‌های بسیار پایین نیز می‌تواند سلامتی انسان را به مخاطره بیاندازد (۱۵). لذا این مطالعه با هدف بررسی وضعیت حرکت آرسنیک در خاک و جذب آن توسط گندم انجام گرفت.

مواد و روش

این مطالعه در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد انجام گردید. این منطقه واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان و در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ و ۲۳ دقیقه شرقی واقع شده است. خاک مورد آزمایش جزء تحت گروه تیپیک هاپل آرجید و در سری خاک خمینی‌شهر قرار می‌گیرد و جزء فامیل فاین- لومی، میکسد، ترمیک تیپیک هاپل آرجید[1] است. مقایسه مقادیر عناصر سنگین در لجن فاضلاب استفاده شده در این پژوهش با گستره‌ی غلظت فلزات‌سنگین در لجن فاضلاب مورد استفاده در سایر نقاط مختلف دنیا (جدول ۱) نشان می‌دهد غلظت آرسنیک موجود در این لجن (۱۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) بسیار بالا می‌باشد و طی سال های متوالی مصرف لجن در خاک، در اثر تجمع این عنصر در خاک و حرکت آن به عمق و یا جذب توسط گیاه خطراتی را برای سلامت انسان به همراه خواهد داشت واین مسئله بیش از پیش اهمیت این تحقیق و ضرورت انجام آن را آشکار می کند.

این پژوهش به صورت کرت های خرد شده در قالب تصادفی اجرا شد. بدین ترتیب که ۴ کرت در ۳ تکرار، جمعاً ۱۲ کرت به ابعاد ۳×۱۵ متر ، با در نظر گرفتن فاصله‌ی ۲متر بین کرت‌ها و ۳ متر بین بلوک‌ها در مزرعه انتخاب شده و در سال اول (۱۳۷۹)، تمام کرت‌ها لجن فاضلاب شهری دریافت کردند. در سال دوم (۱۳۸۰)، کرت‌ها پس از انجام مراحل خاک ورزی به دو قسمت نامساوی ۳ و ۱۲ متری تقسیم شدند که قسمت ۱۲ متری آن برای بار دوم لجن فاضلاب دریافت کرد اما به قسمت ۳ متری آن لجن اضافه نشد.

1-Typic haplargid, fine loamy mixed thermic[1]

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مقایسه میانگین غلظت برخی از عناصر سنگین موجود در لجن فاضلاب مورداستفاده در این تحقیق میلی گرم در کیلوگرم و سایر نقاط جهان (۲۰)

عناصر	لجن فاضلاب	
	تحقیق حاضر	سایر نقاط جهان[۲۰]
آهن	۱۸۷۰۰	۱۰۰-۱۵۳۰
مس	۳۸۵	۸۵-۱۰۱۰۰
روی	۱۸۸۵	۱۰۸-۲۷۸۰۰
کادمیوم	۵	۳-۳۴۱۰
سرب	۱۸۰	۵۸-۱۹۷۳۰
نیکل	۵۶	۲-۳۵۲۰
آرسنیک	۱۱۱	۱۰-۲۳۰

