

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

**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

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO<sub>2</sub> 的来源 ..... 刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)

广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映 ..... 廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)

北京雾霾天气期间气溶胶光学特性 ..... 于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)

白马泉风景区夏季大气 PM<sub>2.5</sub> 中二次有机物的初步研究 ..... 代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)

机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性 ..... 乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)

法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究 ..... 王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)

胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨 ..... 薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)

基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价 ..... 郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)

流域水质时空分布特征及其影响因素初析 ..... 黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)

潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究 ..... 崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)

春季盘溪河水质日变化规律及水质评价 ..... 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)

西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究 ..... 肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)

三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价 ..... 郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)

淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究 ..... 徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)

三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验 ..... 王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)

沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征 ..... 李振炜, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)

合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性 ..... 李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)

鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析 ..... 张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)

三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价 ..... 敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)

黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价 ..... 刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)

竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算 ..... 姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)

雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析 ..... 赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)

中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究 ..... 潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)

三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征 ..... 邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)

海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究 ..... 田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)

新生态铁的混凝作用探索 ..... 杨雪, 张景成, 关小红 (1221)

饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究 ..... 岳婵媛, 缪恒锋, 任洪艳, 阮文权 (1227)

核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究 ..... 王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)

络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究 ..... 秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯玺 (1241)

赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物 ..... 张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)

掺氮 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究 ..... 赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)

O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 降解水中扑灭通效能研究 ..... 李绍峰, 孙楚 (1260)

Pr-N 共掺杂 TiO<sub>2</sub> 光电催化降解孔雀石绿动力学 ..... 沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)

铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究 ..... 张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)

聚合铝铁对 A<sup>2</sup>/O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响 ..... 温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)

温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响 ..... 张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)

温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响 ..... 李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)

好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究 ..... 王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)

除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析 ..... 李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)

利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌 ..... 王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)

紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究 ..... 于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)

1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究 ..... 陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)

氨氮对稀有鮎鲫胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究 ..... 王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)

多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响 ..... 孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)

生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响 ..... 王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)

水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究:<sup>14</sup>C连续标记法 ..... 聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)

油田污染土壤残油组成与特征参数分析 ..... 王坚, 张旭, 李广贺 (1352)

挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究 ..... 孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)

田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究 ..... 黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)

中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响 ..... 马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)

基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究 ..... 袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)

填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式 ..... 兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)

生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化 ..... 方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)

岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析 ..... 杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)

《环境科学》征订启事(1062) 《环境科学》征稿简则(1107) 信息(1135, 1215, 1396)

# 生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化

方程冉<sup>1,2</sup>, 龙於洋<sup>2,3</sup>, 沈东升<sup>2,3</sup>

(1. 浙江科技学院建筑工程学院, 杭州 310023; 2. 浙江大学环境工程系, 杭州 310029; 3. 浙江工商大学环境科学与工程学院, 杭州 310018)

**摘要:** 基于填埋垃圾和渗滤液这一整体系统, 以传统卫生填埋场(CL)为对照, 研究了模拟回灌型生物反应器填埋场(RL)和两相型生物反应器填埋场(BL)中邻苯二甲酸二丁酯(DBP)的迁移转化特征. 结果表明, 实际垃圾填埋的CL、RL和BL垃圾及渗滤液均检测到DBP, 其中垃圾中DBP的初始含量约为 $18.5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . 各填埋场的稳定化进程顺序为BL > RL > CL, 稳定化进程影响着DBP在垃圾中的降解行为, 相比于填埋场产酸期, 填埋场产甲烷期时的环境条件更有利于DBP的降解. 至实验结束(310 d), CL、RL和BL垃圾沉降率分别为7.0%、11.9%和24.3%, 垃圾中DBP的残留含量分别约为2.1、1.3和 $0.8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , DBP去除率分别约为89.5%、93.9%和96.6%. DBP残留总量变化符合指数衰减模型, 实验后期不同运行工艺的填埋场中DBP残留总量差异显著, 渗滤液回流明显加速了DBP的生物降解, 而产甲烷反应器的引入更能促进DBP在填埋场中的去除.

**关键词:** 邻苯二甲酸二丁酯; 生物反应器填埋场; 生物降解; 迁移转化; 生活垃圾

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1397-07

## Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill

FANG Cheng-ran<sup>1,2</sup>, LONG Yu-yang<sup>2,3</sup>, SHEN Dong-sheng<sup>2,3</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China; 2. Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Considering the refuse and leachate as one whole system, a conventional landfill (CL) was set as a control, transformation of dibutyl phthalate (DBP) in recirculated landfill (RL) and bioreactor landfill (BL) was studied. Results showed that DBP was detected in both leachate and refuse from CL, RL and BL. The initial DBP amount was  $18.5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  in the landfill refuse. In addition, the stabilization process of landfill, with sequences of BL > RL > CL, played an important role on the biodegradation of DBP in refuse. Compared to the acidic environment, the methanogenic environment was beneficial for DBP degradation. At the day of 310, refuse sedimentation rates were 7.0%, 11.9% and 24.3% in CL, RL and BL, respectively. DBP residual amounts were 2.1, 1.3 and  $0.8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , and its removal rates were 89.5%, 93.9% and 96.6% in the refuse from CL, RL and BL, respectively. The residual amounts of DBP with significant differences well fitted exponential decay models in CL, RL and BL. Finally, DBP biodegradation was obviously accelerated with the operation of leachate recirculation compared to the conventional operation, and it was further promoted with the introduction of methanogenic reactor.

