تاثیر لجن فاضلاب شهری بر ویژگی‌های شیمیایی، تنفس و زیست توده میکروبی یک خاک آهکی لوم سیلتی رسی

نسرین کریمیان شمس آبادی، شجاع قربانی دشتکی* و فایز رئیسی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲)

چکیده

استفاده از مواد آلی همچون لجن فاضلاب می‌تواند در بهبود کیفیت خاک موثر باشد. در این مطالعه تاثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های شیمیایی، تنفس و کربن زیست توده میکروبی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور یک نمونه خاک آهکی با بافت لوم سیلتی رسی از اراضی دانشگاه شهرکرد تهیه و به‌واسطهٔ افزودن لجن فاضلاب شهری با نسبت‌های صفر به صد، پنجاه به پنجاه و هشتاد به بیست (گرم لجن فاضلاب به گرم خاک) تیمارها به ترتیب با سه درجه بدون آبگریزی (S۰)، آبگریزی کم (S۵۰) و آبگریزی قوی (S۸۰) انتخاب و تهیه شدند. آبگریزی خاک به‌روش مدت زمان نفوذ قطره آب به خاک اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های شیمیایی خاک از جمله pH، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی کل، کربنات کلسیم معادل ، میزان سدیم و پتاسیم محلول خاک تعیین گردید. تنفس پایه و کربن زیست توده میکروبی خاک پس از یک دوره کوتاه پیش انکوباسیون به مدت یک ماه به فاصله هر ۱۰ روز یک بار اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، اثر مصرف لجن فاضلاب بر آبگریزی و ویژگی‌های شیمیایی خاک معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۰۰۱$) بود. لجن فاضلاب شهری در سطح و شرایط بکار رفته شده منجر به افزایش معنی‌دار تنفس (۲۷-۱۶ برابر) و زیست توده میکروبی (۱۶/۵-۱۵/۲ برابر) در تیمارهای آبگریز (S۵۰ و S۸۰) نسبت به تیمار شاهد گردید. این افزایش طی ۱۰ روز اول بیشتر، ولی طی ۱۰ روز دوم و سوم با سرعت کمتری افزایش یافت. این می‌تواند به‌علت کربن آلی و عناصر غذایی قابل استفاده در لجن فاضلاب شهری و کاهش میزان ترکیبات آلی قابل تجزیه موجود در لجن با گذشت زمان باشد.

واژه‌های کلیدی: تنفس میکروبی، زمان نفوذ قطره آب، کربن زیست توده میکروبی، لجن فاضلاب شهری

۱. گروه مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Shoja2002@yahoo.com

مقدمه

استفاده از پساب و لجن فاضلاب می‌تواند یکی از منابع آلوده کننده محیطی در اراضی کشاورزی باشد. لجن فاضلاب و پساب نه تنها دارای عناصر غذایی و موادآلی می‌باشند بلکه حاوی عناصر سمی هستند که می‌توانند برای طولانی مدت در خاک انباشت و با گذشت زمان غلظت آنها در خاک زیاد گردد (۳۱). لجن فاضلاب نوعی از پسماندهای آلی است که باعث افزایش غلظت عناصرغذایی پر مصرف و کم مصرف خاک از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم، مس، روی و آهن برای رشد گیاه می‌گردد. این مواد همچنین می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شود (۱). تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که پسماندهای آلی به‌دلیل دارا بودن مقادیر زیاد ترکیبات آلی می‌توانند نقش بسزایی در تامین ماده آلی و نیز کاهش زیان‌های ناشی از کمبود این مواد در خاک داشته باشند (۹).

لجن فاضلاب ماده آلی خاک را افزایش می‌دهد، اما به‌علت وجود ترکیبات آبگریز باعث کاهش قابلیت مرطوب شدن خاک می‌گردد. کاربرد زیاد لجن فاضلاب به‌دلیل وجود مواد آبگریز از قبیل چربی‌ها یا ترکیبات آمفیفیلیک در آن قابلیت تر شدن خاک را کاهش می‌دهد (۲۷). نتایج مطالعات رحیم خانی نیز نشان داد کاربرد مقادیر مختلف لجن فاضلاب شهری اثر معنی‌داری بر افزایش مدت زمان نفوذ قطره آب به داخل خاک دارد. خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب آبگریز شده و با افزایش میزان لجن فاضلاب، آبگریزی خاک نیز افزایش یافت (۳). نلسون و همکاران نیز بیان کردند افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش نگهداشت آب در رطوبت ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم می‌شود. بیشترین درصد افزایش نگهداشت آب در تیمارهای با درصد لجن زیاد و بافت درشت مشاهده شد (۲۶).

