

# 长江口滨岸潮滩动物体中 PCBs 和 OCPs 的分布

刘华林, 刘敏, 杨毅, 许世远, 程书波

(华东师范大学资源与环境科学学院 教育部地理信息科学重点实验室, 上海 200062, E-mail: L. hualin@126.com)

摘要: 利用 GC-ECD 对长江口滨岸潮滩中动物进行研究, 分析了 PCBs 和 OCPs (DDTs 和 HCHs) 的含量分布. 结果表明 PCBs 含量水平为 43.7 ~ 1260.4 ng/g, 均值为 342.5 ng/g; DDTs 为 1.5 ~ 159.4 ng/g, 均值为 33.7 ng/g; HCHs 为 0.9 ~ 77.0 ng/g, 均值为 13.0 ng/g. 从空间上看, 同种动物对不同污染物的累积和同种污染物在不同动物体内的累积均无明显的规律, 但同属种样品则有雄性个体污染物含量高于雌性个体, 小个体高于大个体的规律. 对动物体内 POPs 污染进行了初步评价, 结果显示: 该区动物均不同程度地受到污染, 污染已达中等水平.

关键词: 长江口; 动物体; 多氯联苯; 六六六; 滴滴涕

中图分类号: X503.225 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)06-0069-05

## Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Animals from the Yangtze River Estuary and Coastal Areas

LIU Hua-lin, LIU Min, YANG Yi, XU Shi-yuan, CHENG Shu-bo

(School of Resources and Environment Science, Laboratory of Geographical Information of the Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** Polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in the animals of the Yangtze estuarine and coastal areas were determined with GC-ECD. The results showed that the concentration distribution of PCBs ranged from 43.7 to 1260.4 ng/g, with an average value of 342.5 ng/g; 1.5 ~ 159.4 ng/g and 33.7 ng/g for DDTs; 0.9 ~ 77.0 ng/g and 13.0 ng/g for HCHs. The spatial distribution patterns of different contaminants in the same animal species and the same pollutant in the different animal species didn't follow obvious laws. Whereas, animals of the same species were characterized by higher contamination levels for males than females, and the small individuals than large ones. Compared with other areas at home and abroad and low-high level limits, a preliminary assessment was presented. As a result, it was shown that there existed a moderate level, to some extent, with the contamination in the animals from the study area.

**Key words:** the Yangtze Estuary; animals; polychlorinated biphenyls (PCBs); hexachlorocyclohexane (HCH); dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT)

多氯联苯 (Polychlorinated biphenyls, PCBs)、六六六 (Hexachlorocyclohexanes, HCHs) 和滴滴涕 (Dichlorodiphenyltrichloroethanes, DDTs) 具有长期残留性、生物蓄积性、半挥发性和高毒性; 是一类环境荷尔蒙物质, 并易通过食物链进行累积<sup>[1]</sup>. 对该类污染物在环境中的分布、行为、迁移、降解及生态影响, 国外的研究已很多<sup>[2]</sup>. 国内, 近年来随着人类活动干扰强度的增强, 持久性有机污染问题也日趋严重. 而有关长江口持久性有机污染物的研究主要是针对沉积物和水体<sup>[3-7]</sup>, 动物体内的研究甚少. 本文利用 GC-ECD 和 GC-MS 对长江口 10 个采样点动物样品中的 PCBs、HCHs 和 DDTs 进行了测定, 研究其在各种动物体内分布特征, 并与国内外其它河口海岸的同类污染物的含量水平进行了比较, 最后对其污染水平进行了初步评价.

### 1 采样和分析

#### 1.1 样品采集

样品于 2002 年 7 月采集自长江口滨岸潮滩, 共设 10 个采样点 (见图 1): 崇明 (CM)、浒浦 (XP)、白茆 (BM)、七丫口 (QYK)、浏河口 (LHK)、吴淞口 (WSK)、潮阳农场 (CY)、芦潮 (LC)、燎原农场 (LY) 和奉新 (FX). 样品主要利用拖网、挖掘方式采集获得, 包括河蚬 (*Corbicula fluminea*)、缢蛭 (*Sinonovacula constricta*)、无齿相手蟹 (*Sesarma dehaani*)、鲮鱼 (*Mugil cephalus*)、脊尾白虾 (*Exopalaemon*

收稿日期: 2003-12-10; 修订日期: 2004-03-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 40271102, 40131020); 上海市“曙光计划”资助项目; 上海市重点学科资助项目.

