

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20170228002

于英鹏, 刘敏. 太湖流域水源地多氯联苯分布特征与污染水平[J]. 生态毒理学报, 2018, 13(1): 147-153

Yu Y P, Liu M. Distribution characteristics and pollution level of PCBs in water source area of Taihu River Basin [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2018, 13(1): 147-153 (in Chinese)

太湖流域水源地多氯联苯分布特征与污染水平

于英鹏¹, 刘敏^{2,*}

1. 盐城师范学院城市与规划学院, 盐城 224051

2. 华东师范大学地理科学学院, 上海 200241

收稿日期: 2017-02-28 录用日期: 2017-05-22

摘要: 为系统了解太湖流域主要水源地多氯联苯(PCBs)的污染现状, 于 2012 年 3 月和 6 月分别采集水相、悬浮颗粒物和沉积物样品, 并利用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)对 PCBs 的浓度进行了分析。结果表明, 3 月水相、悬浮颗粒物和沉积物中均未检测出 PCBs 类物质。6 月水相中 PCBs 质量浓度在 ND~1.04 ng·L⁻¹ 之间, 平均值为 0.57 ng·L⁻¹, 悬浮颗粒物和沉积物中 PCBs 质量浓度分别在 0.96~2.72 ng·g⁻¹ 和 0.47~1.29 ng·g⁻¹ 之间。Aroclor 1016 和 Aroclor 1260 在 3 种介质中均有检出, 且 Aroclor 1016 浓度均为最高。与国内外研究相比较, 太湖流域主要水源地 PCBs 污染水平较低。水相中 PCBs 浓度水平低于我国地表水环境质量标准; 悬浮颗粒物和沉积物中 PCBs 浓度水平平均低于加拿大保护水生环境沉积物化学品风险评价标准的 LEL 值, 说明各样点 PCBs 对底栖动物无毒性影响。

关键词: 太湖流域水源地; 多氯联苯; 污染水平; 分布特征

文章编号: 1673-5897(2018)1-147-07 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Distribution Characteristics and Pollution Level of PCBs in Water Source Area of Taihu River Basin

Yu Yingpeng¹, Liu Min^{2,*}

1. School of Urban and Planning, Yancheng Teachers University, Yancheng 224051, China

2. School of Geographical Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China

Received 28 February 2017 accepted 22 May 2017

Abstract: In order to systematically investigate the pollution status of polychlorinated biphenyls (PCBs) in major water source area of Taihu River Basin, water samples, suspended particulate matter and sediment samples were collected in March 2012 and June 2012, respectively. Then samples were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) to investigate the concentration of PCBs. The results showed that, in March, there were no PCBs in water, suspended particulate matter and sediment. In June, the concentration of PCBs in the aqueous phase was between ND and 1.04 ng·L⁻¹, with an average of 0.57 ng·L⁻¹. The concentration of PCBs in suspended particles and sediments was between 0.96 to 2.72 ng·g⁻¹ and 0.47 to 1.29 ng·g⁻¹, respectively. Aroclor 1016 and Aro-

基金项目: 江苏省自然科学基金(No. BK20160446, No. BK20160445); 江苏省教育厅基金(No. 14KJA170006); 国家自然科学基金(No. 41501567, No. 41471060); 江苏省环境监测科研基金项目(No. 1713)

作者简介: 于英鹏(1985-), 男, 博士研究生, 研究方向为持久性有机污染多界面过程, E-mail: ppy.lzu@163.com

* 通讯作者(Corresponding author), E-mail: mliu@geo.ecnu.edu.cn

clor 1260 were detected in all kinds of medium, and the concentrations of Aroclor 1016 were the highest. Compared with the domestic and foreign researches, the pollution level of PCBs was lower in water source area of Taihu River Basin. The concentration of PCBs in the water phase was lower than environmental quality standards for surface water in China. The concentration of PCBs in suspended particulate matter and sediments were lower than the LEL value of risk assessment criteria for aquatic chemicals in Canada, which indicates PCBs has no toxic effect on benthic animals at each sampling site.

