

升金湖湿地保护区表层沉积物中持久性有机污染物残留特征

李胜生¹, 谭浩², 陈园园¹, 余兴¹, 黄勤¹

(1. 安徽省地质实验研究所, 安徽合肥 230001; 2. 安徽大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230601)

摘要 [目的]研究升金湖湿地保护区表层沉积物中多环芳烃、多氯联苯和有机氯农药残留特征。[方法]按照网格布点,采集安徽升金湖国家级自然保护区湿地表层沉积物样品37个,利用HPLC和GC-ECD测定了样品中多环芳烃、多氯联苯和有机氯农药等3种典型持久性有机污染物的含量,并对其污染水平、组成来源进行了分析。[结果]升金湖表层沉积物中多环芳烃主要是苯并(a)芘,浓度为0.19~2.43 ng/g,均值为(1.01±0.54) ng/g (n=36),来源主要是近岸污水排放和周围村民生活中对煤等燃料的利用;多氯联苯浓度为0.14~5.71 ng/g,均值为(1.10±1.14) ng/g (n=37),来源主要是周围村民在生产生活中对于含PCBs物品的使用和使用过后对其不合理的处置;有机氯农药以滴滴涕和七氯为主,其中,滴滴涕浓度为0.15~4.70 ng/g,均值为(2.09±1.35) ng/g (n=35),七氯浓度为0.14~2.21 ng/g,均值为(1.13±0.05) ng/g (n=35)。所有样品中均未检测到六六六类有机氯农药的存在,滴滴涕和七氯主要来自于早期农业输入的残留。[结论]与国内外其他的湿地湖泊表层沉积物相比,升金湖湿地的持久性有机污染物污染处于较低水平,生态风险水平较低。

关键词 湖泊沉积物;多环芳烃;多氯联苯;有机氯农药;升金湖

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)12-0069-05

Characteristics of Residual Persistent Organic Pollutants in Surface Sediments of Shengjinhu Wetland Reserve

LI Sheng-sheng¹, TAN Hao², CHEN Yuan-yuan¹ et al (1. Anhui Institute of Geological Experiments, Hefei, Anhui 230001; 2. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei, Anhui 230601)

Abstract [Objective] The research aimed to study the residual characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides in surface sediments of Shengjinhu wetland reserve. [Method] According to the grid site, 37 surface sediment samples from Shengjinhu National Nature Reserve in Anhui Province were collected, and the content of three typical persistent organics (including PAHs, PCBs and organochlorine pesticides) were determined by GC-ECD, and their pollution levels and composition sources were analyzed. [Result] The PAHs in the surface sediments of Shengjin Lake were mainly benzo(a)pyrene, with a concentration of 0.19-2.43 ng/g, with an average of (1.01±0.54) ng/g (n=36). The sources were mainly near-shore sewage discharge and the use of coal and other fuels in the lives of the surrounding villagers. The concentration of PCBs was 0.14-5.71 ng/g, and the mean value was (1.10±1.14) ng/g (n=37). The source was mainly the use of articles containing PCBs in the production and life of the surrounding villagers and unreasonable disposal after use. Organochlorine pesticides were mainly DDT and heptachlor, among which the DDT concentration was 0.15-4.70 ng/g and the mean value was (2.09±1.35) ng/g (n=35); the heptachlor concentration was 0.14 to 2.21 ng/g, the mean value was (1.13±0.05) ng/g (n=35). The presence of 666 organochlorine pesticides was not detected in all samples. DDT and heptachlor mainly came from the residue of early agricultural inputs. [Conclusion] Compared with the surface sediments of other wetlands and lakes at home and abroad, the persistent organic pollutants in Shengjin Lake wetland are at a low level and the ecological risk level is low.

Key words Lake sediments; Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); Polychlorinated biphenyls (PCBs); Organochlorine pesticides; Shengjinhu

持久性有机污染物 (POPs) 是指具有长期残留性、生物蓄积性、半挥发性和高毒性,能够在大气环境中长距离迁移并能沉积回地球,对人类健康和环境具有严重危害的天然或人工合成的有机污染物质^[1]。其中,多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯 (PCBs) 和有机氯农药 (OCPs) 是3种广泛分布于环境中的代表性 POPs。PAHs 的疏水亲脂特性使得它们在水体中的含量较低,会强烈地分配到非水相,特别是有机相中。大部分被水体中的悬浮颗粒物吸附,并迅速进入沉积环境,因此,水体沉积物被认为是 PAHs 的蓄积库^[2]。土壤和底泥中的 PCBs 释放到水体,水体和土壤中的 PCBs 挥发到大气,大气中 PCBs 通过湿沉降和干沉降再沉降到土壤和地表水,沉积物被认为是它们的主要环境归宿之一^[3]。OCPs 由于其历史上的大量施用,至今仍在多种环境介质中广泛残留^[4]。OCPs 可以通过地表径流、大气沉降等途径进入水体。由于其所具有的亲脂疏水特性,OCPs 主要吸附在悬浮颗粒物表面,并最终通过沉降作用进入沉积物,故而沉积物被认为是

