

长江口两种江豚亚种体脂内多氯联苯同分异构体含量的比较分析

徐添翼^① 唐文乔^{①②*}

① 上海海洋大学鱼类研究室 上海 201306; ② 上海市海洋动物系统分类与进化重点实验室 上海 201306

摘要: 为了弄清长江口江豚 (*Neophocaena asiaorientalis*) 体脂内多氯联苯 (PCBs) 的累积情况, 采用气相色谱质谱联用仪 (GC-MS) 对 5 头东亚亚种 (*N. asiaorientalis sunameri*) 和 3 头长江亚种 (*N. asiaorientalis asiaorientalis*) 的 10 种多氯联苯同族物 (PCBs) 含量进行了测定。研究发现, 长江口江豚体脂中多氯联苯 (PCBs) 的平均含量为 3.38 $\mu\text{g/g}$ (湿重), 其中, 长江亚种的多氯联苯 (PCBs) 含量 (3.40 ~ 12.67 $\mu\text{g/g}$) 要显著高于东亚亚种 (0.33 ~ 2.21 $\mu\text{g/g}$)。在 10 种多氯联苯 (PCBs) 中, 一氯、二氯和三氯联苯在所有个体中均未测出 (小于 0.005 $\mu\text{g/g}$), 但四氯、五氯、六氯和七氯联苯在所有个体中都被测出, 其中, 六氯联苯的平均含量高达 1.48 $\mu\text{g/g}$, 占总含量的 43.79%。从含量的组成看, 六氯联苯和七氯联苯均构成了长江口江豚体脂内多氯联苯 (PCBs) 的主要成分, 但相比东亚亚种, 长江亚种的四氯联苯和五氯联苯也占较高的比例。研究表明, 低氯代组分的多氯联苯 (PCBs) 可以随水流的稀释和生物转化而逐渐降解, 但高氯代组分的多氯联苯 (PCBs) 则不易降解, 并且随江豚年龄的增长而快速积累, 产生更持久的毒性效应。

关键词: 长江口; 江豚长江亚种; 江豚东亚亚种; 多氯联苯 (PCBs); 含量比较

中图分类号: Q494 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 03-337-10

Comparative Analysis on Isomer-specific of Polychlorinated Biphenyls in the Dead Bodies of Two Finless Porpoise Subspecies in Yangtze Estuary

XU Tian-Yi^① TANG Wen-Qiao^{①②*}

① Laboratory of Ichthyology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; ② Shanghai Key Laboratory of Marine Animal System Evolution and Classification, Shanghai 201306, China

Abstract: The concentration of ten kinds of polychlorinated biphenyls (PCBs) in body fat of five East Asian finless porpoise (*Neophocaena asiaorientalis sunameri*) and three Yangtze finless porpoise (*N. asiaorientalis asiaorientalis*) died in Yangtze estuary were measured by gas chromatograph-mass spectrometer (GC-MS) (Table 1). The average content of PCBs in the porpoise was 3.38 $\mu\text{g/g}$ wet weight.

基金项目 中央财政 (农业部) 渔业种质资源保护项目 (316 豚类保护行动);

* 通讯作者, E-mail: wqtang@shou.edu.cn;

第一作者介绍 徐添翼, 男, 硕士研究生; 研究方向: 保护生物学; E-mail: xty1992310@163.com。

收稿日期: 2015-08-08, 修回日期: 2015-10-27 DOI: 10.13859/j.cjz.201603001

However, the content of PCBs in the Yangtze porpoise was significant higher than that in the East Asian porpoise (3.40 - 12.67 $\mu\text{g/g}$ vs. 0.33 - 2.21 $\mu\text{g/g}$, $P < 0.05$). In these ten kinds of polychlorinated biphenyls, three of them, monochlorobiphenyl, dichlorobiphenyl, trichlorobiphenyl, were not detected in any porpoise ($< 0.005 \mu\text{g/g}$), and tetrachlorobiphenyl, pentachlorobiphenyl, hexachlorobiphenyl, heptachlorobiphenyl were detected in each body of porpoise (Table 3). The average content of hexachlorobiphenyl was 1.48 $\mu\text{g/g}$ wet weight, accounting for 43.79% of the total PCBs content. From the composition of PCBs content (Fig. 1), the percentage of hexachlorobiphenyl and heptachlorobiphenyl were higher than any other chlorinated PCBs in the died bodies of porpoise in Yangtze estuary. However compared with East Asian porpoise, the content of tetrachlorobiphenyl and pentachlorobiphenyl in the Yangtze porpoise had also a higher proportion (Fig. 2). Our results indicated that a low component of chlorinated PCBs was diluted by water and biological transformation, but the high component was not easy to degrade (Fig. 3) and it would accumulate fast as the age of the porpoise increasing (Fig. 4) and resulted in a longer toxicity effect.

