

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

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

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究	吴起鑫, 韩贵琳 (2145)
成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建	岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)
太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析	饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)
环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征	徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)
南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布	张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)
青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征	刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)
城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性	邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)
基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算	陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)
浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究	高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)
福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析	李雪丁 (2210)
HSPF 水文水质模型应用研究综述	李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)
城市降雨径流模拟的参数不确定性分析	黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)
利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度	姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)
嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定	谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)
重庆市盘溪河水质不同季节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, 张烨 (2251)
南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究	郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)
宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究	邱小琮, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)
影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析	丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)
大型底栖动物生物评价指数比较与应用	耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)
青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征	王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郭伟 (2288)
青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征	郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)
用物理-生态集成技术局部控制富营养化	李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)
太湖氮素出入湖通量与自净能力研究	陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)
富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应	袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)
巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究	温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)
南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究	方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)
东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究	林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)
嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征	蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)
电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源	王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)
基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究	李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)
渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响	秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)
崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价	李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)
白洋淀底泥重金属形态及竖向分布	李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)
西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究	刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)
氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制	刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)
Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性	张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)
声电氧化处理扑热息痛的研究	戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)
粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究	白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)
利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究	张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)
Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究	王小蓉, 吴平霄 (2432)
核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究	武国正, 徐宗学 (2438)
A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究	翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)
系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究	蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)
氧化还原介体催化强化 <i>Paracoccus versutus</i> 菌株 GW1 反硝化特性研究	李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)
1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析	刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)
蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化	秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)
双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及品种筛选研究	傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛 (2475)
闽江河口短叶茳苳湿地 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对氮输入的短期响应	牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)
青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征	彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)
不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律	吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)
土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响	吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)
多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应	潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)
不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究	梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)
废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究	伊元荣, 韩敏芳 (2522)
中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析	卢愿清, 史军 (2528)
《环境科学》征稿简则 (2431)	
《环境科学》征订启事 (2532)	
信息 (2157, 2271, 2367, 2418)	

嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征

蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜娴

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 为了确定嘉陵江重庆段表层水体中多环芳烃(PAHs)的组成、来源及污染特征, 于 2009 年 8 月采集了 8 个表层水样, 利用 GC-MS 仪器测定了 16 种优先控制 PAHs 的浓度. 结果表明, 水体中 16 种优先控制 PAHs 浓度范围为 467.13 ~ 987.97 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均浓度值为 702.91 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, 水体 PAHs 浓度和溶解性有机碳(DOC)含量呈现明显的线性正相关. PAHs 的组成以 2 ~ 3 环 PAHs 为主, 占水体 $\sum$ PAHs 总量的 68.90%. 寸滩区域水体 PAHs 主要来源于木材和煤的燃烧污染, 朝天门区域水体 PAHs 主要来源于石油源, 嘉陵江重庆段其他区域水体 PAHs 主要来源于液体石化燃料的燃烧. 虽然嘉陵江重庆段整体污染水平较低, 但是 5 个取样点的地表水苯并(a)芘(BaP)含量超过国家地表水质量标准.

关键词: 多环芳烃; 嘉陵江重庆段; 来源解析; 苯并(a)芘; 溶解性有机碳; 表层水

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2341-06

Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing

CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, DU Xian

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment, Ministry of Education, Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: To understand the composition, sources and contamination characteristics of PAHs in surface water from Jialing River in Chongqing, water samples were collected from 8 different sections in August 2009 and the concentrations of the 16 priority PAHs were determined using GC-MS. The results indicated that the concentration of $\sum$ PAHs (the total PAHs) in the water body ranged from 467.13 to 987.97 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, with an average concentration of 702.91 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$. PAHs concentrations in surface waters were positively correlated with the dissolved organic carbon content. The predominant PAHs in the water body were 2-3 ring PAHs, accounting for 68.90% of $\sum$ PAHs. The ratios of specific PAHs revealed that the main PAHs source in Cuntan was the combustion of wood and coal, the origin of PAHs in Caotianmen was mostly petrogenic; whereas the main PAHs source in other sampling sections of Jialing River in Chongqing was petroleum combustion. Compared with other areas in China, the PAHs contamination in Jialing River around Chongqing was at a relatively low level, however, the concentrations of BaP in the surface water of 5 sampling sites exceeded the environmental quality standards for surface water in China.

