

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)
臭气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)	

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^{1,2}, 赵高峰¹, 周怀东^{1*}, 曾敏², 廖柏寒², 吴正勇^{1,2}, 张盼伟^{1,2}, 柳敏³

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 中南林业科技大学林学院, 长沙 410004; 3. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要: 采用 GC-MS/MS 技术对长江 3 条支流(沱江、藕池河下游和松澧洪道)在不同水期的 81 个表层水样进行分析. 实验发现样品表层水样中 PCB8、18 和 28 是优势污染物. $\sum$ PCBs 在沱江、藕池河下游和松澧洪道 3 条支流不同水期表层水中的几何均值分别为 $1.96 \sim 2.59 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.84 \sim 2.54 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.52 \sim 2.38 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, 含量均低于美国 EPA 连续暴露基准 ($14 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$). 实验结果与国内外相关文献报道值相比较, 显示该研究区域表层水中 PCBs 浓度处于较低水平, 癌症风险评价结果表明饮用该区域水摄入 PCBs 而带来的风险为 $0.15 \times 10^{-7} \sim 0.26 \times 10^{-7}$, 说明研究区水样中因 PCBs 污染引起的癌症风险较低.

关键词: 长江支流; 表层水; 多氯联苯; 污染特征; 风险

中图分类号: X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)08-2574-06

Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods

LI Kun^{1,2}, ZHAO Gao-feng¹, ZHOU Huai-dong¹, ZENG Min², LIAO Bo-han², WU Zheng-yong^{1,2}, ZHANG Pan-wei^{1,2}, LIU Min³

(1. China Institute of Water Resources and Hydro-power Research, Beijing 100038, China; 2. College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 3. College of Resource and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Eighty-one surface water samples were collected from 3 tributaries of the Yangtze River in different periods. Contents of 28 PCB congeners in surface water samples were measured using Varian CP3800/300 GC-MS/MS technique. PCB8, 18, and 28 are the most predominant PCB congeners in the samples from tributaries. The measured level of PCBs in the samples from the Tuo river, downstream of Ouchi river and Songlihongdao tributary were $1.96 \sim 2.59 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$, $1.84 \sim 2.54 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1.52 \sim 2.38 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$. The average concentrations of PCBs in the samples were lower than USEPA criterion continuous concentration ($14 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$), which were also in the same order of magnitude of those reported with lower levels in European and American countries. The estimated cumulative cancer risk for the local residents who drink water from tributaries were $0.15 \times 10^{-7} \sim 0.26 \times 10^{-7}$, which shows that cancer risk are negligible due to PCBs contamination in these samples.

Key words: tributaries of Yangtze River; surface water; PCBs; distribution character; risk

多氯联苯(PCBs)是斯德哥尔摩公约致力于削减的持久性有机污染物之一,由于其具有优良的化学惰性、不可燃性和抗热性,曾被作为热交换剂、润滑剂、变压器和电容器的绝缘介质、增塑剂等而被广泛应用于化工、电力工业和塑料工业等领域.我国生产的 PCBs 大约有 1 万 t,其中约有 9 000 t (PCB3-三氯联苯类化合物)主要用于电容器的浸渍液和变压器的绝缘油^[1,2];此外,20 世纪 50~80 年代,还先后从比利时、法国等国进口过大量含有 PCBs 的电力电容器^[3].目前,这些电力装置大多已废弃,其中的 PCBs 可能通过焚烧、大气沉降、污水渗透及固体废物堆放泄露等多种途径进入环境介

质^[4].目前我国 PCBs 存量仍然很大,而我国对 PCBs 的处置技术与保管措施都有待完善,二次释放而导致的污染问题比较严重^[5].PCBs 能干扰生物体内激素的合成、转运、结合、代谢和反馈调节,是典型的内分泌干扰物,长期暴露于 PCBs 可能诱发癌症,PCBs 被世界卫生组织确认为可能致癌的物质^[1,6].

