

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O ₃ 来源识别	李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)
厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势	徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)
近10年海南岛大气NO ₂ 的时空变化及污染物来源解析	符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)
稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成	洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)
气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H ₂)浓度	栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)
小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO ₂ 特征及扩散通量	张永领, 杨小林, 张东(40)
夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究	李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)
基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度	张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)
温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别	马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)
人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例	于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)
太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究	汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)
鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应	沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)
影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析	李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)
水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响	刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)
蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响	吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)
汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化	程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)
三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征	王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)
三峡库区农林复合小流域水体汞的时空变化特征	赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)
环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响	宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)
三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征	高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)
舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析	周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)
太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律	李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)
厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估	程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)
两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例	王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)
大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价	张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)
铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验	陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)
铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究	陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)
一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究	吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)
磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为	张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)
腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附	朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)
降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响	赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)
FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究	陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)
微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响	邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)
微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化	曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)
舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征	张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)
四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究	周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静(274)
铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用	徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)
外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响	熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)
厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征	洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)
洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素	商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)
不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究	吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)
畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化	商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)
华南某市生活垃圾组成特征分析	张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)
生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥	刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)
基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究	徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)
一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测	刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)
典型黄土区油松树干液流变化特征分析	张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)
利用巨藻发酵产氢气与挥发性有机酸的研究	赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)
人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响	李曼璐, 姜玥璐(365)
《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236, 243, 273, 300)	

厦门杏林湾水系表层沉积物中 PAHs 分析与风险评估

程启明^{1,2}, 黄青^{1*}, 廖祯妮¹, 苏丽², 刘兴强³, 唐剑锋¹

(1. 中国科学院城市环境研究所城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021; 2. 广西大学农学院, 南宁 530004; 3. 厦门大学嘉庚学院环境科学与工程系, 漳州 363105)

摘要: 利用 ASE-GC-MS(加速溶剂萃取与气相色谱质谱仪联用)方法分析了 USEPA(美国环保署)16种优控 PAHs 在厦门城郊杏林湾水系的19个表层沉积物样点中的含量,并对其进行组成、来源和风险进行了探讨。结果表明,杏林湾水系表层沉积物中 PAHs 含量介于 $413.00 \sim 2748.81 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 均值为 $949.56 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$; 在检测出的13种 PAHs 中,强致癌性的 BkF 和 BghiP 检出率高达 73.68%, 均值分别为 $69.15 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $49.86 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$; PAHs 以 2~4 环为主,其中 2+3 环比比例均值为 61.03%, 4 环比比例均值为 23.53%; 5 和 6 环均值为 15.82%。在所采集的沉积物样品中,中度污染占调查样品数的 68.42%, 高度污染的占 31.58%。利用 Ant/(Ant + Phe) 和 Fla/(Fla + Pyr) 比值法和主成分分析方法对杏林湾流域中 PAHs 其来源进行分析,以及平均沉积物质量基准商(mSQG-Q)法进行生态风险评估,结果表明其 PAHs 的主要来源为石油源以及石油燃烧源; SQG-Q 小于 0.50; 综合含量、组成特征以及沉积物质量基准商等评价表明,研究区域内靠近杏林工业区一侧的 2、3、5 和 9 号采样区以及 13 号港口采样区表层沉积物中 PAHs 具有较高的生态安全风险; 值得进一步关注。

关键词: 多环芳烃; 杏林湾; 表层沉积物; 污染特征; 污染来源

中图分类号: X52; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0179-07 DOI: 10.13227/j. hjkx. 2015. 01. 023

Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen

CHENG Qi-ming^{1,2}, HUANG Qing^{1*}, LIAO Zhen-ni¹, SU Li², LIU Xing-qiang³, TANG Jian-feng¹

(1. Key Laboratory of Urban Environment & Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China; 2. Agricultural College of Guangxi University, Nanning 530004, China; 3. Department of Environmental Science and Engineering, Tan Kah Kee College, Xiamen University, Zhangzhou 363105, China)

Abstract: The concentrations of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), declared as carcinogens by USEPA, were measured in the sediment samples ($n = 19$) collected along Xinglin Bay rivers/canals present in Xiamen. PAHs were extracted using accelerated solvent extraction system and analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The possible sources of PAHs and their health risk were investigated. Among selected PAHs, 13 PAHs were detected in the surface sediments. Total concentrations of PAHs in the surface sediments ranged from 413.00 to $2748.81 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, with a mean value of $949.56 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$. The mean concentration of highly carcinogenic compounds such as benzo[*k*]fluoranthene (BkF) and benzo[*g,h,i*]perylene (BghiP) were $69.15 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ and $49.86 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively and counted for 73.68% out of the total samples. The dominant PAH compounds were 2, 3 and 4 rings and counted for 61.03% and 23.53%, respectively; while 5-6 rings containing PAHs were accounted for 15.82%. According to the results, 68.42% of samples were moderately contaminated, while 31.58% were highly contaminated with PAHs. Based on the ratios of Ant/(Ant + Phe) and Fla/(Fla + Pyr), it cleared that PAHs in surface sediments were mainly derived from fossil fuel and combustion products. Principal component analysis results and sediment quality benchmarks (mSQG-Q) were used for risk assessment of these PAH contaminated sediments. The risk SQG-Q of 16 PAHs were less than 0.50. Comprehensive content, composition and SQG-Q showed that a certain degree of ecological risks of PAH pollution existed in the surface sediments, particularly in the sites close to Xinglin Industrial Zone (2, 3, 5 and 9) and Gangtou (13), which need further research work and proper attentions.