作者简介: 刘华林 (1978 ~), 男, 山东潍坊人, 硕士, 主要从事环境有机污染物研究.

*carinicauda*)、泥螺 (*Bullacta exatata*) 和焦河蓝蛤 (*Potamocorbula ustulata*) 等代表种 7 种。样品采集后在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  下冷冻保存,解冻后软体类动物取软组织,蟹类以及鱼和虾则取整体用不锈钢搅拌机搅拌均匀,装入玻璃瓶后待分析。

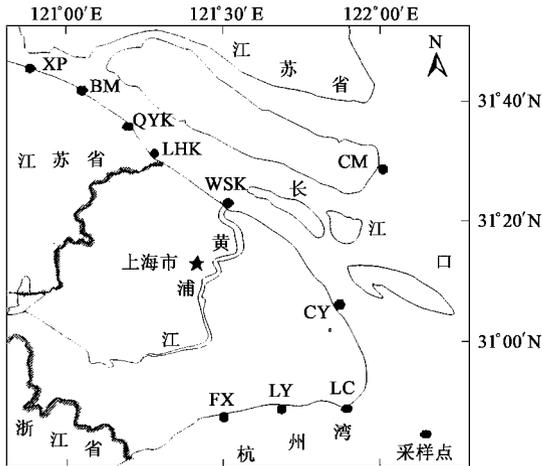


图 1 研究区及采样点的分布

Fig.1 The study area and the sampling sites

## 1.2 样品的前处理

准确称取  $5.0\text{ g}$  样品,加入适量无水  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  研磨后置于滤纸桶内,用丙酮和正己烷混合液  $100\text{ mL}$  ( $V:V=1:1$ ) 在索氏提取器中抽提  $8\text{ h}$  (水浴温度  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右,回流速度  $5.6$  次/h),提取液用旋转蒸发器浓缩约至  $5\text{ mL}$ .将浓缩液通过直径  $15\text{ mm}$  的层析柱(柱中先后加入  $1\text{ cm}$  无水  $\text{Na}_2\text{SO}_4$   $8\text{ g}$  活化 Florisil 硅土和  $2\text{ cm}$  无水  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) 洗脱,将洗脱液浓缩,最后定容至  $2.0\text{ mL}$ ,供色谱分析用。

## 1.3 样品的分析

利用  $^{63}\text{Ni}$  ECD 和 Finnigan TRACE2000 GC 联用分析样品.色谱柱为长  $30\text{ m}$ ,直径  $250\text{ }\mu\text{m}$  DB-1701 P 的石英毛细管柱,固定相膜厚  $0.25\text{ }\mu\text{m}$ .起始柱温  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,以  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度升温至  $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持  $10\text{ min}$ ;进样器温度为  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,检测器温度为  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .以高纯氦气作载气,无分流进样,进样量为  $2\text{ }\mu\text{L}$ .

## 1.4 样品的定性和定量

PCBs 和 OCPs 的样品定性是以混合标样在同样的气相色谱条件下利用已知浓度标样进行 8 次平行测样,利用其平均保留时间对照各色谱峰保留时间以对实际样品中含氯有机物进行定性,并通过 GC-MS 确证.采用外标法定量(标准曲线法).PCBs 标准样品购自爱贝尔公司,包括 36 种 PCBs,按其氯的数量分类为 2~9CB;OCPs 标准物质购自国家环

保总局标准样品研究所,包括 HCHs ( $\alpha$ -HCH、 $\beta$ -HCH、 $\gamma$ -HCH 和  $\delta$ -HCH) 和 DDTs ( $p$ 、 $p'$ -DDE、 $p$ 、 $p'$ -DDT、 $o$ 、 $p'$ -DDT 和  $p$ 、 $p'$ -DDD).

## 1.5 测定方法的回收率及相对标准偏差

称取  $5.0\text{ g}$  石英砂加入与实际样品浓度相近的混合标样后,按照动物样品前处理和分析方法进行分析.同时  $5.0\text{ g}$  石英砂作为空白样,也按上述步骤进行,得到动物样品中 PCBs 和 OCPs 的回收率. OCPs 的回收率为  $60.43\% \sim 116.16\%$ ,检测限为  $0.1 \sim 0.6\text{ ng/g}$ . PCBs 的回收率为  $55.07\% \sim 117.16\%$ ,检测限为  $0.1 \sim 0.2\text{ ng/g}$ .

