

# 海河与渤海湾水体中溶解态多氯联苯和有机氯农药污染状况调查

王泰<sup>1</sup>, 张祖麟<sup>1</sup>, 黄俊<sup>1</sup>, 胡洪营<sup>1</sup>, 余刚<sup>1\*</sup>, 李发生<sup>2</sup>

(1. 清华大学环境科学与工程系持久性有机污染物研究中心, 北京 100084; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:** 在夏季对海河与渤海湾表层水中溶解态的多氯联苯(PCBs)和有机氯农药(OCPs)的污染状况进行了调查. 结果表明, 海河和渤海湾表层水中 PCBs、六六六和滴滴涕的含量分别为  $0.06 \sim 3.11 \mu\text{g/L}$ 、 $0.05 \sim 1.07 \mu\text{g/L}$  和  $0.01 \sim 0.15 \mu\text{g/L}$ . 海河干流流域内的工业废水排放等陆源输入可能是渤海湾中 PCBs 和 OCPs 的重要来源. 研究表明该地区 PCBs 与水中的 DOC(dissolved organic carbon)具有一定的正相关. 与国内外类似水体相比, 海河中 PCBs 和 OCPs 污染情况较为严重, 而渤海湾则处于中等水平.

**关键词:** 多氯联苯; 有机氯农药; 海河; 渤海湾; 持久性有机污染物

中图分类号: X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)04-0730-06

## Occurrence of Dissolved Polychlorinated Biphenyls and Organic Chlorinated Pesticides in the Surface Water of Haihe River and Bohai Bay, China

WANG Tai<sup>1</sup>, ZHANG Zu-lin<sup>1</sup>, HUANG Jun<sup>1</sup>, HU Hong-ying<sup>1</sup>, YU Gang<sup>1</sup>, LI Fa-sheng<sup>2</sup>

(1. POPs Research Centre, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Polychlorinated biphenyls (PCBs), hexachlorocyclohexanes (HCHs) and dichlorodiphenyl-trichloroethanes (DDTs) were analyzed in the surface water of Haihe River and Bohai Bay, in north of China. Concentrations of PCBs, HCHs and DDTs were  $0.31 \sim 3.11 \mu\text{g/L}$ ,  $0.30 \sim 1.07 \mu\text{g/L}$  and  $0.02 \sim 0.15 \mu\text{g/L}$  in river, and in sea were  $0.06 \sim 0.70 \mu\text{g/L}$ ,  $0.05 \sim 0.75 \mu\text{g/L}$  and  $0.01 \sim 0.11 \mu\text{g/L}$  respectively. Mostly, the PCBs, HCHs and DDTs in the Bohai Bay are from terrestrial input by Haihe River. PCBs and organic chlorinated pesticides (OCPs) are positively correlated with DOC (dissolved organic carbon). The levels of PCBs and OCPs in Haihe River in this study are quite higher than the similar surface waters in China, while the levels in Bohai Bay are quite consistent with similar waters abroad.

**Key words:** polychlorinated biphenyls; organic chlorinated pesticides; Haihe River; Bohai Bay; persistent organic pollutants (POPs)

持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)具有致癌、致畸、致突变等“三致”效应和遗传毒性,能干扰人体内分泌系统、引起“雌性化”现象,并且在全球范围的各种环境介质以及动植物和人体中广泛存在,引起了各国政府、学术界、工业界和公众的广泛关注.《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》中首批控制的 12 种(类)POPs 中,1 种是多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs),属于精细化化工产品;有 9 种是有机氯农药(organic chlorinated pesticides, OCPs);而多氯代二苯并二噁英和多氯代二苯并呋喃(PCDDs/PCDFs)则属于一些工业和生活过程中非故意产生的污染物<sup>[1]</sup>.

PCBs 是 1 类以联苯为原料,在金属催化剂的作用下,经高温氯化生成的氯代芳烃.由于具有良好的化学惰性、耐热性、不可燃性以及低蒸气压和高介电常数等特点,广泛用作电力设备(如变压器、电容器等)的绝缘介质、油漆、塑料及无碳复写纸的添加剂等.PCBs 的商业生产开始于 1930 年,1977 年后各国陆续停产,全世界共生产 PCBs 近 100 万 t.我国于

1965 年开始生产 PCBs,到 20 世纪 80 年代初基本停止生产,估计历年累计产量近万 t<sup>[2]</sup>.

