

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, 林允静(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)

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^{1,2}, 邢新丽^{1,2*}, 顾延生^{1,2}, 桂福坤³, 祁士华^{1,2}, 黄焕芳^{1,2}, 瞿程凯^{1,2}, 张莉^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉 430074; 2. 中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室, 武汉 430074; 3. 浙江海洋学院海洋科学与技术学院, 舟山 316022)

摘要: 在舟山青浜岛采集了14个生物样品及对应点位的3个海水样品, 利用气相色谱(GC-ECD)测定六六六(HCHs)和滴滴涕(DDTs)的浓度, 分析不同点位水体及水产品中有机氯农药的分布与富集特征。结果表明, 舟山青浜岛HCHs和DDTs检出率高达100%。海产品中HCHs含量范围0.09~11.51 ng·g⁻¹, 平均值为2.02 ng·g⁻¹, DDTs含量范围0.02~56.15 ng·g⁻¹, 平均值为12.36 ng·g⁻¹; 海水样品中HCHs含量范围0.07~0.20 ng·L⁻¹, 平均值为0.13 ng·L⁻¹, DDTs含量范围0.23~0.41 ng·L⁻¹, 平均值为0.34 ng·L⁻¹。整体而言, 研究区样品中DDTs残留高于HCHs残留。与国内外其他研究区域相比, 青浜岛水生生物中有机氯农药残留处于较低水平。对照相应标准可以看出, 所有样品均未超过国家相应标准(食品安全国家标准 GB 2763-2012、海水水质标准 GB 3097-1997)。通过比值法来源分析得知, 青浜岛海域HCHs和DDTs主要为外源输入。OCPs的空间分布特征分析显示, 海洋上升流及其锋面的变化是影响OCPs分布的主要因素。水体中OCPs分布与青浜岛的特殊地形有关, 且人类活动对当地环境的影响是水体OCPs的贡献方式之一。健康风险评价表明, 该区域居民通过食用海产品OCPs平均日摄入量远低于FAO/WHO限定的每日可摄入量(ADI), 说明该地区居民食用海产品对人体健康影响较小。

关键词: 舟山; 水产品; 有机氯农药; 分布特征; 风险评价

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0266-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.035

Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China

ZHANG Ze-zhou^{1,2}, XING Xin-li^{1,2*}, GU Yan-sheng^{1,2}, GUI Fu-kun³, QI Shi-hua^{1,2}, HUANG Huan-fang^{1,2}, QU Cheng-kai^{1,2}, ZHANG Li^{1,2}

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. Marine Science and Technology College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: A total of 14 biological samples and 3 water samples were collected from the Qingbang Island. The concentrations of OCPs in the samples were determined by GC-ECD to investigate the distribution, composition, source and potential health risks of these compounds in the study area. The results showed that OCPs were detected in all samples. The detection ratios of OCPs were 100%. Concentrations of HCHs and DDTs ranged from 0.09 ng·g⁻¹ to 11.51 ng·g⁻¹ and 0.02 ng·g⁻¹ to 56.15 ng·g⁻¹, respectively. Compared with other regions, the pollution of OCPs in Qingbang Island stayed at a low level. Distribution characteristics of OCPs in halobios from Qingbang Island indicated that changes in the upwelling and fronts were the main factors that affected the distribution of OCPs. Source analysis showed that HCHs and DDTs in halobios were mainly originated from the external. In addition, OCPs residues were far below the National Food Safety Standard. The estimated daily intake of OCPs from the halobios tested was also below the acceptable daily intake(ADI) recommended by FAO/WHO, indicating little health risk in halobios consumption for local residents.

Key words: Zhoushan; halobios; organochlorine pesticides(OCPs); distribution characteristics; risk assessment

有机氯农药是一类具有“三致”的持久性有机污染物, 由于其毒害性大、理化性质稳定、具有半挥发性和生物累积放大作用, 对生态环境和人体健康的潜在风险近些年来一直备受关注。其中以HCHs和DDTs的产量最大^[1]。从1950~1983年, 我国用于农业生产的六六六(HCHs)和滴滴涕(DDTs)分别达到4.9×10⁶ t和4.0×10⁵ t^[2]。OCPs在自然环境中难以降解, 其可以通过地表径流、大

气沉降等途径在全球范围内长距离迁移^[3]。同时, OCPs具有很强的疏水亲脂性, 进入水环境系统后, 大多数OCPs与悬浮颗粒物质如矿物、生物碎屑和

收稿日期: 2014-06-05; 修订日期: 2014-08-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41103065); 院士工作站合作项目(2013046383)

作者简介: 张泽洲(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境有机污染化学, E-mail: zzz9559@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: xingxinli5300225@163.com

胶体等相结合并最终富集于表层沉积物。且积蓄在沉积物中的 OCPs 一方面通过再悬浮和解吸作用, 会再次进入水体而造成二次污染^[4]; 另一方面, 沉积物及水体中的 OCPs 被生物体摄入后不易分解, 并沿着食物链富集放大, 最终通过食物摄入危害人体健康。因此, 研究舟山青浜岛地区水体及主要海产品中有机氯农药的分布和富集特征对于评估海洋生态环境以及人体健康风险具有重要意义。