Keywords: water source area of Taihu River Basin; polychlorinated biphenyls; pollution level; distribution characteristics

多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)是一类典型的持久性有机污染物,具有“三致”效应和生物富集性,进入环境后在多介质中进行迁移传输,对人类及生态环境造成了极大危害,已成为学者聚焦的热点环境问题^[1-4]。已有研究发现,PCBs 浓度水平与人体高血压、糖尿病的发病率具有很好的正相关性^[5]。此外,PCBs 能够破坏细胞新陈代谢、造成蛋白质损伤^[3]。太湖流域是我国重要的粮食生产基地和经济最发达的地区之一,面临着严峻的水资源问题。国家和地方政府部门对太湖流域水体安全问题极为关注,实施了一系列水体污染控制和专项治理活动^[6]。学者针对太湖流域水环境问题开展了大量研究,但多关注水体中氮、磷营养盐和重金属等传统污染物的研究^[7-10],对持久性有机污染物 PCBs 的相关研究较少。马召辉等^[11]研究发现,太湖北岸 PCBs 的污染水平高于南岸、岸边高于湖心,PCBs 的浓度在 $7.1 \sim 354.6 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$ (干重)之间。陈燕燕等^[12]研究发现,太湖表层沉积物中 PCBs 的浓度在 $1.35 \sim 13.8 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间,判源结果表明,沉积物中 PCBs 具有明显的混合源特征。边学森等^[13]对太湖背角无齿蚌的研究发现,蚌类体内均有不同 PCBs 同系物检出,浓度在 $0.68 \sim 58.09 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间,PCBs 残留量未超过国家食品安全限值。已有关于太湖流域 PCBs 的研究多关注单一环境介质中 PCBs 的富集水平,缺少对水体的综合分析评价,特别是主要水源地 PCBs 的污染情况。基于此,本研究选取 15 个重点水源地,分别对水相、悬浮颗粒物和沉积物中 PCBs 分布特征及污染水平进行了分析,以期对太湖流域水资源管理与水污染应急响应提供理论基础和数据支撑。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 样品采集

于 2012 年 3 月和 6 月,选取 15 个太湖流域主要水源地取水口,分别为 $Y_1 \sim Y_{15}$ 采样点(图 1)。在

每个采样点取水口附近采集 20 L 表层水装于棕色的广口瓶中运回实验室,立即利用装有玻璃纤维滤膜(Whatman GF/F, 孔径 $0.7 \mu\text{m}$)的真空泵过滤装置进行水样过滤,收集悬浮颗粒物并分离出水相(20 L 滤出液平分 2 份,做平行分析)。随后,将玻璃纤维滤膜放入冷冻风干机以 -40°C 风干 24 h 后待分析。利用可开合管式采样器在 Y_2 、 Y_3 、 Y_7 和 Y_8 采集表层沉积物(0~5 cm),样品采集后立即运回实验室冷冻风干过 200 目筛待分析。

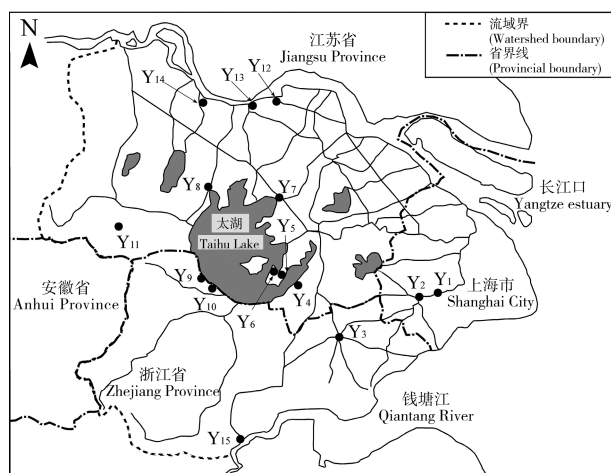


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution map of sampling sites

1.2 样品预处理及仪器分析

水相:10 L 滤出液用固相萃取柱(HC-C18 SPE, 填料质量为 500 mg, 柱体积 6 mL)。依次用二氯甲烷、甲醇、超纯水各 5 mL 进行活化)萃取,调节流速为 $5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,萃取后用 15 mL 二氯甲烷和正己烷溶液(体积比为 1:1)洗脱 SPE 小柱,洗脱液经无水硫酸钠脱水后旋转蒸发浓缩至 1 mL 转移至样品瓶中待测。悬浮颗粒物和沉积物:参考美国 EPA 方法(3545A),分别将每个样点水样抽提后的玻璃纤维滤膜(5 g 沉积物样品)、1 g 铜粉和 4~5 g 石英砂混匀

