

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清漪,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响

莫艳华, 汤佳, 张仁铎*, 李方舟

(中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275)

摘要: 通过室内培养实验研究了外加营养源条件下微生物黏结剂(真菌菌丝和微生物胞外多糖)对土壤稳定性的影响以及微生物在不同粒径团聚体中的分布. 所加营养源分别为葡萄糖(以 C 计)和硝酸铵(以 N 计), 实验周期为 30 d. 实验设计包括对照($0.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)、CN5($0.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $0.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, C/N=5)、CN10($0.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, $0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, C/N=10)3 个水平. 结果表明, 3 个处理的土壤呼吸速率十分接近, 最大值都在 $3.10 \text{ mg} \cdot (\text{h} \cdot \text{kg})^{-1}$ 左右, 说明无机氮肥的施加短期内对葡萄糖的矿化作用不明显. 除培养第 5 d CK 的大团聚体形成量(15.67%)显著低于 CN5(25.32%)和 CN10(24.63%)外, 其余培养期间 3 个处理的团聚体含量总体无显著性差异, 表明本实验中葡萄糖对微生物的影响较大, 覆盖了施加无机氮的影响, 从而导致团聚体含量之间差异不显著.

关键词: 葡萄糖; 无机氮; 团聚体; 真菌菌丝; 微生物胞外多糖

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0952-06

Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients

MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, LI Fang-zhou

(School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: In this study, we investigated the effects of biological aggregating agents (fungal hyphae and microbial extracellular polysaccharides) soil aggregate (with different sizes) stability under addition of exogenous nutrients. The exogenous nutrients included glucose and ammonium nitrate. Experiments were conducted in a 30 d incubation period with three treatments: ① the control ($0.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ soil); ② CN5 ($0.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ soil, $0.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ soil, C/N=5); ③ CN10 ($0.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ soil, $0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ soil, C/N=10). Results showed that soil respiration rates were not significantly different among the three treatments, with maximums being about $3.10 \text{ mg} \cdot (\text{h} \cdot \text{kg})^{-1}$, indicating that the impact of inorganic nitrogen fertilizer was not obvious in a short term. Aside from 5 d, macroaggregates amount of CK (15.67%) was observably lower than those of CN5 (25.32%) and CN10 (24.63%), there were no remarkable discrepancies among 3 treatments in other incubation period. The insignificant difference in the aggregate amounts among the three treatments suggested that the influence of glucose on microbial activities surpassed the inorganic nitrogen fertilizer in short-term in the study.

Key words: glucose; inorganic nitrogen; soil aggregate; fungal hyphae; microbial extracellular polysaccharides

全球温室效应导致诸多环境生态问题,并影响到人类的生存、生活及社会发展. 土壤碳汇是缓解温室效应的有效途径之一. 土壤团聚体作为土壤结构的重要组成部分,对土壤的物理、化学和生物性质都起着重要的调节作用. 同时,土壤团聚体可以保护团聚体内部的有机质并减少其被微生物酶分解利用,从而减少土壤温室气体排放的机会^[1].

土壤团聚体的形成和稳定受到多种因素的共同影响,比如土壤中黏粒含量,有机质的种类和数量等^[2]. 以往许多研究表明,在土壤团聚体化过程中,微生物在其中起着极其重要的作用,是影响团聚体形成的重要因素之一^[3]. 近年来,很多学者基于 Elliott 等^[4]在 1986 年提出的团聚体分层理论,研究微生物黏结剂(如真菌菌丝和微生物胞外多糖等)在土壤团聚体形成过程中的作用. 在不同的研究中,

微生物黏结剂在团聚体化过程中起到不同作用. Abiven 等^[5]研究发现微生物胞外多糖的变化与团聚体的稳定性具有较好的相关性,而 Bossuyt 等^[6]在研究中却发现真菌在土壤大团聚体形成过程中起到至关重要的作用. 何种微生物黏结剂在团聚体化过程中起到更重要的作用,取决于土壤的性质、物理结构、外界环境对土壤的刺激等. 而这些因素势必会影响土壤微生物的新陈代谢活动及其群落组成.