收稿日期: 2011-10-28; 修订日期: 2011-12-14

基金项目: 中国水利水电科学研究院青年基金项目(环集 1113,环集 1233); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07203-006, 2008ZX07209, 2009ZX07527); 国家创新研究群体基金项目(51021006)

作者简介: 李昆(1987~),男,硕士研究生,主要研究方向为环境化学, E-mail: likun_1987@126.com

* 通讯联系人, E-mail: hdzhou@iwhr.com

本研究在枯水期、平水期和丰水期,以茅草街镇为中心对沱江、藕池河下游与松澧洪道这 3 条河流共 27 个采样点(每条河流设置 9 个采样点)收集的 81 个表层水样进行分析,以期为该区域的 POPs 生态风险评估提供基础数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

有机溶剂正己烷、二氯甲烷和丙酮等均为农残级(J. T. Baker, Phillipburg, USA); 优级纯浓硫酸(BDHL, England); 无水硫酸钠(分析纯,用二氯甲烷淋洗,然后置于 400℃ 的马弗炉中烘烤 6 h,干燥器中密闭保存、备用); 超纯水(经 MILLIQ 水纯化系统纯化,电阻率为 18.2 MΩ·cm); 硅胶(Merck, Darmstadt, Germany); 去活硅胶(H₂O 质量分数为 3.3%)。

1.2 样品采集与预处理

样品采集于枯水期(2010-11)、平水期(2011-04)以及丰水期(2011-06),分别采集各样点岸边表层水 500 mL,采样点如图 1 所示,选用玻璃纤维滤纸(0.45 μm, Whatman, England)过滤,转移至 500 mL 无污染的容器中;使用稀盐酸(6 mol·L⁻¹)调节 pH 至 2.0,4℃ 保存,待进一步处理。

将样品转移至实验室进行前处理,使用 SPE 装置进行富集;富集后的 SPE 柱(Supelco ENVI-18)依次选用 10 mL 正己烷、10 mL 二氯甲烷洗脱;收集洗脱液氮吹浓缩至 1~2 mL,浓缩后的洗脱液经去活硅胶柱净化;净化柱填料及用量从下至上依次为无水硫酸钠 2 g、去活硅胶 4 g、无水硫酸钠 2 g;依次用 20 mL 正己烷、20 mL 正己烷:二氯甲烷(1:1)溶液洗脱;收集洗脱液浓缩、定容至 50 μL,待测。