آبگریزی به‌معنی قرار گرفتن آب روی سطح خاک بدون اینکه در آن نفوذ کند، یک پدیدهٔ شناخته شده در خاک‌های نقاط مختلف جهان می‌باشد (۸). پدیدهٔ آبگریزی باعث کاهش وابستگی خاک به آب می‌شود چرا که در یک دورهٔ زمانی مشخص از چند ثانیه تا چند ساعت یا چندین روز در برابر مرطوب شدن مقاومت نشان می‌دهد (۱۸). دلیل اصلی آبگریزی خاک وجود مواد آبگریز آزاد شده توسط گیاهان مانند واکس‌ها (۱۰)، فعالیت قارچی (۱۶)، نرخ معدنی شدن و تشکیل خاک برگ (۲۵)، ترکیبات آلی ناشی از فعالیت ریز جانداران خاک (۲۸) و آتش سوزی (۱۴) می‌باشد. آبگریزی خاک بر اثر پوشانده شدن سطح ذرات معدنی خاک به‌وسیلهٔ ترکیب‌های آبگریز ایجاد می‌شود (۱۵). که بیش از یک قرن است به یک نگرانی عمده برای دانشمندان علم مدیریت اراضی تبدیل شده است. آبگریزی خاک بر رشد گیاه، هیدرولوژی سطحی و زیر سطحی خاک تاثیر منفی می‌گذارد (۱۸). دفع آب خاک یا آبگریزی و خیس خوردگی غیر یکنواخت باعث کاهش نفوذ پذیری خاک می‌شود. بنابراین باعث افزایش سیلاب ناشی از باران های شدید و در نتیجه تشدید فرسایش می‌گردد. افزایش پراکنش ذرات خاک بر اثر تشدید قطرات باران باعث افزایش رواناب سطحی و به موجب آن افزایش فرسایش خاک در مناطق شیب دار می‌شود. بنابراین مدیریت این خاک‌ها و جلوگیری از توسعه آنها امری ضروری به شمار می‌آید (۲۳).

استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان کودهای آلی امری رایج بوده اما این کودها می‌توانند فرآیندهای بیولوژیک خاک را تغییر دهند. بر اثر افزودن مواد آلی، سرعت رشد و میزان فعالیت ریز جانداران خاک به‌دلیل بالا بودن کربن آلی افزایش می‌یابد. با این حال، مصرف بیش حد برخی کودهای آلی از قبیل لجن فاضلاب شهری و صنعتی، به‌دلیل بالا بودن میزان عناصر فلزی باعث تجمع فلزات سمی می‌گردد که بر فعالیت ریز جانداران خاک اثر منفی دارد (۲).

نتایج برخی مطالعات بر افزایش تنفس خاک ناشی از مصرف لجن فاضلاب دلالت دارد، که می‌تواند به‌دلیل افزایش میزان نیتروژن و کربن خاک و غلظت بالای عناصر غذایی از قبیل آهن، روی، مس و منگنز در لجن فاضلاب باشد (۷). لجن فاضلاب اثر قابل توجهی بر فعالیت و جمعیت میکروبی خاک دارد (۲۱). زیست توده میکروبی به‌منظور ارزیابی عکس العمل میکروبی خاک به مدیریت، تغییرات زیست محیطی، بهم خوردگی زیستگاه

و جمعیت خاک اندازه‌گیری می‌گردد. فتحی و همکاران (۴) گزارش کردند لجن فاضلاب افزایش معنی دار زیست توده میکروبی خاک را به‌همراه دارد و دلیل آن را افزایش سطح کربن آلی خاک دانستند. فرناندز و همکاران (۲۱) نشان دادند که تنفس پایه و زیست توده میکروبی ارتباط مثبت با مقدار لجن فاضلاب دارد و با افزایش مقدار لجن افزایش یافتند.

