

湘江流域衡阳段沉积物重金属污染特征及风险评价

邱国良, 陈泓霖

(湖南省衡阳生态环境监测中心, 湖南 衡阳 421001)

摘要: 为了解沉积物重金属污染变化趋势及生态风险, 根据2015–2019年湘江流域衡阳段各河流沉积物重金属元素监测结果, 采用地累积指数法及潜在生态危害指数法, 对沉积物中9种重金属的污染特征及生态风险进行了评价。地累积指数法评价结果表明, 湘江干流及4条主要支流沉积物普遍存在镉(Cd)污染, 部分河流砷(As)、汞(Hg)、铅(Pb)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)也有一定程度的污染, 钒(V)、铬(Cr)多为无污染或无污染到中度污染。潜在生态危害指数法评价结果表明, As、Cd、Hg、Cu(仅舂陵水)达到中等生态危害至极强生态危害程度; 9种重金属总潜在生态危害指数从高到低为舂陵水(1316)>耒水(718)>湘江干流(609)>蒸水(515)>洙水(441), 舂陵水、耒水、湘江干流均表现为很强生态危害程度, 蒸水、洙水为强生态危害程度。两种评价方法均表明, 湘江流域衡阳段各河流沉积物重金属以舂陵水污染最为严重, 其次为耒水、湘江干流, 蒸水、洙水受污染程度相对较轻; 舂陵水、耒水、洙水、湘江干流4条河流沉积物重金属2017–2019年污染较2015–2016年有所减轻。

关键词: 湘江流域衡阳段; 沉积物; 重金属; 地累积指数; 潜在生态危害指数

中图分类号: X502, X820.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-3075(2022)02-0125-08

湘江是湖南省最大的河流, 发源于广西壮族自治区灵川县海洋乡, 流经湖南省永州市、衡阳市、株洲市、湘潭市、长沙市, 至岳阳市湘阴县注入长江水系的洞庭湖; 随着工农业的迅速发展, 湘江流域已成为我国重金属污染最严重的河流之一(邱国良和陈泓霖, 2016)。2011年3月, 国务院正式批准《湘江流域重金属污染治理实施方案》, 这是全国第一个由国务院批复的区域性重金属污染治理试点方案, 湖南省政府2012年6月印发《<湘江流域重金属污染治理实施方案>工作方案(2012–2015年)》; 湖南省政府2013年将湘江污染防治作为“一号重点工程”, 开始连续实施3个“三年行动计划”(2013–2021年), 持续加强湘江流域重金属污染治理。

湘江干流衡阳段长达226 km, 4条一级支流舂陵水、蒸水、耒水、洙水在衡阳境内汇入湘江。多位学者对湘江干流衡阳段沉积物中重金属污染开展了相关研究(贺晶, 2011; 王晨等, 2011; 唐文清等, 2015)。然而, 对4条主要支流沉积物重金属污染研究较少见。本文研究了近几年来湘江干流衡阳段及4条主要支流的沉积物重金属污染变化情况, 利用地累积指数法和潜在生态危害指数法对2015–2019年湘江流域衡阳段各河流沉积物中重金属污染状况进行了

分析, 以期判断近几年来湘江流域衡阳段重金属污染治理成效, 并为持续巩固加强重金属污染防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 监测断面设置

衡阳市位于湘江中游, 湘江流域衡阳段主要包含湘江干流衡阳段及舂陵水、蒸水、耒水、洙水4条一级支流衡阳段。在湘江流域衡阳段共设置了11个沉积物监测断面(图1)。在4条支流衡阳市入境处、入湘江口处各设置1个断面, 在湘江干流衡阳市入境处、水口山镇下游、将要出境处各设置1个断面。每年在枯水期(9–10月)采集各断面左、右两个测点(蒸水断面采中间一个测点)的表层沉积物样品, 经自然风干后, 用四分法研磨、过筛后备用。

1.2 样品分析

沉积物样品分析由湖南省衡阳生态环境监测中心(原衡阳市环境监测站)承担, 主要监测指标为镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)、铅(Pb)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)、钒(V)、铬(Cr)共9种重金属。Cd分析方法依据《土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》(GB/T 17141–1997), As分析方法依据《土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第2部分: 土壤中总砷的测定》(GB/T 22105.2–2008), Hg在2015–2017年的分析方法依据《热分解齐化原子吸收光度法测定固体及液体中的汞》(EPA 7473–2007)、2018–2019年

收稿日期: 2020-04-26 修回日期: 2021-10-21

作者简介: 邱国良, 1982年生, 男, 高级工程师, 主要从事环境监测研究。E-mail: qiu_429@163.com

的分析方法依据《土壤和沉积物 总汞的测定 催化热解-冷原子吸收分光光度法》(HJ 923-2017), Pb、Cu、Zn、Mn、V、Cr 分析方法依据《土壤元素的近代分析法》(中国环境监测总站, 1992)。