**Key words:** dibutyl phthalate (DBP); bioreactor landfill; biodegradation; transformation; municipal solid waste (MSW)

邻苯二甲酸酯(PAEs), 又名酞酸酯, 是邻苯二甲酸的一类重要衍生物. PAEs的用途较广, 可用于香味剂、润滑剂、去泡剂及驱虫剂等的生产原料, 但主要用于塑料的增塑剂. PAEs对植物、动物和人类均有不良影响, 该类物质一半以上已被视作内分泌干扰素或环境激素, 因此被美国、日本、中国和欧洲一些国家列为优先控制污染物<sup>[1-4]</sup>.

废弃塑料通常与其他生活垃圾一起进行填埋处理, 因此填埋场渗滤液的排放成为PAEs进入环境的重要途径. 相对于水体、土壤、污泥等环境, 填埋场中的污染物种类繁多且影响因子更为复杂, 因此PAEs在填埋场中存在更为复杂的生化过程. 国内同济大学何品晶课题组从物化角度对填埋场中PAEs的分布规律进行了研究, 发现PAEs在渗滤液中的

分布主要和腐殖质中胡敏酸的含量紧密相关, 而和填埋场年龄等无关<sup>[5]</sup>. 国外学者研究发现填埋场中PAEs可被微生物降解, 在渗滤液中检测到其降解产物单酯的存在<sup>[6]</sup>, 填埋场的稳定化进程决定了PAEs的矿化程度, 渗滤液中PAEs和单酯的浓度大小主要取决于填埋场所处时期和固体废物的种类等<sup>[7,8]</sup>. 但以往这些研究大多针对传统卫生填埋场, 且仅分析了渗滤液中PAEs浓度的变化, 而对于垃圾中PAEs的环境行为却少有关注.

收稿日期: 2011-06-16; 修订日期: 2011-10-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51108419); 浙江省自然科学基金项目(Y5090073); 浙江省高校科研计划项目(Y200804271)

作者简介: 方程冉(1977~), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为废物生物处理理论与技术, E-mail: fangchengr@163.com

本研究选用我国水体中优先控制污染物黑名单中列入的邻苯二甲酸二丁酯(DBP)为目标物,以传统卫生填埋场为对照,基于填埋垃圾和渗滤液这一整体系统,分析了回灌型生物反应器填埋场和两相型生物反应器填埋场中 DBP 的迁移转化特征,解析 DBP 生物降解的生物反应器填埋场作用机制,以期减少填埋场对周围环境的污染影响提供理论依据。

表 1 实验垃圾成分组成(质量分数)/%

Table 1 Components of experimental MSW sample/%

成分	厨余	纸类	橡胶	塑料	织物	竹木	石沙	金属	玻璃
所占质量分数	61.5	10.3	0.6	11.6	1.3	0.6	7.1	0.6	6.4

## 1.2 实验装置

实验设置 3 套模拟填埋场系统,如图 1 所示.第 1 套系统为传统卫生填埋场(CL),作为对照,渗滤液不回流;第 2 套系统为回灌型生物反应器填埋场(RL),渗滤液经蠕动泵直接回流至填埋场反应器,回流比 100%;第 3 套系统为两相型生物反应器填埋场(BL),由填埋场反应器和产甲烷反应器组成,渗滤液经产甲烷反应器后再回流至填埋场反应器,回流比 100%。

填埋场反应器采用砖砌混凝土结构,有效尺寸为  $0.55\text{ m} \times 0.55\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ ,有效容积为  $0.5\text{ m}^3$ ,内涂防渗层,方柱形,底置斜坡,碎石覆盖坡谷.每个填埋场反应器设置 5 个出口:顶部 2 个分别为渗滤液回流口及排气口,侧面 2 个分别为填埋垃圾的上下层取样口,底部出口为渗滤液排放口。

产甲烷反应器采用上流式厌氧污泥床反应器,材质为有机玻璃,主体尺寸为  $\phi 150 \times 1\,000$ ,有效容积为 14 L,其中底部锥形进水部分高 10 cm,保护高度 5 cm,有效高 85 cm,三相分离器外置。

## 1.3 垃圾填埋

200 kg 垃圾破碎、混合均匀后填入填埋场反应器,压实,填埋密度为  $600\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,然后用自来水调节垃圾含水率至 75.0%<sup>[9]</sup>.装填完毕后在垃圾顶层覆盖 5 cm 厚细沙及渗滤液布水系统.最后,填埋场反应器盖盖密封后于室温运行。

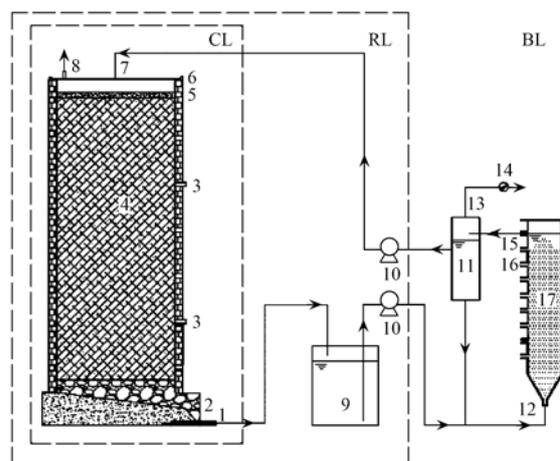
## 1.4 产甲烷反应器启动

产甲烷反应器在恒温室内( $30\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ )启动运行,接种污泥取自杭州四堡污水处理厂.实验前先采用模拟废水对厌氧活性污泥进行活化培养,然后用渗滤液逐步加入到模拟废水中继续驯化,直至最后全部用渗滤液进水,经过 95 d 的运行,COD 去除率稳定在 85% 以上,完成启动<sup>[10]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试垃圾