Key words: Yangtze estuary; Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*); East Asian finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis sunameri*); Polychlorinated biphenyls (PCBs); Content comparison

江豚 (*Neophocaena*) 是一类分布在中国、韩国、日本、印度、巴基斯坦、爪哇群岛、波斯湾沿岸海域, 以及中国长江的小型齿鲸 (杨光等 1997)。在海洋哺乳动物学会 (The Society for Marine Mammalogy) 2015年发布的名录中, 将江豚分为2个种, 即印太江豚 (Indo-Pacific finless porpoise, *N. phocaenoides*) 和江豚 (finless porpoise, *N. asiaeorientalis*), 同时又将江豚分为东亚亚种 (*N. asiaeorientalis sunameri*) 和长江亚种 (*N. asiaeorientalis asiaeorientalis*) (Jefferson et al. 2011, Committee on Taxonomy 2015)。印太江豚在我国南海有分布, 江豚的东亚亚种在我国东海、黄海和渤海均有分布, 而江豚长江亚种仅栖息于长江中下游及其大型通江湖泊, 其种群数量正处于不断衰退之中 (张先锋等 1993, 郝玉江等 2006, 梅志刚等 2011)。

多氯联苯 (polychlorinated biphenyls, PCBs) 是由一系列氯化联苯异构体组成的一大类有机含氯化合物, 按氢原子被氯原子取代的数目不同, 形成一氯化物、二氯化物……十氯化物, 主要用于电力设备的绝缘液、油漆添加剂、增塑剂等 (Erickson et al. 2011)。多氯联苯

(PCBs) 被认为是最复杂的一类持久性内分泌干扰物, 可以从激素的合成、转运、结合、代谢和反馈调节等多个层面干扰人 (*Homo sapiens*) 体性激素、甲状腺激素等多个内分泌系统的功能 (孟紫强 2006)。自1929年开始到20世纪70年代末被禁止, 全球共生产约170万吨, 中国1965~1974年间共生产约10 000 t。目前环境中多氯联苯 (PCBs) 最主要的污染源包括垃圾焚烧和沥滤、电子垃圾拆解、工业生产、增塑剂中多氯联苯 (PCBs) 挥发、纸张漂白、汽车尾气以及钢铁生产等 (周启星等 2004, 段晓勇 2014)。多氯联苯 (PCBs) 一般不溶于水, 易溶于脂溶性物质或吸附于颗粒表面。在海洋生态系统中, 多氯联苯 (PCBs) 可通过食物链最终蓄积在哺乳动物体内, 且在体脂内含量最高 (Storelli et al. 2000, Weisbrod et al. 2001, 黄健生等 2010)。已有研究发现, 海豹食用了被多氯联苯 (PCBs) 污染的鱼后, 体内的甲状腺激素和维生素A含量下降 (梁恕坤 2009)。多氯联苯 (PCBs) 还可影响水栖哺乳动物由细胞和体液介导的免疫功能 (Vos et al. 1989)。

长江口位于长江与东海、黄海的交汇处,

是西太平洋生态服务功能最重要的大河河口 (庄平等 2009), 是江豚东亚亚种和长江亚种的重叠分布区和高密度分布水域 (张先锋等 1993, 姚思聪等 2014)。江豚也是长江口目前仅有的定居型鲸类和生态保护的旗舰物种 (唐文乔 2003)。但长江口周边经济发达, 沿岸码头众多、航运繁忙, 河口渔汛时间长而集中、捕捞强度大, 不明原因的江豚死亡事件在这一水域频繁发生 (魏凯等 2009, 姚思聪等 2014)。检测长江口江豚体脂内的多氯联苯 (PCBs) 含量, 不仅有助于了解这一水域的环境污染状况, 还能为评价这种珍稀动物的健康状况提供有益的数据。

1 材料与方法

1.1 材料

本文所分析的 8 头江豚遗骸均为长江口水域发现的死亡个体, 根据背鳍高度、疣粒区行数和遗骸发现水域等特征鉴定, 5 头为东亚亚种 (D1 ~ D5), 3 头为长江亚种 (C1 ~ C3) (表

1)。遗骸带回实验室置于 -20°C 冰柜保存, 剪取背部皮下若干脂肪组织作为多氯联苯 (PCBs) 分析材料, 放入多聚乙烯密封袋中置于 -80°C 冰箱保存, 备用。

取下颌左侧齿骨中部的 4 ~ 5 颗牙齿作为年龄鉴定材料, 洗净齿根周围腐肉, 将牙齿横置于 800 目砂纸上, 先将一侧磨薄至牙齿中心面附近, 再将另一面平行研磨, 至约 $500\ \mu\text{m}$ 的薄片。然后用 5 000 目砂纸进行两侧精磨, 抛光至约 $150\ \mu\text{m}$ 的半透明状。选用轮纹清晰的牙齿纵磨片, 在 ZEISS SteREO Discovery V12 解剖镜下观察齿的生长层, 拍照并计数。依张先锋 (1992) 指出的年龄标记确定年龄。

1.2 样品前处理

准确称取 5.0 g 脂肪组织样品于锥形瓶中, 加入适量内标溶液 (多溴联苯 polybrominated biphenyls, PBB49, $200\ \mu\text{g/L}$), 再加入适量体积比为 1:1 的 KOH/甲醇混合溶液, 充分振荡, 超声萃取 30 min。然后加入 10 ml 正己烷振荡萃取, 静置后, 将正己烷萃取液转移至分液漏斗