امروزه تولید پساب و لجن فاضلاب روبه گسترش است و با توجه به کمبود مواد آلی و شرایط نامطلوب اکثر مناطق کشور، اگر مطالعات لازم بر پسماندهای آلی تولید شده انجام گیرد، می‌توان از آنها به‌عنوان یک اصلاح کننده ارزان و مناسب استفاده نمود. توجه به محدود بودن منابع دامی و اهمیت تاثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های خاک به‌ویژه افزایش کربن آلی خاک و در نتیجه تاثیری که بر فعالیت میکروبی خاک و موجودات زنده دارد و همچنین تاثیر لجن فاضلاب بر آبگریز شدن خاک و با توجه به اهمیت آبگریزی خاک و تاثیری که بر ویژگی‌های خاک دارد و پیامدهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی دفع آب خاک که مشهودترین آن، کاهش نفوذ پذیزی آب به خاک است و این امر می‌تواند باعث تشدید فرسایش خاک شود. مطالعه تاثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های خاک ضرورت دارد. همچنین بررسی منابع نشان می‌دهد مطالعاتی که تاکنون انجام شده است بیشتر بر تاثیر لجن فاضلاب در مقادیر اندک بر ویژگی‌های شیمیایی خاک تمرکز داشته است و مطالعات اندکی در زمینه تاثیر لجن فاضلاب شهری در مقادیر زیاد بر ویژگی های بیولوژیکی، شیمیایی و آبگریزی خاک انجام شده است. بنابراین هدف این پژوهش مطالعه تاثیر لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی، تنفس و زیست توده میکروبی یک خاک آهکی لوم سیلتی رسی بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های شیمیایی، تنفس و زیست توده میکروبی خاک، از یک خاک آهکی با بافت لوم سیلتی رسی از اراضی دانشگاه شهرکرد واقع در استان چهارمحال و بختیاری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر استفاده گردید. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۲۰۷۰m می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی در این منطقه به ترتیب زریک و مزیک و میانگین بارندگی سالانه این منطقه ۳۲۰ mm می‌باشد (اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری، ۱۳۸۸). نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد، سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اعمال لجن اندازه‌گیری شدند. لجن فاضلاب شهری مورد مطالعه از بخش لجن خشک شدهٔ حوضچه‌های جمع آوری لجن تصفیه خانه فاضلاب شهرکرد تهیه گردید (سیستم تصفیه فاضلاب در این تصفیه خانه سیستم لجن فعال از نوع هوادهی گسترده می‌باشد. هر ۳ مرحله تصفیه در این تصفیه خانه بر فاضلاب اعمال می‌شود). بدین منظور ابتدا لجن را هوا خشک کرده و از الک یک میلی‌متری عبور داده شد و قبل از شروع آزمایش برخی خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب شهری اندازه‌گیری گردید. از آنجائی‌که هدف به‌دست آوردن سه سطح متفاوت آبگریزی (بدون آبگریزی، آبگریزی کم و آبگریزی زیاد) بود، در ابتدا با اضافه کردن لجن فاضلاب با نسبت‌های وزنی صفر به صد، ده به نود، بیست به هشتاد، سی به هفتاد الی هشتاد به بیست (گرم لجن فاضلاب به گرم خاک) به نمونه‌های مورد مطالعه، خاک آبگریز گردید. درنهایت با نسبت‌های صفر به صد، پنجاه به پنجاه و هشتاد به بیست (گرم لجن فاضلاب به گرم خاک) تیمارها به ترتیب با سه درجه بدون آبگریزی (S۰)، آبگریزی کم (S۵۰) و آبگریزی قوی (S۸۰) انتخاب و تهیه شدند. نمونه‌ها پس از یک سال تیمار شدن با لجن فاضلاب در ۴ تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. برخی ویژگی‌های خاک و لجن فاضلاب شهری مورد مطالعه در جدول (۱) ارایه شده است.

با استفاده از روش تست قطره اندازه‌گیری و الگوی دکر و ریتسما (۱۹) برای طبقه بندی آبگریزی خاک استفاده گردید (۱۸و۱۹). به این صورت که اگر WDPT کمتراز ۵ ثانیه باشد، خاک قابل مرطوب شدن، ۵ تا۶۰ ثانیه خاک به طور جزیی

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و لجن فاضلاب شهری مورد مطالعه

ویژگی	واحد	خاک	لجن
شن (Sand)	(٪)	۱۳/۲۰	–
سیلت (Silt)	(٪)	۵۳/۹۰	–
رس (Clay)	(٪)	۳۲/۹۰	–
pH (H_2O)	–	۷/۴۰	۶/۷۰
EC (H_2O)	(dS/m)	۰/۳۰	۳/۹۰
کربن آلی (OC)	(٪)	۰/۸۰	۲۶/۷۰
کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$)	(٪)	۳۰	۳/۳۰

آبگریز، ۶۰ تا ۶۰۰ ثانیه خاک تقریباً آبگریز، ۶۰۰ تا ۳۶۰۰ ثانیه خاک به شدت آبگریز و بیشتر از ۳۶۰۰ ثانیه خاک کاملاً آبگریز می‌باشد(۱۸و۱۹). pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱۰ (آب به خاک) (۳۳)، قابلیت هدایت الکتریکی در سوسپانسیون ۱:۵ (آب به خاک) با استفاده از دستگاه هدایت سنج مدل سی ۵۰۱ المیرون (C 501 Elmeiron)، میزان مواد آلی براساس درصد کربن آلی کل خاک به‌روش والکی بلک (۲۶)، پتاسیم و سدیم محلول خاک با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (۲۹)، کربنات کلسیم معادل با روش خنثی کردن کربنات‌های خاک با اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی اسید اضافی (۲۴) اندازه‌گیری گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری تنفس پایه، ۱۰۰ گرم خاک هوا خشک پس از توزین به ظروف پلاستیکی یک لیتری منتقل شد و رطوبت خاک در ۸۰-۷۰٪ ظرفیت مزرعه تنظیم شد و این رطوبت تا پایان آزمایش با توزین متوالی کنترل گردید. نمونه‌ها به‌مدت ۱۰ روز پیش انکوباسیون در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد خوابانده شدند و سپس CO_2 ناشی از تنفس میکروبی در سود (NaOH) ۰/۵ نرمال جمع آوری و به‌روش آندرسون (۱۲) به مدت یک ماه به فاصله هر ۱۰ روز یکبار از طریق تیتراسیون با HCl ۰/۲۵ نرمال تیتر گردید. زیست توده میکروبی خاک نیز به‌روش تنفس ناشی از سوبسترای گلوکز تعیین شد. به این صورت که یک نمونه ۵ گرمی از خاک برداشته و به هر نمونه ۲ میلی‌لیتر سوبسترا (گلوکز) یک درصد محلول اضافه گردید و درون انکوباتور به مدت ۴- ۵ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و در پایان مقدار CO_2 متصاعد شده به‌روش آندرسون (۱۲) تعیین گردید. بعد از تعیین تنفس ناشی از سوبسترا میزان کربن زیست توده میکروبی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۳).