本研究供试生活垃圾取自杭州市凯旋街道垃圾中转站,含水率为 54.0%.垃圾经反复翻堆后混合均匀,取 10 kg 均质垃圾分类称量,获得其成分组成如表 1 所示.其余所有垃圾均破碎至 2 cm 以下,并再次均匀混合。



1. 渗滤液出口; 2. 碎石层; 3. 垃圾取样口; 4. 填埋场; 5. 沙层; 6. 顶层; 7. 渗滤液回灌口; 8. 气孔; 9. 渗滤液收集桶; 10. 蠕动泵; 11. 三相分离器; 12. 渗滤液进水口; 13. 气孔; 14. 湿式气体流量计; 15. 出水口; 16. 污泥取样口; 17. 产甲烷反应器  
小虚框范围内:传统卫生填埋场(CL); 大虚框范围内:回灌型生物反应器填埋场(RL); 总体系统:两相型生物反应器填埋场(BL)

图 1 填埋场系统装置示意

Fig. 1 Schematic of landfill systems

### 1.5 取样方法及频率

每日从填埋场反应器渗滤液出口取样并测定其 pH;每周测定渗滤液 COD、VFA、氨氮及其中 DBP 含量;定期从填埋场反应器上、下两垃圾取样口取垃圾样测定含水率、BDM 及其中 DBP 含量。

渗滤液由棕色玻璃瓶收集后立即分析测定;垃圾样品进一步破碎至 20 目,经冷冻干燥,于  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  保存待测.由于 DBP 在环境中广泛存在,为防止实验器具被 DBP 污染,所有玻璃器皿依次用丙酮和正己烷清洗<sup>[11]</sup>。

### 1.6 分析方法

#### (1) 渗滤液

pH:酸度计; COD:重铬酸钾法; VFA:酸性乙

二醇试剂光度法; 氨氮: 靛酚蓝比色法; DBP: 参照国标 HJ/T 72-2001.

## (2) 垃圾

含水率; 105℃干燥恒重法<sup>[12]</sup>; BDM: 常温重铬酸钾法<sup>[13]</sup>; DBP 提取及测定: 参照文献<sup>[14]</sup>和国标 HJ/T 72-2001.

## 1.7 数据处理

实验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 进行统计分析, 采用 OriginPro 7 进行图表绘制.

## 2 结果与讨论

### 2.1 填埋场稳定化进程中 DBP 的迁移转化

#### 2.1.1 填埋场的稳定化进程

填埋场垃圾渗滤液的性质能间接反映有机垃圾的生物降解程度及填埋场的稳定化进程<sup>[15,16]</sup>. CL、RL 和 BL 这 3 套填埋场反应器产生的渗滤液 pH、COD、VFA 及  $\text{NH}_4^+$ -N 质量浓度随填埋时间的变化如图 2 所示.

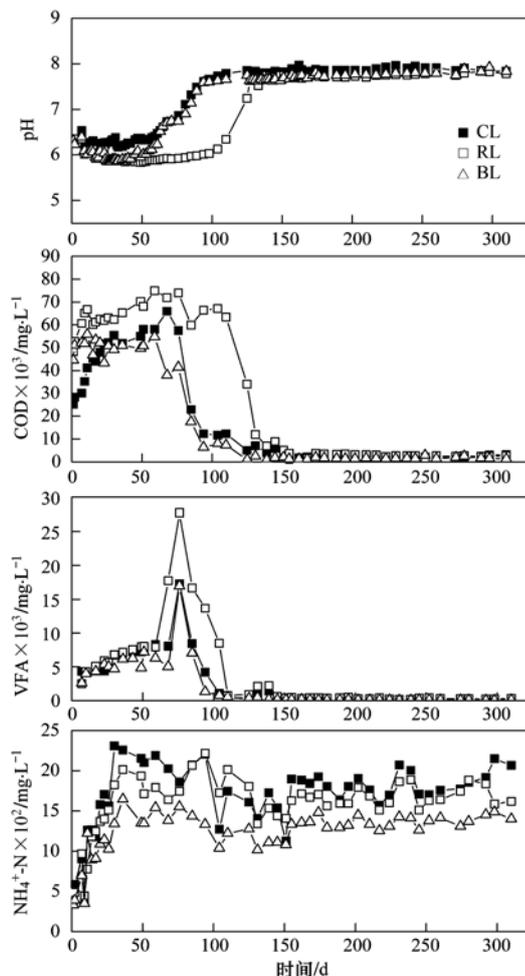


图 2 填埋场渗滤液 pH、COD、VFA 及  $\text{NH}_4^+$ -N 质量浓度变化

Fig. 2 Variation of pH, COD, VFA and  $\text{NH}_4^+$ -N of leachate of landfills