物对元素 i 污染敏感程度而取的毒性系数 (Forstner, 1989), 其中 Pb、Cd、Cu、Zn、As、Hg、Cr、Mn、V 的 T_i^j 分别为 5、30、5、1、10、40、2、1、2 (徐争启等, 2008)。 E_r^i 和 R_i 划分标准见表 3 (刘解答等, 2017)。

表 1 湘江流域沉积物中重金属元素背景值 mg/kg

Tab.1 Background values of heavy metals in sediments of the Xiangjiang River basin

元素	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn	Cr	V	Mn
含量	22.5	0.50	21.2	0.043	16.7	73.0	35.2	46.1	371.0

表 2 地累积指数分级标准

Tab.2 Classification standards of pollution status by geoaccumulation index

级别	地累积指数 (I_{geo})	污染程度
0	$I_{geo} \leq 0$	无污染
1	$0 < I_{geo} \leq 1$	无污染 - 中度污染
2	$1 < I_{geo} \leq 2$	中度污染
3	$2 < I_{geo} \leq 3$	中度污染 - 强污染
4	$3 < I_{geo} \leq 4$	强污染
5	$4 < I_{geo} \leq 5$	强污染 - 极强污染
6	$I_{geo} > 5$	极强污染

表 3 沉积物重金属污染的潜在生态危害程度划分

Tab.3 Classification standards of potential ecological hazard of heavy metal pollution in sediment

潜在生态危害指数 (E_r^i 或 R_i)	生态危害程度
$E_r^i < 40$ 或 $R_i < 150$	轻微
$40 \leq E_r^i < 80$ 或 $150 \leq R_i < 300$	中等
$80 \leq E_r^i < 160$ 或 $300 \leq R_i < 600$	强
$160 \leq E_r^i < 320$ 或 $R_i \geq 600$	很强
$E_r^i \geq 320$	极强

1.4 数据处理

采集左、右两个测点沉积物样品的监测断面, 先计算单个断面的算术平均值, 再计算所有取样断面的算术平均值作为某河流某年度的数值。

2 结果与分析

2.1 沉积物重金属含量变化

2015-2019 年湘江流域衡阳段各河流沉积物中重金属监测结果见表 4。由表 4 可见, 各河流各年度沉积物中, 9 种重金属含量除 2019 年洙水的 As 和 V 略低于湘江流域沉积物背景值外, 其余重金属含量均超过背景值。从各河流沉积物中重金属含量超背景值情况来看, 沉积物中 V、Cr 含量差别较小、污染

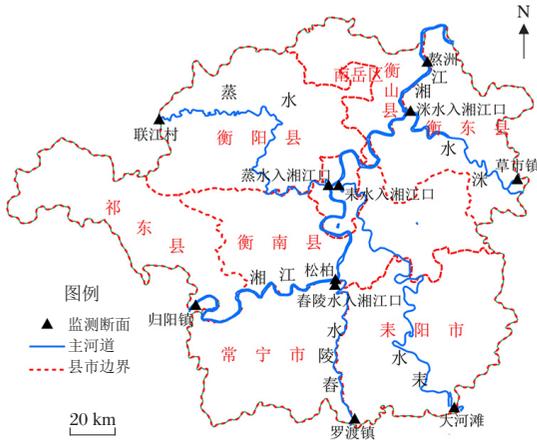


图 1 湘江流域衡阳段各河流沉积物监测断面
Fig.1 Sediment monitoring transects in the Hengyang section of the Xiangjiang River basin

1.3 评价方法

1.3.1 地累积指数法 采用多数学者 (马舒欣等, 2019; 温泉等, 2020) 常用的地累积指数法 (Muller, 1969) 评价湘江流域衡阳段各河流沉积物各重金属污染程度, 计算公式如下:

$$I_{geo} = \log_2 C_i / (k \times B_i) \quad (1)$$

式中: C_i 为沉积物中元素 i 的实测含量 (mg/kg), B_i 为重金属元素 i 的背景值 (mg/kg), k 为转换常数 (各地岩石差异可能引起背景值变动), 取 1.5。湘江流域衡阳段各河流沉积物中重金属元素背景值取洞庭湖水系主要河流——湘江的沉积物中重金属元素背景值 (均值), 详见表 1 (李健和郑春江, 1989)。地累积指数分级标准见表 2 (伍娟丽等, 2020)。

1.3.2 潜在生态危害指数法 采用多数学者 (江文渊和曾珍香, 2019; 张杰等, 2019) 常用的潜在生态危害指数法 (Hakanson, 1980) 评价湘江流域衡阳段各河流沉积物中重金属污染引起的生态风险, 计算公式如下:

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i; \quad C_f^i = C_i / C_n^i \quad (2)$$

$$R_i = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \times C_i / C_n^i \quad (3)$$

