

环境科学

(HUANJING KEXUE)

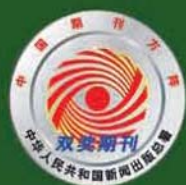
ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第7期

Vol.37 No.7

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2015 年北京市两次红色预警期间 PM _{2.5} 浓度特征	
..... 程念亮, 张大伟, 陈添, 石爱军, 孙峰, 刘保献, 邹本东, 王琴, 李倩, 王小菊, 姜磊, 孟凡 (2409)	
北京市冬季雾霾天人体呼吸高度 PM _{2.5} 变化特征对气象因素的响应	张南, 熊黑钢, 葛秀秀, 段鹏程, 毛先如, 王亚龙 (2419)
兰州大气细颗粒物中多环芳烃污染特征及来源分析	李英红, 饶志国, 谭吉华, 段晋春, 马永亮, 贺克斌 (2428)
南京北郊冬季 PM _{2.5} 中芳香酸的测定及来源解析	张亚飞, 马嫣, 仝鲁, 王振, 王利朋, 朱麟 (2436)
海洋-大气过程对南海气溶胶数浓度谱分布的影响	孔亚文, 盛立芳, 刘骞, 李秀镇 (2443)
新疆准东煤田降尘重金属污染及健康风险评价	杨春, 塔西甫拉提·特依拜, 侯艳军, 高宇潇, 刘芳, 夏楠 (2453)
重庆地区大气场降水氢氧同位素变化特征及与大气环流的关系	温艳茹, 王建力 (2462)
湖水氢氧同位素组分的时间变化特征及影响因素分析	
..... 徐敬争, 肖薇, 肖启涛, 王伟, 温学发, 胡诚, 刘诚, 刘寿东, 李旭辉 (2470)	
河水-地下水侧向交互带地球化学特征: 以重庆市马鞍溪为例	
..... 张宇, 杨平恒, 王建力, 谢世友, 陈峰, 詹兆君, 任娟, 张海月, 刘黛薇, 孟元可 (2478)	
亚热带典型岩溶流水气界面 CO ₂ 交换通量变化过程及其环境影响	李丽, 蒲俊兵, 李建鸿, 于爽, 肖琼, 张陶 (2487)
淹水条件下三峡库区典型消落带土壤释放 DOM 的光谱特征: 紫外-可见吸收光谱	
..... 梁俭, 江韬, 卢松, 魏世强, 王定勇, 陈雪霜, 王齐磊 (2496)	
淹水条件下三峡库区典型消落带土壤释放 DOM 的光谱特征: 荧光光谱	
..... 梁俭, 江韬, 卢松, 魏世强, 王定勇, 陈雪霜, 王齐磊 (2506)	
华东地区某水源水中 13 种磺胺类抗生素的分布特征及人体健康风险评价	
..... 金磊, 姜蕾, 韩琪, 薛佳怡, 叶辉, 曹国民, 林匡飞, 崔长征 (2515)	
北京水环境中氯胺酮和去甲氯胺酮的浓度水平	张华方, 杨军, 杜鹏, 王琮淙, 李喜青 (2522)
输水期间于桥水库流域水体中溶解态多环芳烃的分布特征与风险	昌盛, 赵兴茹, 付青, 郭睿, 王山军 (2530)
卤系阻燃剂在东江工业水体中的质量浓度及其分配特征	何明靖, 李琦, 赵佳渊, 王登祥 (2539)
岩溶地下水水中多环芳烃、脂肪酸分布特征及来源分析	谢正兰, 孙玉川, 张媚, 廖昱, 江泽利, 王尊波, 梁作兵 (2547)
哈尔滨主城区不同下垫面融雪径流污染特性	孙夕涵, 刘硕, 万鲁河, 王宏 (2556)
降水对泃河水质和水体微生物的影响	卢思丹, 孙寓姣, 赵轩, 王蕾, 郑丹阳 (2563)
不同磷源下铜绿微囊藻的生长差异及对砷酸盐的响应	王振红, 张汉鹏, 罗专溪 (2570)
布洛芬和双氯芬酸在不同构型人工湿地中的去除行为研究	景瑞瑛, 杨扬, 戴玉女, 万翔, 邹义萍, 樊静静 (2577)
化学预氧化对苏氨酸生成三氯乙醛的影响	蔡广强, 傅学敏, 刘丽君, 卢小艳, 张金松, 刘嘉祺, 曲莹 (2586)
活性炭负载 Co ₃ O ₄ 活化过一硫酸盐降解金橙 G	王忠明, 陈家斌, 张黎明, 李文卫, 黄天寅 (2591)
碳纳米管活化过一硫酸盐降解金橙 G 过程及动力学	张黎明, 陈家斌, 李文卫, 王忠明, 黄天寅 (2601)
碳纳米管修饰电极电催化还原去除废水中的氯霉素	邓飞, 唐柏彬, 张进忠, 汤民, 刘江 (2610)
铁刨花-Fenton-絮凝工艺对染料生产废水中 AOX、色度和 TOC 的去除效果研究	
..... 舒小铭, 徐灿灿, 文晓刚, 朱静娜, 赵远, 刘锐, 陈吕军 (2618)	
Fenton 氧化去除制药企业活性污泥中 AOX 的效果研究	陈思, 徐灿灿, 刘锐, 李国华, 陈吕军, 郑伟 (2625)
中试规模微气泡曝气生物膜反应器运行性能评估	刘春, 张晶, 张静, 陈晓轩, 张磊, 曹丽亚 (2632)
基于 CANON 工艺的新型 HABR 反应器生物脱氮性能研究	鲍林林, 陈婉秋 (2639)
异养与硫自养反硝化协同处理高硝氮废水特性研究	李祥, 马航, 黄勇, 朱亮, 杨朋兵, 朱强 (2646)
基于高通量测序的 ABR 厌氧氨氧化反应器各隔室细菌群落特征分析	
..... 陈重军, 张海芹, 汪瑶琪, 喻徐良, 王建芳, 沈耀良 (2652)	
NUA-DAS 生态滤池脱氮效果与反硝化菌特征研究	汪龙眠, 仇皓雨, 车昱晓, 张松贺, 郭照冰, 张毅敏 (2659)
葡萄藻生物膜贴壁培养处理含钴工业废水与烃类生产的耦合	程鹏飞, 王艳, 杨期勇, 汤明, 刘天中 (2666)
拉乌尔菌 sari01 的分离及其异养硝化好氧反硝化特性	颜薇芝, 郝健, 孙俊松, 史吉平 (2673)
海水异养硝化-好氧反硝化芽孢杆菌 SLWX ₂ 的筛选及脱氮特性	成钰, 李秋芬, 费聿涛, 张艳 (2681)
焦化废水活性污泥中降解硫化物细菌种群多样性分析	徐伟超, 蒙小俊, 尹莉, 张玉秀, 李海波, 曹宏斌 (2689)
浮游微型真核生物群落对电厂温排水增温的响应	戴文芳, 阳石页, 阙治家, 熊金波 (2696)
磷脂脂肪酸 (PLFA) 法检测蒙古沙冬青根围土壤微生物群落结构	左易灵, 贺学礼, 王少杰, 赵丽莉 (2705)
半干旱区土壤微生物呼吸对极端降水的响应	赵慢, 王蕊, 李如剑, 杜兰兰, 吴得峰, 孙棋棋, 高鑫, 郭胜利 (2714)
三峡库区消落带 N ₂ O 排放及其影响因素	李睿, 雷利国, 江长胜, 柴雪思, 黄哲, 范志伟, 郝庆菊 (2721)
不同量碳源输入梯度下果园排水沟底泥氮素反硝化与 N ₂ O 排放研究	高雪梅, 余冬立, 颜晓元, 夏永秋 (2731)
冬季污泥堆肥过程温室气体排放特征	易建婷, 杨雨洽, 张成, 陈宏, 赵秀兰, 木志坚 (2738)
藏东南春季拉山土壤中有机氯农药和多环芳烃的浓度分布及来源解析	罗东霞, 张淑娟, 杨瑞强 (2745)
基于地质统计及随机模拟技术的天津武清区土壤重金属源解析	宋志廷, 赵玉杰, 周其文, 刘潇威, 张铁亮 (2756)
水热变化对三峡水库消落带紫色土有机碳矿化的影响	丁长欢, 王莲阁, 唐江, 慈恩, 谢德体 (2763)
减磷施肥有机肥对紫色土旱坡地磷素流失的消减效应	韩晓飞, 高明, 谢德体, 王子芳, 陈晨 (2770)
水稻根际与非根际土壤硫素赋存形态转化及其迁移规律	
..... 杜光辉, 饶伟, 李鑫, 张亚楠, 王代长, 杨军, 化党领, 刘世亮, 李培培, 刘红恩 (2779)	
组配改良剂对污染稻田中 Pb、Cd、Cu 和 Zn 钝化效果持续性比较	
..... 吴玉俊, 周航, 杨文骏, 邹紫今, 朱维, 辜娇峰, 彭佩钦, 张平, 曾敏, 廖柏寒 (2791)	
生物法回收贵金属铂纳米颗粒及其机制	商儒, 朱能武, 康乃馨, 石超宏 (2799)
热处理天然褐铁矿制备 γ-Fe ₂ O ₃ 及其 NH ₃ -SCR 活性探究	徐彬, 陈天虎, 刘海波, 朱承驻, 陈冬, 邹雪华, 蒋阳 (2807)
《环境科学》征订启事 (2569) 《环境科学》征稿简则 (2576) 信息 (2744, 2769, 2790)	