表 1 江豚分析样本的具体信息

Table 1 Information of the finless porpoise samples

样本及编号 Sample No.	采集时间 (年-月-日) Collection time (Year-month-date)	采集地点 Collection site	性别 Sex	体重 (kg) Weight	体长 (cm) Body length	年龄 (a) Age	
D1	2014-04-25	30°53'56"N 122°03'30"E	♂	25.6	130.5	6.0	
D2	2014-05-04	31°08'06"N 122°23'36"E	♀	30.8	110.4	3.5	
东亚亚种江豚 East Asian finless porpoise	D3	2014-05-04	31°05'18"N 122°12'12"E	♀	33.5	126.5	6.0
D4	2014-04-06	30°46'06"N 122°12'18"E	♀	39.3	130.0	8.5	
D5	2014-05-14	30°51'48"N 121°58'36"E	♂	32.8	128.0	7.0	
C1	2014-03-29	31°44'15"N 121°12'38"E	♀	27.4	109.0	3.5	
长江亚种江豚 Yangtze finless porpoise	C2	2012-04-04	31°23'21"N 121°30'41"E	♀	34.2	148.9	12.0
C3	2013-03-29	30°57'18"N 122°10'05"E	♀	21.7	110.5	6.0	

中。共萃取 3 次，合并正己烷萃取液，待净化。向正己烷萃取液中多次加入浓硫酸进行净化，直至硫酸层无色透明。用超纯水将正己烷萃取液水洗至中性后，使用无水硫酸钠除去多余水分。将正己烷萃取液转移至梨形旋蒸瓶中，用旋转蒸发仪旋蒸浓缩至 0.5 ml，最后使用正己烷定容至 1 ml，作为测试液上机测试。采用的氢氧化钾、浓硫酸（98%）、无水硫酸钠均为优级纯，乙酸乙酯、环己烷、正己烷（99%）、甲醇均为色谱纯，超纯水的电阻率为 18.2 MΩ/cm。

1.3 样品的分析测试

参照 GB/T 22331-2008（中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 2008）中的步骤，采用气相色谱-质谱联用仪（Agilent 7700 GC（6890N）/MSD5975C，USA）测定多氯联苯（PCBs）种类及含量。色谱柱：Rtx-5MS 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm；载气：高纯氮，流速 1 ml/min；进样方式及进样量：Pulse Splitless，3.0 μl；温度程序：初始温度 70℃，维持 0.5 min；30℃/min 升至 120℃，维持 1 min；10℃/min 升至 200℃，维持 2 min；20℃/min 升至 300℃，维持 13 min，确保所有的样品已经流出。多氯联苯的标样（生产商：AccuStandard）信息见

表 2，内标溶液多溴联苯（PBB49）的浓度为 200 μg/L。

1.4 质量控制

与样品分析流程相同的条件下做空白分析，未测出被鉴定的化学物质，表明分析过程没有受到人为污染。使用多溴联苯（PBB49）作为内标溶液，对仪器及回收率进行校正。多氯联苯标样的回收率为 68.9% ~ 102.8%，变异系数为 2.93% ~ 9.32%，定量下限为 0.005 μg/g，说明方法可靠，满足分析要求。采用 Microsoft Excel 2007 软件和 SPSS 19.0 统计软件进行数据分析和绘图，利用 *T*-检验对长江口江豚体内多氯联苯含量的结果进行统计检验。

2 结果

2.1 长江口江豚体脂内多氯联苯的含量

表 3 列出了 8 头江豚体脂中一氯联苯至十氯联苯同族物的含量。从中可以看出，一氯联苯、二氯联苯和三氯联苯在所有江豚体脂中均未测出，低于检出限 0.005 μg/g。八氯联苯、九氯联苯和十氯联苯在有些江豚个体中也未被测出，只有四氯联苯、五氯联苯、六氯联苯和七氯联苯在所有个体中都被测出。平均而言，

表 2 多氯联苯的标样信息

Table 2 Standard sample information of polychlorinated biphenyls

标样名称 Standard sample	化学物质登录号 Chemical abstracts service No. (CAS NO.)	纯度 (%) Purity
一氯联苯 4-Chlorobiphenyl	2051-62-9	98.8
二氯联苯 4,4'-Dichlorobiphenyl	2050-68-2	100.0
三氯联苯 2,4,5'-Tichlorobiphenyl	15862-07-4	100.0
四氯联苯 2,2',4,4'-Tetrachlorobiphenyl	2437-79-8	99.9
五氯联苯 2,3',4,5',6-Pentachlorobiphenyl	56558-18-0	99.5
六氯联苯 2,2',3,3',6,6'-Hexachlorobiphenyl	38411-22-2	99.9
七氯联苯 2,2',3,4,5,5',6-Heptachlorobiphenyl	52712-05-7	100.0
八氯联苯 2,2',3,3',4,4',5,5'-Octachlorobiphenyl	35694-08-7	100.0
九氯联苯 2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nonachlorobiphenyl	40186-72-9	100.0
十氯联苯 2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Decachlorobiphenyl	2051-24-3	99.8

表 3 江豚体脂中多氯联苯的含量

Table 3 Contents of polychlorinated biphenyls (PCBs) in body fat of finless porpoise