$$MBC\ \left(mg\ C\ kg^{-1}\right) = (۴۰/۰۴ml\ CO_2 kg^{-1})\ + ۰/۳۷ \qquad (۱)$$

پس از اندازه گیری ویژگی‌های خاک، جدول تجزیه واریانس (ANOVA) برای بررسی اثرات لجن فاضلاب محاسبه و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD فیشر در سطح احتمال ۵٪ در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

اثر لجن فاضلاب بر آبگریزی

در این پژوهش براساس الگوی طبقه بندی دکر و ریتسما (۱۹) تیمار S۰ آبدوست، تیمار S۵۰ آبگریزی جزئی و تیمار S۸۰ آبگریز قوی طبقه بندی شد. مطابق نتایج (جدول ۲) استفاده از لجن فاضلاب تاثیر معنی‌داری($P \leq ۰/۰۰۰۱$) بر WDPT داشت. به گونه‌ای که در تیمار S۸۰ ، میزان آبگریزی خاک ۶۱ برابر و در تیمار S50 ۲۵ برابر شد (جدول ۳). لجن فاضلاب به‌دلیل وجود مواد آبگریز از قبیل چربی‌ها یا ترکیبات آمفیفیلیک در آن قابلیت تر شدن خاک را کاهش می‌دهد (۲۷). نتایج مطالعات رحیم خانی (۳) نیز نشان داد خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب آبگریز شده و با افزایش میزان لجن فاضلاب،

جدول۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مصرف لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات خاک مورد مطالعه

منبع تغییر	df	$CaCO_3$	Na	K	OC	pH	WDPT
لجن فاضلاب	۲	۶/۴۳	۱۴/۶۷	۵/۸۴	۱۳/۶۰	۰/۳۰۰	۴۶
خطا	۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱	۰/۶۳
ضریب تغییرات(٪)	–	۲/۲۱	۰/۲۳	۰/۶۰	۴/۲۶	۰/۴۵	۱/۸۰
Pr>F		≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱

جدول ۳. مقایسه میانگین (n=۴) اثر مصرف لجن فاضلاب شهری بر برخی خصوصیات خاک

		تیمار			
ویژگی	واحد	S0	S50	S80	
WDPT	sec	1^C	25^B	61^A	
pH	–	$7/40^A$	$7/10^B$	$6/80^C$	
OC	(g/kg)	8^C	117^B	199^A	
$CaCO_3$	(٪)	30^A	16^B	$8/70^C$	
Na	(ppm)	124^C	194^B	219^A	
K	(ppm)	261^C	300^B	339^A	

میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار (P ≤۰/۰۰۰۱) به‌روش LSD می‌باشند

آبگریزی خاک افزایش یافت. نتایج این پژوهش با مطالعات نورمهناد (۹) نیز مطابقت داشت.

اثر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد لجن فاضلاب شهری اثر معنی دار (P≤۰/۰۰۰۱) بر ویژگی‌های شیمیایی خاک داشت. به‌صورتی که با افزایش سطح لجن، کربن آلی، سدیم محلول و پتاسیم محلول خاک افزایش یافتند جدول (۳). ولی افزایش لجن فاضلاب باعث کاهش واکنش خاک و کربنات کلسیم معادل گردید (جدول ۳). همانطور که جدول ۳ نشان می‌دهد در تیمار S۸۰ واکنش خاک ۸/۱ درصد و در تیمار S۵۰ واکنش خاک ۴/۰۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت، که این کاهش می‌تواند ناشی از وجود اسیدهای آلی و ترکیبات اسیدزا در لجن فاضلاب باشد (۱۱). نتایج حاصل از مطالعات شارما و همکاران (۳۲) نیز تایید کنندهٔ کاهش pH خاک پس از کاربرد لجن فاضلاب بود. اپستین (۲۰) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های خاک گزارش کرد کاربرد لجن فاضلاب باعث کاهش اسیدیته خاک می‌گردد. وجود آمونیوم در لجن فاضلاب نیز باعث تشدید فرآیند نیترات سازی و کاهش pH خاک می‌گردد (۳۴). مک گراید علت کاهش pH خاک بر اثر افزایش لجن فاضلاب را تجزیه مواد آلی و اکسایش گوگرد بیان نمودند (۲۵).