冬季污泥堆肥过程温室气体排放特征

易建婷¹, 杨雨涵¹, 张成^{1,2*}, 陈宏^{1,2}, 赵秀兰^{1,2}, 木志坚^{1,2}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 污泥堆肥处理是一种简便高效的污泥稳定化技术, 但堆肥过程产生的温室气体也引起了国内外的广泛关注, 我国关于污泥堆肥, 特别是低温环境下的堆肥温室气体排放特征研究和基础数据还很缺乏. 本实验采用城市脱水污泥, 考察低温环境条件下不同调理剂混合污泥堆肥过程中温室气体的排放特征. 结果表明, 低温环境条件下污泥堆肥能够顺利进行, 但高温期持续时间相对较短而腐熟期温度降低过快. 木屑处理的总氮损失低于秸秆处理, 然而温室气体总排放当量却高于秸秆处理, 木屑和秸秆处理总的 CO_2 排放当量 (以干污泥计) 分别为 $169.45 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 、 $133.13 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$. 木屑与秸秆 CH_4 累积排放量 (以干污泥计) 分别为 $0.648 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 、 $0.689 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$, N_2O 累积排放量 (以干污泥计) 分别为 $0.486 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 、 $0.365 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$. CH_4 的排放 75% 以上集中在堆肥前 2 周, 而 N_2O 则 90% 以上出现在后腐熟期. 整体而言, 冬季堆肥高温期持续时间相对较短而腐熟期温度低, 出现 CH_4 排放量相对较低而 N_2O 较高的现象, CH_4 排放量均低于 IPCC 推荐值, N_2O 则均高于 IPCC 推荐值. 因此针对低温环境堆肥工艺, 温室气体的减排应重点关注堆肥后期 N_2O 排放的降低策略.

关键词: 城市污泥; 堆肥; 温室气体; 排放特征; 冬季

中图分类号: X16 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)07-2738-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.07.042

Emissions Characteristics of Greenhouse Gas from Sewage Sludge Composting Process in Winter

YI Jian-ting¹, YANG Yu-han¹, ZHANG Cheng^{1,2*}, CHEN Hong^{1,2}, ZHAO Xiu-lan^{1,2}, MU Zhi-jian^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400715, China)

Abstract: Sludge composting is an efficient way to realize the reclamation of waste sludge, while the Green House Gas (GHG) accompanying with it has raised great concern worldwide. However, we do lack the primary data in this area and a great uncertainty of the effect and GHG emission characteristics of sludge composting process in low-temperature environment also exists. This study is aiming to investigate the emission characteristics of GHG from composting in low-temperature environment by applying two different bulking agents to dewatered urban sludge. The results showed that aerobic composting could go smoothly even in an environment with lower temperature, yet the maturity was low due to a sharp drop of pile temperature at the stage of maturing. Sawdust treatment could reduce the total nitrogen loss compared with cornstalk treatment, while its GHG emission equivalence was higher (169.45 and $133.13 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ dry sludge, respectively). The accumulative CH_4 emissions of sawdust and cornstalk were 0.648 and $0.689 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ dry sludge, respectively, of which over 75% was from the first two weeks; total N_2O emissions of sawdust and cornstalk were 0.486 and $0.365 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ dry sludge, of which more than 90% came from the decomposing process. On the whole, because of the relatively short duration of high temperature as well as the low temperature during mature stage, the process had an especially low emission of CH_4 but a relatively high discharge of N_2O . For composting in low-temperature environment, necessary measures should be taken to control N_2O emission in the late period in order to realize GHG reduction.

Key words: municipal sewage sludge; composting; Greenhouse Gas; emission characteristics; winter

据统计, 2015 年全国累积城镇污水处理量或将达到 445 亿 m^3 , 而相应的污泥产量将突破 3 000 万 t (含水率 80%), 并且还会高速增长. 2015 年, 新环保法的实施以及《水污染防治行动计划》的发布强调了我国污泥处理处置的迫切性. 污泥中含有多种有毒有害物质, 若处置不当则会对环境以及人类自身造成严重危害, 高温好氧堆肥是目前常用的一种污泥稳定化处理技术. 但堆肥过程中会产生大量的温室气体 (greenhouse gas, GHG), 不仅造成氮素损失而带来的堆肥产品肥效降低问题, 还会加剧温室

效应等环境问题, 随着全球节能减排要求的日益提高, 如何减少堆肥过程中的温室气体 (CH_4 、 N_2O 等) 排放引起了广泛的关注^[1,2].