舟山群岛是中国沿海最大的群岛, 位于长江口以南、杭州湾以东的浙江省北部海域。舟山渔场是我国最大的近海渔场, 素有“东海渔仓”之称。已有研究表明舟山渔场海域内海产品以及舟山海岛地区土壤已经受到不同程度的 OCPs 污染^[5~7], 但该地区水体以及水产品中有机氯农药的含量状况以及随食物链、地理位置的变化究竟如何, 尚鲜见报道。本研究以青浜岛周边海水及常见海洋生物为调查对象, 通过分析青浜岛不同方位海洋生物及海水样品中 OCPs 残留量, 探讨其残留水平、分布特征及来源, 进一步对该地区 OCPs 的生态风险和人体健康风险进行初步评价, 以为当地有机氯农药的污染防治及海产养殖管理提供基础数据。

1 研究区域概况

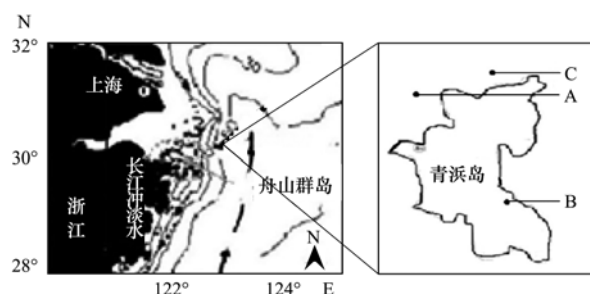
青浜岛隶属浙江省舟山市普陀区东极镇, 在沈家门镇东北 47.5 km 处, 西近庙子湖岛。略呈长形, 南北走向, 长 2.45 km, 宽 0.8 km, 陆域面积 1.41 km², 滩地面积 2.37 km², 海岸线长 10.5 km, 最高点黄胖老山海拔 131.6 m。岛屿土壤主要有棕红泥沙土、棕黄砾泥和砾石滩涂等 3 个土种。植物总面积为 58.3 km², 覆盖率为 41.3%, 有耕地 1.87 km²。本研究选取青浜岛具有代表性的码头、村支部和里斯本沉船方向的 3 个点位采集水体和生物样品, 并参照美国 EPA8080A 方法, 测定有机氯农药含量。

2 材料与方法

2.1 样品采集

于 2013 年 7 月在舟山群岛青浜岛采集了 14 个生物样品及对应点的水体样品 3 个, 采样点位见图 1。A 采样点 (N30°12'26.2", E122°42'5.3") 距码头较近, 采集的生物样品分别为紫贻贝、螃蟹和水体样品 AW01。自南向北分别为 B 采样点 (N30°11'45.9", E122°42'29.9") 采集生物样品为藤壶、贻贝、螃蟹、牡蛎、石莼以及水体样品 BW01, 采样点 C (N30°12'35.2", E122°42'25.7") 采集生物样品为石

莼、藤壶、小鲍鱼、贻贝、螃蟹、黑鲷、马蹄螺、海藻以及水体样本 CW01。生物样品置于聚乙烯密实袋中并放入冰块, 海水样品使用棕色玻璃瓶采集, 样品均密封保存, 尽快运回实验室。在实验室内, 生物样品用纯净水洗去浮尘, 晾干表面水, -4℃ 冷冻保存, 海水样品 4℃ 冷藏保存直至分析。



A. 码头; B. 村支部; C. 里斯本丸沉船方向

图 1 研究海域内的海底地形^[8]以及采样分布示意

Fig. 1 Seabed topography and sampling sites location of Qingbang Island

2.2 试剂和材料

二氯甲烷 (CH₂Cl₂)、正己烷 (C₆H₁₄)、丙酮 (C₃H₆O) 等有机试剂均为色谱纯, 有机试剂正己烷 (C₆H₁₄) 和丙酮 (C₃H₆O) 购自美国 Tedia 公司, 二氯甲烷 (CH₂Cl₂) 购自美国 JT Baker 公司。中性氧化铝 (100~200 目)、硅胶, 经二氯甲烷抽提 48 h 后, 氧化铝在 240℃, 硅胶在 180℃ 条件下烘 12 h, 冷却后加入其质量的 3% 去离子水去活化, 平衡后置于干燥器中备用。无水硫酸钠 (Na₂SO₄) 为分析纯, 在马弗炉中 450℃ 焙烧 4h, 干燥备用。

有机氯农药混合标样包括 α-HCH、β-HCH、γ-HCH、δ-HCH、p, p'-DDE、o, p'-DDE、p, p'-DDD、o, p'-DDD、o, p'-DDT、p, p'-DDT 等多种标准物, 均购自美国 Accustandard 公司。有机氯农药定量分析的内标化合物为五氯硝基苯 (PCNB), 回收率指示物为四氯间二甲苯 (TCMX) 和十氯联苯 (PCB209)。

2.3 样品分析

2.3.1 生物样品

生物样品用搅拌机搅碎, 称取约 15.00 g 样品, 加入 20 ng 四氯间二甲苯 (TCMX) 和十氯联苯 (PCB209) 作回收率指示物, 加入 150 mL 二氯甲烷和丙酮混合液 (体积比 2:1), 索氏抽提 48 h, 并用活化的铜片脱硫。将提取液在旋转蒸发器 (LABOROTA4000, 德国 Heidolph) 上浓缩为约 10 mL, 加入 5~10 mL 的正己烷后, 再继续浓缩至 10

mL, 转移到鸡心瓶中后, 每次加入分析纯浓硫酸约 3 mL, 除去大分子脂肪, 直至成为清液为止. 将除去脂肪的提取液加入到硅胶/氧化铝 (体积比 2:1) 层析柱中净化分离, 用 2:3 的二氯甲烷/正己烷混合液 35 mL 淋洗柱体, 进行洗脱. 洗脱液继续在旋转蒸发仪上浓缩至 0.50 mL, 然后转移到 2 mL 的细胞瓶中后, 用柔和的高纯氮气吹至 0.20 mL, 加入 20 ng 的内标物 (PCNB) 置于冰箱中待测.