Key words: PAHs; Jialing River in Chongqing; source identification; BaP; DOC; surface water

多环芳烃(PAHs)是一类有毒、有害、难降解的持久性有机污染物,它广泛分布于水体、土壤、大气中,由于部分 PAHs 可在生物体内累积,对生物有致癌、和致基因突变作用,美国环境保护署将 16 种 PAHs 确定为优先控制的持久性有机污染物^[1]. 它们主要通过煤、石油、木材等含碳有机物的不完全燃烧和人类的生产活动进入环境中^[2],除此之外,森林火灾、火山活动、植物和微生物的内源性合成等自然过程也对环境中的多环芳烃具有一定贡献^[3]. 国内关于 PAHs 在各大流域水体的分布、组成和来源方面做了大量的研究工作^[3~11],各流域水体不同程度地受到了 PAHs 的污染,而对嘉陵江重庆段水体多环芳烃污染情况的报道却很少.

三峡工程是当今世界上已建成的最大水利枢纽

工程,三峡库区水质对库区周围居民的生活具有举足轻重的作用. 嘉陵江重庆段位于三峡水库的上游,水体汇入三峡水库,所以嘉陵江重庆段的水质情况将对库区的水环境产生深远的影响. 本研究于 2009 年 8 月针对 16 种优先控制 PAHs 在嘉陵江重庆段表层水体的组成、分布及来源解析进行初步分析.

1 材料与方法

1.1 样品的采集

于 2009 年 8 月在嘉陵江重庆段设置 8 个取样

收稿日期: 2011-09-27; 修订日期: 2012-02-10

基金项目: 科技部国际科技合作项目(2007DFA90660); 国家自然科学基金项目(41101457); 重庆市科技攻关计划项目(CSTC, 2006AA7003-1)

作者简介: 蔡文良(1980~),男,博士研究生,主要研究方向为水环境有机污染物控制, E-mail: caiwenliang2008@126.com

点(图1),用分层采水器在河流各取样点采集表层(0.5 m)水样5 000 mL,置于预先用铬酸洗液及2次蒸馏水洗净的棕色玻璃瓶中,立即冰袋保护运回实验室在冰箱中于4℃以下保存,并且在24 h内完成样品处理。

1.2 试验仪器

Supelco 12 管固相萃取装置; Supelco 3 mL C_{18} 固相萃取小柱; Germany Elementar TOC 测定仪; 上海亚荣旋转蒸发仪厂 RE-5210 旋转蒸发仪; HP5016 氮吹仪; 岛津 GC-MS-QP1010 Plus 气相色谱-质谱联用仪; 1 000 mL 抽滤瓶; 天津华鑫仪器厂循环真空泵; Pall Cascada-LS 超纯水制备仪(美国 Pall 公司)。