分析项目 Analysis Items	分析结果 (µg/g, 湿重)					Results (µg/g, wet weight)			平均值 Average
	D1	D2	D3	D4	D5	C1	C2	C3	
一氯联苯 Monochlorobiphenyl	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	< 0.005
二氯联苯 Dichlorobiphenyl	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	< 0.005
三氯联苯 Tichlorobiphenyl	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	< 0.005
四氯联苯 Tetrachlorobiphenyl	0.05	0.03	0.05	0.09	0.07	0.90	1.77	1.37	0.54 ± 0.71
五氯联苯 Pentachlorobiphenyl	0.07	0.01	0.02	0.16	0.11	0.83	2.49	1.40	0.64 ± 0.90
六氯联苯 Hexachlorobiphenyl	0.36	0.23	0.49	1.26	0.48	1.35	5.13	2.56	1.48 ± 1.66
七氯联苯 Heptachlorobiphenyl	0.12	0.06	0.19	0.61	0.18	0.31	2.61	0.74	0.60 ± 0.85
八氯联苯 Octachlorobiphenyl	0.02	BDL	BDL	BDL	0.02	BDL	0.43	0.04	0.06 ± 0.15
九氯联苯 Nonachlorobiphenyl	0.01	BDL	BDL	0.05	0.01	BDL	0.08	0.01	0.02 ± 0.03
十氯联苯 Decachlorobiphenyl	0.01	BDL	0.01	0.04	0.01	0.01	0.16	0.01	0.03 ± 0.05
多氯联苯 Polychlorinated biphenyls ΣPCBs	0.64	0.33	0.76	2.21	0.88	3.40	12.67	6.13	3.38

D1、D2、D3、D4、D5 为东亚亚种江豚, C1、C2、C3 为长江亚种江豚; BDL. 低于检测限, < 0.005 µg/g (湿重)。

D1, D2, D3, D4, D5 - East Asian finless porpoise, C1, C2, C3 - Yangtze finless porpoise; BDL - below detection limit, < 0.005 µg/g wet weight.

以六氯联苯的含量最高, 浓度为 1.48 µg/g; 五氯联苯和七氯联苯其次, 分别为 0.64 µg/g 和 0.60 µg/g; 八氯联苯、十氯联苯和九氯联苯含量最低, 分别为 0.06 µg/g、0.03 µg/g 和 0.02 µg/g。但同一种多氯联苯在不同江豚体内的含量差异很明显, 在所有个体都被测出的 4 种多氯联苯 (PCBs) 中, 六氯联苯的差异为 22 倍, 七氯联苯为 44 倍, 四氯联苯为 59 倍, 五氯联苯达 249 倍。

2.2 不同亚种体脂内多氯联苯的含量差异

8 头江豚个体多氯联苯 (PCBs) 的总量平均为 3.38 µg/g, 但不同个体间的差异很大 (表 3)。含量最高的个体 C2 (长江亚种) 达 12.67 µg/g, 最低的个体 D2 (东亚亚种) 仅 0.33 µg/g, 两者相差 38 倍。总体而言, 3 头长江亚种体内的多氯联苯 (PCBs) 平均达 7.40 µg/g, 是 5 头东亚亚种体内含量 0.96 µg/g 的 7.7 倍。相比较而言, 四氯联苯和五氯联苯在长江亚种体内的含量较高, 七氯联苯较低, 东亚亚种则有明显的不同 (图 1)。

如果将同一种多氯联苯 (PCBs) 在 2 个亚

种间进行含量比较 (图 2), 可以看出, 长江亚种体内的各种多氯联苯 (PCBs) 平均含量均显著高于东亚亚种。但与低氯代联苯相比, 高氯代联苯的含量差异有逐渐缩小的趋势。如四氯联苯和九氯联苯, 前者的差异是 23.22 倍, 后者则降为 2.14 倍。

2.3 长江口江豚体脂中不同氯代多氯联苯所占的比例

由 8 头江豚体脂中不同氯代多氯联苯的百分比含量 (图 3) 可见, 一氯联苯、二氯联苯和三氯联苯在所有个体中均未检出, 八氯联苯同族物在东亚亚种 D2、D3、D4 和长江亚种 C1 体脂中未测出, 九氯联苯同族物在东亚亚种 D2、D3 和长江亚种 C1 江豚体脂中未测出, 十氯联苯同族物在东亚亚种 D2 江豚体脂中未测出。六氯联苯同族物在所有个体中所占比例最高, 达 39.7% ~ 69.7%, 四氯联苯、五氯联苯和七氯联苯也有较高的比例。总体看, 5 头东亚亚种体脂中的多氯联苯 (PCBs) 主要由六氯联苯和七氯联苯组成, 而四氯联苯和五氯联苯在长江亚种多氯联苯 (PCBs) 中也占较高的比例。