由图 2 可知, CL、RL 和 BL 渗滤液 pH 值初始较低, 120 d 后渗滤液均从酸性变为中性. CL 和 RL 两填埋场反应器渗滤液  $\text{NH}_4^+$ -N 质量浓度从初始约 380  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  上升至 2 000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  以上, 直至实验结束均维持了较高的浓度, 而 BL 渗滤液  $\text{NH}_4^+$ -N 质量浓度在整个实验中普遍低于 CL 和 RL. 渗滤液初始 COD 质量浓度约为 4 500  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 随着填埋时间的延长, 3 套填埋场反应器渗滤液 COD 质量浓度变化明显. 整个过程中, 特别是实验前期, RL 渗滤液 COD 质量浓度普遍高于 CL 和 BL, 且其 COD 最高值达 74 979  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 高于 CL 的 65 941  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和 BL 的 70 980  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 渗滤液 VFA 质量浓度变化也出现相似的结果, RL 渗滤液 VFA 质量浓度普遍高于 CL 和 BL, 并于 75 d 达到最高值 27 720  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 此后明显下降, 180 d 后三者渗滤液 VFA 质量浓度降至 200  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  左右, 这说明此时反应器已进入产甲烷时期<sup>[17]</sup>. CL 渗滤液 COD 和 VFA 比较 RL 和 BL 之所以维持在相对较低的水平, 主要是因为随着填埋场内湿度的降低, 其中的微生物活性也逐渐降低, 当易降解有机物降解后剩下的难降解基质则相对较难降解. 而 RL 和 BL 则由于渗滤液的回灌增加了填埋场内的湿度, 且随着渗滤液的回灌, 增加了基质与微生物的接触机会<sup>[18-20]</sup>, 从而促进了填埋场内微生物对难降解基质的进一步降解.

如图 3 所示, 由于渗滤液的回灌, RL 和 BL 渗滤液产量普遍高于 CL, BL 由于产甲烷反应器的联用进一步加速了垃圾的降解, 其渗滤液产量在前 150 d 明显高于相应 RL, 如第 110 d 时, CL、RL 和 BL 的渗滤液产生量分别为 0.6、2.3 和 6.4 L. 可见, CL 通过渗滤液释放出的有机物量明显少于 RL 和 BL, 这表明, 相比于 RL 和 BL, CL 的稳定化进程

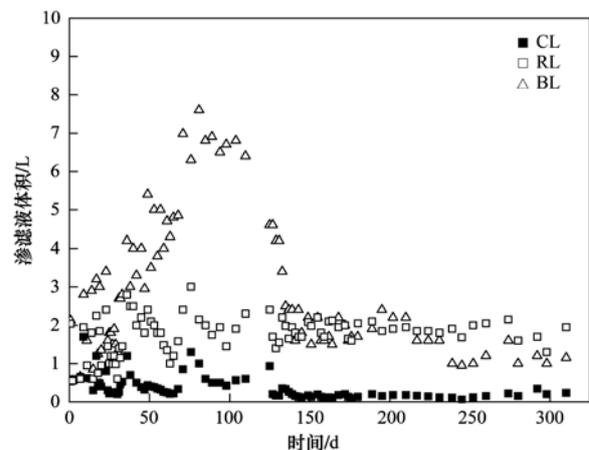


图 3 填埋场渗滤液体积变化

Fig. 3 Variation of leachate volume of landfills

最慢.

此外,另取垃圾样测定其 BDM 值,以直接获取垃圾中有机物随填埋时间的不同降解程度<sup>[21]</sup>. 基于相同填埋垃圾的前提下,稳定化进程慢说明有更多的可降解有机物仍残留于填埋场内. 如图 4 所示,上下两层垃圾的 BDM 值变化顺序基本呈现为 CL > RL > BL,至第 140 d 时,BL 下垃圾 BDM 已从初始时 52.0% 下降为 10.8%,而此时 RL 下和 CL 下垃圾 BDM 分别为 17.1% 和 19.8%. 因此,渗滤液回灌能加速填埋场的稳定化进程,另外,BL 因为有产甲烷反应器的联用明显加快了垃圾的稳定化进程. 经产甲烷反应器处理后的渗滤液不仅碱度提高有利于中和填埋场产酸期的酸性环境,而且其中含有的高活性产甲烷微生物也被带回至填埋场,因此,产甲烷反应器的出水能为填埋场中的产酸菌和产甲烷菌提供更优的理化条件和营养条件,从而提高了整个填埋场系统的运行效能<sup>[22,23]</sup>.

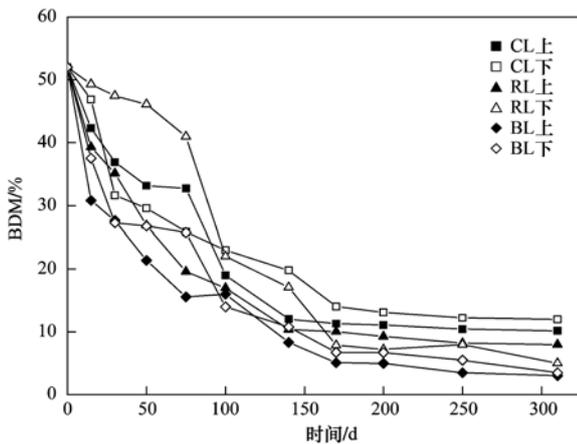


图 4 填埋场上下层垃圾 BDM 变化

Fig. 4 Variation of BDM of refuse from the upper and lower layers of landfills

可见,3 套填埋场反应器在经历了 310 d 的运行后已趋于稳定,其间经历了垃圾生物降解的产酸期及产甲烷期. 进一步比较分析渗滤液性质和垃圾 BDM,可以发现 BL 的稳定化进程最快,RL 次之,CL 最慢,这与以往研究结果一致<sup>[24,25]</sup>.

### 2.1.2 渗滤液及垃圾中 DBP 的含量变化

CL、RL 和 BL 产生的渗滤液中 DBP 质量浓度随垃圾填埋时间的变化如图 5 所示. 渗滤液中 DBP 初始质量浓度高于以往研究<sup>[17,26]</sup>,这可能是因为垃圾填埋时间、条件以及垃圾成分不同所致.