用合成样品做平行实验 6 次,结果相对标准偏差(RSD)为  $3.2\%$ .

## 2 结果与讨论

### 2.1 PCBs 的含量水平

软体动物、蟹类和鱼虾动物中 PCBs 含量见表 1.可以看出,PCBs 的总含量水平为  $43.8 \sim 1260.3\text{ ng/g}$  (湿重,下同),平均值为  $342.6\text{ ng/g}$ .按动物类别来看,软体动物平均值为  $166.1\text{ ng/g}$ ,蟹类为  $427.2\text{ ng/g}$ ,鱼和虾类为  $507.9\text{ ng/g}$ .

与沉积物中 PCBs 的含量水平相比<sup>[6]</sup>,动物体要远远高于沉积物,这与持久性有机物的生物放大效应相一致.雌雄对照分析结果显示,雄性体内 PCBs 含量水平高于雌性,与报道的研究结果一致<sup>[8~11]</sup>,这可能与采样时期雌性动物处在排卵期,排卵释放了一部分 PCBs 有关;也可能因为雌雄个体内的酶促反应强度不同,雌性体内具有更多的 PCBs 降解酶.另外,各种动物的 PCBs 含量显示随地理位置变化很大,分布比较复杂,并不象沉积物那样在排污口附近污染水平明显偏高<sup>[6,12,13]</sup>,这一点可能与动物对污染物富集的机制有关.从 PCBs 的组分含量水平看,以 3CB 和 5CB 为主,与中国以使用三氯联苯为主相一致.

### 2.2 DDTs 和 HCHs 的含量水平

检测结果见表 2.由表 2 看出,HCHs 的总量水平为  $0.9 \sim 77.0\text{ ng/g}$ ,平均值  $13.0\text{ ng/g}$ .而 DDTs 的总量水平则为  $1.5 \sim 159.4\text{ ng/g}$ ,平均值  $33.7\text{ ng/g}$ .总体看,DDTs 的含量要高于 HCHs,尤其在软体动物、鱼和虾类体内.一方面这与 DDTs 和 HCHs 在不同动物体内富集机制有关,如与 DDTs 相比 HCHs 具有较低的累积性和持久性<sup>[14]</sup>,另一方面也可能与污染物的输入有关;在雌雄对比中也发现同 PCBs 一样的结果:雄性体内含量高于雌性;在大小个体的

