

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.11.021

重庆主城 3 条主要支流的污染状况调查^①

杨 静¹, 秦 菊¹, 曾 波², 杨 睿¹, 龙 云²

1. 发光与实时分析教育部重点实验室/西南大学 化学化工学院, 重庆 400715;
2. 三峡库区生态环境教育部重点实验室/重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室/西南大学 生命科学学院, 重庆 400715

摘要: 分析和比较了綦江、一品河和嘉陵江的水体和水体沉积物中 2 种重金属(铅和镉)和 3 种有机物(五氯酚、六六六和甲基对硫磷)的质量浓度差异, 并基于重金属铅、镉及有机物五氯酚、六六六、甲基对硫磷对这 3 条河流的水体质量进行了评价。最后, 不仅分析了污染物在河流间的差异是否具有统计学意义, 而且评价了污染物的水质类别。

关键词: 綦江; 一品河; 嘉陵江; 有机物; 重金属; 水体质量评价

中图分类号: X132

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)11-0160-08

三峡水库从 2003 年 6 月开始蓄水、成库后, 水体从河流型水库变为典型的河道型水库, 降低了水流输移扩散污染物的能力^[1]。三峡水库建成后, 其水文情况一直是各界关注的重点。同时, 由于干流对支流的影响, 减弱了支流水体的自净能力^[2], 因此成库后对库区支流水体污染情况, 特别是对重金属和有机物污染状况的调查尤为重要。

铅、镉广泛存在于自然界中, 是人体非必需元素, 正常环境状态下一般含量很低, 不会对人体健康造成影响。随着城市工业化、都市化的发展, 大量的铅、镉连续不断地进入大气、土壤和水体, 城市近郊土壤和水体中, 铅、镉含量已经远远超过世界土壤的背景值, 对环境造成潜在威胁, 这些重金属在水中不能被分解, 而且这些重金属还可以通过食物链富集, 如果这些重金属通过食物链被人体吸收后, 会导致人体内的蛋白质和酶失去活性, 此外还可以在人体的某些器官中累积, 最终导致慢性中毒^[3-4]。本研究对三峡库区位于主城区的 3 条重要支流(綦江、一品河和嘉陵江水)体中的铅、镉的含量进行分析和比较, 旨在为对库区重要支流中重金属污染的状况提供数据参考。

由于社会经济的发展 and 人类活动导致部分有机农药进入到水环境中, 这些有机农药大多具有致癌、致畸、致突变的性质, 因此有必要对水体中的有机农药污染状况进行调查。六六六属于有机氯农药, 并且对人、畜都有一定的毒性, 所以 20 世纪 60 年代末我国已经停止生产并禁止使用六六六, 但是有机氯农药结构稳定, 具有持久性、亲脂性和难降解性, 在我国地表水中还是能检测到痕量残留的六六六^[5-7], 因此有必要检测地表水中六六六的含量。与有机氯农药相比, 有机磷农药在环境中的降解速度很快, 几乎不会在生物体内积累, 因此有机磷农药在我国使用率非常高^[8]。但是甲基对硫磷属于高毒有机磷农药, 可以抑制乙

① 收稿日期: 2017-12-20

基金项目: 国务院三峡办三峡后续工作库区生态与生物多样性保护专项项目(5000002013BB5200001)。

作者简介: 杨 静(1991-), 女, 硕士研究生, 主要从事生态环境研究和分子光谱研究。

通信作者: 龙 云, 副教授; 杨 睿, 副教授。

酰胆碱酯酶的功能,因此水环境中的甲基对硫磷浓度调查可以在一定程度上指导有机磷农药的合理使用。五氯酚及其钠盐可用于除草剂、杀虫剂、杀菌剂和木材防腐剂,属于致癌物且具有毒性,可造成免疫和内分泌紊乱以及不育等^[9]。研究水环境中的五氯酚含量,可以为合理使用五氯酚以及合理治理五氯酚污染提供参考资料。