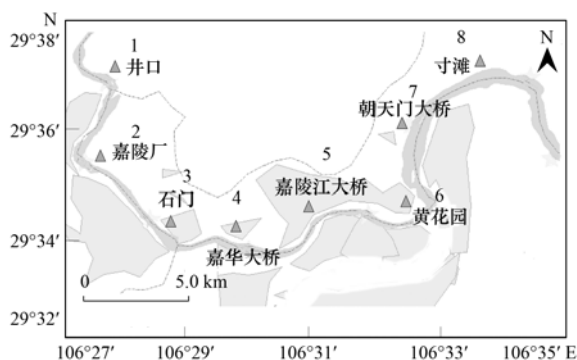


图1 嘉陵江重庆段取样点

Fig. 1 Sampling sites in Jialing River

1.3 样品的预处理

水样运回实验室后先用孔径为 $0.45\ \mu\text{m}$ 的 GF/F whatman 玻璃纤维滤膜(马弗炉中于 450°C 烘 4 h 至恒重)进行过滤,以去除悬浮颗粒及泥沙的影响.参考 HJ 478-2009(水质-多环芳烃的测定液液萃取和固相萃取高效液相色谱法)^[12]在 2 000 mL 水样中加入 5 mL $\varphi = 10\%$ 异丙醇,及 PAHs 回收率指示物萘- D_8 (Nap- D_8)、苊- D_{10} (Ace- D_{10})、菲- D_{10} (Phe- D_{10})、䓛- D_{12} (Chr- D_{12})、芘- D_{12} (Per- D_{12}) 充分混合后,通过 C_{18} 固相萃取小柱(活化后)进行萃取,收集洗脱液,用旋转蒸发仪浓缩定容至 2 mL. 对收集的洗脱液用硅胶-氧化铝层析柱进行净化,再收集洗脱液用旋转蒸发仪及氮吹仪浓缩至近干,加入内标指示物六甲基苯 5 μL ,用二氯甲烷定容到 0.5 mL 以备分析.取部分经 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜过滤后的水样,用 TOC 测定仪(Germany Elementar)测定溶解性有机碳。

1.4 样品的分析

利用岛津 GCMS-QP2010 Plus 气相色谱-质谱联

用仪对 16 种多环芳烃:萘(Nap)、苊烯(Acy)、苊(Ace)、芴(Fl)、菲(Phe)、蒽(Ant)、荧蒽(Flu)、芘(Pyr)、苯并[a]蒽(BaA)、䓛(Chr)、苯并[b]荧蒽(BbF)、苯并[k]荧蒽(BkF)、苯并[a]芘(BaP)、茚并[1,2,3-cd]芘(IcdP)、二苯并[a,h]蒽(DahA)和苯并[ghi]芘(BghiP)用内标法进行测定.色谱条件:DB-5 石英毛细管柱; $30\ \text{m} \times 0.25\ \text{mm} \times 0.25\ \mu\text{m}$;载气为氦气,流量为 $1\ \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$;进样口温度为 250°C ;进样模式采用分流式,分流比为 20:1;柱箱升温程序:起始温度 50°C ,保持 3 min,以 $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温到 280°C ,保持 15 min,总程序约 41 min.质谱操作条件:EI 离子源模式,电子轰击能量为 70 eV,离子源温度为 280°C ,接口温度为 280°C 。

1.5 质量控制

整个试验分析过程质量控制和质量保证(QA/QC)按照美国环保署(USEPA)的 EPA 方法 525^[13]及文献[14]进行.空白加标中,16 种 PAHs 的回收率除了 Nap 较低为 45.72% 外,其他 15 种 PAHs 的回收率 74.52% ~ 106.73%;16 种 PAHs 基质加标回收率($n = 5$)为 64.63% ~ 97.48%;氘代回收率指示物的回收率分别为: Nap- D_8 35.43% ~ 57.31%, Ace- D_{10} 87.03% ~ 89.15%, Phe- D_{10} 79.26% ~ 102.33%, Chr- D_{12} 83.07% ~ 95.22%, Per- D_{12} 92.42% ~ 97.36%,16 种 PAHs 的回收率除了 Nap 较低为 55.83% 外,其他 15 种 PAHs 的回收率为 73.72% ~ 109.34%;样品平行样测定相对标准偏差均小于 10%,所有结果最后经方法空白扣除并进行回收率校正。

2 结果与分析

2.1 嘉陵江重庆段 PAHs 污染特征

嘉陵江重庆段 16 种 PAHs 污染浓度的分析结果如表 1 所示,8 个取样点 16 种 PAHs 除 BaP 的检出率为 75% 外,其他 15 种 PAHs 均全部检出,水体中 PAHs 的检出率较高.8 个取样点 $\sum$ PAHs 总浓度的范围为 $467.13 \sim 987.97\ \text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值为 $702.91\ \text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$,PAHs 浓度大小在空间上分布依次为嘉陵厂 > 黄花园 > 朝天门大桥 > 井口 > 石门 > 嘉陵江大桥 > 嘉华大桥 > 寸滩.我国地表水环境标准(GB 3838-2002)^[15]规定只对 BaP 的浓度作了限制,规定为 $2.80\ \text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$,嘉陵江重庆段 8 个取样点中除了嘉华大桥、嘉陵江大桥和寸滩外其他 5 个取样点的 BaP 浓度均超过了我国地表水的环境