در سال سوم (۱۳۸۱)، کرت ۱۲ متری نیز به دو قسمت نامساوی ۳ و۹ متری تقسیم شد که به قسمت ۳ متری لجن فاضلاب اضافه نگردید و به قسمت ۹ متری آن مجدداً لجن فاضلاب اضافه شد، در چهارمین سال اجرای این طرح (۱۳۸۲)، قسمت ۹ متری که تا سال سوم، ۳ بار لجن دریافت کرده به دو قسمت ۳ و ۶ متری تقسیم شده، به قسمت ۶ متری برای بار چهارم لجن فاضلاب افزوده شد. در سال پنجم (۱۳۸۳) قسمت ۶ متری نیز به دو قسمت تقسیم شد و به قسمت آخر آن کود لجن فاضلاب داده شد و در سال ششم (۱۳۸۴) به تمامی قسمت‌ها مجدداً کود لجن فاضلاب اضافه گردید. تیمارهای لجن فاضلاب اعمال شده در ۴ سطح صفر (تیمار شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار بوده و در پاییز هر سال به خاک اضافه شدند. کلیه کرت‌ها در نیمه‌ی اول هر سال تحت کشت گندم و در نیمه دوم سال تحت کشت ذرت قرار گرفتند و روش آبیاری در این کرت‌ها به طریق غرقابی بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی بر حسب نیاز گیاه و به اندازه‌ی کافی و تقریباً به فاصله‌ی ۷ روز به صورت غرقابی با آب چاه مزرعه لورک صورت گرفت. نقشه‌ی طرح مربوط به چگونگی اعمال سطوح مختلف لجن فاضلاب در (شکل ۱) آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲(۱۰۰)		۲(۵۰)		۲(۲۵)		شاهد (بدون کود)	
۳(۱۰۰)		۳(۵۰)		۳(۲۵)			
۴(۱۰۰)		۴(۵۰)		۴(۲۵)			
۵(۱۰۰)		۵(۵۰)		۵(۲۵)			
۶(۱۰۰)		۶(۵۰)		۶(۲۵)			
شاهد (بدون کود)		۲(۲۵)		۲(۱۰۰)		۲(۵۰)	
		۳(۲۵)		۳(۱۰۰)		۳(۵۰)	
		۴(۲۵)		۴(۱۰۰)		۴(۵۰)	
		۵(۲۵)		۵(۱۰۰)		۵(۵۰)	
		۶(۲۵)		۶(۱۰۰)		۶(۵۰)	
۲(۲۵)		۲(۵۰)		شاهد (بدون کود)		۲(۱۰۰)	
۳(۲۵)		۳(۵۰)				۳(۱۰۰)	
۴(۲۵)		۴(۵۰)				۴(۱۰۰)	
۵(۲۵)		۵(۵۰)				۵(۱۰۰)	
۶(۲۵)		۶(۵۰)				۶(۱۰۰)	

شکل۱- نقشه طرح مربوط به چگونگی اعمال سطوح مختلف لجن فاضلاب

در این تحقیق تنها نمونه‌های قسمت اول، سوم و پنجم هر کرت در نظر گرفته شد. به عنوان مثال در تیمار ۲(۲۵)، در سال اول، ۲۵ تن کود لجن در هکتار دریافت کرده و پس از ۴ سال وقفه در کوددهی، مجدداً در سال ششم، ۲۵ تن لجن در هکتار دریافت کرده است. در تیمار ۴(۲۵) پس از ۳ سال متوالی دریافت کود، ۲ سال در کوددهی آن وقفه افتاده و مجدداً در سال ششم کود دریافت کرده است. در تیمار ۶(۲۵)، به طور متوالی، ۶ سال کود لجن فاضلاب دریافت کرده است. نمونه برداری در اوایل مرداد ماه ۱۳۸۵ و در پایان فصل رشد گندم، از تیمارهای ۲، ۴ و ۶ بار کوددهی، انجام شد. نمونه های خاک در وسط قسمت مربوط به هر دفعه کوددهی، در ۵ عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی متری با استفاده از اُگر جمع آوری شده، و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. برخی از خصوصیات خاک شامل pH و قابلیت هدایت الکتریکی (۱۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۱۷) و درصد ماده آلی خاک(۱۸) و نیز مقدار کل عنصر آرسنیک (۱۹) در نمونه های خاک تعیین شدند.

نمونه‌های گیاهی که شامل اندام هوایی (کاه و کلش و دانه) و نیز ریشه بودند ابتدا با آب مقطر شسته شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه‌ی سانتی گراد خشک و سپس غلظت آرسنیک در اندام های مختلف آن تعیین گردید(۱۸).

آنالیز آماری نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS.13 و مقایسه‌ی میانگین ها به کمک آزمون دانکن و در سطح ۵ درصد انجام پذیرفت و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

تأثیر لجن فاضلاب بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک

در این پژوهش تأثیر لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک تا عمق ۴۰ سانتی متری مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). افزودن لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار ماده‌ی‌آلی خاک گردید. در تیمارهای ۲(۲۵)، ۴(۲۵)، ۶(۲۵)، ۲(۵۰) و ۲(۱۰۰) تن لجن در هکتار، ماده‌ی آلی آن ها اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد که احتمالاً به دلیل کم بودن مقدار لجن دریافتی و تجزیه‌ی ماده‌آلی موجود در آن ها طی سال‌های اجرای طرح می‌باشد. یعنی در تیمار ۲(۲۵) و۲(۵۰) تن لجن در هکتار که در سال اول لجن فاضلاب دریافت کرده‌اند و چهار سال وقفه در کوددهی داشته‌اند و مجدداً در سال ششم کود دریافت کرده‌اند، تجزیه‌ی ماده‌آلی در طی این چهار سال، حتی با وجود دریافت لجن در سال ششم، باعث گردید تا مقدار کل ماده‌ی آلی آن افزایش معنی‌داری را نشان ندهد (جدول ۲).