Chowdhury 等^[3]以禽畜粪便及其他生物垃圾为堆肥基质, 研究了调理剂种类与混合比例对温室气体的排放影响, 发现不同调理剂处理其 GHG 排放值

收稿日期: 2015-10-07; 修订日期: 2016-03-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51208426)

作者简介: 易建婷 (1990 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为固体废物处理与处置, E-mail: jiantingna0921@126.com

* 通讯联系人, E-mail: zhcheng@126.com

分别为秸秆 < 生物质炭 < 塑料软管 < 木片,并且将堆肥基质与调理剂比例由 6:1 降至 3:1 能有效降低 CH₄ 和 N₂O 气体的排放,同时不增加 NH₃ 的释放; Zhong 等^[4] 探讨了不同的堆肥工艺过程中温室气体的排放差异,其中强制通风 + 机械翻堆工艺 GHG 排放当量显著低于机械翻堆条垛式工艺; Ahn 等^[5]、Chowdhury 等^[6] 则认为通风量是影响温室气体的重要因素,Chowdhury 等的研究结果显示低通风量相对于高通风量可有效降低 NH₃ 的排放,但对于减少 N₂O 排放无明显作用,同时增大了 CH₄ 的排放 (55%); Shan 等^[7] 研究了添加易降解的有机物对 GHG 的减排效果,认为添加易降解有机物有利于降低 CH₄-C 的损失. 而有关低温环境 (如冬季) 污泥堆肥过程中温室气体的排放研究还很缺乏,少数研究结果也存在较大差异. 如钟佳^[8] 分别对不同堆肥工艺夏季和冬季堆肥进行研究,结果发现同一工艺条件下冬季 GHG 排放量显著高于夏季 (约为 5 ~ 30 倍). 江滔等^[9] 对于污泥冬季堆肥过

程中翻堆和覆盖对 GHG 的影响进行了探索,其研究结果中,翻堆频率以及覆盖条件一致的情况下,冬季堆肥 GHG 排放量低于钟佳夏季堆肥结果 (以干污泥计分别为 48.26 kg·t⁻¹ 和 121.4 kg·t⁻¹),这可能与地域环境、堆肥材料、工艺、通风量等因素有关. 因此,本研究采用两种不同的调理剂进行对比,探讨冬季污泥堆肥过程中 GHG 排放特征,估算温室气体排放当量,以期为不同季节和不同环境污泥堆肥处理过程中温室气体的排放研究和控制提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验以城市污泥做为堆肥基质,分别以木屑和玉米秸秆作为调理剂. 污泥取自于重庆市某污水处理厂的脱水污泥,木屑和玉米秸秆分别来源于重庆市沙坪坝区曾家木材加工厂 (松木屑) 和西南大学农场 (剪碎至 2 ~ 3 cm),基本性质见表 1.

表 1 混合堆体的基本性质

Table 1 Basic characteristics of the mixing pile						
名称	含水率/%	pH	全碳 /g·kg ⁻¹	全氮 /g·kg ⁻¹	有机碳 /g·kg ⁻¹	C/N
污泥 + 秸秆	68.07	7.57	530.21	20.89	350.46	25.38
污泥 + 木屑	68.53	6.95	552.07	22.47	359.72	24.32
原污泥	80.70	7.85	618.31	27.79	336.10	—
玉米秸秆	11.40	—	492.07	8.92	419.63	—
木屑	28.10	—	453.85	1.13	432.81	—

1.2 堆肥工艺条件

根据原污泥、木屑以及秸秆各自的含水率,将污泥与调理剂分别按照污泥: 秸秆 = 6:1 (秸秆处理)、污泥: 木屑 = 4:1 (木屑处理) 混合,调节混合后物料放入自制堆肥箱,有效尺寸为 0.90 m × 0.45 m × 0.71 m (长 × 宽 × 高),有效体积约为 0.288 m³,如图 1 所示.

堆肥期间采用强制通风 + 人工翻堆的方式进行处理. 前 2 周每周翻堆 2 次,随后每周翻堆 1 次;通风系统采用时间控制,设置通风/关闭为 20 min·h⁻¹,通风量约为 0.1 m³·(min·m³)⁻¹,整个堆肥过程中不额外补充水分,堆肥实验持续时间 39 d.

1.3 采样与分析方法

1.3.1 气体采集与分析

采用静态箱平衡法采集温室气体,采样频率为堆肥第 1 周连续采样,同时在堆肥的第 8、12、19、25、32、39 d 采样,气样每间隔 3 min 采集一次,共采 4 次,20 h 内完成样品的测定. 采用日本岛津

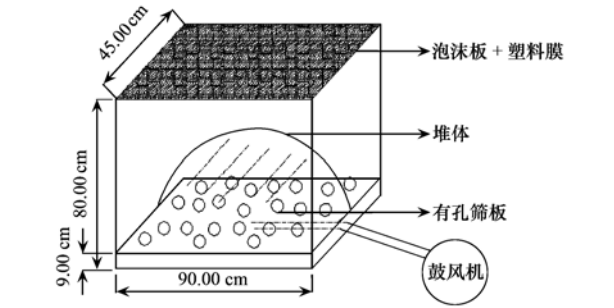


图 1 堆肥装置示意

Fig. 1 Sketch map of composting process

GC-2014 气相色谱仪进行测定,定量分析检测堆肥过程气体样中 CH₄、CO₂、N₂O 浓度,结合色谱峰面积和标气浓度计算出样品中各气体浓度,从而得出气体排放通量,计算公式如下:

$$f = h \cdot \frac{\Delta c}{\Delta t} \times \frac{M \times 273}{22.41 \times \left(273 + \frac{T_1 + T_2}{2} \right)} \times 60$$

式中, f 为气体排放通量, mg·(m²·h)⁻¹; h 为静态

箱的高度, m; $\Delta c/\Delta t$ 为单位时间内气体样的浓度变化值; M 为 1 mol CH_4 、 CO_2 或者 N_2O 对应的 C 或者 N 的摩尔质量, $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $273/[273 + (T_1 + T_2)/2]$ 为绝对温度的校正系数; T_1 、 T_2 分别为采集第一个、最后一个样品时采样箱内的气体温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