2.3.2 水体样品

量取 1 L 水样于分液漏斗中, 加入 25 mL 二氯甲烷及回收率指示物 TCMX 和 PCB209, 用二氯甲烷重复萃取 3 次. 将收集到的液体在旋转蒸发仪上 (36℃) 浓缩至约 5 mL, 将浓缩液通过硅胶/氧化铝层析柱 (体积比 2:1) 进行净化分离, 用 25 mL 的二氯甲烷/正己烷 (体积比 2:3) 混合液淋洗柱体. 洗脱液再次经旋转蒸发浓缩至 0.50 mL, 然后转移至 2 mL 的细胞瓶中, 在氮吹仪上使用柔和的高纯氮气流浓缩至 0.20 mL, 加入内标化合物五氯硝基苯 (PCNB) 置于冰箱中待分析.

2.4 气相色谱仪分析条件

样品使用气相色谱仪 (Agilent 公司, Agilent-7890A 配⁶³Ni-ECD 检测器) 进行定量分析. 色谱柱为 DB-5 石英毛细管柱 (30.00 m × 0.32 mm × 0.25 μm), 载气为高纯氮气; 进样口温度 290℃, 不分流进样, 进样量为 2 μL; 柱箱升温程序: 初始温度 100℃, 保持 1 min, 以 4℃·min⁻¹ 升温至 200℃, 以 2℃·min⁻¹ 升温至 230℃, 最后以 8℃·min⁻¹ 升温至 280℃, 保持 15 min; 检测器温度 300℃.

2.5 质量保证与质量控制 (QA/QC)

样品分析测试参照美国 EPA 8080A 方法, 进行质量保证和质量控制. 用回收率指示化合物 [2,4,5,6-四氯间二甲苯 (TCMX) 和十氯联苯 (PCB209)]、空白样品和平行样品控制样品预处理过程中的质量, 生物样回收率为 72% ~ 93%, 水样回收率为 63% ~ 78%, 本研究使用的数据均经过回收率校正.

3 结果与讨论

3.1 有机氯农药的残留水平

表 1 列出了不同采样点各类海产品及海水中有有机氯农药的残留水平. 从中可知, 海产品中 HCHs 浓度最低为 C 点海藻 0.09 ng·g⁻¹ (湿重, 下同), 最高为 B 点小鲍鱼 11.51 ng·g⁻¹, 浓度范围为 0.09 ~ 11.51 ng·g⁻¹, 平均值为 2.02 ng·g⁻¹; DDTs 浓度最

低为 C 点海藻 0.02 ng·g⁻¹, 最高为 A 点贻贝 56.15 ng·g⁻¹, 浓度范围 0.02 ~ 56.15 ng·g⁻¹, 平均值为 12.36 ng·g⁻¹. 贝类生物有机氯农药污染水平较高, 而植物残留水平相对较低, 这可能与生物营养级有关. 与国内其他研究区域相比, 本研究区域海产品 OCPs 污染水平与香港 (HCHs 浓度为 0.33 ~ 9.88 ng·g⁻¹, 平均值为 1.57 ng·g⁻¹; DDTs 浓度为 0.74 ~ 131 ng·g⁻¹, 平均值为 12.2 ng·g⁻¹)^[9] 相当, 低于钱塘江 (HCHs 浓度为 309 ~ 3651 ng·g⁻¹; DDTs 浓度为 337 ~ 16133 ng·g⁻¹)^[10]、珠江河口和大亚湾地区 (HCHs 浓度为 0.07 ~ 1.85 ng·g⁻¹; DDTs 浓度为 1.7 ~ 462 ng·g⁻¹)^[11], 高于大连湾 (HCHs 浓度为 0.70 ~ 5.70 ng·g⁻¹, 平均值为 2.20 ng·g⁻¹; DDTs 浓度为 1.11 ~ 7.96 ng·g⁻¹, 平均值为 3.20 ng·g⁻¹)^[12], 以及江苏太湖 (HCHs 浓度为 0.07 ~ 1.53 ng·g⁻¹; DDTs 浓度为 1.12 ~ 28.5 ng·g⁻¹)^[13]. 与国外相比低于伊朗 (HCHs 浓度为 170 ~ 200 ng·g⁻¹; DDTs 浓度为 330 ~ 335 ng·g⁻¹)^[14], 高于韩国沿海地区 (HCHs 浓度为 ND ~ 0.40 ng·g⁻¹; DDTs 浓度为 ND ~ 37.00 ng·g⁻¹)^[15].

海水样品中 HCHs 含量范围 0.07 ~ 0.20 ng·L⁻¹, 平均值为 0.13 ng·L⁻¹, DDTs 含量范围 0.23 ~ 0.41 ng·L⁻¹, 平均值为 0.34 ng·L⁻¹. 与其他研究区域相比, 本研究区域海水 OCPs 污染水平低于海南小海湾 (HCHs 含量范围 2.39 ~ 4.59 ng·L⁻¹, 平均值为 3.31 ng·L⁻¹, DDTs 含量范围 0.27 ~ 6.34 ng·L⁻¹, 平均值为 3.42 ng·L⁻¹)^[16], 远低于白洋淀^[17]、九龙江口^[18]、珠江干流^[19]、黄浦江^[20]、苏州河^[21].

