

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 CO₂ 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_{2.5} 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, 李雯奎 (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 Ta₂O₅ 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)

O₃/H₂O₂ 降解水中扑灭通效能研究 李绍峰, 孙楚 (1260)

Pr-N 共掺杂 TiO₂ 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 A²/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:¹⁴C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)

油田污染土壤残留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)

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

(广东海洋大学海洋资源与环境监测中心, 湛江 524088)

摘要: 雷州近海、流沙湾和深圳湾分别代表近海开阔海域和海湾, 探讨它们在 PAHs 浓度水平、成份组成、空间分布和来源方面的特征差异. 研究表明, 15 种 PAHs 单体在雷州近海、流沙湾和深圳湾的检出率均达 100%, 组份构成以 3 环和 4 环为主, 其中 Phe、Fla、Pry 和 Bbf 是主要成份; 由于水体交换等因素影响, 海湾 PAHs 浓度水平明显高于近海, \sum PAHs 的浓度变化趋势为流沙湾 > 深圳湾 > 雷州近海. 雷州近海 \sum PAHs 空间分布特征表现为东部 < 南部 < 西部, 3 环百分含量依次减少, 4 ~ 6 环相反; 与氮、磷等水质指标研究相同, 深圳湾和流沙湾 \sum PAHs 浓度水平养殖区 > 非养殖区, 湾内 > 湾外, 其中养殖区站点以 4 环为主, 非养殖区以 3 环为主. PAHs 特征比值显示石化燃烧和生物燃烧, 以及石油源等是雷州近海、流沙湾和深圳湾 PAHs 的主要来源.

关键词: 近海; 海湾; 沉积物; 多环芳烃

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1198-06

Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay

ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng

(Monitoring Center for Marine Resources and Environments, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: Leizhou coastal marine area, Liusha Bay and Shenzhen Bay represented open coastal area and half-closed bay, respectively. This study discussed the differences of PAHs concentration levels, spatial distribution and sources in sediments from these three marine areas. The results showed that detected ratios of 15 PAHs were 100%, and major compounds were 3-ring and 4-ring PAHs, especially Phe, Fla, Pry and Bbf; \sum PAHs concentration was Leizhou < Shenzhen < Liusha. In spatial distribution, PAHs concentrations were the east < the south < the west in Leizhou; the inside > the outside, and the aquaculture > the non-aquaculture in Liusha Bay and Shenzhen Bay. It suggested that large-scale mariculture inside bay played an important role in PAHs pollution and might make it serious. Oil, fossil fuels and biomass burning were the dominant sources of PAHs in sediments from Leizhou coastal area, Liusha Bay and Shenzhen Bay.

Key words: coastal marine area; bay; sediment; PAHs

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 作为一类持久性有机污染物具有较强的致癌、致畸和致突变性^[1,2]. 海洋沉积物一直以来都是 PAHs 研究的重点区域之一, 特别是近海和海湾环境质量由于与人类活动密切相关而倍受关注. 由于不同海域水文、污染源、使用功能等不同, 海洋沉积物 PAHs 的污染也显现出不同的特征^[3~6]. 本研究以雷州近海代表近海开阔海域、流沙湾和深圳湾代表半封闭海湾, 探讨近海和海湾沉积物 PAHs 污染特征的差异, 弥补了雷州半岛海域 PAHs 研究的不足.

1 材料与方法

1.1 采样点

雷州半岛地处中国大陆南部边陲, 港湾众多, 功能多样, 有保护区、养殖区、港口等. 流沙湾位于雷州

半岛西南部, 是一个口小腹大呈葫芦形的半封闭型港湾, 以养殖为主, 配有码头、航道等基础设施. 深圳湾为珠江口伶仃洋东侧中部的一个内宽外窄的半封闭型浅水海湾, 介于深圳经济特区和香港特别行政区之间, 深圳湾口生态系统是华南地区具有国际意义的最重要的湿地生态系统之一.