1.3.2 固体样品采集与分析

分别于堆肥过程的第 1、4、8、12、19、25、32、39 d 采集堆肥固体样。采用剖面采样法采集不同深度的土样, 混合均匀后采用四分法取样, 采用鲜样测定含水率、pH 值、电导率、铵态氮 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 以及硝态氮 ($\text{NO}_3^-\text{-N}$); 样品风干研磨过筛处理测定总碳 (TC)、总氮 (TN) 和总有机碳 (TOC) 等。固体样品各指标 (除含水率、pH、电导率外) 的数据以干重计。采用 Origin 8.5 和 SPSS 19.0 进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 堆体温度和理化性质的变化

秸秆处理与木屑处理的堆体温度变化如图 2 所示。由于冬季堆肥环境温度较低 ($7.5 \sim 9.0^{\circ}\text{C}$), 堆肥过程仅经过约 39 d 就基本达到室温, 然而两种处理均经历了升温期、高温期与降温腐熟期 3 个典型阶段, 并且均在 45°C 以上维持了 5 d 以上。两个处理最高温度分别达到 56.2°C 、 57.8°C , 维持一段高温后在翻堆时开始明显下降, 江滔等^[9]在冬季堆肥时出现类似现象。木屑处理在后期降温趋势更明显, 这与 Sun 等^[10]的研究一致, 认为木屑中木质素含量较高不易降解, 由于是冬季堆肥, 此现象更为明显。由此可见, 温度快速降低一方面可能是辅料投加比例过小, 易降解的有机物过少, 同时堆肥过程中含水率过大含氧量不足, 阻碍了微生物的代谢; 另一方面环境温度低散热快, 同时翻堆时热量过度散

失也是造成温度急速降低的主要原因^[11]。秸秆和木屑两种处理的初始含水率分别去除了 20.85% 和 19.43%。随着堆肥进行, pH 值呈逐渐升高的趋势, 均由约 7.0 逐步上升至 9.0 左右; 电导率表现为先升高后降低的趋势, 在 $1.0 \sim 3.0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 之间变化。t-检验分析结果表明, 秸秆与木屑两种处理的含水率、pH 值以及电导率均不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.2 CH_4 和 CO_2 排放特征

如图 3 所示, 秸秆、木屑两种处理 CH_4 排放均集中在堆肥前期。堆肥第 1 d, 由于堆料曝气不足, 氧含量低, 产生局部厌氧区域导致了大量 CH_4 气体的释放, 这与赵晨阳等^[11]研究结果类似。两种处理 CH_4 排放通量首先逐渐升高, 均在第 5 d 左右达到峰值, 分别为 $28.81 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$ 和 $42.08 \text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$, 随后缓慢下降, 腐熟期未见明显排放, 这一现象与 Maeda 等^[12]和 Guo 等^[13]的研究一致。t-检验结果显示, 堆肥过程中两种处理 CH_4 排放通量不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。有研究表明^[14], 仅仅在堆体温度较高且处于厌氧区域时才会产生甲烷气体, 因此在前 1~2 周内 CH_4 排放通量能维持在较高水平是因为缺氧区域产甲烷菌的持续反应, 而随后逐渐降低则是嗜热甲烷氧化细菌的数目以及活性增大导致的^[15]。秸秆处理在升温期及高温期 CH_4 排放量比木屑处理低, 而降温期与腐熟期较高。总体来说, 秸秆处理 CH_4 单位面积累积排放量稍高于木屑处理, 分别为 $17.49 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $16.08 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 累积排放量呈现显著性差异 ($P < 0.05$), 这可能与秸秆处理相对于木屑处理后期温度降低较慢有关。

秸秆和木屑两种处理 CO_2 排放规律总体相似, 表现为前期排放明显而后期不显著, 在堆肥进行的第 5 d 出现排放峰值, 分别为 $82.69 \text{ g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$ 、 $60.25 \text{ g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$ 。2 周后迅速降低, 排放通量逐渐下降, 累积排放量在前 2 周达整个过程的 75%~90%。前期易于降解的有机物迅速分解代谢产生大量 CO_2 , 温度适宜发酵细菌活性高, 后期则主要是难降解的有机物, 代谢量相对较低^[16,17], 堆肥整个过程中 CO_2 排放通量不存在显著差异 ($P > 0.05$), 其累积排放量呈极显著差异 ($P < 0.01$)。两种处理 CO_2 累积碳排放量分别为 $11.01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $7.32 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

堆肥过程中秸秆和木屑两种处理的总碳 (TC)

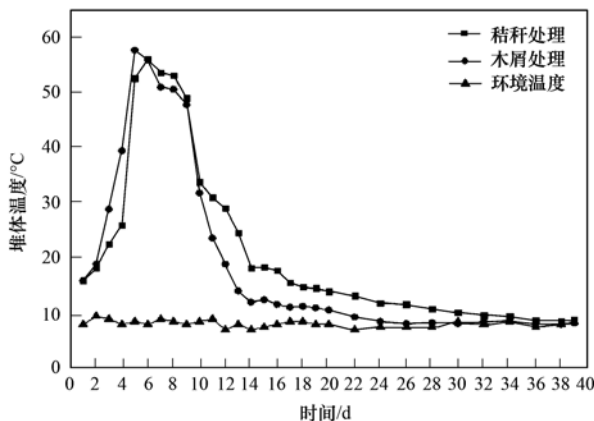
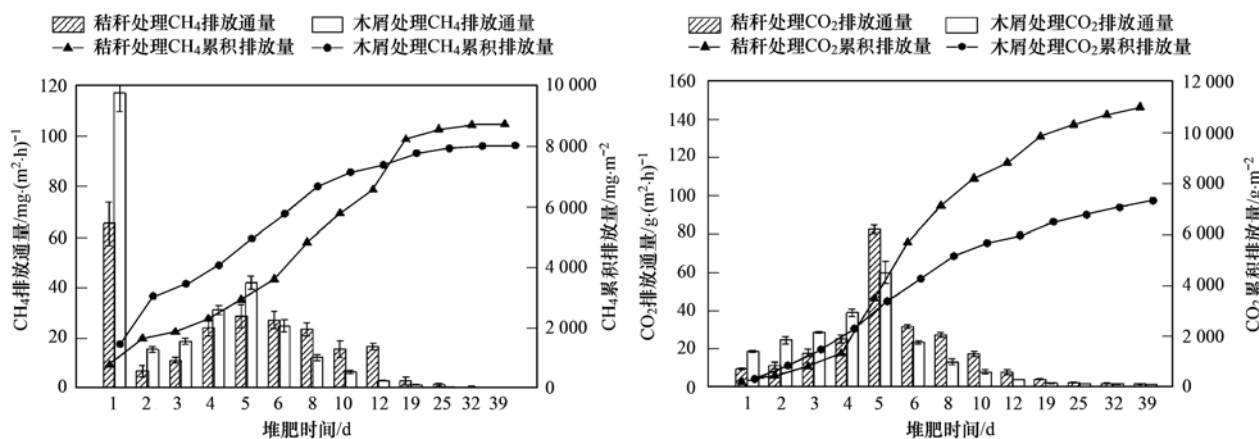


