

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM _{2.5}	郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小微 (817)
北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究	林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷 (826)
气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析	浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔 (835)
密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析	路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明 (842)
冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量	何真, 陆小兰, 杨桂朋 (849)
2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化	李绪录, 周毅频, 夏华永 (857)
渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析	周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文 (864)
青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化	王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼 (874)
漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选	徐华山, 徐宗学, 刘品 (882)
面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法	邹锐, 周璟, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成 (892)
九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献	罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙 (900)
修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影 (907)
去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究	李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍 (914)
北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究	李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽 (919)
城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险	温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲 (927)
城市景观娱乐水体微生物风险评价	孙傅, 沙婧, 张一帆, 刘彦华 (933)
模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究	李伟, 赵晶, 余健, 任文辉 (943)
膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究	范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军 (950)
γ -Al ₂ O ₃ 负载磷钨酸催化强化电化法处理水中酸性大红3R的研究	岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛 (955)
活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学	杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可 (962)
ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究	杨波, 钟启俊, 李方, 田晴 (968)
O ₃ -BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律	余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军 (974)
规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究	王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥 (979)
连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究	牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹 (986)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅰ)——模型的建立	张超, 陈银广 (993)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅱ)——动力学模拟	张超, 陈银广 (998)
乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(Ⅲ)——模型的应用	张超, 陈银广 (1004)
三峡水库两条支流水-气界面CO ₂ 、CH ₄ 通量比较初探	李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔 (1008)
不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素	陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇 (1017)
黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素	周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利 (1026)
层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估	姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强 (1034)
海州湾滩涂重金属污染的历史记录	张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威 (1044)
草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价	张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波 (1055)
大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析	程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅 (1062)
典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估	李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶 (1067)
典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估	李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏 (1076)
城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究	陈秀端, 卢新卫, 杨光 (1086)
典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义	龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲 (1094)
生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究	张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水 (1101)
三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究	孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉 (1107)
Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素	钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西 (1114)
新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险	马子龙, 毛蒲萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强 (1120)
青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源	何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花 (1129)
太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布	马召辉, 金军, 元学奎, 王英, 姜霞, 何松洁, 李明圆 (1136)
典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析	刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍 (1142)
柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性	谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明 (1150)
机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究	牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强 (1156)
污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较	崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶 (1161)
固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响	刘敬勇, 孙水裕, 陈涛 (1166)
铸造废砂的环境毒性研究	张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰 (1174)
Cr ⁶⁺ 生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征	侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强 (1181)
反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析	于皓, 王爱杰, 陈川 (1190)
农业废物好氧堆肥中环境因子对nirK、nirS和nosZ数量的影响	胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明 (1196)
蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应	林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲 (1204)
有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究	周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明 (1211)
新建核电站风险信息沟通实证研究	贺桂珍, 吕永龙 (1218)
《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)	

太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布

马召辉^{1,2}, 金军^{1*}, 亓学奎¹, 王英¹, 姜霞³, 何松洁¹, 李明圆¹

(1. 中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 北京市环境保护监测中心, 北京 100048; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 分析了太湖竺山湾、梅梁湾、南太湖的3个柱状沉积物样品中8种溴代阻燃剂(PBDEs)和12种类二噁英多氯联苯(DL-PCBs)。结果表明太湖PBDEs污染水平为竺山湾最高, 其余依次为梅梁湾、南太湖; DL-PCB污染水平梅梁湾最高, 其次则为竺山湾、南太湖。沉积物中PBDEs的水平垂直分布显示: 近年来在太湖PBDEs污染呈现指数式增长趋势, BDE-209为最主要的PBDEs同族体; 沉积物中DL-PCBs的水平垂直分布显示: DL-PCBs污染近年仍有增加, 说明在太湖地区存在PCBs的释放源。太湖梅梁湾不同深度的沉积物中PBDEs同族体组成差异明显, 具体原因需要进一步研究证实。PCBs在垂直分布模式显示: 在0~15 cm的上层沉积物中PCB-77、-118、-105水平随深度增加而明显降低, 下层则无明显变化。

关键词: 太湖; 沉积物; PBDEs; DL-PCBs; 水平; 垂直分布

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-1136-06

Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake

MA Zhao-hui^{1,2}, JIN Jun¹, QI Xue-kui¹, WANG Ying¹, JIANG Xia³, HE Song-jie¹, LI Ming-yuan¹

(1. College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. Beijing Municipal Environment Monitoring, Beijing 100048, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Sediment core samples collected from the Zhushan Bay, Meiliang Bay, South Taihu of Taihu Lake were analyzed for 8 polybrominated diphenylethers (PBDEs) and 12 dioxin-like PCBs (DL-PCBs). The results revealed that the PBDEs levels were highest in the Zhushan Bay, followed by Meiliang Bay and South Taihu; and the DL-PCB levels were highest in the Meiliang Bay, followed Zhushan Bay and South Taihu. The vertical distribution of PBDEs level showed an exponential growth trend in Taihu Lake sediments, BDE-209 was the most abundant PBDEs congeners; and the vertical distribution of the DL-PCBs level in the sediments revealed that the contamination caused by DL-PCBs continued to increase in recent years, indicating that there were PCBs sources in the Taihu Lake region. There was significant difference in the composition of PBDEs congeners at different depths in the sediments of Meiliang Bay, however, the detailed causes remain to be investigated in further studies. The vertical distribution pattern of PCBs congeners revealed that PCB-77, -118, -105 levels significantly decreased with increasing depth in 0-15 cm upper sediments and there were no significant change in the lower sediments.

