

漓江市区段饮用水源地沉积物重金属污染风险评价

李发文¹, 杨雄¹, 熊佐芳¹, 林华²

(1. 桂林市环境保护科学研究所, 广西 桂林 541001; 2. 桂林理工大学 环境科学与工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 以漓江桂林市区段为研究对象,在饮用水源地周边布点,采集沉积物样品,检测分析了样品中重金属镉、铜、铅、锌、铬、锰、砷和汞的含量。采用地质累积指数法和潜在生态危害指数法对漓江沉积物重金属生态环境风险进行评价。结果表明,漓江桂林市区段沉积物中8种重金属元素的污染总体处于轻度水平,其中Hg的生态风险相对较大。

关键词: 漓江; 饮用水水源地; 沉积物; 重金属; 生态风险

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)09-0062-04

Ecological Risk Assessment of Heavy Metals Pollution in Sediments in Urban Section of Li River at Source Water Intake Zone

LI Fa-wen¹, YANG Xiong¹, XIONG Zuo-fang¹, LIN Hua²

(1. Guilin Research Institute of Environmental Protection Sciences, Guilin 541001, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: This study took the Li River at Guilin, China as a study object, arranged sampling points, and collected sediment samples. Concentrations of eight heavy metals, including Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Mn, As and Hg, were determined. Geo accumulation index and potential ecological risk index were applied to assess the environmental risks of heavy metal pollutions. The results showed that the sediment pollution of heavy metals in Guilin section of the Li River was at a moderate level; however, a considerable ecological risk of Hg was discovered.

Key words: Li River; source water intake zone; sediment; heavy metal; ecological risk

沉积物是重金属进入水体后的汇集地,河流沉积物中的重金属元素主要来源于岩石矿物的自然风化、污染物的排放以及大气输入等方面,特别是人类生产活动会产生大量的固体废弃物、废水和废气(含重金属成分),对水体环境造成严重污染^[1]。漓江是桂林的重要水源地,也是桂林风光的精华。从20世纪80年代起,桂林市政府通过采取“关、停、并、转、迁”沿江两岸企业、生活污水入管截流、河道

整治等一系列措施改善漓江水质,使得近年来漓江水质可达到集中式生活饮用水地表水源地Ⅱ级保护区水质的要求。但随着桂林市工业和旅游业的不断发展,将会导致大量固体废弃物、废水和废气的排放,桂林市地处喀斯特盆地河谷地带,逆温层低、风小且逆温维持时间长,这些不利条件均可能会加剧桂林市的重金属污染状况^[2]。笔者对漓江沉积物中的重金属含量进行分析,旨在了解漓江流域的重

金属污染特征,探讨人为活动对重金属污染程度的影响,为其环境质量评价与生态环境保护提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 漓江概况

漓江为珠江水系的桂江上游河段,位于广西东北部,发源于兴安县猫儿山海拔 1 732 m 的老山界南侧,往南流与黄柏江、川江、三江汇合后称大溶江,与灵河(灵渠南渠)汇合后始称漓江,总体由北向南流,经兴安、灵川、桂林市区、阳朔,至平乐县恭城河口止。漓江由灵川向南穿过桂林市区(全长为 49.3 km)时,汇入的主要支流有:桃花江、小东江(其支流灵剑溪)、南溪河、宁远河、相思江。漓江是雨源性河流,每年 3 月—8 月是丰水期,地表径流占全年的 77.5%,9 月进入平水期,11 月进入枯水期,直至翌年 2 月。在枯水期,河水流量常在 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下。漓江(市区段)的泥沙量少,水质清澈,两岸多为岩溶地貌,极少产生泥沙。

1.2 城市水源及重金属污染情况

桂林市区现有 4 个饮用水源地,分别为东镇路水厂、东江水厂、城北水厂、瓦窑水厂,水源类型均为河流型地表水,即从漓江取水,服务市区约 68.6 万人(不含临桂、八里街)。东镇路水厂、东江水厂、城北水厂的供水规模均为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,瓦窑水厂为 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。对 4 个水源地水质的监测结果表明,近年漓江(市区段)饮用水水源地水质均可达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的 II 类标准,水质良好。

