

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第8期

Vol.33 No.8

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

南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源	李琦路, 李军, 刘向, 徐维海, 张干 (2533)
河北张家口市大气污染观测研究	邵平, 王莉莉, 安俊琳, 周彦丽, 王跃思 (2538)
大气中丙烷光氧化臭氧生成活性的烟雾箱模拟	黄丽华, 莫创荣, 徐永福, 贾龙 (2551)
膜生物反应器处理甲苯性能及机制	叶杞宏, 魏在山, 肖盼, 李华琴, 张再利, 樊青娟 (2558)
厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析	张红玉, 邹克华, 杨金兵, 李国学, 杨青原, 张锋 (2563)
北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究	徐志伟, 张心昱, 任玉芬, 孙晓敏, 王效科, 王升忠 (2569)
枯、平、丰水期长江3条支流表层水中多氯联苯的分布特征及风险评价	李昆, 赵高峰, 周怀东, 曾敏, 廖柏寒, 吴正勇, 张盼伟, 柳敏 (2574)
三峡库区丰水期表层水中酚类的分布特征及潜在风险	吴正勇, 赵高峰, 周怀东, 李科林, 李昆, 张盼伟 (2580)
东湖表层水体中全氟辛酸和全氟辛磺酸空间分布特征	陈静, 王琳玲, 朱湖地, 王贝贝, 刘黄诚, 曹梦华, 苗竹, 胡丽, 陆晓华, 刘光虹 (2586)
三峡库区大宁河与磨刀溪重金属污染特征	安立会, 张艳强, 郑丙辉, 刘玥, 宋双双, 李子成, 陈浩, 赵兴茹, 林进 (2592)
长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价	王岚, 王亚平, 许春雪, 安子怡 (2599)
江苏如东滩涂贝类养殖区表层沉积物中重金属来源分析及其潜在生物毒性	李磊, 王云龙, 蒋玫, 袁璐, 沈新强 (2607)
扰动强度对太湖沉积物中磷释放及其形态转化的影响	李大鹏, 黄勇 (2614)
干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用	张宇, 刘德富, 纪道斌, 杨正健, 陈媛媛 (2621)
常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响	李强, 高祥, 丁武泉, 朱启红, 欧媛, 刘瑜 (2628)
温州城市降雨径流磷的负荷及其初始冲刷效应	周栋, 陈振楼, 毕春娟 (2634)
沂蒙山区典型小流域降雨径流的磷素输出特征	于兴修, 李振炜, 刘前进, 井光花 (2644)
城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响	杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 吴金水, 胡荣桂 (2652)
基于 AnnAGNPS 模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究	边金云, 王飞儿, 杨佳, 俞洁, 楼莉萍, 俞丹萍 (2659)
基于 GIS 和 L-THIA 模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析	白凤姣, 李天宏 (2667)
黄土丘陵区坡面水蚀对降雨和下垫面微观格局的响应	卫伟, 贾福岩, 陈利顶, 吴东平, 陈瑾 (2674)
强化混凝对腐殖酸和富里酸去除对比研究	周玲玲, 张永吉, 叶河秀, 张一清 (2680)
九龙江下游水源水中新发病原微生物和抗生素抗性基因的定量 PCR 检测	王青, 林惠荣, 张舒婷, 于鑫 (2685)
布吉河丰水期总细菌和氨氧化细菌的定性和定量研究	孙海美, 白姣姣, 孙卫玲, 邵军 (2691)
曝气生物滤池工艺脱氮性能及反硝化细菌群落结构特征研究	彭晓兰, 刘聪, 陈吕军 (2701)
城市污水处理厂氧化沟工艺微生物种群分析	郭云, 杨殿海, 卢文健 (2709)
IC 反应器处理啤酒废水的效能及其微生物群落动态分析	朱文秀, 黄振兴, 任洪艳, 阮文权 (2715)
原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化	郑蓓, 葛小鹏, 于志勇, 原盛广, 张文婧, 孙景芳 (2723)
UV/H ₂ O ₂ 法对印染废水生化出水中不同种类有机物的去除效果	李新, 刘勇弟, 孙贤波, 徐宏勇, 钱飞跃, 李欣珏, 李暮 (2728)
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 的异养培养条件优化及污水养殖	王秀锦, 李兆胜, 邢冠岚, 李卓凝, 袁红莉, 杨金水 (2735)
“Fe ⁰ /优势脱氯菌”体系降解 2,4,6-TCP 特性及机制研究	戴友芝, 郭丽丽, 史雷, 刘智勇, 高宝钗 (2741)
树脂 D201 上粗漆酶的固定化及对孔雀石绿的脱色	戚绪亮, 刘翔, 刘波, 王林, 王小春, 方超 (2747)
TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ 光催化剂的低温制备及其光催化和磁回收性能	王雪姣, 任学昌, 念娟妮, 肖举强, 王刚, 常青 (2752)
微波加热下苯的催化氧化性能研究	张钰彩, 卜龙利, 王晓晖, 刘海楠, 张浩 (2759)
纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究	高丽英, 汤兵, 梁玲燕, 黄绍松, 付丰连, 罗建中 (2766)
好氧颗粒污泥沉降选择实验研究与定量描述	苏德足, 邓绣坤, 郑丽, 王畅, 金旺江, 沈俊 (2773)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中水解酶活性变化研究	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝建, 许燕滨, 占星星, 刘敬勇 (2780)
微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响	宋永伟, 刘奋武, 周立祥 (2786)
实验室条件下蓝藻结皮对低温光照胁迫的响应与微结构变化	饶本强, 李华, 熊瑛, 兰书斌, 李敦海, 刘永定 (2793)
西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态	吴艳, 江长胜, 郝庆菊 (2804)
典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究	尹春艳, 骆永明, 滕应, 章海波, 陈永山, 赵永刚 (2810)
土壤铜硒复合污染中金属形态转化及其对生物有效性的影响	胡斌, 梁东丽, 赵文龙, 缪树寅 (2817)
土壤微生物群落对多环芳烃污染土壤生物修复过程的响应	张晶, 林先贵, 刘魏魏, 尹睿 (2825)
可可毛色二孢菌对焦化厂土壤多环芳烃污染修复	张志远, 王翠苹, 刘海滨, 孙红文 (2832)
广西茶山梯矿尾砂中微量元素的淋滤实验研究	蔡永兵, 李玲, 魏晓飞, 张国平, 李海霞, 付志平 (2840)
北京市近郊区土壤砷累积特征	戚洁, 王美娥, 汪自强, 欧阳志云 (2849)
抗氧化酶基因作为多环麝香污染分子标志物研究	陈春, 周启星, 刘潇威 (2855)
臭氧污染对不同品种小麦干物质与生物量碳积累与分配的影响	寇太记, 于伟伟, 朱建国, 朱新开 (2862)
尿素分解共沉淀法中反应时间对 ZnAl 类水滑石结构和磷吸附性能的影响	陆英, 程翔, 邢波, 孙中恩, 孙德智 (2868)
铅和铜离子在纳米羟基磷灰石上的竞争吸附动力学研究	胡田田, 仓龙, 王玉军, 司友斌, 周东美 (2875)
pH 和 Ni ²⁺ 对人工纳米氧化硅吸附菲的影响	罗沛, 孙红文, 张鹏 (2882)
铀在凹凸棒石上的吸附特性与机制研究	刘娟, 陈迪云, 张静, 宋刚, 罗定贵 (2889)
环丙沙星在潮土中的吸附特性	崔皓, 王淑平 (2895)
中高温区水合肼 SNCR 脱硝反应机制和特性研究	洪彦, 陈德珍, 王渡, 黄慷 (2901)
H ₂ S 选择性催化氧化工艺及催化剂研究现状	郝郑平, 冀广玉, 张鑫, 曲思秋 (2909)
《环境科学》征稿简则 (2550) 《环境科学》征订启事 (2568) 信息 (2684, 2714, 2848, 2916)	

厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析

张红玉¹, 邹克华², 杨金兵¹, 李国学^{1*}, 杨青原¹, 张锋¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 国家环境保护恶臭污染控制重点实验室, 天津 300191)

摘要: 恶臭污染已成为生活垃圾堆肥过程中的主要环境问题. 以大类粗分后的厨余垃圾作为研究对象, 利用嗅觉测定法和 GC-MS 分析了不同阶段堆肥尾气的臭气浓度和恶臭化合物的种类及其排放浓度, 并对不同堆肥阶段臭气浓度和恶臭物质排放浓度的相关性进行分析. 结果表明, 厨余垃圾堆肥过程中共检测到 43 种挥发性有机物, 其中含硫臭气物质 5 种, 烃类化合物 22 种, 芳香烃类化合物 11 种, 其它物质 5 种. 通过相关性分析, 发现硫化氢、甲硫醇、1,3-二甲苯和邻二甲苯与臭气浓度极显著相关 ($P < 0.01$), 二甲二硫和对二甲苯与臭气浓度显著相关 ($P < 0.05$), 因此在厨余垃圾堆肥过程中要对这 6 种臭气物质进行重点监测和控制.

关键词: 厨余垃圾; 堆肥; 恶臭污染物; 监测; 控制

中图分类号: X512 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)08-2563-06

Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting

ZHANG Hong-yu¹, ZOU Ke-hua², YANG Jin-bing¹, LI Guo-xue¹, YANG Qing-yuan¹, ZHANG Feng¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Environmental Protection Key Laboratory of Odor Pollution Control, Tianjin 300191, China)

Abstract: Odor pollution has become a major environmental problem in municipal solid waste composting. The odor samples at different composting phases of kitchen waste were collected and analyzed by olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The correlation between the odor concentration and the emission of odor compounds was also analyzed. The results showed that there were 43 kinds of volatile organic compounds (VOCs) in the composting process of kitchen waste, including 5 kinds of sulfur odor compounds, 22 kinds of hydrocarbon compounds, 11 kinds of aromatic compounds and 5 kinds of other odor compounds. The correlation analysis indicated that the odor concentration was very significantly correlated with the emission of hydrogen sulfide, methanethiol, 1,3-xylene and o-xylene ($P < 0.01$), and significantly correlated with the emission of dimethyl disulfide and p-xylene ($P < 0.05$). Therefore, those 6 kinds of odor compounds should be intensively monitored and controlled during the composting process of kitchen waste.

Key words: kitchen waste; composting; odor pollutants; monitoring; control

在北京等特大型城市, 厨余垃圾所占比例高达 60%, 最高可达 80% 以上^[1,2]. 厨余垃圾具有含水率高、有机成分多、易腐烂、热值低、有害成分少等特点^[3,4], 因此, 厨余垃圾的处理与资源化越来越引起全社会的关注. 目前, 国内外普遍采用堆肥化无害化处理厨余垃圾, 这样不仅可以将厨余垃圾中有机物质转化为稳定的腐殖质物质, 生产高营养价值的肥料, 避免营养物质的损失, 还可以减少生活垃圾的处理量和成本^[5,6]. 然而在厨余垃圾堆肥过程中, 由于含水率和堆体密度较高, 在堆体局部厌氧区会形成恶臭分子^[7], 主要包括大量含氮、硫化合物的恶臭气体, 不仅给操作人员带来不快感, 可引起人和家畜的呼吸道疾病, 而且进入大气后可造成酸雨和增加自然生态系统中氮、硫的负荷^[8~10].