Key words: Taihu Lake; sediment; PBDEs; DL-PCBs; level; vertical distribution

多溴联苯醚 (polybrominated diphenylethers, PBDEs) 和多氯联苯 (polychlorinated biphenyls, PCBs) 作为 POPs 的一类, 目前在各种环境介质 (大气、底泥、土壤和水) 和生物样品中已经被检出。随着国内对 PBDEs 和 PCBs 研究的开展, 我国研究人员对珠江三角洲、长江三角洲、环渤海地带以及大中城市环境中的 PBDEs 和 PCBs 开展了一些研究, 部分研究揭示了工业生产、使用及电子垃圾拆卸等过程中释放的 PBDEs 和 PCBs 污染环境^[1]。但目前关于 PBDEs 和 DL-PCBs 在我国淡水湖泊历史变化趋势的研究仍然很少。

本研究采集了太湖竺山湾、梅梁湾、南太湖这3个湖区的柱状沉积物, 旨在研究太湖沉积物样品中 PBDEs 和 DL-PCBs 的水平; 比较 PBDEs 和 DL-

PCBs 污染垂直变化趋势以及同族体分布特点, 探讨 PBDEs 和 DL-PCBs 在太湖的历史变化趋势。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究采用抓斗式采样器在太湖采集柱状沉积物样品分别是竺山湾 (靠近宜兴市, 沿湖周边有较多工业企业分布, 该点采样深度 30 cm)、梅梁湾 (靠近无锡市, 周边工业发达, 分布密集, 采样深度

收稿日期: 2012-05-18; 修订日期: 2012-08-29

基金项目: 中央民族大学 985 工程项目 (MUC985-9); 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07101-010-04-1)

作者简介: 马召辉 (1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向环境污染物监测, E-mail: zhaohui207@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: junjin3799@yahoo.com.cn

为 25 cm)、南太湖(位于湖中心地带,距离岸边较远,采样深度为 30 cm),每 5 cm 分一层,共 17 个样品,采样信息如图 1。采样时间为 2010 年 7 月。采样后立即送到实验室, -20℃ 保存至分析。

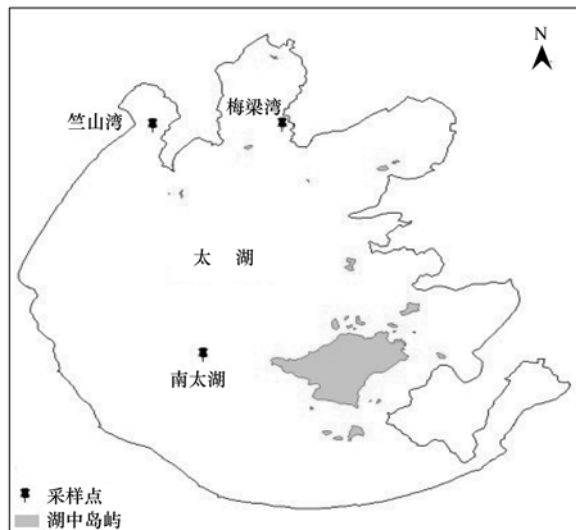


图 1 太湖柱状沉积物采样点分布示意

Fig. 1 Schematic graph of sampling sites of sediment cores in the Taihu lake

1.2 仪器和试剂

仪器:Agilent 6890-5975N 气质联用仪(Agilent, USA); 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂); BF2000 氮气吹干仪(北京八方世纪科技有限公司); 精密电子天平(日本岛津公司); 柱状采样器(04.23 BEEKER, Eijkelkamp); 麦哲伦探路者 500 手持式 GPS 定位仪(北京麦哲伦科技有限公司)

试剂:硅胶 100 ~ 200 目(德国 MERCK 公司); 丙酮(美国 MREDA 公司)、正己烷(J. T. Baker 公司)、二氯甲烷(美国 MREDA 公司)均为农残级; NaOH 为优级纯; 浓硫酸(分析纯); 无水硫酸钠(分析纯), 450℃ 灼烧 5 h; 高纯氮气(北京诚为信公司); 氦气、甲烷气体(北京氮普公司); BDE-28、-47、-99、-153、-154、-183、-209、 $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-209、 $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-139 标样均购自 Cambridge Isotope Laboratories. $^{12}\text{C}_{12}$ -PCB-77、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-169、-189 标样购自 Labor Dr. Ehrenstorfer. $^{13}\text{C}_{12}$ -PCB-81、-77、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、157、-169、-189 标样购自 Cambridge Isotope Laboratories.

硅胶活化(100 ~ 200 目):用二氯甲烷淋洗,盛于蒸发皿中,在 180℃ 下烘烤 1 h 以上,冷却后盛于磨口广口瓶中,置于干燥器内,备用。

酸碱硅胶制备:碱性硅胶,30 g; $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 逐滴加入到 100 g 活化硅胶中,充分振荡至硅胶没有结块;酸性硅胶,44 g 浓硫酸逐滴加入到 100 g 活化硅胶中,充分振荡至硅胶没有结块。

1.3 实验方法

1.3.1 前处理方法

将冻干、过筛的沉积物 10.00 g(干重)加入内标 $^{13}\text{C}_{12}$ -PCBs 混合液($16 \text{ pg} \cdot \mu\text{L}^{-1} \times 40 \mu\text{L}$)和 $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-139($100 \text{ pg} \cdot \mu\text{L}^{-1} \times 25 \mu\text{L}$)、 $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-209($1000 \text{ pg} \cdot \mu\text{L}^{-1} \times 25 \mu\text{L}$)再加入 200 mL 正己烷:丙酮(1:1,体积比),用索氏提取器提取,加热回流 24 h。将提取液转入洁净的茄形瓶中,采用旋转蒸发法将提取液浓缩至 1 ~ 2 mL,然后用多层复合硅胶柱(自下而上依次填:1 g 中性硅胶、4 g 碱性硅胶、1 g 中性硅胶、8 g 酸性硅胶、2 g 中性硅胶、4 g 无水硫酸钠)纯化分离,先用 50 mL 正己烷活化复合硅胶柱,然后上样,用 20 mL 正己烷预淋洗,然后用 100 mL 二氯甲烷-正己烷(97:3,体积比)混合液洗脱。将接取的洗脱液旋转蒸发至 1 ~ 2 mL,然后转入定量管中,加入 100 μL 壬烷,氮吹定容至 100 μL ,进行 GC-NCI-MS 测定。