水环境中 OCPs 重要的归宿之一^[5-6]。沉积物中的 OCPs 一方面可通过解吸和再悬浮作用重新进入水体,造成二次污染^[7];另一方面则可通过食物链的富集和逐级放大作用,对人类和生物产生不良影响。因此,研究沉积物中 OCPs 的残留分布状况对了解水体的污染情况以及 OCPs 在水环境中的行为具有重要意义^[8-10]。

升金湖是长江中下游重要的湖泊湿地之一,也是澳大利亚迁徙水鸟的重要越冬地和停歇地,具有重要的生态地位和国际影响。1986年被列为国家重点水禽自然保护区,1988年被编入《亚洲重要湿地名录》,1986年经安徽省人民政府批准建立省级自然保护区,1992年被国家林业部和世界自然基金会 (WWF) 列为中国40个具有国际意义的自然保护区之一^[11-12],1997年晋升为国家级自然保护区,主要保护对象为白头鹤等越冬珍稀禽及湿地生态系统。随着区域社会经济的快速发展,人类通过直接和间接方式对保护区产生不同程度的干扰,从而对保护区生态环境及其自然资源产生影响。其中,包括当地人在升金湖周围进行农业活动,施加化肥农药等外源物质,导致其在土壤及湖泊沉积物中的迁移转化和沉淀积累。目前,有关升金湖湿地环境污染现状问题的研究

作者简介 李胜生(1982—),男,安徽合肥人,工程师,硕士,从事环境中持久性有机污染物的检测与研究。

收稿日期 2018-01-29

还非常有限,因此,笔者以升金湖湖泊湿地表层沉积物为研究对象,分析其中 PAHs、PCBs 和 OCPs 的含量、残留特征及其来源,评价其污染水平,为升金湖湿地自然保护区环境状况提供基础数据,以便升金湖湿地生态系统得到更好的保护与利用。

1 材料与与方法

1.1 研究区概况 升金湖自然保护区位于安徽省南部池州市境内,濒临长江,地处 $116^{\circ}55' \sim 117^{\circ}15' E$ 、 $30^{\circ}15' \sim 30^{\circ}30' N$,总面积 $33\,340\text{ km}^2$,其中升金湖 $13\,300\text{ km}^2$,属亚热带季风气候,年平均气温 $16.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,最热月7月平均气温 $28.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,最冷月1月平均气温 $3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,无霜期 240 d ,年降水量 $1\,600\text{ mm}$ 。

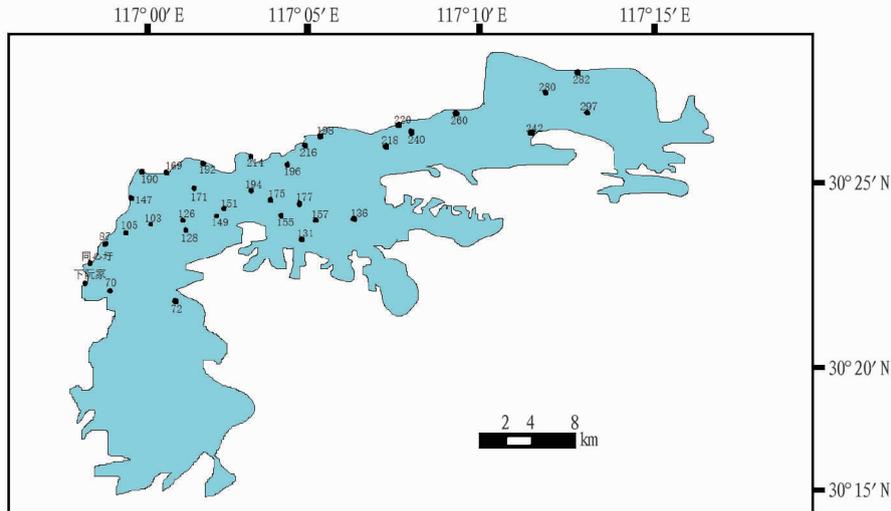


图1 升金湖表层沉积物采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling points of surface sediments in Shengjin Lake

1.3 分析方法

1.3.1 提取方法。准确称取冷冻干燥样品 10.00 g 和硅藻土 4.00 g ,搅拌均匀,无损转入滤纸筒内,滤纸筒的上部盖一片滤纸,将滤纸筒装入索氏提取器中,正己烷:丙酮(1:1)溶液 80 mL 提取,其中 50 mL 溶剂加入平底烧瓶中,索氏提取器中 20 mL 浸泡样品 12 h 后,在 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴锅中提取 8 h 。提取液经水洗、旋转蒸发、氮吹后定容至 10 mL ,分成2份,一份为正己烷相供气相色谱测定,另一份换相成乙腈相供高效液相色谱测定。

1.3.2 净化方法。OCPs 和 PCBs 采用弗罗里硅土柱净化法:净化柱依次填充 2 g 无水硫酸钠、 8 g 弗罗里硅土、 3 g 无水硫酸钠。用 $9:1(V:V)$ 正己烷:丙酮溶液预淋洗净化柱,当淋洗液接近上层无水硫酸钠层时将样品溶液转移到净化柱上,淋洗过程保持一定的流速,收集的淋洗液经旋转蒸发和氮吹定容至 1 mL ,供气相色谱分析测定 OCPs。