目前国内外学者对废弃物堆肥过程中的臭气组成进行了大量研究, 王新娟等^[11]研究表明沈阳分类后的有机垃圾(混有 15% 的其它垃圾)在堆肥过程

中产生的主要臭气物质为氨气、硫化氢、甲硫醇等; Wu^[12] 和 Kim^[13] 等发现食品废弃物堆肥过程中的主要恶臭物质是甲硫醚和二甲二硫. Dimitris 等^[14] 研究表明不同有机废弃物堆肥过程中产生的臭气物质不同. 受生活习惯和发展水平的影响, 不同地区厨余垃圾的组成差别较大, 因此堆肥过程中产生的臭气物质不尽相同.

本研究主要以北京市分类后的厨余垃圾作为对象, 通过全面分析厨余垃圾堆肥过程中排放的臭气物质, 并进行定量分析. 在此基础上, 通过臭气物质的种类、排放浓度和臭气浓度的关系, 明确厨余垃圾堆肥过程中对臭气浓度贡献较大

收稿日期: 2011-10-10; 修订日期: 2011-12-23

基金项目: 朝阳区生活垃圾分类体系研究与示范项目 (Z101109022310002); 国家自然科学基金项目 (41075110, 40971177); 广东省中国科学院全面战略合作项目 (2010A090100035)

作者简介: 张红玉 (1983~), 女, 博士, 主要研究方向为固体废弃物处理与资源化, E-mail: zhyycj6688@sohu.com

* 通讯联系人, E-mail: ligx@cau.edu.cn

的臭气物质,以期为厨余垃圾堆肥过程中臭气物质的监测与优先控制恶臭物质的筛选提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 实验材料和堆肥方法

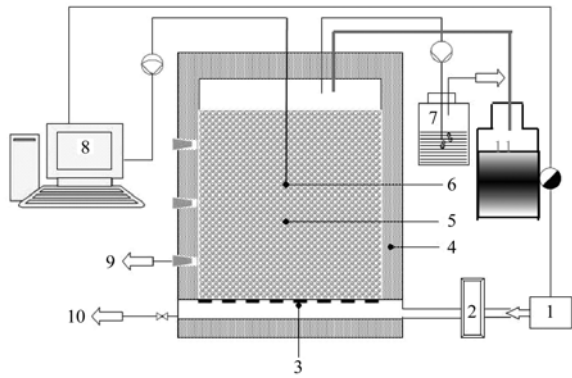
采集北京市南城地区马家楼转运站筛分的 15~80 mm 粒径段垃圾,经人工进一步大类粗分为厨

余垃圾、其它垃圾和可回收垃圾,将厨余垃圾作为堆肥原料.厨余垃圾的主要成分包括米和面粉类食物残余、蔬菜、动植物油、肉骨等.堆肥物料的基本性状见表 1.高温好氧堆肥实验在 60 L 的密闭堆肥化装置中进行,通风量(以干物质计)为 0.2 L·(kg·min)⁻¹,堆制 30 d,发酵罐结构见图 1.堆制期间,分别在 0、2、7、9、15、18、30 d 各采集气体样品,堆肥过程每周翻堆 1 次.

表 1 厨余垃圾的组成特性/%
Table 1 Composition of kitchen waste/%

组分	果皮 ^a	食品 ^a	果壳 ^a	蔬菜 ^a	骨头 ^a	树叶 ^a	肉 ^a	TOC ^b	TN ^b	TS ^b	含水率 ^a
含量	10.0±1.3	4.9±0.1	13.5±0.4	53.2±0.7	9.0±0.1	7.1±0.3	2.3±0.2	33.4±0.6	2.5±0.1	0.7±0.0	75.7±1.3

1)上标中 a 表示基于湿基质量,b 表示基于干基质量



(1)空气泵;(2)气体流量计;(3)筛板;(4)绝热层;(5)堆肥原料;(6)温度传感器;(7)洗气瓶;(8)自动化控制系统;(9)采样口;(10)渗滤液收集口;(11)蒸发水分收集瓶

图 1 强制通风静态堆肥反应器示意

Fig. 1 Diagram of aerated static compost fermentor

1.2 分析方法

总有机碳(TOC)和总氮(TN)的测定参考有机肥料标准(NY 525-2002);堆肥物料在 105℃ 下烘干至恒重,根据烘干前后垃圾重量计算堆肥物料含水率;总硫(TS)采用元素分析仪测定(vario MACRO cube 元素分析仪,德国).

采用 SOC-01 型采样装置(天津迪兰奥特环保科技有限公司生产)对厨余垃圾堆肥反应器出口的气体进行采集,将采样袋放入密闭采样桶内,与采样桶的进气口连接,用真空泵抽取采样桶内的空气使其为负压,为平衡采样桶内的压力,样品气体通过进气口进入到专用采样袋内.样品在采集后 8 h 内完成气质联仪(GC/MS)分析.

臭气物质测定采用美国 EPA 方法,样品经预浓缩仪(Entech 7100 液氮冷却系统)前处理后进入 GC-MS 系统(Agilent7890A GC/Agilent 5975C MS)

进行分析,气体进样量为 50 mL.色谱柱为 DB-5ms (60 m×0.32 mm×1.0 mm),载气种类为氦气,载气流量为 1.5 mL·min⁻¹;柱温:在 35℃ 下保持 10 min,然后以 5℃·min⁻¹的速度升温到 150℃,接着再以 15℃·min⁻¹升温到 220℃维持 7 min;进样口温度为 100℃,离子源温度为 230℃,四极杆温度为 150℃,接口温度为 280℃.

氨气(NH₃)用硼酸溶液吸收后,采用 H₂SO₄ 滴定法测定;堆肥过程中的 H₂S 和氧气(O₂)采用生物气体测定仪测定(biogas,Britain, Geotech),堆肥温度由堆肥反应器的温度传感器记录,通过电脑直接读取.臭气浓度的测定采用三点比较式臭袋法(GB 14675-1993)^[15].