1.3 样品采集

为了研究漓江(市区段)饮用水水源地沉积物的重金属污染状况及生态环境风险,结合漓江市区段的河道特征、地貌特征、城镇分布及样品采集原则,沿水流方向选取 5 个典型断面采集样品,即 1[#]大面村、2[#]蚂蝗洲下游、3[#]解放桥附近、4[#]漓江桥附近、5[#]净平山大桥,5 个采样点的间距依次为 7.99、1.65、2.13、4.07 km,其中,1[#]为城北水厂取水点,3[#]为东江水厂取水点。

采用抓斗式采泥器在 5 个采样点采集表层样(0~15 cm),每个采样点采集 3 个样品,混合均匀,去除大的石块和异物后,装入聚乙烯塑料袋,带回实验室后放于冰箱中,之后用真空冷冻干燥机进行干燥、除杂,再将其研磨过 100 目筛,存于干燥容器中

待测。

1.4 检测项目与方法

本研究选择对沉积物生态环境可能造成风险的 8 种重金属元素作为监测指标,分别是 Cd、Cu、Pb、Zn、Cr、Mn、As、Hg。

准确称取 0.5 g 沉积物样品置于聚四氟乙烯消解罐中,加入 5 mL 硝酸后将消解罐置于电热板上,在 150 ℃下加热至近干后,再加入 5 mL 硝酸、5 mL 氢氟酸和 3 mL 高氯酸,在 150 ℃下加热消解,直至固体消失;将酸蒸至近干后冷却,用 2% 的硝酸将消解样定容至 25 mL。采用国家标准方法检测 8 种重金属含量,每个样品平行测定 3 次,同时作空白对照。

2 结果与讨论

2.1 沉积物的重金属含量

漓江(市区段)5 个采样点沉积物的重金属含量见表 1。

表 1 漓江各采样点沉积物的重金属含量

Tab. 1 Heavy metal contents in sediment of Li River

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

项目	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Mn	As	Hg
1 [#]	0.15	16.1	1.79	25.0	68.3	500	31.03	0.277
2 [#]	0.23	72.6	5.39	64.9	77.6	690	24.64	0.253
3 [#]	0.10	105	14.8	94.4	191	459	11.61	0.099
4 [#]	0.24	9.76	21.8	125	70.7	189	12.96	0.810
5 [#]	0.012	6.94	22.0	131	70.0	189	31.30	0.310

由表 1 可以看出,在 1[#]采样点,除 As 含量较高,其他重金属含量均较低;3[#]采样点的 Cu 和 Cr 含量较高;与其他采样点相比,5[#]采样点(瓦窑水厂上游)的 8 种重金属指标中,有 3 个指标值均是最高。每个重金属指标值从上游 1[#]至下游 5[#],重金属含量呈不规则分布,说明在漓江(市区段)两岸无连续固定污染物排放源。另外,5 个采样点的 Mn 含量均显著高于其他重金属含量。相关研究表明,Mn 是施用农药和化肥等农业活动的标识元素^[3,4],而我国化肥和农药利用率仅为 30%,未被利用的农药和化肥在水流的反复淋滤作用下逐渐从土壤中析出,以地表径流的方式进入水体,使得 Mn 这种重金属元素在沉积物中不断蓄积^[5]。漓江沿岸农业面源污染可能是造成 Mn 含量较高的主要原因之一。同时,上述监测数据还表明,沉积物还受偶发性污染物排放源的间接影响。

2.2 沉积物的重金属污染评价

本研究采用地质累积指数法(I_{geo})评价重金属污染。该方法是德国学者 Muller 于 1979 年提出的,其计算公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \frac{C_i}{KB_i} \quad (1)$$

其中, C_i 为金属 i 在沉积物中的实测含量; B_i 为重金属 i 的背景含量,本研究采用《中国土壤元素背景值》中广西土壤 A 层土重金属含量的算术平均值,Cd、Cu、Pb、Zn、Cr、Mn、As、Hg 的土壤背景值分别为 0.267、27.8、24.0、75.6、82.1、446、20.5、0.152 mg/kg; K 为成岩作用可能引起的背景值波动而设定的常数,一般取 1.5。