Key words: PAHs; Xinglin Bay; surface sediments samples; pollution characteristic; source apportionment

城镇化的快速推进造成了城市及城郊环境质量的恶化,由此产生的污染物被排放到城郊河流流域中,最终归属到水体沉积物;沉积物是环境中 PAHs 重要的储藏库和中转站,其中的 PAHs 被生物吸收进而由生态系统食物链传递到人体中,对城市及城郊居民造成潜在危害,故沉积物中的污染状况研究日趋受到重视。由于 PAHs 在环境中分布广泛以及在食物链中的蓄积放大效应而对人类健康造成极大

危害,为环境科学领域研究的焦点之一,近年在土壤^[1]、大气颗粒物^[2]、水体^[3]以及沉积物^[4,5]等环境介质有相关的 PAHs 调查分析研究,但在城郊小

收稿日期: 2014-05-28; 修订日期: 2014-08-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD14B04); 科技部国际科技合作项目(2009DFB90120, 2011DFB91710)

作者简介: 程启明(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为城郊生态环境保育与生态高值农业, E-mail: qmcheng@ iue. ac. cn

* 通讯联系人, E-mail: qhuang@ iue. ac. cn

流域沉积物中的 PAHs 特征及其来源相关研究亟待进一步深入研究。

杏林湾流域地处厦门市郊外西北部的集美区,东经 $118^{\circ}2' \sim 118^{\circ}5'$, 北纬 $24^{\circ}34' \sim 24^{\circ}37'$ 之间。杏林湾水域由后溪、港头、杏林等区域的小溪流或沟渠汇集而成;主体水域区原属海湾滩涂,自 1956 年修筑集杏海堤成人工湖以来,湖内的海水只出不进,在近 60 年的演变中已经逐步由咸水湖、半咸水湖变成当今的淡水湖;面积达 600 万 m^2 ,上游汇水面积超过 200 km^2 。随着厦门城镇化的快速推进,杏林湾湖水被规划为厦门市的一个备用水源地,尽管厦门市政府及相关部门为此进行了大量的综合整治工作,包括减少甚至禁止上游以及周边养殖场养殖业的发展等,但大气自然沉降,渔船、游轮和穿越该流域的机动车辆排放的尾气或是泄漏燃油污染,以及周边居民、企事业单位的相关垃圾燃烧或污水/废水等也最终由杏林湾水域消纳。水环境中大部分 PAHs 被吸附于悬浮颗粒物最终沉降到沉积物中,沉积物作为 PAHs 迁移转化的源与库,一直是环境领域研究的热点。但在海湾变成人工淡水湖及其流域沉积物中 PAHs 未见相关报道,故本研究以杏林湾水域及其水系中的表层沉积物为研究对象,分析其 PAHs 的污染水平、组成特征和主要来源,并运用平均沉积物质量基准商 (mSQG-Q) 对该区域进行了初步的生态安全风险评价,通过了解城郊区域 PAHs 的污染状况,以期为海湾人工改造利用或城郊流域的开发与治理提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 化学试剂

丙酮、二氯甲烷、正己烷(色谱纯, TEDIA 公司),无水硫酸钠、中性氧化铝、硅胶等(分析纯,国药集团)经 450°C 灼烧 4 h 以去除杂质及活化;中性氧化铝和硅胶冷却后加 3% 去离子水去活化;玻璃仪器经 450°C 灼烧 4 h 冷却后并经有机试剂淋洗,备用。

1.2 样品采集

样品采集于 2012 年 10 月,采样使用网格布点法,采集流域内 19 个表层沉积物样品(图 1)。所有表层沉积物均使用不锈钢抓斗采集表层 0~5 cm 的沉积物,采集物装入洁净的聚乙烯自封袋中,并排干袋中气体,现场密封冷藏,回实验室后冷冻于 -20°C 的冰箱待分析。

1.3 样品处理

经冷冻干燥后的沉积物,研磨过 60 目筛,参照

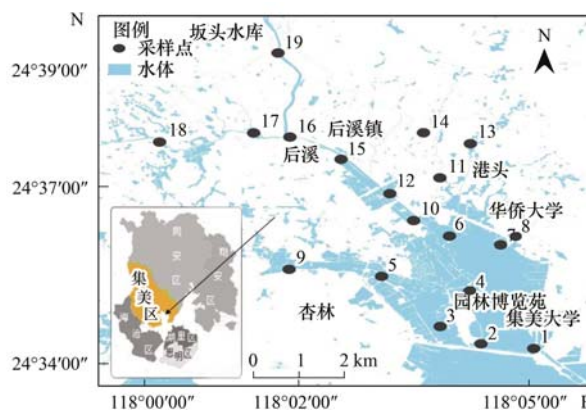


图 1 杏林湾水系表层沉积物采样点位置

Fig. 1 Location of sampling sites for PAHs in surface sediments of the Xinglin Bay rivers