1.3.2 DL-PCBs 和 PBDEs 仪器分析

色谱条件:色谱柱 DB-5MS 柱(30 m $\times$ 0.25 mm i. d. $\times$ 0.1 μm , Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA). 以高纯氦气为载气,柱流速 $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,前进样口温度 320℃,辅助加热口温度 300℃,不分流进样,进样量 1 μL 。测定 PBDEs 升温程序:初始温度为 100℃,保持 2 min,然后以 $4^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率升至 300℃,保持 30 min。测定 DL-PCBs 的升温程序:初始温度为 100℃,保持 3 min,然后以 $5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率升至 250℃。

质谱条件:负化学电离源(NCI),选择离子监测模式(SIM),以甲烷为反应气(40%),离子源温度 150℃,四极杆温度 150℃。BDE-28、-47、-100、-153、-154、-183 选择扫描监测离子为 m/z 79.0、81.0, BDE-209 扫描离子为 m/z 407.6、486.6; 内标 $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-139 为 m/z 79.0、81.0、573.7、575.7, $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE209 为 m/z 415.6、494.6。

PCB-81、-77 选择扫描监测离子为 m/z 290、292; PCB-123、-118、-114、-105、-126 选择扫描监测离子为 m/z 326、328; PCB-167、-156、-157、-169 扫描离子为 m/z 360、362; PCB-189 扫描离子为 m/z 394、396; $^{13}\text{C}_{12}$ -PCBs 内标选择扫描监测离子 m/z 与 $^{12}\text{C}_{12}$ -PCBs 相对应依次增加 12。

1.4 质量控制与保证

1.4.1 回收率与精密度

以基质土(用正己烷和丙酮混合液 1:1 萃取 24 h 后于马弗炉里 550℃灼烧 4 h)加标,验证方法回收率. 实验前先以基质土加标,平行操作 3 份,验证方法回收率. BDE-28、-47、-99、-100、-153、-154、-183、-209 的平均回收率分别为 119.4%、117.5%、111.2%、109.0%、106.3%、122.6%、96.7% 和 138.5%,8 种 PBDEs 同族体的相对标准偏差(RSD)都小于 23%. 所有实验数据均符合美国 1614 方法草案的参考值(BDE-28 ~ -183 回收率范围在 60% ~ 140%,BDE209 为 50% ~ 200%,RSD 小于 40%). PCB-77、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-169、-180、-189 同族体的回收率分别为 94.1%、100.4%、101.8%、100.5%、101.6%、95.1%、99.0%、99.5%、102.1%、105.6%、105.2%,PCBs 同族体的 RSD 都小于 13.7%.

每批实验进行了方法空白、空白加标、基质加标对照实验,空白中未检测出¹²C₁₂-PBDEs 和¹²C₁₂-PCBs. 本研究所得 17 个样品中¹³C₁₂-BDE-139 和¹³C₁₂-BDE-209 内标的回收率范围分别为 52 ~ 93%、51 ~ 121%. ¹³C₁₂-PCB-81、-77、-123、-118、-114、

-105、-126、-167、-156、157、-169、-189 内标回收率在 76% ~ 127% 之间.

1.4.2 校准曲线和检出限

PBDEs 和 DL-PCBs 采用内标法定量,PBDEs 和 DL-PCBs 各同族体的校正曲线相关系数 $r \geq 0.999 0$. PCB-81、-77、-123、-118、-114、-105、-126、-167、-156、-157、-169、-189 最低检出限为 0.1 pg,方法检出限为 1 ~ 1.2 pg·g⁻¹. BDE-28、-47、-100、-99、-154、-153、-183 最低检出限在 0.2 ~ 0.5 pg,方法检出限 2 ~ 5 pg·g⁻¹; BDE-209 为 10 pg,方法检出限 100 pg·g⁻¹.

2 结果与讨论

2.1 太湖沉积物中 PBDEs 和 DL-PCBs 水平的垂直分布

2.1.1 柱状 PBDEs 水平垂直分布及历史趋势

8 种 PBDEs 同族体在柱状沉积的所有样品中都有检出,竺山湾、梅梁湾、南太湖柱状沉积物中的 PBDEs 总含量(以干重计,下同)分别为:2.0 ~ 168 ng·g⁻¹,平均 45.1 ng·g⁻¹; 0.5 ~ 69.8 ng·g⁻¹,平均 17.9 ng·g⁻¹; 1.4 ~ 19.5 ng·g⁻¹,平均 5.6 ng·g⁻¹. 样品中 PBDEs 同族体的含量见表 1. 竺山湾 PBDEs 污染水平最高,其次为梅梁湾、南太湖.