过剩的氮沉降增加土壤中铵盐的硝化和硝酸盐的淋失,加速土壤的酸化,影响土壤呼吸速率^[7]. 土壤中的微生物对这些外界的刺激会有响应,特别是

收稿日期: 2011-03-18; 修订日期: 2011-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51039007,51179212)

作者简介: 莫艳华(1986~), 硕士, 主要研究方向为水土环境,
E-mail: moyanhua811@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: zhangrd@mail.sysu.edu.cn

当土壤中营养源的有效性改变时,土壤微生物的刺激响应更加明显^[8]. Six 等^[9]发现当增加氮的输入时,土壤中的真菌生物量/细菌生物量比例会降低,说明在一定程度上,氮对真菌有一定的抑制作用. Treseder^[10]研究表明,无机氮加入达到饱和的情况下,会影响到土壤的 pH 值,从而影响到微生物的生长. 以上这些研究都表明外界的氮源会对土壤的微生物群落结构及微生物活性有所影响.

当土壤中的微生物活性甚至群落结构发生改变时,势必会影响到微生物黏结剂的分泌和产生,从而影响到团聚体的形成和稳定. 然而研究外源添加氮对团聚体影响的文献较少. 本研究设计实验,在保证充足碳源并添加不同含量氮的条件下,分析微生物黏结剂的变化对土壤团聚体形成和稳定性的影响,以及不同粒径团聚体内微生物群落的变化情况.

1 材料与方法

1.1 土样采集及预处理

供试土壤取自广州天鹿湖郊野公园(采样点 N23°13'28.9", E113°25'14.8", H 229 m),扒去土壤上层的枯枝落叶层,挖取 0~15 cm 土层土壤,带回实验室经自然风干,拣去石块、残根等杂物. 碾碎过孔径为 0.25 mm 筛,并充分混合,经分析土壤质地为黏质壤土. 土壤 C、N 含量分别为 11.2 mg·g⁻¹ 和 1.1 mg·g⁻¹, C:N 为 10.2.

1.2 土样恒温恒湿培养

实验 3 个处理分别为:①“对照”(在土壤中加入葡萄糖溶液,使之达到 0.5 mg·g⁻¹, CK), ② C/N=5(在土壤中加入葡萄糖和 NH₄NO₃ 溶液,使之浓度达到 0.5 mg·g⁻¹ 和 0.1 mg·g⁻¹, CN5), ③ C/N=10(在土壤中加入葡萄糖和 NH₄NO₃ 溶液,使之浓度达到 0.5 mg·g⁻¹ 和 0.05 mg·g⁻¹, CN10). 葡萄糖和 NH₄NO₃ 加入量参照文献[11, 12]. 将处理所需的葡萄糖、NH₄NO₃ 根据比例浓度配成溶液,将 100 g 土加入 500 mL 培养瓶中,并用配好碳氮比浓度的溶液均匀喷洒至瓶中. 使之满足碳氮比的同时,满足含水量 33%,之后在 4℃ 恒温中放置一晚使之平衡稳定.

在 25℃ 恒温下培养 30 d,培养期间用重量法调节土壤含水量保持恒定值. 每天测定培养土样 24 h 内的土壤呼吸量,分别在第 5、10、15、20、25、30 d 对土样进行破坏性取样.

通过快速湿筛法分别测定其各粒径团聚体含量^[4](53~250 μm; >250 μm). 新鲜土样过 8 mm

筛后风干,取 40 g 风干土样置于 250 μm 和 53 μm 的筛上,2 min 在水中上下移动 50 次. 取下保留在不同筛上的土壤,105℃ 下烘 24 h,称重.

用荧光显微镜方法测定总的土壤真菌生物量、菌丝长度和细菌生物量^[13]. 用荧光染料 FB28 染色测定真菌菌丝长度,并由此计算出真菌生物量. 用 DAPI(4',6-二脒基-2-苯基吡啶)染色测定细菌生物量. 用硫酸浸提分光光度法测土壤多糖^[14]. 新鲜土壤置于 0.5 mol·L⁻¹ 硫酸中,密封,121℃,103 kPa 下消解 1 h,490 nm 下测量其吸光度值,并计算浓度.

1.3 数据分析

所得数据用 SPSS 13.0 软件进行 ANOVA 分析,然后用 LSD 法检验各指标在各处理间的差异,并对不同处理(对照、C/N=5、C/N=10),不同粒径团聚体(>250 μm、53~250 μm)及不同采样时间进行多因素方差分析,用 Origin 7.5 进行作图.