جدول ۲- تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر تغییرات O.M , PH و CEC تا عمق ۴۰ سانتی متر

پارامتر	O.M٪		pH		CEC(meq/100g)	
عمق	۰-۲۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰	۲۰-۴۰	۰-۲۰	۲۰-۴۰
شاهد	۰/۸±۰/۱۱d	۰/۶۶±۰/۲۴d	۸/۲±۰/۰۱a	۸/۱۷±۰/۱a	۷/۱۵±۰/۲۶d	۷/۳۷±۰/۴۵cd
۲(۲۵)	۱/۱۸±۰/۳۷cd	۰/۵۳±۰/۱d	۸/۰۱±۰/۱۶ab	۸/۱۱±۰/۰۹a	۷/۴۹±۰/۰۵d	۶/۲۹±۱/۶۶d
۴(۲۵)	۱/۵۴±۰/۲۱cd	۰/۷۲±۰/۱۲d	۸/۰۱±۰/۱ab	۸±۰/۰۸ ab	۸/۰۹±۰/۳۵cd	۷/۵۲±۰/۱۳cd
۶(۲۵)	۲/۱۳±۰/۲۴c	۱±۰/۲۱cd	۷/۷۲±۰/۲۳cde	۸/۰۶±۰/۰۱ab	۷/۸۳±۰/۰۴cd	۶/۸±۱/۳۱cd
۲(۵۰)	۱/۵۱±۰/۳۷cd	۰/۷±۰/۰d	۷/۹۵±۰/۲۲bc	۸/۰۷±۰/۱۴ab	۷/۶۶±۰/۲۴cd	۷/۲۹±۰/۱۷cd
۴(۵۰)	۳/۶۷±۱/۳۲b	۱/۵۳±۰/۲۵cd	۷/۷۹±۰/۰۹bcd	۷/۹۷±۰/۰۶ab	۹/۹۶±۲/۱۲bcd	۸/۴۴±۱/۵۵bc
۶(۵۰)	۳/۲۹±۰/۴۱b	۱/۷۷±۰/۲۷bc	۷/۶۹±۰/۱de	۷/۸۵±۰/۱۵bc	۱۰/۵۱±۰/۹۸bc	۷/۶۶±۰/۳۲cd
۲(۱۰۰)	۲/۰۶±۰/۲۵c	۱/۰۳±۰/۱۲cd	۷/۸۷±۰/۰۷bcd	۸/۰۶±۰/۰۸ab	۸/۸۷±۱/۲۱cd	۷/۱۴±۰/۱۳cd
۴(۱۰۰)	۴/۰۸±۱/۲ab	۲/۴۳±۱/۶ab	۷/۵۴±۰/۱e	۷/۶۶±۰/۲۶cd	۱۱/۹۴±۳/۷۴b	۱۰/۲۳±۰/۰a
۶(۱۰۰)	۴/۸۴±۰/۳۹a	۲/۷۵±۰/۱۷a	۷/۴۹±۰/۰۷e	۷/۶۳±۰/۰۸d	۱۴/۸±۱/۳۱a	۹/۶۵±۰/۹۹ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف برطبق آزمون دانکن در سطح ۵درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند

بیشترین افزایش ماده‌ی‌آلی در تیمار ۶(۱۰۰) تن لجن در هکتار بود که نسبت به تیمار شاهد ۱۷ درصد افزایش ماده‌ی آلی داشت. لجن فاضلاب حاوی موادآلی است که پس از اضافه شدن به خاک باعث افزایش ماده‌ی‌آلی خاک در مقایسه با تیمار شاهد شده است. به طوری که مقدار ماده‌ی‌آلی در کلیه‌ی سطوح