表 1 太湖 3 个柱状沉积物中的 PBDEs 和 DL-PCBs 水平垂直分布

Table 1 Level of PBDEs and DL-PCBs in sediment cores of Taihu Lake

采样点	采样深度/cm	BDE-209/ng·g ⁻¹	∑ PBDEs /ng·g ⁻¹	∑ DL-PCBs /pg·g ⁻¹
竺山湾	0 ~ 5	167	168	82.7
	5 ~ 10	55.1	55.4	34.2
	10 ~ 15	35.8	36.1	32.3
	15 ~ 20	4.8	5.0	31.0
	20 ~ 25	4.2	4.5	37.7
	25 ~ 30	1.8	2.0	30.8
梅梁湾	0 ~ 5	69.6	69.8	83.3
	5 ~ 10	15.2	15.4	64.7
	10 ~ 15	2.8	3.0	44.7
	15 ~ 20	0.4	0.7	34.8
	20 ~ 25	0.2	0.5	37.6
南太湖	0 ~ 5	19.2	19.4	59.8
	5 ~ 10	6.7	7.0	38.3
	10 ~ 15	2.2	2.4	32.6
	15 ~ 20	1.4	1.6	31.4
	20 ~ 25	1.1	1.4	30.7
	25 ~ 30	1.5	1.7	31.9

对 3 个柱状沉积物中的 PBDEs 含量和采样深度进行函数拟合,发现 3 个采样点中的 PBDEs 水平在垂直分布上呈现指数性增长的趋势,相关系数(r)在 0.886 3 ~ 0.983 6 之间(图 2). 竺山湾、梅梁

湾、南太湖在 0 ~ 15 cm 沉积物中 PBDEs 增加较快,这与近年来 PBDEs 阻燃剂的生产和使用的快速增长相吻合. 由此可见,太湖近年来 PBDEs 污染日益增加应引起关注.

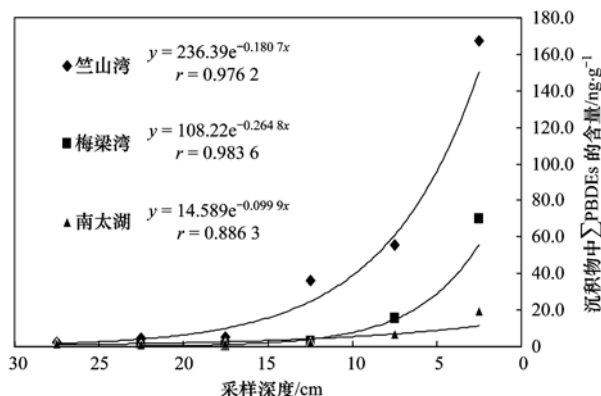


图2 太湖沉积物中PBDEs水平随采样深度的变化趋势

Fig. 2 Growth trends of PBDEs level in three sediment cores of Taihu Lake

2.1.2 柱状DL-PCBs水平垂直分布及历史趋势

竺山湾、梅梁湾、南太湖的3个柱状沉积物样品中DL-PCBs的含量水平分别在30.8~82.7、34.8~83.3、30.7~59.8 $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间(表1)。总体看来,3个柱状采样点的表层 $\sum$ DL-PCBs水平均高于底层,太湖梅梁湾和竺山湾表层沉积物中DL-PCBs水平基本相当(如图3),但高于南太湖表层沉积物中DL-PCBs的水平,并且10 cm以下深度的沉积物中 $\sum$ DL-PCBs水平变化趋于稳定。3个采样点中 $\sum$ DL-PCBs随采样深度的变化趋势如图3所示,竺山湾、梅梁湾和南太湖沉积物中 $\sum$ DL-PCBs含量均呈现一定的增长趋势,但增长趋势低于PBDEs的增长趋势。这种增长趋势类似于2009年Moon等^[2]对韩国Manshan湾沉积物的研究,其也发现DL-PCB在20 cm深(定年为1985年)到表层(定年为2005年)之间仍有较快增长。鉴于PCBs早已被禁止使用,而表层DL-PCBs污染水平仍然高于底层的实际情况,说明在太湖地区仍有PCBs的潜在释放源。有研究认为城市固体垃圾焚烧^[3]、铁矿石冶炼^[4~6]等过程会无意排放DL-PCBs。因此,探寻太湖地区工业DL-PCBs的污染释放源是治理太湖沉积物中DL-PCBs的重要手段。

此外,梅梁湾0~25 cm各层沉积物中 $\sum$ DL-PCBs含量均高于竺山湾和南太湖,由此说明梅梁湾 $\sum$ DL-PCBs历史污染较竺山湾和南太湖严重。但是,竺山湾0~5 cm沉积物中 $\sum$ DL-PCBs水平要高于5~10 cm层2.5倍,而梅梁湾的0~5 cm沉积物中 $\sum$ DL-PCBs含量比5~10 cm高1.4倍。