水体中的重金属和有机物在物理化学等的作用下容易富集在沉积物中,当外界条件发生改变时,这些重金属污染物和有机污染物又会重新释放出来造成二次污染^[10-11]。被污染的水体沉积物中的重金属和有机物含量一般比水体中的高,研究水体沉积物中重金属和有机物的含量规律可以了解水体中重金属和有机物的污染状况,并且可以在一定程度上反映水体受污染的情况^[12]。

本研究紧密围绕《三峡后续工作库区生态与生物多样性保护专题实施规划(2011—2014年)》和《三峡后续工作总体规划》确定的规划原则、范围对象和目标任务,调查和研究了三峡库区3条支流(綦江、一品河、嘉陵江)水体和水体沉积物中的重金属(镉和铅)和有机物(五氯酚、六六六、甲基对硫磷)的含量状况,对三峡库区3条支流(綦江、一品河、嘉陵江)的水质情况进行了分析评价,旨在为三峡库区生态环境和保护生物多样性保护提供科学依据。

1 实验部分

1.1 样品采集

1.1.1 水样的采集方法

采用卡式盖采样器分层采集河流0.5~1 m的水样,水样采集后在现场进行初过滤并分装,按不同指标的测定方式进行预处理(如加酸、固定、低温保存等),在低温条件下尽快运回实验室进行分析测定。

1.1.2 沉积物的采集方法

由于土壤本身在空间分布上具有一定的不均一性,故采取多点采样,然后剔除杂物,均匀混合,使样品有充分的代表性。采样深度在底泥层下10~30 cm,用掘式采泥器采样,采样量1~2 kg,采集的样品反复按四分法弃取,最后留下所需的底泥样品量。采回来的样品自然风干后,经过磨碎、过筛和充分混匀,装瓶备用。

1.2 水质评价方法

参考《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)^[13]、《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)^[14]、《地下水质量标准》(GB/T14848-9)^[15]、《渔业水质标准》(GB1607-89)^[16]和《海水水质标准》(GB3097-1997)^[17]制定了三峡库区河流水环境中铅、镉、五氯酚、六六六和甲基对硫磷的标准限值(表1)。参考《农用地土壤环境质量标准》(GB15618-2018)^[18]、三峡库区土壤重金属的背景值^[19]、土壤环境中有机磷农药的背景值^[20]和海水中五氯酚的背景值^[21]制定了三峡库区河流沉积物中铅、镉、五氯酚、六六六和甲基对硫磷的标准限值(表2)。用各个指标的实测质量浓度值与表1的标准限值比对,确定该指标的水质类别。当不同类别标准值相同时,应遵循从优不从劣原则(如铅的实测质量浓度为0.05 mg/L与表1的标准限值比对,确定该指标的水质类别为Ⅲ类)。单项水质指标的实测质量浓度不满足Ⅴ类标准限值要求的称为劣Ⅴ类,则该指标需计算超过Ⅴ类标准限值的超标倍数,计算公式为

$$M_i = \frac{C_i - S_i}{S_i}$$

式中: M_i 为某水质指标超过Ⅴ类标准限值的超标倍数; C_i 为某水质指标实测质量浓度(mg/L); S_i 为某水质指标的Ⅴ类标准限值(mg/L)。

然后再根据水质类别对各个指标进行赋分,以便比较污染的程度。三峡库区河流水质单项指标赋分见表3,三峡库区河流沉积物单项指标赋分见表4。

表 1 三峡库区河流水环境质量标准项目标准限值

项 目	水 质 类 别				
	I	II	III	IV	V
镉 ^[13] (\leq)/(mg·L ⁻¹)	0.001	0.005	0.01		
铅 ^[13] (\leq)/(mg·L ⁻¹)	0.01	0.05	0.1		
六六六 ^[14-17] (\leq)/(mg·L ⁻¹)	0.000 5	0.001	0.003	0.005	0.008
甲基对硫磷 ^[13-17] (\leq)/(mg·L ⁻¹)	0.000 5	0.001	0.002	0.005	0.01
五氯酚 ^[13-16] (\leq)/(mg·L ⁻¹)	0.001	0.005	0.009	0.014	0.02