图 2 污泥堆肥堆体温度以及环境温度变化

Fig. 2 Temperature changes of pile and circumstances during sludge composting

图3 堆肥过程中 CH_4 和 CO_2 排放通量及累积排放量Fig. 3 Fluxes and accumulative emissions of CH_4 and CO_2 during sludge composting process

损失分别为 $61.98 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $71.62 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图4), 单位面积 TC 损失分别为 $7.65 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $8.84 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中 CH_4 碳素损失分别占 0.23%、0.18%, 这与 Mulbry 等^[16]、Ouyang 等^[18] 采用污泥与水稻秸秆混合堆肥的 CH_4 碳素损失率 (0.36% ~ 0.57%) 相似。而 Sun 等^[10] 采用猪粪分别与玉米秆、蘑菇渣及木屑进行好氧发酵, CH_4 碳素累积损失分别占 TC 损失的 8.55%、8.40% 和 1.99%。Zhong 等^[4] 采用污泥强制通风 + 机械翻堆条垛工艺, CH_4 碳素损失为 TC 的 0.064%。可见, 不同研究存在较大差异, 这可能是由于堆肥采用的材料与工艺不同, 同时, 环境条件、堆体体积以及堆肥持续时间也是重要影响因素。两种处理 TC 损失主要集中在前 2 周, 所占比例分别为 73.74%、83.62%, 二者不存在显著性差异 ($P > 0.05$), 相应地 CH_4 累积排放量呈差异显著 ($P < 0.05$), CH_4 碳素损失分别为 75.11%、91.02%, 因此要控制 CH_4 的排放应寻求有机物快速降解期间降低 CH_4 产生量的对策。

2.3 N_2O 排放特征及氮素转化

秸秆和木屑处理 N_2O 排放通量均集中在腐熟

期, 在堆肥前期相对平缓且处于较低水平, 变化范围分别为 $0.015 \sim 0.059 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 、 $0.008 \sim 0.052 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ (图5), 堆肥第 12 d 开始有明显排放并呈急剧上升的趋势, 最大排放通量分别达到 $14.34 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 、 $18.90 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 两种处理 N_2O 排放通量并不存在显著性差异 ($P > 0.05$), 这一现象与文献[19,20]研究中 N_2O 的排放特征类似。Wang 等^[20] 认为厌氧区域的普遍存在且铵态氮含量高, 而缺乏可直接利用的碳是造成这一现象的主要原因。同时 Mulbry 等^[16]、Jiang 等^[19] 认为温度对 N_2O 的排放起抑制作用, 过高的温度会抑制硝化细菌的活性。对比本实验研究结果, 秸秆和木屑处理铵态氮在堆肥前两周平均含量相对后期较高, 分别由 $5.90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降至 $4.78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $12.11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 降至 $4.78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 同时升温期与高温期相对较高的温度也可能是抑制 N_2O 排放的因素之一。而另一方面研究结果差异较大, Chowdhury 等^[3] 和 Sun 等^[10] 的研究中发现 N_2O 主要出现在堆肥早期, 其高排放率与温度显著相关, 堆肥前期甲烷氧化菌能在高温条件下实现对铵的氧化, 进而产生 N_2O 。研究结果出现

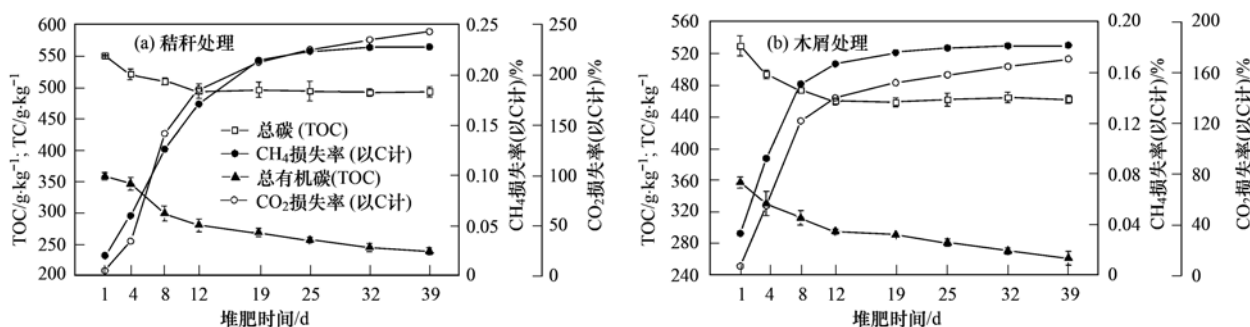


图4 堆肥过程中碳素变化

Fig. 4 Changes of carbon during sludge composting process

较大差异,可能是由于堆肥所选的材料、堆肥工艺、通风模式与通风量等因素导致的.

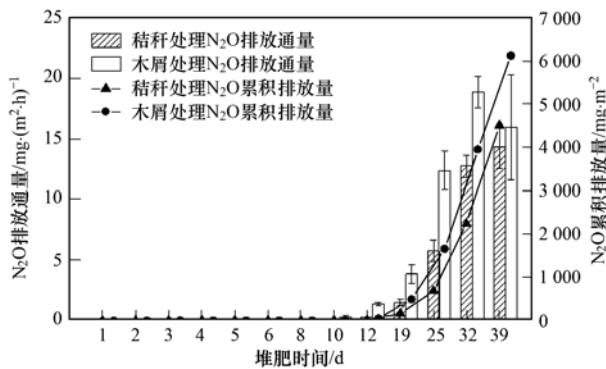


图5 堆肥过程中 N_2O 排放通量及累积排放量

Fig. 5 Fluxes and accumulative emissions of N_2O during sludge composting process

秸秆与木屑两种处理 TN 含量整体均呈下降趋势(图 6),堆肥结束时分别降至 $17.63 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $19.02 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,降幅达 21.15%、17.35%, t -检验结果显示,二者 TN 损失存在显著性差异($P < 0.05$),木屑处理相对于秸秆处理有利于氮素的保持.木屑处理在堆肥全过程中 N_2O 排放通量高于秸秆处理,其累积排放量也稍高,木屑与秸秆处理的单位面积 N_2O 累积排放量分别为 $12.28 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $9.04 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,

分别占 TN 损失的 1.55%、2.49% (TN 损失分别为 $583.96 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $492.84 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$),整体对比而言,木屑处理以 N_2O 形式损失的氮素高于秸秆处理,二者的 N_2O 累积排放量差异极显著($P < 0.01$).堆肥过程中绝大多数损失的氮素则以 NH_3 形式散失,如 Wang 等^[20]的研究显示 NH_3 累积排放量为 $3.0 \sim 8.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而 N_2O 则仅为 $92.8 \sim 274.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,Chowdhury 等^[3]研究结果显示以 NH_3 与 N_2O 形式的 TN 损失分别为 0.8% ~ 26.5%、0.05% ~ 0.1%.堆料中氮素主要以铵态氮为主,两种处理含量分别为 $3.97 \sim 6.63 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $4.26 \sim 7.59 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,堆肥结束时铵态氮占总氮的比例相当,均为 22.50%,二者铵态氮差异不显著($P > 0.05$).两种处理堆肥前期铵态氮含量有明显上升,分别升高了 14.66% 和 39.26%,可能是因为微生物活性高分解代谢产生铵态氮,而降温期以后开始急剧下降.有研究认为出现这种现象是因为在氨化细菌的作用下^[21,22],堆体中铵态氮被消耗,同时生成 NO_2^- ,产生少量 N_2O .90% 以上的 N_2O 排放量集中在堆肥后期,前 2 周的排放量不足总排放量的 10%.因此要实现 N_2O 气体的减排,需在腐熟期实行工艺条件的控制,如后期降低翻堆次数,添加改性物质等^[6,23].