我国曾大量生产和使用过 DDT、毒杀芬、六氯苯、氯丹和七氯等农药.累计施用 DDT 约 40 多万 t,占国际用量的 20%.目前我国尚保留 DDT 农药登记和六氯苯的生产.前者主要用于生产农药三氯杀螨醇的原料,后者主要用于生产农药五氯酚和五氯酚钠<sup>[3]</sup>.而在农业上使用的农药,一般只有约 10%~20%附着在作物上,其余 80%~90%都流失到土壤、空气和水体中<sup>[4]</sup>,对环境污染和人体的危害都很大.

由于 PCBs 和 OCPs 在我国历史上的大量生产和使用,它们在各个环境介质中广泛存在,对生态系统和人体健康构成严重威胁.系统研究典型区域中这些污染物的环境存在,是弄清污染现状和分析环境风险的基础.本调查选取受有机污染较为严重的海

收稿日期: 2006-06-22; 修订日期: 2006-08-05

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB415007); 国家自然科学基金项目(40406021, 20577025)

作者简介: 王泰(1979~),男,博士研究生,主要研究方向为水体和沉积物环境, E-mail: wangtai02@mails.tsinghua.edu.cn

\* 通讯联系人, E-mail: yg-den@tsinghua.edu.cn

河至渤海湾区域的水体为研究对象,系统研究了溶解态的 12 种 PCBs 和 18 种 OCPs 的含量分布,分析其来源及污染水平状况.

1 材料与方法

1.1 区域背景

海河流域地处我国北方,跨 8 个省、自治区、直辖市,流域面积 31.8 万 km<sup>2</sup>,流域人口 1.176 亿,是我国的七大水系之一<sup>[5]</sup>.海河水系包括蓟运河、潮白河、北运河、永定河、大清河、子牙河、漳卫南运河等 7 条河流,干流起点为天津城区的三岔口,向东汇入渤海,全长 73km.流域内夏季高温多雨,地表径流量大;冬春季节为枯水期;秋季为过渡季节.经济社会的高速发展使海河与渤海地区污染加重.大部分近岸海域污染较重,海水水质为Ⅲ类和超Ⅲ类<sup>[6]</sup>.有研究指出,陆源污染物是渤海近岸海域的主要污染源,约占入海污染物总量的 87%;而陆源污染物中,经由入海河口排入的约占总量的 95%,污染物主要来源于流域内的生活污水和工业废水<sup>[7]</sup>.为了探讨河流输入污染物对近岸海域海水水质的影响,本调查选定的研究区域包括海河干流至渤海湾近岸海域,全长约 150 km.

1.2 样品采集

样品采集于 2004-08.用自制采水器采集海河与渤海湾表层(距离水面 0.5 m)水样,采样点位如图 1 所示.其中海河干流为 1~11 号点位,海河入海口和渤海湾从 12~21 号点位,采样点跨度 150 km.水样置于棕色磨口玻璃瓶中,立即运往实验室处理.水样经玻璃纤维滤膜(47mm GF/F, 0.7 μm, 美国 Millipore 公司,用前在 450℃下焙烧 4 h)过滤,于 4℃保存,待进一步处理.

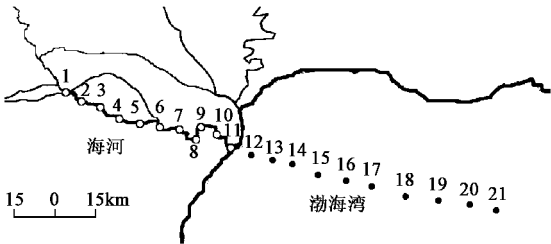


图 1 采样点示意  
Fig.1 Map of sampling

1.3 试剂

PCBs 混标(Supelco CEN PCB Congener Mix 1)包括 12 种三氯到八氯取代的 PCBs: PCB18、PCB28、

PCB31、PCB44、PCB52、PCB101、PCB118、PCB138、PCB149、PCB153、PCB180、PCB194. OCPs (TCL Pesticide Mix, Supelco)混标包括 18 种有机氯农药组分,分别为 aldrin; α、β、γ 和 δ 4 种异构体 HCH; 4,4'-DDD、4,4'-DDE、4,4'-DDT; dieldrin、endosulfan I、endosulfan II、endosulfan sulfate; endrin、endrin aldehyde、endrin ketone; heptachlor、heptachlor epoxide (isomer B); methoxychlor. PCB209(2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Decachlorobiphenyl C-209N, AccuStandard). 甲醇和乙酸乙酯纯度为 HPLC 级(Dikma). 固相萃取柱(ENV-18, Supelco)为 500 mg, 6 mL 小柱.