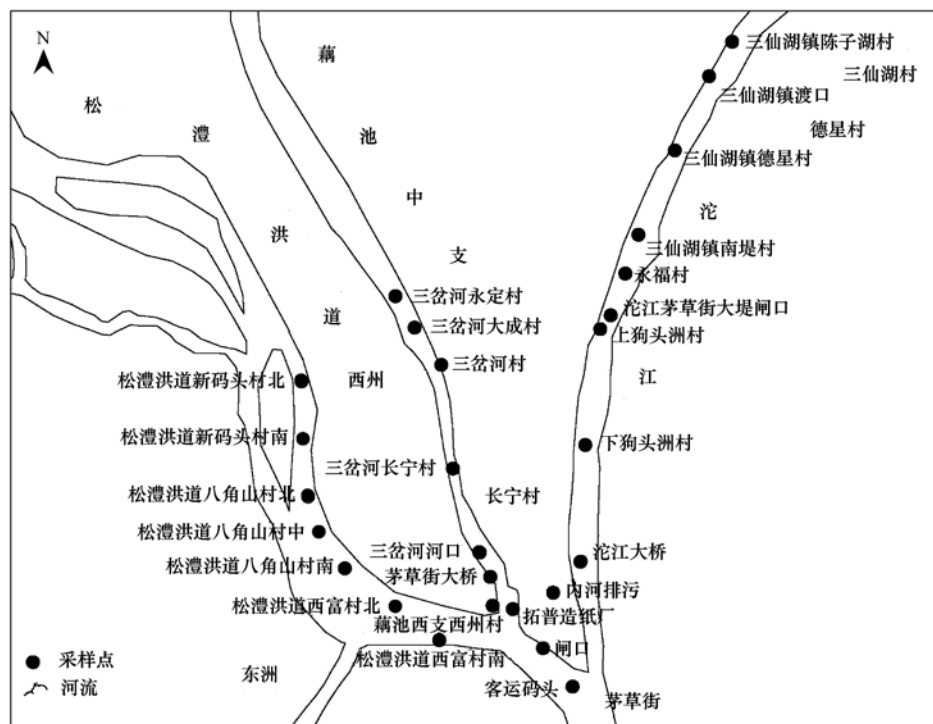


图 1 不同水期长江支流采样位置示意

Fig. 1 Sampling sites in different water periods of Yangtze River

1.3 分析条件

气相色谱-三重四极杆质谱联用仪 Varian CP3800/300, 配备 30 mVF-5-MS (5% phenyl/95% methyl silicone, 30 m, 0.25 mm i. d., 0.25 μm film, Varian, USA). 采用无分流进样方式,载气为高纯 He, 恒流 1.5 mL·min⁻¹, 进样量 1 μL. 离子源和传输杆的温度分别为 230℃ 和 250℃; 采用电子轰击(EI)多反应监测(MRM)模式; 程序升温:90℃ 保留

1 min, 以 4℃·min⁻¹ 的速率升至 250℃, 然后以 25℃·min⁻¹ 的速率从 250℃ 升至 280℃ 停留 5 min.

1.4 质量控制与保证

玻璃器皿依次用洗涤剂、重铬酸钾洗液、自来水、去离子水和丙酮漂洗,再用烘箱烘干. 每 10 个样品添加一个溶剂空白和程序空白,避免背景污染. 回收率指示物 TMX 的回收率为 70.4%~92.5%. PCBs 定量标准曲线的浓度包括 5.0、10.0、20.0、

50.0、100.0 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 共 5 个级别; 线性复相关系数 $r^2 > 0.98$. 样品的最低检测限 (LOD) 以 3 倍信噪比 (S/N) 来计算, 为 0.01 ~ 0.04 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$.

1.5 统计分析

样品中 PCBs 的浓度低于 LOD 时用 1/2 LOD 进行统计计算, 各水样中 PCBs 的浓度根据指示物 TMX 的回收率进行校正. 统计分析软件为 SPSS (版本 17.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA), 几何均值、数值范围等统计指标用来描述 PCBs 在水样中的浓度; T 检验用来分析各支流表层水样中 PCBs 浓度的显著性差异.

2 结果与分析

各支流在不同水期表层水中 PCBs 的检出浓度如图 2 所示, 沱江在枯水期、平水期与丰水期水样中 PCBs 的几何均值分别为 2.59、1.96 和 2.36 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 藕池河下游在枯水期、平水期与丰水期水样中 PCBs 的几何均值分别为 2.38、1.84 和 2.54 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$; 松澧洪道在枯水期、平水期与丰水期水样中 PCBs 的几何均值分别为 2.38、1.52 和 1.63 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$. 枯水期 3 条河流 PCBs 含量 (2.38 ~ 2.59 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$) 高于平水期 (1.52 ~ 1.96 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$) 与丰水期 (1.63 ~ 2.54 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$).

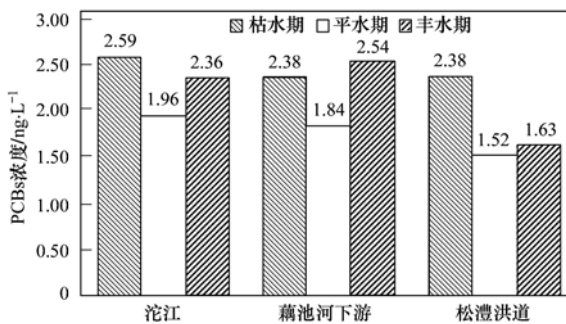


图 2 长江 3 条支流水样在不同水期 $\sum$ PCBs 含量分布

Fig. 2 Concentrations of $\sum$ PCBs in three tributaries of Yangtze River in different water periods

3 条支流各采样点表层水在不同水期的 $\sum$ PCBs 浓度分布情况如图 3 所示, 其中沱江最高浓度出现在枯水期三仙湖镇德星村采样点 (4.07 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$); 藕池河下游最高浓度出现在丰水期三岔河永定村采样点 (4.41 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$); 松澧洪道最高浓度出现在丰水期八角山村中采样点 (3.28 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$); T 检验的结果显示 3 条支流表层水中 PCBs 浓度之间不存在显著性差异, 处于同一污染水平.