Muhammad 等^[6]的前处理方法:用加速溶剂萃取仪 (ASE, Dionex-350) 进行萃取;即将 5.000 g 沉积物样品(精确到 0.001 g)、 20 g 无水硫酸钠充分混合放入已填充 15 g 无水硫酸钠和滤纸的 35 mL 萃取池中提取;萃取条件为丙酮/二氯甲烷(体积比 1:1),加热温度到 200°C ,加热 10 min ,萃取压力 $10\,342.14 \text{ kPa}$,静态萃取 3 次,溶剂快速冲洗样品体积比为 60%,氮气吹扫收集提取液时间为 50 s ;洗脱液用旋转蒸发仪蒸发浓缩至 1 mL 左右,过层析柱净化;层析柱填装从下至上依次是去活化硅胶、中性氧化铝和无水硫酸钠,硅胶/中性氧化铝/无水硫酸钠体积比为 10:4:1,先用 10 mL 左右正己烷淋洗层析柱,弃去淋洗液,然后用正己烷/二氯甲烷(7:3) 60 mL 洗脱,洗脱液再次旋转蒸发浓缩至 1 mL 左右,转移氮吹扫后用正己烷定容至 1.0 mL ,保存于 4°C 冰箱,待 GC-MS 分析。

1.4 仪器分析

参照 Muhammad 等^[6]的分析方法:PAHs 含量测定采用配有自动进样器 CTC 的气相色谱-质谱联用仪 (Agilent 7890A-5975C, 美国) 测定,色谱柱为 HP-5MS 石英毛细管柱 ($30 \text{ m} \times 250 \mu\text{m} \times 0.25 \mu\text{m}$)。色谱分析条件:进样量 $1 \mu\text{L}$,不分流进样;进样口温度为 280°C ,载气为高纯氦气 (99.999%);升温程序:初始温度 60°C ,以 $15^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温到 150°C 再以 $5^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温到 220°C ,再以 $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升温到 300°C ,保持 10 min ,总升温时间 38.00 min 。质谱条件:电子轰击 EI 离子源,电子能量 70 eV ,离子源温度 230°C ,四级杆温度 150°C ,数据采集采用选择离子扫描 (SIM)。通过检索 NIST 质谱谱库和标准品色谱峰保留时间进行定性分析,采用峰面积内标法、5 点校正曲线定量。分析

USEPA 优控的 16 种 PAHs,即萘(Nap)、蒽(Acy)、二氢蒽(Ace)、芴(Flo)、菲(Phe)、蒎(Ant)、荧蒎(Fla)、芘(Pyr)、苯并[a]蒎(BaA)、䟽(Chr)、苯并[b]荧蒎(BbF)、苯并[k]荧蒎(BkF)、苯并[a]芘(BaP)、二苯并[a,h]蒎(DahA)、苯并[g,h,i]芘(BghiP)、茚并[1,2,3-cd]芘(IcdP)。所有化合物标准品购自德国 Dr. Ehrensorfer 公司。

为保证实验数据的准确性和精确性,实验全过程进行质量保证/质量控制(QA/QC),PAHs 回收率指示标样包括氘代二氢蒽(d10 Ace)、氘代菲(d10 Phe)和氘代芘(d12 Pery),每 10 个样品增加一个方法空白和程序空白。PAHs 回收率为(87.17% ~ 94.79%),方法检出限(0.01 ~ 0.16 ng·g⁻¹)。

1.5 风险评估

基于 Long 等^[7]提出的海洋和河口湾表层沉积物中 PAHs 的生态风险评价标准:即不同单体 PAHs 对生物产生影响的研究确定的 2 个参数(生态效应区间低值 ERL 和效应区间中值 ERM);这两个参数被视为反映沉积物质量的生态风险标志水平^[3,8]。环境中的 $\sum$ PAHs 若低于 ERL(4 022 ng·g⁻¹),则对生物的毒副作用不明显(风险几率 < 10%);若高于 ERM(44 792 ng·g⁻¹),则可能会产生一定程度的负面生态效应(风险几率 > 50%);介于两者之间,只会偶尔产生负面效应,因多环芳烃 BbF、BkF、IcdP 和 BghiP 没有最低安全阈值,只要存在于环境中就会产生毒副作用。鉴于我国尚无水体沉积物风

险评价体系的公认基准^[9],因此本研究采用 Long 等^[7]提出的基于 SQG 的污染物生态风险评价指数法进行评价,也称之为平均沉积物质量基准商 mSQG-Q(mean sediment quality guideline)。有关公式见式(1)及式(2)。

$$SQG-Q = (\sum_{i=1}^n ERM-Q_i)/n \tag{1}$$

$$ERM-Q_i = c_i/ERM_i \tag{2}$$

式中,n 表示 PAHs 种类,c_i 表示某单一多环芳烃实际测量值,ERM-Q_i 表示某单一多环芳烃的 ERM 商,ERM_i 表示某单一多环芳烃的可能效应水平。