افزایش مصرف لجن تاثیر معنی دار (P≤۰/۰۰۰۱) بر میزان کربن آلی خاک داشت (جدول ۲). در تیمار S۸۰ کربن آلی خاک حدوداً ۲۴/۸ برابر و در تیمار S۵۰ ۱۴/۵ برابر گردید (جدول ۳). افزایش کربن آلی خاک می‌تواند به‌علت غنی بودن لجن فاضلاب از کربن آلی باشد. نتایج این پژوهش با مطالعات رحیم خانی (۳) و نورمهناد (۹) همخوانی داشت. اوجدا و همکاران (۲۷) نیز بیان نمودند لجن فاضلاب، مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد اما قابلیت مرطوب شدن خاک را به‌دلیل وجود ترکیبات آبگریز کاهش می‌دهد و ماده آلی در همهٔ خاک‌های

جدول ۴. نتاج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مصرف لجن فاضلاب شهری بر تنفس پایه و کربن زیست توده میکروبی

منبع تغییر	df	۱۰day	۲۰day	۳۰day
		تنفس پایه		
لجن فاضلاب	۲	۲۴۹	۲۲۸	۲۰۳
خطا	۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات	–	۰/۱۳	۰/۳۰	۰/۲۰
Pr>F	–	≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱
		کربن زیست توده میکروبی		
لجن فاضلاب	۲	۳۶۳۰	۳۵۰۷	۳۱۶۰
خطا	۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۲
ضریب تغییرات	–	۱/۱۴	۱/۱۱	۱/۱۳
Pr>F	–	≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱	≤۰/۰۰۰۱

آبگریز به وفور یافت می‌شود. واثقی و همکاران با بررسی اثر لجن فاضلاب بر میزان ماده آلی خاک‌های با PH متفاوت بیان نمودند لجن فاضلاب باعث افزایش ماده آلی خاک می‌شود که این افزایش با مقدار لجن اضافه شده به خاک رابطه مستقیم دارد (۱۰). منشادی و همکاران نیز در طی مطالعات خود گزارش کردند دوره‌های مختلف کاربرد لجن فاضلاب بر میزان کربن آلی خاک تاثیر معنی‌داری داشت و بیان کردند بخش کربن فعال موجود در لجن فاضلاب، پس از افزوده شده به خاک تجزیه گردیده و بخشی از کربن موجود در این کود به ذخایر کربن در خاک پیوسته و باعث افزایش سطح ماده آلی خاک می‌شود (۶).

در تیمار S۵۰ میزان کربنات کلسیم معادل خاک ۴۷/۷۰ درصد و در تیمار S۸۰ ۷۱ درصد نسبت به تیمار بدون لجن کاهش یافت (جدول ۳). لجن فاضلاب سرشار از کربن آلی است. در اثر تجزیه بیولوژیکی لجن فاضلاب یکسری ترکیبات اسیدزا از جمله اسید هیومیک آزاد شده که منجر به اسیدی شدن و درنهایت منجر به غیر فعال شدن کربنات کلسیم (خنثی شدن یون‌های قلیایی) در خاک می‌شود. بنابراین درصد کربنات کلسیم معادل در این خاک‌ها در مقایسه با خاک‌هایی که بدون لجن فاضلاب کمتر بود (۳).

براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش اثر لجن فاضلاب بر افزایش سدیم و پتاسیم محلول خاک معنی‌دار شد (جدول ۲). به صورتی که در تیمار S۸۰ و S۵۰ میزان سدیم خاک ۷۶/۶۰ درصد و ۵۶/۴۵ درصد و پتاسیم خاک ۲۹/۸۰ درصد و ۱۴/۹۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. این موضوع با مطالعات رحیم خانی همخوانی دارد (۳). نورمهناد نیز گزارش کرد با افزودن لجن فاضلاب میزان سدیم و پتاسیم محلول افزایش یافت (۹). قمری و دانش با بررسی اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر خصوصیات خاک دریافتند که کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک گردید (۵). آنها بیان نمودند، با این وجود پتاسیم موجود در لجن فاضلاب معمولا کم بوده و کاربرد لجن در مقادیر کم و متوسط تاثیر زیادی بر پتاسیم خاک نداشته و به‌همین علت با کاربرد لجن فاضلاب بهتر است کود پتاسیم دار نیز به خاک افزوده شود. به‌طور کلی تاثیر لجن فاضلاب بر مقدار پتاسیم خاک نسبت به عناصر دیگر کمتر بوده که می‌توان آن را به مقدار کم پتاسیم موجود در لجن ارتباط داد. دلیل اصلی این پدیده می‌تواند مربوط به حلالیت بالای املاح پتاسیم باشد. به این علت که پس از جدا شدن لجن از فاضلاب، پتاسیم به‌طور غالب به‌صورت محلول در پساب باقی می‌ماند و بخش لجن حاوی پتاسیم کمتری خواهد بود (۳۰).