装入加速溶剂萃取仪(ASE, Dionex ASE300)的萃取池中,空余体积用石英砂填满,选择正己烷和丙酮混合溶剂(体积比为 1:1)进行萃取,提取液经旋转蒸发器浓缩至 2~3 mL,过氧化铝硅胶复合层析柱(从上到下依次为无水硫酸钠、氧化铝和硅胶),后经 70 mL 正己烷与二氯甲烷的混合溶剂(体积比为 1:1)淋洗,淋洗液经氮吹浓缩定容至 1 mL 进行仪器分析。仪器分析前加入内标物,内标为 ^{13}C -PCB141 和 PCB209。详细仪器分析过程见参考文献[14]。

1.3 质量控制与质量保证(QC/QA)

整个实验分析过程按方法空白、空白加标、样品平行样进行质量控制和质量保证。方法空白未检出目标污染物,平行样相对标准偏差(RSD)<10%,空白加标回收率为 91.6%~100.2%。回收率指示物 ^{13}C -PCB141 和 PCB-209 回收率分为(95.2%~110.8%)和(92.3%~109.1%)。水相中 PCBs 的方法检测限为 $0.01\sim 0.12\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,悬浮颗粒物和沉积物中 PCBs 方法检测限为 $0.01\sim 0.08\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

2 结果与讨论(Results and discussion)

2.1 水源地 PCBs 浓度特征

太湖流域主要水源地水相中 PCBs 质量浓度见图 2,3 月所有采样点均未检测出 PCBs 类物质。6 月 PCBs 浓度在 $\text{ND}\sim 1.04\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均值为 $0.57\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 。从空间分布看, Y_1 和 Y_{14} 采样点 PCBs 的浓度最高($1.04\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$), Y_{14} 采样点位于长江下游,可能是上游沿岸地区排放的工业废水或垃圾堆放场泄漏

导致其具有较高浓度;而 Y_1 采样点地处上海市闵行区,附近主要为工业区和装卸码头,因此可能使用含有 PCBs 类物质的工业品频繁且密集,大量的变压器和电容器的冷却剂、绝缘材料、耐腐蚀的涂料中均含有 PCBs。其次为 Y_5 ($0.79\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$) 和 Y_2 ($0.78\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$) 采样点, Y_{13} 采样点 PCBs 浓度最低($0.22\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$), Y_6 采样点未检出 PCBs 物质。

在水环境中,悬浮颗粒物是 PCBs 主要吸附载体。沉积物的再悬浮作用也会引起 PCBs 向上覆水体释放从而加重水体的 PCBs 污染。3 月所有采样点悬浮颗粒物中 PCBs 浓度均低于检出线。6 月悬浮颗粒物中 PCBs 浓度在 $0.96\sim 2.72\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间(图 2)。从空间分布来看 Y_{10} 采样点 PCBs 浓度最高($2.72\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$),其次是 Y_1 ($2.45\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)、 Y_8 ($1.99\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)、 Y_4 ($1.91\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) 和 Y_{15} ($1.83\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) 采样点,同样 Y_{13} 采样点 PCBs 浓度最低($0.96\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。

PCBs 的疏水亲脂性使其能很快吸附到沉积物有机质和生物脂肪中,沉积物中的 PCBs 一方面可以通过再悬浮作用再次进入水体,另一方面可以通过水生植物和底栖生物的富集效应间接危害人类,因而沉积物中 PCBs 浓度水平和组成特征是衡量水生态环境的一个重要指标。太湖流域水源地沉积物中 PCBs 浓度在 $0.47\sim 1.29\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间(图 2),从空间分布特征看, Y_3 采样点 PCBs 浓度最高($1.29\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。其次是 Y_7 ($1.17\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) 和 Y_2 ($0.87\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) 采样点, Y_8 采样点 PCBs 浓度最低($0.47\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。