1.4 样品预处理

水样经 GF/F 滤膜过滤,取 20 mL 用总有机碳分析仪(Shimadzu 公司, Total Organic Carbon Analyzer, TOC5000A)测定溶解性有机碳(dissolved organic carbon, DOC)含量;过滤后的 1 L 水样加入内标(PCB209),进行固相萃取,具体步骤为:用 10 mL 甲醇对固相萃取小柱进行活化后过 10 mL 高纯水,之后水样以大约 5 mL/min 流速经过 SPE 柱,将此固相萃取小柱冷冻干燥过夜(Labconco 冷冻干燥系统/Freezone<sup>®</sup> 4.5, Labconco 公司)以完全除去水分,用 15 mL 乙酸乙酯以 1~2 mL/min 的流速洗脱,然后用微弱高纯氮气流将洗脱液浓缩到 1.0 mL,用 GC/μECD 分析.

1.5 分析条件

采用配有电子捕获检测器的气相色谱(Agilent 6890 Plus Series GC-μECD)对 18 种 OCPs 和 12 种 PCBs 进行定量分析,色谱条件为:HP-5 毛细管色谱柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm);载气为高纯氮气;无分流进样(进样量 1 μL);进样口和检测器温度分别为 250℃和 300℃,初始炉温 35℃,稳定 1 min,程序升温:35~105℃(10℃/min),恒温 2 min;105~125℃(1℃/min),恒温 2 min;125~140℃(10℃/min),恒温 2 min;140~230℃(1℃/min);230~260℃(10℃/min),恒温 10 min.整个升温过程共 138.5 min.采用内标法定量,加标回收率为 99.5%,相对标准偏差为 9.8%.目标污染物的回收率为 70%~110%,相对标准偏差在 11.8%~24.9%.整个方法检测限为 0.7~3.3 ng/L.在样品分析过程中,每隔 10 个样品,进溶剂空白、标准溶液以及过程空白,进行 QA/QC 控制.

2 结果与讨论

2.1 海河与渤海湾中 PCBs 的浓度分布

海河与渤海湾中不同点位 PCBs 的分布如图 2 所示. 由图 2 可知, 海河的点位(1 ~ 11)中, 12 种 PCBs 的总浓度为 0.31 ~ 3.11  $\mu\text{g/L}$ (平均值是 0.76  $\mu\text{g/L}$ ); 而渤海湾点位(12 ~ 21)中, PCBs 的总浓度为 0.06 ~ 0.71  $\mu\text{g/L}$ (平均值是 0.21  $\mu\text{g/L}$ ). 渤海湾中的 PCBs 浓度明显低于海河, 表明陆源输入是渤海湾中 PCBs 主要来源.

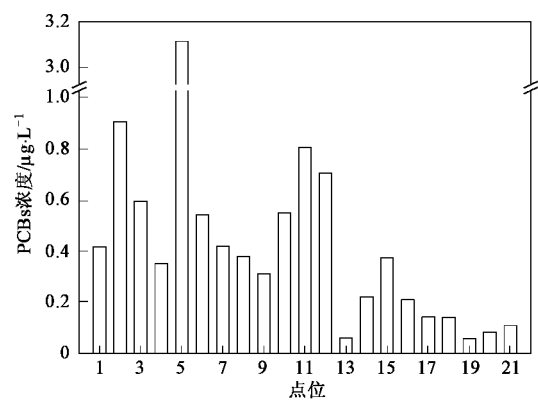


图 2 海河与渤海湾中 PCBs 的分布  
Fig.2 PCBs levels with sampling sites

在所检测的 12 种 PCBs 中, 包括了 ICES (International Council for Exploration of the Seas)推荐作为评价海洋污染的 6 种三至七氯取代的多氯联苯系列: PCB28、PCB52、PCB101、PCB138、PCB153 和 PCB180<sup>[8, 9]</sup>. 检出的 PCBs 中, 三、四氯取代的 PCBs 占了大部分. 如图 3 所示, 大部分点位(除 16、17、18 3 个点位外)检出的三、四氯取代 PCBs 占 12 种 PCBs 的 50% 以上.