式中: E_r^i 为沉积物中重金属元素 i 的潜在生态危害指数, R_i 为沉积物中多种重金属元素的总潜在生态危害指数, C_f^i 为元素 i 的污染指数, C_i 为元素 i 的实测含量 (mg/kg), C_n^i 为背景值参照值 (采用表 1 湘江流域沉积物重金属元素背景值), T_r^i 为反映元素 i 毒性水平及生

相对较轻,其余7种重金属均呈现出一定程度的污染;各河流普遍存在比较严重的Cd污染。舂陵水沉积物中As、Cu、Mn、Zn超背景值倍数明显高于其他河流,除V、Cr外的其余7种重金属均呈现出较重的污染。舂陵水沉积物重金属污染最为严重,其次是

耒水和湘江干流,蒸水、洙水沉积物重金属污染相对较轻。

2.2 地累积指数

2015–2019年湘江流域衡阳段各河流沉积物中重金属地累积指数法评价结果见表5。

表4 2015–2019年湘江流域衡阳段各河流沉积物中重金属监测结果统计

Tab.4 Heavy metal content of sediments from the Hengyang section of the Xiangjiang River basin (2015 to 2019)

河流	统计项	沉积物重金属元素								
		Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn	Mn	V	Cr
舂陵水	最小值/mg·kg ⁻¹	101.8	1.43	671.8	0.159	163.0	316.3	1835.0	60.0	51.2
	最大值/mg·kg ⁻¹	200.0	10.20	1570.5	0.374	616.8	1326.8	4760.0	68.6	106.2
	5年均值/mg·kg ⁻¹	158.3	7.28	1082.2	0.237	298.6	639.6	3046.3	62.9	66.6
	超背景值/倍	6.0	13.6	50.0	4.5	16.9	7.8	7.2	0.4	0.9
蒸水	最小值/mg·kg ⁻¹	41.3	0.66	23.2	0.192	37.2	162.4	632.0	70.2	51.6
	最大值/mg·kg ⁻¹	141.9	5.91	44.9	0.594	72.5	305.0	1817.0	110.9	68.7
	5年均值/mg·kg ⁻¹	76.2	2.95	33.5	0.299	47.5	215.9	1050.7	84.7	61.9
	超背景值/倍	2.4	4.9	0.6	6.0	1.8	2.0	1.8	0.8	0.8
耒水	最小值/mg·kg ⁻¹	116.5	2.16	76.7	0.144	42.6	273.3	1136.8	65.2	44.4
	最大值/mg·kg ⁻¹	169.8	10.10	152.5	0.327	87.3	417.3	2275.0	87.6	77.3
	5年均值/mg·kg ⁻¹	138.8	6.62	111.7	0.219	60.9	347.1	1541.2	74.0	56.3
	超背景值/倍	5.2	12.2	4.3	4.1	2.6	3.8	3.2	0.6	0.6
洙水	最小值/mg·kg ⁻¹	31.2	1.14	21.1	0.049	19.7	82.0	644.5	45.5	43.2
	最大值/mg·kg ⁻¹	63.8	9.03	37.9	0.158	46.0	260.5	1540.0	92.6	90.6
	5年均值/mg·kg ⁻¹	47.7	4.77	31.5	0.115	35.8	155.9	1032.0	66.2	58.9
	超背景值/倍	1.1	8.5	0.5	1.7	1.1	1.1	1.8	0.4	0.7
湘江干流	最小值/mg·kg ⁻¹	72.5	2.09	50.2	0.141	37.2	170.7	1026.7	52.3	40.7
	最大值/mg·kg ⁻¹	319.8	9.37	174.5	0.242	88.5	468.7	2655.0	81.7	57.7
	5年均值/mg·kg ⁻¹	157.7	5.41	86.7	0.193	51.4	264.1	1522.1	67.1	47.8
	超背景值/倍	6.0	9.8	3.1	3.5	2.1	2.6	3.1	0.5	0.4
湘江流域沉积物背景值/mg·kg ⁻¹		22.5	0.50	21.2	0.043	16.7	73.0	371.0	46.1	35.2

由表5可以看出,各河流沉积物中V、Cr污染较轻(多为无污染或无污染到中度污染),其余7种重金属呈现出不同程度的污染,各河流普遍存在Cd污染。从5年均值来看,舂陵水沉积物中重金属以As(极强污染,6级)、Cu(强污染,4级)、Cd(强污染,4级)污染为主,其次为Zn、Mn、Pb(均为中度到强污染,3级)污染;蒸水沉积物以汞(中度到强污染,3级)污染为主,其次为Cd、Pb(均为中度污染,2级)污染;耒水沉积物以Cd(强污染,4级)污染为主,其次为Pb(中度到强污染,3级)污染;洙水沉积物以Cd(中度到强污染,3级)污染为主;湘江干流以Cd、Pb(均为中度到强污染,3级)污染为主。各河流比较,舂陵水沉积物中重金属污染最为严重,其次为耒水、湘江干流,蒸水和洙水污染相对较轻。