2 结果与分析

2.1 温度和氧气的变化

由图 2 可以看出厨余垃圾堆肥的温度呈先上升后下降的趋势,在堆肥的第 6 d 温度才上升到 55℃,并在此高温条件下维持了 7 d,符合生活垃圾堆肥厂

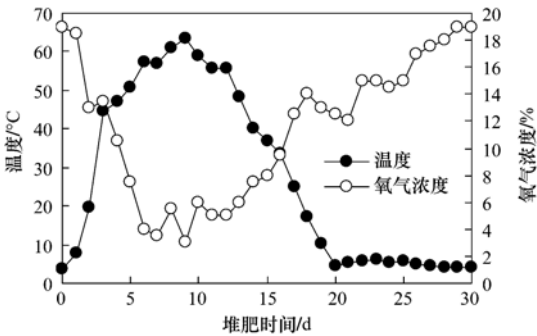


图 2 厨余垃圾堆肥过程中温度和氧气浓度的变化

Fig. 2 Dynamic changes of temperature and oxygen concentration during composting

运行管理规范 (DB11/T 272-2005)^[16]; 从氧气浓度的变化来看, 其与温度变化正好相反, 在堆肥的前 5 ~ 12 d 氧气浓度呈急剧下降的趋势, 随后又缓慢上升. 这主要是因为厨余垃圾的含水率很高 (75.7%), 垃圾水分过高就会不利于氧气的传输, 进而降低微生物的活性, 因此在堆肥的前 5 d 堆体温度也相对较低, 在这期间堆体的水分主要以渗滤液形式损失^[17]. 随着堆体水分的降低, 堆体氧气传输畅通, 好氧微生物快速分解有机物, 消耗大量的氧气, 同时释放出大量的热能, 从而使得堆肥温度快速升高^[18,19]. 统计分析表明温度和氧气浓度极显著负相关 ($R^2 = -0.916$).

2.2 厨余垃圾过程产生和释放的恶臭物质

GC-MS 分析结果表明, 厨余垃圾堆肥过程中挥发性物质的组分比较复杂, 共检测出 43 种挥发性物质, 其中含硫类化合物共 5 种 (硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、二硫化碳、二甲二硫); 烃类化合物共 22 种 (异丁烷、丁烷、2-甲基丁烷、戊烷、2-甲基戊烷、己烷、2-甲基己烷、甲基环己烷、2-甲基庚烷、3-甲基庚烷、辛烷、壬烷、癸烷、2-甲氧基-2-甲基丙烷、十一烷、丙烯、2-甲基-1,3-丁二烯、2-乙基丁烯、1,3-二氯丙烯、四氯乙烯、三氯甲烷、1,2-二氯丙烷); 芳香烃类化合物共 11 种 (苯、乙苯、1,3-二甲基苯、对二甲苯、

1-甲基乙基苯、邻二甲苯、1-乙基-3-甲基苯、1-乙基-4-甲基苯、1,3,5-三甲基苯、1-乙基-2-甲基苯、1,2,4-三甲基苯); 其它化合物共 5 种 (NH_3 、丙酮、甲基异丁基酮、二己酮、乙醇). 其中烃类成分数量最多, 主要成分为戊烷、甲基环己烷和壬烷, 由于它们始终是构成城市空气的主要烃类成分, 且含量相对较小, 所以因此不加以讨论^[20].

由表 2 可以看出, 厨余垃圾堆肥过程中臭气浓度呈先上升后下降的趋势, 在堆肥的高温期臭气浓度达到最大, 随着堆肥的进行, 臭气浓度不断降低, 堆肥结束时, 臭气浓度仅为 27. 从各臭气物质的浓度变化来看, 甲苯和乙苯在堆肥初期浓度最大, 随着堆肥的进行, 臭气浓度逐渐降低, 堆肥结束时, 两者的排放浓度均低于各自的检知嗅阈; 而其余臭气物质的排放规律相似, 在堆肥初期含量均很小 (0 ~ 2 d), 当堆肥达到高温期后 ($>55^\circ\text{C}$, 7 ~ 9 d), 各臭气物质的浓度也相应达到最大, 随着堆肥温度的回落, 臭气浓度也相应降低 (图 2). 对比各臭气物质的检知嗅阈, 其中 NH_4^+ 、硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、二硫化碳、二甲二硫、甲苯、乙苯、1,3-二甲基苯、对二甲苯和邻二甲苯均超过了各自的检知嗅阈, 且甲硫醇的检知嗅阈最低, 其次是硫化氢. 因此这 11 种物质是厨余垃圾堆肥过程中的恶臭气体的主要来源.

表 2 厨余垃圾堆肥过程中臭气物质排放浓度随时间的变化¹⁾/mg·m⁻³

Table 2 Changes in concentrations of main odor compounds during kitchen waste composting/mg·m⁻³