目前环境中的 PCBs 主要来自于变压器油等 PCBs 制品以及焚烧炉和有氯化氧化的工艺过程(如

造纸漂白或脱油墨工艺). 研究表明, 造纸漂白过程<sup>[10]</sup>和焚烧炉排放<sup>[11]</sup>所产生的 PCBs 以低氯取代物为主, 而变压器油污染物中的高氯取代物较多. 海河与渤海湾水体中 PCBs 的分布特征表明, 该流域周围化工企业排放的污水可能是水中 PCBs 的主要来源.

由于我国的地表水环境标准中没有 PCBs 的相关规定, 参考美国环保局的相关标准, PCBs 在淡水和海水中的标准分别为 0.014  $\mu\text{g/L}$ 和 0.03  $\mu\text{g/L}$ , 研究区域内水体中的 PCBs 浓度远超过美国环保局的标准.

2.2 海河与渤海湾中 OCPs 的浓度分布

海河与渤海湾中不同点位 HCHs 的分布如图 4 所示, HCHs 浓度为  $\alpha$ -HCH、 $\beta$ -HCH、 $\gamma$ -HCH 和  $\delta$ -HCH 4 种异构体的浓度之和. HCHs 在海河与渤海湾中的浓度范围分别为 0.30 ~ 1.07  $\mu\text{g/L}$ (平均值 0.66  $\mu\text{g/L}$ )和 0.05 ~ 0.75  $\mu\text{g/L}$ (平均值 0.16  $\mu\text{g/L}$ ).

历史上, HCHs 曾以 2 种形态被使用, 1 种是含有 4 种异构体的工业品六六六, 其含量分为  $\alpha$ -HCH (65% ~ 70%)、 $\gamma$ -HCH (12% ~ 14%)、 $\delta$ -HCH (6%)、 $\beta$ -HCH (5% ~ 6%)<sup>[12]</sup>. 另 1 种俗称林丹 (Lindane),  $\gamma$ -HCH 含量达 99% 以上. 研究表明, 4 种异构体中  $\beta$ -HCH 结构最为稳定, 难以降解<sup>[13]</sup>, HCHs 在环境中存在的越久,  $\beta$ 异构体的比例越高. 海河点位(1 ~ 11)中,  $\alpha$ -HCH 的百分含量呈上升趋势, 其中 9 号点是最高值, 其原因可能是由于 9 号点附近有新的 HCHs 输入源, 而渤海湾点位(12 ~ 21)中, ( $\beta$ -HCH +  $\gamma$ -HCH)的百分含量占了绝大部分 (> 90%), 而  $\alpha$ -HCH 的百分含量几乎为 0, 表明渤海湾中的 HCHs 主要以早期残留为主.

海河与渤海湾中不同点位 DDTs 的分布如图 5

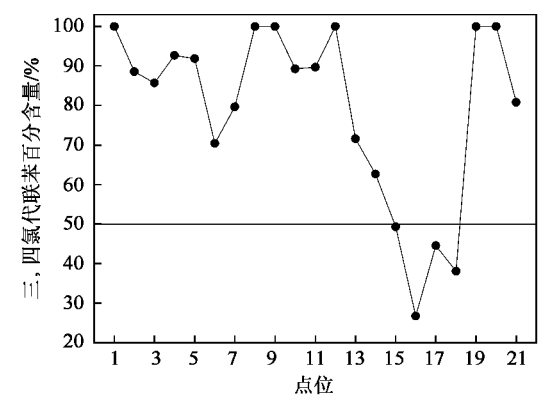


图 3 三、四氯取代联苯所占百分比  
Fig.3 Percents of tri-CB and tetra-CB

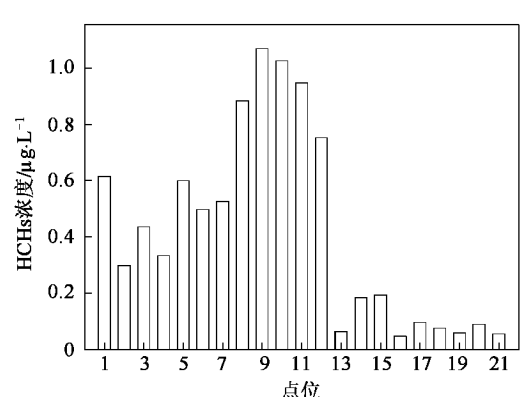


图 4 海河与渤海湾中 HCHs 的分布  
Fig.4 HCHs levels with sampling sites

表 1 各点位 HCHs 和 DDTs 浓度<sup>1)</sup>/μg·L<sup>-1</sup>  
Table 1 Concentrations of HCHs and DDTs with sampling sites/μg·L<sup>-1</sup>

