

# 厦门西港表层沉积物中有机氯化化合物的污染特征及变化趋势

张祖麟<sup>1</sup>, 洪华生<sup>1</sup>, 哈里德<sup>1</sup>, 周俊良<sup>2</sup>, 陈伟琪<sup>1</sup>, 徐立<sup>1</sup> (1. 海洋环境科学教育部重点实验室, 厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005; 2. School of Chemistry, Physics and Environmental Science, University of Sussex, UK)

**摘要:** 利用 GC-ECD 对厦门西港 1998 年 7 月取得的 8 个站位表层沉积物中的 18 种有机氯农药(HCHs, DDTs)等和 12 种多氯联苯(PCBs)进行分析. 其中有有机氯农药的浓度范围 ND(未检测出)—0.58 ng/g(其中 HCHs 和 DDTs 的含量分别为 ND—0.14 ng/g 与 ND—0.06 ng/g), 多氯联苯的浓度为 ND—0.32 ng/g, 与 1986、1993 年的厦门西港的分析结果相比较, 污染程度明显降低; 说明近年来的厦门的有机污染得到逐步控制, 也与有机物随时间推移逐渐降解有关, 分析表明多氯联苯和有机氯农药在厦门西港有着相似的分布特征.

**关键词:** 厦门西港; 有机氯化化合物; 沉积物; 趋势

## The trends and characteristics of organochlorines pollution in surface sediments of Xiamen Western Bay

ZHANG Zulin<sup>1</sup>, HONG Huasheng<sup>1</sup>, KHALID Maskaoui<sup>1</sup>, ZHOU Junliang<sup>2</sup>, CHEN Weiqi<sup>1</sup>, XU Li<sup>1</sup>  
(1. Key Lab. of Marine Environmental Science of Ministry of Education, Xiamen University, Xiamen 361005; Environmental Science Research Centre, Xiamen University, Xiamen 361005; 2. School of Chemistry, Physics and Environmental Science, University of Sussex, UK)

**Abstract:** The contents of 18 organochlorine pesticides and 12 polychlorinated biphenyls(PCBs) in surface sediments from Xiamen Western Bay were analyzed by GC-ECD. The range of organochlorine pesticides was ND—0.58 ng/g, and the PCBs were ND—0.32 ng/g. Compared with the results of Xiamen Harbor in 1986 and 1993 it showed that the pollution of organochlorines decreased gradually along the time in Xiamen Harbor became and the contamination was more slightly than that of other Harbors or Estuaries. At the same time, it was found that the geological distributions of organochlorine pesticides and PCBs, also the HCHs and DDTs were similar to each other, which indicated that the pollution was caused by a same source.

**Keywords:** Xiamen Western Bay; organochlorine compounds; sediment; trend

有机氯农药(如六六六(HCHs)、滴滴涕(DDTs)等)和多氯联苯(PCBs), 由于其本身存在的毒性作用并且在环境中难以降解, 通过食物链的传递对生物及人类健康造成极大的威胁, 故其中多种有机氯污染物被美国 EPA 列为优先污染物. 本文对厦门西港表层沉积物中的有机氯污染物进行了调查研究, 并与 1986、1993 年厦门西港的调查结果<sup>[1-2]</sup> 以及世界其他海区、港湾的污染结果相比较, 初步探讨近年来厦门港的有机氯污染情况以及其目前所处的污染水平, 并对其污染的可能来源作了分析.

收稿日期: 1999-10-11; 修订日期: 2000-03-28

作者简介: 张祖麟(1975—), 男, 博士研究生

©1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

### 1 采样和分析方法

采样站位见图 1. 厦门西港 1 号和 8 号站分别为湾口和河口, 3 号站为市区排污口外侧, 2 号站为活动较为频繁的轮渡码头附近, 4 号和 7 号站分别为港区和主航道, 5、6 号站为内港, 采样时间

