Archive of SID

مجله دانش آب و خاک/ جلد 21 شماره 1/ سال 1390

اثر برخی پساب‌های صنعتی خام و تصفیه شده بر تنفس و کربن توده زنده میکروبی خاک

زهرا نادی[1]، فایز رئیسی[2*] و علیرضا حسین پور[2]

تاریخ دریافت: 89/1/9 تاریخ پذیرش: 90/1/24

1- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

2- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* مسئول مکاتبه Email:f_raiesi@yahoo.com

چکیده

استفاده از پساب‌ها در اراضی کشاورزی می‌تواند از طریق بهبود نسبی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به حفظ حاصل‌خیزی آن کمک کند. در این مطالعه اثر پساب‌های صنعتی شامل کارخانه‌های ذوب آهن، فولاد مبارکه و پلی اکریل اصفهان به دو شکل تصفیه شده و تصفیه نشده بر تنفس میکروبی، کربن توده زنده میکروبی و ضریب متابولیکی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. یک نمونه خاک رس سیلتی با پساب‌های صنعتی تیمار شده و رطوبت آن در 70% ظرفیت مزرعه‌ای تنظیم گردید. پس از یک دوره کوتاه پیش انکوباسیون، تیمارها در دمای 28 درجه سلسیوس به مدت 16 هفته نگه‌داری شدند. تنفس میکروبی (میزان تولید CO_2) به صورت هفتگی و به مدت 16 هفته و کربن توده زنده میکروبی به صورت ماهیانه و به مدت سه ماه اندازه‌گیری شدند. مطابق نتایج حاصله اثر پساب‌های صنعتی بر تنفس میکروبی معنی‌دار ($P<0/001$) شد در بین پساب‌های مختلف تنها پساب تصفیه نشده پلی اکریل سبب افزایش معنی‌دار تنفس میکروبی تجمعی پس از 16 هفته انکوباسیون گردید، سایر پساب‌ها سبب کاهش تنفس میکروبی تجمعی خاک شدند و یا اختلاف معنی‌دار با خاک شاهد نداشتند. کربن توده زنده میکروبی طی ماه اول و دوم انکوباسیون افزایش یافت ولی در ماه سوم پساب‌های تصفیه نشده ذوب آهن و تصفیه شده و نشده فولاد مبارکه متوسط کربن توده زنده میکروبی را کاهش دادند. اثر آلودگی خاک با پساب‌های صنعتی بر ضریب متابولیکی (qCO_2) خاک طی سه ماه انکوباسیون نیز معنی‌دار ($P<0/001$) بود. مصرف پساب در ماه اول و دوم انکوباسیون سبب کاهش ضریب متابولیکی خاک شد اما طی ماه سوم انکوباسیون پساب‌های تصفیه نشده ذوب آهن و تصفیه شده و نشده فولاد مبارکه این ضریب را افزایش دادند. به طور خلاصه، اگرچه پساب‌ها در مراحل اولیه انکوباسیون سبب افزایش تنفس میکروبی و کربن توده زنده میکروبی و کاهش ضریب متابولیکی شدند، اما پس از اتمام دوره انکوباسیون اغلب پساب‌ها تنفس میکروبی و کربن توده زنده میکروبی را کاهش و ضریب متابولیکی را افزایش دادند. شاید علت این تغییرات، کاهش میزان ترکیبات آلی قابل تجزیه موجود در پساب با گذشت زمان باشد.

واژه‌های کلیدی: پساب صنعتی، تنفس میکروبی، خاک آهکی، ضریب متابولیکی، کربن توده زنده میکروبی

www.SID.ir

Archive of SID

The Influence of some Treated - and Untreated Industrial Wastewaters on Soil Microbial Respiration and Biomass Carbon

Z Nadi[1], F Raiesi[2]* and A Hosseinpur[2]

Received: 29 March 2010 Accepted: 13 April 2011
[1]Former MSc Student, Soil Biology and Biotechnology, Soil Science Dept., University of Shahrekord, Iran
[2] Assoc. Prof., Soil Science Dept., University of Shahrekord, Iran
* Corresponding Author: f_raiesi@yahoo.com

Abstract

The use of waste water 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 industrial wastewaters from three factories, Esfahan Steel Company- Zobahan-, Esfahan Mobarakeh Steel Corporation- Foolad Mobarakeh- and Esfahan Polyacryl Company; in two forms (treated and untreated) on C mineralization, microbial biomass C and metabolic quotient (qCO_2). The response of soil microbiological indices such as C mineralization, microbial biomass C and qCO_2 to the applications of effluent wastewaters over 112 days of incubation period was evaluated under laboratory conditions. Results showed that the effect of industrial wastewaters on C mineralization was significant and the untreated wastewater from Polyacryl Company increased C mineralization significantly. Other wastewaters decreased C mineralization or did not have a significant effect. Microbial biomass C increased during the first and second month of the incubation period, but during the third month the untreated wastewater from Zobahan, treated and untreated wastewater from Foolad Mobarakeh decreased the amount of soil microbial biomass C. The effect of industrial wastewaters on qCO_2 values was substantial and variable. There was a decrease in qCO_2 during the first and second month of incubation period. The application of untreated wastewater from Zobahan, treated and untreated wastewaters from Foolad Mobarakeh increased qCO_2 during the third month of soil incubation. Briefly, the utilization of wastewaters initially increased C mineralization, microbial biomass C and reduced qCO_2, while at the end of the incubation time most wastewaters decreased C mineralization, microbial biomass C and increased qCO_2. This might indicate that the labile organic matter contents in wastewaters were reduced and the concentrations of heavy metals in soil were increased during incubation period.