雷州近海采样点依半岛地势共设 15 个站点 (L01 ~ L15), 东部以港口、码头为主, 南部主要为农业, 西部以养殖经济为主. 流沙湾 8 个站点 (S01 ~ S08), 其中 S01、S05 和 S07 位于养殖区内, S03 位于养殖区旁, S06 和 S08 位于航道, S01 ~ S04 位于湾外, S05 ~ S06 位于湾内 (图 1). 深圳湾共 6 个站点

收稿日期: 2011-06-23; 修订日期: 2011-09-09

基金项目: 海洋公益性行业科研专项 (200905005-05); 广东省海洋渔业科技推广专项 (A200899J01)

作者简介: 赵利容 (1977 ~), 女, 博士, 主要研究方向为研究方向海洋有机污染, E-mail: zlrsm@sina.com

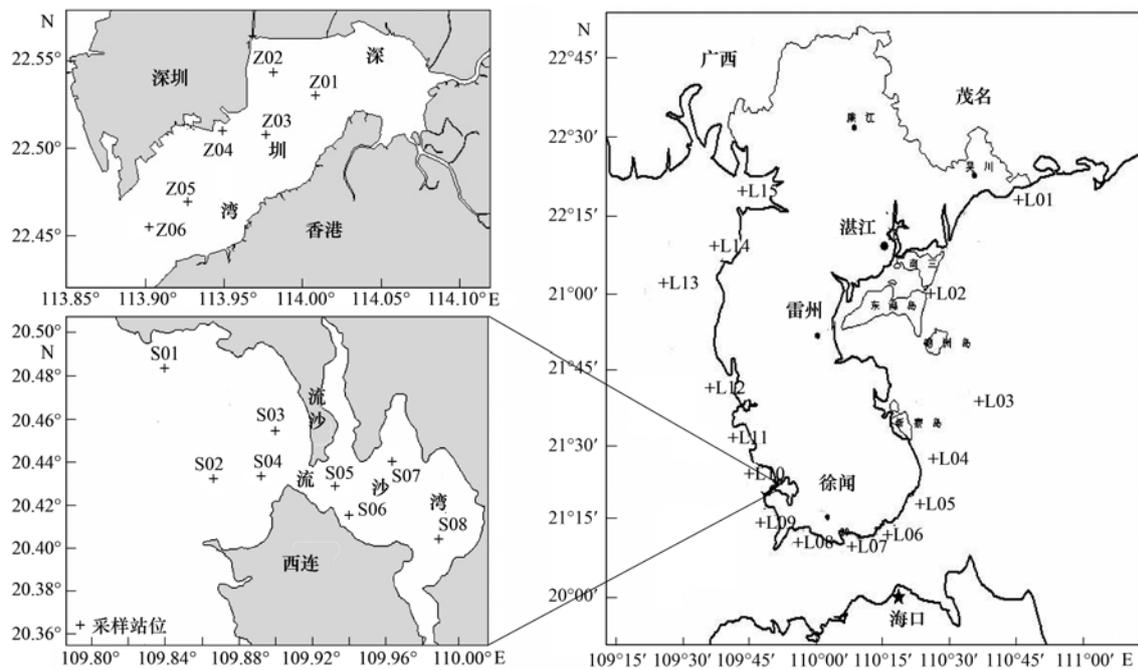


图 1 采样点示意

Fig. 1 Map of sampling

(Z01 ~ Z06), 其中 Z01 和 Z03 位于养殖区内, Z02 某排污口附近, Z04 位于蛇口工业区附近. 2010 年在雷州半岛, 2008 年在流沙湾和深圳湾每个站点分别采集一个表层沉积物样品, 运回实验室冷冻干燥后保存于干燥器中.