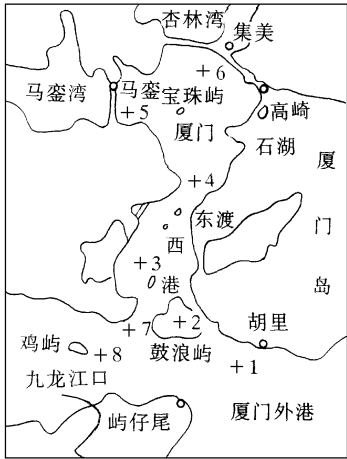


图 1 采样站位图  
Fig. 1 Sampling stations

时间为 1998 年 7 月 20 日. 表层沉积物样品用抓斗采样器采集, 6 h 内送回实验室冷冻, 样品经冷冻干燥后, 研磨过 80 目筛, 取小于 80 目部分进行化学分析. 准确称量 10 g 左右冷冻干燥后的沉积物干样, 置于锥形瓶中, 加入 60 mL 环己烷, 超声萃取 20 min, 静置分层后吸取出上清液部分, 再往沉积物中加入环己烷重复萃取一次, 合并两次萃取液部分, 萃取液全部在 N<sub>2</sub> 气流下吹至 0.5 mL 过 5 mL 硅胶柱 (450 °C 灼烧, 加水去活化, 用 10 mL 正己烷淋洗出烷烃, 10 mL 苯淋洗出 PAHs, 10 mL 二氯甲烷淋洗出多氯联苯和有机氯农药部分). 淋洗液用 N<sub>2</sub> 气流吹至 100 μL 作色谱分析<sup>[1-3]</sup>. 该方法的检测限可达 0.01 ppb, 回收率在 80%—105%, 相对标准偏差小于 20%<sup>[4]</sup>.

仪器设置参数: HP5890 II 气相色谱仪, ECD 检测器; 色谱柱: 50 m×0.22 mm×0.25 μm, BPX-5 毛细管柱; 初始炉温: 60 °C (稳定 2 min), 进样口温度 250 °C, 检测器 B 温度 330 °C; 程序升温: 60—140 °C, (20 °C/min); 140—236 °C/min, (3.0 °C/min); 236—290 °C/min, (4.0 °C/min); 恒温 1 min. 载气: 高纯氮; 进样量: HP7673 自动进样器无分流进样 1 μL; 运行时间 51.5 min; 数据采集与处理使用: HP3365 化学工作站<sup>[1, 2]</sup>.

### 2 结果与讨论

#### 2.1 沉积物中多氯联苯 (PCBs) 的研究

厦门西港表层沉积物中多氯联苯 (PCBs) 含量列于表 1. 各站位的 PCBs 总量分布如图 2 所示. PCBs 的含量为 ND—0.32 ng/g, 含量最高的是市区排污口外侧 (0.32 ng/g), 人类活动较为频繁的 2 号站、河口 8 号站及港区 4 号站含量相对较低 (0.13 和 0.08 ng/g), 内港养殖区 (5、6 号站) 与湾口 (1 号站) 含量很低, 甚至检测不到. 足见 PCBs 主要是来自人类活动排放工业固体废物 (如电容器的渗漏液) 引起的<sup>[7]</sup>.

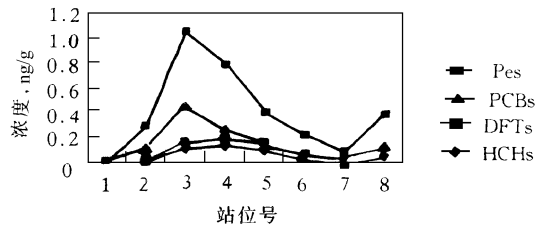


图 2 厦门港 Pes, PCBs, DDTs, HCHs 含量分布  
Fig. 2 The distribution of Pes, PCBs, DDTs, HCHs

与 1993 年厦门港的调查结果<sup>[2]</sup> (沉积物中 PCBs 含量为 0.05—7.24 ng/g) 相比较, 各个站位 PCBs 的污染水平都有所降低. 如市区排污口 3 号站的沉积物中 PCBs 的含量, 比 1993 年的低一个数量级, 其余各站类似都有或多或少的降低, 可能是由于近年来含多氯联苯的工业废弃物的排放得到了控制和环境中 PCBs 发生降解的缘故<sup>[8]</sup>.