2 结果与分析

2.1 土壤呼吸速率

由图 1 可以看出,3 个处理之间的土壤呼吸速率非常接近. 在培养进行至第 2 d 时,呼吸量开始显著增加,至第 5 d 时达到最大值[分别为 3.05、3.10、3.17 mg·(h·kg)⁻¹]. 培养 5 d 后,3 个处理的呼吸速率急速下降. 从培养第 10 d 开始,3 个处理的土壤呼吸速率渐趋平稳.

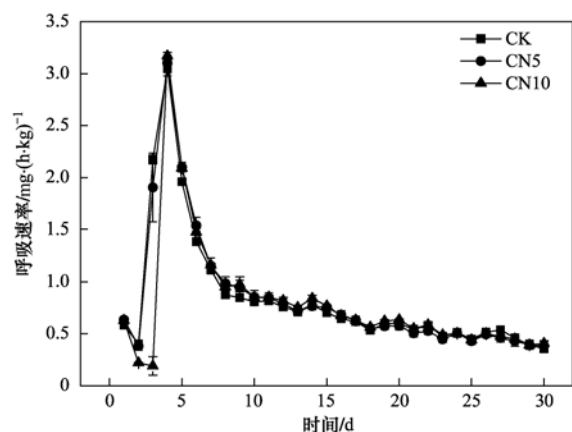


图 1 培养 30 d 内 3 个处理的呼吸速率

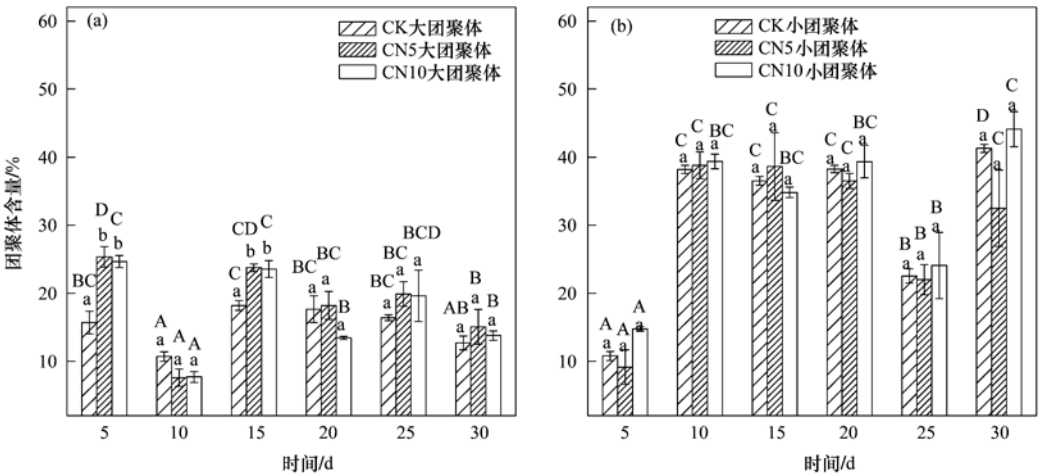
Fig. 1 Respiration rates during the 30 d of incubation for the three applied treatments

2.2 土壤团聚体稳定性

图 2 (a) 所示,3 个处理的大团聚体含量随时间的变化规律相似. 培养的前 15 d,3 个处理的大团聚

体质量分数波动幅度都较大. 培养第 5 d, CN5 和 CN10 的大团聚体含量(分别为 25.32% 和 24.63%) 显著高于 CK(15.67%). 此后, 3 个处理的大团聚体质量分数在第 10 d 降至最低,第 15 d 又接近峰值,而且 CN5 和 CN10 的大团聚体质量分数略高于 CK. 培养 15 d 后, 3 个处理的大团聚体质量分数无显著性差异,总体呈小幅波动下降趋势. 整个培养期间,CN5

和 CN10 的大团聚体形成量并无显著性差异. 图 2 (b)所示,在整个培养期间, 3 个处理之间的小团聚体形成量并无显著性差异. 当培养进行到第 10 d 时, 3 个处理的小团聚体形成量接近峰值(38.18% ~ 39.35%). 维持一段时间的平稳之后出现波动,第 25 d 时小团聚体减少. 第 30 d 时,小团聚体的形成量再次攀升到峰值(32.48% ~ 44.09%).