1.2 试剂

实验所用溶剂为分析纯, 二次蒸馏用; 硅胶 (80 ~ 100 目)、氧化铝 (100 ~ 200 目) 层析用, 经甲醇、二氯甲烷依次抽提后自然干, 分别在 130°C 和 200°C 下活化 12 h, 冷却后加入 5% 的去离子水去活, 平衡 12 h 后于正己烷中保存; 无水硫酸钠经甲纯和二氯甲烷超声后于 450°C 灼烧 6 h, 冷却后存于干燥器中备用. 标准样品和回收率指示剂均购自 SUPELCO 公司, PAHs 标样包括萘 (Acy, 3 环)、萘 (Ace, 3 环)、芴 (Fle, 3 环)、菲 (Phe, 3 环)、蒽 (Ant, 3 环)、荧蒽 (Fla, 4 环)、芘 (Pry, 4 环)、䓛 (Chr, 4 环)、苯并[a]蒽 (Baa, 4 环)、苯并[b]荧蒽 (Bbf, 5 环)、苯并[k]荧蒽 (Bkf, 5 环)、苯并[a]芘 (Bap, 5 环)、茚并[1,2,3]芘 (Iip, 6 环)、二苯并[a,h]蒽 (Daa, 5 环) 和苯并[g,h,i]芘 (Bpe, 6 环); PAHs 回收率指示物为 5 种混合标样, 包括萘-d₈、萘-d₁₀、菲-d₁₀、䓛-d₁₂ 和芘-d₁₂.

1.3 样品提取和净化

称取约 15 g (精确到 0.01 g) 样品于滤纸筒, 加

入回收率指示剂后放入索氏提取器中. 在平底烧瓶中依次加入 150 mL 二氯甲烷, 20 ~ 30 片铜片 (0.5 cm²), 在水浴锅上提取 48 h. 提取液浓缩至约 2 mL 后, 加入正己烷置换溶剂, 浓缩至 1 ~ 2 mL. 净化柱为硅胶/氧化铝层析柱, 层析柱内依次湿法装入硅胶 12 cm、氧化铝 6 cm、无水硫酸钠 1 cm. 提取液加入净化柱后, 分别用 15 mL 正己烷和 70 mL 二氯甲烷/正己烷 (体积比 3:7) 淋洗出饱和烷烃和 PAHs. PAHs 淋洗液经正己烷转换溶剂后, 氮气吹至 0.5 mL, 加入内标物 (六甲基苯) 进行仪器分析.

1.4 分析测定和质量控制

色谱条件: 日本岛津 QP2010-GC/MS, 色谱柱 DB-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 进样口温度为 300°C, 接口温度 300°C, EI 源, 70 eV, 220°C, SIM 模式, 无分流进样 1 μL. 升温程序为 50°C, 保留 1 min, 以 8°C·min⁻¹ 升高到 300°C, 保持 5 min, 载气为高纯氮气, 流速为 1.0 mL·min⁻¹.

整个分析过程采用方法空白、基质加标、样品平行样等监控, 并用回收率指示物监测样品制备和基质的影响. 方法空白中无待测物检出, 回收率分别为萘-d₈ (55% ~ 70%)、萘-d₁₀ (70% ~ 85%)、菲-d₁₀ (86% ~ 110%)、䓛-d₁₂ (95% ~ 120%) 和芘-d₁₂ (80% ~ 120%). 内标法定量, 测试结果经回收率校正, 由于萘的挥发损失大, 本研究不对其进行讨论.

2 结果与讨论

2.1 浓度水平比较

雷州近海、流沙湾和深圳湾 15 种 PAHs 单体的检出率均为 100%，相对标准偏差分别为 30.9% ~ 51.3%、26.4% ~ 121.2% 和 27.8% ~ 80.8%。由图