根据地质累积指数,将沉积物的重金属污染程度划分为 7 个等级: $I_{\text{geo}} \leq 0$,未受污染; $0 < I_{\text{geo}} \leq 1$,轻度污染; $1 < I_{\text{geo}} \leq 2$,偏中度污染; $2 < I_{\text{geo}} \leq 3$,中度污染; $3 < I_{\text{geo}} \leq 4$,偏重污染; $4 < I_{\text{geo}} \leq 5$,重度污染; $I_{\text{geo}} > 5$,严重污染。漓江(市区段)各采样点沉积物重金属的地质累积指数见表 2。

表 2 漓江各采样点沉积物中重金属的地质累积指数

Tab.2 I_{geo} values of heavy metal in sediment of Li River

项目	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Mn	As	Hg
1 [#]	-1.42	-1.37	-4.33	-2.18	-0.85	-0.42	0.01	0.28
2 [#]	-0.80	0.80	-2.74	-0.81	-0.67	0.04	-0.32	0.15
3 [#]	-2.00	1.33	-1.28	-0.26	0.63	-0.54	-1.41	-1.20
4 [#]	-0.74	-2.10	-0.72	0.14	-0.80	-1.82	-1.25	1.83
5 [#]	-5.06	-2.59	-0.71	0.21	-0.81	-1.82	0.03	0.44
平均值	-2.00	-2.02	-1.96	-1.08	-0.78	-1.15	-0.74	-0.46

由表 2 可知,Cd、Pb 的 I_{geo} 值均为负值,表明在 5 个采样点中未受到这两种重金属元素的污染;Hg 的 I_{geo} 值除 3[#] 为负值外其余均为正值,表明有 4 个采样点受到重金属 Hg 的污染,其中 4[#] 采样点污染最为严重。沉积物中的重金属 Hg 有可能来源于农业废弃物和生活垃圾的排放,此类固体废弃物中含有 Hg、As、Cd 和 Cr 等有毒重金属元素及放射性物质^[6]。3[#] 采样点 Cu 的 I_{geo} 值和 4[#] 采样点 Hg 的 I_{geo} 值均大于 1,为偏中度污染。

对比各采样点的重金属污染状况,发现 2[#]、5[#] 采样点同时受到 3 种重金属的污染,地质累积指数均小于 1,表现为轻度污染。结合周围环境情况(2[#] 位

于蚂蝗洲下游,蚂蝗洲上有餐馆营业,附近停泊住家船只,且此处为木龙湖景区与漓江交汇处;5[#] 位于净平山大桥下游,附近有密集村庄和船只停泊)分析,可知 2[#]、5[#] 采样点因受岸边生活垃圾、面源污染及旅游船只的影响,使沉积物中的重金属累积量较高。1[#]、3[#]、4[#] 采样点的重金属污染情况基本处在同一水平,污染程度都相对较小,2[#] 和 5[#] 采样点应作为今后的重点防控区域,其余采样点也应采取加强预防沉积物重金属污染的措施。由于 Hg 的 I_{geo} 值与其他重金属元素相比显著偏高,为了更好地保护漓江水系的生态环境,迫切需要通过综合整治手段来控制水体中重金属 Hg 的含量,避免其逐渐升高。

综上,地质累积指数法的评价结果表明,漓江(市区段)沉积物的重金属污染总体处于轻度水平,其中 Hg 元素污染最重,主要污染区域为漓江大桥和净平山大桥,应重点防预。

2.3 生态风险评价

本研究采用潜在生态危害指数法对漓江沉积物中的重金属生态环境风险进行评价。潜在生态危害指数 RI 的计算方法如下:

$$RI = \sum E_i^r = \sum (T_i^r \times P_i) \quad (2)$$

其中, E_i^r 为重金属 i 的潜在生态危害指数; T_i^r 为重金属 i 的毒性系数,用于反映重金属的毒性水平和生物对重金属的敏感程度,Cd、Cu、Pb、Zn、Cr、Mn、As、Hg 的毒性系数值分别为 30、5、5、1、2、1、10、40^[7]; P_i 为重金属 i 的污染指数, $P_i = C_i/B_i$ 。