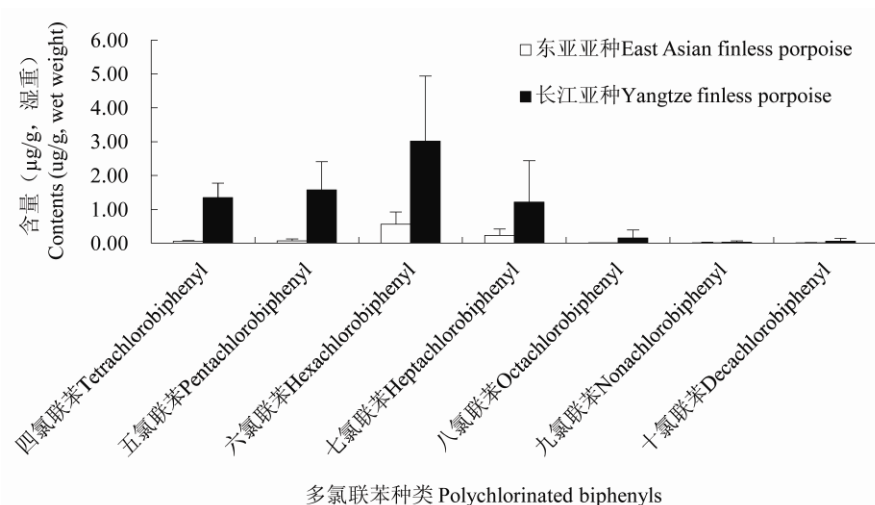


图 1 江豚体脂中多氯联苯的含量

Fig. 1 Contents of polychlorinated biphenyls (PCBs) in body fat of finless porpoise

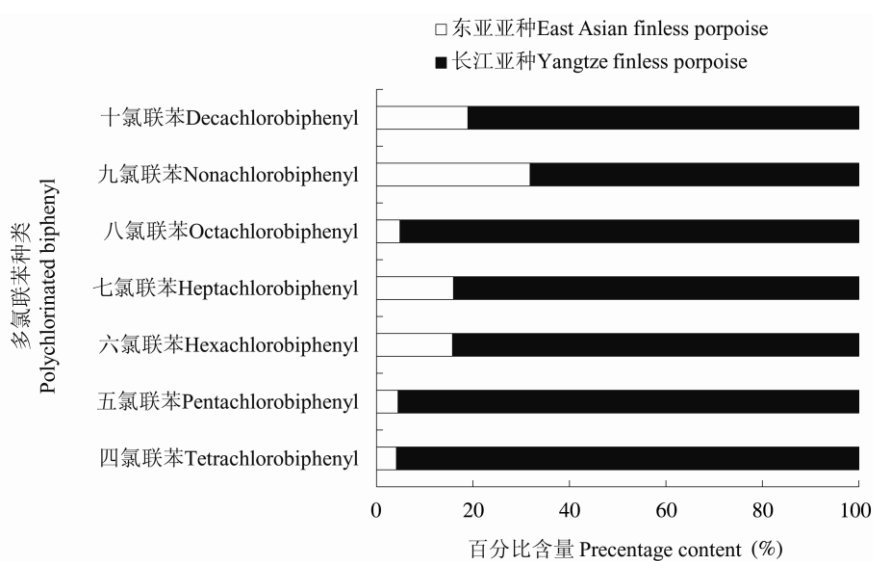


图 2 两个江豚亚种体脂中相同氯代多氯联苯的平均含量比较

Fig. 2 Comparison on average content of each chlorinated polychlorinated biphenyls (PCBs) in the body fat of two finless porpoise subspecies

2.4 多氯联苯含量与江豚年龄的相关性

图 4 显示了长江口江豚体脂中多氯联苯 (PCBs) 含量随年龄的变化趋势。不论是东亚亚种 (图 4a) 或长江亚种 (图 4b), 体脂中多氯联苯 (PCBs) 含量均随着年龄的增长而逐渐增加。特别是 1 头 8.5 龄的东亚亚种个体 (D4) 和 1 头 12 龄的长江亚种个体 (C2), 其多氯联

苯 (PCBs) 含量显著高于较低龄的个体, 表现出明显的年龄累积性。

3 讨论

3.1 长江口江豚不同亚种体脂中多氯联苯含量评价

本研究发现, 长江口江豚体脂中的多氯联

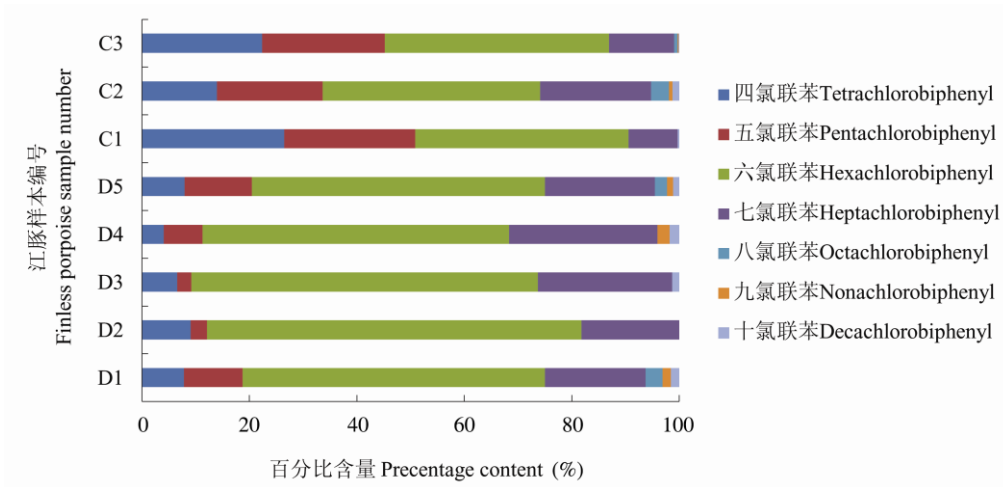


图 3 江豚体脂中氯代多氯联苯同分异构体的百分比含量

Fig. 3 The isomer-specific contents of polychlorinated biphenyls (PCBs) in body fat of finless porpoise