硅胶净化柱法:净化方法同上。

1.3.3 仪器条件。

1.3.3.1 OCPs 和 PCBs 的测定条件。Varian CP-3800, 电子捕获检测器,进样口温度 $220\text{ }^{\circ}\text{C}$,检测器温度 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,色谱柱流量 1.0 mL/min ,不分流进样。柱升温程序为: $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持 3 min ,以 $4\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ 速率升温至 $220\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 5 min ,以

升金湖水源主要来自地表径流、张溪河及唐田河,丰水期湖面最高水位 17.03 m 时,蓄水量可达 8.3 亿 m^3 。湖水经黄溢闸与长江相通。升金湖周围无工业污染源^[13-14]。

1.2 样品采集与处理 样品采集于2016年11月份(枯水期),采样布点如图1所示,由于枯水期上湖部分湖区水位太浅,船不能至,一些计划点位样品未能采集,此次共采集到表层样品 37 个。采样时,利用彼得森采泥器在每个样点采集3份平行样,混合成一个点位样品。采集的样品在安徽大学升金湖定位研究站冷冻后运回学校。样品经冷冻干燥后继续冷冻保存,直至试验分析开始。

$3\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ 速率升温至 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$,再以 $50\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ 速率升温至 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 3 min 。

1.3.3.2 PAHs[苯并(a)芘]的测定条件。Agilent 1200, 配荧光检测器(激发波长 294 nm ,发射波长 430 nm)和紫外检测器(254 nm),色谱柱 HPLC-Cartridge $250-3\text{ PAH}$, $5\text{ }\mu\text{m}$,流动相为乙腈:水,流速为 0.6 mL/min 。

2 结果与分析

2.1 升金湖湖泊沉积物中的 PAHs

2.1.1 PAHs 的含量与分布特征。在 36 份样品中,只检出一种 PAHs——苯并(a)芘[B(a)P]。B(a)P 浓度为 $0.19 \sim 2.43\text{ ng/g}$ (表1),均值为 $(1.01 \pm 0.54)\text{ ng/g}$ 。B(a)P 在沉积物中的含量比水相中的大得多,且在两相中的分布动态平衡。所以,若沉积物中 B(a)P 的含量过高,说明水体有很强的潜在危害性,沉积物中 B(a)P 污染风险的评价更能反映实际的污染和危害程度。根据美国佛罗里达州的海洋及河口沉积物化学品风险评价标准,该标准包括指标低效应值(effect range-low, ERL)和中等效应值(effect range-median, ERM), $ERL = 430\text{ ng/g}$, $ERM = 1\,600\text{ ng/g}$ 。当沉积物中 B(a)P 浓度(C) $< 430\text{ ng/g}$ 时,认为对生物极少产生负效应;当 $430\text{ ng/g} \leq C \leq 1\,600\text{ ng/g}$ 时,认为对生物可能产生负效应;当 $C > 1\,600\text{ ng/g}$ 时,认为对生物经常产生负效应^[15]。而

升金湖湖泊沉积物中的 B(a)P 含量远远低于 ERL,故可认为其不会对升金湖生物造成负效应。

表 1 升金湖湖泊沉积物中苯并(a)芘的含量

Table 1 Content of Benzo(a)pyrene in sediments from Shengjin Lake

序号 No.	采样点 Sampling point	苯并(a)芘含量 Benzo(a)pyrene content//ng/g
Y ₁	70	—
Y ₂	72	—
Y ₃	87	—
Y ₄	103	1.27
Y ₅	105	1.60
Y ₆	126	1.74
Y ₇	128	0.81
Y ₈	134	1.79
Y ₉	136	1.94
Y ₁₀	147	1.47
Y ₁₁	149	0.87
Y ₁₂	151	2.43
Y ₁₃	155	0.54
Y ₁₄	157	1.14
Y ₁₅	169	1.00
Y ₁₆	171	0.50
Y ₁₇	173	0.63
Y ₁₈	175	1.34
Y ₁₉	177	0.92
Y ₂₀	190	0.68
Y ₂₁	192	1.14
Y ₂₂	194	0.79
Y ₂₃	196	0.90
Y ₂₄	198	—
Y ₂₅	214	—
Y ₂₆	216	—
Y ₂₇	218	—
Y ₂₈	220	0.63
Y ₂₉	240	0.35
Y ₃₀	242	0.19
Y ₃₁	260	0.57
Y ₃₂	280	0.41
Y ₃₃	282	—
Y ₃₄	297	—
Y ₃₅	下阮家	0.78
Y ₃₆	同心圩	0.93
检出限 Detection limit//ng/g		1.00

注：“—”表示未检出,检测值小于检出限的仅供参考,称样量未标注的均为 10 g

Note: “—” means no detection, the detection value is less than the detection limit for reference only, and the unlabeled samples are all 10 g