比较中,较大个体体内 OCPs 含量要低于小个体。就动物类群来看,鱼和虾类最高(平均 122.0 ng/g),软

体动物次之(31.8 ng/g),蟹类最低(19.7 ng/g),这一结果可能与他们的摄食习性有关。

表 1 动物体内 PCBs 的含量水平(湿重)<sup>1)</sup>/ng·g<sup>-1</sup>

Table 1 Concentrations of PCBs in animal samples (wet wt.)/ng·g<sup>-1</sup>

类别	动物属种	地点	样品数	2CB	3CB	4CB	5CB	6CB	7CB	8CB	9CB	ΣPCB
软体动物类	河蚬	CM	26	69.3	49.3	23.9	3.2	6.7	5.5	4.1	0.6	162.6
	缢蛭	CM	34	7.5	13.8	24.5	3.5	4.4	13.9	1.2	0.5	69.3
	河蚬	XP	28	198.8	76.7	20.4	6.0	7.8	9.7	3.4	nd	322.8
	河蚬(大)	LHK	25	5.6	29.9	17.3	5.2	4.0	3.5	2.2	nd	67.7
	河蚬(小)	LHK	36	11.4	38.1	25.8	6.2	7.6	4.7	2.5	nd	96.3
	黄泥螺	LY	43	5.6	16.2	169.9	115.8	3.0	2.6	21.4	nd	334.5
	焦河蓝蛤	LY	56	4.2	20.4	6.3	1.1	7.8	3.5	nd	0.5	43.8
	黄泥螺	FX	40	10.0	23.2	55.6	41.3	5.8	9.9	nd	3.1	148.9
	缢蛭	FX	37	4.2	35.1	124.3	31.4	27.1	24.3	0.7	1.5	248.6
	蟹类(无齿相手蟹)	雌性	CM	8	9.2	476.5	17.0	229.8	3.2	11.9	1.9	0.5
雄性		CM	8	12.3	497.6	26.0	260.4	3.5	12.6	1.7	0.4	814.5
雌性		BM	8	17.0	466.9	14.0	365.0	9.5	11.4	nd	0.5	884.3
雄性		BM	8	25.3	521.5	19.7	353.0	10.7	12.9	6.4	0.4	949.9
雌性		WSK	8	10.6	35.1	8.6	1.0	2.3	3.9	0.8	0.5	62.8
雄性		WSK	8	15.9	40.8	12.4	1.5	6.3	7.2	2.6	nd	86.7
雄性		LC	8	nd	24.7	34.5	26.8	4.6	1.3	nd	nd	91.9
雌性		FX	8	3.9	32.2	29.6	1.0	4.7	2.8	1.3	0.4	75.9
雄性		FX	8	5.0	83.7	27.3	1.8	2.1	6.7	1.7	0.5	128.8
鱼和虾类		鲮鱼	XP	6	185.9	535.8	98.1	399.2	17.7	18.8	2.3	2.5
	脊尾白虾(雌)	XP	17	8.7	22.2	51.4	0.7	8.4	3.3	2.2	0.8	97.7
	脊尾白虾(雄)	QYK	19	11.0	28.2	52.0	0.9	8.9	4.3	3.5	0.9	109.7
	鲮鱼	QYK	5	33.1	49.1	50.6	21.4	10.8	5.5	2.7	0.6	173.8
	鲮鱼	CY	6	69.1	440.7	55.0	304.8	18.5	6.6	3.2	nd	897.9

1)nd 表示低于检测限。

从动物类别分析,软体动物中 Σ DDT 在双壳类和泥螺中含量远大于 Σ HCH。HCHs 组成为 β-HCH > δ-HCH > γ-HCH > α-HCH,α-HCH 未检出。其中 β-HCH 含量最高,占 Σ HCH 的 28.85% ~ 99.71%; γ-HCH 仅在 CM 和 LHK 小河蚬中检出,且含量较低;δ-HCH 含量为 nd ~ 4.0 ng/g,占 Σ HCH 的 0% ~ 87.09%。DDTs 的组成特征为 o,p'-DDT > p,p'-DDE > p,p'-DDT > p,p'-DDD。o,p'-DDT 在各样品中均有检出,含量为 1.0 ~ 30.5 ng/g,占 Σ DDT 的 3.83% ~ 62.23%; p,p'-DDE 含量为 0.4% ~ 38.3% ng/g,占 Σ DDT 的 1.80% ~ 55.64%; p,p'-DDT 含量为 2.6 ~ 20.0 ng/g,占 Σ DDT 的 9.99% ~ 84.9%; p,p'-DDD 除在 FX 缢蛭中其它样品均未检出。

蟹类总体上表现为 Σ HCH > Σ DDT,与软体动物体内的分配正好相反,这可能与蟹类的生活习性有关,因为在沉积物中 Σ HCH 含量水平要高于 Σ DDT<sup>[6]</sup>。HCHs 的组成显示出 β-HCH > α-HCH > γ-HCH > δ-HCH。β-HCH 含量为 1.1 ~ 15.9 ng/g,

占 Σ HCH 的 35 ~ 95.74%; α-HCH 含量为 4.3 ~ 8.4 ng/g,占 Σ HCH 的 27.57% ~ 38.74%; γ-HCH 含量为 nd ~ 8.0 ng/g,在 WSK 和 LC 未检出,在 CM 和 BM 含量较高,说明该区可能有林丹的输入; δ-HCH 仅在 WSK 和 FX 检出。对于 DDTs 来说, o,p'-DDT 在所有样品中都有检出,含量为 0.3 ~ 3.6 ng/g; p,p'-DDE 虽然仅在 CM 雄性蟹、WSK 和 FX 中检出,但含量较高,尤其 WSK 雄性蟹含量达到 24.4 ng/g; p,p'-DDD 和 p,p'-DDT 几乎在所有样品中均低于检测限。