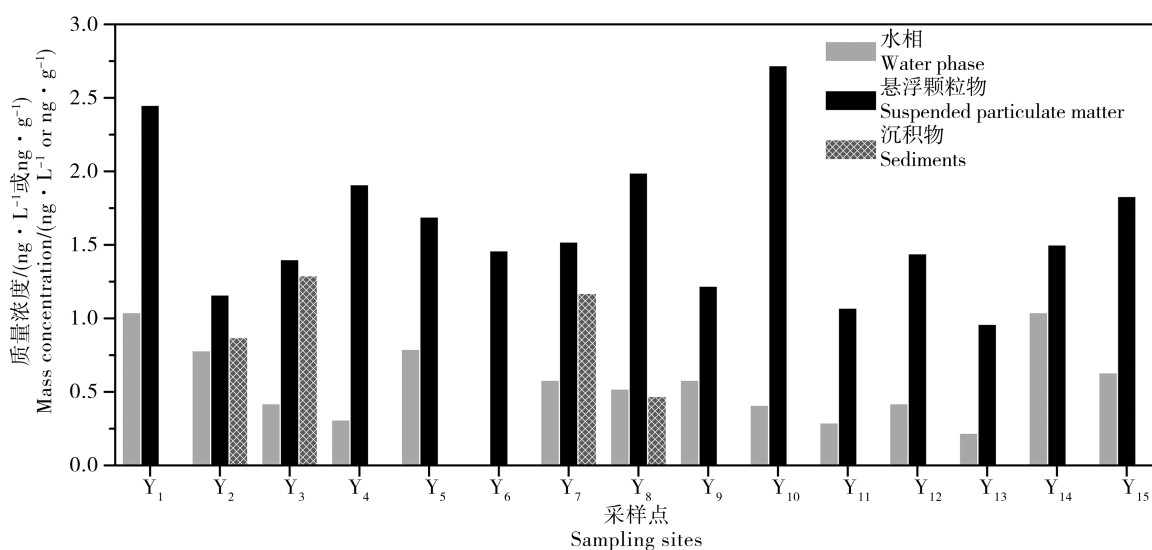
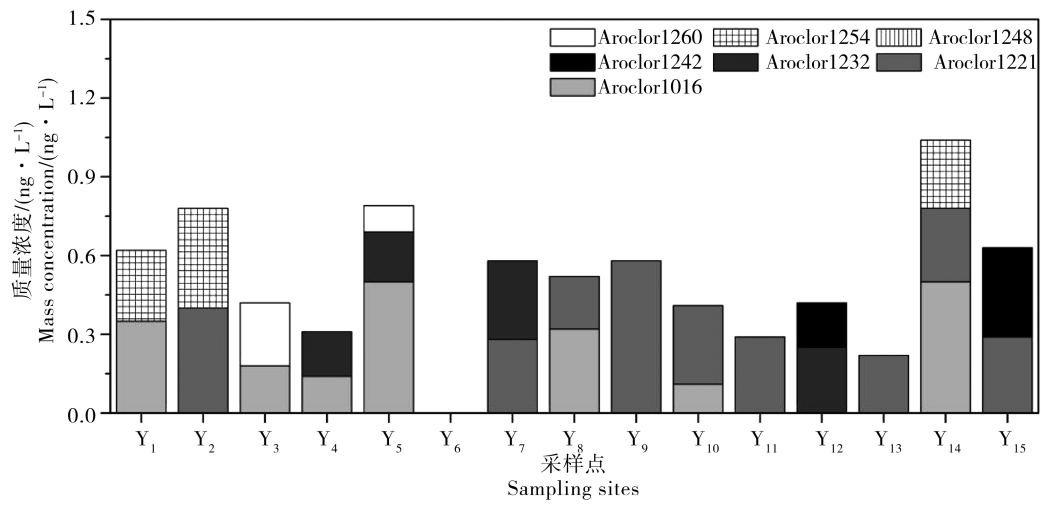
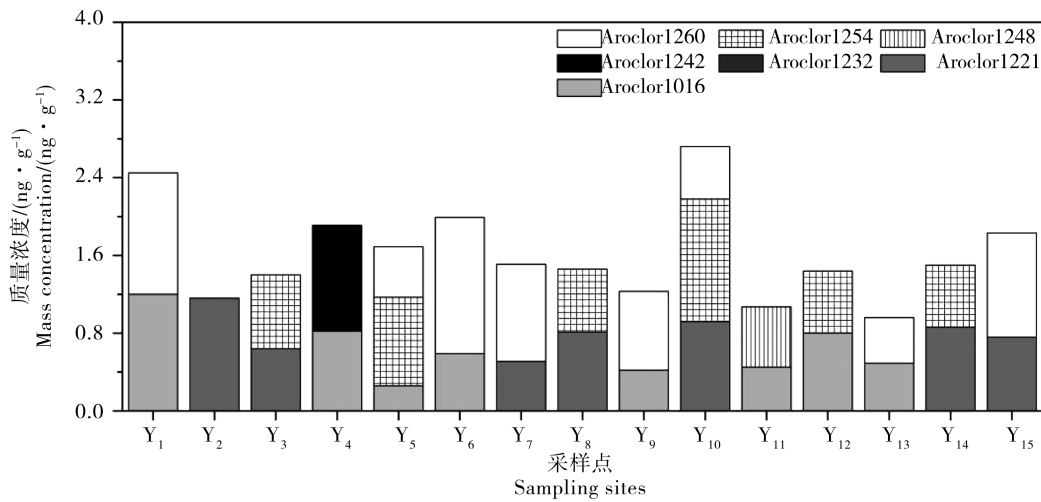