2.1.2 PAHs 的组成和来源。在样品中未检测到其他种类的 PAHs。B(a)P 是 PAHs 中最有代表性的强致癌稠环芳烃,容易在人体内积累,导致肺癌、胃癌、皮肤癌等癌病变。它是自然界固有的有机化合物之一,火山爆发、森林草原天然燃烧和生物合成是它的天然来源;各种矿物燃料(如煤、石油、天然气等)、木材、纸以及其他含碳氢化合物的物质的不完全燃烧或在还原条件下热解产生大量 B(a)P 是它的人为来源。升金湖湖泊沉积物中的 B(a)P 含量水平并不高,其来源主要是近岸污水排放和周围村民生活中对煤等燃料的利用。

2.2 升金湖湖泊沉积物中的 PCBs

2.2.1 PCBs 的含量与分布特征。

从升金湖湖泊沉积物中的 B(a)P 含量远远低于 ERL,故可认为其不会对升金湖生物造成负效应。从含量上看,升金湖沉积物中的 PCBs 水平较低。根据沉积物中 POPs 环境质量标准,当沉积物中 PCBs 含量小于其低毒性效应值(ERL)时,生态风险小于 10%;当沉积物中 PCBs 含量大于其毒性效应中值(ERM)时,生态风险大于 75%。其中,ΣPCBs 的 ERL 值和 ERM 值分别为 22.7、180.0 ng/g^[16]。可见,升金湖湖泊沉积物中 ΣPCBs 远小于其 ERL 值,生态风险很小。

表 2 升金湖湖泊沉积物中多氯联苯的含量

Table 2 Content of PCBs in sediments from Shengjin Lake

序号 No.	PCB 028	PCB 101	PCBs 总量 Content of PCBs ng/g
Y ₁	0.76	—	0.76
Y ₂	0.64	—	0.64
Y ₃	—	0.14	0.14
Y ₄	—	0.36	0.36
Y ₅	—	0.42	0.42
Y ₆	—	1.41	1.41
Y ₇	0.93	1.31	2.24
Y ₈	—	0.69	0.69
Y ₉	5.56	0.15	5.71
Y ₁₀	—	0.65	0.65
Y ₁₁	—	—	—
Y ₁₂	—	0.80	0.80
Y ₁₃	—	0.59	0.59
Y ₁₄	—	0.47	0.47
Y ₁₅	—	—	—
Y ₁₆	—	0.97	0.97
Y ₁₇	—	1.32	1.32
Y ₁₈	—	1.98	1.98
Y ₁₉	—	1.26	1.26
Y ₂₀	—	0.53	0.53
Y ₂₁	—	—	—
Y ₂₂	—	0.48	0.48
Y ₂₃	—	—	—
Y ₂₄	—	—	—
Y ₂₅	—	0.32	0.32
Y ₂₆	—	—	—
Y ₂₇	—	—	—
Y ₂₈	2.28	0.56	2.84
Y ₂₉	—	1.25	1.25
Y ₃₀	—	0.58	0.58
Y ₃₁	—	0.75	0.75
Y ₃₂	—	0.32	0.32
Y ₃₃	—	—	—
Y ₃₄	—	—	—
Y ₃₅	—	—	—
Y ₃₆	—	—	—
检出限 Detection limit//ng/g	0.50	0.50	

注：“—”表示未检出,检测值小于检出限的仅供参考,称样量未标注的均为 10 g

Note: “—” means no detection, the detection value is less than the detection limit for reference only, and the unlabeled samples are all 10 g

2.2.2 PCBs 的组成和来源。沉积物中 PCBs 的组成为 PCB 028 和 PCB 101,均属于低氯代 PCBs,其中又以 PCB 101 占多数(占 63%)。由于升金湖周围没有工业污染源,所以

沉积物中的 PCBs 主要是由周围村民在生产生活中对于含 PCBs 物品的使用和使用过后对其不合理的处置所造成。

2.3 升金湖湖泊沉积物中的 OCPs

2.3.1 OCPs 的含量与分布特征。沉积物是 OCPs 主要环境归宿之一,在一定程度上,表层沉积物 OCPs 的含量反映当地的 OCPs 污染状况^[17]。此次研究采集的样品中,能检测到的 OCPs 为七氯和 DDT(表 3),而在所有的样品中,均未检测到

HCHs 的存在。

样品中 OCPs 以滴滴涕 (DDTs) 和七氯为主。在沉积物样品中,七氯浓度为 0.14 ~ 2.21 ng/g,均值为 (1.13 ± 0.05) ng/g ($n=35$); DDT 浓度为 0.15 ~ 1.39 ng/g,均值为 (0.50 ± 0.27) ng/g ($n=35$); DDE 浓度为 (0.26 ~ 4.70) ng/g,均值为 (1.99 ± 1.19) ng/g ($n=35$)。