研究区样品中 DDTs 残留高于 HCHs 残留, 虽然历史上 HCHs 使用量大于 DDTs, 但是由于 DDTs 稳定性高于 HCHs, 因此实际水体中 DDTs 及其降解产物的残留量高于 HCHs 的残留量^[22]. 参照《食品安全国家标准》(水产品中 HCHs 残留限量为 0.1 mg·kg⁻¹; DDTs 残留限量为 0.5 mg·kg⁻¹)^[23], 所有生物样品 OCPs 残留均未超过标准限值. 《海水水质标准》(GB 3097-1997) 规定, 一类海域的海水中 HCH 和 DDT 含量分别不得超过 1.00 μg·L⁻¹ 和 0.05 μg·L⁻¹^[24], 研究区内水体样品 OCPs 含量均达到一类海域标准. 说明研究区域的海水基本不会对该地区环境造成危害和污染, 且海产品达到了保障人体健康的要求. 总体而言, 舟山青浜岛海域内海产品及海水有机氯农药残留处于较低水平.

表 1 舟山青浜岛样品中有机氯农药含量¹⁾

Table 1 Concentrations of DDTs and HCHs in water and halobios samples of Qingbang Island

采样点	种类	α -HCH	β -HCH	γ -HCH	δ -HCH	<i>o,p'</i> -DDE	<i>p,p'</i> -DDE	<i>o,p'</i> -DDD	<i>p,p'</i> -DDD	<i>o,p'</i> -DDT	<i>p,p'</i> -DDT	HCHs	DDTs
A	贻贝	0.52	0.70	0.05	0.06	0.84	23.64	2.77	13.32	1.48	14.09	1.33	56.15
	螃蟹	0.16	0.71	0.02	ND	0.01	14.99	0.01	8.73	ND	4.17	0.90	27.91
B	藤壶	0.26	0.32	0.01	ND	0.01	0.18	0.02	0.11	ND	0.30	0.58	0.62
	贻贝	0.33	0.60	ND	ND	0.81	5.25	0.55	2.38	ND	1.26	0.94	10.25
	螃蟹	0.10	0.33	ND	ND	0.00	3.60	ND	0.39	ND	0.50	0.43	4.49
	牡蛎	0.46	0.59	ND	0.13	0.48	5.32	0.62	1.64	0.45	5.06	1.18	13.57
C	石莼	0.20	0.45	0.04	0.05	0.01	0.08	0.06	0.06	0.03	0.03	0.73	0.26
	藤壶	0.40	0.55	ND	ND	0.76	4.20	0.71	0.87	0.11	0.08	0.95	6.73
	小鲍鱼	3.76	7.61	ND	0.14	0.42	4.92	0.62	0.40	0.02	0.03	11.51	6.41
	贻贝	2.39	5.17	ND	0.04	2.23	4.09	0.90	1.73	0.40	28.27	7.60	37.61
	螃蟹	0.34	0.39	ND	0.01	ND	5.21	ND	0.45	0.33	0.77	0.74	6.77
	黑鲷	0.33	0.56	ND	0.15	0.13	0.84	0.07	0.27	0.01	0.33	1.04	1.64
	马蹄螺	0.09	0.10	0.01	ND	0.03	0.54	0.01	0.06	0.01	0.02	0.20	0.66
	海藻	0.04	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	0.09	0.02
	AW01	0.02	0.10	0.01	0.01	0.09	0.01	0.03	0.02	0.03	0.05	0.14	0.23
	BW01	0.02	0.13	0.01	0.04	0.05	0.19	0.02	0.02	0.06	0.07	0.20	0.41
	CW01	0.02	0.01	0.02	0.02	ND	0.02	0.01	0.01	0.01	0.32	0.07	0.37

1) ND: 未检出; 生物单位 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 水样单位 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$

3.2 HCHs 和 DDTs 的组成特征及来源分析

工业品 HCH 中的 α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH 和 δ -HCH 的比例分别为 55% ~ 80%、5% ~ 14%、12% ~ 14% 和 2% ~ 10%^[25]。农业用林丹中 γ -HCH 约为 99%。若样品中 α -HCH/ γ -HCH 在 4 ~ 7 之间, 则认为样品中 HCHs 源于工业品; 若比值接近于 1, 说明附近有林丹使用; 若比值 > 7, 则说明样品中 HCHs 可能为外源输入^[26]。研究区除 C 点里斯本沉船方向采样点的石莼(α -HCH/ γ -HCH = 5.56)外, 其他生物样品的 α -HCH/ γ -HCH 皆大于 7, 说明青浜岛区域近期基本无林丹(γ -HCH)输入且海产品中