编号 组分	堆肥时间/d							检知嗅阈
	0	2	7	9	15	18	30	
1 NH_3	0.00	0.00	116.67	75.00	45.83	41.67	12.50	1.138
2 硫化氢	0.00	4.54	65.03	28.73	4.54	3.02	3.02	0.000 62
3 甲硫醇	0.00	0.03	8.90	2.3	0.21	0.12	0.10	0.000 15
4 乙醇	0.08	0.26	31.10	13.16	0.33	0.01	0.00	—
5 丙酮	0.3	7.4	19.90	0.12	0.03	0.02	0.01	51.785 7
6 甲硫醚	0.07	0.05	20.95	19.25	1.02	0.01	0.00	0.003
7 二硫化碳	0.00	0.04	3.06	2.35	0.24	0.12	0.03	0.712 5
8 苯	0.04	0.04	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	9.401 8
9 二甲二硫	0.20	5.10	66.00	38.31	14.21	9.05	4.01	0.009 2
10 甲苯	1.59	1.05	0.45	0.08	0.05	0.43	0.01	1.355 4
11 乙苯	5.70	5.10	1.60	1.23	0.28	0.01	0.00	0.804 5
12 1,3-二甲基苯	5.72	7.44	21.70	3.53	0.50	0.06	0.03	0.195 8
13 对二甲苯	1.92	3.48	9.32	6.40	0.09	0.11	0.05	0.274 5
14 1-甲基乙基苯	0.06	0.08	0.32	2.42	0.01	0.01	0.00	—
15 邻二甲苯	3.30	3.54	12.95	4.23	0.34	0.02	0.00	1.798 2
16 1-乙基-3-甲基苯	0.14	0.33	0.93	0.09	0.06	0.03	0.00	—
17 1-乙基-4-甲基苯	0.06	0.12	0.25	0.51	0.01	2.72	0.01	—
18 1,3,5-三甲基苯	0.06	0.08	0.25	0.22	0.03	0.01	0.00	0.910 7
19 1-乙基-2-甲基苯	0.05	0.21	0.32	0.16	0.04	1.81	0.00	—
20 1,2,4-三甲基苯	0.14	0.21	0.43	0.10	0.06	0.00	0.00	0.642 9
21 甲基异丁基酮	0.00	0.00	1.90	0.78	0.13	0.00	0.00	—
22 臭气浓度 (无量纲)	7 413	13 183	309 030	2 816	195	78	27	

1) 表格中空缺表示该物质浓度低于检出限, 嗅阈依据文献 [21, 22] 测定的结果; “—”表示该物质未标定嗅阈; 物质按色谱出峰先后排序

2.3 主要恶臭物质与臭气浓度的相关性分析

为了进一步明确厨余垃圾堆肥过程中主要臭气物质对臭气浓度的贡献大小,对不同堆肥阶段主要恶臭物质的排放浓度和臭气浓度的相关性进行分析如表3所示.

由表3可以看出硫化氢、甲硫醇、1,3-二甲基苯和邻二甲苯与臭气浓度极显著相关,表明这4种物质对厨余垃圾堆肥过程中臭气浓度的贡献最大;二甲二硫和对二甲苯与臭气浓度显著相关,表明这2种物质对臭气浓度贡献较大.4种含硫化合物之间

极显著相关,氨气和4种含硫臭气物质之间相关性极显著,但是与芳香烃类化合物之间无相关性,表明氨气和含硫化合物具有相似的排放规律;除甲苯、乙苯外,硫化氢和甲硫醇与其余臭气物质均显著相关,因此这2种物质可以筛选为厨余垃圾堆肥过程中的典型臭气物质;5种芳香烃类化合物的相关性分析表明,甲苯和乙苯之间呈极显著相关;1,3-二甲基苯与对二甲苯显著相关,与邻二甲苯之间极显著相关;对二甲苯和邻二甲苯极显著相关.可见多数臭气物质在排放规律方面都具有相似性.

表3 臭气浓度及各臭气组分的相关性分析¹⁾

Table 3 Correlation analysis between odor concentration and the emission of odor compounds

项目	参数	硫化氢	甲硫醇	甲硫醚	二硫化碳	二甲二硫	甲苯	乙苯	1,3-二甲基苯	对二甲苯	邻二甲苯	臭气浓度
NH ₄ ⁺	<i>r</i>	0.906 **	0.872 *	0.883 **	0.916 **	0.959 **	-0.481	-0.462	0.605	0.736	0.706	0.753
	<i>P</i>	0.005	0.01	0.008	0.004	0.001	0.274	0.296	0.15	0.059	0.076	0.051
硫化氢	<i>r</i>		0.986 **	0.918 **	0.955 **	0.984 **	-0.224	-0.152	0.856 *	0.916 **	0.924 **	0.911 **
	<i>P</i>		0	0.004	0.001	0	0.629	0.744	0.014	0.004	0.003	0.004
甲硫醇	<i>r</i>			0.844 *	0.896 **	0.951 **	-0.155	-0.124	0.899 **	0.871 *	0.940 **	0.965 **
	<i>P</i>			0.017	0.006	0.001	0.741	0.792	0.006	0.011	0.002	0
甲硫醚	<i>r</i>				0.994 **	0.946 **	-0.302	-0.171	0.655	0.914 **	0.790 *	0.678
	<i>P</i>				0	0.001	0.511	0.714	0.11	0.004	0.035	0.094
二硫化碳	<i>r</i>					0.976 **	-0.299	-0.189	0.712	0.921 **	0.832 *	0.752
	<i>P</i>					0	0.514	0.684	0.073	0.003	0.02	0.051
二甲二硫	<i>r</i>						-0.333	-0.253	0.768 *	0.887 **	0.858 *	0.845 *
	<i>P</i>						0.466	0.584	0.044	0.008	0.013	0.017
甲苯	<i>r</i>							0.928 **	0.242	0.023	0.149	-0.022
	<i>P</i>							0.003	0.601	0.962	0.75	0.963
乙苯	<i>r</i>								0.289	0.172	0.218	-0.032
	<i>P</i>								0.529	0.712	0.638	0.945
1,3-二甲基苯	<i>r</i>									0.856 *	0.979 **	0.940 **
	<i>P</i>									0.014	0	0.002
对二甲苯	<i>r</i>										0.932 **	0.776 *
	<i>P</i>										0.002	0.04
邻二甲苯	<i>r</i>											0.929 **
	<i>P</i>											0.003

1)*r*为相关性系数,*P*为相关系数的显著性概率水平,**表示 α 在0.01水平上显著相关,*表示 α 在0.05水平上显著相关.