表 3 升金湖湖泊沉积物中有机氯农药的含量

Table 3 Concentrations of OCPs in sediments from Shengjin Lake

序号 No.	七氯 Heptachlor//ng/g	p,p' - DDE ng/g	p,p' - DDD ng/g	p,p' - DDT ng/g	总滴滴涕 Total DDT//ng/g	(DDE + DDD)/DDT
Y ₁	1.32	—	—	0.20	0.20	0
Y ₂	2.20	—	—	0.38	0.38	0
Y ₃	2.12	0.26	—	0.39	0.64	0.67
Y ₄	1.70	2.20	—	0.34	2.55	6.39
Y ₅	1.66	2.86	—	0.47	3.33	6.11
Y ₆	2.21	3.13	—	0.57	3.70	5.50
Y ₇	1.67	3.56	—	0.50	4.06	7.06
Y ₈	1.36	1.74	—	0.18	1.92	9.91
Y ₉	—	0.56	—	—	0.56	∞
Y ₁₀	—	2.02	—	—	2.02	∞
Y ₁₁	1.40	1.69	—	0.31	2.00	5.45
Y ₁₂	1.42	2.51	—	0.33	2.84	7.54
Y ₁₃	0.91	0.59	—	0.15	0.74	4.05
Y ₁₄	0.89	2.05	—	—	2.05	∞
Y ₁₅	0.24	1.19	—	—	1.19	∞
Y ₁₆	0.96	1.63	—	0.20	1.83	8.19
Y ₁₇	—	—	—	—	—	∞
Y ₁₈	1.07	2.98	—	0.22	3.20	13.40
Y ₁₉	0.62	1.29	—	—	1.29	∞
Y ₂₀	0.14	0.77	—	—	0.77	∞
Y ₂₁	1.07	3.33	—	0.25	3.58	13.20
Y ₂₂	0.86	3.08	—	—	3.08	∞
Y ₂₃	0.88	4.70	—	—	4.70	∞
Y ₂₄	0.65	1.34	—	—	1.34	∞
Y ₂₅	0.65	1.86	—	0.22	2.08	8.35
Y ₂₆	0.73	1.26	—	0.21	1.47	6.15
Y ₂₇	0.94	0.84	—	0.20	1.04	4.27
Y ₂₈	1.40	1.53	—	0.15	1.68	10.17
Y ₂₉	1.12	4.37	—	1.39	5.76	3.14
Y ₃₀	0.85	1.21	—	—	1.21	∞
Y ₃₁	0.74	2.94	—	0.19	3.12	15.85
Y ₃₂	—	—	—	—	—	∞
Y ₃₃	—	—	—	—	—	∞
Y ₃₄	—	—	—	—	—	∞
Y ₃₅	1.02	—	—	—	—	∞
Y ₃₆	1.13	0.33	—	—	—	∞
检出限 limit//ng/g	0.60	0.20	0.30	0.50		

注:“—”表示未检出,检测值小于检出限的仅供参考,称样量未标注的均为 10 g

Note:“—” means no detection,the detection value is less than the detection limit for reference only,and the unlabeled samples are all 10 g

从空间分布上看,升金湖湿地表层沉积物中 Σ OCPs 含量最高值出现在中湖 (Y₂₉, 6.98 ng/g),最低值在下湖(未检出 OCPs)。从 OCPs 的平均水平来看,上湖最高 (3.17 ng/g),其次是中湖(2.98 ng/g),下湖中基本没有检出 OCPs。可见,相对水平而言,升金湖湿地表层沉积物中 OCPs 含量由北向南逐渐减弱。造成这一现象的原因可能是由于升金湖北部区域所进行的农业活动中施用了更多的 OCPs,而随着时间推移使其更多地残留在湖泊表层沉积物中。

不同于我国和世界上其他一些湖泊及其他水体(表 4),升金湖湖泊沉积物中未检测到 HCHs,同时 DDTs 含量明显低于洪湖、太湖,与鄱阳湖相近,而高于黄河湿地孟津段。这种 OCPs 含量的区域差异反映了人类活动强度、工业化程度对自然环境的影响,升金湖湿地保护区与扎龙湿地、鄱阳湖均处于人类活动强度较小、工农业较不发达的地区,其沉积物中 DDTs、HCHs 含量明显低于人类活动较频繁地区(Ontario 湖、洪湖和太湖等)。总体来看,升金湖湿地保护区有机氯

农药污染处于较低水平。

表 4 不同地区湖泊表层沉积物中 DDTs 和 HCHs 的分布状况

Table 4 Distributions of DDTs and HCHs in surface sediments from different lakes in the world

研究地区 Research area	DDTs ng/g	HCHs ng/g	文献 Literature
升金湖 Shengjin Lake	1.85	—	该研究
扎龙湿地 Zhalong Wetland	2.67	1.06	[18]
黄河湿地孟津段 Yellow River Wetlands Mengjin Section	—	—	[19]
洪湖 Honghu Lake	9.19	6.91	[20]
太湖 Taihu Lake	3.27	11.19	[21]
鄱阳湖 Poyang Lake	1.08	0.57	[22]
罗马尼亚 Merbei 湖 Romania Lake Merbei	17.00	6.80	[23]
加拿大 Yukon 湖 Yukon Lake, Canada	1.31	0.59	[24]
北美 Ontario 湖 North American Ontario Lake	141.00	2.50	[25]
意大利 Garda 湖 Garda Lake, Italy	5.60	4.00	[26]