Keywords: Calcareous soil, Industrial wastewaters, Microbial respiration, Microbial biomass carbon, Metabolic quotient

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آلودگی یکی از معضلات زیان باری است که عمدتا" در جریان بهره برداری از منابع طبیعی و استفاده از سوخت‌های فسیلی به محیط زیست وارد گردیده و این پدیده با صنعتی شدن و نوگرایی جوامع شدت بیشتری یافته است. امروزه با گسترش زندگی ماشینی و بوجود آمدن انواع آلودگی‌های محیطی، کیفیت و سلامت خاک و به تبع آن سلامت موجودات زنده در معرض مشکلات جدی قرار گرفته است (منزوی 1373 و اندیای و همکاران).

منظور از آلودگی محیط زیست ایجاد تغییرات نامطلوب در مشخصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع اصلی حیات یعنی آب، هوا و خاک و به مقداری است که بقا و سلامت انسان و دیگر موجودات را به خطر انداخته و یا فعالیت آنها را محدود سازد (حاج رسولی‌ها و همکاران 1385). امروزه یکی از منابع آلوده کننده محیطی استفاده از پساب و لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی می‌باشد. پساب و لجن فاضلاب نه تنها حاوی عناصر غذایی و مواد آلی هستند بلکه حاوی عناصر سنگینی است که می‌توانند برای مدت طولانی در خاک باقی بمانند و با گذشت زمان غلظت آنها در خاک زیاد می‌شود (سلیوانوزکیا و همکاران 2001). با این وجود پساب‌ها پس از تصفیه، و کاهش غلظت عناصر سنگین و عوامل بیماری زا ممکن است به عنوان بهترین منبع مکمل برای آبیاری زمین‌های کشاورزی به حساب بیایند (ملی و همکاران 2002). البته استفاده از پساب و لجن‌های صنعتی نیاز به توجه و بررسی بیشتری دارد چرا که این مواد به دلیل بوی بد، پتانسیل انتشار انواع بیماری‌های واگیردار و حضور عناصر سمی تا حدودی می‌توانند خطر آفرین باشند اما با این وجود به دلیل دارا بودن کربن و نیتروژن می‌توانند اثرات مفیدی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته باشند (زمان و همکاران 2004). به منظور اطمینان از موثر بودن و بی خطر بودن فاضلاب‌ها به عنوان یک اصلاح کننده در خاک، کنترل و بررسی کیفیت شیمیایی این مواد ضروری است و به همین منظور اثر این مواد را بر شاخص‌های بیولوژیکی اندازه‌گیری می‌کنند. امروزه شاخص‌های کیفی حساس خاک که اثر این گونه مواد کاربردی در خاک را بازتاب می‌کنند، رو به گسترش است (گارسیا و همکاران 2004).

چانگ و همکاران (1981) گزارش کردند که خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب حاوی عناصری مانند کادمیم، سرب و نیکل در خاک‌های سطحی هستند که می‌تواند توسط کانی‌های رسی، هیدروکسیدهای آهن و منگنز جذب سطحی شوند و یا با ماده آلی خاک کمپلکس تشکیل دهند، بنابراین در این خاک‌ها اثرات فلزات سنگین به مدت طولانی بر جای خواهد ماند. اما در مقابل کوشلاقی و همکاران (2008) گزارش نمودند که آبیاری اراضی کشاورزی با پساب‌های تصفیه نشده سبب افزایش 20 تا 30 درصدی ماده آلی خاک و نیز سبب افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک می‌شود.

نتایج برخی مطالعات بر افزایش تنفس خاک بر اثر مصرف پساب دلالت دارد (دار 1997 و کورتف 2001) که می‌تواند ناشی از افزایش میزان نیتروژن و کربن موجود در خاک باشد (کوشلاقی و همکاران 2008). ملی و همکاران (2002) گزارش کردند که تنفس میکروبی در خاک‌های آبیاری شده با پساب افزایش معنی‌دار داشت. وی افزایش عناصر غذایی مورد نیاز رشد میکروبی بر اثر افزودن پساب را عامل تحریک فعالیت میکروبی و افزایش خروج دی اکسید کربن از خاک دانست. این در حالی است که نتایج برخی مطالعات دیگر کاهش تنفس میکروبی را بر اثر مصرف فاضلاب‌های صنعتی نشان می‌دهند، زیرا فاضلاب‌ها نه تنها حاوی عناصر غذایی و ترکیبات آلی مختلف هستند بلکه حاوی عناصر سنگین نیز هستند که می‌توانند برای مدت طولانی در خاک باقی بماند و با گذشت زمان غلظت آنها در خاک زیاد شود و فعالیت بیولوژیکی از جمله تنفس میکروبی را تحت تأثیر قرار دهد (بانرجی و همکاران 1997).