| 点位 | α-HCH | (β + γ)-HCH | δ-HCH | 4,4'-DDE | 4,4'-DDD | 4,4'-DDT |
|----|-------|-------------|-------|----------|----------|----------|
| 1  | 0.075 | 0.30        | 0.24  | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 2  | 0.035 | 0.15        | 0.11  | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 3  | 0.038 | 0.29        | 0.11  | n. d.    | 0.020    | n. d.    |
| 4  | 0.046 | 0.15        | 0.14  | n. d.    | 0.023    | n. d.    |
| 5  | 0.065 | 0.37        | 0.17  | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 6  | 0.093 | 0.28        | 0.12  | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 7  | 0.11  | 0.29        | 0.13  | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 8  | 0.23  | 0.44        | 0.22  | n. d.    | n. d.    | 0.14     |
| 9  | 0.32  | 0.48        | 0.27  | n. d.    | n. d.    | 0.11     |
| 10 | 0.25  | 0.42        | 0.36  | n. d.    | n. d.    | 0.10     |
| 11 | 0.20  | 0.43        | 0.32  | n. d.    | 0.008    | 0.14     |
| 12 | 0.009 | 0.480       | 0.26  | 0.049    | 0.056    | n. d.    |
| 13 | 0.001 | 0.062       | n. d. | n. d.    | n. d.    | 0.023    |
| 14 | 0.001 | 0.180       | n. d. | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 15 | n. d. | 0.190       | n. d. | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 16 | n. d. | 0.047       | n. d. | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 17 | n. d. | 0.096       | n. d. | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 18 | n. d. | 0.075       | n. d. | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 19 | 0.007 | 0.050       | n. d. | 0.009    | n. d.    | n. d.    |
| 20 | n. d. | 0.089       | n. d. | n. d.    | n. d.    | n. d.    |
| 21 | n. d. | 0.054       | n. d. | n. d.    | n. d.    | n. d.    |

1) n. d. 表示未检出

所示,海河和渤海湾中 DDTs 的总浓度(包含 4,4'-DDT、4,4'-DDD、4,4'-DDE 3 种物质)为 0.01 ~ 0.15 μg/L.靠近河口的 8 ~ 12 号点位检出较高浓度(> 0.10 μg/L)的 DDTs.

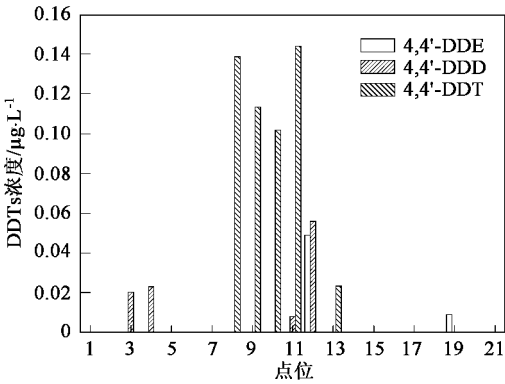


图 5 海河与渤海湾中 DDTs 的分布  
Fig.5 DDTs levels with sampling sites

研究表明,DDT 在厌氧条件下通过微生物降解还原脱氯转化为 DDD,在好氧条件下则转化为 DDE<sup>[14]</sup>.因此,环境中如存在持续的 DDT 输入,DDT 在 DDTs 中的相对含量就会保持在较高水平;反之,

则根据条件的不同,DDT 相应的降解产物含量就会升高.分析 DDT/DDTs 和 DDD/DDE 比值,可以了解 DDT 的输入情况、降解程度及降解过程中的氧化还原条件.在靠近河口的 8 ~ 12 号点位,DDT/DDTs 的比值基本上在 0.9 以上,而其余各点位的比值基本接近 0,说明有新近的 DDT 输入水体,而生产 DDT 的大沽化工厂就在海河边,可能是 1 个重要的污染源;而检出 4,4'-DDD 和 4,4'-DDE 的点位,DDD 的含量往往超过 DDE,可认为推测,夏季海河和渤海湾水体中 DDT 以厌氧降解为主.