表明近年来竺山湾的污染增长速度大于梅梁湾和南太湖(见图3)。

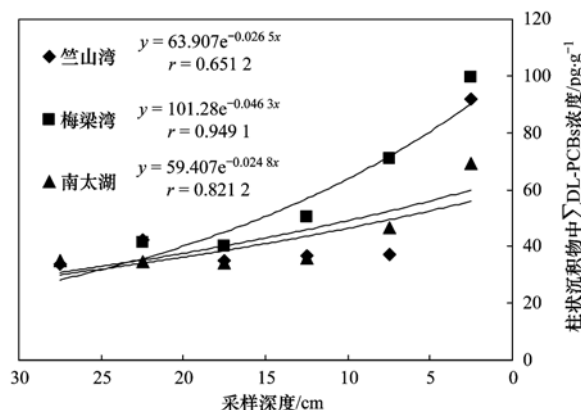


图3 太湖沉积物中DL-PCBs水平随采样深度的变化趋势

Fig. 3 Growth trends of DL-PCBs level in three sediment cores of Taihu Lake

2.2 太湖沉积物中PBDEs和DL-PCBs水平与世界其他地方比较

太湖柱状沉积物中的PBDEs水平(0.5~168 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$,平均23.1 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)高于同期珠江口沉积物中的PBDEs水平(0.30~68.8 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$,平均9.81 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)^[7],和广东清远郊区电子废弃物拆卸地水库沉积物中PBDEs水平较为接近(0.43~141 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$,平均为9.26 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$),且该沉积物中PBDEs在下层沉积物(16 cm以下)中含量较低、变化很小(0.43~2.30 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)与本研究15 cm深度以下的含量0.5~5.0 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 非常接近,但在上层沉积物中含量明显增加(2.9~141 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$),这也与本研究(15 cm以上)2.4~168 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 非常接近。太湖沉积物中PBDEs水平要高于北美Superior湖^[8]沉积物中PBDEs水平,与北美Michigan和Erie湖^[9]沉积物中BDE-209水平相当,其最高含量分别约为63 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 和39 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。目前的相关研究表明,PBDEs在环境及生物体中的含量自20世纪60~70年代开始递增,90年代末以后,欧洲许多地区PBDEs含量呈现出下降的趋势,但北美地区环境中PBDEs的含量仍然呈现递增的趋势^[10]。本研究认为太湖PBDEs的污染趋势呈现较快速的上升趋势。

太湖沉积物中PCBs总水平在几个ng到几十个ng之间,其中12种DL-PCBs水平在pg级^[11~13]。本研究DL-PCBs的水平范围为:30.7~83.3 $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$,低于杨永亮^[14]等对青岛近海沉积物中DL-PCBs水平的报道,但高于南四湖^[15]沉积物中DL-PCBs的水平。太湖柱状沉积物表层中DL-PCBs最高水平83.3 $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ 出现在太湖梅梁湾,该水平与对日本遂

道湖^[16]水平相当,低于马焦雷湖^[17](意大利、瑞士)、土耳其伊斯坦布尔海峡和马尔马拉海^[18]的研究结果。

2.3 太湖柱状沉积物中 PBDEs 和 DL-PCBs 同族体组成

太湖沉积物中 BDE-209 是最主要的 PBDEs 同族体,所有样品中 BDE-209 的含量为 47.6% ~ 99.8%,平均占到了 89.3%。在竺山湾的样品中 BDE-209 占总量 88.1% ~ 99.8%,梅梁湾为 47.6% ~ 99.6%,南太湖为 82.8% ~ 98.7%,在 3 个采样点 BDE-209 的含量随采样深度而减少(见图 4)。BDE-209 所占 $\sum$ PBDEs 比重(除梅梁湾 > 15 cm)与 Liu 等^[19]先前的研究(86% ~ 99%)相似,这也与近年来十溴联苯醚商品成为最主要的多溴联苯醚阻燃剂有关^[20]。

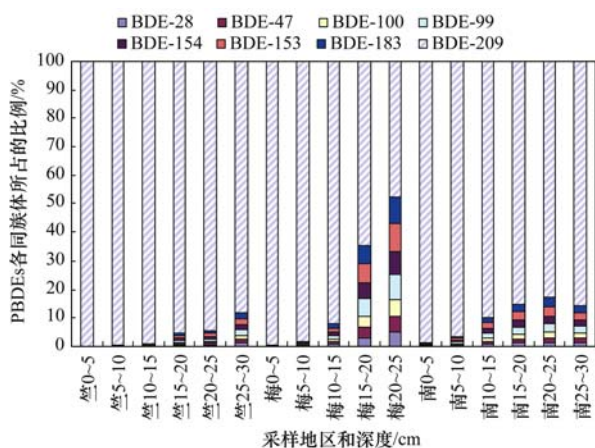


图 4 太湖竺山湾、梅梁湾、南太湖不同深度沉积物中 PBDEs 同族体组成

Fig. 4 Percentage compositions of PBDEs in sediments of Zhushan Bay, Meiliang Bay, South Taihu at different depth

此外, PBDEs 同族体组成在梅梁湾沉积物 > 15 cm 层中 BDE-209 仅占 $\sum$ PBDEs 的 47.6% ~ 64.6%, BDE-47、BDE-99、BDE-153、BDE-183 分别占 $\sum$ PBDEs 的 3.7% ~ 5.8%、6.0% ~ 8.7%、6.8% ~ 9.8%、6.4% ~ 9.5%, 该区 PBDEs 同族体组成垂直变化趋势有别于竺山湾和南太湖,造成这种分布特点可能原因之一是研究区域(梅梁湾,竺山湾等)的工业布局(或其他的人类活动)是不同的,因此,历史上不同区域五溴和八溴联苯醚产品的用量不同造成底层沉积物中低溴代联苯醚丰度升高并有一定差别;另一种是可能是下层沉积物中的 PBDEs 可能发生了厌氧降解,生成部分低溴代的联苯醚。相关研究也支持支持这种观点,如 Gerecke

等^[21]发现了 BDE-209 在厌氧条件下的降解。John 等^[22]的研究也认为 BDE-209 在脱溴后生成 BDE-99、BDE-47 以及其他 PBDEs 同族体。陈社军等^[23]研究了广东清远电子废弃物拆卸地水库的泥芯中 PBDEs 垂直变化组成模式,指出 PBDEs 同族体组成在沉积钻孔的垂直变化也说明了高溴代 PBDEs 在沉积物的埋藏期间可能发生了降解。但究竟太湖底层沉积物中 PBDEs 同族体垂直组成差别源自何种原因,尚需进一步研究证实。