不同小写字母表示同一取样时间不同处理间的显著性差异水平 ($P < 0.5$); 不同大写字母表示同一处理不同取样时间的显著性差异水平 ($P < 0.5$), 下同

图 2 不同培养时期的土壤大团聚体形成量 ($>250 \mu\text{m}$) 和小团聚体形成量 ($53 \sim 250 \mu\text{m}$)

Fig. 2 Amounts of macroaggregates ($>250 \mu\text{m}$) and microaggregates ($53 \sim 250 \mu\text{m}$) in three treatments.

2.3 微生物黏结剂和微生物量在不同粒径团聚体中的分布

由表 1 可知, 3 个处理之间大团聚体中的真菌菌丝长度随时间的波动趋势接近, 都在第 10 d 达到最低值, 这一点同大团聚体的波动趋势一致. 除第 10 d 外, 3 个处理之间大团聚体中的真菌菌丝长度

无显著性差异. 3 个处理的小团聚体中的菌丝波动幅度较小, 并都随着时间缓慢增长, 到第 30 d 上升最明显达到峰值. 3 个处理之间小团聚体的菌丝显著性差异较大团聚体中的明显. 除第 10 d 和第 30 d 之外, 3 个处理中大团聚体的真菌菌丝长度基本要大于小团聚体的真菌菌丝长度.

表 1 不同培养时期的真菌菌丝长度/ $\text{m} \cdot \text{g}^{-1}$

Table 1 Fungi hyphae length in different treatments/ $\text{m} \cdot \text{g}^{-1}$

团聚体	处理	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
大团聚体 ($>250 \mu\text{m}$)	CK	$104 \pm 13^{\text{aC1}}$	$40.8 \pm 1.1^{\text{aA}}$	$69.3 \pm 5.0^{\text{bB}}$	$101 \pm 5.2^{\text{aC}}$	$107 \pm 2.5^{\text{aC}}$	$124 \pm 0.7^{\text{aC}}$
	CN5	$81.0 \pm 4.7^{\text{aB}}$	$49.3 \pm 2.2^{\text{bA}}$	$46.8 \pm 1.9^{\text{aA}}$	$108 \pm 0.4^{\text{aD}}$	$94.5 \pm 2.5^{\text{aC}}$	$96.8 \pm 2.8^{\text{aCD}}$
	CN10	$78.5 \pm 3.7^{\text{aAB}}$	$28.8 \pm 1.0^{\text{cA}}$	$54.7 \pm 4.5^{\text{aA}}$	$100 \pm 6.0^{\text{aBC}}$	$99.5 \pm 4.9^{\text{aBC}}$	$117 \pm 10.7^{\text{aC}}$
小团聚体 ($53 \sim 250 \mu\text{m}$)	CK	$40.4 \pm 10.1^{\text{aA}}$	$78.0 \pm 2.5^{\text{bB}}$	$43.2 \pm 2.9^{\text{aA}}$	$69.2 \pm 2.5^{\text{aB}}$	$74.4 \pm 2.4^{\text{aB}}$	$167 \pm 1.8^{\text{bC}}$
	CN5	$45.3 \pm 5.4^{\text{aA}}$	$61.6 \pm 2.0^{\text{aB}}$	$85.5 \pm 4.5^{\text{cC}}$	$96.5 \pm 2.1^{\text{bD}}$	$101 \pm 2.3^{\text{bD}}$	$148 \pm 0.5^{\text{aE}}$
	CN10	$68.7 \pm 0.3^{\text{aA}}$	$102 \pm 8.4^{\text{cC}}$	$67.7 \pm 0.5^{\text{bA}}$	$71.4 \pm 7.1^{\text{aAB}}$	$90.6 \pm 5.0^{\text{bBC}}$	$104 \pm 10.1^{\text{aC}}$

1) 不同小写字母表示同一取样时间不同处理间的显著性差异水平 ($P < 0.5$), 不同大写字母表示同一处理不同取样时间的显著性差异水平 ($P < 0.5$), 下同

由表 2 可知, CK 大团聚体和小团聚体中的多糖含量在整个培养过程中都并无显著性波动. CN5 和 CN10 的大团聚体中多糖含量随时间的波动幅度也无显著性差异, 而这 2 个处理的小团聚

体中多糖含量波动幅度就较为明显. 整个培养过程中, 除培养第 5 d 和第 15 d 外, 3 个处理之间大团聚体和小团聚体中多糖含量并无显著性差异.