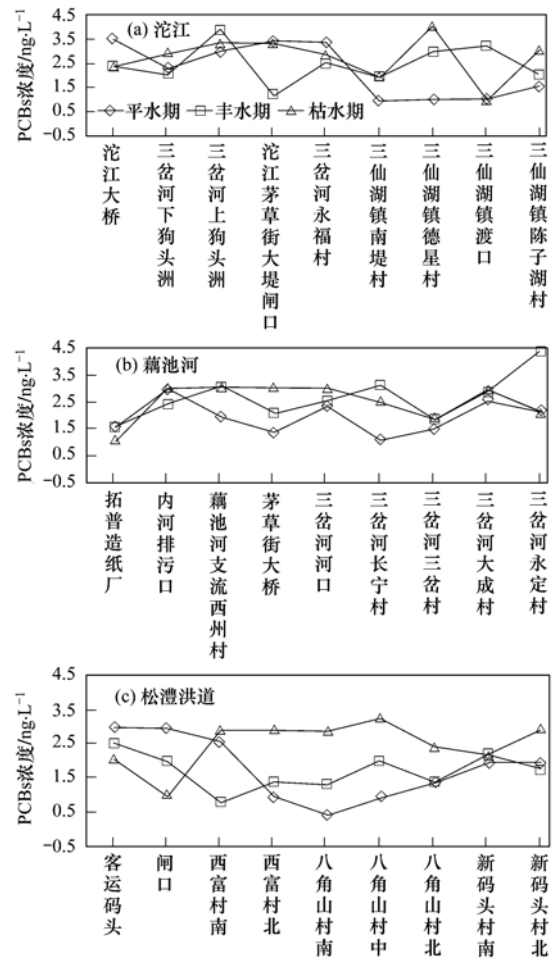


图 3 各支流采样点不同水期水样中 PCBs 含量分布

Fig. 3 Concentrations of PCBs in surface water samples collected from three tributaries of Yangtze River in different water periods

3 条长江支流在不同水期表层水中各化合物统计结果如表 1 所示, 表层水样中 PCB8 (0.03 ~ 0.44 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)、PCB18 (0.07 ~ 0.40 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$) 和 PCB28 (0.13 ~ 0.59 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$) 检出浓度较高, 故为优势污染物.

3 癌症风险计算

US EPA 的 IRIS 系统对污染物致癌毒性效应的分类^[7]分析表明, PCBs 为 B2 (根据充分的动物实验资料, 极可能为人类致癌物质). 根据 US EPA 的癌症风险计算公式^[8]:

$$\text{LADD} = (c \times \text{IR} \times \text{ED}) / (\text{BW} \times \text{LT})$$

$$\text{Risk} = \text{LADD} \times \text{CSF}$$

式中, LADD: 生命周期内平均日摄入量 ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$); c : 饮用水中 PCBs 的浓度 ($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$); IR: 日摄入量 ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$); ED: 暴露持续时间 (a); BW: 体重 (kg); LT: 生命周期 (a); Risk: 生命周期内癌症风险;

CSF:癌症斜率因子[$\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$].
普通居民饮水日摄入量以2 000 mL 计算,式中
 $\text{IR}=2\,000\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$, $\text{ED}=30\text{ a}$, $\text{BW}=60\text{ kg}$, $\text{LT}=70\text{ a}$;
CSF=0.07. 模型公式及数据均来自美国能源部风
险评估信息系统(Risk Assessment Information
System)数据库. 计算结果如表 2 所示.