توده زنده میکروبی بخش لبایل (ناپایدار) کربن خاک با زمان برگشت بسیار کوتاه است و بدین ترتیب منبع عناصر غذایی سهل‌الوصول برای گیاه است و در

www.SID.ir

Archive of SID

واقع معدنی شدن کربن و نیتروژن آلی را کنترل می‌کند (راباچ و جورجنسن 2002). توده زنده میکروبی خاک نیز به مصرف پساب در کشاورزی واکنش نشان می‌دهد. جیمنز و همکاران (2007) گزارش کردند افزودن فاضلاب به خاک ابتدا سبب افزایش توده زنده میکروبی خاک و سپس کاهش آن در طول زمان انکوباسیون شد. آنها این تغییرات را به کاهش ترکیبات آلی قابل تجزیه با گذشت زمان و افزایش غلظت عناصر سنگین نسبت دادند.

به این ترتیب، حفظ باروری و حاصل‌خیزی خاک و در عین حال جلوگیری از آلودگی آن یک امر ضروری جهت تولید و کشاورزی پایدار می‌باشد. به این منظور، برای استفاده از پساب‌ها و لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی بررسی همه جانبه ابعاد بیولوژیکی و زیست محیطی آنها ضروری به نظر می‌رسد.

در استان اصفهان به دلیل وجود کارخانه‌های صنعتی زیاد، امروزه تولید پساب و لجن فاضلاب رو به گسترش است، به همین منظور می‌توان با بررسی همه جانبه اثرات بیولوژیکی و زیست محیطی این مواد، از آنها جهت آبیاری اراضی کشاورزی و توسعه فضای سبز به منظور کاهش آلودگی هوا نیز بهره برد. با این حال، اثرات مصرف پیوسته پساب و فاضلاب بر خصوصیات بیولوژیکی و موجودات زنده خاک نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

هدف از این تحقیق بررسی اثر انواع پساب‌های صنعتی شامل کارخانه‌های ذوب آهن، فولاد مبارکه و پلی اکریل اصفهان به دو شکل تصفیه شده و تصفیه نشده بر فعالیت میکروبی شامل تنفس و توده زنده میکروبی بود. فرض این مطالعه چنین بود که پساب‌های صنعتی سبب کاهش تنفس و توده زنده میکروبی خواهند شد و اثر آنها تابع نوع و ترکیب پساب مصرفی است.

مواد و روش‌ها

این طرح به منظور بررسی اثر انواع پساب‌های صنعتی بر فعالیت میکروبی از طریق سنجش تنفس میکروبی، کربن توده زنده میکروبی ، ضریب متابولیکی و شاخص کربن توده زنده میکروبی بر کربن آلی خاک، در یک خاک آهکی با ماده آلی اندک و pH نسبتا" بالا تحت شرایط انکوباسیون آزمایشگاهی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه نوع پساب صنعتی ذوب آهن، فولاد مبارکه و پلی اکریل اصفهان به دو شکل تصفیه شده و تصفیه نشده (خام) بود که در قالب طرح پایه کاملا" تصادفی در سه تکرار اجرا گردید.

جدول1- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

خصوصیت	مقدار
شن ($g\ kg^{-1}$)	120
سیلت ($g\ kg^{-1}$)	450
رس ($g\ kg^{-1}$)	430
بافت	رس سیلتی
رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (% حجمی)	22
کربنات کلسیم معادل (%)	41
pH (عصاره 1:2/5)	7/8
هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$) (عصاره 1:2/5)	0/23
P ($mg\ kg^{-1}$)	7/3
نیتروژن کل (%)	0/058
کربن آلی (%)	0/6
C/N	10/34
OM ($mg\ g^{-1}$)	10/3

یک نمونه خاک اما بدون افزودن پساب به عنوان شاهد نیز در آزمایش لحاظ گردید. یک مزرعه زراعی جهت نمونه برداری انتخاب و از لایه سطحی (عمق 30- 0 سانتی متر) خاک نمونه برداری صورت گرفت. نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی متری عبور داده شد. سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH، قابلیت هدایت الکتریکی (رودز 1982)، کربن آلی (نلسون و سومرز 1982)، نیتروژن کل (برمر و مولوانی 1982)، فسفر قابل

www.SID.ir

Archive of SID

جذب (اولسن و سومرز 1982)، مقدار کربنات کلسیم معادل (روش تیتراسیون برگشتی) و بافت خاک به روش هیدرومتری (گی و بادر 1982) مورد ارزیابی قرار گرفتند. خصوصیات خاک مورد آزمایش در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 2 - برخی خصوصیات شیمیایی پساب‌های مورد استفاده در آزمایش

نوع پساب	B	Zn	Mn	Fe	Ni	Cu	Co	EC	pH
تصفیه شده فولاد مبارکه	0	1	26	229	72	11	0	1/52	9/43
تصفیه نشده فولاد مبارکه	0	29	66	1350	85	11	25	1/95	6/78
تصفیه شده ذوب آهن	0	5	29	177	65	9	0	2/04	8/46
تصفیه نشده ذوب آهن	5830	68	35	284	74	15	2	3/21	9/32
تصفیه شده پلی اکریل	0	18	29	327	68	9	2	2/95	7/55
تصفیه نشده پلی اکریل	234	233	294	3240	106	26	8	3/65	8/04

غلظت عناصر بر حسب ppb و هدایت الکتریکی (EC)بر حسب $dS\ m^{-1}$ می‌باشد.