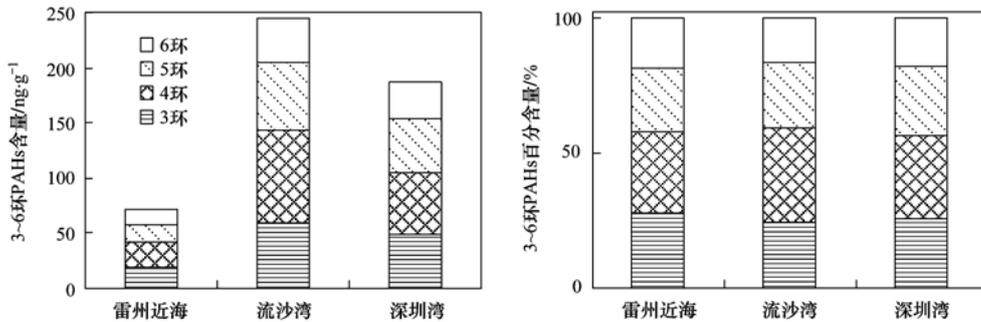


图 2 雷州近海、流沙湾和深圳湾 \sum PAHs 含量和 3~6 环相对百分含量

Fig. 2 Concentrations of \sum PAHs and 3-6 ring PAHs percentages in Leizhou, Liusha Bay and Shenzhen Bay

与其它海域相比(见表 1),雷州近海 PAHs 含量较低,而流沙湾和深圳湾的含量处于中等水平.从成份组成来看,雷州近海、流沙湾和深圳湾均以 3 环和 4 环为主,3~6 环百分比构成相似,其中 Phe、Fla、Pry 和 Bbf 的是主要成份,共占 \sum PAHs 的 55% 以上.

2.2 空间分布差异

2.2.1 雷州近海

图 3 为雷州近海各站点 \sum PAHs 的含量,其中 L01、L06 和 L11 的含量最高.根据地理位置将雷州近海各站点分为东部(L01~L04)、南部(L05~L09)和西部(L10~L15),图 4 为它们的平均浓度水平和 3~6 环构成. \sum PAHs 的浓度变化趋势为西

2 看出, \sum PAHs 含量的趋势为流沙湾 > 深圳湾 > 雷州近海,分别为 244.4、186.3 和 71.8 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$.流沙湾沿海城市经济发展远远落后于深圳湾,但 PAHs 含量却高于深圳湾,可能与流沙湾的地形和利用形式有关.相比于深圳湾,流沙湾腹大口小,养殖密度大,水域养殖区域占流沙湾海域总面积的 19.7%.

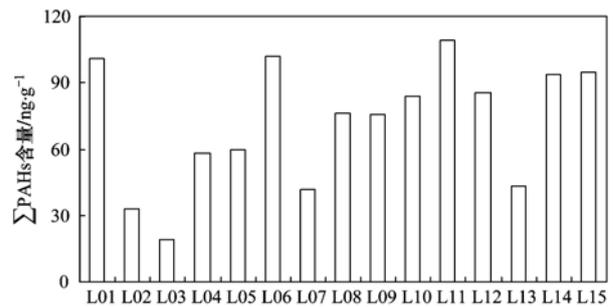


图 3 雷州近海各站点 \sum PAHs 的含量

Fig. 3 Concentrations of \sum PAHs in Leizhou sits

部 > 南部 > 东部,分别为 85.1、71.2 和 52.8 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$; 3 环百分含量从东到西依次减少,4~6 环相反.

表 1 各海域沉积物 \sum PAHs 含量/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 1 \sum PAHs concentrations in coastal marine sediments/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

海域	浓度范围	均值	采样时间(年)	文献
南海(South China Sea)	25 ~ 275	146	1993	[7]
南黄海中部	16.33 ~ 229.58	95.28	2007	[8]
台州湾	85.4 ~ 167.6	138.6	2006	[9]
大亚湾	42.5 ~ 158.2	126.2	2003	[10]
Daliao River Estuary	272.09 ~ 1 606.89	743.03	2007	[11]
Pearl River Esruary	189.1 ~ 636.7	362	2002	[12]
雷州半岛	19.0 ~ 109.0	71.8	2010	本研究
流沙湾	109.4 ~ 505.0	244.4	2008	本研究
深圳湾	75.7 ~ 313.6	186.3	2008	本研究