根据文献[15],海河口的水质对 HCHs 而言基本符合一类水质标准(< 1 μg/L).而对 DDTs 则部分点位超过一类水质标准(< 0.05 μg/L).

海河和渤海湾中检出的 OCPs 物质主要以 HCHs 类和 DDTs 类为主,其余各种物质(如 aldrin、dieldrin、endrin、heptachlor 等)均为个别点位有检出(检出率 < 10%),且浓度较低(< 0.01 μg/L).

2.3 PCBs 和 OCPs 与 DOC 的相关性

天然水体中的有机胶体物质占到水体中可溶性有机碳的 90% 以上,具有很高的活性表面积,对有机污染物具有很强吸附能力<sup>[16]</sup>.因此,水体中的可溶性有机物制约有机污染物在相间的分配.分析表

明,在本研究区域中 PCBs 和 OCPs 的浓度都与 DOC 有一定的相关性(如图 6、图 7 所示,置信水平  $p = 0.01$ ,双尾检验)。

过滤可以去除水体中较大直径的颗粒物,但很难完全去除对 POPs 具有重要意义的大分子有机胶体,如腐殖酸和蛋白类物质.本研究的结果表明,水中 DOC 浓度对于 POPs 物质的环境行为具有一定决定作用。

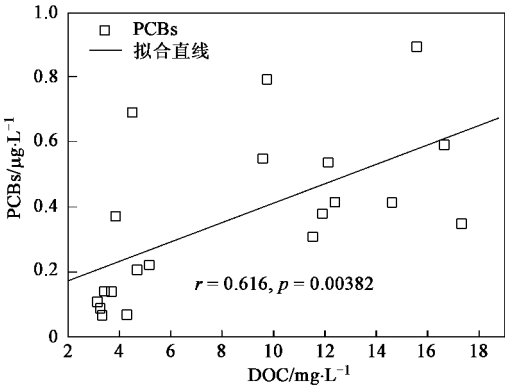


图 6 DOC 与 PCBs 的相关性  
Fig.6 Correlations between DOC and PCBs

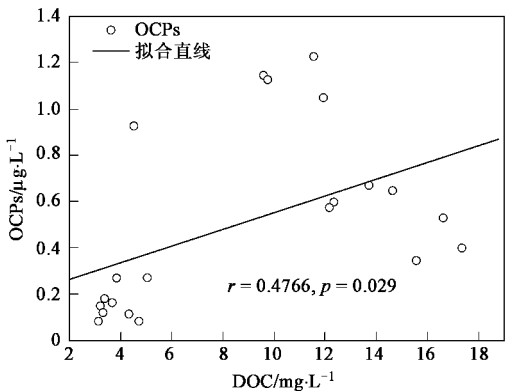


图 7 DOC 与 OCPs 的相关性  
Fig.7 Correlations between DOC and OCPs

2.4 与国内外类似水体的比较

本研究区域分析结果和国内外其它研究区域结果的对比见表 2.与国外水体有机氯污染比较可知,渤海湾水体中 PCBs 的含量高于国内外类似报道(莱茵河、密执安湖、哈得孙河)的较低水平,而海河中的含量则明显较其它区域(大亚湾、九龙江、闽江)为高;而 HCHs 和 DDTs 在渤海湾和海河水体中的含量,明显高于国内外的一些报道(西班牙 Mar Menor Lagoon、珠江口、苏州河),但远低于国外严重污染区域(埃及 El-Haram Giza 地区、牙买加 Kingston 港)。