虾和鱼类中 Σ HCH 含量显示鲮鱼 > 虾;而 Σ DDT 含量显示虾 > 鲮鱼。β-HCH 含量为 2.3 ~ 9.9 ng/g,;占 Σ HCH 的 5.69% ~ 68.65%; α-HCH 和 γ-HCH 在鱼体内含量也较高;而 α-HCH 仅在 XP 鲮鱼体内检出,这可能由于局部的污染排放所致,也说明该地区存在潜在的农药污染。对于 DDT 来说,只有 p,p'-DDE 和 o,p'-DDT 在各样品中检出,且虾含量较高; p,p'-DDT 在 QYK 未检出; p,p'-DDD 在各站点均未检出,反映了 DDTs 发生了有氧条件

表 2 动物体内 DDTs 和 HCHs 的含量水平(湿重)<sup>1)</sup>/ng·g<sup>-1</sup>  
Table 2 Concentrations of DDTs and HCHs in animal samples (wet wt.)/ng·g<sup>-1</sup>

类别	动物属种	地点	样品数	$\alpha$ -HCH	$\beta$ -HCH	$\gamma$ -HCH	$\delta$ -HCH	$\Sigma$ HCH	p,p'-DDE	o,p'-DDT	p,p'-DDD	p,p'-DDT	$\Sigma$ DDT
软体动物类	河蚬	CM	26	nd	1.3	0.6	2.7	4.6	12.4	13.5	nd	3.4	29.3
	缢蛭	CM	34	nd	0.6	nd	4.0	4.6	8.9	14.5	nd	2.6	26
	河蚬	XP	28	nd	4.5	nd	1.0	5.5	38.3	30.5	nd	nd	68.8
	河蚬(大)	LHK	25	nd	1.1	nd	0.1	1.2	9.1	14.7	nd	2.6	26.4
	河蚬(小)	LHK	36	nd	1.4	0.8	1.1	3.3	12.6	14.2	nd	4.0	30.8
	黄泥螺	LY	43	nd	0.9	nd	0.5	1.4	1.7	1.4	nd	16.3	19.4
	焦河蓝蛤	LY	56	nd	0.9	nd	nd	0.9	nd	6.8	nd	4.1	10.9
	黄泥螺	FX	40	nd	0.8	nd	1.3	2.1	0.4	3.1	nd	20.0	23.5
	缢蛭	FX	37	nd	0.8	nd	1.2	2.0	3.0	1.0	9.8	11.8	25.6
蟹类(无齿相手蟹)	雌性	CM	8	7.5	12.2	2.1	nd	21.8	nd	2.8	nd	nd	2.8
	雄性	CM	8	7.8	13.1	2.9	nd	23.8	0.5	3.6	nd	nd	4.1
	雌性	BM	8	6.7	13.4	4.2	nd	24.3	nd	1.6	nd	nd	1.6
	雄性	BM	8	7.4	15.9	2.4	nd	25.7	nd	2.1	nd	nd	2.1
	雌性	WSK	8	nd	4.5	nd	0.2	4.7	9.7	1.0	nd	nd	10.7
	雄性	WSK	8	nd	5.6	nd	1.2	6.8	24.4	0.4	nd	nd	24.8
	雌性	LC	8	4.3	6.8	nd	nd	11.1	nd	3.3	nd	nd	3.3
	雌性	FX	8	nd	1.1	0.2	0.7	2.0	1.1	0.4	nd	nd	1.5
	雄性	FX	8	nd	1.4	0.4	2.2	4.0	1.7	0.3	nd	0.5	2.5
鱼和虾类	鳊鱼	XP	6	2.4	4.4	67.6	2.6	77.0	nd	6.7	nd	4.0	10.7
	脊尾白虾(雌)	XP	17	nd	5.7	nd	5.3	11.0	104.1	14.6	nd	nd	118.7
	脊尾白虾(雄)	QYK	19	nd	7.5	nd	7.3	14.8	117.3	17.3	nd	nd	134.6
	鳊鱼	QYK	5	nd	9.9	2.2	7.5	19.6	120.1	39.3	nd	nd	159.4
	鳊鱼	CY	6	nd	2.3	24.4	nd	26.7	8.4	8.9	nd	20.4	37.7

1) nd 表示低于检测限。

下的转化,有一点值得注意,XP 鳊鱼体内  $\gamma$ -HCH 含量远高于其它采样点,说明该地区近期曾大量使用林丹。

### 2.3 国内外比较

国内外研究者对其他河口海岸动物体内持久性有机污染物进行了许多研究,甚至在北极地区哺乳

动物体内也检测到此类污染物,且浓度较高,如 DDT 2 ~ 3 900ng/g,二噁英 300 ~ 118 000ng/g,氯丹 0.6 ~ 7 096ng/g,PCBs 1 ~ 12 900ng/g 和毒杀芬 84 ~ 9 160ng/g<sup>[15]</sup>。由表 3 比较发现,研究区动物的污染尚处于中等水平,但 HCHs 的污染则相对来说较为严重。

