

三峡库区干流沉积物重金属质量分数及污染评价

张伟杰, 徐建新*

(华北水利水电大学, 郑州 450045)

摘要:【目的】全面了解三峡库区干流沉积物重金属质量分数及污染情况,更好地为库区重金属污染的预防与治理提供依据。【方法】于2015年6月在三峡库区干流采集表层沉积物,总数为37个,使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定了重金属元素的质量分数,采用地积累指数法和潜在生态风险评价方法评价了重金属的污染情况。【结果】三峡库区干流沉积物中重金属元素Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb、Hg的平均质量分数分别为106.14、42.44、60.54、151.21、12.15、0.92、54.39、0.12 mg/kg,相对于长江沉积物背景值,各元素质量分数的平均值均偏高。Ni、Cu、Pb、As元素质量分数整体呈沿程增加趋势;Zn、Cd、Hg元素质量分数源头较高,沿程呈先减小后增加趋势;Cr元素质量分数整体呈不明显增加趋势,在某些特殊位置有极值出现。Cd元素在库区干流上、下游段已达到中等污染水平;Pb元素整体处于轻度污染水平;Cu和Zn元素容易通过积累在下游产生轻度污染;Cr、As、Ni元素只有极个别断面产生污染。【结论】总体而言,Cd元素污染应该引起重视。

关键词:三峡库区; 重金属; 污染评价

中图分类号:X524

文献标志码:A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.0252

张伟杰,徐建新. 三峡库区干流沉积物重金属质量分数及污染评价[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(5): 99-105.

0 引言

在水环境污染方面所提到的重金属主要是指铬(Cr)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)等毒性较为明显的元素。由于重金属不能被生物降解,但却能通过食物链在生物作用下不断富集,最后进入人体造成慢性中毒。自然界的土壤、水、空气等都可以作为重金属的载体,其中水体沉积物不但是污染受体同时也是污染源,是水环境中重金属的蓄积库,能较好地反应水体受到金属污染的状况。三峡库区是指长江流域内因三峡水电站的修建从而被淹没的区域(位于北纬29°—31°50′、东经106°20′—110°30′),三峡库区自建成以来,其环境效应备受关注,特别是重金属污染,前人重点分析了七大水系主要干流沉积物中重金属的污染特征及来源^[1]、三峡库区主要支流表层沉积物中15种重金属元素质量分数分布特征^[2],研究了长江流域河流沉积物中铬、钴、镍、铜、锌、铅、镉、砷、汞9种重金属元素的质量分数分布、污染来源和生态危害程度^[3]。三峡库区的投入使用,对整个库区以及各干流水体环境的影响将会逐渐显现。为此,研究三峡库区干流重金属污染情况及污染评价具有重要现实意义。兹对三峡库区干流水体沉积物中重金属特征进行研究,特别是通过研究沉积物中重金属的质量分数水平、空间分布,然后进行环境污染评价,从而确定主要污染元素、污染区域、污染程度、发展趋势,以期较好地评价及保护三峡库区的水生态环境提供一定科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

将库区干流分为上游段(重庆江北区-丰都县)、中游段(丰都县-奉节县)、下游段(奉节县-宜昌市)3个区

收稿日期:2017-04-26

基金项目:甘肃省科技支撑计划项目(144NKCD238);水利部公益性行业科研专项项目(201301039);华北水利水电大学研究生教育创新课题计划项目(YK2016-12)

作者简介:张伟杰(1992-),男。硕士研究生,从事区域水资源高效利用与水环境方面的研究。E-mail: 906561772@qq.com

通信作者:徐建新(1954-),男。教授,博士生导师,博士,从事水资源高效利用方面的研究。E-mail: xujianxin@ncwu.edu.cn

域,上、中、下游分别布设9、13、15个断面,共37个断面。于2015年6月在各个断面共采集37个水体表层沉积物样品,采样点布设详见图1,采样点由上游至下游分别编号1-37。使用抓斗式底泥采样器提取底泥样品,取样深度为底泥0~15 cm,并用干净的聚乙烯样品袋包装,封口并标记,进行冷干处理后,研磨过60目尼龙筛,装入袋中保存备用^[4]。