HCHs 主要为外源输入。

舟山青浜岛海产品中 HCHs 的优势组分为 β -HCH, 其占总 HCHs 的百分比为 32.26% ~ 79.45%, 平均比值为 63.11% (见图 2)。在青浜岛生物样品中, β -HCH 检出率为 100%, 且百分含量明显高于原始工业品(5% ~ 14%, 见图 2)。这是由于 β -HCH 化学性质最稳定, 抗降解能力最强^[27]。另外, 在所有 HCH 异构体中, β -HCH 蒸汽压最低而生物富集系数最高^[28], 且 α -HCH 和 γ -HCH 在环境中也可转化为 β -HCH^[29], 因此, HCHs 进入环境越久, 其组成中 β -HCH 的含量就越高。表明研究海域海

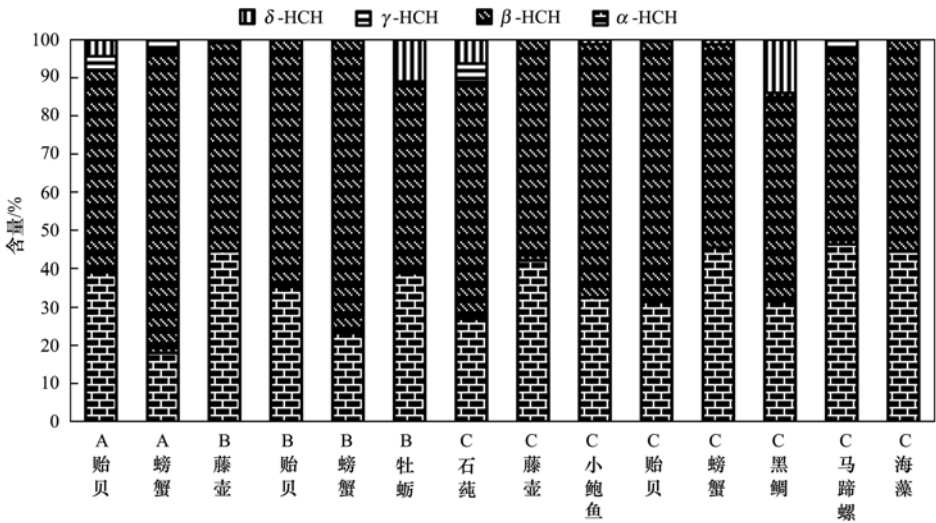


图 2 各生物体中 HCHs 异构体的组成

Fig. 2 HCHs isomers composition in different halobios samples from different stations

产品中的 HCHs 部分来自历史残留。

在自然环境中,DDTs 在好氧条件下主要降解为 DDE; 在厌氧条件下主要降解为 DDD. 因此 DDD/DDE 比值可指示 OCPs 的降解环境^[27, 29]. 若 DDD/DDE > 1, DDTs 以厌氧分解为主; 反之则以好氧分解为主. 如果近期有新的 DDTs 输入, 则 DDTs 的降解产物 DDD + DDE 的相对含量会维持在较低水平; 如果近期没有 DDTs 输入, 其相对含量则较高. 因此可用 (DDD + DDE)/DDTs 来判断 DDT 类农药的来源及降解程度. 若 (DDD + DDE)/DDTs 高于 0.5 可认为环境中的 DDTs 为历史残留或外源输入; 若低于 0.5, 则说明近期所研究区域有新的 DDTs 输入^[30].

DDTs 组分分析结果如图 3 所示, 各海域 DDD/DDE 介于 0.09 ~ 1.37 之间, 说明兼有好氧分解和

厌氧分解, 其中以好氧分解为主 (占 92%). 在本研究中, 大部分点位优势组分为 p, p' -DDE 其次为 p, p' -DDT. 除 C 点里斯本沉船方向的海藻及贻贝样本外, (DDD + DDE)/DDTs 值均高于 0.5, 说明青浜岛附近海域的 DDTs 主要来自于历史残留或外源输入. 三氯杀螨醇主要用于棉花、果树、花卉、茶叶等的螨虫防治, 其含有的少量 DDT 随地表径流入海, 对滩涂环境及水产养殖构成威胁. 三氯杀螨醇使用区域的 o, p' -DDT/ p, p' -DDT 值高于工业 DDT^[31]. 青浜岛附近海域中的生物样品中 o, p' -DDT/ p, p' -DDT 平均值为 0.29, 在工业 DDT 中 o, p' -DDT/ p, p' -DDT 值范围内 (0.2 ~ 0.3), 说明青浜岛附近海域 DDT 污染与使用三氯杀螨醇无关. 这可能与青浜岛地处外海, 距内陆较远有关.

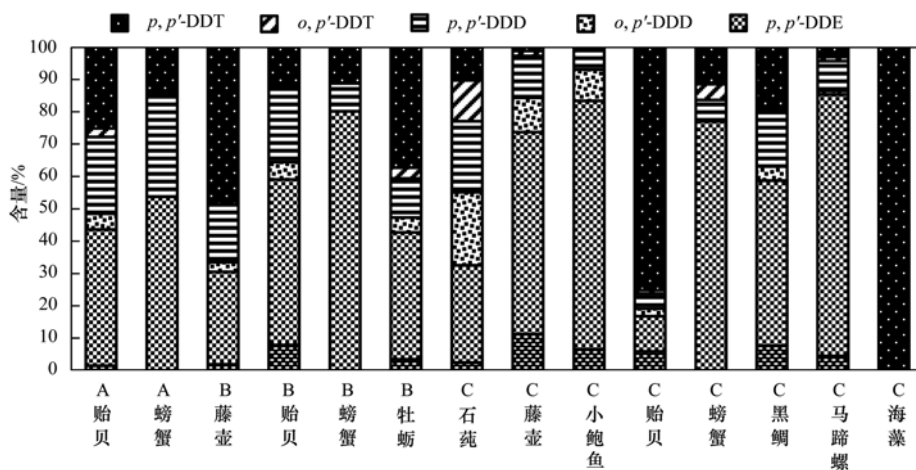


图 3 各生物体中 DDTs 异构体的组成

Fig. 3 DDTs isomers composition in different halobios samples from different stations