注：“—”表示未检出

Note: “—” indicates no detection

2.3.2 OCPs 的组成和来源。

2.3.2.1 升金湖湖泊沉积物中 DDTs 组成特征。 DDT 是一种广泛使用的杀虫剂,目前我国生产的 DDT 主要是作为生产三氯杀螨醇的中间体存在。工业品 DDT 主要由 p, p' - DDT (>70%) 和 o, p' - DDT (约 15%) 组成,而三氯杀螨醇中则是 o, p' - DDT 的含量大于 p, p' - DDT,环境中的 o, p' - DDT 较 p, p' - DDT 更易降解。因此,当环境中 o, p' - DDT 含量大于 p, p' - DDT,则可判断其来源于三氯杀螨醇^[27]。由表 3 可知,样品中所检出 DDT 均为 p, p' - DDT,表明升金湖湖泊沉积物中 DDT 污染并非来自三氯杀螨醇的使用。

DDT 在环境中,可在好氧条件下脱氯化氢氧化生成 DDE,在厌氧环境中脱氯还原生成 DDD。相较于 DDT,代谢产物 DDE 和 DDD 容易在环境介质内残留和累积。因此,随着时间的推移,环境介质中的 DDT 代谢产物之间的比例会发生变化,表现为 DDT 百分含量的减少和 DDE、DDD 的增加。一般研究使用 (DDE + DDD)/DDT 的比值大小来判断 DDT 的使用时间,比值 < 0.5 表示该处近期有 DDT 的输入,比值 > 0.5 说明 DDT 主要为历史残留^[28]。而从所得数据中易知, (DDE + DDD)/DDT 的比值均大于 0.5 (表 3),说明沉积物中 DDT 已大部分降解转化为 DDE, DDT 主要来源于早期残留,近期基本无新的 DDT 污染源输入。

2.3.2.2 升金湖湖泊沉积物中的七氯。七氯作为一种 OCPs,同时也是一种 POPs。尽管七氯所受关注远不及 DDTs 等应用更为广泛的化合物,但由于其高度的持久性和潜在危害,仍然被列入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》中的首批名单。七氯自 1952 年在美国第一次注册成为杀虫剂并进行商业化生产以来,科学家逐渐认识到其致癌活性和食物链富集趋势。为此,美国环保局于 1974 年禁止七氯生产,并于 1988 年禁止所有剩余七氯和含七氯的氯丹产品销售。作为广谱性杀虫剂,七氯主要用于喷洒或玉米、谷物、高粱等作物的拌种,借以杀灭土壤中的蚂蚁、毛虫、蛆、白蚁、牧

草虫、象鼻虫及线虫,也用于建筑物杀灭白蚁。我国环境中的七氯更多地源于氯丹施用,商品氯丹中通常含有相当的七氯(体积分数约 10%),这些七氯通过施用氯丹直接进入土壤,并长期残留。我国从 20 世纪 80 年代起禁用七氯^[29]。与其他有机氯农药类似,七氯通过农业施用进入环境的途径因禁用而被切断,但由于半衰期长达 2 年,在环境中仍会残留较长时间,继续危害生态系统乃至人体健康。除自身影响外,进入环境的七氯还可能转化为毒性相仿的七氯环氧化物而构成持续威胁。

升金湖表层沉积物中所检出的七氯分布广泛,几乎在所有采样点都有检出。另外,下湖区的七氯检出量较之中湖、上湖更大,可能是由于下湖周边的农业活动中氯丹类农药产品的施用量更大。因七氯并非是最重要的持久性有机污染物,其相关资料不多。因此,该研究区域中七氯残留的原因值得进一步探究,同时应加强对七氯的监测。

3 结论

升金湖表层沉积物中多环芳烃主要是苯并(a)芘,浓度为 0.19 ~ 2.43 ng/g,均值(1.01 ± 0.54) ng/g (n = 36),来源主要是近岸污水排放和周围村民生活中对煤等燃料的利用;多氯联苯浓度为 0.14 ~ 5.71 ng/g,平均值为(1.10 ± 1.14) ng/g (n = 37),来源主要是周围村民在生产生活中对于含 PCBs 物品的使用和使用过后对其不合理的处置;有机氯农药检出七氯和 DDTs (包括 p, p' - DDT 和 p, p' - DDE) 2 类,其中 DDT 浓度为 0.15 ~ 1.39 ng/g,均值为(0.50 ± 0.27) ng/g (n = 35); DDE 浓度为 0.26 ~ 4.70 ng/g,均值为(1.99 ± 1.19) ng/g (n = 35);七氯浓度为 0.14 ~ 2.21 ng/g,均值为(1.13 ± 0.05) ng/g (n = 35)。未检测到另一类主要 OCPs 类污染物 HCHs, DDTs 和七氯主要来源于早期有机氯类农药的施用。作为保护白头鹤等越冬珍禽及湿地生态系统的国家级自然保护区,升金湖湿地的持久性有机污染物污染处于较低水平,生态风险水平较低。