标准,其中嘉陵厂处的 BaP 浓度最高为 5.49 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$.美国环保署的国家水质标准 (National Recommended Water Quality Criteria)^[16]对 13 种 PAHs 含量做出了规定(表 1),嘉陵江重庆段 8 个取样点中除了寸滩点的 DahA 浓度(2.56 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)、嘉华大桥点的 IcdP 浓度(3.73 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)和石门及嘉陵江大桥点的 BghiP 浓度(3.22 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 、1.89 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)外,其他取样点的 BaA、Chr、BbF、BkF、DahA、IcdP、BghiP 浓度均超过美国 EPA 地表水标准限值.

表 1 嘉陵江重庆段水体 PAHs 污染浓度

Table 1 PAHs concentrations in water samples from Jialing River					
PAHs	浓度范围 / $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	平均浓度 / $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	检出率 /%	地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	美国 EPA 标准 / $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$
NaP	44.85 ~ 132.30	81.33	100		
Acy	12.43 ~ 90.68	43.85	100		
Ace	9.46 ~ 68.96	44.35	100		670
Fl	35.56 ~ 232.65	88.23	100		1 100 000
Phe	36.55 ~ 176.98	99.81	100		
Ant	27.75 ~ 135.45	56.95	100		8 300 000
Flu	32.28 ~ 138.08	74.85	100		130 000
Pyr	37.69 ~ 153.45	87.92	100		830 000
BaA	6.53 ~ 35.50	20.79	100		3.8
Chr	9.86 ~ 56.50	27.96	100		3.8
BaP	0 ~ 5.49	2.59	75	2.8	3.8
BbF	10.36 ~ 72.13	24.45	100		3.8
BkF	6.50 ~ 23.93	15.01	100		3.8
DahA	2.56 ~ 26.19	9.92	100		3.8
IcdP	3.73 ~ 31.75	17.72	100		3.8
BghiP	1.89 ~ 18.24	7.16	100		
$\sum$ PAHs	467.13 ~ 987.97	702.91			

2.2 嘉陵江重庆段表层水体 PAHs 环数组成

嘉陵江重庆段各取样点 PAHs 的组成比较一致(图 2). PAHs 的组成以低环(2~3 环)PAHs 为主,占水体 $\sum$ PAHs 总量的 68.92%,其次是中环(4 环)PAHs,占水体 $\sum$ PAHs 总量的 26.05%,高环(5~6 环)PAHs 的含量最小,占水体 $\sum$ PAHs 总量的 5.24%. 水体中的中低环 PAHs 含量相对于高环 PAHs 要高,这一方面是由于 PAHs 本身的辛醇-水分配系数决定的,高分子量的 PAHs 更易向颗粒物、沉积物中分配,另一方面可能与污染源有关,有研究表明 4 环及其以上的 PAHs 主要来源于化石燃料高温燃烧与裂解^[17,18],而低分子质量(2~3 环)的 PAHs 则来源于石油类产品和化石燃料的不完全燃烧或天然成岩过程,嘉陵江重庆段各取样点的低分子质量 PAHs 占 $\sum$ PAHs 总量的 68.92%,表明 PAHs 的主要污染来源为石油类产品和化石燃料的不完全燃烧或天然成岩过程.