表 1 沉积物中多氯联苯的浓度(ng/g)

Table 1 The concentrations of PCBs in sediment(ng/g)

样号	CB18	CB31+28	CB52	CB44	CB101	CB149	CB118	CB153	CB138	CB180	CB194	ΣPCBs
1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	0.01	0.09	ND	ND	ND	0.01	ND	0.02	0.13
3	ND	ND	0.27	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	ND	ND	0.32
4	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	0.04	ND	ND	ND	ND	0.06
5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01
7	ND	ND	ND	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	0.01	0.03
8	0.02	ND	ND	0.01	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	0.04	0.08

ND: 表示未检测出来

对沉积物中的 12 种 PCBs 进行测定, 检出的主要是含 4—5 氯的中氯联苯, 占总多氯联苯含量的 80% 左右, 其它低氯和高氯联苯的含量相对较少, 与 1993 年的分析结果相比较, 基本一致. 但 8-氯联苯的检出说明可能有新的污染源存在.

与香港沉积物中 PCBs 的含量 43—461 ng/g<sup>[3]</sup>、珠江三角洲沉积物中 PCBs 含量 10.36—485.45 ng/g<sup>[4]</sup> 以及波罗的海西部沉积物中 PCBs 含量 0.13—16.3 ng/g<sup>[5]</sup> 相比较, 厦门西港 PCBs(0.05—7.24 ng/g) 的污染水平明显较低.

## 2.2 沉积物中有机氯农药的研究

第一次全面的在厦门港对有机氯农药 18 种组分进行了分析. 各个站位沉积物中有机氯农药的总含量为 ND—0.58 ng/g(见表 2), 各站位含量分布如图 2. 市区排污口的 3 号站与港区 4 号站含量相对较高, 其他养殖区内港、湾口河口及航道的含量相对较低. 呈靠近市区浓度高于或接近农村的分布特征.

表 2 沉积物中农药的浓度

Table 3 The concentration of insecticides in sediment (ng/g)

	1	2	3	4	5	6	7	8
α-HCH	ND	ND	0.02	0.07	ND	ND	ND	ND
γ-HCH	ND	ND	0.03	0.05	ND	0.04	ND	0.04
β-HCH	ND	ND	0.06	0.02	ND	ND	ND	ND
Heptachlor	ND	ND	0.14	0.05	ND	ND	ND	ND
δ-HCH	ND	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	0.02
Aldrin	ND	ND	0.10	0.04	ND	ND	ND	0.03
Hepachlor epoxide	ND	ND	0.01	0.01	0.01	0.01	ND	0.03
Endosulfan I	ND	ND	0.01	0.01	0.01	ND	ND	ND
4, 4'-DDE	ND	ND	0.01	0.02	0.04	0.01	ND	ND
Dieldrin	ND	0.02	0.03	0.02	ND	0.01	ND	ND
Endrin	ND	0.02	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
4, 4'-DDD	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND
Endosulfan II	ND	0.04	0.01	0.03	0.01	ND	ND	0.02
4, 4'-DDT	ND	ND	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	ND
Endrin aldehyde	ND	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03
Endosulfan sulphate	ND	ND	0.02	0.05	ND	ND	ND	ND
Methoxychlor	ND	ND	0.01	0.05	ND	ND	ND	ND
Endrin ketone	ND	0.02	ND	0.01	ND	0.03	ND	0.05
ΣPest	ND	0.16	0.58	0.54	0.25	0.16	0.06	0.26

ND: 表示未检测出来

HCHs( $\Sigma\alpha$ -HCH、 $\gamma$ -HCH、 $\beta$ -HCH、 $\delta$ -HCH)和 DDTs( $\Sigma$ 4, 4'-DDT、4, 4-DDD、4, 4'-DDE)的含量分别在 ND—0.14 ng/g 与 ND—0.06 ng/g, 其含量分布也呈市区相对较高, 其余各站含量相对较低。5 号靠近内港养殖区的这一站例外。与 1993 年的调查结果<sup>[2]</sup>的来源分析基本一致, 即市区附近含量偏高, 而靠近农村的相对较低, 可见近年来有机氯农药的污染, 农村地区输入相对较少, 而城市地区却可能有新的污染来源<sup>[2]</sup>。