表 2 本研究与其它研究区域溶解态污染物浓度比较<sup>1)</sup>/μg·L<sup>-1</sup>  
Table 2 Concentrations of dissolved PCBs and OCPs compared with other area/μg·L<sup>-1</sup>

| 物质   | 研究区域                                 | 浓度范围                           |
|------|--------------------------------------|--------------------------------|
| PCBs | 莱茵河 <sup>[17]</sup>                  | 0.1 ~ 0.5                      |
|      | 美国 密执安湖 <sup>[17]</sup>              | 0.1 ~ 0.45                     |
|      | 美国 哈得孙河 <sup>[17]</sup>              | 0.53                           |
|      | 中国 渤海湾(本研究)                          | 0.06 ~ 0.71 (0.21)             |
|      | 中国 大亚湾 <sup>[18]</sup>               | 0.09 ~ 1.36 (0.31)             |
|      | 中国 九龙江 <sup>[9]</sup>                | 0.00036 ~ 1.505 (0.355)        |
|      | 中国 闽江 <sup>[19]</sup>                | 0.204 ~ 2.47 (0.985)           |
| HCHs | 中国 海河(本研究)                           | 0.31 ~ 3.11 (0.76)             |
|      | 中国 珠江口 <sup>[20]</sup>               | 0.001 38 ~ 0.099 7 (0.046 1)   |
|      | 西班牙 Mar Menor Lagoon <sup>[21]</sup> | 0.03 ~ 0.3                     |
|      | 中国 渤海湾(本研究)                          | 0.05 ~ 0.75 (0.16)             |
|      | 中国 闽江 <sup>[19]</sup>                | 0.052 ~ 0.515 (0.206)          |
|      | 中国 珠江 <sup>[22]</sup>                | 0.04 ~ 0.72 (0.25)             |
|      | 中国 海河(本研究)                           | 0.30 ~ 1.07 (0.66)             |
|      | 中国 大亚湾 <sup>[18]</sup>               | 0.035 5 ~ 1.23 (0.285)         |
|      | 中国 白洋淀 <sup>[23]</sup>               | 0.3 ~ 2 (1.4)                  |
|      | 埃及 El-Haram Giza 地区 <sup>[24]</sup>  | 20.7 ~ 86.2 (38.36)            |
| DDTs | 中国 珠江口 <sup>[20]</sup>               | 0.005 33 ~ 0.009 53 (0.007 81) |
|      | 中国 苏州河 <sup>[25]</sup>               | 0.017 ~ 0.099 (0.075)          |
|      | 中国 海河(本研究)                           | 0.009 ~ 0.152 (0.076)          |
|      | 中国 闽江 <sup>[19]</sup>                | 0.0461 ~ 0.235 (0.142)         |
|      | 中国 珠江 <sup>[22]</sup>                | 0.02 ~ 0.5 (0.168)             |
|      | 中国 白洋淀 <sup>[23]</sup>               | n.d. ~ 0.9 (0.25)              |
|      | 牙买加 Kingston 港 <sup>[26]</sup>       | n.d. ~ 7.02                    |

1) 括号内数值表示平均值

3 结论

(1)海河和渤海湾区域表层水体中, PCBs、HCHs 和 DDTs 的含量分别为 0.06 ~ 3.11 μg/L、0.05 ~ 1.07 μg/L 和 0.01 ~ 0.15 μg/L.和国内外类似水体已报道的结果相比,海河的污染水平属于中等偏重;渤海湾则处于中等偏低水平。

(2)在研究区域内, PCBs、HCHs 和 DDTs 的浓度从海河到渤海湾有降低的趋势.大部分点位水体中的 PCBs 以低氯取代的三、四氯取代的 PCBs 为主,其来源可能是周围化工企业生产过程的副产物;高氯代 PCBs 百分比在渤海湾中有所增大. HCHs 和 DDTs,海河中有新的来源输入,而渤海湾中则基本上以早期残留为主。

(3)海河和渤海湾水体中 PCBs 和 OCPs 的浓度与该区域水体的 DOC 存在一定正相关性.沿河两岸存在的大量化工厂可能是造成海河中 PCBs 和 OCPs

污染的主要原因.

(4)海河河口和渤海湾的水质,对 PCBs 而言,超过美国环保局规定标准;对 HCHs 而言符合国家海水一级标准,对 DDTs 则超过该标准.

参考文献:

[ 1 ] 余刚,黄俊,张彭义.持久性有机污染物:倍受关注的全球性环境问题[J]. 环境保护, 2001, **29**(4): 37 ~ 39.

[ 2 ] 毕新慧,徐晓白.多氯联苯的环境行为[J]. 化学进展, 2000, **12**(2): 152 ~ 160.

[ 3 ] 黄俊,余刚,钱易.我国的持久性有机污染物问题与研究对策[J]. 环境保护, 2001, **29**(11): 3 ~ 6.