从各河流各年度沉积物重金属地累积指数来看,舂陵水沉积物中7种重金属(除V和Cr外)污染在2015–2017年呈减轻趋势,2018–2019年呈上升趋势(Hg除外);耒水、湘江干流沉积物中部分重金属污染在2015–2017年呈减轻趋势,2018–2019年波动变化;蒸水、洙水沉积物中重金属污染相对较轻,呈不规则波动,变化趋势不明显。除蒸水外,舂陵水、耒水、洙水、湘江干流4条河流大多数重金属指标在2017–2019年的地累积指数低于2015–2016年,可见其重金属污染程度在降低。

2.3 潜在生态危害指数

采用潜在生态危害指数法评价2015–2019年湘江流域衡阳段各河流沉积物中的重金属污染状况

表 5 2015–2019 年湘江流域衡阳段各河流沉积物中重金属地累积指数法评价结果

Tab.5 Geoaccumulation index for each heavy metal in river sediments from the Hengyang section of Xiangjiang River basin (2015 to 2019)

河流	年份	重金属地累积指数(I_{geo})								
		Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn	Mn	V	Cr
春陵水	2015	2.50	3.63	5.63	2.01	4.62	3.60	3.10	-0.01	0.30
	2016	2.42	3.37	5.36	1.50	3.63	2.39	2.62	-0.20	-0.05
	2017	1.80	0.93	4.40	1.30	2.70	1.60	1.72	-0.13	1.01
	2018	1.59	3.37	4.43	2.53	2.73	1.53	2.05	-0.18	0.05
	2019	2.57	3.77	5.20	1.70	3.24	2.56	2.39	-0.16	0.07
	均值	2.23	3.28	5.09	1.88	3.58	2.55	2.45	-0.14	0.33
蒸水	2015	1.58	1.05	-0.45	1.72	0.95	1.48	1.05	0.38	0.31
	2016	0.39	2.30	-0.25	1.57	0.67	0.66	1.71	0.68	0.38
	2017	0.64	-0.18	0.24	2.09	0.57	0.61	0.71	0.17	0.06
	2018	0.29	1.96	0.50	1.78	0.66	0.57	0.18	0.02	-0.03
	2019	2.07	2.98	0.14	3.20	1.53	1.31	0.42	0.11	0.38
	均值	1.18	1.97	0.07	2.21	0.92	0.98	0.92	0.29	0.23
耒水	2015	2.09	3.13	2.26	2.34	1.80	1.93	2.03	-0.09	-0.25
	2016	2.33	3.75	2.05	1.71	1.19	1.93	1.43	0.34	0.55
	2017	1.87	1.53	1.30	1.54	0.79	1.52	1.03	0.05	0.02
	2018	1.79	3.13	1.91	1.80	1.57	1.32	1.21	0.04	-0.10
	2019	2.06	3.37	1.27	1.15	0.76	1.52	1.44	0.11	0.11
	均值	2.04	3.14	1.81	1.76	1.28	1.66	1.47	0.10	0.09
洙水	2015	0.92	3.57	-0.04	0.71	0.88	1.25	1.47	-0.05	0.10
	2016	0.81	3.59	0.25	1.29	0.85	0.73	1.26	0.42	0.78
	2017	0.28	0.60	-0.05	0.84	0.29	0.10	0.47	-0.30	-0.18
	2018	0.35	2.21	0.21	1.18	0.58	0.33	0.64	0.01	0.12
	2019	-0.11	0.83	-0.59	-0.39	-0.35	-0.42	0.21	-0.60	-0.29
	均值	0.50	2.67	-0.01	0.83	0.52	0.51	0.89	-0.06	0.16
湘江干流	2015	2.69	3.64	2.46	1.91	1.82	2.10	2.25	-0.01	-0.13
	2016	3.24	3.07	0.66	1.35	0.91	1.08	1.45	0.24	0.13
	2017	1.10	1.48	0.70	1.51	0.60	0.77	1.00	-0.001	-0.12
	2018	1.31	3.09	1.44	1.87	0.89	1.26	1.21	-0.11	-0.27
	2019	1.49	1.95	1.15	1.13	0.57	0.64	0.88	-0.40	-0.38
	均值	2.22	2.85	1.45	1.58	1.04	1.27	1.45	-0.04	-0.14

(表 6)。由表 6 可见,各河流各年度沉积物中,Zn、Mn、V、Cr 的潜在生态危害指数均远小于 40,均为轻微生态危害;除春陵水外,其余 4 条河流各年度 Cu 的潜在生态危害指数也小于 40(轻微生态危害),Pb 的潜在生态危害指数除春陵水 2015–2016 年和 2019 年、湘江干流 2015–2016 年外,也小于 40(轻微生态危害),As 除春陵水较高外,也以轻微生态危害为主,春陵水的 As 及各河流的 Cd 和 Hg 呈现出很强或极强的生态危害。