表 3 国内外河口海岸带动物体内 DDTs、HCHs 和 PCBs 的含量水平(湿重)<sup>1)</sup>/ng·g<sup>-1</sup>

Table 3 Concentrations of DDTs, HCHs and PCBs in animal samples from worldwide estuarine and coastal areas(wet wt.)/ng·g<sup>-1</sup>

河口海岸带动物	DDTs	HCHs	PCBs	参考文献
长江口滨岸动物	1.5 ~ 159.4	0.9 ~ 77.0	43.7 ~ 1260.4	本文
珠江河口翡翠贻贝	9.5 ~ 191	nd ~ 1.1	82.8 ~ 615.1	[16]
珠江口及附近海域动物	1 ~ 133	1 ~ 14	nd	[17]
闽东北沿岸鱼类	nd	30	nd	[18]
白洋淀水生动物鲫鱼等	19.4 ~ 124.4	17.2 ~ 110.7	nd	[19]
珠江广州段底栖动物	nd	nd	130.07 ~ 288.45	[19]
波罗的海沿岸海豹	4 ~ 33	nd	17 ~ 152	[8]
意大利金枪鱼、箭鱼体内	p,p'-DDE:82 ~ 135	nd	745 ~ 930	[8]
俄罗斯白海鱼体	2.04 ~ 22.7	0.09 ~ 4.17	46 ± 6	[11]
美国洛杉矶近岸动物	100 ~ 6900	nd	nd	[17]
挪威 Jarfjord 海岸鱼体	98 ~ 467	19 ~ 42	245 ~ 1725	[20]
韩国沿岸双壳类动物	1.67 ~ 102.76	1.28 ~ 34.56	4.4 ~ 422.0	[21]

1) nd 表示低于检测限。

### 3 生态风险评价

有关动物的有机污染和风险评价标准尚未建立

统一的标准,本文应用国外动物持久性有机污染风险评价方法<sup>[21]</sup>,对研究区内的动物污染情况作初步评价,见表 4。

表 4 长江口 韩国和美国河口动物体内的有机污染  
最低和最高阈值(干重)/ng·g<sup>-1</sup>

Table 4 Low and high level limits of organic pollutants  
for animals in castal areas of the Yangtze Estuary,  
Korea and US(dry wt.)/ng·g<sup>-1</sup>

阈值	∑ PCBs	∑ HCHs	∑ DDTs	参考文献
最低阈值	69.0 <sup>1)</sup>	2.1	3.5	
最高阈值	569.1	22.6	61.2	本文
几何均值	198.2	6.8	14.7	
最低阈值	11.1	3.2	8.4	
最高阈值	122.7	10.0	47.5	[19]
几何均值	36.9	5.6	20.0	
最低阈值	25.7		11.4	
最高阈值	4700		120.0	[19]
几何均值	110		37.0	

1) 为湿重含量

综合表 4 及表 1、2 可以看出,21.7% 的样品 HCHs 含量超出最高阈值,17.4% 的样品 DDTs 含量超出最高阈值,26.1% 的样品 PCBs 含量超出最高阈值,说明研究区内该类污染物已对动物造成不利影响。HCHs 和 DDTs 的污染水平低于美国和韩国的检测结果,但是 PCBs 的污染水平却远高于两者。

#### 4 结论

(1) PCBs、HCHs 和 DDTs 含量水平随动物种类的不同具有差异性。各类污染物以鲑鱼体内含量水平最高。PCBs 和 HCHs 的含量水平表现为鱼和虾类 > 蟹类 > 软体动物类的趋势,而 DDTs 则有鱼和虾类 > 软体动物 > 螃蟹类的趋势。PCBs 的含量水平主要以 3CB 和 5CB 为主,这同 PCBs 在中国主要以三氯联苯使用为主相一致。

(2) 污染物在不同地理位置的含量分布情况比较复杂,不具一致性。但就同一种动物,雄性个体的含量水平高于雌性个体的含量水平;小个体高于大个体。

(3) 与国内外其他河口海岸相比较,长江口滨岸潮滩动物中 PCBs 和 DDTs 的污染处于中等水平,而 HCHs 的污染水平则相对较高。

参考文献:

[1] Nakata H, Sakai Y, Miyawak T. Growth dependent and species specific accumulation of polychlorinated biphenyls (PCBs) in tidal flat organisms collected from the Ariake sea, Japan[J]. Arch, Environ. Contam. Toxicol., 2002, 42: 222 ~ 228.