表 2 三峡库区河流沉积物中几种重金属和有机污染物标准限值

项 目	标准限值	项 目	标准限值
镉(\leq) ^[18] /(mg·kg ⁻¹)	0.6	甲基对硫磷(\leq) ^[20] /(mg·kg ⁻¹)	0.012
铅(\leq) ^[19] /(mg·kg ⁻¹)	23.88	五氯酚(\leq) ^[21] /(mg·kg ⁻¹)	0.025
六六六(\leq) ^[18] /(mg·kg ⁻¹)	0.1		

表 3 三峡库区河流水质单项指标评价标准及赋分

I 类	5	劣 V 类	超标倍数为 $0 < M_i \leq 1$	0
II 类	4		超标倍数为 $1 < M_i \leq 2$	-1
III 类	3		超标倍数为 $2 < M_i \leq 3$	-2
IV 类	2		超标倍数为 $3 < M_i \leq 4$	-3
V 类	1		超标倍数为 $4 < M_i \leq 5$	-4
			超标倍数 > 5	-5

表 4 三峡库区河流沉积物单项指标评价标准及赋分

项 目	标准限值	项 目	标准限值
未超标	5	超标倍数 $3 < M_i \leq 4$	-3
超标倍数 $0 < M_i \leq 1$	0	超标倍数 $4 < M_i \leq 5$	-4
超标倍数 $1 < M_i \leq 2$	-1	超标倍数 > 5	-5
超标倍数 $2 < M_i \leq 3$	-2		

1.3 实验方法

1.3.1 水体中有有机物的预处理方法

取 500 mL 水样, 加入 5~10 g NaCl, 混匀, 分别在中性、碱性(用 10 mol/L NaOH 调节 pH>11)和酸性(用 1:1 盐酸调节 pH<2)的条件下各加入 30 mL 二氯甲烷萃取 10 min, 然后静置 5 min, 将二氯甲烷收集到圆底烧瓶中, 并合并二氯甲烷, 用无水硫酸钠脱水, 先旋蒸到 5 mL 左右, 再氮吹到 0.5 mL 左右, 最后定容至 1 mL, 待测。

1.3.2 水体中重金属的预处理方法

量取 50 mL 混合均匀的水样于 250 mL 锥形瓶中, 加入 5 mL 浓硝酸, 置于电热板上加热, 盖上小漏斗, 保持溶液温度 90~100 °C, 不沸腾加热回流 30 min, 移去小漏斗, 蒸发至溶液为 5 mL. 冷却后, 再加入 5 mL 浓硝酸, 盖上小漏斗, 继续加热回流. 如果有棕色的烟生成, 重复这一步骤(每次加入 5 mL 浓硝酸), 直到不再有棕色的烟生成, 将溶液蒸发至 5 mL 左右. 冷却后缓慢加入 3 mL 30% 的过氧化氢, 保持

溶液温度 90~100 °C 至不再有大量气泡生成,待溶液冷却,继续分次加入 1 mL 过氧化氢,直至只有细微气泡,移去小漏斗,加热蒸发至约 5 mL. 冷却后,定量转移至 50 mL 容量瓶中定容,待测.

若样品中还有颗粒物,用抽滤装置 0.45 μm 醋酸纤维滤膜抽滤,或在 2 000~3 000 r/min 的转速下离心分离 10 min.

空白试验:用二次蒸馏水代替试样与样品同步进行消解.

1.3.3 水体沉积物中重金属和有机物的预处理方法

根据文献报道,分别就甲基对硫磷^[22]、六六六^[23]、五氯酚^[24]和铅、镉^[25]的测定对水体沉积物进行了预处理.

1.4 数据分析与统计分析

用 Microsoft Office Excel, IBM SPSS Statistics 19 处理数据. 数据以平均值 ± 1 倍标准误差(Mean \pm SE)表示,所有统计方法的显著水平定为 $p < 0.05$.

2 结果与分析

对三峡库区 3 条支流(綦江、一品河和嘉陵江)每一支流的 4 个断面的水体中重金属镉、铅及有机物五氯酚、六六六、甲基对硫磷的质量浓度求平均值,以此作为该河流水体中重金属镉、铅及有机物五氯酚、六六六、甲基对硫磷的质量浓度.