2 结果与讨论

2.1 杏林湾水系表层沉积物 PAHs 的含量和组成特征

杏林湾水系 19 个表层沉积物样品中 16 种 PAHs 的浓度总量在 413.00 ~ 2 748.81 ng·g⁻¹ 范围内,均值为 949.56 ng·g⁻¹(表 1),其中浓度在 1 000 ng·g⁻¹ 以下的占调查样品的 68.42%,高于 1 000 ng·g⁻¹ 的占 31.58%;其中含量最高的为曾经的工业区杏林的 5 号点,高达 2 748.81 ng·g⁻¹;最低点为位于集美学村附近的 1 点为 413.00 ng·g⁻¹。

在采集的 19 个沉积物样品中,PAHs 的组成以 2 ~ 4 环为主,其中 2、3 环比例在 25.78% ~ 95.02% 之间,平均占 PAHs 总量的 61.03%,4 环比例为 4.98% ~ 57.86% 之间,平均占 PAHs 总量的 23.53%,5、6 环比例为 0% ~ 38.64%,平均占

表 1 杏林湾水系表层沉积物中 PAHs 含量统计特征

Table 1 Statistical characteristic of the concentrations of PAHs in surface sediments of Xinglin Bay rivers

多环芳烃(PAHs)		含量范围	平均值	检出率/%
名称	环数	/ng·g ⁻¹	/ng·g ⁻¹	
萘 Nap	2	55.45 ~ 145.85	84.98	100.00
蒽 Acy	3	N. D ~ 24.60	3.46	94.74
二氢蒽 Ace	3	0.10 ~ 33.75	6.30	100.00
芴 Flo	3	15.58 ~ 153.67	43.53	100.00
菲 Phe	3	199.83 ~ 546.09	329.47	100.00
蒎 Ant	3	6.68 ~ 39.48	22.42	100.00
荧蒎 Fla	4	7.88 ~ 243.14	90.25	100.00
芘 Pyr	4	22.80 ~ 381.65	105.51	100.00
苯并(a)蒎 BaA	4	N. D ~ 299.90	46.25	94.74
䟽 Chr	4	N. D ~ 755.96	39.79	5.26
苯并(b)荧蒎 BbF	5	N. D ¹⁾	N. D	N. D
苯并(k)荧蒎 BkF	5	N. D ~ 336.14	69.15	73.68
苯并(a)芘 BaP	5	N. D ~ 204.56	59.61	84.21
茚并(1,2,3-cd)芘 IcdP	5	N. D	N. D	N. D
二苯并(a,h)蒎 DahA	5	N. D	N. D	N. D
苯并(g,h,i)芘 BghiP	6	N. D ~ 244.85	49.86	73.68
总 $\sum$ PAHs		413.00 ~ 2 748.81	949.56	100.00

1) N. D: 未检出,下同

PAHs 总量的 15.82% (图 2). 从样点 PAHs 组成特征与分布来看, 2、3、5、9、13 呈规律性的分布与 PAHs 的组成特征 2+3 环所占比例较低具有相关性, 即 2、3、5、9 采样点靠近杏林工业区一侧以及 13 样点紧挨汽车修理厂. 1、18、16 采样点区域 5+6 环 PAHs 几乎为零. 此外, 在分析的 16 种优控 PAHs 中, BbF、IcdP 和 DahA 在所有样品中均未检出; Nap、Ace、Flo、Phe、Ant、Fla 和 Pyr 检出率 100%; Chr 只在 5 号点中有检出, 此外, 有趣的是位于集美学村附近的 1 号采样点, 除 BbF、IcdP 和 DahA 未检出外, Acy、BaA、BaP、BKF、BghiP 亦未检出, 结合采样时的观测, 进行推测可能由于 1 号样点主要为沙质沉积物所致.

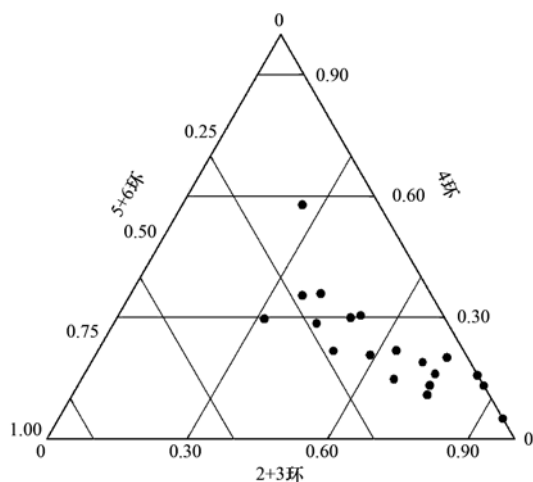


图 2 杏林湾水系表层沉积物中 PAHs 的组成特征

Fig. 2 Structural features of PAHs in surface sediments of Xinglin Bay rivers

2.2 杏林湾水系表层沉积物 PAHs 污染水平

根据 Baumard 等^[10]对沉积物中 PAHs 污染分级标准: 沉积物中 PAHs 总量为 0 ~ 100、100 ~ 1 000、1 000 ~ 5 000 和 > 5 000 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 时, 分别处于轻度、中度、高度和重度污染. 依据该标准, 对所研究的杏林湾水系中的 19 个沉积物样品中 PAHs 含量进行污染水平的判定, 中度污染所占比例为 68.42%, 高度污染的比例占 31.58%, 即表明杏林湾沉积物 PAHs 存在一定风险. 对比国内外的相关报道发现(表 2), 表层沉积物中的 PAHs 总量大都处于 100 ~ 5 000 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间, 平均值在 1 000 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 左右, 与已知国外的同类型水体沉积物相比, 杏林湾水系中表层沉积物中 PAHs 含量低于波斯湾 Khure-Musa 河口^[28], 但要高于意大利海洋保护区^[24]、波斯湾霍尔木兹海峡北部^[25]、阿根廷乌斯怀亚湾^[26]、瓜德罗普岛的红树林^[27]、伊朗布什尔省波斯湾北