[2] 史雅娟,吕永龙,任鸿昌,等.持久性有机污染物研究的国际发展动态[J].世界科技研究与发展,2003,25(2): 73 ~ 78.

[3] 刘敏,许世远,陈振楼.上海南汇淤泥质潮滩表层沉积物中多环芳烃[J].中国环境科学,1998,18(13): 284 ~ 288.

[4] 刘敏,侯立军,邹惠仙,等.长江口潮滩表层沉积物中多环芳烃分布特征[J].中国环境科学,2001,21(4): 343 ~ 346.

[5] Liu M, Baugh P J, Hutchinson S M, et al. Historical record and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in core sediments from the Yangtze Estuary, China[J]. Environmental Pollution, 2000, 110: 357 ~ 365.

[6] 杨毅,刘敏,许世远,等.长江口潮滩表层沉积物中 PCBs 和 OCPs 的分布[J].中国环境科学,2003,23(2): 215 ~ 219.

[7] 叶新荣,杨和福,竺建奋.长江口及毗邻海域水体中 PCBs、BHC 和 DDT[J].海洋环境科学,1991,10(4): 52 ~ 56.

[8] Nyman M, Koistinen J, Fant M L, et al. Current levels of DDT, PCB and trace elements in the Baltic ringed seals (*Phoca hispida baltica*) and grey seals (*Halichoerus grypus*)[J]. Environmental Pollution, 2002, 119: 399 ~ 412.

[9] Hobbs K E, Muir D C G, Michaud R, et al. PCBs and organochlorine pesticides in blubber biopsies from free-ranging St. Lawrence River Estuary beluga whales (*Delphinapterus leucas*), 1994 ~ 1998 [J]. Environmental Pollution, 2003, 122: 291 ~ 302.

[10] Kleivane L, Espeland O, Fagerheim K A, et al. Organochlorine Pesticides and PCBs in the East Ice Harp Seal (*Phoca groenlandica*) Population[J]. Marine Environmental Research, 1997, 43 (1/2): 117 ~ 130.

[11] Muir D, Savinova T, Savinov V, et al. Bioaccumulation of PCBs and chlorinated pesticides in seals, fishes and invertebrates from the White Sea, Russia[J]. The Science of Total Environment, 2003, 306: 111 ~ 131.

[12] 聂湘平,蓝崇钰,栾天罡,等.珠江广州段水体、沉积物及底栖生物中的多氯联苯[J].中国环境科学,2001,21(5): 417 ~ 421.

[13] 刘现明,徐雪仁,张笑天,等.大连湾沉积物中的有机氯农药和多氯联苯[J].海洋环境科学,2001,20(4): 40 ~ 44.

[14] 戴树桂主编.环境化学[M].北京:高等教育出版社,1997. 230.

[15] 李政禹.国际上持久性有机污染物的控制动向及其对策[J].现代化工,1999,19(7): 5 ~ 9.

[16] 方展强,张润兴,黄铭洪.珠江河口区翡翠贻贝中有机氯农药和多氯联苯含量及分布[J].环境科学学报,2001,21(1): 113 ~ 116.

[17] 骆世昌,余汉生.珠江口及附近海域生物体中 BHC 和 DDT 的含量研究[J].海洋通报,2001,20(2): 44 ~ 49.

[18] 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.

[19] Kannan K, Corsoline S, Imagawa T, et al. Polychlorinated-Naphthalenes, -Biphenyls, -Dibenzo-p-dioxins, -Dibenzofurans and p,p'-DDE in Bluefin Tuna, Swordfish, Cormorants and Barn Swallows from Italy[J]. Ambio, 2002, 31(3): 207 ~ 211.

[20] Ruus A, Uglund K I, Espeland O, et al. Organochlorine contaminants in a local marine food chain from Jarfjord, Northern Norway[J]. Marine Environmental Research, 1999, 48: 131 ~ 146.

[21] 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: 268 ~ 279.