垃圾填埋过程中,由于 DBP 从垃圾中的释放行为及其降解行为同时发生,因此会影响 DBP 在渗滤

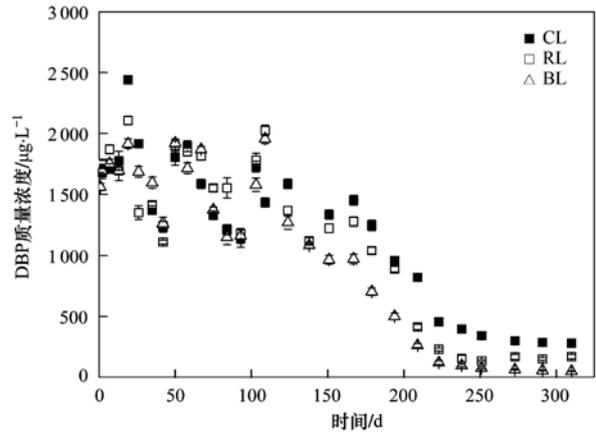


图 5 渗滤液中 DBP 质量浓度变化

Fig. 5 Trends of DBP mass concentrations in leachate

液中的浓度分布<sup>[11]</sup>. 填埋初期,渗滤液中 DBP 的质量浓度在  $1\ 100 \sim 2\ 400\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  范围内波动,这可能是因为此时释放出的 DBP 发生了少量降解,而垃圾中进一步释放出的 DBP 又改变了其浓度分布. 180 d 后,DBP 质量浓度明显下降,这说明此阶段的填埋场环境更有利于 DBP 的降解,而且,此阶段 DBP 在 BL 渗滤液中的质量浓度低于 CL 和 RL,这是因为填埋条件差异所致. 然而,DBP 至实验结束并没有降解完全,第 310 d 时,CL、RL 和 BL 渗滤液中的 DBP 质量浓度分别为  $280$ 、 $150$  和  $50\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . 这是因为 DBP 仍从垃圾中继续缓慢释放,这与以往研究中发现封场多年的垃圾填埋场渗滤液中仍能检测到 DBP 的结论一致<sup>[27]</sup>.

为分析垃圾中 DBP 含量变化,定期从填埋场反应器上、下两层垃圾取样口取样测定垃圾中的 DBP. 如图 6 所示,垃圾中 DBP 的初始含量为  $18.5\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . 随填埋时间的延长,DBP 含量明显下降. 实验结束时,CL、RL 和 BL 垃圾中 DBP 的残留含量分别约为  $2.1$ 、 $1.3$  和  $0.8\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,这也说明了垃圾中

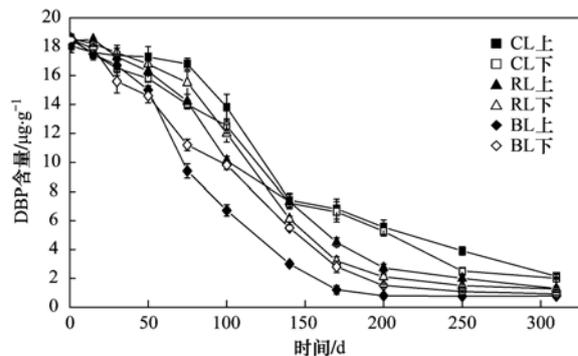


图 6 CL、RL 和 BL 上下层垃圾中 DBP 含量变化

Fig. 6 Variation of DBP content in refuse from CL, RL & BL

残留的 DBP 将导致 DBP 向渗滤液中的继续释放。

综上所述,由于 CL、RL 和 BL 不同的运行方式,使得填埋场稳定化进程出现差异,从而影响了垃圾中有机物的降解程度和速率,因此 DBP 也呈现出不同的降解速度. 由于 DBP 从塑料等载体上的释放,使得在初始及产酸期垃圾渗滤液中都检测到了 DBP,但其在此阶段没有出现明显的降解(图 5); 而从垃圾中 DBP 含量的变化可以看出在产酸期即填埋前期 3 套填埋场反应器中 DBP 含量呈逐渐减少趋势(图 6). 这一方面说明填埋场产酸期时 DBP 能被微生物部分降解,另一方面 DBP 又从塑料中不断溶出,可能由于产酸微生物对其降解能力有限或酸性环境条件不利于 DBP 的降解,导致 DBP 从填埋垃圾中的释放量和降解量基本相当,所以造成渗滤液中 DBP 质量浓度并没有降低. 分析产甲烷期,渗滤液 DBP 质量浓度明显下降,这说明此时微生物的降解作用远大于 DBP 的溶出作用,且垃圾中 DBP 含量下降的幅度也明显增加,更进一步说明了此时期产甲烷环境条件有利于 DBP 的高效降解作用. 因

此, DBP 的降解速度和程度受到填埋场稳定化进程的影响,填埋场从产酸期进入产甲烷期时,更有利于 DBP 的矿化<sup>[7,27]</sup>.