以各站位 HCHs 和 DDTs 的总量求平均, 得  $\alpha$ -HCH、 $\beta$ -HCH、 $\gamma$ -HCH、 $\delta$ -HCH 与 DDT、DDE、DDD 在厦门西港表层沉积物中的含量分布。发现 HCHs 在厦门西港沉积物中的含量顺序是  $\gamma > \delta > \alpha > \beta$ , 即 HCHs 中林丹( $\gamma$ -HCH)在厦门西港的污染相对较高。DDTs 的含量顺序为 DDT > DDE > DDD, 即 DDT 略大于 DDE 的含量, 而 DDE 大于 DDD 的含量, 表明在厦门西港表层沉积物中的 DDTs 主要降解为相对稳定的 DDE 形式存在, 且 DDT/DDTs 的含量特征与 1993 年张珞平报道的结果相似, 可能有新的污染源<sup>[3]</sup>。

18 种有机氯农药在厦门西港表层沉积物中的含量特征以异狄氏剂(Endrin)、乙醛异狄氏剂(Endrin Aldehyde)、七氯(Heptachlor)、艾氏剂(Aldrin)、林丹( $\gamma$ -HCH)这五种农药为主, 占总农药含量的 50%。其含量顺序为 Endrin > Endrin Aldehyde > Heptachlor > Aldrin >  $\gamma$ -HCH, 这可能是由于自 1983 年我国禁止 DDTs 和 HCHs 的生产使用以来, 除了林丹外, 有机氯农药 DDTs 和 HCHs 的使用已被异狄氏剂(Endrin)、乙醛异狄氏剂(Endrin Aldehyde)、七氯(Heptachlor)等所取代。

与世界其他海域、河流的沉积物中 HCHs 和 DDTs 相比较(如香港沉积物中 HCHs 含量 0.05—2.07 ng/g, DDTs 含量是 2.82—8.63 ng/g<sup>[3]</sup>, 印度 Kaveri 河沉积物中的 HCHs 与 DDTs 的含量分别为 4.35—158.4 ng/g、0.69—4.85 ng/g<sup>[6]</sup>, 以及珠江三角洲沉积物中 HCHs、DDTs 含量分别为 1.18—17.04 ng/g 和 4.94—90.99 ng/g<sup>[4]</sup>), 厦门港表层沉积物中 HCHs 与 DDTs 的含量(ND—0.14 ng/g 与 ND—0.06 ng/g)明显很低。

1986、1993、1998 年厦门港沉积物中 HCHs 和 DDTs 的调查结果列于表 3, 1986 年厦门港沉积物中 HCHs 的含量为 1.5—27 ng/g, 中位值为 11 ng/g<sup>[1]</sup>, 1993 年厦门港沉积物中 HCHs 含量 0.14—1.12 ng/g, 均值为 0.45 ng/g<sup>[2]</sup>, 1998 年的 HCHs 含量为 ND—0.45 ng/g, 均值为 0.056 ng/g; 其变化趋势如图 3, 可见从八十年代到九十年代厦门港 HCHs 的污染水平呈降低趋势。同样从表 3 可以看出, DDTs 在 1986、1993(剔除 2 号站一个异常点)及 1998 年在厦门港沉积物中的含量与均值(或中位值)分别为 4.7—94 ng/g 与 23 ng/g、4.45—17.4 ng/g 与 9.27 ng/g、ND—0.06 ng/g 与 0.025 ng/g; DDTs 的污染含量从 1986、1993 到 1998 呈不断降低的趋势。说明近年 HCHs 和 DDTs 的应用和排放得到了严格的控制, 同时环境中有机氯农药也在不断的发生降解。

表 3 厦门港沉积物中 HCHs 和 DDTs 在 1986、1993 与 1998 年的浓度 (ng/g)

Table 3 The concentration of HCHs and DDTs in Sediments in 1986, 1993 1998(ng/g)

	含量范围			平均值		
	1986	1993	1998	1986	1993	1998
HCHs	1.5—27	0.14—1.12	ND—0.45	11	0.45	0.056
DDTs	4.7—94	4.45—17.4	ND—0.06	23	9.27	0.025

从图 2 中可以看出, 有机氯农药(Pes)和多氯联苯(PCBs)在厦门西港沉积物中的总浓度

含量有一定的相关性, 它们的分布趋势基本一致, 表示厦门西港表层沉积物中有机氯农药与多氯联苯具有相似的来源, 即都主要来自城市地区. 同样, 图 2 中 HCHs 与 DDTs 的相关性也说明了二者在厦门港中也同样具有类似的地理分布特征, 表明厦门西港沉积物中的 HCHs 与 DDTs 具有共同的来源.