图 2 6 月太湖流域水源地多氯联苯 (PCBs) 浓度特征

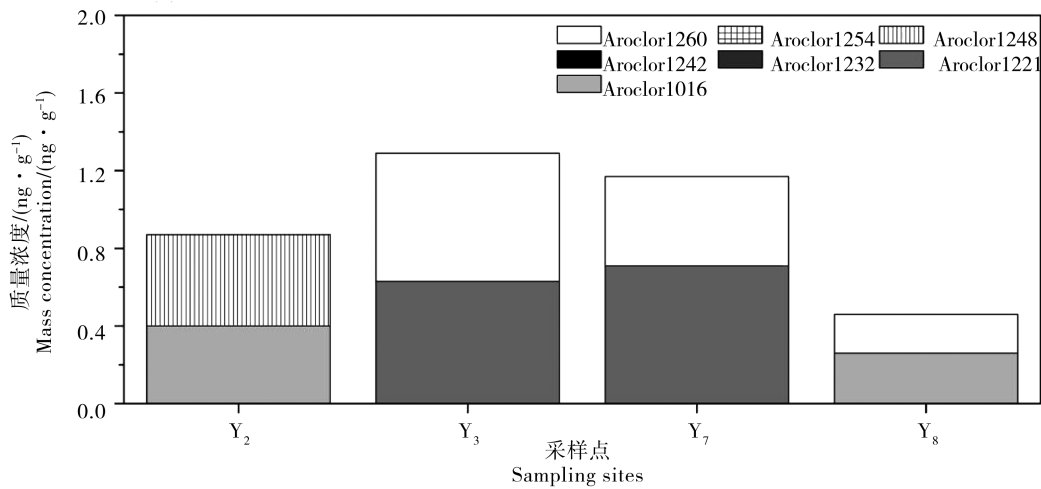
Fig. 2 Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in water source area of Taihu River Basin in June



(a) 水相中PCBs组成特征
(a) Composition characteristics of PCBs in water phase



(b) 悬浮颗粒物中PCBs组成特征
(b) Composition characteristics of PCBs in suspended particulate matter



(c) 沉积物中PCBs组成特征
(c) Composition characteristics of PCBs in sediments

图3 太湖流域水源地 PCBs 组成特征

Fig. 3 Composition characteristics of PCBs in water source area of Taihu River Basin

2.2 水源地 PCBs 组成分析

在6月,各采样点水相中 PCBs 表现出相同的分布特征,即三、四氯联苯(Aroclor1242、Aroclor1016和 Aroclor1248)浓度>五、六氯联苯(Aroclor 1254 和 Aroclor 1260)浓度>其他联苯(Aroclor 1221 和 Aroclor 1232)浓度,说明本研究水相中 PCBs 主要来源于三氯和四氯联苯的混合污染,这与陈燕燕等^[12]和计勇等^[15]的研究结果基本一致。我国从1965年至1974年间生产了约9万吨三氯联苯用于制作电容器,约1万吨五氯联苯用于油漆生产等工业过程。因此,研究区域内包括油漆工业和电力制造业在内的工业生产过程可能是水源地水相中 PCBs 主要来源。图3所示,6月水源地水相中 PCBs 类物质检出率最高的为 Aroclor 1221 和 Aroclor 1016, Aroclor 1221 在大部分采样点均有检出。Aroclor 1248 在所有采样点均未检出,其余 Aroclor 均有不同程度检出。悬浮颗粒物中 PCBs 检出率最高的为 Aroclor 1016 和 Aroclor 1260,除 Aroclor 1232 在所有采样点均未检出,其余6种 Aroclor 均有检出。沉积物中 PCBs 检出率最高的同样为 Aroclor 1016 和 Aroclor 1260,其中 Aroclor 1232、Aroclor 1242 和 Aroclor 1254 未检出。