参考文献

- [1] 余刚,黄俊,张张义.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(4):37-39.
- [2] 舒卫先,李世杰.太湖流域典型湖泊表层沉积物中多环芳烃污染特征[J].农业环境科学学报,2008,27(4):1409-1414.
- [3] 彭全材,胡继伟,杨占南,等.长江源头典型湖泊表层沉积物中多氯联苯残留状况[J].江西师范大学学报(自然科学版),2008,32(1):98-101,107.
- [4] 王雁,何伟,秦宁,等.巢湖表层沉积物中有机氯农药的残留与风险[J].环境科学学报,2012,32(2):308-316.
- [5] PARK J S, WADE T L, SWEET S. Atmospheric deposition of organochlorine contaminants to Galveston Bay, Texas [J]. Atmospheric environment, 2004, 35(19):3315-3324.
- [6] 袁旭音,王禹,陈骏,等.太湖沉积物中有机氯农药的残留特征及风险评估[J].环境科学,2003,24(1):121-125.
- [7] 王晓蓉.环境化学[M].南京:南京大学出版社,1994:3.
- [8] NELSON C R, HITES R A. Aromatic amines in and near the Buffalo River [J]. Environmental science technology, 1980, 14(9):1147-1149.
- [9] STEINHEIMER T R, PEREIRA W E, JOHNSON S M. Application of capillary gas chromatography mass spectrometry/computer techniques to synoptic survey of organic material in bed sediment [J]. Analytica chimica acta, 1981, 129(1):57-67.
- [10] 麦碧娟,林峰,张干,等.珠江三角洲沉积物中毒害有机物的污染现状及评价[J].环境科学研究,2001,14(1):19-23.

(下转第 117 页)