图 7 表示了 RL 和 BL 上下层垃圾中 DBP 含量和 BDM 的相关性. 垃圾中 DBP 含量和垃圾 BDM 值相关性方差分析结果表明,模型均达到显著水平( $P < 0.01$ ). RL 上、RL 下、BL 上和 BL 下垃圾中 DBP 含量和 BDM 拟合方程的  $R$  值分别为 0.907 0、0.984 8、0.908 9 和 0.939 7,这说明 DBP 属于可生物降解物质. 实验后期,如 200 d 以后,渗滤液中 DBP 质量浓度没有呈现先前的下降趋势,而是基本维持恒定,导致这一现象的原因可能是随着填埋场稳定化进程的推进,垃圾的腐殖化程度提高,渗滤液中携带了更多的腐殖酸尤其是胡敏酸,而胡敏酸对 PAEs 具有很强的亲和力<sup>[5]</sup>,从而增加了 DBP 在渗滤液中的分配量,因此,虽然有微生物的降解作用,但其质量浓度下降不明显. 预计该浓度的明显下降要依赖于填埋场中 DBP 的释放完全,而这需要很长的时间<sup>[27]</sup>.

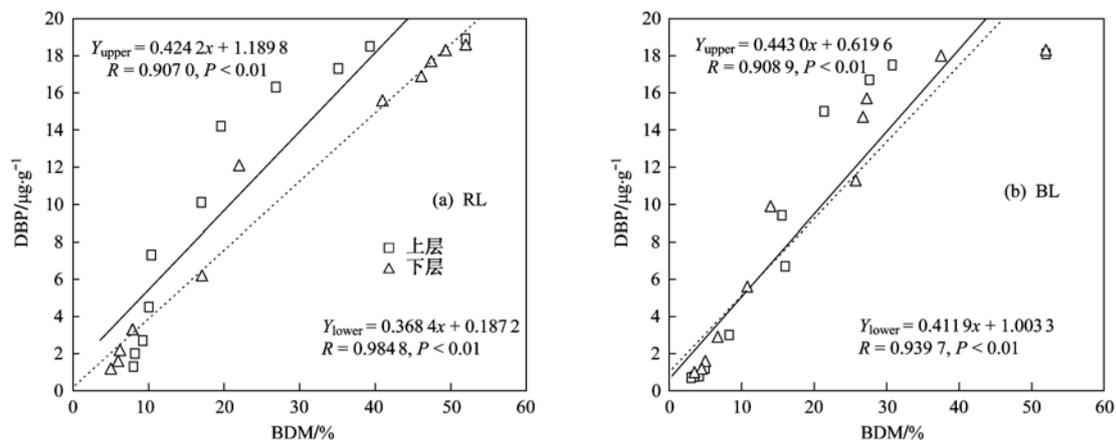


图 7 RL 和 BL 上下层垃圾中 DBP 含量和 BDM 的相关性

Fig. 7 Correlations of DBP content and BDM of refuse from RL & BL

## 2.2 不同填埋方式对 DBP 迁移转化的影响

如前所述,CL、RL 和 BL 在 180 d 以后均已进入产甲烷稳定期,统计分析该时期 CL、RL 和 BL 渗滤液中 DBP 浓度(未列出),发现 BL 渗滤液中 DBP 质量浓度显著低于 RL,而 RL 渗滤液中 DBP 质量浓度显著低于相应 CL( $P < 0.01$ ). 此外,至实验结束,CL、RL 和 BL 垃圾中 DBP 的残留含量分别约为 2.1、1.3 和 0.8  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,三者之间均达到了 0.01 的差异显著性水平. 可见,DBP 在 3 套填埋场反应器中的降解速度为  $\text{BL} > \text{RL} > \text{CL}$ .

为进一步比较不同填埋方式对 DBP 迁移转化的影响,将填埋垃圾和渗滤液作为整体系统考虑,估

算 DBP 残留总量随填埋时间的变化,并模拟其衰减模型,以期能更准确地预知填埋场后期运行过程中 DBP 的环境行为.

为了相对准确计算 CL、RL 和 BL 在运行期间 DBP 的残留总量变化,模型计算基于以下假设前提.

(1) 各系统中 DBP 的残留总量为垃圾中 DBP 的残留量与渗滤液中 DBP 含量的加和.

(2) 垃圾中 DBP 的残留量为 DBP 含量与垃圾质量的乘积,垃圾质量通过垃圾初始填埋质量及垃圾沉降率估算,上层垃圾与下层垃圾以各占 50.0% 计,同时不考虑填埋场运行过程中取样所引起的

DBP 总量的影响。

(3) 渗滤液中 DBP 含量为 DBP 质量浓度与渗滤液体积的乘积。

(4) BL 中将填埋场与产甲烷反应器视为不可分离系统而整体考虑。

基于以上假设,某一时期各系统中 DBP 的残留总量计算方式为:

$$M_{i,DBP} = M_{i,s} \cdot c_{i,s} + V_{i,l} \cdot c_{i,l} \quad (1)$$

$$M_{i,s} = M_0 \cdot (1 - \delta_i) \quad (2)$$

式中,  $M_{i,DBP}$  为第  $i$  天系统中 DBP 的残留总量,  $\mu\text{g}$ ;  $M_{i,s}$  为第  $i$  天垃圾质量,  $\text{g}$ ;  $c_{i,s}$  为第  $i$  天垃圾中 DBP 含量,  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ;  $V_{i,l}$  为第  $i$  天渗滤液排放体积,  $\text{L}$ ;  $c_{i,l}$  为第  $i$  天渗滤液中 DBP 质量浓度,  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $M_0$  为垃圾填埋初始质量,  $\text{g}$ ;  $\delta_i$  为第  $i$  天垃圾沉降率, %。