[ 4 ] 崔玉川,傅涛.我国水污染及饮用水源中有机污染物的危害[J]. 城市环境与城市生态, 1998, **11**(3): 23 ~ 25.

[ 5 ] 李惠敏,霍家明,于卉.海河流域水污染现状与水资源质量状况综合评价[J]. 水资源保护, 2000, (4): 12 ~ 14, 44 ~ 45.

[ 6 ] 赵章元,孔令辉.渤海海域环境现状及保护对策[J]. 环境科学研究, 2000, **13**(2): 23 ~ 27.

[ 7 ] 刘成,王兆印,何耘,等.环渤海湾诸河口水质现状的分析[J]. 环境污染与防治, 2003, **25**(4): 222 ~ 225.

[ 8 ] Hope B, Scatolini S, Titus E, *et al.* Distribution patterns of polychlorinated biphenyl congeners in water, sediment and biota from Midway Atoll (North Pacific Ocean) [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1997, **34**(7): 548 ~ 563.

[ 9 ] 张祖麟,陈伟琪,哈里德,等.九龙江口水体中多氯联苯的研究[J]. 云南环境科学, 2000, **19**(增刊): 124 ~ 126, 129.

[ 10 ] 王子健,黄圣彪,马梅,等.水体中溶解有机物对多氯联苯在淮河水体沉积物上的吸附和生物富集作用的影响[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(1): 39 ~ 44.

[ 11 ] Krauss M, Wilcke W. Predicting soil-water partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls by desorption with methanol-water mixtures at different temperatures [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, **35**(11): 2319 ~ 2325.

[ 12 ] Lee K T, Tanabe S, Koh C H. Distribution of organochlorine pesticides in sediments from Kyeonggi Bay and nearby areas, Korea [J]. *Environmental Pollution*, 2001, **114**(2): 207 ~ 213.

[ 13 ] Hong H, Xu L, Zhang L, *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.

[ 14 ] Hitch R K, Day H R. Unusual persistence of DDT in some western USA soils [J]. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 1992, **48**: 259 ~ 264.

[ 15 ] GB 3097-1997, 海水水质标准[S]. 1997.

[ 16 ] Karapanagioti H K, Childs J, Sabatini D A. Impacts of heterogeneous organic matter on phenanthrene sorption: Different soil and sediment samples [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, **35**(23): 4684 ~ 4690.

[ 17 ] 习志群,储少岗,徐晓白,等.东湖水体中多氯联苯的研究[J]. 海洋与湖沼, 1998, **29**(4): 436 ~ 440.

[ 18 ] Zhou J L, Maskaoui K, Qiu Y W, *et al.* Polychlorinated biphenyl congeners and organochlorine insecticides in the water column and sediments of Daya Bay, China[J]. *Environmental Pollution*, 2001, **113**(3): 373 ~ 384.

[ 19 ] Zhang Z L, Hong H S, Zhou J L, *et al.* Fate and assessment of persistent organic pollutants in water and sediment from Minjiang River Estuary, Southeast China[J]. *Chemosphere*, 2003, **52**(9): 1423 ~ 1430.

[ 20 ] 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.

[ 21 ] Pérez-Ruzafa A, Navarro S, Barba A, *et al.* Presence of pesticides throughout trophic compartments of the food web in the Mar Menor Lagoon (SE Spain)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, **40**(2): 140 ~ 151.

[ 22 ] 杨燕红,盛国英,傅家谟.珠江三角洲一些水体中微量有机化合物的初步分析[J]. 环境科学学报, 1996, **16**(1): 59 ~ 65.

[ 23 ] 窦薇,赵忠宪.白洋淀水体、底泥及鲫鱼体内 DDT、BHC 污染状况研究[J]. 环境科学学报, 1998, **18**(3): 308 ~ 312.

[ 24 ] El-Kabbany S, Rashed M M, Zayed M A. Monitoring of the pesticide levels in some water supplies and agricultural land, in El-Haram, Giza (A. R. E.) [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2000, **72**(1): 11 ~ 21.

[ 25 ] 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.

[ 26 ] Mansingh A, Wilson A. Insecticide Contamination of jamaican environment III. Baseline studies on the status of insecticidal pollution of kingston harbour[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1995, **30**(10): 640 ~ 645.