参考文献

- [1] COTTRELL C B. The imaginal ecdysis of blowflies. Detection of the blood-borne darkening factor and determination of some of its properties [J]. *Bioorganic & medicinal chemistry*, 1962, 39(1): 67-73.
- [2] FRAENKEL G, HSIAO C. Hormonal and nervous control of tanning in the fly [J]. *Science*, 1962, 138(3536): 27-29.
- [3] FRAENKEL G, HSIAO C. Bursicon, a hormone which mediates tanning of the cuticle in the adult fly and other insects [J]. *Journal of insect physiology*, 1965, 11(5): 513-556.
- [4] LUO C W, DEWEY E M, SUDO S, et al. Bursicon, the insect cuticle-hardening hormone, is a heterodimeric cystine knot protein that activates G protein-coupled receptor LGR2 [J]. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 2005, 102(8): 2820-2825.
- [5] MENDIVE F M, VAN LOY T, CLAEYSEN S, et al. *Drosophila* molting neurohormone bursicon is a heterodimer and the natural agonist of the orphan receptor DLGR2 [J]. *FEBS Letters*, 2005, 579(10): 2171-2176.
- [6] BAKER J D, TRUMAN J W. Mutations in the *Drosophila* glycoprotein hormone receptor, rickets, eliminate neuro peptide-induced tanning and selectively block a stereotyped behavioral program [J]. *Journal of experimental biology*, 2002, 205(17): 2555-2565.
- [7] DEWEY E M, MCNABB S L, EWER J, et al. Identification of the gene encoding bursicon, an insect neuropeptide responsible for cuticle sclerotization and wing spreading [J]. *Current biology*, 2004, 14(13): 1208-1213.
- [8] DAVIS M M, O'KEEFE S L, PRIMROSE D A, et al. A neuropeptide hormone cascade controls the precise onset of post-eclosion cuticular tanning in *Drosophila melanogaster* [J]. *Development*, 2007, 134(24): 4395-4404.
- [9] AN S H, WANG S J, GILBERT L I, et al. Global identification of bursicon-regulated genes in *Drosophila melanogaster* [J]. *BMC Genomics*, 2008, 9(1): 424.
- [10] AN S H, DONG S Z, WANG Q, et al. Insect neuropeptide bursicon homodimers induce innate immune and stress genes during molting by activating the NF- κ B transcription factor Relish [J]. *PLoS One*, 2012, 7(3): 1-9.
- [11] ROBERTSON H M, NAVIK J A, WALDEN K K, et al. The bursicon gene in mosquitoes; An unusual example of mRNA trans-splicing [J]. *Genetics*, 2007, 176(2): 1351-1353.
- [12] Tribolium Genome Sequencing Consortium. The genome of the model beetle and pest *Tribolium castaneum* [J]. *Nature*, 2008, 452(7190): 949-955.
- [13] LOVEALL B J, DEITCHER D L. The essential role of bursicon during *Drosophila* development [J]. *BMC Developmental Biology*, 2010, 10(1): 92-108.
- [14] HONEGGER H W, ESTÉVEZ-LAO T Y, HILLYER J F. Bursicon-expressing neurons undergo apoptosis after adult ecdysis in the mosquito *Anopheles gambiae* [J]. *Journal of insect physiology*, 2011, 57(7): 1017-1022.
- [15] DAI L, DEWEY E M, ZITNAN D, et al. Identification, developmental expression, and functions of bursicon in the tobacco hawkmoth, *Manduca sexta* [J]. *Journal of comparative neurology*, 2008, 506(5): 759-774.
- [16] SHARP J H, WILCOCKSON D C, WEBSTER S G. Identification and expression of mRNAs encoding bursicon in the plesiomorphic central nervous system of *Homarus gammarus* [J]. *General & comparative endocrinology*, 2010, 169(1): 65-74.
- [17] WILCOCKSON D C, WEBSTER S G. Identification and developmental expression of mRNAs encoding putative insect cuticle hardening hormone, bursicon in the green shore crab *Carcinus maenas* [J]. *General & comparative endocrinology*, 2008, 156(1): 113-125.
- [18] WEBSTER S G, WILCOCKSON D C, MRINALINI, et al. Bursicon and neuropeptide cascades during the ecdysis program of the shore crab, *Carcinus maenas* [J]. *General & comparative endocrinology*, 2013, 182(1): 54-64.
- [19] CHUNG J S, KATAYAMA H, DIRCKSEN H. New functions of arthropod bursicon: Inducing deposition and thickening of new cuticle and hemocyte granulation in the blue crab, *Callinectes sapidus* [J]. *PLoS One*, 2012, 7(9): 1602-1603.
- [20] SATHAPONDECHA P, PANYIM S, UDOMKIT A. A novel function of bursicon in stimulation of vitellogenin expression in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* [J]. *Aquaculture*, 2015, 446: 80-87.
- [11] 程元启, 吴建勋, 邵建章. 安徽升金湖国家级自然保护区水生植物区系研究 [J]. *安徽师范大学学报(自然科学版)*, 2009, 32(3): 256-260.
- [12] 迟传德, 许信旺, 吴新民, 等. 安徽省升金湖湿地土壤有机碳储存及分布 [J]. *地球与环境*, 2006, 34(3): 59-64.
- [13] 许信旺, 朱诚, 田晓四. 升金湖湿地沉积物地球化学特征 [J]. *池州学院学报*, 2010, 24(3): 58-61.
- [14] 胡文海, 俞贵庆, 刘政源. 升金湖湿地生态环境及其保护 [J]. *国土与自然资源研究*, 2004(4): 70-71.
- [15] 周芳, 孙成, 钟明. 我国水体中苯并(a)芘污染的生态风险评价 [J]. *环境与健康杂志*, 2005, 22(3): 163-165.
- [16] 何隽杰, 陆光华, 丁剑楠, 等. 太湖北部表层沉积物中多环芳烃和多溴联苯醚及多氯联苯的分布和来源及生态风险评价 [J]. *环境与健康杂志*, 2013, 30(8): 699-702.
- [17] 余刚, 牛军峰, 黄俊. 持久性有机污染物——新的全球性环境问题 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [18] 黎冰, 解启来, 廖天, 等. 扎龙湿地表层沉积物有机氯农药的污染特征及风险评价 [J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(2): 347-353.
- [19] 肖春艳, 邵超, 赵同谦, 等. 黄河湿地孟津段水体及沉积物中有机氯农药的分布特征 [J]. *环境科学*, 2009, 30(6): 1614-1620.
- [20] 龚香宜, 祁士华, 吕春玲, 等. 洪湖表层沉积物中有机氯农药的含量及组成 [J]. *中国环境科学*, 2009, 29(3): 269-273.
- [21] 袁旭言, 王禹, 陈俊, 等. 太湖沉积物中有机氯农药的残留特征及风险评估 [J]. *环境科学*, 2003, 24(1): 121-125.
- [22] 黄云, 钟恢明, 刘志刚. 鄱阳湖沉积物中主要有有机氯农药的残留特征 [J]. *江西科学*, 2010, 28(3): 336-340.
- [23] COVACI A, GHEORGHE A, HULEA O, et al. Levels and distribution of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in sediments and biota from the Danube Delta, Romania [J]. *Environmental pollution*, 2006, 140(1): 136-149.
- [24] RAWN D F K, LOCKHART W L, WILKINSON P, et al. Historical contamination of Yukon Lake sediments by PCBs and organochlorine pesticides: Influence of local sources and watershed characteristics [J]. *Science of the total environment*, 2001, 280(1/2/3): 17-37.
- [25] OLIVER B G, NIIMI A J. Trophodynamic analysis of polychlorinated biphenyl congeners and other chlorinated hydrocarbons in the Lake Ontario ecosystem [J]. *Environmental science & technology*, 1988, 22(4): 388-397.
- [26] BOSSI R, LARSEN B, PREMAZZI G. Polychlorinated biphenyl congeners and other chlorinated hydrocarbons in bottom sediment cores of Lake Garda (Italy) [J]. *Science of the total environment*, 1992, 121(2): 77-93.
- [27] LI J, ZHANG G, QI S H, et al. Concentrations, enantiomeric compositions, and sources of HCH, DDT and chlordanes in soils from the Pearl River Delta, South China [J]. *Science of the total environment*, 2006, 372(1): 215-224.
- [28] 李丰, 祁士华, 刘佳, 等. 洪湖湿地鸟类聚集区沉积物中 OCPs 残留特征及风险评价 [J]. *环境科学与技术*, 2014, 37(1): 183-189.
- [29] 李尧, 左谦, 刘文新, 等. 河北表层土壤中七氯残留污染现状及其空间分异特征 [J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 230-234.

(上接第 73 页)

科技论文写作规范——结果

利用图、表及文字进行合乎逻辑的分析。务求精练通顺。不需在文字上重复图或表中所具有的数据, 只需强调或阐述其重要发现及趋势。