3.3 不同生物种类中有机氯农药的分布特征

本研究将生物样品大致分为四类: 贝类 (贻贝、牡蛎和小鲍鱼)、甲壳类 (马蹄螺、藤壶和螃蟹)、鱼类 (黑鲷) 和藻类 (石莼和海藻). 不同生物种类 OCPs 组成如图 4 所示, 总 OCPs 蓄积能力大体为贝类 > 甲壳类 > 鱼类 > 藻类, 生物样品中 DDTs 的含量占总 OCPs 含量的 70% 以上 (表 1). 贝类对 DDTs 的积累效应大于其他海洋生物, 并认为可能的主要原因是贝类栖息于潮间带泥滩中, 以碎屑为食, 吸收并富集了沉积物有机质中大量的 DDTs^[28]. 另外, 在检测的 3 种贝壳类中, 贻贝对于 DDTs 的蓄积程度远大于其他两种, 其体内 DDTs 含量是总 DDTs 的 63.45%. 因此贻贝常被认为具有可靠的海洋环境污染指示作用^[28, 32]. 此外, 不同营养等级的生物对 OCPs 的富集程度也大不相同, 研究区动物体内 OCPs 含量均值为 $10.86 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 植物体内 OCPs 均值为

$0.55 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$. 动物体内 OCPs 的含量远高于植物.

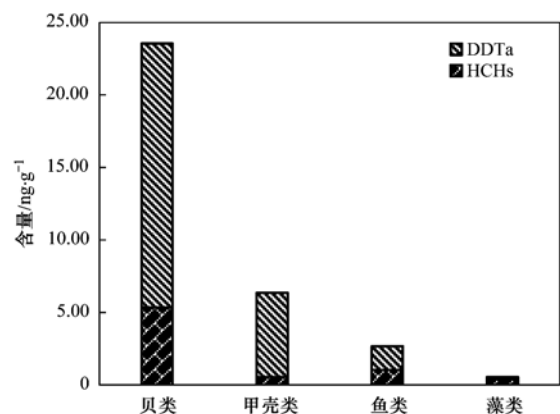


图 4 不同水生生物体内有机氯农药残留

Fig. 4 Distribution of OCPs in different halobios samples

3.4 海产品及海水中有有机氯农药残留的空间分布特征

由表 1 可明显看出, 水体中 OCPs 浓度远低于

生物体,这可能是生物浓缩作用下导致。如图 5 所示,位于青浜岛北端的 A、C 采样点海产品的 OCPs 平均浓度高于 B 点。结合图 1 可知,舟山及邻近海域的水文状况复杂,北部是长江入海口,以长江冲淡水为主体的江浙沿岸水,随长江径流量的季节变化而对本区产生影响;南部有高温、次高盐的台湾暖流水流经本区,使得海水处于强烈交换和更新状态;受东亚季风的影响,研究海域内夏季盛行西南风。上述诸因子共同作用,使得本海域呈现出独特的上升流、封面迁移、冲淡水转向等诸多现象^[33],这些现象直接或间接地决定了该海域 OCPs 的污染程度。由于海洋上升流向近海海域表层输送营养盐的同时也输送了大量沉积物中的有机污染物,近海水和外海水之间形成的盐度锋层和外海水上下层间形成的上升流锋层在强度和位置上均受上升流影响,而锋带处是辐聚区,更易集结作为饵料的营养物质和吸附于饵料上的有机污染物,原先在不同水体中生存的浮游生物,以及追逐觅食的水生物,便在北端锋区聚集且富集大量污染物^[8],而 A、C 两点较 B 更为接近这一海域,导致了 A、C 两点处水生物体内 OCPs 含量高于 B 点生物。

进一步,通过上述分析发现,HCHs 与 DDTs 在 C 采样点里斯本方向皆指示出相同的环境输入特征——该地区有较新污染物输入。正是由于该点位于青浜岛最北端锋区,接近辐聚区,且靠近长江入海口和长江冲淡水为主体的江浙沿岸(见图 1),更易聚集来自其他海域的有机污染物。

B 点水样 OCPs 浓度高于其他两点(见图 5),海水 OCPs 空间分布特征与生物(以贻贝为例)相比有较大差异,这可能与 OCPs 的亲脂疏水性有关。主要富集于有机质含量较高的底泥沉积物中而非水体,由于海洋生物的栖息环境和食物结构特性,导致生物受底泥沉积物的影响更大。青浜岛的特殊地形及

舟山群岛附近海域的水动力特征也对该地区海水 OCPs 的分布造成影响。舟山群岛海域涨落潮流受地形制约,流向基本与岸线平行^[34]。从图 1 可看出,B 点所处海岸呈“C”状,导致水体更新较 A、C 两点缓慢,致使水体中污染物不易扩散。另一方面,B 点在村支部附近与其他两采样点相比人类活动较为频繁,说明人类活动对当地环境的影响亦是水体 OCPs 的贡献方式之一。