www.SID.ir

Archive of SID

دریافت لجن بالاتر از شاهد بود. تقریباً درتمامی تیمارها افزودن لجن فاضلاب کاهش معنی‌دار pH را باعث گردید وبیشترین کاهش pH در تیمار (۱۰۰)۶ تن لجن در هکتار دیده می‌شود که از ۸/۲ در تیمار شاهد به ۷/۵ کاهش یافت. این کاهش pH در اثر افزودن لجن فاضلاب حتی در عمق پایینتر از ۲۰ سانتی‌متر نیز مشهود است که این امر را می‌توان به افزایش مقدار ماده‌آلی در این اعماق و اسیدهای آلی موجود در لجن فاضلاب نسبت داد. این نتایج مطابق با گزارشات برگ کاویست و همکاران (۲۰۰۳) می‌باشد، آنها دلیل این کاهش pH را حضور اسیدهای موجود در لجن و اسیدهای تولید شده در طول فعالیت میکروبی معرفی کرده اند.

افزودن لجن فاضلاب افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی را نیز باعث گردید که به دلیل اثر لجن فاضلاب بر افزایش ماده‌ی‌آلی خاک می‌باشد. بالاترین ظرفیت تبادل کاتیونی مربوط به تیمار (۱۰۰)۶ تن لجن فاضلاب در هکتار است (در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری) که حدود ۲ برابر افزایش نسبت به شاهد داشت (جدول ۲). تیمارهای (۱۰۰)۶ و (۱۰۰)۴ تفاوت معنی‌داری نداشتند که می‌تواند بیانگر نقش تعداد دفعات کوددهی لجن فاضلاب در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باشد. ویلیامز و ولوم (۱۹۸۱) گزارش کردند که اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌گردد. کلوئیدهای موادآلی در اثر یونیزاسیون گروه‌های عامل فعال نظیر کربوکسیل و هیدروکسیل دارای بارهای منفی می‌شوند و این بارها باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌گردند (۲۱). گاسکین و همکاران (۲۰۰۳) نیز افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را در اثر کاربرد لجن فاضلاب گزارش کردند.

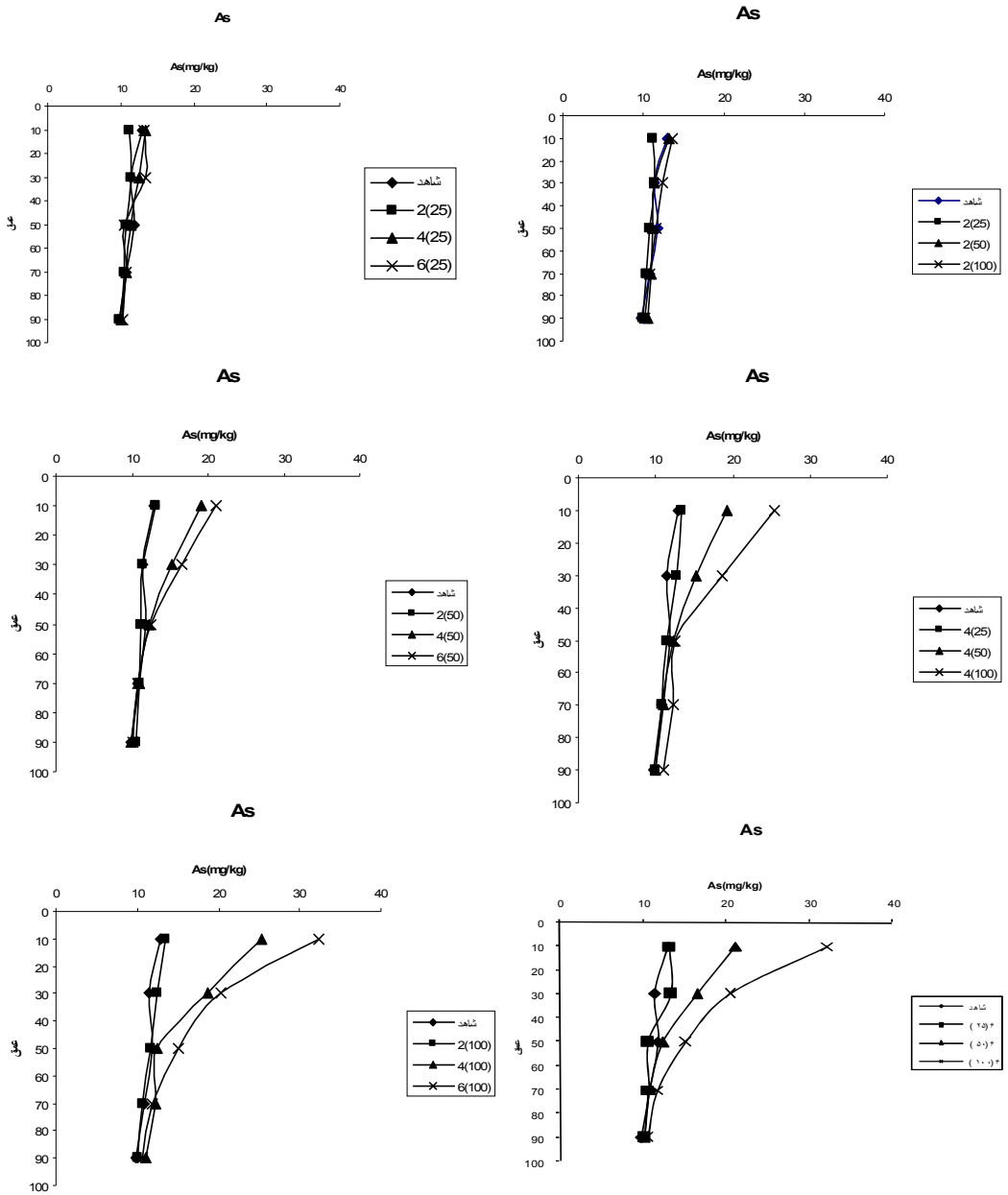
تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت آرسنیک در خاک