如图 8 所示,随填埋时间的延长填埋场系统中 DBP 残留量逐渐减少。3 套填埋场反应器间的横向比较结果表明,不同填埋方式对 DBP 总量衰减速率影响较大,BL 和 RL 中 DBP 残留量均明显低于同时期 CL,也即渗滤液的回灌能明显加速 DBP 的降解,而比较 RL 和 BL,BL 中 DBP 的残留量比同时期 RL 更低,这归因于 BL 中产甲烷反应器和填埋场反应器的联用。当渗滤液流经产甲烷反应器时,其中可生化性较好的有机物已被厌氧微生物分解了大部分,因此,相同时间内,BL 有更多的有机物被降解,此外,产甲烷反应器中的产甲烷菌产生了足够的碱度以中和填埋场中 VFA 产生的酸性环境,使得其填埋环境从一开始就优于 RL 而更有利于有机物的降

表 3 DBP 残留总量衰减模型及方差分析

Table 3 Regression and ANOVA analysis on decay of DBP residue

填埋场	拟合模型	$R^2$	$F$	$P$
CL	$y = -969\ 585.2 + 2\ 748\ 516.7e^{-0.0031x}$	0.968 2	121.900 1	<0.000 1
RL	$y = -602\ 920.4 + 2\ 456\ 280.6e^{-0.0047x}$	0.962 6	102.827 1	<0.000 1
BL	$y = -198\ 972.2 + 2\ 014\ 574.9e^{-0.0085x}$	0.981 2	208.678 9	<0.000 1

可见,DBP 的总量变化符合指数衰减模型,从衰减系数分析,DBP 在 3 套填埋场反应器中的总量衰减速率普遍呈现  $BL > RL > CL$ 。虽然随着填埋时间的延长,填埋场中的 DBP 将降解完全,但不同的填埋方式影响着 DBP 的矿化进程,若 DBP 在填埋场中残留时间过长将增加其对环境的潜在威胁。

### 3 结论

(1) 在实际垃圾填埋的 3 套填埋场反应器的渗滤液及垃圾中均检测到了 DBP。填埋场垃圾渗滤液的排放是 DBP 类污染物进入外界环境的重要途径。

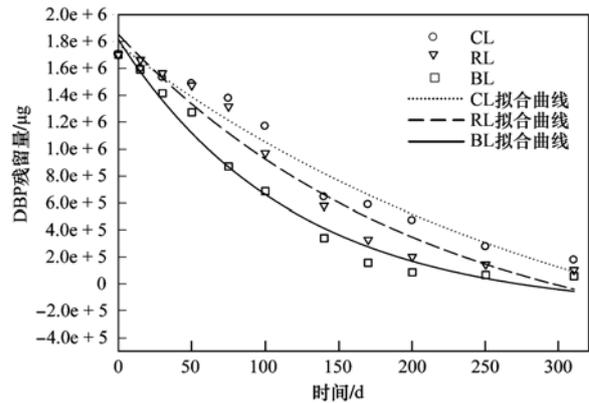


图 8 CL、RL 和 BL 中 DBP 残留总量及拟合结果

Fig. 8 Regression results of DBP residue in CL, RL & BL

解。实验后期 DBP 在 3 套填埋场反应器中的残留总量为  $BL < RL < CL$  ( $P < 0.01$ )。实验结束,CL、RL 和 BL 中 DBP 的去除率分别为 89.5%、93.9% 和 96.6% (表 2)。

表 2 DBP 在 CL、RL 和 BL 中的去除率

Table 2 Removal of DBP in CL, RL & BL

填埋场	DBP 去除率 /%	垃圾沉降		
		初始高度/cm	结束高度/cm	沉降率/%
CL	89.5	185	172	7.0
RL	93.9	185	163	11.9
BL	96.6	185	140	24.3

对 3 套填埋场反应器中 DBP 的残留总量变化进行曲线拟合 (图 8), 获得不同填埋方式下 DBP 总量衰减模型。模型的相关性较高,且方差分析结果表明,模型达到显著水平,具体如表 3 所示。

(2) 各填埋场的稳定化进程顺序为  $BL > RL > CL$ 。填埋场的稳定化进程影响着 DBP 在垃圾中的降解行为,相比于填埋场产酸期,填埋场产甲烷期时的环境条件更有利于 DBP 的降解。

(3) 不同运行工艺的填埋场中 DBP 残留总量差异显著,CL、RL 和 BL 中 DBP 残留总量变化符合指数衰减模型。渗滤液回流明显加速了 DBP 的生物降解,而产甲烷反应器的联用更能促进 DBP 在填埋场中的去除。

(4) 含有 DBP 的生活垃圾每天运至填埋场填埋,DBP 将会源源不断地从填埋场排放而污染周边

环境. 因此, 了解 DBP 在填埋场尤其是生物反应器填埋场中的生物降解机制, 获取 DBP 生物降解条件, 以加速 DBP 的降解, 从而改善渗滤液水质, 减小环境污染风险值得进一步研究.