从 5 年均值来看,春陵水沉积物中重金属 As、Cd、

Hg、Cu 呈现出强或很强、极强生态危害程度,蒸水的 Hg 和 Cd 均为很强生态危害程度,耒水和湘江干流的 Cd、Hg、As 呈现出中等或很强、极强生态危害程度,洙水的 Cd 为很强生态危害程度,Hg 为中等生态危害程度。各河流 9 种重金属总潜在生态危害指数从高到低为:春陵水>耒水>湘江干流>蒸水>洙水,且春陵水远高于其余 4 条河流,春陵水、耒水、湘江干流均为很强生态危害程度,蒸水和洙水为强生态危害程度。

从各河流主要污染重金属各年度潜在生态危害指数来看,春陵水沉积物中的 As、Cd、Hg、Cu 潜在生

态危害在2015-2017年呈减轻趋势, 2018-2019年呈上升趋势(Hg除外), 蒸水、洙水沉积物中Hg和Cd呈不规则波动, 污染趋势不明显; 耒水和湘江干流的Cd、Hg、As呈不规则变化, 污染趋势也不明显。

从各河流各年度沉积物中9种重金属总潜在生态危害指数来看(图2), 春陵水明显高于其余4条河流, 除洙水2017年和2019年为中等生态危害程度外, 其余河流各年度均为强或很强生态危害程度。春陵水各年度均呈现出很强生态危害程度, 其总潜在生态危害指数在2015-2017年呈下降趋势, 2018-2019年呈上升趋势; 耒水和洙水总潜在生态危害指数波动变化, 2017-2019年低于2015-2016年; 湘江干流总潜在生态危害指数在2015-2017年呈下降趋势, 2018年和2019年波动变化; 蒸水2015-2018年基本持平(小幅波动), 2019年又出现上升。

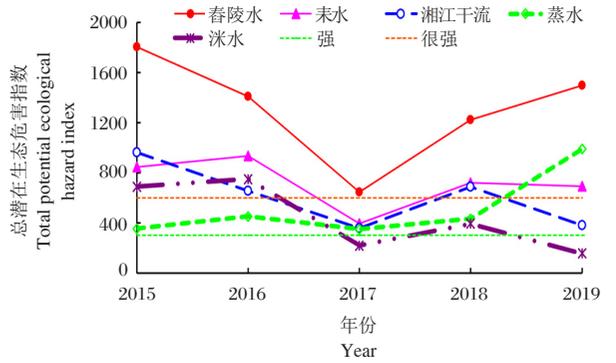


图2 2015-2019年湘江流域衡阳段各河流沉积物重金属总潜在生态危害指数年际变化

Fig.2 Annual variation of the total potential ecological hazard index of heavy metals in sediments of Hengyang section of Xiangjiang River basin (2015 to 2019)

表6 2015-2019年湘江流域衡阳段各河流沉积物中重金属潜在生态危害指数法评价结果

Tab.6 Potential ecological hazard index of heavy metals in sediments of Hengyang section of Xiangjiang River basin (2015 to 2019)