شکل۲ نیمرخ غلظت آرسنیک در عمق‌های مختلف خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. غلظت آرسنیک کل خاک متناسب با افزایش مقدار لجن فاضلاب مصرف شده در خاک افزایش یافت. این افزایش در تیمار (۱۰۰)۶ تن لجن در هکتار بیشترین مقدار را در بین سطوح کاربرد لجن داشت و به طور معنی‌داری($p<0/05$) از سطوح سایر تیمارها و شاهد بیشتر بود. مقدار آرسنیک در این تیمار از ۱۰/۹ در تیمار شاهد به ۳۲/۳ میلی گرم در کیلوگرم رسید که در مقایسه با استانداردهای کشورهایی همچون کانادا (۲۳)، لهستان (۲۱)، ژاپن (۱۰)، و انگلستان(۴) بیشتر از حد مجاز می باشد(۲). بنابراین استفاده در این مقیاس و با این تکرار کوددهی را با محدودیت روبرو می کند و نشان می دهد که در کاربرد لجن فاضلاب به عنوان کود بایستی مقدار کود و تناوب در سال های کوددهی مورد توجه قرار گیرد. افزایش معنی دار آرسنیک در سطح (۲۰-۰ سانتی متر) تنها در تیمارهای (۵۰)۴، (۵۰)۶، (۱۰۰)۴ و (۱۰۰)۶ تن لجن فاضلاب در هکتار نسبت به شاهد مشاهده گردید. هم چنین در این تیمارها حرکت آرسنیک از سطح به عمق (تا عمق ۶۰ سانتی متری) مشاهده شد. نتایج نشان داد که در تیمار (۱۰۰)۲ تن لجن در هکتار که معادل ۲۰۰ تن کوددهی به صورت متناوب است، افزایش غلظت آرسنیک در خاک نسبت به شاهد معنی دار نبوده است اما در تیمار (۵۰)۴ تن در هکتار که آن نیز معادل ۲۰۰ تن کوددهی اما با تناوب متفاوت از تیمار (۱۰۰)۲ می‌باشد، افزایش معنی دار آرسنیک در سطح و به دنبال آن حرکت آرسنیک در عمق را داشته است. در تیمار (۵۰)۴،

www.SID.ir

Archive of SID

۱۱٪ حرکت آرسنیک به عمق تا عمـق سـوم(۶۰-۴۰ سانتی متر) مشاهده می شود و به همـین ترتیـب در مورد تیمارهای (۵۰)۶، (۱۰۰)۴ و (۱۰۰)۶ به ترتیب ۹٪، ۶٪ و ۲۶٪ حرکـت آرسـنیک را بـه عمـق سـوم نشان می‌دهند. همـان طـور کـه مشـاهده مـی شـود مقدار کوددهی و تنـاوب در سـال هـای کـوددهی در میزان غلظت آرسنیک و حرکت آن بـه عمـق بسـیار مؤثر است.