表 1 不同水期对 3 条支流水样中 PCBs 含量的统计结果¹⁾($n=9$)/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 1 Statistical results of PCBs in different water periods of 3 tributaries samples ($n=9$)/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$

污染物	枯水期			平水期			丰水期		
	沱江	藕池河下游	松澧洪道	沱江	藕池河下游	松澧洪道	沱江	藕池河下游	松澧洪道
PCB8	0.41	0.03	0.03	0.41	0.41	0.08	0.44	0.05	0.16
PCB18	0.26	0.17	0.21	0.07	0.11	0.04	0.40	0.24	0.11
PCB28	0.59	0.59	0.58	0.26	0.58	0.13	0.28	0.59	0.26
PCB52	0.14	0.27	0.19	0.04	0.07	0.01	0.04	0.25	NA
PCB44	0.09	0.09	0.11	0.02	NA	NA	0.01	0.07	NA
PCB66	0.14	0.14	0.21	0.07	0.02	0.01	0.14	0.12	0.02
PCB101	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PCB81	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB77	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB123	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB118	0.07	0.07	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB114	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB153	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB105	0.08	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB138	NA	0.02	NA	0.02	NA	NA	NA	0.02	NA
PCB126	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB187	0.02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB128	NA	NA	NA	NA	NA	0.03	NA	NA	NA
PCB167	NA	NA	NA	0.03	NA	0.04	NA	NA	0.03
PCB156	0.04	NA	NA	NA	0.04	NA	0.04	NA	NA
PCB157	0.03	NA	NA	NA	0.03	NA	0.03	NA	NA
PCB180	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB169	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB170	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB189	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB195	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB206	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB209	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

1) 未检出的 PCBs 在统计分析时使用 1/2LOD 代替; NA:检出率为 0%, 未统计

表 2 癌症风险计算结果

Table 2 Results of cumulative cancer risk

采样期	地点	癌症斜率因子 / $\text{mg}(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$	浓度 / $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	饮用水 / $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$	ED /a	BW /kg	LT /a	风险
枯水期	沱江	0.07	2.588 0	2 000	30	60	70	0.26×10^{-7}
	藕池河下游		2.376 2					0.24×10^{-7}
	松澧洪道		2.376 9					0.24×10^{-7}
平水期	沱江	0.07	1.955 5	2 000	30	60	70	0.20×10^{-7}
	藕池河下游		1.847 0					0.19×10^{-7}
	松澧洪道		1.524 7					0.15×10^{-7}
丰水期	沱江	0.07	2.359 9	2 000	30	60	70	0.24×10^{-7}
	藕池河下游		2.540 0					0.25×10^{-7}
	松澧洪道		1.634 7					0.16×10^{-7}

4 讨论

比较不同水期各支流 $\sum$ PCBs 的浓度发现平水期浓度是最低的,枯水期与丰水期持平或者稍

高于丰水期,这是由于枯水期河流水量少、水流速度缓慢、滞留时间长、稀释能力减弱,从而造成水体中 $\sum$ PCBs 含量增高;尽管丰水期对污染物有稀释作用,但较大的水流也会将部分污染源释放

的 PCBs 冲入河流,加上沉积物中积累的 PCBs 在湍急水流的搅动下会发生二次释放,重新溶解到表层水中,导致 PCBs 的浓度并不因为稀释作用而显著降低.沱江、藕池河下游与松澧洪道表层水样中 $\sum$ PCBs 在不同水期分别为 1.96 ~ 2.59 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 、1.84 ~ 2.54 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 与 1.52 ~ 2.38 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,均低于美国 EPA 连续暴露基准浓度 (14 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)^[6],故该地区 PCBs 污染水平较低.图 3 中显示,3 条河流在 3 个不同水期的 PCBs 浓度处于同一污染水平,无明显差别 ($P>0.05$),因此水期变化对各采样点 PCBs 浓度影响并不明显.根据实地调查发现沱江周边环境:大堤前主要是当地居民养殖河蚌地,大堤后是居民生活区域;藕池河下游周边主要为居民生活地,由于该河流与人工内河相通,而人工内河主要为生活污水排放河;松澧洪道河流大堤前为该镇芦苇种植区,大堤后为居民居住地;并且研究区域内并无大型生产或使用 PCBs 的工厂存在,因此当地居民的日常生活(电子垃圾、电容器及变压器的使用等)所释放的

PCBs 是该区域 PCBs 污染的主要来源.