河流	年份	单个重金属潜在生态危害指数(E_i^p)									总潜在生态危害指数(R_p)
		Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn	Mn	V	Cr	
春陵水	2015	42.4	556.5	740.8	242.1	184.7	18.2	12.8	3.0	3.7	1804
	2016	40.2	465.0	617.9	170.2	92.9	7.9	9.2	2.6	2.9	1409
	2017	26.2	85.7	316.9	147.4	48.8	4.6	4.9	2.7	6.0	643
	2018	22.6	464.0	323.6	347.7	49.7	4.3	6.2	2.6	3.1	1224
	2019	44.4	612.5	553.2	194.7	70.9	8.9	7.9	2.7	3.2	1498
	均值	35.2	436.7	510.5	220.4	89.4	8.8	8.2	2.7	3.8	1316
蒸水	2015	22.4	93.0	10.9	197.2	14.5	4.2	3.1	3.9	3.7	353
	2016	9.8	222.0	12.6	178.1	11.9	2.4	4.9	4.8	3.9	450
	2017	11.7	39.6	17.7	256.2	11.1	2.3	2.5	3.4	3.1	348
	2018	9.2	174.6	21.2	206.7	11.9	2.2	1.7	3.0	2.9	433
	2019	31.5	354.6	16.5	552.7	21.7	3.7	2.0	3.2	3.9	990
	均值	16.9	176.8	15.8	278.2	14.2	3.0	2.8	3.7	3.5	515
耒水	2015	31.9	394.5	71.9	304.0	26.1	5.7	6.1	2.8	2.5	846
	2016	37.7	604.5	62.1	195.8	17.1	5.7	4.0	3.8	4.4	935
	2017	27.4	129.8	37.0	174.9	13.0	4.3	3.1	3.1	3.0	395
	2018	25.9	392.9	56.2	208.4	22.2	3.7	3.5	3.1	2.8	719
	2019	31.3	464.7	36.2	133.5	12.7	4.3	4.1	3.2	3.2	693
	均值	30.8	397.3	52.7	203.3	18.2	4.8	4.2	3.2	3.2	718
洙水	2015	14.2	534.0	14.6	98.4	13.8	3.6	4.2	2.9	3.2	689
	2016	13.2	541.5	17.9	147.2	13.5	2.5	3.6	4.0	5.1	749
	2017	9.1	68.4	14.5	107.4	9.2	1.6	2.1	2.4	2.7	217
	2018	9.6	207.8	17.3	135.6	11.2	1.9	2.3	3.0	3.3	392
	2019	6.9	80.1	10.0	45.8	5.9	1.1	1.7	2.0	2.5	156
	均值	10.6	286.4	14.8	106.9	10.7	2.1	2.8	2.9	3.3	441
湘江干流	2015	48.4	562.0	82.3	225.4	26.5	6.4	7.2	3.0	2.7	964
	2016	71.1	379.0	23.7	152.7	14.1	3.2	4.1	3.5	3.3	655
	2017	16.1	125.3	24.4	170.7	11.3	2.6	3.0	3.0	2.8	359
	2018	18.6	383.7	40.7	218.9	13.9	3.6	3.5	2.8	2.5	688
	2019	21.0	174.0	33.3	131.3	11.1	2.3	2.8	2.3	2.3	380
	均值	35.0	324.8	40.9	179.8	15.4	3.6	4.1	2.9	2.7	609

3 讨论

3.1 有色金属冶炼导致湘江干支流重金属污染

春陵水为常宁与耒阳的天然界河,水体中重金属污染主要来源于上游入境来水,上游郴州市是全球有名的“有色金属之乡”,对下游衡阳段产生污染影响。耒水衡阳入境处上游的永兴县是著名的“冶炼之乡”,还有“中国银都”之称,耒阳的工业、生活等人为污染最终也进入耒水,耒水重金属污染受上游来水及境内污染共同影响。衡阳市也是中国有名的“有色金属之乡”,位于湘江衡阳段中上游的水口山镇是我国重要的有色金属冶炼基地之一,有“世界铅都”之称。分布在湘江流域沿岸的冶炼、化工及有色金属加工等“涉重”企业在采选和冶炼等过程中,排放的废水、废气、废渣中的重金属最终汇入湘江流域水系。各河流水电站及河坝较多、库区较多、水流缓慢,也导致重金属易沉降到沉积物中;岩石的化学风化和河流的搬运作用也是湘江流域重金属的来源之一,如支流春陵水、支流耒水会携带一定量的重金属进入湘江。

在生态环境保护方面,一般也认为春陵水、耒水、湘江干流是涉重金属河流,为湖南省重金属污染重点防控区域河流,3条河流水体均受到一定浓度的重金属影响;而蒸水和洙水为非涉重金属河流,水体

中重金属浓度相对较低。各河流沉积物重金属污染水平与相应水体中重金属浓度呈现相似性。

3.2 3条涉重河流沉积物重金属污染相对较高

湘江流域衡阳段各河流沉积物重金属污染与其他流域或水系对比见表7。其他研究测定 Mn、V 的较少,Cr 含量与其他研究差别不大。湘江衡阳段及4条主要支流衡阳段沉积物中 Cd、As、Pb、Zn、Cu、Hg 含量普遍高于北方的辽河流域(王萱和凌爽,2013)和黄河水系(袁浩等,2008),尤其 Cd、As 含量明显偏高。非涉重的蒸水衡阳段和洙水衡阳段沉积物重金属污染水平与长江水系(王岚等,2012)及洞庭湖(莲花等,2019)比较接近。涉重的3条河流沉积物重金属污染程度高于长江水系及洞庭湖,Cd、As、Pb、Zn、Cu 含量是长江水系及洞庭湖含量的2~4倍,春陵水衡阳段沉积物中 As 是长江水系含量的42.6倍。

耒水衡阳段沉积物重金属污染水平与其他研究(盛维康等,2019)基本一致,Pb、Cd、Cr 含量低一点,As、Hg、Cu、Zn 含量高一点。湘江衡阳段沉积物重金属污染水平与时间较接近的其他研究(盛维康等,2019)基本一致,较早年的其他研究(唐文清等,2009;秦延文等,2012)有所下降。湘江衡阳段沉积物大多数重金属(Pb 除外)污染程度比其下游的湘江株洲段(钟宇等,2018)要轻。