表 2 不同培养时期的微生物胞外多糖含量 $\times 10^3/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 2 Amounts of microbial extracellular polysaccharides in three treatments $\times 10^3/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$		5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
大团聚体 ($>250\ \mu\text{m}$)	CK	$13.2 \pm 0.1^{\text{cAl}}$	$14.1 \pm 1.0^{\text{aA}}$	$13.6 \pm 0.4^{\text{aA}}$	$11.8 \pm 0.5^{\text{aA}}$	$12.7 \pm 0.1^{\text{aA}}$	$12.4 \pm 0.1^{\text{aA}}$
	CN5	$9.0 \pm 0.5^{\text{aA}}$	$14.6 \pm 0.1^{\text{aB}}$	$13.6 \pm 0.6^{\text{aAB}}$	$11.5 \pm 0.3^{\text{aA}}$	$12.7 \pm 0.0^{\text{aAB}}$	$13.1 \pm 1.1^{\text{aAB}}$
	CN10	$11.0 \pm 0.5^{\text{bA}}$	$13.8 \pm 0.2^{\text{aA}}$	$12.5 \pm 0.5^{\text{aA}}$	$14.2 \pm 2.8^{\text{aA}}$	$12.1 \pm 0.5^{\text{aA}}$	$12.5 \pm 0.4^{\text{aA}}$
小团聚体 ($53 \sim 250\ \mu\text{m}$)	CK	$7.1 \pm 0.5^{\text{aA}}$	$11.3 \pm 0.7^{\text{aB}}$	$10.7 \pm 0.6^{\text{bB}}$	$11.0 \pm 0.5^{\text{aB}}$	$11.4 \pm 0.5^{\text{aB}}$	$11.5 \pm 2.3^{\text{aB}}$
	CN5	$10.2 \pm 1.6^{\text{aA}}$	$14.2 \pm 1.0^{\text{bB}}$	$8.4 \pm 0.4^{\text{aA}}$	$9.9 \pm 0.4^{\text{aA}}$	$11.1 \pm 0.8^{\text{aA}}$	$10.8 \pm 0.3^{\text{aA}}$
	CN10	$6.9 \pm 0.6^{\text{aA}}$	$13.2 \pm 0.7^{\text{abD}}$	$8.9 \pm 0.1^{\text{abB}}$	$9.4 \pm 0.6^{\text{aB}}$	$11.0 \pm 0.4^{\text{aC}}$	$11.4 \pm 0.2^{\text{aC}}$

图 3 显示, 3 个处理中大小团聚体的真菌生物量同菌丝长度随时间的波动幅度接近. 大团聚体中的真菌生物量都是在培养第 10 d 降到最低值. 小团聚体的真菌生物量在前 25 d 都保持平稳或小幅度的上升, 第 30 d 上升至最大值. 除第 10 d 外, 3 个处理之间大团聚体真菌生物量并无显著性差异. 3 个处理之间小团聚体中的真菌生物量差异较为明显. 除

第 5、10 d 外, 其余各采样时间点的大团聚体真菌生物量基本都大于小团聚体内的真菌生物量.

图 4 显示细菌生物量的波动规律比真菌生物量的波动更为复杂. 大团聚体中的细菌生物量在第 20 d 出现峰值, 且 CK 和 CN10 显著高于 CN5. 总体来看, 在整个培养过程, CN5 处理中大团聚体中的细菌生物量较其余两处理低. 小团聚体中, CK、CN5 和