2.3 水源地 PCBs 污染水平

太湖流域水源地水相中 PCBs 的浓度在 ND~1.04 ng·L⁻¹之间,平均值为 0.54 ng·L⁻¹。与国内外其他河流和水源地的研究数据比较发现太湖流域水源地水相中 PCBs 的浓度水平略高于岷江(0.19 ng·L⁻¹)^[16]、邓生河(0.14 ng·L⁻¹)^[16]、卧龙高山雪(0.43 ng·

L⁻¹)^[16]和卧龙垭口冰(0.37 ng·L⁻¹)^[16],稍低于卧龙垭口雪(1.53 ng·L⁻¹)^[16],而远低于闽江口(203.9~2473 ng·L⁻¹)^[17]和通惠河(31.58~344.9 ng·L⁻¹)^[18]。可以看出相较与其他研究区域,太湖流域水源地水相中 PCBs 污染水平较低。此外,本研究 PCBs 浓度均未超过我国地表水环境质量标准(GB3838—2002)中 PCBs 的限制值(200 ng·L⁻¹),说明本研究水源地水相中 PCBs 污染水平较低。

悬浮颗粒物中 PCBs 的浓度在 0.96~2.72 ng·g⁻¹之间,平均值为 1.62 ng·g⁻¹。浓度水平远低于长江南京段(6.78~17.95 ng·g⁻¹)^[19]、长江口(2.5~51.5 ng·g⁻¹)^[20]、美国 Chesapeake 湾^[21]和欧洲 Guadiana 河^[22],说明本研究水源地悬浮颗粒物中 PCBs 污染水平低于其他研究区域。沉积物中 PCBs 的浓度在 0.47~1.29 ng·g⁻¹之间,平均值为 0.95 ng·g⁻¹。远低于太湖水体沉积物(1.35~13.8 ng·g⁻¹)^[12]和 Mersey 河口(36~1409 ng·g⁻¹)^[23] PCBs 的浓度,与 Hugli 河口(0.31~2.33 ng·g⁻¹) PCBs 浓度相当^[24]。目前国内还没有系统针对悬浮颗粒物或沉积物中 PCBs 的评价标准,虽然国外在该方面虽做了较多工作,但尚未建立统一的污染和风险评价标准。本研究采用加拿大保护水生环境沉积物化学品风险评价标准对太湖流域水源地 PCBs 进行潜在的水环境风险进行评价^[25]。表1所示,水源地各采样点悬浮颗粒物中 PCBs 浓度均低于 LEL 值。同样,沉积物中 PCBs 浓度也低于 LEL 值,说明本研究各采样点悬浮颗粒物和沉积物中 PCBs 对水体中大多数底栖动物无毒性影响。

表1 悬浮颗粒物和沉积物中 PCBs 浓度与 NEL、LEL 和 SEL 对比^[25]

Table 1 Comparison of PCBs concentration in suspended particulate matter and sediments with NEL, LEL and SEL^[25]

污 染 物		NEL/(ng·g ⁻¹)	LEL/(ng·g ⁻¹)	SEL/(ng·g ⁻¹)	本研究/(ng·g ⁻¹)	<LEL(%)	>SEL(%)
Pollutants					This study/(ng·g ⁻¹)		
悬浮颗粒物 Suspended particulate matter	Aroclor 1016	-	7	53 000	ND~1.20	100	0
	Aroclor 1248	-	30	150 000	ND~0.62	100	0
	Aroclor 1254	-	60	34 000	ND~1.26	100	0
	Aroclor 1260	-	5	24 000	ND~1.40	100	0
	Σ PCBs	10	70	530 000	0.96~2.72	100	0
沉积物 Sediments	Aroclor 1016	-	7	53 000	ND~0.40	100	0
	Aroclor 1248	-	30	150 000	ND~0.47	100	0
	Aroclor 1254	-	60	34 000	ND	100	0
	Aroclor 1260	-	5	24 000	ND~0.66	100	0
	Σ PCBs	10	70	530 000	0.47~1.29	100	0

注: NEL—对底栖生物无毒性影响, LEL—对底栖生物有潜在影响, SEL—对底栖动物有严重影响。

Note: NEL, non-toxic effects on benthos; LEL, having a potential impact on benthos; SEL, seriously affecting benthic animals.