### 3 结论

(1) 对厦门西港表层沉积物中的 18 种有机氯农药和 12 种多氯联苯进行检测分析, 结果表明与世界其他海区、河流相比, 厦门港的有机氯污染程度相对较轻.

(2) 有机氯农药在厦门西港沉积物中的分布特征是以异狄氏剂、乙醛异狄氏剂、七氯、艾氏剂、林丹等为主, 占总农药含量的 50%, HCHs 的含量顺序是  $\gamma > \delta > \alpha > \beta$ , 即六六六中林丹 ( $\gamma$ -HCH) 在厦门西港的污染含量相对较高. DDTs 的含量顺序为  $DDT > DDE > DDD$ , 即厦门洪有机氯农药污染港为异狄氏剂等占优势, DDT 在沉积物中的降解产物主要为 DDE. 但总体有机氯农药污染水平较低. PCBs 主要以 4—5 氯联苯为主, 8-氯联苯的检出说明近年有新的污染源.

(3) 通过 1986、1993 与 1998 年的数据比较可知, 厦门港的有机氯污染呈降低趋势.

(4) 多氯联苯和有机氯农药、HCHs 和 DDTs 的相关性说明: 多氯联苯和有机氯农药、HCHs 和 DDTs 在厦门港的总体上有着相似的分布特征, 表示它们有着相近或相似的污染源, 且主要来自市区.

### 参考文献:

- [1] 陈淑美, 等. 厦门港湾表层沉积物 BHC 和 DDT 含量的分布[J]. 台湾海峡, 1986, 5(1): 32—37
- [2] 张珞平, 等. 厦门西港表层沉积物中 DDTs, HCHs 和 PCBs 的含量和分布[J]. 热带海洋, 1996, 15(1): 1—5
- [3] H Y Zhou, *et al.* Residues of organochlorines in sediments and Tilapia collected from inland water systems of Hong Kong [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1999, 36(4): 424—431
- [4] 傅家谟, 等. 珠江三角洲及澳门内港沉积物中毒害有机化合物初步研究[A]. 见: 王志石主编, 第一届澳门环境与城市发展研讨会科学论文集[C]. 澳门基金会出版, 1999, 93—102
- [5] Dannenberger D, *et al.* Levels and Patterns of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in surface sediments from the Western Baltic Sea (Arkona Basin) and the Oder River Estuarine System [J]. Marine Pollution Bulletin, 1997, 34(12): 1016—1024
- [6] Rajendran R B, *et al.* Chlorinated pesticide residues in surface sediments from the River Kaveri, South India [J]. Journal of Environmental Science and Health Part B—Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes, 1999, 34(2): 269—288
- [7] Hong H, *et al.* Environmental fate and chemistry of organic pollutants in the sediment of Xiamen and Victoria Harbours [J]. Marine Pollution Bulletin, 1995, 31(4—12): 229—236
- [8] 张珞平, 等. 香港维多利亚港表层沉积物有机氯农药和多氯联苯的含量和分布[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1994, 33(5): 731—733
- [9] 陈伟琪, 等. 沉积物(土壤)中有机氯农药和多氯联苯的测定[J]. 福建环境, 1995, 12(3): 30—32

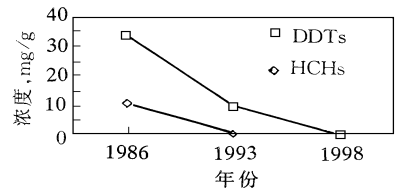


图 3 DDTs 和 HCHs 的年际变化

Fig. 3 The variation of DDTs and HCHs