شکل۲- نیمرخ غلظت آرسنیک در عمق‌های مختلف خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری تحت تیمارهای مختلف لجن فاضلاب

www.SID.ir

Archive of SID

چنانچه بیشترین میزان افزایش در غلظت آرسنیک نسبت به شاهد و نیز حرکت آن به عمق در تیمار (۱۰۰)۶ که کوددهی ۱۰۰ تن لجن فاضلاب به صورت متوالی طی ۶ سال می‌باشد، مشاهده گردید و پس از آن در تیمار (۵۰)۶ که ۵۰ تن لجن به صورت متوالی طی ۶ سال می باشد و سپس (۱۰۰)۴ قرار دارد که اگرچه ۴۰۰ تن کوددهی به صورت متناوب است اما از میزان ۳۰۰ تن به صورت متوالی ((۵۰)۶)، میزان غلظت و حرکت کمتری را نشان داده است.

تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت آرسنیک درگندم

به طورکلی غلظت آرسنیک در ریشه‌ی گندم تحت تأثیر نوع، سطح و تعداد دفعات کوددهی قرار گرفت (جدول۳). هم چنین غلظت‌های موجود در کاه و کلش و دانه به ترتیب کمتر از ۱ و ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده که برای بعضی از نمونه‌های کاه و کلش و تمامی نمونه‌های دانه پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه می باشد. بنابراین غلظت‌های آرسنیک گیاه در حد طبیعی و زیر حد سمیت است (۴). با توجه به اینکه تحقیق حاضر در یک خاک آهکی انجام گرفته، می توان گفت که آرسنیک موجود در خاک به فرم‌های غیرقابل جذب در آمده و به همین دلیل اگرچه افزایش معنی دار آرسنیک، در برخی تیمارهای خاک، حتی بیشتر از حد نرمال آن دیده می شود ولی این مسأله برای گیاه گندم تأثیر منفی قابل ملاحظه ای را در پی نداشته است. هم‌چنین این مسأله می تواند به فیزیولوژی خود گیاه هم مربوط باشد. بنابراین نوع گیاه، مقدار لجن فاضلاب مصرفی و شرایط خاک بر میزان جذب آرسنیک در گیاه بسیار مؤثر است.

جدول۳- تأثیر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر غلظت آرسنیک ریشه

	شاهد	۲(۲۵)	۴(۲۵)	۶(۲۵)	۲(۵۰)	۴(۵۰)	۶(۵۰)	۲(۱۰۰)	۴(۱۰۰)	۶(۱۰۰)
آرسنیک ریشه	۴/۲۶b	۴/۶۶ ab	۹/۲۶a	۶/۰۰ab	۶/۵۰ab	۴/۵۰ ab	۵/۹۶ ab	۷/۲۳ab	۶/۲۰ ab	۵/۲۰ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف برطبق آزمون دانکن در سطح ۵درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند

نتیجه گیری

افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش آرسنیک در خاک گردید. غلظت آرسنیک در سطوح بالای کاربرد لجن فاضلاب بیش از حد مجاز آن در خاک دیده شد. این در حالی بود که غلظت آرسنیک در گیاه گندم در تمامی سطوح کاربرد لجن فاضلاب بسیار ناچیز بوده و زیر حد سمیت بود. بنابراین یافته های این پژوهش نشان داد که اگرچه کاربرد لجن فاضلاب در خاک های آهکی سبب افزایش آلودگی خاک از نظر آرسنیک می‌گردد، اما شرایط خاک از قبیل pH باعث می شود تا فرم های قابل جذب کمتری در خاک ایجاد گردد و به دنبال آن جذب کمتری نیز در گیاه دیده شود. پیشنهاد می‌شود که در کاربرد لجن فاضلاب به شرایط و نوع خاک، نوع گیاه و نیز زمان و توالی کاربرد لجن توجه شود. از

www.SID.ir

Archive of SID

آنجایی که غلظت آرسنیک در این تحقیق تا عمق ۶۰ سانتی متری هم مشاهده شد، پیشنهاد می‌شود موضوع حرکت آن را در خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی نیز مورد توجه قرار گیرد.