综上所述:(1)3月各采样点均未检出PCBs,而6月大多数采样点均有PCBs检出。水相中PCBs质量浓度在 $ND \sim 1.04 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,平均为 $0.57 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$ 。悬浮颗粒物和沉积物中PCBs的质量浓度在 $0.47 \sim 2.72 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间。水相和悬浮颗粒物中PCBs浓度最高值均为 Y_1 采样点,而 Y_{13} 采样点PCBs浓度最低。

(2)本研究PCBs呈现出较明显的混合来源特征。所有采样点检出的PCBs以Aroclor 1016和Aroclor 1260为主,这可能与我国主要生产和使用的PCBs有关。

(3)水源地PCBs总体污染水平较低。水相中PCBs浓度水平远低于我国地表水环境质量的限制值,而悬浮颗粒物和沉积物中PCBs的浓度水平对大多数底栖动物无毒性影响。

通讯作者简介:刘敏(1964—),男,沉积地球化学博士,教授,研究方向为城市环境化学与生态过程,发表学术论文200余篇。

参考文献(References):

- [1] Wania F, Mackay D. Peer reviewed: Tracking the distribution of persistent organic pollutants [J]. *Environmental Science and Technology*, 1996, 30(9): 390-396
- [2] Wang C, Xu S Q, Zi Q L. Exposure to persistent organic pollutants as potential risk factors for developing diabetes [J]. *Science China (Chemistry)*, 2010, 53(5): 980-994
- [3] 章荣华, 徐彩菊, 沈海涛, 等. 电子废物暴露人群氧化损伤及免疫毒性效应研究[J]. *卫生研究*, 2012, 41(2): 199-203
- Zhang R H, Xu C J, Shen H T, et al. Oxidative damage and immunotoxicity effect of people who exposed to electronic waste [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2012, 41(2): 199-203 (in Chinese)
- [4] 时国庆, 李栋, 卢晓坤, 等. 环境内分泌干扰物质的健康影响与作用机制[J]. *环境化学*, 2011, 30(1): 211-223
- Shi G Q, Li D, Lu X K, et al. The health effects and related mechanism of environmental endocrine disruptors [J]. *Environmental Chemistry*, 2011, 30(1): 211-223 (in Chinese)
- [5] Wang Y, Hu J, Lin W, et al. Health risk assessment of migrant workers exposure to polychlorinated biphenyls in air and dust in an e-waste recycling area in China: Indication for a new wealth gap in environmental rights [J]. *Environment International*, 2016, 87: 33-41
- [6] 李家才. 总量控制与太湖流域水污染治理——《太湖流域水环境综合治理总体方案》述评[J]. *环境污染与防治*, 2010, 32(4): 96-100
- Li J C. Loading cap and water pollution control in Taihu Lake basin: A review of General Plan about Comprehensive Treatment of Ambient Water in Taihu Lake Basin [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2010, 32(4): 96-100 (in Chinese)
- [7] 涂勇, 刘伟京, 张耀辉, 等. 太湖上游流域地表水及污水处理厂尾水氮、磷污染特征分析[J]. *环境污染与防治*, 2014, 36(3): 8-13
- Tu Y, Liu W J, Zhang Y H, et al. Pollution characteristics of nitrogen and phosphorus in surface water and effluent from wastewater treatment plant in upstream reaches of the Taihu Lake [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2014, 36(3): 8-13 (in Chinese)
- [8] 高振美, 张波, 商景阁, 等. 太湖流域小型水源性湖泊氮、磷时空分布及营养状态评价[J]. *环境污染与防治*, 2012, 34(1): 9-14
- Gao Z M, Zhang B, Shang J G, et al. Temporal and spatial distribution of nitrogen and phosphorus and evaluation of trophic status of a water supply lake in Taihu basin [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2012, 34(1): 9-14 (in Chinese)
- [9] 李春江, 叶春, 李春华, 等. 太湖湖泊缓冲带不同类型草林复合系统中氮、磷的溶出与沉降特征[J]. *环境污染与防治*, 2015, 37(2): 42-46
- Li C J, Ye C, Li C H, et al. Characteristics of N, P dissolution and deposition in different types of grass-tree complex system in Taihu Lake buffer zones [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2015, 37(2): 42-46 (in Chinese)
- [10] 陈雷, 远野, 卢少勇, 等. 环太湖主要入出湖口表层沉积物污染特征研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(1): 294-299
- Chen L, Yuan Y, Lu S Y, et al. The analysis of pollutant characteristics in surface sediments of the stream inlets and outlets of the main rivers around Taihu Lake [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(1): 294-299 (in Chinese)
- [11] 马召辉, 金军, 元学奎, 等. 太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平[J]. *环境科学*, 2013, 34(3): 1136-1141
- Ma Z H, Jin J, Qi X K, et al. Vertical distribution of PBDEs and DL-PCBs in sediments of Taihu Lake [J]. *Environmental Science*, 2013, 34(3): 1136-1141 (in Chinese)
- [12] 陈燕燕, 尹颖, 王晓蓉, 等. 太湖表层沉积物中PAHs和PCBs的分布及风险评价[J]. *中国环境科学*, 2009, 29(2): 118-124
- Chen Y Y, Yin Y, Wang X R, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyl in surface