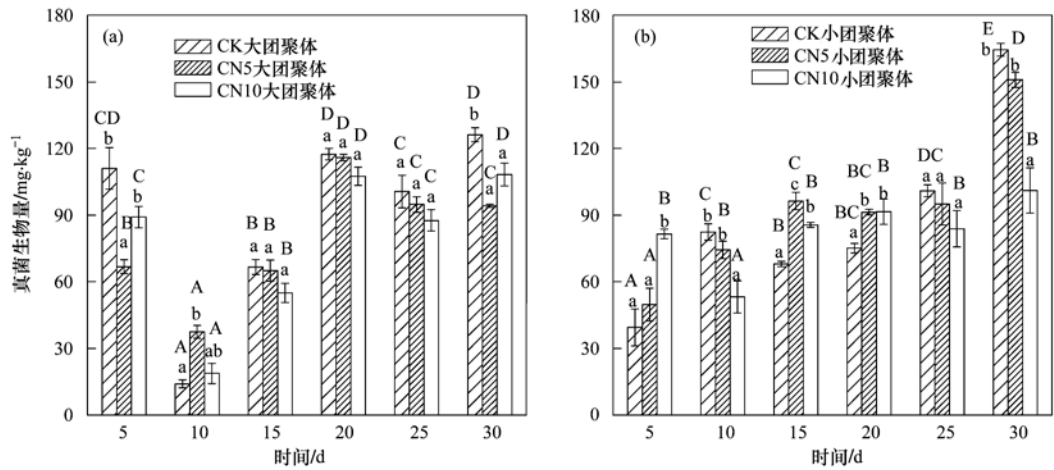


图 3 不同培养时期的大团聚体 ($>250\ \mu\text{m}$) 和小团聚体 ($53 \sim 250\ \mu\text{m}$) 内真菌生物量

Fig. 3 Fungi biomass in macroaggregates ($>250\ \mu\text{m}$) and microaggregates ($53 \sim 250\ \mu\text{m}$) among three treatments

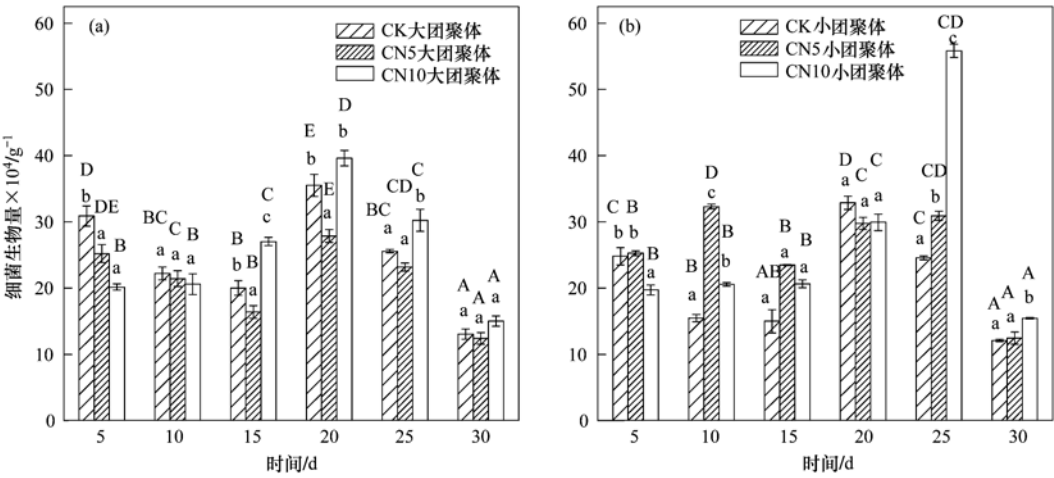


图 4 在不同培养时期的大团聚体 ($>250\ \mu\text{m}$) 和小团聚体 ($53 \sim 250\ \mu\text{m}$) 内细菌生物量

Fig. 4 Bacterial biomass in macroaggregates ($>250\ \mu\text{m}$) and microaggregates ($53 \sim 250\ \mu\text{m}$) among three treatments

CN10 的细菌生物量达到峰值的时间分别是第 20、10 和 25 d.

3 讨论

3.1 外加营养源对土壤呼吸的影响

土壤呼吸值第 5 d 达到最大值主要是由于易分解的葡萄糖加入,微生物活性增强,呼吸量增大. Fontaine 等^[15]研究发现,当加入葡萄糖时,其呼吸量在短期出现峰值,之后下降至平稳,这也可以很好地解释本实验中土壤呼吸出现的峰值.但是 3 个处理间的碳的矿化量没有显著差异,三者之间的变化趋势极为相同. Allison 等^[16]在对阿拉斯加北方针叶林的研究中提出,当土壤中加入氮时,其微生物生物量的 C/N 和酶活性发生改变,而其土壤呼吸并没有发生改变,呼吸的变化与本实验中的结果相同. 众多研究表明土壤中的氮循环远远慢于碳循环. Knorr 等^[17]对过往的研究进行总结,得出长期向土壤中加入 N,会使得土壤呼吸速率减慢,这与本实验短期的呼吸结果不一致. 对比说明在短期的培养中,外加碳源对土壤呼吸的刺激作用较氮明显,而只有持续施氮超过 5 a 时,氮对土壤微生物的抑制作用才较显著,此时氮对土壤呼吸速率的影响才较显著. 由于葡萄糖极易被微生物分解,而且实验培养过程中没有后续营养源的输入,导致培养 10 d 内呼吸量急速降低,10 d 后逐渐平稳.