اثر لجن فاضلاب بر تنفس پایه خاک

لجن فاضلاب تاثیر معنی دار (P ≤۰/۰۰۰۱) بر تنفس پایه داشت (جدول۴). همان‌طور که جدول (۵) نشان می‌دهد با افزایش

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین (n=4) اثر مصرف لجن فاضلاب بر تنفس پایه و کربن زیست توده میکروبی خاک

day۳۰	day۲۰	day۱۰	
تنفس پایه ($mg\ CO_2\text{-}C\ kg^{-1}\ soil$)			تیمار
^{C}۱۱/۳۰	^{C}۱۲/۱۹	^{C}۱۳/۰۶	S0
^{B}۱۶۹	^{B}۱۸۵	^{B}۲۰۸	S50
^{A}۳۰۰	^{A}۳۳۳	^{A}۳۵۸	S80
کربن زیست توده میکروبی ($mg\ C\ kg^{-1}$)			
^{C}۱۷۶	^{C}۱۸۹	^{C}۱۹۵	S0
^{B}۲۶۱۳	^{B}۲۸۵۴	^{B}۳۰۷۹	S50
^{A}۴۶۳۲	^{A}۵۰۹۹	^{A}۵۲۶۵	S80

سطوح لجن فاضلاب تنفس میکروبی افزایش یافت (جدول ۵). طی یک ماه انکوباسیون در هر ۳ فاصله زمانی بیشترین مقدار CO_2 متصاعد شده مربوط به تیمار S۸۰ و کمترین آن مربوط به تیمار S0 بود و در تیمار S۸۰ و S۵۰ میزان تنفس پایه به ترتیب ۲۷ و ۱۶ برابر گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده مهمترین علت افزایش تنفس میکروبی می‌تواند افزایش سطح کربن آلی و عناصر غذایی بر اثر افزایش میزان مصرف لجن فاضلاب و رفع کمبود آنها در خاک مورد مطالعه باشد.

دار بیان کرد کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش میزان نیتروژن و کربن موجود در خاک می‌گردد و از اینرو می‌تواند منجر به افزایش تنفس میکروبی در خاک شود (۱۷). فرناندز و همکاران نیز بیان نمودند افزودن لجن فاضلاب، تنفس پایه را افزایش می‌دهد که می‌تواند به‌دلیل افزایش مقدار مواد آلی قابل دسترس در خاک می‌باشد (۲۱). افزایش مواد آلی و عناصر غذایی در خاک سبب تحریک فعالیت زیست توده میکروبی شده و در نتیجه سطح تنفس پایه بالا می‌رود. آنها گزارش نمودند تنفس پایه در تیمار لجن فاضلاب نسبت به تیمار شاهد افزایش زیادی نشان داد (۲۱).

اثر لجن فاضلاب بر کربن زیست توده میکروبی خاک

مطابق نتایج جدول (۴) لجن فاضلاب تاثیر معنی‌دار ($P \leq ۰/۰۰۰۱$) بر MBC خاک داشت. با افزایش سطوح لجن کاربردی MBC افزایش یافت (جدول ۵). به‌گونه‌ای که در تیمار S۸۰ و S۵۰ میزان MBC خاک به ترتیب ۲۶/۵ و ۱۵/۲ برابر گردید. این نشان می‌دهد که ریزجانداران در خاک مورد مطالعه با محدودیت شدید کربن و سایر عناصر غذایی روبرو هستند. زیست تودهٔ میکروبی جزء زندهٔ ماده آلی خاک است که شامل باکتری و قارچ و همچنین میکروفون و جلبک‌های ریز می‌باشد و نقش کلیدی در پویای مواد آلی و چرخه عناصر غذایی خاک ایفا می‌کند (۲۲). حجتی و همکاران کاربرد سطوح مختلف لجن را بر زیست توده میکروبی خاک را بررسی و نشان دادند با افزایش سطح لجن، زیست توده میکروبی خاک افزایش یافت و دلیل آن را افزایش سطح کربن آلی دانستند و با افزایش کربن آلی میزان سوبسترای مورد نیاز جمعیت میکروبی هتروتروف افزوده شده و جمعیت میکروبی افزایش می‌یابد (۲).

فتحی و همکاران طی مطالعات خود بیان نمودند لجن فاضلاب اثرات مثبت بر خصوصیات بیولوژیکی خاک دارد و در سطح و شرایط بکار رفته شده باعث افزایش تنفس و جمعیت میکروبی خاک تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک شاهد می‌شود (۴). ماری ناری و همکاران نیز دریافتند کمپوست‌ها حاوی تعداد زیادی از جوامع ریزجانداران هستند و بنابراین با مصرف کمپوست علاوه بر افزودن مواد آلی و عناصر غذایی در خاک، موجودات زنده نیز وارد خاک می‌شوند (۶).