2.2.2 流沙湾和深圳湾

流沙湾和深圳湾 PAHs 的空间分布特征基本相同,即湾内高于湾外,养殖区高于非养殖区,此结果

与黄长江等^[13]对柘林湾及杜虹等^[14]对深澳湾水域氮、磷的研究相似.图 5(a)为深圳湾各站点 \sum PAHs 的浓度水平,位于养殖区的 Z03 和 Z01 含

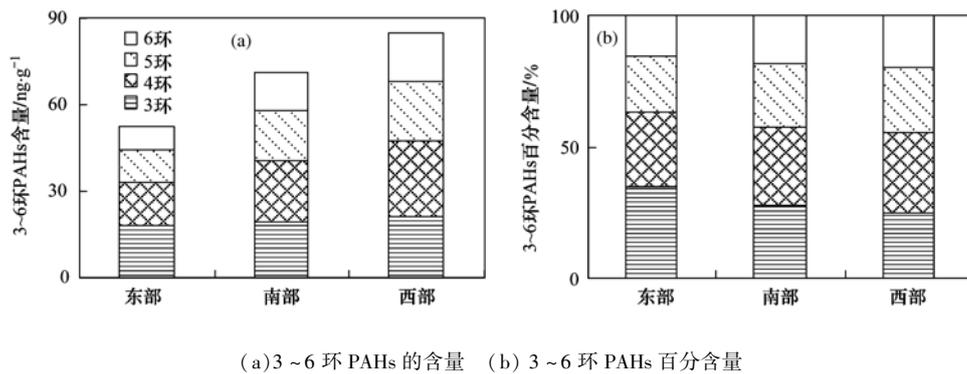


图 4 雷州东部、南部和西部海域 3~6 环 PAHs 的含量和百分含量

Fig. 4 Concentrations and percentages of 3-6 ring PAHs in the east, south and west area, Leizhou

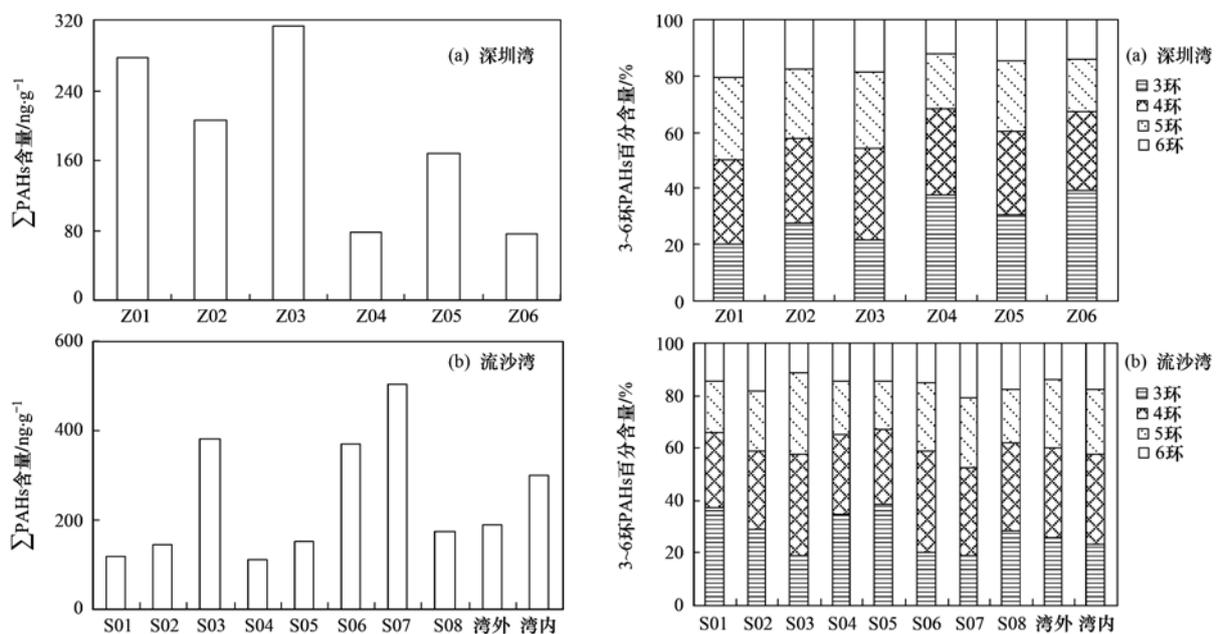


图 5 深圳湾和流沙湾各站点 \sum PAHs 的含量和 3~6 环的百分含量

Fig. 5 Concentrations of \sum PAHs and the percentages of 3-6 ring PAHs in silt, Liusha and Shenzhen