D1、D2、D3、D4、D5 为东亚亚种江豚，C1、C2、C3 为长江亚种江豚。

D1、D2、D3、D4、D5- East Asian finless porpoise, C1、C2、C3 - Yangtze finless porpoise.

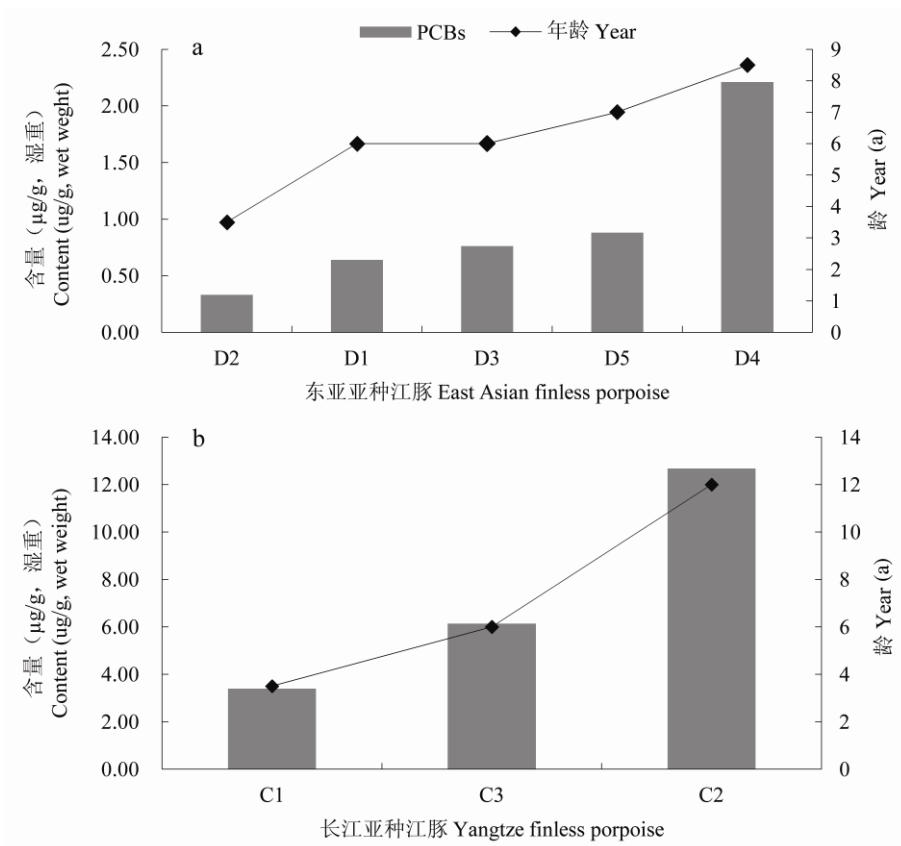


图 4 江豚体脂中多氯联苯含量与年龄的关系

Fig. 4 Relationship between age and concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in body fat of finless porpoise

a. 江豚东亚亚种; b. 江豚长江亚种。a. East Asian finless porpoise; b. Yangtze finless porpoise.

苯 (PCBs) 总量, 长江亚种 (3.40 ~ 12.67 µg/g, 湿重) 要显著高于东亚亚种 (0.33 ~ 2.21 µg/g, 湿重) (*T*-检验, $P < 0.05$)。多氯联苯 (PCBs) 是一类陆源性污染物, 这一结果表明, 江豚长江亚种生活的长江口淡水环境可能多氯联苯 (PCBs) 含量较高, 正遭受着比长江口外海域更严重的工业环境污染。

从体脂中多氯联苯 (PCBs) 的含量组成看, 东亚亚种和长江亚种主要由高氯代联苯 (六氯联苯和七氯联苯) 组成, 同时, 长江亚种中四氯联苯和五氯联苯含量也占较高的比例。但从同一种多氯联苯 (PCBs) 的含量比较看, 高氯代联苯在 2 个亚种间的含量差异明显小于低氯代联苯。这是因为在多氯联苯 (PCBs) 同分异构体中, 随着氯代数量的增加, 在水中的溶解度会降低, 亲脂性升高, 生物毒性增强, 且更不容易被生物所降解 (Storelli et al. 2000, Weisbrod et al. 2001)。低氯代组分 (一氯至三氯) 由于相对容易被环境降解和生物转化, 因此在所有江豚的体脂内均没有检测出。八氯至十氯联苯也由于在水中的溶解度较低, 在江豚