نمونه‌برداری پساب‌های مورد استفاده در این تحقیق، از حوضچه‌های جمع آوری پساب سه کارخانه ذوب آهن، فولاد مبارکه و پلی اکریل اصفهان انجام گرفت. این نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و خصوصیات شیمیایی آنها از قبیل pH، قابلیت هدایت الکتریکی (رودز 1982) و فلزات سنگین از قبیل بر، کبالت، مس، آهن، منگنز، نیکل و روی (با استفاده از دستگاه جذب اتمی) اندازه گیری گردید (غازان شاهی 1376) که در جدول 2 ارائه گردیده است.

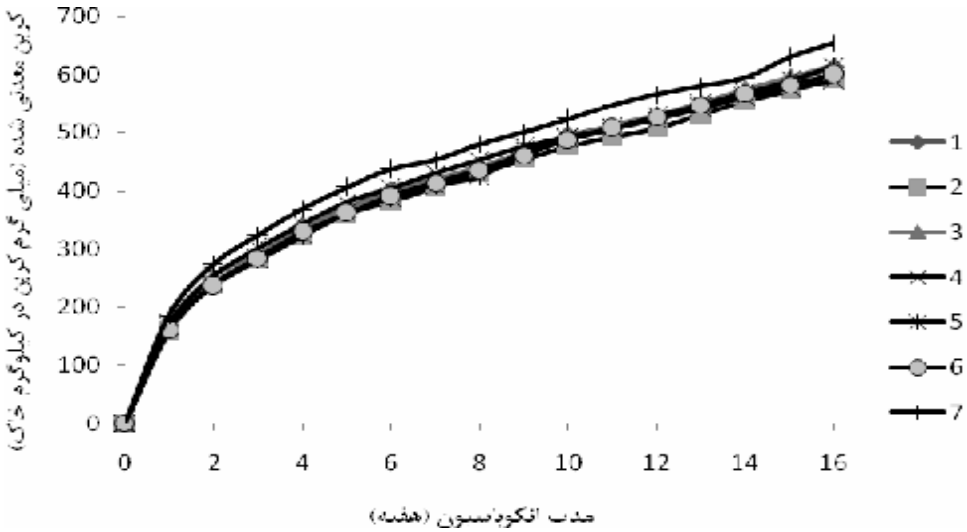
به منظور اندازه گیری تنفس و کربن توده زنده میکروبی، به ترتیب معادل 100 و 250 گرم خاک آون خشک پس از توزین دقیق به ظروف پلاستیکی یک لیتری انتقال داده شد و سپس تیمارهای مختلف روی آنها اعمال گردید. بدین ترتیب که رطوبت خاک با استفاده از پساب به 80-70 درصد ظرفیت مزرعه‌ای (رطوبت معادل 0/3 بار با دستگاه صفحات فشار) رسانده شد و این رطوبت تا پایان آزمایش با توزین کردن متوالی کنترل گردید. به منظور حذف خطاهای آزمایشگاهی سه نمونه خاک شاهد اما بدون پساب نیز به همان روش تهیه گردید. نمونه‌ها به مدت سه روز پیش انکوباسیون و پس از آن برای مدت سه ماه در انکوباسیون در درجه حرارت 25 درجه سلسیوس خوابانده شدند و سپس تنفس میکروبی تجمعی به مدت 112 روز به فاصله هر هفته یکبار (اندرسون 1982) و کربن توده زنده میکروبی به مدت 90 روز و هر ماه یکبار به روش تدخین (با کلروفرم)-انکوباسیون اندازه-گیری شدند (جنکینسون و لاد 1981). برای محاسبه ضریب متابولیکی از تقسیم میزان تنفس پایه[1] (BR) نمونه‌های تدخین نشده طی 10 روز انکوباسیون بر کربن توده زنده میکروبی[2] (MBC) استفاده شد (دیلی و مانچ 1996).همچنین نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی خاک به عنوان یکی دیگر از شاخص‌های بیولوژیکی خاک نیز اندازه‌گیری گردید.

نتایج این طرح در قالب طرح پایه کاملا" تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال 5% با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه 9) انجام شد. برای بهره‌گیری از تجزیه واریانس‌ها، داده‌های خام و باقی مانده آنها برای نرمال بودن و همگنی واریانس تیمارها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

[1] Basal respiration
[2] Microbial Biomass Carbon

www.SID.ir

Archive of SID



شکل1 - اثر پساب‌های صنعتی بر روند معدنی شدن کربن آلی خاک طی 112 روز انکوباسیون آزمایشگاهی بدون پساب، 2- پساب تصفیه شده ذوب آهن، 3- پساب تصفیه نشده ذوب آهن، 4- پساب تصفیه شده فولاد مبارکه، 5- پساب تصفیه نشده فولاد مبارکه، 6- پساب تصفیه شده پلی اکریل و 7- پساب تصفیه نشده پلی اکریل