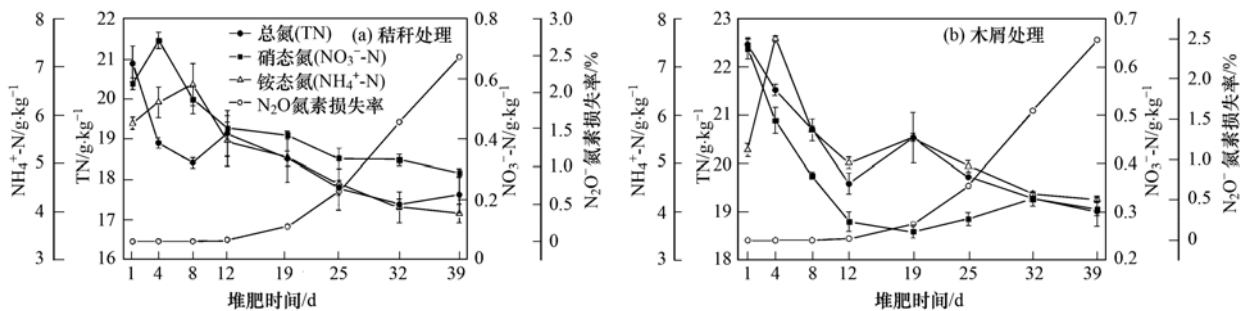


图6 污泥堆肥过程中氮素变化

Fig. 6 Changes of nitrogen during sludge composting process

2.4 冬季污泥堆肥温室效应分析

根据 IPCC2014 年第 5 次报告中温室气体增温潜势表示方式^[24],堆肥过程中产生的温室气体以 CO_2 当量表示.由表 2 可知,两种处理的 CH_4 排放当量均远低于 IPCC 推荐的堆肥过程中温室气体排放缺省值($10 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$)^[25];同时,秸秆处理的 N_2O 排放则低于木屑处理,且均高于 IPCC 推荐值($0.06 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$)^[25].秸秆与木屑处理总的 CO_2 排放当量分别为 $133.13 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ 、 $169.45 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$,可见采用秸秆作为调理剂相对于木屑更具有减排的效果.针对冬

季污泥堆肥而言,与其他研究相比,由于堆肥工艺、采用的原料、堆体体积、通风量以及堆肥环境条件等不尽相同,因此研究结果有所差异.如 Zhong 等^[4]采用蘑菇渣作为原料,强制通风 + 机械翻堆进行堆肥,其 CO_2 排放当量为 $12.47 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$;Chowdhury 等^[6]采用不同的通风量以及不同比例混料堆肥, CO_2 排放当量为 $13 \sim 37 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$;Hao 等^[17]采用水稻秸秆和木屑作为调理剂与牛粪混合堆肥, CO_2 排放当量分别为 $171.1 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ 和 $160.6 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$.总体而言,本实验研究条件下,冬季污泥堆肥具有一

定温室气体减排效果,但还需考虑各方面因素,进行更系统全面的研究.同时良好控制堆肥条件达到林用标准,则可广泛用于园林绿化,进一步实现其温室气体减排的功能.

表 2 冬季污泥堆肥温室气体排放估算

试验处理	温室气体排放量				CO ₂ 排放当量		
	单位面积排放量/kg·m ⁻²		累积排放量(干污泥)/kg·t ⁻¹		(以干污泥计)/kg·t ⁻¹		
	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	合计
秸秆处理	0.017	0.009	0.689	0.365	19.98	113.15	133.13
木屑处理	0.016	0.012	0.648	0.486	18.79	150.66	169.45

3 结论

(1)冬季污泥堆肥高温期持续时间相对较短而腐熟期温度低,出现 CH₄ 排放量相对较低而 N₂O 较高的现象.木屑与秸秆两种处理 CH₄ 累积排放量(以干污泥计)分别为 0.648 kg·t⁻¹、0.689 kg·t⁻¹, N₂O 累积排放量(以干污泥计)分别为 0.486 kg·t⁻¹、0.365 kg·t⁻¹.CH₄ 排放量均低于 IPCC 推荐值,N₂O 则均高于推荐值,针对冬季堆肥温室气体减排应关注堆肥后期 N₂O 排放量的降低策略.

(2)冬季污泥堆肥虽然环境温度较低但仍然能达到卫生标准,但应注重后期堆体的保温措施.采用玉米秸秆作为调理剂相对于木屑有利于堆体温度的保持,堆肥效果较好,并且温室气体排放当量小于木屑处理.总的 CO₂ 排放当量(以干污泥计)分别为 133.13 kg·t⁻¹和 169.45 kg·t⁻¹,可考虑采用二者相结合进一步深入研究.

参考文献:

[1] Park K H, Jeon J H, Jeon K H, *et al.* Low greenhouse gas emissions during composting of solid swine manure[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, **166-167**: 550-556.

[2] 陈海,王玥,刘东海.大连市夏家河污泥处理厂的工艺设计与运行经验[J].*中国给水排水*, 2010, **26**(12): 42-44, 47.

[3] Chowdhury M A, de Neergaard A, Jensen L S. Composting of solids separated from anaerobically digested animal manure; effect of different bulking agents and mixing ratios on emissions of greenhouse gases and ammonia[J]. *Biosystems Engineering*, 2014, **124**: 63-67.

[4] Zhong J, Wei Y S, Wan H F, *et al.* Greenhouse gas emission from the total process of swine manure composting and land application of compost[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **81**: 348-355.

[5] Ahn H K, Mulbry W, White J W, *et al.* Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure[J]. *Bioresource Technology*, 2011, **102**(3): 2904-2909.

[6] Chowdhury M A, de Neergaard A, Jensen L S, *et al.* Potential of aeration flow rate and bio-char addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting [J].

Chemosphere, 2014, **97**: 16-25.

[7] Shan Y N, Chen J H, Wang L, *et al.* Influences of adding easily degradable organic waste on the minimization and humification of organic matter during straw composting [J]. *Journal of environmental science and health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 2013, **48**(5): 384-392.