部^[29], 大致与爱琴海东部相当^[30]. 与已知国内相近的水体沉积物报道结果相比, 杏林湾表层沉积物中 PAHs 含量低于温州城市河流^[3]、辽河和太湖^[21]、天津大沽排水河^[22]、台湾高雄港^[23], 但高于厦门西港^[11]、厦门湾海域^[12]、厦门不同城市化区域^[13]、泉州湾^[18]、香港内后海湾^[4], 大致与天津滨海地区^[19]、珠江三角洲、珠江河口和南海近岸带^[20] 接近. 但值得注意的是, 根据 Long 等^[7]的生态风险评价原则中, 没有最低安全阈值的 BghiP 在 19 个采样点中检出率高达 73.68%, 均值达 49.86 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 尤其是 5 号采样点中 BghiP 达到 244.85 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 即研究结果显示, 杏林湾流域内沉积物的 PAHs 存在一定风险.

杏林湾流域均值在 949.56 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 与张祖麟等^[11]研究厦门西港区域的 8 个样点平均值 367 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 、李庆召等^[12]研究厦门西海域及东部海域环厦门岛区域 12 个样点的平均值 670 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 、冯胜等^[13]研究厦门不同城市化区域 5 个样点平均值 670 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 等报道的表层沉积物中 PAHs 含量比较分析表明, 在厦门范围内 PAHs 含量受人为因素干扰明显, 但是否会是随着城市化进程的推进而逐年递增, 基于研究的地点、时间、人员不一致等因素, 亟待长期的定位深入研究, 以期为该区域提供更为全面的安全风险性评估.

2.3 杏林湾水系表层沉积物 PAHs 来源分析

环境中的 PAHs 主要有 3 种来源^[14]: 热解、石油、生物的成岩作用^[15]. 不同源产生的 PAHs 在种类和环数上不同, 如挥发性较强的 2 环 Nap 主要是原煤和原油燃烧的产物^[16]; 三环的 Phe 和 Ant 以及四环的 Fla 和 Pyr 等主要是煤和木材等燃烧的产物^[17]. 因此, 常用化合物比值法判定 PAHs 的来源, 判定 PAHs 来源的化合物比值主要有: $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 和 $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$; 当 $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 比值 < 0.1, 意味着 PAHs 主要是来自于石油类物质的泄漏; $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe}) > 0.1$, 则主要为燃烧源; $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$ 比值 < 0.4, 意味着以石油类物质泄漏污染为主, $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr}) > 0.5$ 则是木材和煤的燃烧污染, 而介于 0.4 ~ 0.5 之间则表现为化石燃料的燃烧.

结果显示, 本研究区域沉积物中 68.42% 的 PAHs 可能主要来自石油泄漏及燃烧, 其中主要来源于石油泄漏的采样点占 36.84%, 从位置分布来看主要体现在距离交通要道附近的 7、10、11、14、15、16 以及靠近杏林工业区的 5 号采样区; 在燃烧源为主的采样点中煤或木材燃烧源与化石燃料燃烧比例相当(图 3).

表 2 本研究与其他地区表层沉积物中 PAHs 含量比较

Table 2 Comparison of PAHs in surface sediments of other reported regions

研究区域	PAHs 单体数	含量/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$	平均值/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$	采样时间	文献
厦门杏林湾	16	413.00 ~ 2 748.81	949.56	2012 年 10 月	本研究
厦门西港	16	247.00 ~ 480.00	367.00	1988 年 7 月	[11]
厦门湾海域	16	203.98 ~ 1 590.47	670.00	2007 年 10 月	[12]
厦门不同城市化区域	16	582.43 ~ 1 545.80	709.83	2009 年夏	[13]
泉州湾	16	182.80 ~ 721.10	353.80	2009 年 3 月	[18]
天津滨海地区	16	274.06 ~ 2 656.65	1 198.51	2009 年 1 月	[19]
珠江三角洲	16	217.00 ~ 2 680.00	1 028.00	2002 年 10 月	[20]
珠江河口	16	191.00 ~ 622.00	321.00	2002 年 7 月	[20]
南海近岸带	16	75.00 ~ 219.00	135.00	2002 年 7 月	[20]
温州城市河流	18	21.01 ~ 11 990.48	2 868.65	2010 年春夏	[3]
辽河	15	120.80 ~ 22 120.00	3 281.00	2009 年 6 月	[21]
太湖	15	256.6 ~ 1 709	829.00	2009 年 6 月	[21]
辽河枯水期	15	123.50 ~ 21 233.40	3 208.10	2010 年 12 月	[9]
辽河丰水期	15	37.90 ~ 9 014.00	1 612.00	2010 年 5 月	[9]
天津大沽排水河	16	370.00 ~ 5 607.00	2 041.00	2010 年 5 月	[22]
中国香港拉姆萨尔湿地	15	161.70 ~ 386.30	210.20	2004 年 5 月	[4]
中国台湾高雄港	16	4 425.00 ~ 51 261.00	13 196.00	2007 年 1 月	[23]
意大利海洋保护区	16	0.71 ~ 1 551.00	155.26	2002 年 6 ~ 8 月	[24]
波斯湾霍尔木兹海峡北部	16	42.29 ~ 228.90	131.20	2011 年 2 月	[25]
阿根廷乌斯怀亚湾	16	N. D ~ 360.00	—	2006 年 3 月	[26]
瓜德罗普岛的红树林	20	49.00 ~ 1 065.00	—	2008 年 4 月	[27]
波斯湾 Khure-Musa 河口	15	703.00 ~ 3 302.00	—	2010 年 7 月	[28]
伊朗布什尔波斯湾北部	14	41.70 ~ 227.50	—	2009 年 7 月	[29]
爱琴海东部	19	73.50 ~ 2 170.00	324.00	2008 年 7 月	[30]