沉积物的重金属潜在生态危害划分标准如下: $E_i^r \leq 40$ 、 $RI \leq 150$,轻微潜在生态风险; $40 < E_i^r \leq 80$ 、 $150 < RI \leq 300$,中等潜在生态风险; $80 < E_i^r \leq 160$ 、 $300 < RI \leq 600$,较强潜在生态风险; $160 < E_i^r \leq 320$ 、 $RI > 600$,强潜在生态风险; $E_i^r > 320$,极强潜在生态风险。沉积物中重金属的潜在生态风险见表 3。

表 3 漓江沉积物中重金属的潜在生态风险

Tab.3 Potential ecological risk of heavy metals in sediment of Li River

项目	E_i^r 值								RI 值
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Mn	As	Hg	
1 [#]	16.85	2.90	0.37	0.33	1.66	1.12	15.14	72.89	111.27
2 [#]	25.84	13.06	1.12	0.86	1.89	1.55	12.02	66.58	122.92
3 [#]	11.24	18.88	3.08	1.25	4.65	1.03	5.66	26.05	71.85
4 [#]	26.97	1.76	4.54	1.65	1.72	0.42	6.32	213.16	256.54
5 [#]	1.35	1.25	4.58	1.73	1.71	0.42	15.27	81.58	107.89

由表 3 可知,漓江沉积物中重金属 Cd、Cu、Pb、

Zn、Cr、Mn、As 的 E_i^r 值远低于 40,说明存在轻微的潜在生态风险;而 Hg 除在 3[#] 采样点的潜在生态风险属于轻微以外,其他各采样点均为中等以上,尤其在 4[#] 采样点其 E_i^r 值达到最大。漓江水系既是城市汞污染的汇,也是城市汞污染的源。人们通过河水灌溉、饮用和水生生物食用等方式导致汞污染再次向城市生态环境扩散,或在食物链的终端——城市人体中积累。桂林居民具有食螺蟹的习惯,汞元素可以通过河水→底泥→水草→鱼虾→螺蟹食物链进入人体,造成人体中汞及其他重金属的积累。因此,漓江沉积物中的重金属 Hg 污染生态风险问题应引起高度重视。

3 结论

① 本研究中所选择的 8 种重金属元素在漓江(市区段)沉积物中均有不同程度的检出,其中 Hg 含量较高。

② 地质累积指数法与潜在生态风险指数法的分析结果表明,漓江桂林市区段沉积物中 8 种重金属元素的污染总体处于轻度水平,其中 Hg 的潜在生态风险相对较高;重金属的潜在生态风险由高到低依次为 Hg、Cd、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Mn。

③ 漓江 2[#](蚂蟥洲附近)和 5[#](净平山大桥附近)监测点沉积物中的重金属含量明显高于其他采样点区域,表明漓江(市区段)表层沉积物中重金属含量与周边环境(居民密集程度及游船多少)有密切关系。

参考文献:

[1] 董爱国. 长江口及邻近海域沉积物重金属元素地球化学特征及其对人类活动的响应[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.

- [2] 王佳. 漓江沉积物污染特征及其河流健康的初步研究[D]. 桂林:桂林理工大学,2009.
- [3] Filzek P D, Spurgeon D J, Broll G, *et al.* Pedological characterization of sites along a transect from a primary cadmium/lead/zinc smelting works[J]. *Ecotoxicology*, 2004, 13(8): 725 - 737.
- [4] Hudson-Edwards K A, Houghton S L, Osborn A. Extraction and analysis of arsenic in soils and sediments[J]. *Trac Trend Anal Chem*, 2004, 23(10/11): 745 - 752.
- [5] 刘庆,王静,史衍玺,等. 浙江省慈溪市农田土壤重金属污染初步研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(2): 639 - 644.
- [6] 徐晓春,陈芳,王军,等. 铜陵矿山酸性排水及固体废弃物中的重金属元素[J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(6): 591 - 597.
- [7] 徐争启,倪师军,庾先国,等. 潜在生态危害指数评价中重金属毒性系数计算[J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(2): 112 - 115.



作者简介:李发文(1976 -),男,广西桂林人,本科,工程师,研究方向为水污染控制、环境监测。

E-mail: 374491462@qq.com

收稿日期:2016 - 11 - 13

保障饮水安全,维护生命健康