体脂内的含量也较低; 虽然这些高氯代组分在长江亚种中绝对值较高, 但从占总量的比例看, 则东亚亚种明显要高。

有研究显示, 4 龄前的雌性江豚体内滴滴涕 (双对氯苯基三氯乙烷 dichlorodiphenyltrichloroethane, DDTs) 和六氯环己烷 (hexachlorocyclohexane, BHCs) 浓度的蓄积随年龄增长而增加, 之后随年龄增长反而下降 (张淮城等 1993, 周荣等 1993)。但本研究发现, 江豚体内的多氯联苯 (PCBs) 浓度随着年龄的增长而持续增加, 并且在 6 ~ 7 龄之后, 多氯联苯 (PCBs) 蓄积速度更快。因此, 多氯联苯 (PCBs) 可能比滴滴涕 (DDTs) 和六氯环己烷 (BHCs) 等持久性有机污染物对江豚的健康状况威胁更大, 毒性也更持久。

3.2 不同海域江豚体脂中多氯联苯的含量比较

表 4 列出了几个水域江豚体脂内多氯联苯 (PCBs) 的含量, 可见以日本濑户内海江豚东亚亚种体内的多氯联苯 (PCBs) 含量最高, 日本大村湾海域的次之 (Isobe et al. 2011), 我国

表 4 不同海域江豚体脂中多氯联苯的含量

Table 4 The concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in blubber of finless porpoise in different sea areas

种名 Species	海域 Sea area	年份 Year	多氯联苯 (µg/g) Polychlorinated biphenyls (PCBs)	Reference 参考文献
江豚东亚亚种 <i>Neophocaena asiaorientalis sunameri</i>	日本濑户内海 Seto inland sea	2000 ~ 2007	♂ 1.30 ~ 52.00 ($n = 30$)	Isobe et al. 2011
		1999 ~ 2000	♀ 1.50 ~ 21.00 ($n = 9$)	
	日本大村湾 Omura bay	2005 ~ 2007	♂ 1.90 ~ 21.00 ($n = 9$)	
		2005 ~ 2007	♀ 1.40 ~ 9.10 ($n = 3$)	
印太江豚 <i>N. phocaenoides</i>	福建东山 Dongshan, Fujian	1990	♂ 5.00 ~ 11.00 ($n = 7$)	Ramu et al. 2006
	香港 Hongkong	2000 ~ 2001	♂ 1.40 ~ 28.00 ($n = 5$)	
江豚东亚亚种 <i>N. asiaorientalis sunameri</i>	长江口 Yangtze estuary	2014	♂ 0.64 ~ 2.21 ($n = 2$) ♀ 0.33 ~ 0.76 ($n = 3$)	本文
江豚长江亚种 <i>N. asiaorientalis asiaorientalis</i>	长江口 Yangtze estuary	2012 ~ 2014	♀ 3.40 ~ 12.67 ($n = 3$)	

福建东山和香港海域印太江豚的多氯联苯 (PCBs) 含量也很高 (Ramu et al. 2006)。尽管本文的结果中长江口长江亚种的多氯联苯 (PCBs) 含量明显高于东亚亚种, 但与上述水域中江豚或印太江豚体脂内的含量相比, 长江口江豚体内多氯联苯 (PCBs) 含量最低 (表 4)。

有研究认为, 当动物体内的多氯联苯 (PCBs) 浓度超过 50 ~ 200 $\mu\text{g/g}$ (湿重) 时, 会对海洋哺乳动物产生很大的危害 (Wagemann et al. 1984)。西地中海海域的条纹原海豚 (*Stenella coeruleoalba*) 由于低剂量多氯联苯 (PCBs) 的长期作用, 免疫能力减弱, 肝功能受到破坏, 感染了流行性麻疹病毒 (Epidemic measles virus), 并大批死亡 (Kannan et al. 1993)。对地中海利古里亚、勒尼安海和爱奥尼亚海岸搁浅的 89 头条纹原海豚的研究发现, 由于体内多氯联苯 (PCBs) 的累积, 使得雄性海豚体内雌激素和抗雄性激素水平明显高于雌性海豚, 从而对海豚种群的繁衍生息产生了很大危害 (Marsili et al. 2004)。虽然长江口江豚体脂中的多氯联苯 (PCBs) 平均浓度仅 3.38 $\mu\text{g/g}$, 但对江豚这一濒危物种来说, 多氯联苯 (PCBs) 含量的积累和潜在毒性还应引起高度关注。

近年来, 长江江豚的健康状况普遍不佳 (于道平等 2002), 种群明显衰退 (梅志刚等 2011), 长江口江豚死亡事件不断发生 (魏凯等 2009, 姚思聪等 2014)。2012 ~ 2014 年间, 我们搜寻到 70 多头在长江口死亡的江豚遗骸, 除了渔具等造成的直接伤害, 还有一些不明原因的死亡事件, 包括多氯联苯 (PCBs) 在内的环境污染可能是造成江豚死亡的原因之一。

致谢 赵振官实验师、姚思聪和樊明宁同学协助江豚遗骸的收集和解剖, 郭弘艺工程师帮助数据分析, 特此深表谢意!