نتایج و بحث

اثر پساب بر تنفس میکروبی

نتایج جدول 3 اثر معنی‌دار ($P< 0/001$) انواع پساب‌های صنعتی بر تنفس تجمعی خاک را نشان می-دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول 3 و شکل 1) در بین پساب‌های مختلف تنها پساب تصفیه نشده پلی اکریل سبب افزایش معنی‌دار تنفس تجمعی پس از 16 هفته انکوباسیون گردید که می‌تواند به دلیل غلظت بالای عناصر غذایی از قبیل آهن، روی، مس و منگنز (جدول2) در این پساب باشد. از طرفی این افزایش می‌تواند احتمالا" به دلیل وجود کربن و نیتروژن موجود در این پساب نیز باشد. اما سایر پساب‌ها سبب کاهش تنفس تجمعی خاک شدند و یا اختلاف معنی‌دار با خاک شاهد نداشتند که می‌تواند ناشی از وجود عناصر سنگین و سمی (نیکل،سرب و...) و سایر ترکیبات سمی اندازه-گیری نشده (فنول، کادمیم، آرسنیک و...) در این پساب‌ها باشد. افزایش در تنفس تجمعی بر اثر مصرف پساب در مطالعات گذشته نیز گزارش شده است. دار (1997) گزارش کرد که کاربرد فاضلاب سبب افزایش میزان نیتروژن و کربن موجود در خاک می‌شود و از این رو می‌تواند سبب افزایش تنفس میکروبی در خاک شود. همچنین کوشلاقی و همکاران (2008) نیز نشان دادند که آبیاری اراضی با پساب‌های با BOD بالا می-تواند سبب افزایش کربن آلی خاک به بیش از 22 تا 30 درصد در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب معمولی شود. در نتیجه انتظار می‌رود که با افزودن پساب به خاک فعالیت میکروبی و به تبع آن تنفس میکروبی افزایش یابد. همچنین ملی و همکاران (2002) نشان دادند که تنفس میکروبی در خاک‌های آبیاری شده با پساب به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش عناصر غذایی مورد نیاز رشد میکروبی بر اثر افزودن پساب است. کاهش تنفس میکروبی بر اثر مصرف فاضلاب‌های صنعتی نیز در پژوهش‌های متعددی به اثبات رسیده است. به عنوان مثال، بانرجی و همکاران (1997) گزارش کردند که پساب‌های صنعتی نه تنها حاوی عناصر غذایی و مواد آلی هستند بلکه حاوی عناصر سنگین نیز هستند که می‌تواند برای مدت طولانی در خاک باقی بماند و با گذشت زمان غلظت آنها در

www.SID.ir

Archive of SID

خاک زیاد شود و فعالیت بیولوژیکی از جمله تنفس میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

اثر پساب بر کربن توده زنده میکروبی

توده زنده میکروبی فاکتور مهمی است که معدنی شدن عناصر بیولوژیک نظیر کربن، نیتروژن، فسفر و گوگرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (راباچ و جورجنسن 2002). جدول 3 اثر معنی‌دار ($P<0/001$) مصرف پساب را بر توده زنده میکروبی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزودن پساب به خاک، کربن توده زنده میکروبی طی ماه اول و دوم انکوباسیون افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد (جدول 3) و این احتمالا" به دلیل ورود کربن آلی به خاک بر اثر مصرف پساب می‌باشد. کربن توده زنده میکروبی طی ماه سوم انکوباسیون در خاک‌های تیمار شده با پساب تصفیه نشده ذوب آهن و با پساب‌های تصفیه شده و تصفیه نشده فولاد مبارکه کاهش معنی‌دار یافته است. در حالی که پساب‌های تصفیه شده و نشده پلی اکریل همچنان سبب افزایش معنی‌دار کربن توده زنده میکروبی شده‌اند. این کاهش به دلیل کاهش منابع انرژی موجود در پساب با گذشت زمان و یا تجمع عناصر سنگین در خاک مانند نیکل، کبالت و آهن و سایر ترکیبات سمی موجود در پساب در خاک می‌باشد (جدول 2).

جدول3- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسه میانگین (n=3) اثر پساب‌های صنعتی بر معدنی شدن تجمعی کربن (C_{min}) و توده زنده میکروبی (MBC).

تیمار پساب	C_{min} (mg C kg^{-1})	MBC (mg C kg^{-1})				MBC/C_{org}
	112 (روز)	30 (روز)	60 (روز)	90 (روز)	میانگین	(%)
بدون پساب	612 ^{BC}	118^{C}	71/3^{D}	61/6^{C}	83^{E}	1/39^{E}
تصفیه شده ذوب آهن	592 ^{D}	197 ^{A}	151^{A}	63^{C}	137^{A}	2/28^{A}
تصفیه نشده ذوب آهن	615 ^{B}	198 ^{A}	125^{C}	41^{D}	121^{BC}	2/02^{BC}
تصفیه شده فولاد مبارکه	589^{D}	177 ^{B}	139^{AB}	24^{E}	113^{D}	1/88^{D}
تصفیه نشده فولاد مبارکه	615 ^{B}	194 ^{A}	130^{BC}	31^{E}	118^{CD}	1/97^{CD}
تصفیه شده پلی اکریل	600^{CD}	193 ^{A}	128^{BC}	87^{A}	136^{A}	2/27^{A}
تصفیه نشده پلی اکریل	654 ^{A}	186 ^{AB}	117^{C}	77^{B}	127^{B}	2/11^{B}
$LSD_{(0.05)}$	14/89	14/29	13/39	8/17	7/48	0/125
MS	1411	2431	1930	1668	988	0/274
MSe	72/38	66/61	58/47	21/79	18/25	0/005

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین پساب‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال 0/05 می‌باشند.
C_{org} کربن آلی خاک می‌باشد.