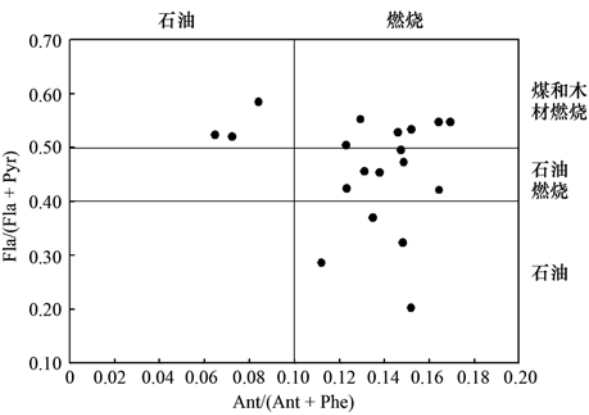


图 3 杏林湾水系表层沉积物中 PAHs 来源分析

Fig. 3 Source apportionment of PAHs in surface sediments of Xinglin Bay rivers

2.4 杏林湾水系表层沉积物 PAHs 风险评价

杏林湾水系表层沉积物中多环芳烃依据 ERM 值和公式(1)及公式(2)进行风险评估: $\text{SQG-Q} \leq 0.10$ 无负面效应, $\text{SQG-Q} < 0.50$ 具有潜在效应, $0.50 \leq \text{SQG-Q} \leq 1.50$ 具有较强负面效应, $1.50 < \text{SQG-Q}$ 具有强烈负面效应. 评价结果显示: Nap、Acy、Ace、Ant、Fla 对整个杏林湾流域的生态威胁较小; 而单体 Flo、Phe 的 ERM-Q 值在所有可检测

出的点位值大部分大于 0.10, 存在中低度生态安全效应(如表 3). 此外, 基于 BbF、BkF、IcdP、BghiP 为高环致癌性多环芳烃, 没有最低安全阈值, 只要存在于环境中, 就会对生物体健康产生威胁. 而在本研究发现 BkF 和 BghiP 的检出率均高达 73.68%; 进一步表明, 杏林湾流域的 PAHs 生态安全风险需要引起足够的重视.

厦门城郊杏林湾流域在监测的 19 样点表层沉积物中, 2、3、5、9、13、16、19 点 PAHs 含量和 SQG-Q 值偏高; 结合图 1 的采样点分布、图 2 的 PAHs 组成特征与图 3 的 PAHs 来源图分析, 2、3、5、9 号采样点区域, 主要是位于杏林湾工业区与园博苑西一侧长期以来的工业废弃物排泄沉积所致; 13 号采样点区域可能是源于周围住宅区以及当地规模不小的汽车修理厂的排污有关; 16 号与 18 号样点区域 PAHs 主要以 2 + 3 环为主, 占比分别高达 95.02%、86.89%, 结合 PAHs 来源特征分析推测 16 号与 18 号样点区域主要基于上游石油泄漏与排污汇集而成; 19 号点 PAHs 偏高, 结合 PAHs 来源特征分析, 推测可能是该区域处于汇水区, 周边居民以及国道上车流是造成 19 号点区域 PAHs 偏高以及

表 3 杏林湾水系表层沉积物中 PAHs 的 ERM-Q 值和 SQG-Q 值

Table 3 ERM-Q value and SQG-Q of PAHs in surface sediments from Xinglin Bay rivers