表7 湘江流域衡阳段各河流沉积物重金属污染与其他流域水系对比

Tab.7 Comparison of heavy metal pollution of sediments in the Hengyang section of Xiangjiang River basin with other water bodies

流域水系	重金属含量/mg·kg ⁻¹									参考文献
	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Zn	Mn	V	Cr	
辽河流域	39.9	0.16	5.6	0.140	16.6	139.7	-	-	48.9	王萱和凌爽,2013
黄河水系	21.4	0.31	12.9	0.200	21.8	75.7	-	-	51.3	袁浩等,2008
长江水系	60.0	2.46	25.4	0.160	82.0	174.0	-	-	89.5	王岚等,2012
洞庭湖	48.1	3.43	23.2	0.210	37.7	-	-	-	86.0	莲花等,2019
湘江干流	98.0	7.50	52.2	0.242	36.0	187.0	-	-	133.0	盛维康等,2019
耒水	168.0	9.30	80.6	0.160	44.0	322.0	-	-	88.0	盛维康等,2019
湘江衡阳段	-	6.44	126.5	-	152.9	618.9	-	-	71.7	唐文清等,2009
湘江衡阳段	212.6	-	89.7	-	79.5	472.2	-	-	74.1	秦延文等,2012
湘江株洲段	92.7	10.50	105.0	0.450	62.6	517.2	1606.4	-	100.5	钟宇等,2018
蒸水衡阳段	76.2	2.95	33.5	0.299	47.5	215.9	1050.7	84.7	61.9	本文
洙水衡阳段	47.7	4.77	31.5	0.115	35.8	155.9	1032.0	66.2	58.9	本文
春陵水衡阳段	158.3	7.28	1082.2	0.237	298.6	639.6	3046.3	62.9	66.6	本文
耒水衡阳段	138.8	6.62	111.7	0.219	60.9	347.1	1541.2	74.0	56.3	本文
湘江衡阳段	157.7	5.41	86.7	0.193	51.4	264.1	1522.1	67.1	47.8	本文

3.3 湘江流域污染防治成效需持续巩固

2011年3月,国务院正式批准《湘江流域重金属污染治理实施方案》,涉及湘江流域长沙、株洲、湘潭、衡阳、郴州、娄底、岳阳、永州8个市,明确了株洲清水塘、湘潭竹埠港、衡阳水口山、长沙七宝山、郴州三十六湾、娄底锡矿山、岳阳原桃林铅锌矿七大重点区域,提出了民生应急保障、工业污染源控制、历史遗留污染治理三大重点任务,规划项目927个,总投资595亿元,规划期限2011—2015年。截至2014年底,衡阳市共完成重金属污染源治理项目47个、湘江保护类项目158个,“关停并转”涉重金属污染企业111家,重金属污染物排放总量大幅度降低。截至2018年底,衡阳市“十二五”期间下达的113个重金属项目,已完工104个,其中已完成验收99个,在建项目9个。重金属污染治理取得阶段性成果,重金属污染物排放总量大幅度降低,舂陵水、耒水、湘江干流3条沉积物重金属污染相对较重的河流中,大多数重金属污染指标在2017—2019年低于2015—2016年。

2013年,湖南省政府决定将湘江污染防治作为“一号重点工程”,连续实施3个“三年行动计划”(2013—2021年)。第一个“三年行动计划”(2013—2015年)以“堵源头”为主要任务;第二个“三年行动计划”(2016—2018)以“治调并举”为主要任务;2019年第三个“三年行动计划”启动。在湘江治理第3个“三年”,湖南计划从持续改善流域水环境质量、持续巩固重金属污染治理成效、持续推进五大重点区域综合整治、深入推进工业污染防治等方面发力,持续推进湘江保护和治理工作。湘江流域衡阳段3条涉重河流沉积物重金属污染有所减轻,表明2013年来启动的“一号重点工程”收到成效,但部分河流部分重金属仍然呈现出强至极强污染或强至很强生态危害程度,重金属污染主要来源于工业污染源,湘江流域污染防治成效仍需持续巩固。

参考文献

贺晶,2011.湘江中上游沉积物中重金属污染及潜在生态危害变化趋势研究[J].安全与环境工程,18(1):33-37.

江文渊,曾珍香,2019.于桥水库表层沉积物重金属分布特征及其与底栖动物的关系[J].水生态学杂志,40(5):32-39.

李健,郑春江,1989.环境背景值数据手册[M].北京:中国环境科学出版社.

莲花,郭晶,黄代中,等,2019.洞庭湖表层沉积物中重金属变化趋势及风险评估[J].环境科学研究,32(1):126-134.

刘解答,郭亮,柯志新,2017.珠江口表层沉积物中重金属污染

及生态风险评价[J].水生态学杂志,38(1):46-53.