3 讨论

堆肥过程是微生物群落结构与堆肥温度相互制约的过程,温度是堆体中微生物生命活动的重要标志.杨朝晖^[23]和Dees^[24]等研究表明堆肥高温阶段有着比较丰富的细菌多样性,可以增强对有机物的分解和利用,提高堆肥效率,在此阶段堆体的氧气消耗速率也迅速上升,氧气浓度一般维持在6%左右,氧气供应不足必然引起堆肥过程中臭气物质的产生^[7,26].因此在厨余垃圾堆肥过程中,氧气浓度的控

制尤为重要,尤其是在堆肥的高温阶段.

臭气浓度和各臭气物质排放浓度的相关性分析表明硫化氢、甲硫醇、1,3-二甲基苯和邻二甲苯与臭气浓度极显著相关,二甲二硫和对二甲苯与臭气浓度显著相关,结合这6种臭气物质的检知嗅阈,厨余垃圾堆肥过程中要进行重点监测和控制恶臭物质的顺序是甲硫醇>硫化氢>1,3-二甲基苯>邻二甲苯>二甲二硫>对二甲苯.虽然在厨余垃圾堆肥过程中氨气、甲硫醚和二硫化碳的排放浓度与臭气浓度无显著相关性,但是我国恶臭污染物排放标准

(GB 14554-93)明确规定了这 3 种恶臭污染物的排放限值,因此在厨余垃圾堆肥过程中也应对这 3 种恶臭物质进行监测和控制。

根据筛选的厨余垃圾堆肥过程中优选控制的恶臭物质的种类,就可以有针对性地进行臭气控制。目前国内外对于这几种臭气物质的控制也做了相关研究,Chen 等^[26]研究表明氧气的不足是导致污泥堆肥过程中硫化氢产生的主要原因,因此维持堆体氧气高于 14% 可以避免硫化氢的产生;张红玉等^[17]研究表明在厨余垃圾中添加玉米干秸秆可以有效降低硫化氢、甲硫醚和甲硫醇的排放浓度。姜安玺等^[27]研究发现异养型假单胞菌 Hm-6 能较快去除硫化氢,因此在厨余垃圾堆肥过程中也可以通过添加相应的外源菌剂降低臭气物质的产生。

在本研究中,由于未查阅和检测到乙醇、1-甲基乙基苯、1-乙基-3-甲基苯、1-乙基-4-甲基苯、1-乙基-2-甲基苯和甲基异丁基酮这 6 种臭气物质的嗅阈,因此在后续的研究中应进一步对这 6 种臭气物质的嗅阈进行深入研究,补充完善厨余垃圾堆肥过程中应重点监测和优先控制的恶臭物质的种类。

4 结论

(1)厨余垃圾堆肥过程中共检测到 43 种挥发性物质,其中含硫臭气物质 5 种,烃类化合物 22 种,芳香烃类化合物 11 种,其它物质 5 种。

(2)在厨余垃圾堆肥的高温期臭气物质的排放浓度达到最大,多数臭气物质在排放规律方面都具有相似性。

(3)厨余垃圾堆肥过程中应重点监测和控制的恶臭污染物包括硫化氢、甲硫醇、1,3-二甲基苯、邻二甲苯、二甲二硫和对二甲苯。

参考文献:

- [1] 李春萍. 基于大类粗分的区县级生活垃圾物流系统优化及其管理模式研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2008.
- [2] 王桂琴. 不同分类模式下城乡结合部生活垃圾管理体系研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2009.
- [3] 李秀芬, 赵阳, 堵国成, 等. 微量金属元素及其配合物对厨余垃圾甲烷发酵的影响[J]. 环境工程学报, 2009, 3(3): 521-524.
- [4] 赵振焕, 金春姬, 张鹏, 等. 酵母菌对厨余垃圾厌氧发酵产乙酸的影响[J]. 环境工程学报, 2009, 3(10): 1885-1888.
- [5] 林小凤, 李国学, 任丽梅, 等. 氯化铁和过磷酸钙控制堆肥氮素损失的效果研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1662-1666.
- [6] Nair J, Okamitsu K. Microbial inoculants for small scale composting of putrescible kitchen wastes [J]. Waste Management, 2010, 30(6): 977-982.
- [7] D'Imporzano G, Crivelli F, Adani F. Biological compost stability influences odor molecules production measured by electronic nose during food-waste high-rate composting[J]. Science of the Total Environment, 2008, 402(2-3): 278-284.
- [8] 殷峻, 方士, 陈英旭. 生物滤塔处理低浓度 H₂S 和 NH₃ 混合气体[J]. 中国给水排水, 2003, 19(13): 114-116.
- [9] Lambert T W, Goodwin V M, Stefani D, et al. Hydrogen sulfide (H₂S) and sour gas effects on the eye. A historical perspective [J]. Science of the Total Environment, 2006, 367(1): 1-22.
- [10] Meinardi S, Simpson I J, Blake N J, et al. Dimethyl disulfide (DMDs) and dimethyl sulfide (DMS) emissions from biomass burning in Australia[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(9): 1454-1457.
- [11] 王新娟, 骆晓松, 开心平, 等. 堆肥过程中产生的尾气[J]. 辽宁化工, 2007, 36(12): 819-821.
- [12] Wu T, Wang X M, Li D J, et al. Emission of volatile organic sulfur compounds (VOSCs) during aerobic decomposition of food wastes[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(39): 5065-5071.
- [13] Kim K H, Pal R, Ahn J W, et al. Food decay and offensive odorants: a comparative analysis among three types of food[J]. Waste Management, 2009, 29(4): 1265-1273.
- [14] Dimitris P K, Ham R K, Park J K. Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid wastes [J]. Water Research, 2004, 38(7): 1707-1714.
- [15] GB/T 14675-1993, 空气质量恶臭的测定三点比较式臭袋法[S].
- [16] DB11/T 272-2005, 生活垃圾堆肥厂运行管理规范[S].
- [17] 张红玉, 路鹏, 李国学, 等. 秸秆对厨余垃圾堆肥臭气和渗滤液减排的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 248-254.
- [18] Richard T L, Hamelers B, Veeken A V, et al. Moisture relationship in composting process[A]. In: Michel F C, Rynk R F Jr, Hoitink H A J (Eds.). Proceedings of the International Symposium Composting and Compost Utilization[C]. Columbus (OHIO), USA, 2002. 233-250.
- [19] Jolanun B, Towprayoon S, Chiemchaisri C. Aeration improvement in fed batch composting of vegetable and fruit wastes [J]. Environmental Progress, 2008, 27: 250-256.
- [20] 吕永, 叶晓玫, 王新明. 垃圾转运站臭气污染物的区域分布研究[J]. 环境卫生工程, 2008, 16(5): 27-29.
- [21] 加藤龙夫, 黑石智彦, 重田芳广著, 董福来等译. 恶臭的仪器分析[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
- [22] Devos M, Patte F, Rouault J, et al. Standardized human olfactory thresholds [M]. Oxford: Oxford University Press, 1990.
- [23] 杨朝晖, 刘有胜, 曾光明, 等. 厨余垃圾高温堆肥中嗜热细菌种群结构分析[J]. 中国环境科学, 2007, 27(6): 733-737.
- [24] Dees P M, Ghiorse W C. Microbial diversity in hot synthetic