زیست توده میکروبی به‌سرعت و در کوتاه مدت به ورود کربن آلی از منابع مختلف پاسخ می دهد و چون اغلب خاک‌ها با محدودیت کربن روبرو هستند، مقدار آن معمولاً با افزودن

منابع حاوی کربن سهل الوصول به خاک افزایش می‌یابد (۲۲). افزودن لجن فاضلاب در مقایسه با کودهای شیمیایی سبب تحریک فعالیت میکروبی و در دسترس قرار دادن مواد آلی ناپایدار و آسان تجزیه شونده می‌شود زیرا لجن فراهم کننده منابع جدیدی از کربن و انرژی در خاک است (۲۲).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه لجن فاضلاب منجر به آبگریز شدن خاک گردید که می‌تواند به‌علت وجود ترکیبات آبگریز در آن باشد. افزایش مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش مقدار کربن آلی، پتاسیم و سدیم محلول خاک گردید که به‌دلیل غلظت بالای این عناصر غذایی در لجن است. افزودن لجن فاضلاب باعث کاهش pH و میزان کربنات کلسیم معادل شد. احتمالاً این کاهش می‌تواند ناشی از وجود اسیدهای آلی و ترکیبات اسیدزا در لجن فاضلاب باشد. افزایش لجن فاضلاب منجر به افزایش تنفس میکروبی و کربن زیست توده میکروبی گردید که دلیل آن افزایش سطح کربن آلی است و با افزایش کربن آلی میزان سوبسترای مورد نیاز جمعیت میکروبی افزوده شده که افزایش جمعیت میکروبی را به همراه دارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه شهرکرد به‌دلیل حمایت‌های مالی از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. بوستانی، ح. ع، رونقی. ۱۳۹۰. مقایسه اثر کاربرد لجن فاضلاب و کود شیمیایی بر عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه اسفناج (*Spinosa olerace* L.) در سه بافت یک خاک آهکی . مجله علوم و فنون کشت های گلخانه‌ای. ۲(۶) : ۷۴-۶۴.

۲. حجتی، س. ف.، نوربخش. و ک. خاوازی. ۱۳۸۵. تاثیر لجن فاضلاب بر شاخص بیومس میکروبی خاک، فعالیت آنزیمی و عملکرد ذرت. مجله علوم خاک و آب ۲(۱): ۹۳-۸۴.

۳. رحیم خانی، ی.، ش. قربانی دشتکی. ۱۳۹۱. کارایی منحنی رطوبتی اندازه گیری شده با دستگاه صفحات فشاری برای شبیه سازی حرکت آب در خاک آبگریز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهرکرد.

۴. فتحی، م. م.، چرم. و ن. عنایتی ضمیر. ۱۳۹۲. تاثیر کاربرد لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات بیولوژی خاک. سیزدهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه شهید چمران اهواز.

۵. قمری گیلوانی، ن. و ش. دانش. ۱۳۸٦. اثرات کاربرد لجن فاضلاب و عملیات آبشویی بر خصوصیلت خاک و کیفیت و عملکرد گیاه جو. مجله تحقیقات کشاورزی. ۸(۳): ۸۰ – ٦۵.

٦. منشادی، ح. د.، م. ع.، بهمنیار، ا. لکزیان و س. سالک گیلانی. ۱۳۹۰. تاثیر کاربرد لجن فاضلاب و لجن غنی شده با کود شیمیایی بر میزان کربن آلی، تنفس و فعالیت آنزیمی خاک تحت کشت گیاه ریحان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی. ۲٦(۳): ۵۵۴ - ۵٦۲.

۷. نادی، ز.، ف. رئیسی و ع. حسین پور. ۱۳۹۰. اثر برخی پساب‌های صنعتی خام و تصفیه شده بر تنفس و کربن زنده میکروبی خاک. مجله دانش آب و خاک ۲۱(۱): ۱۴۸-۱۳۸.

۸. نوروزی، م. و ح. رمضان پور. ۱۳۹۱. اثرات سیلاب و آتش سوزی بر برخی از ویژگی‌های خاک جنگل لاکان در استان گلستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ٦۱(۱۱): ۳۰۰-۲۹۱.

۹. نورمهناد، ن.، س. ح. طباطبایی، م. ح. نوری امامزاده‌ای و ش. قربانی دشتکی. ۱۳۹۲. تعیین منحنی رطوبتی و پارامترهای معادله ون

گنوختن در خاک های آبدوست و آبگریز شده در اثر حرارت. مجله پژوهش های (علوم خاک و آب) ۲۷(۴): ۵۸۲-۵۷۳.