- sediments of Taihu Lake: The distribution, sources and risk assessment [J]. *China Environmental Science*, 2009, 29(2): 118-124 (in Chinese)
- [13] 边学森, 刘洪波, 甘居利, 等. 太湖背角无齿蚌中多氯联苯的残留[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(2): 767-772
- Bian X S, Liu H B, Gan J L, et al. Residues of PCBs in *Anodonta woodiana* from the Taihu Lake, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2): 767-772 (in Chinese)
- [14] 陈来国, 麦碧嫻, 许振成, 等. 广州市夏季大气中多氯联苯和多溴联苯醚的含量及组成对比[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(1): 150-159
- Chen L G, Mai B X, Xu Z C, et al. Comparison of PCBs and PBDEs concentrations and compositions in the Guangzhou atmosphere in summer [J]. *Acta Science Circumstantiae*, 2008, 28(1): 150-159 (in Chinese)
- [15] 计勇, 陆光华, 秦健, 等. 太湖北部湾沉积物有机氯农药残留特征及评价[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(1): 551-555
- Ji Y, Lu G H, Qin J, et al. The distribution and risk assessment of organochlorine pesticides in surface sediment of Taihu [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(1): 551-555 (in Chinese)
- [16] 潘静. 典型东部沿海和西部高原地区持久性有机污染物的污染特征研究[D]. 上海: 东华大学, 2008: 106-129
- Pan J. Studies on distribution characteristics of persistent organic compounds in typical coastal cities of eastern China and high mountain area in western China [D]. Shanghai: Dong Hua University, 2008: 106-129 (in Chinese)
- [17] Zhou J L, Hong H, Zhang Z, et al. Multi-phase distribution of organic micropollutants in Xiamen Harbour, China [J]. *Water Research*, 2000, 34(7): 2132-2150
- [18] Zhang Z L, Huang J, Yu G, et al. Occurrence of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the Tonghui River of Beijing, China [J]. *Environmental Pollution*, 2004, 130: 249-261
- [19] 蒋新, 许士奋, Martens D, 等. 长江南京段水、悬浮物和沉积物中多氯有毒有机污染物[J]. *中国环境科学*, 2000, 20(3): 193-197
- Jiang X, Xu S F, Martens D, et al. Polychlorinated organic contaminants in waters, suspended solids and sediments of Nanjing section, Yangtze River [J]. *China Environmental Science*, 2000, 20(3): 193-197 (in Chinese)
- [20] 程书波, 刘敏, 刘华林, 等. 长江口滨岸水体悬浮颗粒物中 PCBs 分布特征[J]. *环境科学*, 2006, 27(1): 110-114
- Cheng S B, Liu M, Liu H L, et al. Distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) in suspended particulate matters from the Yangtze Estuarine and coastal areas [J]. *Acta Science Circumstantiae*, 2006, 27(1): 110-114 (in Chinese)
- [21] Ko F C, Sanford L P, Baker J E. Internal recycling of particle reactive organic chemicals in the Chesapeake Bay water column [J]. *Marine Chemistry*, 2003, 81(3-4): 163-176
- [22] Ferreira A M, Martins M, Vale C. Influence of diffuse sources on levels and distribution of polychlorinated biphenyls in the Guadiana River estuary, Portugal [J]. *Marine Chemistry*, 2003, 83(3-4): 175-184
- [23] Vane C H, Kim H A W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments from the Mersey Estuary, UK [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, 374(1): 112-126
- [24] Guzzella L, Roscioli C, Vigano L, et al. Evaluation of the concentration of HCH, DDT, HCB, PCB and PAH in the sediments along the lower stretch of Hugli estuary, West Bengal, northeast India [J]. *Environment International*, 2005, 31(4): 523-534
- [25] Persaud D, Jaagumagi R. Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario [M]. Ministry of Environment and Energy, 1992: 47-52
- ◆