采样点	PAHs	萘 Nap	苊 Acy	二氢苊 Ace	芴 Flo	菲 Phe	蒽 Ant	荧蒽 Fla	芘 Pyr	苯并(a)蒽 BaA	䓛 Chr	苯并(a)芘 BaP	SQG-Q
1	413.00	0.04	N. D ¹⁾	N. D	0.05	0.15	0.03	0.01	0.01	N. D	N. D	N. D	0.03
2	1 270.32	0.04	0.01	0.03	0.09	0.25	0.04	0.03	0.06	0.04	N. D	0.06	0.06
3	1 565.08	0.04	0.01	N. D	0.06	0.23	0.04	0.04	0.06	0.06	N. D	0.09	0.06
4	514.71	0.03	N. D	N. D	0.03	0.15	0.03	0.01	0.02	0.01	N. D	0.01	0.03
5	2 748.81	0.04	0.04	0.02	0.11	0.34	0.03	0.03	0.15	0.19	0.27	0.13	0.12
6	540.03	0.03	N. D	N. D	0.05	0.20	0.03	0.01	0.02	0.01	N. D	0.01	0.03
7	553.52	0.03	N. D	N. D	0.03	0.16	0.03	0.01	0.02	0.01	N. D	0.02	0.03
8	850.61	0.04	N. D	N. D	0.07	0.19	0.02	0.01	0.03	0.02	N. D	0.04	0.04
9	1 467.00	0.04	0.01	0.01	0.09	0.29	0.04	0.05	0.08	0.05	N. D	0.08	0.07
10	422.53	0.03	N. D	N. D	0.03	0.13	0.02	0.01	0.01	0.01	N. D	0.01	0.02
11	505.72	0.03	N. D	N. D	0.06	0.17	0.03	0.00	0.01	0.01	N. D	0.01	0.03
12	554.25	0.04	N. D	N. D	0.04	0.18	0.03	0.01	0.02	0.01	N. D	0.01	0.03
13	1 671.29	0.05	0.01	0.02	0.08	0.29	0.04	0.04	0.11	0.05	N. D	0.09	0.08
14	642.05	0.04	N. D	N. D	0.04	0.14	0.02	0.02	0.03	0.02	N. D	0.03	0.03
15	462.81	0.04	N. D	N. D	0.06	0.14	0.02	0.01	0.01	0.01	N. D	0.01	0.03
16	921.50	0.05	N. D	0.07	0.28	0.36	0.05	N. D	0.01	0.01	N. D	N. D	0.09
17	737.55	0.05	N. D	0.03	0.10	0.23	0.03	0.01	0.02	0.01	N. D	0.02	0.05
18	701.02	0.05	N. D	0.03	0.12	0.26	0.04	0.01	0.01	0.01	N. D	N. D	0.06
19	1 499.90	0.07	0.02	0.03	0.13	0.31	0.03	0.04	0.08	0.02	N. D	0.09	0.08
ERM /ng·g ⁻¹		2 100	640	500	540	1 500	1 100	5 100	2 600	1 600	2 800	1 600	

呈现化石燃料燃烧为污染特征的原因.

3 结论

(1)厦门城郊杏林湾水系表层沉积物中 PAHs 不同样点含量差异明显,范围为 413.00 ~ 2 748.81 ng·g⁻¹,均值为 949.56 ng·g⁻¹,总体处于中等污染水平.

(2)19 个厦门城郊杏林湾表层沉积物样品所检测的 USEPA 16 种优控 PAHs,检测出 13 种,组成以 2~4 环为主;没有最低安全阈值的 BkF 和 BghiP 在 19 个采样点中检出率高达 73.68%,均值分别为 69.15 ng·g⁻¹和 49.86 ng·g⁻¹;在靠近杏林工业区一侧的 2、3、5 和 9 号采样点区域与 13 点采样区有着较高生态风险.

(3)厦门杏林湾水系表层沉积物中的 PAHs 来源分析显示,不同样点主要来源不一致,主要来源于石油泄漏及石油燃烧的占 68.42%,在燃烧源为主的采样点中煤或木材燃烧源与化石燃料燃烧比例相当.风险评估表明;原杏林工业区与园博苑西一侧的 2、3、5、9 采样点与 13(港头)、16(后溪与芗溪交汇)、19(芗溪桥)采样点区域存在一定生态安全风险.

致谢:感谢乔敏博士对文章提出宝贵的修改建议;感谢张国钦博士对文章采样图上的润色给予的

帮助;感谢 Sardar Khan 博士对于英文摘要提出的修改完善建议.

参考文献:

- [1] Khan S, Aijun L, Zhang S Z, *et al.* Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **152**(2): 506-515.
- [2] 易志刚,黄幸然,毕峻奇,等.福州城市及郊区冬、夏两季大气中多环芳烃特征研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(4): 1252-1257.
- [3] 周健成,陈振楼,毕春娟,等.温州城市河流中多环芳烃的污染特征及其来源[J]. *环境科学*, 2012, **33**(12): 4226-4236.
- [4] 蔡小滨,薛丹,李冬,等.香港内后海湾拉姆萨尔湿地表层沉积物中多环芳烃(PAHs)的分布及来源解析[J]. *环境化学*, 2013, **32**(3): 451-458.
- [5] Keshavarzifard M, Zakaria M P, Hwai T S, *et al.* Baseline distributions and sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments from the Prai and Malacca Rivers, Peninsular Malaysia [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, **88**(1-2): 366-372.
- [6] Muhammad W, Sardar K, Huang Q, *et al.* The effects of sewage sludge and sewage sludge biochar on PAHs and potentially toxic element bioaccumulation in *Cucumis sativa* L. [J]. *Chemosphere*, 2014, **105**: 53-61.
- [7] Long E R, MacDonald D D, Smith S L, *et al.* Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations

- in marine and estuarine sediments [J]. Environmental Management, 1995, **19**(1): 81-97.
- [8] Sun J L, Ni H G, Zeng H. Ecological risk assessment of parent and halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from an urban river in south China[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2012, **31**(8): 1867-1873.
- [9] 武江越, 刘征涛, 周俊丽, 等. 辽河水系沉积物中 PAHs 的分布特征及风险评估[J]. 环境科学, 2012, **33**(12): 4244-4250.
- [10] Baumard P, Budzinski H, Garrigues P. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1998, **17**(5): 765-776.
- [11] 张祖麟, 王新红, 哈里德, 等. 厦门西港表层沉积物中多环芳烃(PAHs)的含量分布特征及其污染来源[J]. 海洋通报, 2001, **20**(1): 35-39.
- [12] 李庆召, 李国新, 罗专溪, 等. 厦门湾海域表层沉积物重金属和多环芳烃污染特征及生态风险评价[J]. 环境化学, 2009, **28**(6): 869-875.
- [13] 冯胜, 段雪梅, 朱广伟. 厦门市不同城市化区域水体表层沉积物多环芳烃的含量、分布、来源及生态风险评价[J]. 环境化学, 2011, **30**(8): 1520-1521.
- [14] Viñas L, Angeles Franco M, Antonio Soriano J, et al. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Spanish northern continental shelf. Assessment of spatial and temporal trends[J]. Environmental Pollution, 2010, **158**(5): 1551-1560.
- [15] Malik A, Verma P, Singh A K, et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and bed sediments of the Gomti River, India [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, **172**(1-4): 529-545.
- [16] De Luca G, Furesi A, Leardi R, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons assessment in the sediments of the Porto Torres Harbor(Northern Sardinia, Italy)[J]. Marine Chemistry, 2004, **86**(1-2): 15-32.
- [17] Bari M A, Baumbach G, Brodbeck J, et al. Characterisation of particulates and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in wintertime wood-fired heating in residential areas [J]. Atmospheric Environment, 2011, **45**(40): 7627-7634.
- [18] 庄婉娥, 汪霞霞, 姚文松, 等. 泉州湾表层沉积物中多环芳烃的含量分布特征及污染来源[J]. 环境化学, 2011, **30**(5): 928-934.
- [19] 卢晓霞, 张姝, 陈超琪, 等. 天津滨海地区表层沉积物中持久性有机污染物的含量特征与生态风险[J]. 环境科学, 2012, **33**(10): 3426-3433.
- [20] 罗孝俊, 陈社军, 麦碧烟, 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.
- [21] 刘楠楠, 陈鹏, 朱淑贞, 等. 辽河和太湖沉积物中 PAHs 和 OCPs 的分布特征及风险评估[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(2): 293-300.
- [22] 郝智能, 胡鹏, 于泳, 等. 天津大沽排水河沉积物典型持久性有机污染物的分布特征与来源解析[J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(10): 2106-2112.
- [23] Dong C D, Chen C F, Chen C W. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in industrial harbor sediments by GC-MS [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2012, **9**(6): 2175-2188.
- [24] Perra G, Pozo K, Guerranti C, et al. Levels and spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in superficial sediment from 15 Italian marine protected areas (MPA) [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, **62**(4): 874-877.
- [25] Bastami K D, Afkhami M, Ehsanpour M, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal water, surface sediment and mullet *Liza klunzingeri* from northern part of Hormuz strait (Persian Gulf) [J]. Marine Pollution Bulletin, 2013, **76**(1-2): 411-416.
- [26] Commendatore M G, Nieves M L, Amin O, et al. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in coastal sediments from the Ushuaia Bay (Tierra del Fuego, Patagonia, Argentina) [J]. Marine Environmental Research, 2012, **74**: 20-31.
- [27] Ramdine G, Fichet D, Louis M, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in surface sediment and oysters(*Crassostrea rhizophorae*) from mangrove of Guadeloupe: Levels, bioavailability, and effects[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2012, **79**: 80-89.
- [28] Mirza R, Faghiri I, Abedi E. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of Khure-Musa estuarine, Persian Gulf [J]. World Journal of Fish and Marine Sciences, 2012, **4**(2): 136-141.
- [29] Mirza R, Mohammadi M, Sohrab A D, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater, sediment, and rock oyster *Saccostrea cucullata* from the northern part of the Persian Gulf (Bushehr Province) [J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2012, **223**(1): 189-198.
- [30] Gonul L T, Kucuksezgin F. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments from the Eastern Aegean: assessment and source recognition of petroleum hydrocarbons[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2012, **19**(1): 31-41.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i> (11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i> (18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i> (25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong (40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i> (56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenruiang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling (64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i> (72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i> (80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i> (87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue (94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang (107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i> (114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i> (121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i> (143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i> (151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i> (163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i> (172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i> (179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i> (186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i> (194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i> (202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i> (209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i> (215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i> (221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui (227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i> (237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i> (252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i> (259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> (266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i> (274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i> (280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i> (295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i> (301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i> (309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i> (314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i> (325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i> (333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i> (338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i> (343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i> (357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu (365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 15, 2015

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: 120.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行