3.2 外加营养源对土壤团聚体的影响

本实验中 3 个处理的大团聚体都在第 5 d 就达到峰值,与众多研究相似. Abiven 等^[18]总结前人研究时发现添加葡萄糖的土壤团聚体稳定性达到最大值的时间一般在 7~30 d 左右. 而大团聚体在第 15 d 又攀升回峰值可能是由于前 10 d 内葡萄糖的迅速分解导致外来能源不够充足,微生物开始寻找新的碳源,导致真菌菌丝增多,大团聚体形成量再次增加. 大团聚体的 2 次高峰期与真菌的 2 次上升期对应,这也说明了真菌菌丝对团聚体的形成有着重要影响,这一结果与 Tang 等^[19]的研究一致. Fontaine 等^[20]提出土壤中易分解的新鲜有机质被消耗殆尽时,土壤中的微生物将逐渐从 r 策略演替为 k 策略. 在培养后期,3 个处理之间的大团聚体含量保持了一段平稳时间,并没有随着葡萄糖的快速分解完全而崩解,这一现象同大团聚体的真菌菌丝在培养后期仍维持了一定数量有关. Schlecht-Pietsch 等^[21]研究发现葡萄糖添加后土壤团聚体的稳定性能维持 220 d. Six 等^[22]研究表明大团聚体是由微生物产生

黏结剂或连结剂黏结或缠绕小团聚体而形成,大团聚体的增加伴随着小团聚体的减少,反之亦然. 本实验中大小团聚体含量随时间的波动趋势也基本符合上述规律.

Bossuyt 等^[6]对土壤添加高碳低氮的有机质同时添加无机氮的研究发现,无机氮的添加能够抑制微生物活性和黏结剂的产生,从而减少土壤团聚体的形成量. 然而本实验中除第 5 d 和第 15 d,加氮处理对大团聚体含量的影响并不明显. 原因可能是:①本实验中添加的葡萄糖是极易被微生物分解利用的有机质;②本实验所用土壤的 C、N 含量虽然都不高,但是从碳氮比值看微生物对碳的需求可能超过了对氮的需求. 因此葡萄糖的添加对微生物活性的影响已经远远超过无机氮的影响. 因此加氮处理和不加氮处理之间的团聚体含量和稳定性总体并无显著性差别.

3.3 土壤团聚体对微生物群落的影响

微生物在不同粒径团聚体中的分布受到多种因素的共同影响. Bastin 等^[23]研究表明,当有机质加入土壤后,会在大团聚体和小团聚体中进行不同份额的分配,从而导致不同粒径团聚体中的养分含量不一致. 有研究表明,总碳、氮在 0.5~1 mm 的大团聚体中聚集较多^[24]. 从这一点出发,微生物应该更多地集中在这一粒径的团聚体之内. 然而,较小的团聚体养分可能不足,但是能保护微生物更少的捕食者的捕食和外界环境波动的影响,比如冰冻、干湿交替等^[25]. 因此,寄居在小团聚体内的微生物量又有可能高于大团聚体. 综上所述,本实验中真菌生物量和细菌生物量在不同粒径中的团聚体分布并没有表现出明显的规律性.

在本实验中,加氮处理对真菌的抑制作用并不太明显,其主要原因可能是本实验中加入了葡萄糖,对真菌的生长进行了能量补给. Treseder^[26]研究发现,当土壤中 N 量较多时,菌根真菌会出现碳的短缺,碳源的供应短缺才是氮对真菌抑制的真正原因. 由于本实验加入了葡萄糖这种极易被微生物所利用的碳源,所以氮对真菌的抑制作用在本实验不明显.

4 结论

(1)短期内无机氮肥的添加对土壤微生物活性的影响不明显,从而对团聚体尤其是小团聚体的影响不明显. 短期内葡萄糖对土壤微生物活性和团聚体的影响较大.