[8] 钟佳. 污泥/猪粪堆肥及其农田利用全过程的温室气体与氨气排放特征研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.

[9] 江滔, Schuchardt F, 李国学. 冬季堆肥中翻堆和覆盖对温室气体和氨气排放的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, **27**(10): 212-217.

[10] Sun X P, Lu P, Jiang T, *et al.* Influence of bulking agents on CH₄, N₂O, and NH₃ emissions during rapid composting of pig manure from the Chinese Ganqinfen system [J]. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2014, **15**(4): 353-364.

[11] 赵晨阳, 李洪枚, 魏源送, 等. 翻堆频率对猪粪条垛堆肥过程温室气体和氨气排放的影响[J]. *环境科学*, 2014, **35**(2): 533-540.

[12] Maeda K, Hanajima D, Morioka R, *et al.* Mitigation of greenhouse gas emission from the cattle manure composting process by use of a bulking agent[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2013, **59**(1): 96-106.

[13] Guo R, Li G X, Jiang T, *et al.* Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost[J]. *Bioresource Technology*, 2012, **112**: 171-178.

[14] Shen Y J, Ren L M, Li G X, *et al.* Influence of aeration on CH₄, N₂O and NH₃ emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture [J]. *Waste Management*, 2011, **31**(1): 33-38.

[15] Jäckel U, Thummes K, Kämpfer P. Thermophilic methane production and oxidation in compost [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2005, **52**(2): 175-184.

[16] Mulbry W, Ahn H. Greenhouse gas emissions during composting of dairy manure; influence of the timing of pile mixing on total emissions[J]. *Biosystems Engineering*, 2014, **126**: 117-122.

[17] Hao X Y, Chang C, Larney F J. Carbon, nitrogen balances and greenhouse gas emission during cattle feedlot manure composting [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, **33**(1): 37-44.

[18] Ouyang J X, Shi Z, Zhong H, *et al.* Static aerobic composting of municipal sewage sludge with forced ventilation; using matured compost as bulking conditioner [J]. *Journal of Central South*

- University, 2014, **21**(1): 303-309.
- [19] Jiang T, Schuchardt F, Li G X, *et al.* Gaseous emission during the composting of pig feces from Chinese Ganqin system[J]. *Chemosphere*, 2013, **90**(4): 1545-1551.
- [20] Wang J Z, Hu Z Y, Xu X K, *et al.* Emissions of ammonia and greenhouse gases during combined pre-composting and vermicomposting of duck manure [J]. *Waste Management*, 2014, **34**(8): 1546-1552.
- [21] 郑嘉熹, 魏源送, 吴晓凤, 等. 猪粪堆肥过程保氮固磷及温室气体(N_2O)减排研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(7): 2047-2055.
- [22] 单德鑫, 李淑芹, 许景钢. 固体有机废物堆肥过程中氮的转化[J]. *东北农业大学学报*, 2007, **38**(2): 265-269.
- [23] 罗一鸣, 李国学, Schuchardt F, 等. 过磷酸钙添加剂对猪粪堆肥温室气体和氨气减排的作用[J]. *农业工程学报*, 2012, **28**(22): 235-242.
- [24] IPCC. 气候变化 2014: 综合报告[R]. 哥本哈根: IPCC, 2014.
- [25] 马占云, 高庆先. 废弃物处理温室气体排放计算指南[M]. 北京: 科学出版社, 2011. 99-100.
-

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjkx.ac.cn>)。该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用。目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行。作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可。如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系。

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102,010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjkx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjkx.ac.cn