量最高,分别为 313.6 和 277.5 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$. Z01 ~ Z03 以 4 环为主,3~4 环占 \sum PAHs 的 50% ~ 58%; Z04 ~ Z06 以 3 环为主,3~4 环占 \sum PAHs 的 60% ~ 69%.

相比深圳湾,流沙湾 PAHs 在各站点的分布较复杂,与流沙湾养殖密度大,又有码头、航道等基础设施,各种来源的 PAHs 相互交叉,相互影响有关.图 5(b)为流沙湾各站点 \sum PAHs 的浓度水平, S07、S03 和 S06 的含量最高,分别为 505.0、382.7 和 370.4 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$,以 4 环为主,其中 S07 位于养殖区内, S03 位于养殖区旁. S01、S04 和 S05 以 3 环为主, 3~6 环组分构成相似.流沙湾湾内(L05 ~ L08)和湾

外(L01 ~ L04) \sum PAHs 平均值分别为 300.4 和 188.5 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 3~4 环和 5~6 环的百分比分别为湾外 60% 和 40%,湾内 58% 和 42%.

由于海湾特殊的地理环境,大规模的养殖会造成潮流速率降低,湾内和湾外的水体交换减弱,导致船舶、养殖过程中产生的污染物难以扩散.田蕴等^[15]等指出马銮湾养殖海区沉积物中的 PAHs 含量明显高于非养殖区,并且在养殖海区的沉积物中检测到苯并(b)荧蒽、吡咯并和苯并(ghi)芘等没有最低安全值的高分子量 PAHs 的存在,直接威胁养殖水体的安全.此研究也具有此特征,深圳湾和流沙湾均表现出养殖区站点高含量的 PAHs,且以 4 环为主.

2.3 来源差异

比值法是用以判断环境 PAHs 来源的最为常用的方法之一. 图 6 为 $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 、 $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$ 、 $\text{Baa}/(\text{Baa} + \text{Chr})$ 和 $\text{Iip}/(\text{Iip} + \text{Bpe})$ 的比值图. 研究表明石油类为近海和海湾, 特别是养殖区域主要的污染物质^[16-19]. $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe}) < 0.1$ 指示为石油源, > 0.1 是燃烧源^[20]. 雷州近海、流沙湾和深圳湾大多数站点 < 0.1 , 表明 PAHs 主要来自石油源; L01、S03、S07、Z01 和 Z03 > 0.1 , 表明这些点 PAHs 来自燃烧源, 其中 L01 位于工业区附近, S03、S07、Z01 和 Z03 位于养殖区附近. 采用 $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$ 来判断 PAHs 的来源, 即比值 < 0.4 指示石油源,

> 0.5 是烧煤、烧柴等生物烧煤, $0.4 \sim 0.5$ 是石化燃料源^[21]. 除 L02、L03、Z01 和 Z02 在 $0.4 \sim 0.5$ 之间, 其它均 > 0.5 , 表明来自烧煤、烧柴等燃烧源. Yunker 等^[22] 建议 $\text{Baa}/(\text{Baa} + \text{Chr}) < 0.20$ 为石化来源, $0.20 \sim 0.35$ 为石化和燃烧的混合源, > 0.35 为燃烧源; 雷州近海、流沙湾和深圳湾所有样品全部 > 0.35 , 表明主要来自燃烧源. $\text{Iip}/(\text{Iip} + \text{Bpe})$ 比值 < 0.2 为石化来源, $0.20 \sim 0.50$ 为石化燃烧来源(主要是机动车辆造成), > 0.50 表示燃煤、烧柴来源^[21]. L08、L13、S01、S04、S05 和 S06 > 0.5 , S03 < 0.2 , 其它在 $0.2 \sim 0.5$ 之间, 表明主要来自石化燃烧, 其中雷州近海和流沙湾还有煤和柴燃烧源、石油源.