(2)研究无机氮肥对土壤微生物和团聚体的影

响需要通过长期的实验来证明,并且需要参考土壤的营养本底值.微生物在不同粒径团聚体中的分布受到多种因素的共同作用,包括不同粒径团聚体的养分和团聚体的保护作用等.因此研究团聚体稳定性对微生物群落分布的影响需综合考虑上述因素才能得出较为明显的规律.

参考文献:

- [1] Besnard E, Chenu C, Balesdent J, *et al.* Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation[J]. *European Journal of Soil Science*, 1996, **47**(4): 495-503.
- [2] Lynch J M, Bragg E. Microorganisms and soil aggregate stability [J]. *Advances in Soil Science*, 1985, **2**: 134-170.
- [3] Six J, Bossuyt H, De Gryze S, *et al.* A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics[J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, **79**(1): 7-31.
- [4] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, **50**(3): 627-633.
- [5] Abiven S, Menasseri S, Angers D A, *et al.* Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials[J]. *European Journal of Soil Science*, 2007, **58**(1): 239-247.
- [6] Bossuyt H, Denef K, Six J, *et al.* Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability [J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, **16**(3): 195-208.
- [7] 胡正华, 李涵茂, 杨燕萍, 等. 模拟氮沉降对北亚热带落叶阔叶林土壤呼吸的影响[J]. *环境科学*, 2010, **31**(8): 1726-1732.
- [8] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea; how can it occur? [J]. *Biogeochemistry*, 1991, **13**: 87-115.
- [9] Six J, Frey S D, Thiet R K, *et al.* Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2006, **70**(2): 555-569.
- [10] Treseder K K. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies [J]. *Ecology Letters*, 2008, **11**(10): 1111-1120.
- [11] Craine J M, Morrow C, Fierer N. Microbial nitrogen limitation increases decomposition [J]. *Ecology*, 2007, **88**(8): 2105-2113.
- [12] Allison S D, LeBauer D S, Ofrecio M R, *et al.* Low levels of nitrogen addition stimulate decomposition by boreal forest fungi [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, **41**(2): 293-302.
- [13] Buss M D, Sanchez F G, Ratcliff A W, *et al.* Soil carbon sequestration and changes in fungal and bacterial biomass following incorporation of forest residues [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, **41**(2): 220-227.
- [14] Carter M R, Gregorich E G. Soil sampling and methods of analysis[M]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994. 373-376.
- [15] Fontaine S, Barot S, Barré P, *et al.* Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply[J]. *Nature Letters*, 2007, **450**(7167): 277-281.
- [16] Allison S D, Czimczik C I, Treseder K K. Microbial activity and soil respiration under nitrogen addition in Alaskan boreal forest [J]. *Global Change Biology*, 2008, **14**(5): 1156-1168.
- [17] Knorr M, Frey S D, Curtis P S. Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-analysis [J]. *Ecology*, 2005, **86**(12): 3252-3257.
- [18] Abiven S, Menasseri S, Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability-a literature analysis[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, **41**(1): 1-12.
- [19] Tang J, Mo Y H, Zhang J Y, *et al.* Influence of biological aggregating agents associated with microbial population on soil aggregate stability [J]. *Applied Soil Ecology*, 2011, **41**(3): 153-159.
- [20] Fontaine S, Mariotti A, Abbadie L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, **35**(6): 837-843.
- [21] Schlecht-Pietsch S, Wagner U, Anderson T H. Changes in composition of soil polysaccharides and aggregate stability after carbon amendments to different textured soils[J]. *Applied Soil Ecology*, 1994, **1**(2): 145-154.
- [22] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, **32**(14): 2099-2103.
- [23] Bastin F, Bouziri L, Nicolardot B, *et al.* Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, **41**(2): 262-275.
- [24] Mendes I C, Bandick A K, Dick R P, *et al.* Microbial biomass and activities in soil aggregates affected by winter cover crops [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, **63**(4): 873-881.
- [25] Rutherford P M, Juma N G. Influence of soil texture on protozoa-induced mineralization of bacterial carbon and nitrogen [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1992, **72**(3): 183-200.
- [26] Treseder K K. A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen, phosphorus, and atmospheric CO₂ in field studies[J]. *New Phytologist*, 2004, **164**(2): 347-355.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-pei, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人