表 1 中显示优势污染物为低氯代化合物.由于我国从 1965 年开始生产 PCBs,到 1974 年宣布停止,有 10 a 的生产历史,累计产量近万吨,其中约有 9 000 t 三氯联苯商业混合物(相当于 Aroclor1242,其中 PCB8、18 和 28 分别占到总重量的 7.05%、8.53% 和 6.86%)用于电容器的浸渍液和变压器的绝缘油,另有 1 000 t 左右的五氯联苯商业混合物(相当于 Aroclor1254)主要用于油漆添加剂^[1,2].随着雨水的淋溶,这些泄漏出的 PCBs 会流入河道,引起河流水体污染^[9].本实验结果发现研究区域中 PCB8、18 与 28 是优势污染物,可能是由于低氯代 PCBs 较高氯代 PCBs 更易溶于水体所造成,同时也符合我国生产和使用的主要是低氯的三氯联苯商业混合物的实际情况.

为了更好地理解研究区域表层水中 PCBs 的污染程度,将数据统计结果与国内外的报道相比较(表 3),发现研究区域表层水中 PCBs 浓度处于较低污染水平.

表 3 表层水中 PCBs 的国内外对比/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 3 Levels of PCBs among surface water samples in various localities in other countries/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$

国家(或地区)	采样时间(年)	研究区域	PCBs	文献
中国	2010 ~ 2011	沱江	1.96 ~ 2.59	本研究
	2010 ~ 2011	藕池河下游	1.84 ~ 2.54	本研究
	2010 ~ 2011	松澧洪道	1.52 ~ 2.38	本研究
美国 ¹⁾	2004	密西西比河	22.2 ~ 163.4	[10]
瑞典 ²⁾	2007	波罗的海	3.4 ~ 29	[11]
意大利 ³⁾	2001、2003	威尼斯泻湖	0.261 ~ 0.871	[12]
美国 ⁴⁾	2002、2003	休斯顿船道	0.49 ~ 12.49	[13]
中国 ⁵⁾	2005 ~ 2006	辽宁、江苏、福建、广东、香港沿海	33.55 ~ 474.92	[14]
中国 ⁶⁾	2009	桑沟湾	11.22 ~ 92.43	[15]
中国 ⁷⁾	2004	海河	310 ~ 3 110	[16]
中国 ⁸⁾	2002	通惠河	31.58 ~ 344.9	[17]

1) PCB1, 5, 18, 29,31, 50, 77, 52, 104, 44, 66, 101, 87,110,154,151, 188, 153, 141, 138, 187, 183, 201, 180, 170, 208, 206, 209; 2) PCB77, 81, 126, 169,105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189, 28, 52, 101, 128, 138, 153, 180,195, 206, 209; 3) PCB18, 28, 31, 52, 95, 84, 90, 101, 110, 153, 138, 180, 194; 4) PCB8, 18, 30, 20, 28, 44, 47, 65, 52, 66, 90, 101, 113, 105, 118, 128, 166, 129, 138, 163, 153, 168, 170, 193, 195, 206, 209; 5) PCB28, 52, 101, 138, 153, 180; 6) PCB28, 52, 101, 118, 153, 138, 180; 7) PCB18, 28, 31, 44, 52, 101, 118, 138, 149, 153, 180, 194; 8) PCB18, 31, 28, 52, 44, 101, 149, 118, 153, 138, 180, 194

根据 US EPA 的癌症风险计算方法获得的评价结果(如表 2)显示:因饮用沱江、藕池河下游与松澧洪道在不同水期的水摄入 PCBs 而导致的风险值范围为 $0.15 \times 10^{-7} \sim 0.26 \times 10^{-7}$,US EPA 癌症风险标准是在无污染理想状态中 1 百万人中出现 1 例癌症提出,风险管理部门可接受的风险区间为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$.因此研究区域因饮水摄入 PCBs 引起的癌症风险值远低于正常风险水平 10^{-6} .