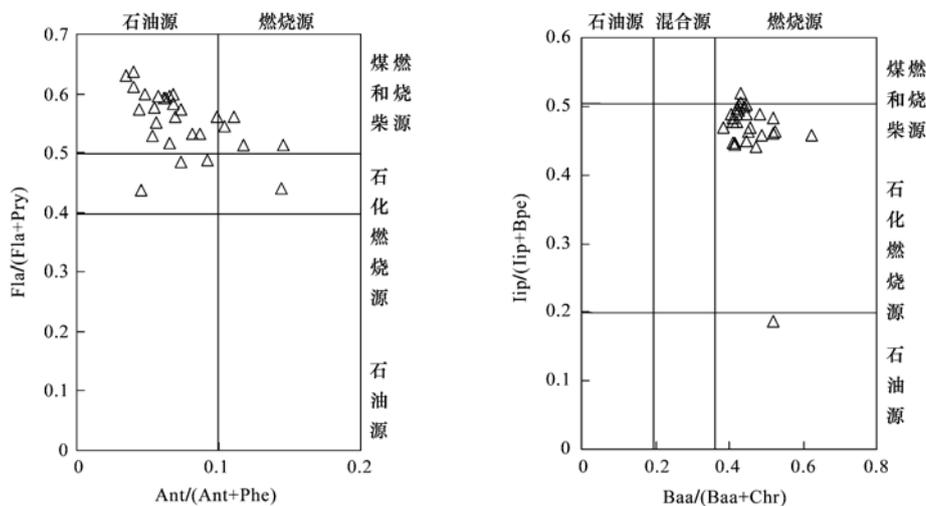


图 6 PAHs 异构体比值图

Fig. 6 Cross plots for PAHs isomeric ratio

雷州半岛从东到西分布着大大小小几十个码头, 流沙湾有军港码头, 深圳湾是南方重要的通商和交通口岸, 海上船舶和近岸陆地交通、工厂等排放向海域的输送是 PAHs 的主要来源. 丘耀文等^[23] 对深圳湾生态系统 PAHs 特征研究中也指出深圳湾海域 PAHs 的来源除大气沉降与市政污水输入外, 还与湾内频繁往来的船舶, 以及蛇口港与赤湾港加油站的排污密切相关. 雷州半岛属于华南地区经济较落后区域, 主要以农业和养殖为主, 根据现场调查发现柴和煤仍然是农村不可缺少的燃料之一, 秋冬季节更是把桔杆、树枝等燃烧后沤肥, 柴和煤等生物燃料的燃烧产物通过大气输送和沉降对雷州半岛近海 PAHs 的贡献不容忽视.

3 结论

此研究表明水体交换能力、主体使用功能、污染

物来源等都是影响近海和海湾 PAHs 污染的重要因素. 流沙湾和深圳湾由于属于半封闭型海湾, 以及大规模网箱养殖造成水体交换能力差, 不利于污染物扩散, PAHs 污染浓度明显高于雷州近海开阔型海域, PAHs 水平内湾 $>$ 外湾, 养殖区 $>$ 非养殖区. 虽然雷州近海、流沙湾和深圳湾 PAHs 的浓度水平上存在较大差异, 但组分构成和来源相似, 表现在成份组成以 3 环和 4 环为主, 3 ~ 6 环组分构成百分比相似, 其中 Phe、Fla、Pyr 和 Bbf 是主要成份, 来源均来自石油、石化燃料、煤和柴生物燃烧等混合源.