马舒欣,乔永民,唐梦瑶,等,2019.广州市主要湖泊沉积物重金属污染与生态风险评价[J].生态与农村环境学报,35(5):600-607.

秦延文,韩超南,张雷,等,2012.湘江衡阳段重金属在水体、悬浮颗粒物及表层沉积物中的分布特征研究[J].环境科学学报,32(11):2836-2844.

邱国良,陈泓霖,2016.湘江衡阳段河流沉积物中重金属污染特征及评价[J].环境与可持续发展,41(3):207-210.

盛维康,侯青叶,杨忠芳,等,2019.湘江水系沉积物重金属元素分布特征及风险评价[J].中国环境科学,39(5):2230-2240.

唐文清,曾荣英,冯泳兰,等,2009.湘江衡阳段沉积物重金属污染特征与生态风险评价[J].环境与健康杂志,26(5):437-438.

唐文清,曾荣英,冯泳兰,等,2015.湘江(衡阳段)底泥重金属污染特征及生态风险动态评价[J].衡阳师范学院学报,36(3):56-61.

王晨,曾祥英,于志强,等,2011.湘江衡阳段沉积物中重金属污染特征及其初步生态风险评估[J].地球环境学报,2(2):344-349.

王岚,王亚平,许春雪,等,2012.长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价[J].环境科学,33(8):2599-2606.

王萱,凌爽,2013.辽河流域河流底泥重金属污染现状调查与评价[J].安徽农业科学,41(30):12150-12172.

温泉,赵艳民,曹伟,等,2020.潮白河中游沉积物中重金属分布、来源及生态风险评估[J].环境科学研究,33(3):599-607.

伍娟丽,王永刚,王旭,等,2020.通州区河流沉积物重金属污染评价[J].水生态学杂志,41(1):71-78.

徐争启,倪师军,虞先国,等,2008.潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数的计算[J].环境科学与技术,31(2):112-115.

袁浩,王雨春,顾尚义,等,2008.黄河水系沉积物重金属赋存形态及污染特征[J].生态学杂志,27(11):1966-1971.

张杰,郭西亚,曾野,等,2019.太湖流域河流沉积物重金属分布及污染评估[J].环境科学,40(5):2202-2210.

钟宇,付广义,向仁军,等,2018.湘江沉积物重金属生态风险及释放通量研究[J].中国环境科学学报,38(10):3933-3940.

Forstner U, 1989. Lecture notes in earth sciences (contaminated sediments)[M]. Berlin:Springer Verlag:107-109.

Hakanson L, 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sediment ecological approach[J]. Water Research,14(8):975-1001.

Muller G, 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geo Journal,2(3):108-118.

(责任编辑 万月华)

Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Hengyang Section of the Xiangjiang River Basin

QIU Guo-liang, CHEN Hong-lin

(Hunan Hengyang Ecological Environment Monitoring Center, Hengyang 421001, P.R.China)

Abstract: Xiangjiang River is among the rivers most heavily polluted with heavy metals in China. In this study, we characterized heavy metal pollution and the ecological risk of sediments from the Hengyang section of the Xiangjiang River basin, including the mainstem and four important tributaries (Chongling River, Leishui River, Zhengshui River and Mishui River). The aim was to evaluate the effectiveness of treating heavy metal pollution in the study area and provide data to support continuing pollution control and treatment. The study was based on the monitoring results of nine heavy metal elements (Cd, As, Hg, Pb, Cu, Zn, Mn, V, Cr) in the sediments of 11 sampling transects in the study area from 2015 to 2019. Pollutant characteristics and ecological risk of the nine heavy metals were analyzed using the geoaccumulation index method and potential ecological risk index. Results show that Cd pollution was common and heavy in the mainstem and all four tributaries. As, Hg, Pb, Cu, Zn, Mn pollution has occurred at some sites to varying extents, and V and Cr pollution was absent or light to moderate. The potential ecological risk index shows that As, Cu in Chongling River and Cd, Hg in all the rivers presented high to extremely high ecological risk. The total potential ecological hazard index of the nine heavy metals in the study area was in the order, Chongling River (1 316) > Leishui River (718) > Xiangjiang River mainstream (609) > Zhengshui River (515) > Mishui River (441). The ecological hazard of Chongling River, Leishui River and the main stem of Hengyang section was very high, and high in the Zhengshui and Mishui Rivers. To summarize, the geoaccumulation index and potential ecological hazard index both indicate that heavy metal pollution was most serious in Chongling River, followed by Leishui River and the Xiangjiang mainstream, and pollution in Zhengshui River and Mishui River was relatively light. Furthermore, heavy metal pollution in Chongling River, Leishui River, Mishui River and the mainstream of Xiangjiang River was lower in 2017–2019 than in 2015–2016.

Key words: Hengyang section of Xiangjiang River basin; sediment; heavy metal; geoaccumulation index; potential ecological risk index