2.1 显著性差异比较

分别用 Duncan、LSD 假定方差齐性对三峡库区 3 条支流(綦江、一品河和嘉陵江)水体和水体沉积物中重金属镉、铅及有机物五氯酚、六六六、甲基对硫磷的质量浓度作了单因素方差分析.

2.1.1 水体中污染物在河流间的差异

将 3 次不同时期 3 条支流 4 个断面水体中的铅、镉、五氯酚、六六六和甲基对硫磷的质量浓度求平均值(表 5),用单因素方差分析了数据之间的差异. 分别以 Duncan 和 LSD 假定方差齐性,发现不同河流间水体中的镉、铅的质量浓度差异均不具有统计学意义(镉: $F_{2,33} = 2.134$, $p = 0.134$; 铅: $F_{2,33} = 2.271$, $p = 0.119$). 以 Duncan 和 LSD 假定方差齐性,发现不同河流间水体中的五氯酚的质量浓度差异具有统计学意义(五氯酚: $F_{2,33} = 5.413$, $p = 0.009$),其中綦江水体中的五氯酚的质量浓度与一品河($p = 0.017$)、嘉陵江($p = 0.004$)水体中的五氯酚的质量浓度之间差异具有统计学意义,嘉陵江水体中的五氯酚的质量浓度最低. 当以 Duncan 假定方差齐性时,不同河流间水体中的六六六的质量浓度差异不具有统计学意义(六六六: $F_{2,33} = 2.992$, $p = 0.068$),但是当以 LSD 假定方差齐性时,綦江水体中的六六六的质量浓度与嘉陵江($p = 0.024$)水体中的六六六的质量浓度差异具有统计学意义. 以 Duncan 和 LSD 假定方差齐性,发现不同河流间水体中的甲基对硫磷的质量浓度差异具有统计学意义(甲基对硫磷: $F_{2,33} = 4.034$, $p = 0.027$),其中一品河水体中的甲基对硫磷的质量浓度与綦江($p = 0.012$)、嘉陵江($p = 0.037$)水体中的甲基对硫磷的质量浓度之间差异具有统计学意义,其中綦江水体中的甲基对硫磷的质量浓度最低.

2.1.2 水体沉积物中污染物在河流间的差异

将 3 次 3 条支流 4 个断面水体沉积物中的铅、镉、五氯酚、六六六和甲基对硫磷的质量浓度求平均值(表 6). 用单因素方差对数据进行了分析. 分别以 Duncan 和 LSD 假定方差齐性,结果表明这 3 条河流沉积物中的 2 种重金属铅、镉的质量浓度和 3 种有机物六六六、甲基对硫磷的质量浓度在河流之间差异均不具有统计学意义(镉: $F_{2,9} = 1.718$, $p = 0.233$; 铅: $F_{2,9} = 0.576$, $p = 0.581$; 六六六: $F_{2,9} = 0.072$, $p = 0.931$; 甲基对硫磷: $F_{2,9} = 0.068$, $p = 0.935$). 当以 Duncan 假定方差齐性时,发现这 3 条河流间水体沉积物中的五氯酚的质量浓度差异不具有统计学意义(五氯酚: $F_{2,9} = 3.727$, $p = 0.066$),但是,当以 LSD

假定方差齐性时, 发现綦江水体沉积物中的五氯酚的质量浓度与嘉陵江水体沉积物中的五氯酚的质量浓度差异具有统计学意义($p=0.023$).