参考文献:

- [1] Chen S C, Liao C M. Health risk assessment on human exposed to environmental polycyclic aromatic hydrocarbons pollution sources [J]. Science of the Total Environment, 2006, 366(1): 112-123.
- [2] Simpson C D, Mosi A A, Cullen W R, et al. Composition and

- distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in surficial marine sediments from Kitimat Harbor, Canada [J]. *Science of the Total Environment*, 1996, **181**(3): 265-278.
- [3] 王新红, 徐立, 陈伟琪, 等. 厦门西港沉积物中多环芳烃的垂直分布特征与污染追踪 [J]. *中国环境科学*, 1997, **17**(1): 19-22.
- [4] 罗孝俊, 陈社军, 麦碧娴, 等. 珠江及南海北部海域表层沉积物中多环芳烃分布及来源 [J]. *环境科学*, 2005, **26**(4): 129-134.
- [5] 林秀梅, 刘文新, 陈江麟, 等. 渤海表层沉积物中多环芳烃的分布与生态风险评价 [J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(1): 70-75.
- [6] 李斌, 吴莹, 张经. 北黄海表层沉积物中多环芳烃的分布及其来源 [J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(5): 429-432.
- [7] Yang G P. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the South China Sea [J]. *Environmental Pollution*, 2000, **108**(2): 163-171.
- [8] 韩彬, 蒋风华, 李培昌, 等. 南黄海中部海水、间隙水和沉积物中多环芳烃的分布及源分析 [J]. *环境科学进展*, 2009, **27**(2): 233-243.
- [9] 江锦花. 台州湾海域表层沉积物中多环芳烃的浓度水平、富集规律及来源 [J]. *海洋通报*, 2007, **26**(4): 85-90.
- [10] 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.
- [11] Bin M, He M C, Li T, *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.
- [12] 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.
- [13] 黄长江, 董巧香, 林俊达, 等. 粤东大规模海水养殖区柘林湾表层沉积物中的含水量、有机质、氮和磷 [J]. *海洋学报*, 2008, **30**(2): 38-50.
- [14] 杜虹, 郑兵, 陈伟洲, 等. 深澳湾海水养殖区水化因子的动态变化与水质量评价 [J]. *海洋与湖沼*, 2010, **41**(6): 816-823.
- [15] 田蕴, 郑天凌, 王新红, 等. 厦门马銮湾养殖海区多环芳烃的污染特征 [J]. *海洋环境科学*, 2003, **22**(1): 29-33.
- [16] 柯常亮, 王增焕, 李刘冬, 等. 广东省流沙湾贝类养殖环境质量评价 [J]. *江苏农业科学*, 2011, (1): 336-338.
- [17] 徐春霞, 谷震, 范潮河, 等. 河北省扇贝养殖区河口区域石油类污染分析 [J]. *水生态学杂志*, 2009, **30**(4): 40-42.
- [18] 徐春霞, 王六顺, 赵春民, 等. 河北省扇贝养殖区油类污染监测与分析 [J]. *河北农业大学学报*, 2010, **33**(1): 119-123.
- [19] 胡利芳, 孙省利, 李雪英, 等. 深圳湾海水石油烃分布特征及其相关因素的探讨 [J]. *广东海洋大学学报*, 2010, **30**(3): 99-102.
- [20] Budzinski H, Jones I, Bellocq J, *et al.* Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary [J]. *Marine Chemistry*, 1997, **58**(1-2): 85-97.
- [21] Fraser M P, Gass G R, Simoneit B R T, *et al.* Air quality model evaluation data for organics. 5. C₆-C₂₂ nonpolar and semipolar aromatic compounds [J]. *Environmental Science and Technology*, 1998, **32**(12): 1760-1770.
- [22] 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.
- [23] 丘耀文, 张干, 郭玲利, 等. 深圳湾生态系统多环芳烃 (PAHs) 特征及其生态危害 [J]. *环境科学*, 2007, **28**(5): 1056-1061.

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ 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 _{2.5} 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 ¹⁵ 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 ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ 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 ² /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 ¹⁴ 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@reces. 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@reces. 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