2.3 嘉陵江重庆段表层水体 PAHs 来源解析

人类活动所产生的 PAHs 主要来源于化石燃料、垃圾、各种生物质的不完全燃烧,以及石油类物质的泄漏,化合物比值法是判断环境中 PAHs 来源

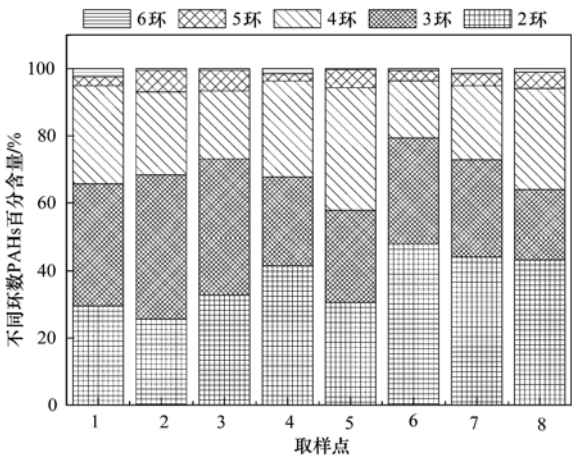


图 2 不同环数 PAHs 百分含量

Fig. 2 Proportions of PAHs with different ring numbers

的常用方法之一,有研究发现可以用 $(\text{Ant})/(\text{Ant} + \text{Phen})$ 、 $(\text{Flu})/(\text{Flu} + \text{Pyr})$ 、 $(\text{BaA})/(\text{BaA} + \text{Chr})$ 3 个比值来推断 PAHs 来源^[19~22]. $(\text{Ant})/(\text{Ant} + \text{Phen})$ 比值 <0.10 ,意味着 PAHs 主要是来自于石油类物质的泄漏, >0.10 ,则主要为燃烧源; $(\text{Flu})/(\text{Flu} + \text{Pyr})$ 比值 <0.40 ,意味着以石油类物质泄漏污染为主, >0.50 则是木材和煤的燃烧污染,而介于 0.40~0.50 之间则表现为化石燃料的燃烧; $(\text{BaA})/(\text{BaA} + \text{Chr})$ 比值 <0.20 表明污染来自于石油类物

质的泄漏, 0.20 ~ 0.30 之间则意味着存在石油泄漏和燃烧的混合作用, >0.30 则燃烧占主要优势。

对嘉陵江重庆段表层水体 PAHs 的上述 3 种比值进行分析, 结果如图 3 所示, 嘉陵江重庆段表层水体 (Ant)/(Ant + Phen) 比值均大于 0.20, (Flu)/(Flu + Pyr) 比值除了 1 点 (朝天门) 和 6 点 (寸滩) 外其他点均在 0.40 ~ 0.50 之间, (BaA)/(BaA + Chr) 比值均大于 0.30。这说明嘉陵江重庆段表层水

体中的 PAHs 主要来源于液体石化燃料的燃烧。位于朝天门的取样点 1 的 (Flu)/(Flu + Pyr) 比值为 0.37, 表明该取样点 PAHs 呈现出石油源的特征, 这可能是由于朝天门位于两江交汇处, 附近有大量船只活动, 可能会有一定的石油泄漏; 位于寸滩的取样点 6 的 (Flu)/(Flu + Pyr) 比值为 0.56, 表明该取样点 PAHs 主要来源于木材和煤的燃烧, 可能与居民生活有关。