表 5 3 条支流中水体中铅、镉、五氯酚、六六六和甲基对硫磷的质量浓度

支流名称	采样时间	断面名称	镉/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	铅/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	五氯酚/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	六六六/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	甲基对硫磷/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
綦江	2016 年 1 月	蔡家坝	0.006	0.063	0.000 0	1.085 0	0.000 0
		花红村	0.010	0.035	1.426 0	1.067 0	0.000 0
		檬子村	0.023	0.049	1.121 0	0.806 0	0.000 0
		涂家村	0.031	0.037	1.017 0	1.066 0	0.000 0
	2016 年 5 月	蔡家坝	0.000	0.01 1	0.146 9	0.6184	0.023 6
		花红村	0.001	0.011	0.160 2	0.375 9	0.022 7
		檬子村	0.000	0.008	0.146 9	0.366 0	0.021 5
		涂家村	0.001	0.010	0.186 9	0.411 3	0.024 1
	2016 年 8 月	蔡家坝	0.001	0.015	0.090 3	0.067 6	0.044 9
		花红村	0.001	0.014	0.051 4	0.072 0	0.041 3
		檬子村	0.001	0.020	0.116 8	0.077 5	0.043 7
		涂家村	0.001	0.012	0.000 0	0.065 0	0.050 4
一品河	2016 年 1 月	老鹰岩	0.003	0.031	0.000 0	0.094 0	0.155 0
		木桥子	0.002	0.066	0.000 0	1.066 0	0.321 0
		林园	0.013	0.041	0.237 0	1.086 0	0.201 0
		鱼洞大桥	0.007	0.016	0.106 5	1.051 0	0.211 0
	2016 年 5 月	老鹰岩	0.001	0.000	0.000 0	0.322 7	0.016 6
		冷水井	0.001	0.016	0.093 5	0.317 4	0.016 9
		林园	0.001	0.013	0.133 5	0.300 3	0.016 7
		鱼洞大桥	0.000	0.007	0.173 6	0.275 1	0.015 7
	2016 年 8 月	老鹰岩	0.001	0.009	0.000 0	0.087 4	0.040 7
		冷水井	0.001	0.021	0.057 6	0.081 0	0.044 8
		林园	0.001	0.033	0.028 0	0.068 2	0.053 4
		鱼洞大桥	0.001	0.014	0.000 0	0.082 2	0.050 6
嘉陵江	2016 年 1 月	金子沱	0.001	0.007	0.000 0	0.000 0	0.188 0
		澄江	0.002	0.005	0.000 0	0.000 0	0.000 0
		清溪口	0.001	0.005	0.000 0	0.000 0	0.000 0
		江北嘴	0.002	0.009	0.000 0	0.477 0	0.000 0
	2016 年 5 月	金子沱	0.001	0.015	0.000 0	0.332 9	0.017 9
		澄江	0.001	0.011	0.000 0	0.348 8	0.018 3
		清溪口	0.000	0.009	0.000 0	0.352 1	0.018 4
		江北嘴	0.000	0.001	0.000 0	0.268 5	0.009 9
	2016 年 8 月	金子沱	0.001	0.019	0.000 0	0.057 0	0.043 3
		澄江	0.001	0.024	0.000 0	0.061 2	0.045 0
		清溪口	0.001	0.017	0.000 0	0.056 7	0.050 2
		江北嘴	0.001	0.017	0.000 0	0.057 8	0.044 1

注: $n=3$.

表 6 3 条支流中水体沉积物中铅、镉、五氯酚、六六六、甲基对硫磷的质量浓度

支流名称	采样时间	断面名称	镉/	铅/	五氯酚/	六六六/	甲基对硫磷/
			($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
綦江	2016 年 8 月	蔡家坝	0.731	50.439	3.900	65.670	16.770
		花红村	0.710	39.281	6.200	19.410	31.190
		檬子村	0.496	21.556	6.360	16.670	49.340
		涂家村	0.242	5.087	0.600	22.990	38.750
一品河	2016 年 8 月	老鹰岩	0.244	7.805	0.000	31.490	18.740
		冷水井	0.444	24.444	5.500	28.990	42.500
		林园	0.744	29.747	3.900	33.490	39.360
		鱼洞大桥	0.709	15.359	0.200	18.990	38.120
嘉陵江	2016 年 8 月	金子沱	0.248	27.778	0.000	26.540	34.370
		澄江	0.498	23.893	0.000	34.710	46.870
		清溪口	0.247	21.718	0.000	32.590	31.880
		江北嘴	0.248	26.746	0.000	16.000	33.750

注: $n=3$.