太湖沉积物中 PCB-118 是 12 种 DL-PCBs 同族体中最主要的同族体(见图 5),对 $\sum$ DL-PCBs 的贡献率在 12.3% ~ 29.8%,其次是 PCB-105 (12.2% ~ 19.7%)、PCB-77 (10.9% ~ 35.7%),造成这种结果的主要原因可能是 PCB-77、-118、-105 为 PCBs 产品中 DL-PCBs 含量最高的 3 种^[24]。本研究所有样品中五氯代同系物含量最高(42.7% ~ 58.1%),随后依次为四氯代同系物(9.7% ~ 34.2%)、六氯代同系物(10.7% ~ 22.5%)和七氯代同系物(2.1% ~ 5.9%)。竺山湾表层沉积物中四氯代同系物较其他点和其他分层的四氯代同系物都高,主要是该点 PCB-77 含量较高导致。在垂直变化上,0 ~ 15 cm 的上层沉积物中,PCB-77、-118、-105 水平随深度增加降低比较明显,在 15 ~ 30 cm 的下层沉积物中 PCB-77、-118、-105 水平变化不显著,其余同族体含量在 0 ~ 30 cm 上都无显著变化。

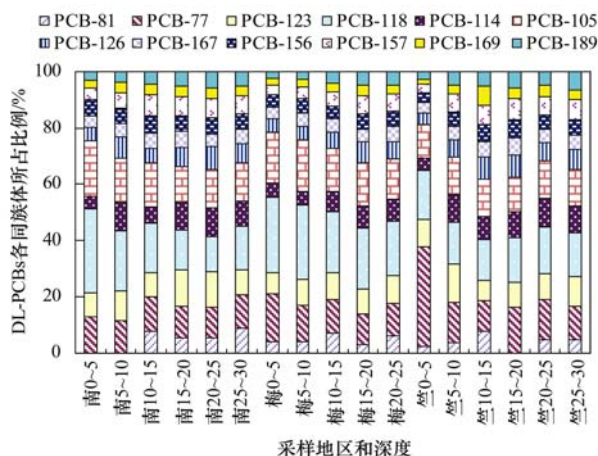


图 5 太湖竺山湾、梅梁湾、南太湖不同深度沉积物中 PCBs 同族体组成

Fig. 5 Percentage compositions of DL-PCBs in sediments of Zhushan Bay, Meiliang Bay, South Taihu at different depth

3 结论

(1)太湖沉积物 PBDEs 污染水平为竺山湾最高,其余依次为梅梁湾、南太湖; DL-PCBs 污染梅梁

湾为最高,其次则为竺山湾、南太湖。研究表明 PBDEs 在太湖沉积物中呈现快速的指数性增长,表明近年来 PBDEs 的污染加剧。DL-PCBs 近年仍有增加,说明在太湖地区存在 PCBs 的释放源。

(2)太湖沉积物中 PBDEs 污染的主要同族体为 BDE-209,但太湖梅梁湾不同深度的沉积物中 PBDEs 同族体组成差异明显,具体原因需要进一步研究证实。太湖 0~15 cm 沉积物中 PCB-77、-118、-105 含量随深度增加而明显降低,但 15 cm 以下层则无明显变化。

参考文献:

- [1] Li Y M, Jiang G B, Wang Y W, *et al.* Concentrations, profiles and gas-particle partitioning of PCDD/Fs, PCBs and PBDEs in the ambient air of an E-waste dismantling area, southeast China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, **53**(4): 521-528.
- [2] Moon H B, Choi M Y, Choi H G. Historical trends of PCDDs, PCDFs, dioxin-like PCBs and nonylphenols in dated sediment cores from a semi-enclosed bay in Korea; tracking the sources [J]. *Chemosphere*, 2009, **75**(5): 565-571.
- [3] Wang M S, Chen S J, Huang K L, *et al.* Determination of levels of persistent organic pollutants (PCDD/Fs, PBDD/Fs, PBDEs, PCBs, and PBBs) in atmosphere near a municipal solid waste incinerator[J]. *Chemosphere*, 2010, **80**(10): 1220-1226.
- [4] Aries E, Anderson D R, Fisher R, *et al.* PCDD/F and "Dioxin-like" PCB emissions from iron ore sintering plants in the UK[J]. *Chemosphere*, 2006, **65**(9): 1470-1480.
- [5] Li X M, Li Y M, Zhang Q H, *et al.* Evaluation of atmospheric sources of PCDD/Fs, PCBs and PBDEs around a steel industrial complex in northeast China using passive air samplers [J]. *Chemosphere*, 2011, **84**(7): 957-963.
- [6] Nie Z Q, Zheng M H, Liu W B, *et al.* Estimation and characterization of PCDD/Fs, dl-PCBs, PCNs, HxCBz and PeCBz emissions from magnesium metallurgy facilities in China [J]. *Chemosphere*, 2011, **85**(11): 1707-1712.
- [7] 林镇, 陈社军, 罗勇, 等. 珠江口钻孔沉积物中多溴联苯醚的沉积记录[J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(6): 830-834.
- [8] Song W L, Ford J C, Li A, *et al.* Polybrominated diphenyl ethers in the sediments of the Great Lakes. 1. Lake Superior[J]. *Environmental Science and Technology*, 2004, **38**(12): 3286-3293.
- [9] Zhu L Y, Hites R A. Brominated flame retardants in sediment cores from Lakes Michigan and Erie[J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, **39**(10): 3488-3494.
- [10] Betts K S. Rapidly rising PBDE levels in North America[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, **36**(3): 50A-52A.
- [11] 袁旭音, 王禹, 孙成, 等. 太湖底泥中多氯联苯的特征与环境影响[J]. *长江流域资源与环境*, 2004, **13**(3): 272-276.
- [12] Zhang Q H, Jiang G B. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins/furans and polychlorinated biphenyls in sediments and aquatic organisms from the Taihu Lake, China[J]. *Chemosphere*, 2005, **61**(3): 314-322.
- [13] 张跃军, 许添国, 刘程, 等. 江苏省典型湖泊淤泥中多氯联苯残留量分析[A]. 见: 全国水体污染控制、生态修复技术与水环境保护的生态补偿建设交流研讨会[C]. 上海: 中国环境科学学会, 2008. 609-611.
- [14] 杨永亮, 潘静, 李悦. 青岛近海沉积物 PCBs 的水平与垂直分布及贝类污染[J]. *中国环境科学*, 2003, **23**(5): 515-520.
- [15] 杨永亮, 史双昕, 潘静, 等. 南四湖沉积物中二噁英类化合物的分布[J]. *环境化学*, 2004, **23**(5): 549-555.
- [16] Masunaga S, Isamuogurl Y Y, *et al.* Identifying sources and mass balance of Dioxin pollution in Lake Shinji Basin, Japan [J]. *Environmental Science and Technology*, 2001, **35**(10): 1967-1973.
- [17] Vives I, Canuti E, Castro-Jiménez J, *et al.* Occurrence of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Lake Maggiore (Italy and Switzerland)[J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2007, **9**(6): 589-98.
- [18] Okay O S, Karacik B, Başak S, *et al.* PCB and PCDD/F in sediments and mussels of the Istanbul strait (Turkey) [J]. *Chemosphere*, 2009, **76**(2): 159-166.
- [19] Liu G Q, Zhang G, Jin Z D, *et al.* Sedimentary record of hydrophobic organic compounds in relation to regional economic development; a study of Taihu Lake, East China [J]. *Environmental Pollution*, 2009, **157**(11): 2994-3000.
- [20] Bi X H, Thomas G O, Jones K C, *et al.* Exposure of electronics dismantling workers to polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, and organochlorine pesticides in South China[J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, **41**(16): 5647-5653.
- [21] Gerecke A C, Giger W, Hartmann P C, *et al.* Anaerobic degradation of brominated flame retardants in sewage sludge[J]. *Chemosphere*, 2006, **64**(2): 311-317.
- [22] Tokarz J A, Ahn M Y, Leng J, *et al.* Reductive debromination of polybrominated diphenyl ethers in anaerobic sediment and a biomimetic system[J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, **42**(4): 1157-1164.
- [23] 陈社军, 田密, 罗勇, 等. 多溴联苯醚在电子废弃物拆卸地沉积物中的垂直分布[J]. *环境科学*, 2010, **31**(12): 3087-3092.
- [24] 降巧龙, 周海燕, 徐殿斗, 等. 国产变压器油中多氯联苯及其异构体分布特征[J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(5): 608-612.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} over Eastern China from MODIS Aerosol Optical Depth Using the Back Propagation Neural Network	GUO Jian-ping, WU Ye-rong, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (817)
Comparison of Atmospheric Particulate Matter and Aerosol Optical Depth in Beijing City	LIN Hai-feng, XIN Jin-yuan, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i> (826)
Impacts of Meteorological Factors on Atmospheric Methane Mole Fractions in the Background Area of Yangtze River Delta	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, GU Jun-qiang, <i>et al.</i> (835)
Dispersion and Analysis of Odor Pollution in Landfill Area Under the Enclosed Operation Condition	LU Peng, WU Shi-xing, DAI Zhi-feng, <i>et al.</i> (842)
Distribution Characteristics and Sea-Air Fluxes of Volatile Halocarbons in the East China Sea in Winter	HE Zhen, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng (849)
Intra- and Inter-annual Variabilities of Particulate Organic Matter in the Mirs Bay from 2000 to 2010	LI Xu-lu, ZHOU Yi-pin, XIA Hua-yong (857)
Phytoplankton Assemblages and Their Relation to Environmental Factors by Multivariate Statistic Analysis in Bohai Bay	ZHOU Ran, PENG Shi-tao, QIN Xue-bo, <i>et al.</i> (864)
Characteristics and Evolution of Hydrochemical Compositions of Freshwater Lake in Tibetan Plateau	WANG Peng, SHANG Ying-nan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (874)
Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads and Optimization of the Best Management Practices (BMPs) in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, LIU Pin (882)
An Object-Oriented Intelligent Engineering Design Approach for Lake Pollution Control	ZOU Rui, ZHOU Jing, LIU Yong, <i>et al.</i> (892)
Contribution of Plant Litters to Sediments Organic Matter in Jiulong River Estuary Wetland	LUO Zhuang-xi, QIU Zhao-zheng, WANG Zhen-hong, <i>et al.</i> (900)
Application of Tiered Approach to Assess the Impact of Backfilling Remediated Soil on Groundwater	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (907)
Removal of Nitrate from Groundwater Using Permeable Reactive Barrier	LI Xiu-li, YANG Jun-jun, LU Xiao-xia, <i>et al.</i> (914)
Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District	LI Hai-yan, XU Bo-ping, XU Shang-ling, <i>et al.</i> (919)