3.5 健康风险评价

舟山地区人均每天海鲜食用量为 95.50 g(男性平均 132.00 g,女性平均 57.00 g),远高于全国人均海鲜食用水平(每人 23 g·d⁻¹)^[35]。由此,按照人均每天海鲜使用量为 95.50 g 和体重为 60.00 kg 计算(EDI = 平均浓度 × 平均每天食用量/体重),估算出青浜岛海域附近居民平均每人每日通过食用海产品摄入 OCPs 的质量(EDI),见表 2。结果表明,青浜岛海域附近居民 EDI 水平远低于联合国粮食与农业组织和世界卫生组织(FAO/WHO)限定的每日可摄入量(ADI),说明研究区人体通过食用海鲜类而导致的健康风险水平较低。

表 2 青浜岛附近居民食用海产品摄入 OCPs 的 EDI 水平/ng·g⁻¹

Table 2 EDI levels of OCPs through halobios consumption by residents around Qingbang Island/ng·g⁻¹

项目	OCPs	
	DDTs	HCHs
平均浓度	12.36	2.02
EDI	19.63	3.22
ADI	20 000	8 000

4 结论

(1) 舟山青浜岛 HCHs 和 DDTs 检出率高达 100%,研究区普遍存在 OCPs 残留。HCHs 含量范围 0.09 ~ 11.51 ng·g⁻¹(均值 2.02 ng·g⁻¹),DDTs 含量范围 0.02 ~ 56.15 ng·g⁻¹(均值 12.36 ng·g⁻¹)。DDTs 残留整体高于 HCHs。与国内外研究区域相比,青浜岛海洋生物及水体中有机氯农药残留处于较低水平。所有海产样品及水体样品 OCPs 含量均低于《食品安全国家标准》和《海水水质标准》。

(2) 来源分析表明,研究海域海产品中 HCHs 和 DDTs 主要为历史残留或外源输入。青浜岛不同种类海产品中,对总 OCPs 蓄积能力大体为贝类 > 甲壳类 > 鱼类 > 藻类。水生动物体内 OCPs 富集浓度远高于植物。

(3) 空间分布特征分析显示,青浜岛北端的 A、

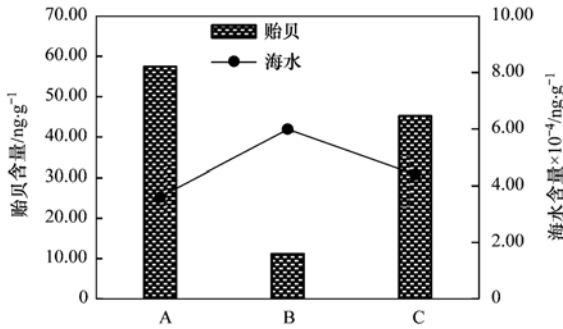


图 5 不同点位贻贝及海水有机氯农药含量分布
Fig. 5 Distribution of OCPs in water and mussel samples from different stations

C 采样点海产品的 OCPs 平均浓度高于 B 点. 海洋上升流及其锋面的变化是影响青浜岛水生生物中 OCPs 分布特征的主要因素. 水体中 OCPs 残留量较高值出现在 B 点村支部附近,这与青浜岛的特殊地形有关,人类活动对当地环境的影响是水体 OCPs 的贡献方式之一. 风险评价结果显示,该地区居民 EDI 水平远低于 FAO/WHO 限定的每日可摄入量 (ADI),说明该地区食用海产品存在较低健康风险.

致谢: 感谢浙江海洋学院徐士元、苗增良、陈永久、赵晟、崔大练等老师在野外采样过程中的帮助,感谢中国地质大学环境学院江晓宇、兰婷玉等同学在样品分析过程中提供的帮助.

参考文献:

- [1] Zhang J Q, Xing X L, Qi S H, *et al.* Organochlorine pesticides (OCPs) in soils of the coastal areas along Sanduao Bay and Xinghua Bay, southeast China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2013, **125**: 153-158.
- [2] Tao S, Liu W, Li Y, *et al.* Organochlorine pesticides contaminated surface soil as reemission source in the Haihe Plain, China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(22): 8395-8400.
- [3] 赵龙, 侯红, 郭平毅, 等. 海河干流及河口地区土壤中有机氯农药的分布特征[J]. *环境科学*, 2009, **30**(2): 543-550.
- [4] Yang R Q, Jiang G B, Zhou Q F, *et al.* Occurrence and distribution of organochlorine pesticides (HCH and DDT) in sediments collected from East China Sea [J]. *Environment International*, 2005, **31**(6): 799-804.
- [5] 郭远明, 苗振清, 钟志, 等. 舟山渔场海域多氯联苯和有机氯农药污染状况调查[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2009, **28**(4): 428-431.
- [6] 余新威, 何佳璐. 舟山海岛地区土壤中有机氯化合物的区域分布特征研究[J]. *中国卫生检验杂志*, 2010, **20**(9): 2253-2255.
- [7] 周珊珊, 杜晴, 王翀, 等. 舟山渔场海产品中有机氯农药的残留及对映体过剩[J]. *浙江工业大学学报*, 2012, **40**(6): 599-605.
- [8] 胡明娜. 舟山及邻近海域沿岸上升流的遥感观测与分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [9] Wang H S, Chen Z J, Wei W, *et al.* Concentrations of organochlorine pesticides (OCPs) in human blood plasma from Hong Kong: Markers of exposure and sources from fish [J]. *Environment International*, 2013, **54**: 18-25.
- [10] Zhou R B, Zhu L H, Chen Y Y, *et al.* Concentrations and characteristics of organochlorine pesticides in aquatic biota from Qiantang River in China[J]. *Environmental Pollution*, 2008, **151**(1): 190-199.
- [11] Guo L L, Qiu Y W, Zhang G, *et al.* Levels and bioaccumulation of organochlorine pesticides (OCPs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fishes from the Pearl River estuary and Daya Bay, South China [J]. *Environmental Pollution*, 2008, **152**(3): 604-611.
- [12] 张文浩. 山东半岛南部近海沉积物和海洋生物中持久性有机污染物的分析与研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [13] 王德庆. 太湖鱼体中 PAHs 和 OCPs 的暴露水平, 分布特征和人体健康风险评估[D]. 上海: 上海大学, 2013.
- [14] Davodi M, Esmaili-Sari A, Bahramifarr N. Concentration of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in some edible fish species from the Shadegan Marshes (Iran) [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2011, **74**(3): 294-300.
- [15] Khaled A, El Nemr A, Said T O, *et al.* Polychlorinated biphenyls and chlorinated pesticides in mussels from the Egyptian Red Sea coast[J]. *Chemosphere*, 2004, **54**(10): 1407-1412.
- [16] 王珺, 祁士华, 穆倩, 等. 小海湾水体有机氯农药的浓度水平和特征[J]. *环境科学与技术*, 2007, **30**(8): 33-34, 46.
- [17] 窦薇, 赵忠宪. 白洋淀水生食物链 BHC、DDT 生物浓缩分析[J]. *环境科学*, 1997, **18**(5): 41-43.
- [18] 张祖麟, 陈伟琪, 哈里德, 等. 九龙江口水体中有机氯农药分布特征及归宿[J]. *环境科学*, 2001, **22**(3): 88-92.
- [19] 杨清书, 麦碧娴, 傅家谟, 等. 珠江干流河口水体有机氯农药的时空分布特征[J]. *环境科学*, 2004, **25**(2): 150-156.
- [20] 夏凡, 胡雄星, 韩中豪, 等. 黄浦江表层水体中有机氯农药的分布特征[J]. *环境科学研究*, 2006, **19**(2): 11-15.
- [21] 胡雄星, 夏德祥, 韩中豪, 等. 苏州河水及沉积物中有机氯农药的分布与归宿[J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(1): 124-128.
- [22] 邢新丽, 祁士华, 张凯, 等. 地形和季节变化对有机氯农药分布特征的影响——以四川省成都经济区为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, **18**(10): 985-991.
- [23] GB 2763-2012, 食品安全国家标准食品中农药最大残留限量[S].
- [24] GB 3097-1997, 中华人民共和国国家标准海水水质标准[S].
- [25] Buser H R, Mueller M D. Isomer and enantioselective degradation of hexachlorocyclohexane isomers in sewage sludge under anaerobic conditions [J]. *Environmental Science & Technology*, 1995, **29**(3): 664-672.
- [26] Law S A, Diamond M L, Helm P A, *et al.* Factors affecting the occurrence and enantiomeric degradation of hexachlorocyclohexane isomers in northern and temperate aquatic systems[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, **20**(12): 2690-2698.
- [27] Hong H S, Chen W Q, Xu L, *et al.* Distribution and fate of organochlorine pollutants in the Pearl River Estuary[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, **39**(1-2): 376-382.
- [28] Wang Y W, Wang T, Li A, *et al.* Selection of bioindicators of polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, and organochlorine pesticides in mollusks in the Chinese Bohai Sea [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(19): 7159-7165.
- [29] Kim S K, Oh J R, Shim W J, *et al.* Geographical distribution

- and accumulation features of organochlorine residues in bivalves from coastal areas of South Korea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, **45**(1-2): 268-279.
- [30] Wang J T, Tan L J, Zhang W H, *et al.* Concentrations and distribution characteristic of PAHs, PCBs and OCPs in the surface sediments of Qingtao Coastal Area[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2010, **31**(11): 2713-2722.
- [31] Qiu X H, Zhu T, Yao B, *et al.* Contribution of dicofol to the current DDT pollution in China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(12): 4385-4390.
- [32] Chen W Q, Zhang L P, Xu L, *et al.* Residue levels of HCHs, DDTs and PCBs in shellfish from coastal areas of east Xiamen Island and Minjiang Estuary, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, **45**(1-12): 385-390.
- [33] 周名江, 颜天, 邹景忠. 长江口邻近海域赤潮发生区基本特征初探[J]. *应用生态学报*, 2003, **14**(7): 1030-1038.
- [34] 寿玮玮, 吴建政, 胡日军, 等. 舟山群岛附近海域三维水动力数值模拟[J]. *海洋地质动态*, 2009, **25**(11): 1-9.
- [35] Jiang Q T, Lee T K M, Chen K, *et al.* Human health risk assessment of organochlorines associated with fish consumption in a coastal city in China[J]. *Environmental Pollution*, 2005, **136**(1): 155-165.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2014年9月26日,中国科技论文统计结果发布会在北京举行,会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单。《环境科学》连续13次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号。“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定。该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析,对期刊分学科进行评比,其评价结果客观公正,为我国科技界公认,并具有广泛影响。

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 Wenritang 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