مقایسه میانگین‌های توده زنده میکروبی بین تیمارها (جدول 3) نشان می‌دهد که صرف نظر از مدت زمان انکوباسیون، در بین پساب‌های مختلف، پساب تصفیه نشده هر کارخانه نسبت به پساب تصفیه شده آن کربن توده زنده میکروبی را بیشتر کاهش داده است و یا تفاوت معنی‌دار با پساب تصفیه شده ندارد. همچنین تمام انواع پساب سبب افزایش کربن توده زنده میکروبی شده‌اند اما این افزایش در پساب‌های تصفیه شده بیشتر از پساب‌های تصفیه نشده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسه میانگین(3 -n) اثر پساب‌های صنعتی بر ضریب متابولیکی خاک (qCO2)

تیمار پساب	qCO_2 ($\mu g\ CO_2\text{-}C\ mg^{-1}\ C\text{-}MBC\ day^{-1}$)			
	30 (روز)	60 (روز)	90 (روز)	میانگین
بدون پساب	135^{A}	236^{A}	92^{D}	154^{B}
تصفیه شده ذوب آهن	36^{D}	$29/8^{D}$	117^{D}	$61/35^{E}$
تصفیه نشده ذوب آهن	66^{B}	81^{C}	348^{B}	165^{B}
تصفیه شده فولاد مبارکه	42^{CD}	75^{C}	570^{A}	229^{A}
تصفیه نشده فولاد مبارکه	47^{C}	34^{D}	279^{C}	120^{C}
تصفیه شده پلی اکریل	68^{B}	74^{C}	109^{D}	$83/97^{D}$
تصفیه نشده پلی اکریل	65^{B}	101^{B}	125^{D}	$97/49^{D}$
$LSD_{(0.05)}$	7/79	19/67	47/75	17/36
MS	3304	14332	94625	9863
MSe	19/82	126	743	98

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین پساب‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال 0/05 می‌باشند.

افزایش کربن توده زنده میکروبی بر اثر افزودن پساب به خاک نشان می‌دهد که خاک مورد مطالعه، برای آنکه بتواند از حضور جمعیت میکروبی حمایت کند، نیازمند کربن به عنوان مهمترین عامل محدود کننده افزایش جمعیت میکروبی است. جیمنز و همکاران (2007) نشان دادند توده زنده میکروبی خاک با افزودن فاضلاب به خاک در ابتدا افزایش می‌یابد و سپس در طول زمان انکوباسیون کاهش خواهد یافت زیرا میزان ترکیبات آلی قابل تجزیه با گذشت زمان کاهش می‌یابد.

اثر پساب بر نسبت MBC/C_{org}

یکی از شاخص‌های بیولوژیکی خاک، نسبت کربن توده زنده میکروبی به کربن آلی خاک می‌باشد. افزایش این نسبت در خاک نمایانگر افزایش میزان کربن پویای خاک و در نتیجه بهبود کیفیت خاک از لحاظ فقر کربن آلی می‌باشد. معمولا" تنش‌های محیطی سبب کاهش این نسبت در خاک می‌گردند. در شرایط تنش زا، کربن توده زنده میکروبی سریع تر از کل کربن آلی خاک کاهش می‌یابد (بانرجی و همکاران 1997، آندرسون 2003، دیای و همکاران 2004). همان‌طور که در جدول 3 مشاهده می‌شود افزودن پساب‌های صنعتی این نسبت را افزایش داده است. افزایش این نسبت بر اثر افزودن پساب به خاک می‌تواند به دلیل افزایش کربن و عناصر غذایی در خاک و در نتیجه افزایش کربن توده زنده میکروبی باشد. ویتر و کانال (1998) گزارش نمودند که شاخص فوق تابع شرایط آب و هوایی، pH، تناوب زراعی، عملیات خاکورزی، بافت خاک و مقدار و کیفیت کربن افزوده شده به خاک می‌باشد. آنها همچنین گزارش نمودند که این نسبت بین 2/3 تا 2/9 در خاک‌ها و شرایط مختلف متغیر است. نتایج تحقیقات{ آنها نشان داد افزودن کربن آلی به خاک این نسبت را افزایش می‌دهد چرا که با افزایش کربن خاک، کربن توده زنده میکروبی یا به عبارتی جمعیت میکروبی خاک افزایش می‌یابد. موسکاتلی و همکاران (2007) نیز گزارش نمودند بالا بودن این نسبت در خاک نشان می‌دهد که کسر وسیعی از کربن توده زنده میکروبی خاک بوسیله حضور مقدار زیاد و قابل

www.SID.ir

Archive of SID

دسترس سوبسترا حمایت می‌شود. آنها مقدار این نسبت را در خاک‌ها و شرایط مختلف کشت 1/3 تا 2/5 گزارش نمود. آندرسون (2003) نشان داد افزایش نسبت کربن توده زنده میکروبی بر کربن آلی خاک نشان می-دهد که کربن موجود در خاک بر اثر افزودن اصلاح کننده‌های آلی به خاک صرف رشد میکروبی شده است نه تنفس میکروبی و تولید انرژی. بنابراین هنگامی که تنفس جامعه میکروبی خاک کم می‌شود، کربن بیشتری صرف تولید و تشکیل توده زنده میکروبی می‌گردد و در نتیجه این نسبت افزایش می‌یابد. وی گزارش نمود این نسبت بیانگر کربن موجود برای رشد میکروبی است و در اراضی مختلف مقدار آن بین 2 تا 4/4 متغیر است.