参 考 文 献

Committee on Taxonomy. 2015. List of Marine Mammal Species and Subspecies. Society for Marine Mammalogy. [DB/OL]. [2015-07-24]. www.marinemammalscience.org.

- Erickson M D, Kaley II R G. 2011. Applications of polychlorinated biphenyls. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(2): 135–151.
- Isobe T, Oshihoi T, Hamada H, et al. 2011. Contamination status of POPs and BFRs and relationship with parasitic infection in finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) from Seto Inland Sea and Omura Bay, Japan. *Marine Pollution Bulletin*, 63(5/12): 564–571.
- Jefferson T A, Wang J Y. 2011. Revision of the taxonomy of finless porpoises (genus *Neophocaena*): the existence of two species. *Journal of Marine Animals and Their Ecology*, 4(1): 3–16.
- Kannan K, Tanabe S, Borrell A, et al. 1993. Isomer-specific analysis and toxic evaluation of polychlorinated biphenyls in striped dolphins affected by an epizootic in the western Mediterranean Sea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 25(2): 227–233.
- Marsili L, D'Agostino A, Bucalossi D, et al. 2004. Theoretical models to evaluate hazard due to organochlorine compounds (OCs) in Mediterranean striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*). *Chemosphere*, 56(8): 791–801.
- Ramu K, Kajiwara N, Lam P K S, et al. 2006. Temporal variation and biomagnification of organohalogen compounds in finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) from the South China Sea. *Environmental Pollution*, 144(2): 516–523.
- Storelli M M, Marcotrigiano G O. 2000. Persistent organochlorine residues in Risso's dolphins (*Grampus griseus*) from the Mediterranean Sea (Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 40(6): 555–558.
- Vos J, Van Loveren H, Wester P, et al. 1989. Toxic effects of environmental chemicals on the immune system. *Trends in Pharmacological Sciences*, 10(7): 289–292.
- Wagemann R, Muir D C G. 1984. Concentrations of Heavy Metals and Organochlorines in Marine Mammals of Northern Waters: Overview and Evaluation. Canada: Fisheries and Oceans Canada.
- Weisbrod A V, Shea D, Moore M J, et al. 2001. Species, tissue and gender-related organochlorine bioaccumulation in white-sided dolphins, pilot whales and their common prey in the Northwest Atlantic. *Marine Environmental Research*, 51(1): 29–50.

- 段晓勇. 2014. 黄、东海沉积物中多氯联苯的分布及来源. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 1-12.
- 郝玉江, 王丁, 张先锋. 2006. 长江江豚繁殖生物学研究概述. 兽类学报, 26(2): 191-200.
- 黄健生, 贾晓平, 王耀, 等. 2010. 福建海域中华白海豚皮脂的多氯联苯研究. 海洋环境科学, 29(5): 675-678.
- 梁恕坤. 2009. 多氯联苯对水生生物的生态毒性研究进展. 山东省农业管理干部学院学报, 25(4): 155-158.
- 梅志刚, 郝玉江, 郑劲松, 等. 2011. 长江江豚种群衰退机理研究进展. 生命科学, 23(5): 519-524.
- 孟紫强. 2006. 生态毒理学原理与方法. 北京: 科学出版社, 93-134.
- 唐文乔. 2003. 长江口附近水生哺乳动物的记录 // 陈家宽. 九段沙湿地自然保护区科学考察集. 北京: 科学出版社.
- 魏凯, 郭弘艺, 田芝清, 等. 2009. 长江口两头江豚遗骸的年龄及死因分析. 上海海洋大学学报, 18(1): 111-114.
- 杨光, 周开亚. 1997. 中国水域江豚种群遗传变异的研究. 动物学报, 43(4): 411-419.
- 姚思聪, 樊明宁, 唐文乔, 等. 2014. 长江河口区江豚种群调查. 动物学杂志, 49(2): 145-153.
- 于道平, 蒋文华, 董明琨, 等. 2002. 长江江豚野外健康状况的调查. 动物学杂志, 37(5): 70-73.
- 张淮城, 周荣, 周开亚. 1993. 渤海江豚体内有机氯的研究. 海洋环境科学, 12(3/4): 32-39.
- 张先锋. 1992. 江豚的年龄鉴定、生长和生殖的研究. 水生生物学报, 16(4): 289-298.
- 张先锋, 刘仁俊, 赵庆中, 等. 1993. 长江中下游江豚种群现状评价. 兽类学报, 13(4): 260-270.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 2008. GB/T 22331-2008 水产品中多氯联苯残留量的测定 气相色谱法. 北京: 中国标准出版社.
- 周启星, 孔繁翔, 朱琳. 2004. 生态毒理学. 北京: 科学出版社, 306-334.
- 周荣, 周开亚, 神谷敏郎. 1993. 黄海江豚体脂中有机氯的含量及其与年龄等相关性的研究. 环境科学学报, 13(3): 360-366.
- 庄平, 刘健, 王云龙, 等. 2009. 长江口中华鲟自然保护区科学考察与综合管理. 北京: 海洋出版社.