#### 参考文献:

- [ 1 ] US EPA. National primary drinking water regulations, federal register, 40 CFR chapter I, part141 [M]. Washington DC: US Environmental Protection Agency, 1991.
- [ 2 ] 吴学玲, 金德才, 赵维良, 等. 4 株邻苯二甲酸二丁酯降解菌的分离鉴定及其相关降解基因的克隆 [J]. 环境科学, 2009, **30**(9): 2722-2727.
- [ 3 ] Fang C R, Yao J, Zhen Y G, *et al.* Dibutyl phthalate degradation by *Enterobacter* sp. T5 isolated from municipal solid waste in landfill bioreactor [J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2010, **64**(6): 442-446.
- [ 4 ] 金相灿. 有机化合物污染化学-有毒有机物污染化学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1990.
- [ 5 ] Zheng Z, He P J, Shao L M, *et al.* Phthalic acid esters in dissolved fractions of landfill leachates [J]. Water Research, 2007, **41**(20): 4696-4702.
- [ 6 ] Jonsson S, Ejlertsson J, Svensson B H. Behaviour of mono-and diesters of *o*-phthalic acid in leachates released during digestion of municipal solid waste under landfill conditions [J]. Advances in Environmental Research, 2003, **7**(2): 429-440.
- [ 7 ] Mersiowsky I, Weller M, Ejlertsson J. Fate of plasticised PVC products under landfill conditions: a laboratory-scale landfill simulation reactor study [J]. Water Research, 2001, **35**(13): 3063-3070.
- [ 8 ] Jonsson S, Ejlertsson J, Svensson B H. Transformation of phthalates in young landfill cells [J]. Waste Management, 2003, **23**(7): 641-645.
- [ 9 ] Benson C H, Barlaz M A, Lane D T, *et al.* Practice review of five bioreactor/recirculation landfills [J]. Waste Management, 2007, **27**(1): 13-29.
- [ 10 ] 方程冉, 吴征宇, 龙於洋, 等. UASB 反应器处理垃圾渗滤液的启动研究 [J]. 浙江科技学院学报, 2007, **19**(2): 125-128.
- [ 11 ] Bauer M J, Herrmann R. Estimation of the environmental contamination by phthalic acid esters leaching from household wastes [J]. Science of the Total Environment, 1997, **208**(1-2): 49-57.
- [ 12 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [ 13 ] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [ 14 ] 李国刚. 固体废物试验与监测分析方法 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [ 15 ] Tatsi A A, Zouboulis A I. A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece) [J]. Advances in Environmental Research, 2002, **6**(3): 207-219.
- [ 16 ] 刘晓立, 司文静, 王磊. 城市垃圾填埋场稳定化沉降灰色理论分析 [J]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版), 2010, **29**(4): 621-624.
- [ 17 ] Robinson H D, Gronow J R. Leachate composition from different landfills [A]. In: CISA-sanitary environmental engineering centre, management and treatment of MSW landfill leachate [C]. San Giorgio: Cini Foundation, 1998.
- [ 18 ] Reinhart D R, Townsend T G. Landfill bioreactor design and operation [M]. New York: Lewis Publisher, 1997.
- [ 19 ] 邵立明, 谷惠丽, 何晶晶. 通风填埋层原位脱氮: 回灌渗滤液和垃圾组成的影响 [J]. 环境科学学报, 2009, **29**(1): 151-155.
- [ 20 ] He R, Liu X W, Zhang Z J, *et al.* Characteristics of the bioreactor landfill system using an anaerobic-aerobic process for nitrogen removal [J]. Bioresource Technology, 2007, **98**(13): 2526-2532.
- [ 21 ] 贾传兴, 彭绪亚, 袁荣焕, 等. 生物可降解度判定生活垃圾堆肥处理的稳定性 [J]. 中国给水排水, 2006, **22**(5): 68-70.
- [ 22 ] Yu H W, Samani Z, Hanson A, *et al.* Energy recovery from grass using two-phase anaerobic digestion [J]. Waste Management, 2002, **22**(1): 1-5.
- [ 23 ] 王君琴, 徐炎华, 贺永华, 等. 生物反应器填埋场臭气中微量氨气和挥发性脂肪酸的特征研究 [J]. 农业环境科学学报, 2005, **24**(6): 1212-1216.
- [ 24 ] 何若, 沈东升, 方程冉. 生物反应器填埋场系统的特性研究 [J]. 环境科学学报, 2001, **21**(6): 763-767.
- [ 25 ] 王君琴, 沈东升. 生物反应器填埋场的试验研究 [J]. 应用生态学报, 2003, **14**(11): 2077-2078.
- [ 26 ] Bauer M J, Herrmann R, Martin A. Chemodynamics, transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachates [J]. Water Science and Technology, 1998, **38**(2): 185-192.
- [ 27 ] Ejlertsson J, Meyerson U, Svensson B H. Anaerobic degradation of phthalic acid esters during digestion of municipal solid waste under landfilling conditions [J]. Biodegradation, 1996, **7**(4): 345-352.

## CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO <sub>2</sub> by Carbon Isotope Composition .....	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation .....	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing .....	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM <sub>2.5</sub> Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province .....	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust .....	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ <sup>15</sup> N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area .....	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters .....	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake .....	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed .....	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River .....	..... CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring .....	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China .....	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period .....	..... GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms .....	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area .....	..... WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall .....	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City .....	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir .....	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir .....	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta .....	..... LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake .....	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay .....	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India .....	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain .....	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System .....	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant .....	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation .....	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment .....	..... WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process .....	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite .....	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO <sub>2</sub> Photocatalyst .....	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China .....	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A <sup>2</sup> /O System .....	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System .....	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor .....	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment .....	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal .....	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene ( <i>nosZ</i> ) .....	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis .....	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain .....	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow .....	..... WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure .....	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils .....	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice ( <i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous <sup>14</sup> C Labeling .....	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields .....	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils .....	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils .....	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads .....	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste .....	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation .....	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill .....	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area .....	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

# 《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4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 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@cees.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@cees.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