اثر پساب بر ضریب متابولیکی خاک (qCO_2)

معمولا" از این نسبت به عنوان شاخص مناسب جهت تعیین وضعیت تنش یا استرس در اکوسیستم خاک استفاده می‌شود. تحت شرایط تنش این ضریب افزایش می‌یابد، زیرا ریزجانداران خاک برای حفظ توده زنده خود به صرف انرژی بیشتری نیازمند هستند (آندرسون 2003).

همان‌طور که در جدول 4 مشاهده می‌شود اثر انواع پساب‌های صنعتی بر ضریب متابولیکی خاک معنی‌دار می‌باشد به طوری که انواع پساب‌های صنعتی مورد استفاده سبب کاهش این ضریب درطی ماه اول و دوم انکوباسیون شده‌اند. کاهش ضریب متابولیکی بر اثر افزودن پساب می‌تواند به دلیل افزایش کربن آلی به خاک باشد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود مصرف پساب‌های تصفیه نشده ذوب آهن، تصفیه شده و نشده فولاد مبارکه سبب افزایش معنی‌دار این ضریب طی ماه سوم انکوباسیون شده است. مصرف پساب در 60 روز ابتدایی انکوباسیون با تأمین کربن آلی در خاک سبب افزایش کربن توده زنده میکروبی و در نتیجه کاهش ضریب متابولیکی گردیده است. در اواخر دوره انکوباسیون به دلیل کاهش منابع انرژی و تجمع فلزات سنگین سبب کاهش توده زنده میکروبی و در نتیجه افزایش ضریب متابولیکی شده است.

ملی و همکاران (2002) گزارش نمودند که میزان qCO_2 در خاک‌های آبیاری شده با پساب کاهش معنی‌دار می‌یابد که نشان دهنده تأمین انرژی و مواد غذایی مورد نیاز جامعه میکروبی خاک توسط این مواد است. موسکاتلی و همکاران (2007) گزارش نمودند ضریب متابولیکی خاک کارایی میکروب‌ها در استفاده از کربن و انرژی و درجه محدودیت بستره (سوبسترا) برای فعالیت ریزجانداران خاک را نشان می‌دهد. آنها همچنین اظهار نمودند بالا بودن این ضریب در خاک می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که کربن خاک بیشتر صرف تولید انرژی شده است، در حالی که پایین بودن این ضریب نشان می‌دهد که کربن خاک بیشتر صرف رشد میکروبی می‌گردد.

نتیجه گیری کلی

طی سه ماه انکوباسیون متوسط کربن توده زنده میکروبی در تمام تیمارها افزایش معنی‌دار نشان داد. پساب‌های تصفیه شده و تصفیه نشده ذوب آهن، پساب‌های تصفیه شده و تصفیه نشده فولاد مبارکه و پساب‌های تصفیه شده و تصفیه نشده پلی اکریل به ترتیب سبب افزایش 65%، 45%، 36%، 42%، 64% و 53% کربن توده زنده میکروبی در مقایسه با خاک شاهد (بدون پساب) شدند. در بین پساب‌های مختلف تنها پساب تصفیه نشده پلی اکریل سبب افزایش معنی‌دار تنفس میکروبی تجمعی پس از 16 هفته انکوباسیون گردید که می‌تواند به دلیل غلظت بالای عناصر غذایی از قبیل آهن،روی، مس و منگنز در این پساب باشد. از طرفی این افزایش می‌تواند احتمالا" به دلیل وجود کربن و نیتروژن موجود در این پساب نیز باشد.

در بین تیمارهای مختلف پساب، خاک تیمار شده با پساب تصفیه شده فولاد مبارکه بالاترین ضریب متابولیکی را به همراه داشت. این اثر می‌تواند به دلیل pH بالای این پساب نسبت به سایر پساب‌ها باشد که سبب تغییر ترکیب جامعه میکروبی به سمت جمعیت

www.SID.ir

Archive of SID

باکتریایی می‌شود زیرا باکتری‌ها درpH بالاتر فراوان‌تر و فعال‌تر هستند. به نظر می‌رسد ترکیبات آلی موجود در خاک تیمار شده با پساب بیشتر صرف تأمین انرژی می‌شوند تا رشد میکروبی، و در نتیجه تنفس خاک افزایش و به تبع آن ضریب متابولیکی افزایش می‌یابد. از طرفی کاهش توده زنده میکروبی در ماه سوم انکوباسیون در خاک تیمار شده با پساب تصفیه شده فولاد مبارکه نیز می‌تواند دلیل افزایش ضریب متابولیکی خاک باشد.