CONTENTS

Concentration Characteristics of PM _{2.5} in Beijing During Two Red Alert Periods	CHENG Nian-liang, ZHANG Da-wei, CHEN Tian, <i>et al.</i> (2409)
Response of Human Respiratory Height PM _{2.5} Variation Characteristics to Meteorological Factors During Winter Haze Days in Beijing	ZHANG Nan, XIONG Hei-gang, GE Xiu-xiu, <i>et al.</i> (2419)
Pollutional Characteristics and Sources Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmospheric Fine Particulate Matter in Lanzhou City	LI Ying-hong, RAO Zhi-guo, TAN Ji-hua, <i>et al.</i> (2428)
Determination and Source Apportionment of Aromatic Acids in PM _{2.5} from the Northern Suburb of Nanjing in Winter	ZHANG Ya-fei, MA Yan, QI Lu, <i>et al.</i> (2436)
Impact of Marine-atmospheric Process on Aerosol Number Size Distribution in the South China Sea	KONG Ya-wen, SHENG Li-fang, LIU Qian, <i>et al.</i> (2443)
Assessment of Heavy Metals Pollution and Its Health Risk of Atmospheric Dust Fall from East Part of Junggar Basin in Xinjiang	YANG Chun, Tashpolat Tiyp, HOU Yan-jun, <i>et al.</i> (2453)
Variations of Stable Isotope in Precipitation and Its Atmospheric Circulation Effect in Chongqing	WEN Yan-ru, WANG Jian-li (2462)
Temporal Dynamics of Stable Isotopic Composition in Lake Taihu and Controlling Factors	XU Jing-zheng, XIAO Wei, XIAO Qi-tao, <i>et al.</i> (2470)
Geochemical Characteristics of Lateral Hyporheic Zone Between the River Water and Groundwater, a Case Study of Maanxi in Chongqing	ZHANG Yu, YANG Ping-heng, WANG Jian-li, <i>et al.</i> (2478)
Variations of CO ₂ Exchange Fluxes Across Water-air Interface and Environmental Meaning in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China	LI Li, PU Jun-bing, LI Jian-hong, <i>et al.</i> (2487)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) Releases from Soils of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas; UV-Vis Spectrum	LIANG Jian, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (2496)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) Releases from Soils of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas; Fluorescence Spectra	LIANG Jian, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (2506)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Thirteen Sulfonamides Antibiotics in a Drinking Water Source in East China	JIN Lei, JIANG Lei, HAN Qi, <i>et al.</i> (2515)
Concentrations of Ketamine and Norketamine in the Water Environment in Beijing	ZHANG Hua-fang, YANG Jun, DU Peng, <i>et al.</i> (2522)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Water of Yuqiao Reservoir Watershed During the Water Delivery Period	CHANG Sheng, ZHAO Xing-ru, FU Qing, <i>et al.</i> (2530)
Concentrations and Partitioning of Halogenated Flame Retardants in Industrial Water of Dongjiang River	HE Ming-jing, LI Qi, ZHAO Jia-yuan, <i>et al.</i> (2539)
Distribution Characteristics and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Fatty Acids in Water of Karst Underground River	XIE Zheng-lan, SUN Yu-chuan, ZHANG Mei, <i>et al.</i> (2547)
Pollution Characteristics of Snowmelt Runoff on Different Underlying Surface in Main Urban Area of Harbin	SUN Xi-han, LIU Shuo, WAN Lu-he, <i>et al.</i> (2556)
Impact of Precipitation on Fenghe River Water and Aquatic Microorganisms	LU Si-dan, SUN Yu-jiao, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (2563)
Response of <i>Microcystis aeruginosa</i> Growth to Arsenate Under Different Phosphorus Regimes	WANG Zhen-hong, ZHANG Han-peng, LUO Zhuan-xi (2570)
Removal Behavior of Ibuprofen and Diclofenac in Different Constructed Wetlands	JING Rui-ying, YANG Yang, DAI Yu-ni, <i>et al.</i> (2577)
Influence of Chemical Pre-oxidation on Chloral Hydrate Formation of Threonine	CAI Guang-qiang, FU Xue-min, LIU Li-jun, <i>et al.</i> (2586)
Activated Carbon Supported Co ₃ O ₄ Catalysts to Activate Peroxymonosulfate for Orange G Degradation	WANG Zhong-ming, CHEN Jia-bin, ZHANG Li-ming, <i>et al.</i> (2591)
Kinetics for Degradation of Orange G with Peroxymonosulfate Activated by Carbon Nanotubes	ZHANG Li-ming, CHEN Jia-bin, LI Wen-wei, <i>et al.</i> (2601)
Removal of Chloramphenicol in Wastewater by Electrochemical Reduction with Carbon Nanotubes-Modified Electrode	DENG Fei, TANG Bo-bin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2610)
Removal of AOX, Chroma and TOC in Chemical Dye-stuff Wastewater with Iron Scraps-Fenton-Coagulation Combined Process	SHU Xiao-ming, XU Can-can, WEN Xiao-gang, <i>et al.</i> (2618)
Removal of AOX in Activated Sludge of a Chemical Pharmaceutical Industry with Fenton Oxidation	CHEN Si, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> (2625)
Performance Evaluation of a Pilot-scale Microbubble-aerated Biofilm Reactor	LIU Chun, ZHANG Jing, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2632)
Nitrogen Removal Performance of Novel HABR Reactor over CANON Process	BAO Lin-lin, CHEN Wan-qiu (2639)
Characteristics of a Combined Heterotrophic and Sulfur Autotrophic Denitrification Technology for Removal of High Nitrate in Water	LI Xiang, MA Hang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (2646)
Characteristics of Microbial Community in Each Compartment of ABR ANAMMOX Reactor Based on High-throughput Sequencing	CHEN Chong-jun, ZHANG Hai-qin, WANG Yao-qi, <i>et al.</i> (2652)
Nitrogen Removal and the Characteristics of Denitrification Bacteria Using NUA-DAS Ecofilter	WANG Long-mian, QIU Hao-yu, CHE Yu-xiao, <i>et al.</i> (2659)
Coupling of Hydrocarbon Accumulation and Cobalt Removal During Treatment of Cobalt Enriched Industrial Wastewater with <i>Botryococcus braunii</i> Biofilm Attached Cultivation	CHENG Peng-fei, WANG Yan, YANG Qi-yong, <i>et al.</i> (2666)
Isolation of <i>Raoultella</i> sp. sarI01 and Its Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Characteristics	YAN Wei-zhi, HAO Jian, SUN Jun-song, <i>et al.</i> (2673)
Screening and Nitrogen Removing Characteristics of Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacteria SLWX ₂ from Sea Water	CHENG Yu, LI Qiu-fen, FEI Yu-tao, <i>et al.</i> (2681)
Biodiversity of Thiocyanate-degrading Bacteria in Activated Sludge from Coking Wastewater	XU Wei-chao, MENG Xiao-jun, YIN Li, <i>et al.</i> (2689)
Responses of Plankton Microeukaryotic Community to Increasing Temperatures Created by Power Plant Thermal Discharges	DAI Wen-fang, YANG Shi-ye, QUE Zhi-jia, <i>et al.</i> (2696)
Characteristics of Soil Microbial Community Structure in the Rhizospheric Soil of <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> by Phospholipid Fatty Acid (PLFA)	ZUO Yi-ling, HE Xue-li, WANG Shao-jie, <i>et al.</i> (2705)
Response of Soil Respiration to Extreme Precipitation in Semi-arid Regions	ZHAO Man, WANG Rui, LI Ru-jian, <i>et al.</i> (2714)
Features and Influencing Factors of N ₂ O Emissions from Drawdown Area in the Three Gorges Reservoir	LI Rui, LEI Li-guo, JIANG Chang-sheng, <i>et al.</i> (2721)
Denitrification Loss and N ₂ O Emission from Different Carbon Inputs in Orchard Drains Sediments	GAO Xue-mei, SHE Dong-li, YAN Xiao-yuan, <i>et al.</i> (2731)
Emissions Characteristics of Greenhouse Gas from Sewage Sludge Composting Process in Winter	YI Jian-ting, YANG Yu-han, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (2738)
Distribution and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Organochlorine Pesticides (OCPs) in Soils from Shergyla Mountain, Southeast Tibetan Plateau	LUO Dong-xia, ZHANG Shu-juan, YANG Rui-qiang (2745)
Applications of Geostatistical Analyses and Stochastic Models to Identify Sources of Soil Heavy Metals in Wuqing District, Tianjin, China	SONG Zhi-ting, ZHAO Yu-jie, ZHOU Qi-wen, <i>et al.</i> (2756)
Effects of Soil Moisture and Temperature Variations on Organic Carbon Mineralization of Purple Soil in the Hydro-fluctuation Belt of the Three Gorges Reservoir	DING Chang-huan, WANG Lian-ge, TANG Jiang, <i>et al.</i> (2763)
Reduction Effect of Reduced Phosphorus Fertilizer and Combining Organic Fertilizers on Phosphorus Loss of Purple Soil Sloping Field	HAN Xiao-fei, GAO Ming, XIE De-ti, <i>et al.</i> (2770)
Transformation and Migration of Sulfur Speciation in the Rhizosphere and Bulk Soil of Paddy Soil	DU Guang-hui, RAO Wei, LI Xin, <i>et al.</i> (2779)
Comparison of the Persistence of a Combined Amendment Stabilizing Pb, Cd, Cu and Zn in Polluted Paddy Soil	WU Yu-jun, ZHOU Hang, YANG Wen-tao, <i>et al.</i> (2791)
Bio-inspired Recovery of Platinum Nanoparticle and Its Mechanism	SHANG Ru, ZHU Neng-wu, KANG Nai-xin, <i>et al.</i> (2799)
Preparation of γ -Fe ₂ O ₃ Catalyst by Heat Treatment of Natural Limonite for Selective Catalytic Reduction of NO by NH ₃	XU Bin, CHEN Tian-hu, LIU Hai-bo, <i>et al.</i> (2807)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年7月15日 第37卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 7 Jul. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行