2.2 水文水质评估

由于我国水环境质量基准缺乏对我国国情的持续研究而且中国还未颁布水环境质量基准,为了便于研究和比较三峡库区綦江、一品河、嘉陵江的水生生境状况,因此根据本研究构建的三峡库区水体质量和水体沉积物质量的标准限值及评价标准(表 1—表 4),对綦江、一品河、嘉陵江水体和水体沉积物中的镉、铅、五氯酚、六六六、甲基对硫磷的质量浓度进行评价。

依据国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),三峡库区 3 条支流(綦江、一品河、嘉陵江)水体中的镉的质量浓度除在綦江达到 V 类水质标准外,一品河和嘉陵江水体中的镉的质量浓度均达到 II 类水质标准;依据《农用地土壤环境质量标准》GB15618-201X(征求意见稿),这 3 条支流水体沉积物中的镉的质量浓度均未超标。依据国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),綦江、一品河、嘉陵江水体中的铅的质量浓度均达到 III 类水质标准;与三峡库区土壤重金属铅的背景值相比,一品河水体沉积物中的铅的质量浓度未超标,但是綦江、嘉陵江水体沉积物中的铅的质量浓度均超标,其分值均为 0 分。依据国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),綦江、一品河、嘉陵江水体中的五氯酚的质量浓度和甲基对硫磷的质量浓度均达到 I 类水质标准;与美国土壤农药残留限量标准相比,这 3 条支流水体沉积物中的五氯酚的质量浓度均未超标;根据美国土壤农药残留限量标准,这 3 条支流水体沉积物中的甲基对硫磷的质量浓度均超标,其中綦江、一品河、嘉陵江的分值分别为 -1 分、-1 分、-2 分。依据国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),除了綦江水体中的六六六的质量浓度达到 II 类水质标准外,其他 2 条支流水体中的六六六的质量浓度均达到 I 类水质标准;根据《农用地土壤环境质量标准》GB15618-201X(征求意见稿),这 3 条支流水体沉积物中的六六六的质量浓度均未超标。结果见表 7 和表 8。

表 7 三峡库区 3 条支流水体中的重金属镉、铅及有机物五氯酚、六六六、甲基对硫磷的质量类别及赋分

河流名称	镉		铅		五氯酚		六六六		甲基对硫磷	
	质量类别	赋分	质量类别	赋分	质量类别	赋分	质量类别	赋分	质量类别	赋分
綦江	V	1	III	3	I	5	II	4	I	5
一品河	II	4	III	3	I	5	I	5	I	5
嘉陵江	II	4	III	3	I	5	I	5	I	5

表 8 三峡库区 3 条支流水体沉积物中的重金属镉、铅及有机物五氯酚、六六六、甲基对硫磷的质量类别及赋分

河流 名称	镉		铅		五氯酚		六六六		甲基对硫磷	
	质量类别	赋分	质量类别	赋分	质量类别	赋分	质量类别	赋分	质量类别	赋分
綦江	未超标	5	超标 0.22	0	未超标	5	未超标	5	超标 1.83	-1
一品河	未超标	5	未超标	5	未超标	5	未超标	5	超标 1.89	-1
嘉陵江	未超标	5	超标 0.05	0	未超标	5	未超标	5	超标 2.06	-2

3 结 论

1) 用单因素方差分别分析了綦江、一品河、嘉陵江水体和水体沉积物中的 2 种重金属(铅、镉)和 3 种有机物(五氯酚、六六六、甲基对硫磷)的质量浓度之间的差异。结果表明: 水体中镉、铅的质量浓度在不同河流间差异不具有统计学意义, 但是水体中的五氯酚、六六六、甲基对硫磷的质量浓度在河流间差异均具有统计学意义; 水体沉积物中的镉、铅、六六六、甲基对硫磷的质量浓度在不同河流间差异均不具有统计学意义, 但綦江水体沉积物中的五氯酚的质量浓度与嘉陵江水体沉积物中的五氯酚的质量浓度差异具有统计学意义。

2) 綦江、一品河、嘉陵江基于重金属铅、镉及有机物五氯酚、六六六、甲基对硫磷的水体质量主要为 I-III 类, 这 3 条支流水体沉积物中的甲基对硫磷的质量浓度均超标, 此外綦江、嘉陵江水体沉积物中的铅的质量浓度均超标。

参考文献:

- [1] 张 可. 三峡水库成库后对典型污染物迁移与时空分布的影响 [D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [2] 王图锦, 潘 瑾, 刘雪莲. 三峡库区典型支流沉积物重金属污染特征及评价 [J]. 环境与健康杂志, 2016, 33(10): 891-894.
- [3] 张 科. 梁滩河流域重金属复合污染研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [4] 孙光闻. 重金属污染及治理研究进展 [J]. 南方农业, 2007, 1(2): 41-43.
- [5] 徐 雄, 李春梅, 孙 静, 等. 我国重点流域地表水中 29 种农药污染及其生态风险评价 [J]. 生态毒理学报, 2016, 11(2): 347-354.
- [6] 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.
- [7] 赵 龙, 侯 红, 郭平毅, 等. 海河干流及河口地区土壤中有机氯农药的分布特征 [J]. 环境科学, 2009, 30(2): 543-550.
- [8] 孙清萍. 杭州市地表水有机农药的污染现状及风险 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [9] 王旭刚, 孙丽蓉, 等. 五氯酚的污染现状及其转化研究进展 [J]. 环境科学与技术, 2009, 32(8): 93-100.
- [10] FU J, ZHAO C P, LUO Y P. Heavy Metals in Surface Sediments of the Jialu River, China: Their Relations to Environmental Factors [J]. Journal of Hazardous Materials, 2014, 270(3): 102-109.
- [11] 袁自娇, 刘桂建, 等. 黄河三角洲土壤和水体沉积物中典型有机污染物的环境行为研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2016.
- [12] 王 丽, 陈 凡, 马千里, 等. 东江淡水河流域地表水和沉积物重金属污染特征及风险评价 [J]. 环境化学, 2015, 34(9): 1671-1684.
- [13] 中华人民共和国卫生部. GB 3838-2002 地表水环境质量标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [15] 中华人民共和国国土资源部. GB/T 14848-93 地下水质量标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [16] 中华人民共和国国家标准化管理委员会. GB 11607-89 渔业水质标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
- [17] 中华人民共和国国家环境保护局和国家海洋局. GB 3097-1997 海水水质标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.

- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 15618-1995 农用地土壤环境质量标准(征求意见稿) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [19] 唐 将, 钟远平, 王 力. 三峡库区土壤重金属背景值研究 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 848-852.
- [20] 王建伟, 张彩香, 潘真真, 等. 江汉平原典型土壤环境中有机磷农药的分布特征及影响因素 [J]. 环境科学, 2017, 38(4): 1597-1605.
- [21] MUIR J, EDULJEE G. PCP in the Freshwater and Marine Environment of the European Union [J]. *The Science of Total Environment*, 1999, 236(1-3): 41-56.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 14552-2003 水、土中有机磷农药测定的气相色谱法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [23] 中华人民共和国国家环境保护局. GB/T 14550-93 土壤质量-六六六和滴滴涕的测定-气相色谱法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [24] 中华人民共和国环境保护部. HJ 703-2014 土壤和沉积物-酚类化合物的测定-气相色谱法 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [25] 中华人民共和国国家环境保护局. GB/T 17140-1997 土壤质量 铅、镉的测定-KI/MIBK 萃取火焰原子吸收分光光度法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.

Investigation of the Pollution Status of Three Tributaries of the Yangzi River in Chongqing City

YANG Jing¹, QIN Ju¹, ZENG Bo²,
YANG Rui¹, LONG Yun²

1. Key Laboratory on Luminescence and Real-Time Analysis, Ministry of Education / School of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In a study reported in this paper, we analyzed and compared the differences in the contents of two heavy metals (lead and cadmium) and three organic compounds (pentachlorophenol, hexachlorocyclohexane and methyl parathion) in the water and sediments of the Jialing River, the Qijiang River and the Yipin River—three main tributaries of the Yangzi River in Chongqing, and evaluated the water quality of the three rivers based on lead and cadmium and pentachlorophenol, hexachlorocyclohexane and methyl parathion. Finally, we not only analyzed the significance of differences in the pollutant contents among the rivers, but also evaluated the water quality categories of the pollutants.

Key words: the Qijiang River; the Yipin River; the Jialing River; organics; heavy metal; water quality assessment