به طور خلاصه، نتایج نشان داد گرچه پساب‌ها در مراحل اولیه انکوباسیون سبب افزایش تنفس میکروبی و توده زنده میکروبی و کاهش ضریب متابولیکی شدند اما در انتهای دوره انکوباسیون اغلب پساب‌های مصرفی تنفس تجمعی و توده زنده میکروبی را کاهش و ضریب متابولیکی را افزایش دادند. علت این می‌تواند کاهش میزان ترکیبات آلی قابل تجزیه موجود در پساب با گذشت زمان باشد.

تشکر و سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه شهرکرد تقدیر به عمل می‌آید. همچنین از آقایان مهندس ستاری، هرندی و نقدی به ترتیب مدیران بهداشت صنعتی شرکت‌های فولاد مبارکه، پلی اکریل و ذوب آهن اصفهان به خاطر همکاری و فراهم نمودن پساب‌های مورد استفاده در این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

علی اصغرزاد ن، 1376. میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک، انتشارات دانشگاه تبریز.

حاج رسولی‌ها ش، امینی ح، هودجی م و نجفی پ، 1385. زیست ردیابی آلودگی هوا و خاک در منطقه اصفهان. پژوهش در علوم کشاورزی، جلد دوم، شماره 2. صفحه‌های 39 تا 54.

غازان شاهی ج، 1376. آنالیز خاک و گیاه (ترجمه)، انتشارات مترجم. تهران.

منزوی م، 1373. فاضلاب شهری (جمع آوری فاضلاب) انتشارات دانشگاه تهران. جلد اول.

Anderson JPE, 1982. Soil respiration. Pp. 831-871. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.

Anderson TH, 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment 98: 285-293.

Banerjee MR, Burton DL and Depoe S, 1997. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. Agriculture, Ecosystems and Environment 66: 241-249.

Bremmer JM and Mulvaney CS, 1982. Nitrogen total. Pp.595-624. In: In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.

Chang AL, Page AL and Bingham FT, 1981. Chemical composition of wastewater sludge. Water Pollution Control Federation 53: 237-243.

www.SID.ir

Archive of SID

Dai J, Becquer T, Rouiller JH, Reversat G, Bernhard-Reversat F and Lavelle P, 2004. Influence of heavy metals on C and N mineralisation and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. Applied Soil Ecology 25: 99-109.

Dar GH, 1997. Impact of lead and sewage sludge on soil microbial biomass and carbon and nitrogen mineralization. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 58: 234-240.

Dilly O and Munch JC, 1996. Microbiol biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a black alder (*Aluns Glutinosa* (L). Gaertn.) forest. Soil Biology and Biochemistry 28: 1073-1081.

García-Gil JC, Plaza C, Senesi N, Brunetti G and Polo A, 2004. Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of a semiarid Mediterranean soil. Biology and Fertility of Soils 39: 320-328.

Gee GW and Bauder JW, 1982. Particle-size analysis. Pp. 384-411. In: Klute A (ed). Methods of Soil Analyses. Part 1: Physical and Mineralogical Properties. 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.

Jenkinson DS and Ladd JN, 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. Pp. 415-471. In: Paul EA, Ladd JN (eds) Soil Biochemistry, Volume 5, Marcel Dekker, New York.

Jimenez P, Ortiz O, Tarrason D, Ginovart M and Bonmati M, 2007. Effect of differently post-treated dewatered sewage sludge on β-glucosidase activity, microbial biomass carbon, basal respiration and carbohydrates contents of soils from limestone quarries. Biology and Fertility of Soils 44: 393-398.

Meli S, Porto M, Belligno A, Mazzatura A and Scopa A, 2002. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. The Science of the Total Environment 285: 69-77.

Moscatteli MC, Di Tizio A, Marinari S and Grego S, 2007. Microbial indicators related to soil carbon in mediterranean land use systems. Soil and Tillage Research 97: 51-59.

Ndiaye EL, Sandeno JM, McGrath D and Dick RP, 2000. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. American Journal of Alternative Agriculture 15: 20-36.

Nelsons BW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539-579. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.

Olsen SR and Sommers LE 1982. Phosphorous. Pp. 403-427. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.

Qishlaqi A, Moore F and Forghani G, 2008. Impact of untreated wastewater irrigation on soil and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. Environment Monitoring Assessment 141: 257-273.

www.SID.ir

Archive of SID

Raubuch M and Joergensen RG, 2002. C and N mineralization in a coniferous forest soil: the contribution of the temporal variability of microbial biomass C and N. Soil Biology and Biochemistry 34: 841-849.

Rhoades, JD, 1982. Soluble salts. Pp. 167-169. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds), Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI..

Selivanovskaya Syu, Latypova VZ, Kiyamova SN and Alimova FK, 2001. Use of microbial parameters to assess treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. Agriculture, Ecosystems and Environment 86: 145-153.

Witter E and Kanal A, 1998. Characteristics of the soil microbial biomass in soils from a long-term field experiment with different levels of C input. Applied Soil Ecology 10: 37-49.

Zaman M, Matsushima M, Chang SX, Inubushi K, Nguyen L, Goto S, Kaneko F and Yoneyama T, 2004. Nitrogen mineralization, N_2O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts. Biology and Fertility of Soils 40: 101-109.

www.SID.ir