منابع

۱- کوهیان افضل، م. ت.۱۳۸۳. جذب آرسنیک توسط پنج نوع سبزیجات در دو خاک آلوده طبیعی و یک خاک تیمارشده با این عنصر. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

2- Afyuni, M. and Schulin, R.2002. Effect of cumulative and residual sewage sludge application on extractability and plant concentration of Cu, Zn, Pb and Cd. J. Environ. Qual. in reviwe
3- Bergkavist, P.; Jarvis, N.; Berggren, D. and Carlgren, K. 2003. Long term effects of sewage sludge application on soil properties, cadmium availability and distribution in Qrable soil. Agr Ecosyst Environ, 97,167-179.
4- Black, C. A. 1965. Methods of soil analysis, Part 1and 2. Agronomy. Am. Soc. Of Agronomy. Madison, W19, 1-1572.
5- Brown, R. E. 1975. signification of trace metals and nitrates in sludge soil. J. WPCE, 47(12), 2863-2875.
6- Chang, A. C.; Hyun, H. and Page, A. L. 1997. Cadmium uptake for swiss chard grown on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb?. J. Environ. Qual, 26,11-19.
7- Chopin, E. I. B.; and Alloway. B. J. 2007. Distribution and mobility of trace elements in soils and vegetation around the mining and smelting areas of tharsis, Ríotinto and Huelva, Iberian Pyrite Belt, SW Spain. Water Air Soil Pollut,182,245–261.
8- Gaskin, J. W.; Brobst, R. B.; Miller, W. P.; and Tollner, E. W. 2003. Long-term application effects on metal concentrations in soil and Bermuda grass forage. J. Environ. Qual, 23,146-152.
9- Gezer, E. D.; Yildiz, U. C.; Temiz, A.; Yildiz, S. and Dizman, E. 2005. Cu, Cr and As distribution in soils adjacent to CCA-treated utility poles in Eastern Blacksea region of Turkey. Build Environ;40,1684–8.
10- Gulz, P. A. 2003. Arsenic Uptake of Common Crop Plants from Contaminated Soils and Interaction with Phosphate. ETH No 14879 Zurich
11- Hyun, H.; Chang, A. C.; Parker, D. R. and Page, A. L. 1998. Cadmium solubility and phytoavailablity in sludge treated soils: effects of soil organic carbon. J. Environ. Qual, 27,329-334.
12- Kabata, P. and Tabatabai, M. A. Effects of trace elements in soils and plants. 2nd Ed., 365P.
13- Kerb, R.; Gupta, S. K.; Furrer, G. and Schulin, R. 1998. Solubility and plant uptake of metals with an without limiting of sludge- amended soils. J. Environ. Qual, 27,18-23.

www.SID.ir

Archive of SID

14- Moremedi, B. A. and Okonkwo, J. O. 2007. Concentration and Speciation of Arsenic in Southouth African Soil contaminated by historically cattle tick dip operations. Agricultural, Food, and Environmental Sciences. 1(2).
15- O,Neill, P. 1995. Arsenic. PP. 105-121. In: B. J. Alloway (Ed.), Heavy Metals in Soils. 2nd Ed. John wiley & sons Inc , New york.
16- Rhoadses, J. D. 1982. Cation exchange capacity. In: Page, A. L., R. H. Miller., Keeney, D. R. (Eds). Method of soil analysis. Part 2. Agronomy, vol 9, 2nd edn,149-157.
17- Rundle, H.; Calcroff, M. and Hoh, C. 1982. Agricultural disposal of sludges on a historic sludge disposal site. Water Pollut. Control, 81, 619-632.
18- Smith, E.; Naidu, R and Alston, A. M. 1998. Arsenic in the soil environment. Adv. Agron, 64,149-195.
19- Sposito, G.; Lund, L. J and Change, A. C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil. Sci. Soc. Am. J, 46,260-264.
20- Stilwell, D. E. 2002. Excerpts on uptake of arsenic by plants grown near CCA preserved wood. Anal. Chem.
21- Stilwell, D. E. and Gorny, K. D. 1997. Contamination of soil with copper, chromium, and arsenic under decks built from pressure treated wood. Bull Environ Contam Toxicol;58,22–29.
22- Westerman, L. R. E. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA, No 3, Madison, Wisconsin, USA.
23- Williams, S. E. and Wollum, A. G. 1981. Effect of Cd on soil bacteria and actinomycetes. J. Environ. Qual, 10, 142-147.

www.SID.ir