5 结论

(1)沱江、藕池河下游和松澧洪道表层水样中在不同水期的 $\sum$ PCBs 检出浓度分别为 1.96 ~ 2.59 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 、1.84 ~ 2.54 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 1.52 ~ 2.38 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,3 条河流各采样点表层水中 $\sum$ PCBs 在不同水期不存在显著性差异,处于同一污染水平.

(2) 水期变化对各采样点水体中污染物浓度影响较小; 低氯代的 PCBs 是主要的污染物; 与国内外的河流表层水中报道的 PCBs 浓度相比该研究区域 PCBs 污染处于较低水平。

(3) 癌症风险的评估结果表明因饮水而摄入 PCBs 引起的潜在癌症风险较低。

参考文献:

- [1] WHO. Polychlorinated biphenyls and terphenyls. Environmental Health Criteria, 140 [M]. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1993, **48-52**: 444-479.
- [2] 赵高峰, 周怀东, 付玉芹, 等. 白洋淀表层沉积物中的多卤代芳烃及其潜在风险[J]. 中国工程科学, 2010, **12**(6): 41-47.
- [3] 宋云横, 姜获, 丁超, 等. 多氯联苯封存点土壤污染情况的调查监测[J]. 中国环境监测, 2005, **21**(4): 52, 89.
- [4] 张雪莲, 骆永明, 滕应, 等. 长江三角洲某电子垃圾拆解区土壤中多氯联苯的残留特征[J]. 土壤, 2009, **41**(4): 588-593.
- [5] 邵春岩. 中国多氯联苯 (PCBs) 管理现状及污染防治对策 [A]. 见: 持久性有机污染物控制研讨会论文集 [C]. 北京: 国家环境保护总局, 2001.
- [6] Van den Berg M, Birnbaum L, Bosveld A T, *et al.* Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife [J]. Environmental Health Perspectives, 1998, **106**(12): 775-792.
- [7] US. The risk assessment information system [EB/OL]. Tennessee: The Department of Energy's (DOE's) Oak Ridge Operations Office (ORO), 2009 [2009-11-20]. http://rais.ornl.gov/cgi-bin/tox/TOX_select.
- [8] US EPA (United States Environmental Protection Agency). PCBs: Cancer dose-response assessment and application to environmental mixtures [S]. National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development EPA/600/P-96/001F, 1996.
- [9] 毕新慧, 徐晓白. 多氯联苯的环境行为 [J]. 化学进展, 2000, **12**(2): 152-160.
- [10] Zhang S Y, Zhang Q, Darisaw S, *et al.* Simultaneous quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs), and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in Mississippi river water, in New Orleans, Louisiana, USA [J]. Chemosphere, 2007, **66**(6): 1057-1069.
- [11] Josefsson S, Karlsson O M, Malmaeus J M, *et al.* Structure-related distribution of PCDD/Fs, PCBs and HCB in a river-sea system [J]. Chemosphere, 2011, **83**(2): 85-94.
- [12] Moret I, Gambaro A, Piazza R, *et al.* Determination of polychlorobiphenyl congeners (PCBs) in the surface water of the Venice lagoon [J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, **50**(2): 167-174.
- [13] Howell N L, Suarez M P, Rifai H S, *et al.* Concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in water, sediment, and aquatic biota in the Houston Ship Channel, Texas [J]. Chemosphere, 2008, **70**(4): 593-606.
- [14] 罗慧, 王新红, 汤丽, 等. 中国部分沿海海域水体中溶解态有机氯农药和多氯联苯的残留分布特征 [J]. 海洋环境科学, 2010, **29**(1): 115-120.
- [15] 曹磊, 韩彬, 郑立, 等. 桑沟湾水体中有机氯农药和多氯联苯的浓度水平及分布特征 [J]. 海洋科学, 2011, **35**(4): 44-50.
- [16] 王泰, 张祖麟, 黄俊, 等. 海河与渤海湾水体中溶解态多氯联苯和有机氯农药污染状况调查 [J]. 环境科学, 2007, **28**(4): 730-735.
- [17] Zhang Z L, Huang J, Yu G, *et al.* Occurrence of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the Tonghui River of Beijing, China [J]. Environmental Pollution, 2004, **130**(2): 249-261.

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-jiang, 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

国内外公开发行人