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

11. Afyuni, M. 1987. Extractability of Fe, Zn, and Cd in sludge amended calcareous soils. M.sc Thesis. New Mexico State University, Las Cruces, NM.
12. Anderson, J. P E. 1982. Soil respiration. PP. 831-871. *In*: Page AL, Miller RH and Keeney DR (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA.
13. Anderson, J. P. E. and K. H. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. J. Soil Biol. Biochem. 10: 215-221.
14. Arye, G., J. Tarchitzky and Y. Chen. 2011. Treated wastewater effects on water repellency and soil hydraulic properties of soil aquifer treatment infiltration basins. J. Hydrol. 397: 136-145
15. Burch, G. J., J. D. Moor and J. Burns. 1987. Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff. Hydrol. Process 3:211-222.
16. Chau, H. W., YK. Goh and V. Vujanovic. 2012. Wetting properties of fungi mycelium alter soil infiltration and soil water repellency in a γ sterilized wettable and repellent soil. J. Fungal. Hydrol. 116: 1212-1218.
17. Dar, G. H. 1997. Impact of lead and sewage sludge on soil microbial biomass and carbon and nitrogen mineralization. Bulletin. Environ. Contamin. Tox. 58: 234-240.
18. DeBano, L. F. 1981. Water repellent soils: a state-of-the-art. 21 p. Gen. Technical Report PSW- 46. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
19. Dekker, L. W. and C. G. Ritsema. 1994. How water moves in a water repellent sandy soil. 1. Potential and actual water repellency. Water Resour. Res. 30: 2507-2517.
20. Epstein, E. 1975. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. J. Environ. Qual. 4(1): 139-142.
21. Fernandes, S. A. P., W. Bettiol and C. C. Cerri. 2005. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. J. Appl. Soil. Ecol. 30: 65-77.
22. Gregorich, E.G., M. R. Carter., J. W. Doran, C. E. Dankhyrst and L. M. Dwyer. 1997. Biological attributes of soil quality. PP. 28: 81-104. *In*: E. G. Gregorich and M. R. Catrer (Ed.), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science.
23. Imenson, A. C., J. M. Vertraten, E. J. Van Mullingen and J. Sevink. 1992. The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean type forests. Catena 19: 345-361.
24. Leoppert, R. H. and D. L. Sparks. 1996. Carbonate and gypsum. *In*: D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3: chemical methods. SSSA Madison, WI.
25. McGhie, D. A. and A. M. Posner. 1981. The effect of plant top material on the water repellence of fired sands and water-repellent soils. Aust. J. Agri. Res. 32: 6090-620.
26. Nelson, D. W. and L. E. Summers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. PP. 961-1010. *In*: D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
27. Ojeda, G. S., J. M. Mattana Alcaniz, G. Marando, M. Bonmati., S. K. Woche and J. Bachmam. 2010. Wetting Process and Soil Water retention of a minesoil amended with composted and thermally dried sludge. Geoderma156: 399-409.
28. Rilling, M. C. 2005. A connection between fungal hydrophobias and soil water repellency? Pedobiologia 49: 395-399.
29. Rhoades, J. D. 1986. Soluble salts. PP. 167-179. *In*: Page AL, Miller R.H and Keeney D.R (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Soil Sci. Soc. Am, Madison, WI.
30. Saadat, K., M. Barani Motlagh, E. Dordipour and A. Ghasemnezhad. 2012. Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize. J. Soil. Manage. Sustain. 2: 27-48.
31. Selivanovaskaya, Syu, V. Latypova, S. Kiyamova and F. Alimova. 2001. Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. Agri., Ecosys. Environ. 86: 145-153.
32. Sharma, R. K., M. Arawal and F. M. Marshalla. 2006. Heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Varanasi. India. Bulletion. Environ. contamin. Toxi. 77: 312-318.
33. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. *In*: Method of Soil Analysis. Part3: chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
34. Yaobing, S. M., L. Thampson and C. Shang. 1999. Fraction of phosphorus in a Mollisoil amended with biosolids J. Soil Sci. Soc. Am. 63: 1174-1180.

J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 21, No. 1, Spring 2017, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

The Effect of Urban Sewage Sludge on Chemical Properties, Soil Basal Respiration and Microbial Biomass Carbon in a Calcareous Silty Clay Loam Soil

N. Karimian-Shamsabadi, Sh. Ghorbani Dashtaki* and F. Raiesi[1]

(Received: Feb. 15-2015 ; Accepted: Aug. 23-2016)

Abstract

The use of organic matter such as urban sewage sludge may help sustainable soil fertility via improving the physical, chemical and biological soil characteristics. The main purpose of this study was to determine the effect of urban sewage sludge on chemical properties, soil basal respiration and microbial biomass carbon in a calcareous soil with silty clay loam texture. Therefore, three levels of water repellency (zero, weak and strong) were artificially created in a silty clay loam soil by adding urban sewage sludge (S0=0:100; S50=50:50 and S80=80:20 sludge weight: soil ratio). Water repellency was determined by water drop penetration time (WDPT) method. Also some chemical properties such as soil acidity (pH) and Electrical Conductivity (EC), Soil Organic Carbon (OC), soluble sodium (Na^+) and soluble potassium (K^+) were measured. The samples were incubated at 23-25 ºC for 30 days and their moisture was maintained at 70-80 % under field capacity and soil basal respiration and microbial biomass carbon of incubation period were evaluated. The results showed that the effect of urban sewage sludge on chemical properties was significant ($P \leq 0.0001$). The application of urban sewage sludge led to significant increase in basal respiration (16 and 27 times) and microbial biomass carbon (15.2 and 26.5 times) in the water repellency soils (S50 and S80) compared to control soil. The observed positive effect of sewage sludge might be due to a high content of organic carbon and nutrients in urban sewage sludge and decrease in the labile organic matter and nutrients during incubation period.

Keywords: Basal respiration, Microbial biomass carbon, Soil water repellency, urban sewage sludge

1. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email:Shoja2002@yahoo.com