- compost as revealed by PCR-amplified rRNA sequences from cultivated isolates and extracted DNA [J]. *Microbiology Ecology*, 2001, **35**(2): 207-216.
- [25] Bogner J, Ahmed M A, Diaz C, *et al.* Waste Management [A]. In: *Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [C]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- [26] Chen J, Chen T B, Gao D, *et al.* Reducing H₂S production by O₂ feedback control during large-scale sewage sludge composting [J]. *Waste Management*, 2011, **31**(1): 65-70.
- [27] 姜安玺, 王晓辉, 刘波, 等. 硫系高效脱臭菌的分离及其特性研究 [J]. *高技术通讯*, 2002, **12**(2): 103-106.

欢迎订阅 2012 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学科中最早创刊的学术性期刊。

《环境科学》自创刊以来,始终坚持“防治污染,改善生态,促进发展,造福人民”的宗旨,报道我国环境科学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等。

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 IM;日本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA):Environmental Sciences;剑桥科学文摘(CSA):Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS):Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等。

全国各地邮局均可订阅,如有漏订的读者可直接与编辑部联系,办理补订手续。

《环境科学》2012 年为大 16 开本,70 元/册,全年 12 期。

国内统一刊号:CN11-1895/X 国际标准刊号:ISSN 0250-3301

国外发行代号:M 205 国内邮发代号:2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjkk@rcees.ac.cn;网址:www.hjkk.ac.cn