Occurrence and Risk Assessment of Five Selected PPCPs in Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water	WEN Zhi-hao, DUAN Yan-ping, MENG Xiang-zhou, <i>et al.</i> (927)
Microbial Risk Assessment of Urban Water Bodies for Aesthetical and Recreational Uses	SUN Fu, SHA Jing, ZHANG Yi-fan, <i>et al.</i> (933)
Study on Removal of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate by Using of Small-Scale Biological Aerated Filter	LI Wei, ZHAO Jing, YU Jian, <i>et al.</i> (943)
Mechanism of Membrane Fouling and Filtration Characteristics in a Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment	FAN Ju-hong, YU Su-lin, ZHANG Pei-shuai, <i>et al.</i> (950)
Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al ₂ O ₃	YUE Lin, WANG Kai-hong, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (955)
Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G	YANG Mei-mei, ZHOU Shao-qi, LIU Dan, <i>et al.</i> (962)
Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-dewighting and Dyeing-printing Wastewater	YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, <i>et al.</i> (968)
Study on the Pollutants Removal Performance Along the Advanced Treatment in Tannery Wastewater by O ₃ -BAF	YU Bin, LIU Rui, CHENG Jia-di, <i>et al.</i> (974)
Effect of Pilot UASB-SFSBR-MAP Process for the Large Scale Swine Wastewater Treatment	WANG Liang, CHEN Chong-jun, CHEN Ying-xu, <i>et al.</i> (979)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Municipal Wastewater and Studies on Its Characteristics Under the Continuous Flow	NIU Shu, DUAN Bai-chuan, ZHANG Zuo-li, <i>et al.</i> (986)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (I) : Model Constitution	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (993)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (998)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (III) : Model Application	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (1004)
Comparative Study on Water-air CO ₂ , CH ₄ Flux in Two Tributaries in the Three Gorges Reservoir, China	LI Zhe, BAI Lei, GUO Jin-song, <i>et al.</i> (1008)
Factors Influencing the Spatial Variability in Soil Respiration Under Different Land Use Regimes	CHEN Shu-tao, LIU Qiao-hui, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1017)
Differences in Soil Respiration Between Cropland and Grassland Ecosystems and Factors Influencing Soil Respiration on the Loess Plateau	ZHOU Xiao-gang, ZHANG Yan-jun, NAN Ya-fang, <i>et al.</i> (1026)
Application and Benefit Evaluation of Tiered Health Risk Assessment Approach on Site Contaminated by Benzene	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, LIANG Jin, <i>et al.</i> (1034)
History of Heavy Metal Pollution from Tidal Flat in Haizhou Bay	ZHANG Rui, ZHANG Fan, LIU Fu-cheng, <i>et al.</i> (1044)
Accumulation, Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment of Caohai Plateau Wetland, Guizhou Province	ZHANG Qing-hai, LIN Chang-hu, TAN Hong, <i>et al.</i> (1055)
Assessment and Correlation Analysis of Heavy Metals Pollution in Soil of Dajinshan Island	CHENG Fang, CHENG Jin-ping, SANG Heng-chun, <i>et al.</i> (1062)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Stream Sediments from a Typical Nonferrous Metals Mining City	LI Ru-zhong, JIANG Yan-min, PAN Cheng-rong, <i>et al.</i> (1067)
Contamination and Health Risk for Heavy Metals via Consumption of Vegetables Grown in Fragmentary Vegetable Plots from a Typical Nonferrous Metals Mine City	LI Ru-zhong, PAN Cheng-rong, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1076)
Correlativity Study of the Distribution of Soil Magnetic Susceptibility and the Heavy Metal Contents in Xi'an City	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, YANG Guang (1086)
Distribution Characteristics and Environmental Significance of Heavy Metals in Soil Particle Size Fractions from Tropical Forests in China	GONG Cang, XU Dian-dou, CHENG Hang-xin, <i>et al.</i> (1094)
Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch	ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, <i>et al.</i> (1101)
Fractions and Adsorption Characteristics of Phosphorus on Sediments and Soils in Water Level Fluctuating Zone of the Pengxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir	SUN Wen-bin, DU Bin, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1107)
Sorption Behavior of Triton X-100 on Loess and Affecting Factors	ZHONG Jin-kui, ZHAO Bao-wei, ZHU Kun, <i>et al.</i> (1114)
Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk	MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (1120)
Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake	MA Zhao-hui, JIN Jun, QI Xue-kui, <i>et al.</i> (1136)
Characteristics of Organic Pollutants in the Sediments from a Typical Electronics Industrial Zone	LIU Jin, DENG Dai-yong, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (1142)
Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Exhaust Particles from a Diesel Car	TAN Pi-qiang, ZHOU Zhou, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (1150)
Characterization of PAHs in Fly Ashes from Coke Production	MU Ling, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (1156)
Comparison of PAHs Distribution in Stabilized Sludge by Sludge Drying Bed and Reed Bed	CUI Yu-bo, SUN Hong-jie, RAN Chun-qiu, <i>et al.</i> (1161)
Effects of Adsorbents on Partitioning and Fixation of Heavy Metals in the Incineration Process of Sewage Sludge	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, CHEN Tao (1166)
Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand	ZHANG Hai-feng, WANG Yu-jue, WANG Jin-lin, <i>et al.</i> (1174)
Construction and Properties of a Microbial Whole-cell Sensor CB10 for the Bioavailability Detection of Cr ⁶⁺	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xu-liang, <i>et al.</i> (1181)
Structure and Dynamics of Microbial Community in the Denitrifying Sulfide Removal Process	YU Hao, WANG Ai-jie, CHEN Chuan (1190)
Effects of Physico-chemical Parameters on the Abundance of the Denitrification-associated Genes <i>nirK</i> , <i>nirS</i> and <i>nosZ</i> During Agricultural Waste Composting	HU Chun-xiao, CHEN Yao-ning, ZHANG Jia-chao, <i>et al.</i> (1196)
Impact of PAHs on the Expression of PRDX in Earthworm (<i>Eisenia fetida</i>)	LIN Kang-li, ZHENG Sen-lin, SONG Yu-fang, <i>et al.</i> (1204)
Preparation of OMC-Au/L-Lysine/Au Modified Glassy Carbon Electrode and the Study on Its Detection Response to Hydroquinone and Catechol	ZHOU Yao-yu, TANG Lin, LI Zhen, <i>et al.</i> (1211)
Risk Communication in Construction of New Nuclear Power Plant	HE Gui-zhen, LÜ Yong-long (1218)

《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)

2013年3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人