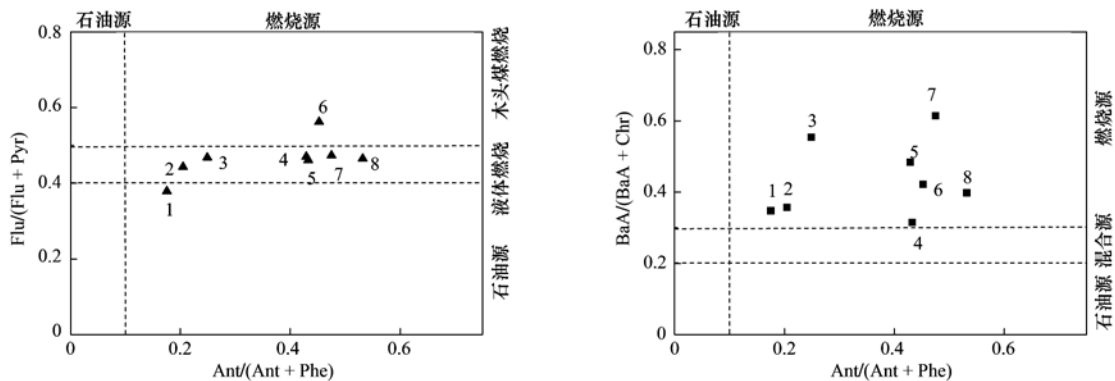


图 3 PAHs 特征异构体比值

Fig. 3 Isomer ratio plots of PAHs

2.4 PAHs 污染与国内其他河流的比较

为了了解嘉陵江重庆段水体多环芳烃的污染情况, 将其与国内其它河流 PAHs 污染水平进行比较。图 4 列出了国内一些河流 PAHs 的污染状况。从中可知, 嘉陵江重庆段水体 $\sum$ PAHs ($467.13 \sim 987.97 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$) 污染情况和北京玉渊潭^[23] ($475.3 \sim 954.7 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$) 污染程度相当, 低于黄河兰州段^[24] ($3395 \sim 9782 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$)、大辽河^[7] ($1366 \sim 5571 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$)、及松花江^[25] ($2154 \sim 6957 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$)、珠江广州段^[26] ($952.5 \sim 1685.4 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$)、河北地表水^[27] ($662 \sim 2238 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$)、长江武汉段^[6] ($370 \sim 2095 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$) 的 PAHs 污染程度; 但是高于滦河流域^[28] ($75 \sim 310 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$)、珠江虎门^[29] ($212 \sim 300 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$) 的 PAHs 污染程度。相对于上述国内地表水体, 嘉陵江重庆段水体 PAHs 污染程度虽然不是很高, 但是许多取样点的 PAHs 浓度值已经超过了 EPA 地表水标准限值, 因此嘉陵江重庆段水体 PAHs 污染处于较高的水平。

2.5 PAHs 与 DOC 的相关性

有研究表明, 水体 DOC 中的腐殖质可以与芳香环发生作用, 对 PAHs 在水体中的分布具有重要的影响, 因而 DOC 含量是影响 PAHs 含量变化的主要原因之一^[30], 也有研究表明水体中萘、苊、芘和菲的

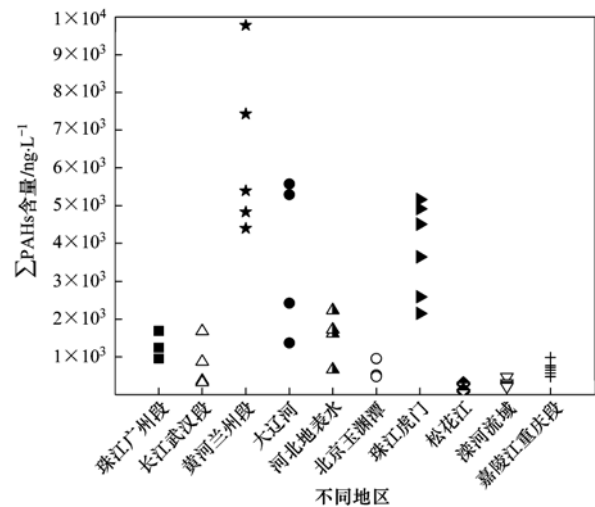


图 4 本研究与中国其他水体 PAHs 污染情况对比

Fig. 4 Comparison of PAHs concentrations in this study with those in the surface water from other areas in China

浓度在一定程度上同水体 DOC 含量呈线性正相关^[31]。本研究运用 SPSS 统计软件, 对嘉陵江重庆段水体中 PAHs 含量和 DOC 含量进行了相关性分析, 可知水体中 DOC 含量与 $\sum$ PAHs 含量呈现明显的线性正相关 ($r=0.78, P<0.005$) 如图 5 所示; 水体中的 DOC 含量同低环、中环及高环 PAHs 含量也呈现明显的相关性, 相关系数分别为 0.72、0.87 和