CONTENTS

Levels and Sources of Gaseous Polybrominated Diphenyl Ethers in Air over the Northern South China Sea	LI Qi-lu, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (2533)
Observation and Analysis of Air Pollution in Zhangjiakou, Hebei	SHAO Ping, WANG Li-li, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2538)
Smog Chamber Simulation of Ozone Formation from Atmospheric Photooxidation of Propane	HUANG Li-hua, MO Chuang-rong, XU Yong-fu, <i>et al.</i> (2551)
Mechanism and Performance of a Membrane Bioreactor for Treatment of Toluene Vapors	YE Qi-hong, WEI Zai-shan, XIAO Pan, <i>et al.</i> (2558)
Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting	ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, <i>et al.</i> (2563)
Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (2569)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2574)
Distribution Characteristics and Potential Risks of Phenols in the Rainy Season Surface Water from Three Gorges Reservoir	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2580)
Spatial Distribution of Perfluorooctanoic Acids and Perfluorinate Sulphonates in Surface Water of East Lake	CHEN Jing, WANG Lin-ling, ZHU Hu-di, <i>et al.</i> (2586)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in Daninghe River and Modaoxi River of Three Gorges Reservoir Areas	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2592)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Yangtze River	WANG Lan, WANG Ya-ping, XU Chun-xue, <i>et al.</i> (2599)
Analysis of the Source, Potential Biological Toxicity of Heavy Metals in the Surface Sediments from Shellfish Culture Mudflats of Rudong Country, Jiangsu Province	LI Lei, WANG Yun-long, JIANG Mei, <i>et al.</i> (2607)
Effect of Disturbance Intensity on Phosphorus Release and Its Transformation in the Sediment from Taihu Lake	LI Da-peng, HUANG Yong (2614)
Effects of Intrusions from Three Gorges Reservoir on Nutrient Supply to Xiangxi Bay	ZHANG Yu, LIU De-fu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2621)
Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of <i>Acorus calamus</i> in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i> (2628)
Pollution Load and the First Flush Effect of Phosphorus in Urban Runoff of Wenzhou City	ZHOU Dong, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan (2634)
Output Characteristics of Rainfall Runoff Phosphorus Pollution from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area	YU Xing-xiu, LI Zhen-wei, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (2644)
Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions	YANG Feng, WANG Peng-ju, YANG Shan-shan, <i>et al.</i> (2652)
Simulation of Nitrogen and Phosphorus Loss in Siling Reservoir Watershed with AnnAGNPS	BIAN Jin-yun, WANG Fei-er, YANG Jia, <i>et al.</i> (2659)
GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen	BAI Feng-jiao, LI Tian-hong (2667)
Response of Sloping Water Erosion to Rainfall and Micro-earth Pattern in the Loess Hilly Area	WEI Wei, JIA Fu-yan, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (2674)
Comparison Study of Enhanced Coagulation on Humic Acid and Fulvic Acid Removal	ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji, YE He-xiu, <i>et al.</i> (2680)
Real-time PCR Detection and Quantification of Emerging Waterborne Pathogens (EWPs) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Downstream Area of Jiulong River	WANG Qing, LIN Hui-rong, ZHANG Shu-ting, <i>et al.</i> (2685)
Quantitative and Qualitative Analysis of Total Bacteria and Ammonia-oxidizing Bacteria in Buji River in Wet Season	SUN Hai-mei, BAI Jiao-jiao, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (2691)
Study on the Nitrogen Removal Performance and the Characteristics of Denitrification Bacterial Community Structure of Biological Aerated Filter	PENG Xiao-lan, LIU Cong, CHEN Li-jun (2701)
Analysis of Microbial Community Structure at Full-scale Wastewater Treatment Plants by Oxidation Ditch	GUO Yun, YANG Dian-hai, LU Wen-jian (2709)
Performance and Microbial Community Dynamic Characteristics of an Internal Circulation Reactor Treating Brewery Wastewater	ZHU Wen-xiu, HUANG Zhen-xing, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (2715)
Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization	ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, <i>et al.</i> (2723)
Study on Removal Effect of Different Organic Fractions from Bio-treated Effluent of Dye Wastewater by UV/H ₂ O ₂ Process	LI Xin, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, <i>et al.</i> (2728)
Optimization of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 Photoheterotrophic Culture and Its Use in Wastewater Treatment	WANG Xiu-jin, LI Zhao-sheng, XING Guan-lan, <i>et al.</i> (2735)
Characteristics and Mechanism of 2,4,6-TCP Degradation by the "Fe ⁰ /Enriched-Bacteria" System	DAI You-zhi, GUO Li-li, SHI Lei, <i>et al.</i> (2741)
Immobilization of Crude Laccase onto Anion Exchange Resin and Its Application in Decoloration of Malachite Green	QI Xu-liang, LIU Xiang, LIU Bo, <i>et al.</i> (2747)
Low-Temperature Preparation of TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ and Its Photocatalytic Activity and Magnetic Recovery	WANG Xue-jiao, REN Xue-chang, NIAN Juan-ni, <i>et al.</i> (2752)
Study on Catalytic Oxidation of Benzene by Microwave Heating	ZHANG Yu-cai, BO Long-li, WANG Xiao-hui, <i>et al.</i> (2759)
Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge	GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, <i>et al.</i> (2766)
Experimental and Modeling Research on the Settlement of Aerobic Granular Sludge	SU Kui-zu, DENG Xiu-kun, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2773)
Analysis of Hydrolytic Enzyme Activities on Sludge Aerobic/Anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2780)
Effect of Microbial Nutrient Concentration on Improvement of Municipal Sewage Sludge Dewaterability Through Bioleaching	SONG Yong-wei, LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang (2786)
Response of the Artificial Cyanobacterial Crusts to Low Temperature and Light Stress and the Micro-structure Changes Under Laboratory Conditions	RAO Ben-qiang, LI Hua, XIONG Ying, <i>et al.</i> (2793)
Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China	WU Yan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2804)
Pollution Characteristics and Accumulation of Antibiotics in Typical Protected Vegetable Soils	YIN Chun-yan, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (2810)
Transformation and Influences of Copper and Selenium Fractions on Heavy Metals Bioavailability in Co-contaminated Soil	HU Bin, LIANG Dong-li, ZHAO Wen-long, <i>et al.</i> (2817)
Response of Soil Microbial Community to the Bioremediation of Soil Contaminated with PAHs	ZHANG, Jing, LIN Xian-gui, LIU Wei-wei, <i>et al.</i> (2825)
Bioremediation of PAHs Contaminated Soil from Beijing Coking Plant by <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	ZHANG Zhi-yuan, WANG Cui-ping, LIU Hai-bin, <i>et al.</i> (2832)
Leaching Experiments on the Release of Trace Elements from Tailings of Chashan Antimony Mine, Guangxi, China	CAI Yong-bing, LI Ling, WEI Xiao-fei, <i>et al.</i> (2840)
Accumulation Characteristics of Arsenic in Suburban Soils of Beijing	QI Jie, WANG Mei-e, WANG Zi-qiang, <i>et al.</i> (2849)
Antioxidant Enzyme Gene Expression as Molecular Biomarkers of Exposure to Polycyclic Musks	CHEN Chun, ZHOU Qi-xing, LIU Xiao-wei (2855)
Effects of Ozone Pollution on the Accumulation and Distribution of Dry Matter and Biomass Carbon of Different Varieties of Wheat	KOU Tai-ji, YU Wei-wei, ZHU Jian-guo, <i>et al.</i> (2862)
Influence of Reaction Time of Urea Hydrolysis-Based Co-precipitation on the Structure of ZnAl Layered Double Hydroxides and the Phosphate Adsorption	LU Ying, CHENG Xiang, XING Bo, <i>et al.</i> (2868)
Competitive Adsorption Kinetics of Aqueous Pb ²⁺ and Cu ²⁺ on Nano-HAP Surfaces	HU Tian-tian, CANG Long, WANG Yu-jun, <i>et al.</i> (2875)
Effects of pH and Ni ²⁺ on Sorption Behavior of Phenanthrene on Engineered Nano-Silica	LUO Pei, SUN Hong-wen, ZHANG Peng (2882)
Adsorption Characteristics and Mechanism of Uranium on Attapulgite	LIU Juan, CHEN Di-yun, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2889)
Adsorption Characteristics of Ciprofloxacin in Ustic Cambosols	CUI Hao, WANG Shu-ping (2895)
Kinetic Mechanism and Characteristics Researches for Hydrazine-based NO _x Removal at Moderate to High Temperatures	HONG Liu, CHEN De-zhen, WANG Du, <i>et al.</i> (2901)
Current Research Situation of H ₂ S Selective Catalytic Oxidation Technologies and Catalysts	HAO Zheng-ping, DOU Guang-yu, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (2909)

《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8月15日 33卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 8 Aug. 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