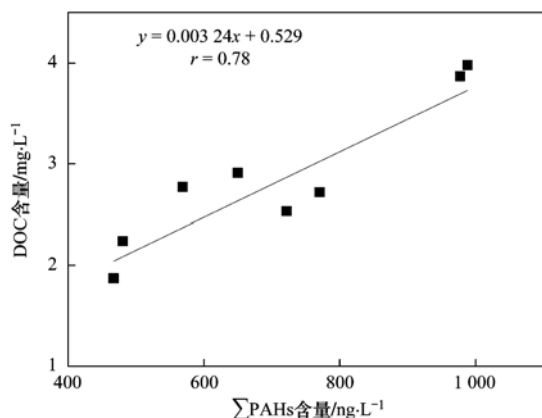


图5 PAHs与DOC线性关系

Fig. 5 Linear relationship between the PAHs concentrations and DOC contents

0.79. DOC含量与PAHs含量具有显著的相关性,这可能是由于随着DOC含量的增加,水体中较高含量的有机物可以增加PAHs在水中的溶解,从而有利于PAHs在颗粒物、沉积物、水相三相平衡时向水相转移,也表明嘉陵江重庆段水体中的PAHs可能来源于相似的污染源或者来源并经过充分混合。

3 结论

(1)嘉陵江重庆段表层水体中 $\sum$ PAHs总浓度的范围为467.13~987.97 ng·L⁻¹,平均值为702.91 ng·L⁻¹,5个取样点的BaP浓度均超过了我国地表水的环境标准水平,8个取样点中除了寸滩点的DahA浓度(2.56 ng·L⁻¹)、嘉华大桥点的IcdP浓度(3.73 ng·L⁻¹)和石门及嘉陵江大桥点的BgHiP浓度(3.22 ng·L⁻¹、1.89 ng·L⁻¹)外,其他取样点的BaA、Chr、BbF、BkF、DahA、IcdP、BgHiP浓度均超过美国EPA地表水标准限值。

(2)嘉陵江重庆段表层水体PAHs的组成,低环(2~3环)PAHs占水体 $\sum$ PAHs总量的68.92%,中环(4环)PAHs占水体 $\sum$ PAHs总量的26.05%,高环(5~6环)PAHs的含量占水体 $\sum$ PAHs总量的5.24%。

(3)寸滩区域水体PAHs主要来源于木材和煤的燃烧污染,朝天门区域水体PAHs主要来源于石油源,嘉陵江重庆段其他区域水体PAHs主要来源于液体石化燃料的燃烧。

(4)嘉陵江重庆段表层水体PAHs含量和DOC含量呈现明显的线性正相关($r=0.78$)。

参考文献:

[1] Jiang Y F, Wang X T, Wang F, *et al.* Levels, composition

profiles and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soil of Shanghai, China [J]. *Chemosphere*, 2009, **75** (8): 1112-1118.

[2] Douben P E T. Introduction [A]. In: PAHs: an ecotoxicological perspective [M]. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 2003. 1-6.

[3] 郎印海,贾永刚,刘宗峰,等.黄河口水中多环芳烃(PAHs)的季节分布特征及来源分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2008,**38**(4):640-646.

[4] 罗孝俊,陈社军,余梅,等.多环芳烃在珠江口表层水体中的分布与分配[J].环境科学,2008,**29**(9):2385-2391.

[5] 杨清书,雷亚平,欧素英,等.珠江广州河段水环境中多环芳烃的组成及其垂直分布特征[J].海洋通报,2008,**27**(6):34-43.

[6] 冯承莲,夏星辉,周追,等.长江武汉段水体中多环芳烃的分布及来源分析[J].环境科学学报,2007,**27**(11):1900-1908.

[7] 郭伟,何孟常,杨志峰,等.大辽河水系表层水中多环芳烃的污染特征[J].应用生态学报,2007,**18**(7):1534-1538.

[8] Guo J Y, Liang Z, Liao H Q, *et al.* Sedimentary record of polycyclic aromatic hydrocarbons in Lake Erhai, Southwest China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2011, **23** (8): 1308-1315.

[9] Liu Y, Chen L, Huang Q H, *et al.* Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Huangpu River, Shanghai, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2009, **407** (8): 2931-2938.

[10] Sun J H, Wang G L, Chai Y, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Henan Reach of the Yellow River, Middle China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2009, **72** (5): 1614-1624.

[11] Yan W, Chi J S, Wang Z Y, *et al.* Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Daya Bay, South China [J]. *Environmental Pollution*, 2009, **157** (6): 1823-1830.

[12] HJ 478-2009,水质-多环芳烃的测定液液萃取和固相萃取高效液相色谱法[S].

[13] U S Environmental Protection Agency Method 525.2 Revision 2.0 (1995), Determination of organic compounds in drinking water by liquid-solid extraction and capillary column gas chromatography/mass spectrometry[S].

[14] 林峥,麦碧娴,张干,等.沉积物中多环芳烃和有机氯农药定量分析的质量保证和质量控制[J].环境化学,1999,**18**(2):115-121.

[15] GB 3838-2002,地表水环境质量标准[S].

[16] U S Environmental Protection Agency National Recommended Water Quality Criteria, 2009[S].

[17] Mai B X, Fu J M, Sheng G Y, *et al.* Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuarine sediments from Pearl River Delta, China [J]. *Environmental Pollution*, 2002, **117** (3): 457-474.

[18] Zeng Y E, Vista C L. Organic pollutants in the coastal environment off San Diego, California. I. Source Identification

- and Assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1997, **16**(2): 179-188.
- [19] Yunker M B, Macdonald R W, Vingarzan R, *et al.* PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition [J]. *Organic Geochemistry*, 2002, **33**(4): 489-515.
- [20] Deng H, Peng P, Huang W, *et al.* Distribution and loadings of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Xijiang River in Guangdong, South China [J]. *Chemosphere*, 2006, **64**(8): 1401-1411.
- [21] Men B, He M C, Tan L, *et al.* Distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Daliao River Estuary of Liaodong Bay, Bohai Sea (China) [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, **58**(6): 818-826.
- [22] Luo X J, Chen S J, Mai B X, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in suspended particulate matter and sediments from the Pearl River Estuary and adjacent coastal areas, China [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **139**(1): 9-20.
- [23] 童宝锋, 刘玲花, 刘晓茹, 等. 北京玉渊潭水相、悬浮物和沉积物中的多环芳烃[J]. *中国环境科学*, 2007, **27**(4): 450-455.
- [24] 杨玉霞, 徐晓琳. 黄河兰州段水环境中多环芳烃来源解析[J]. *地下水*, 2007, **29**(1): 20-23.
- [25] 孙清芳, 冯玉杰, 高鹏, 等. 松花江水中多环芳烃 (PAHs) 的环境风险评价[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2010, **42**(4): 568-572.
- [26] 吴兴让, 尹平河, 赵玲, 等. 珠江广州段水体微表层与次表层中多环芳烃的分布与组成[J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(4): 868-873.
- [27] 摆亚军, 刘文新, 陶澍, 等. 河北省地表水中多环芳烃的分布特征[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(8): 1364-1369.
- [28] 曹治国, 刘静玲, 栾芸, 等. 滦河流域多环芳烃的污染特征、风险评价与来源辨析[J]. *环境科学学报*, 2010, **30**(2): 246-253.
- [29] 杨清书, 欧素英, 谢萍, 等. 珠江虎门潮汐水道水体中多环芳烃的分布及季节变化[J]. *海洋学报*, 2004, **26**(6): 37-48.
- [30] Chiou C T, Malcolm R L, Brinton T I, *et al.* Water solubility enhancement of some organic pollutants and pesticides by dissolved humic and fulvic acids[J]. *Environmental Science & Technology*, 1986, **20**(5): 502-508.
- [31] 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

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jianshan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《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7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 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