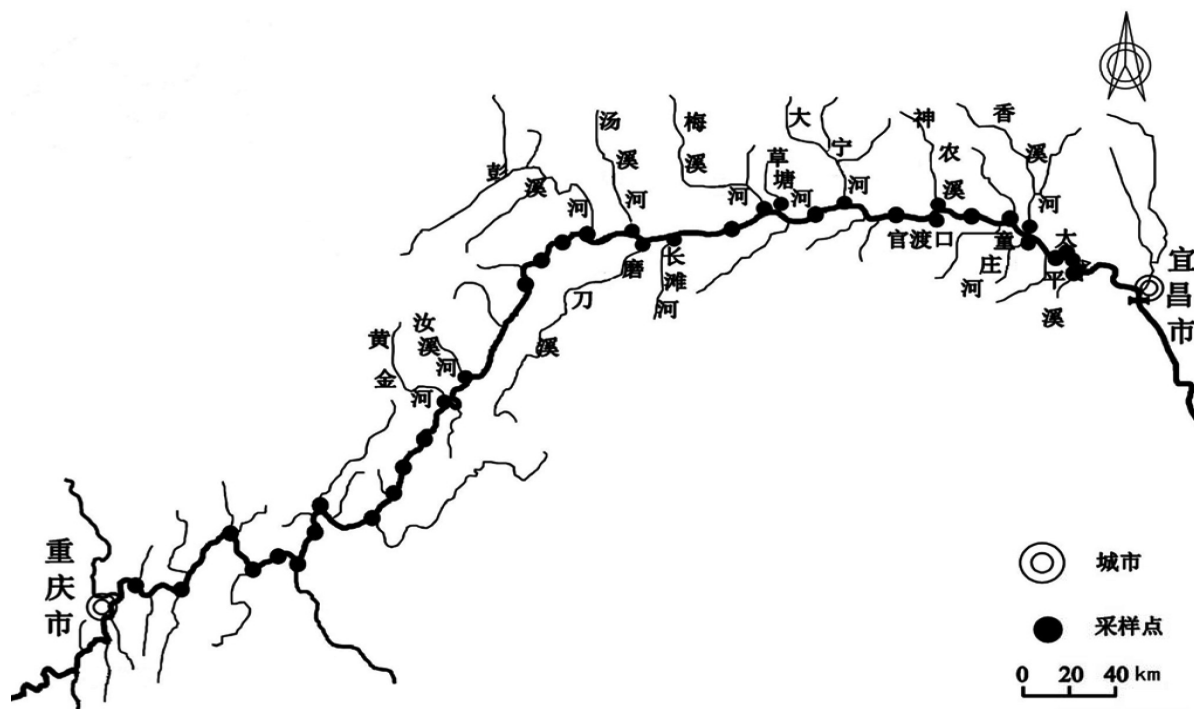


图1 三峡库区采样图

1.2 重金属质量分数测定方法

沉积物中的重金属采用混酸消解法密闭消解,消解彻底后使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb元素质量分数,使用测汞仪(DMA-80)对Hg元素质量分数进行测定^[5]。

具体试验流程为:准确称取样品0.15 g放入Teflon消解容器中,加入3 mL体积分数68%的浓硝酸(德国默克,优级纯)、1 mL体积分数40%的过氧化氢(北京化学试剂研究所,高纯试剂)和1 mL体积分数40%的氢氟酸(德国默克,优级纯),加入过氧化氢时应缓慢地逐滴加入,防止与沉积物发生剧烈反应,造成样品损失。常温静置8 h后封口放入烘箱中180 ℃高温消解24 h,冷却后加入4 mL饱和硼酸溶液(德国默克,优级纯),再封口180 ℃消解12 h,以去除过量的氢氟酸,将消解好的溶液定容到25 mL,转移入聚乙烯小瓶中,冷藏保存。使用ICP-MS测定重金属的质量分数。

注意事项:每批样品采用相同的试验程序并使用空白样品、国家土壤成分分析标准物质GBW07423(GSS-9)与水系沉积物成分分析标准物质GBW07311(GSD-11)进行质量控制,标样测定结果均在标准值的合格范围之内(90%~110%)。

1.3 重金属污染评价方法

1.3.1 地积累指数法

采用地积累指数法进行污染评价,该方法由德国学者Muller于1969年提出。地积累指数法简单易行,只需提供重金属的实测质量分数;同时还能够直接反映出重金属在沉积物中的富集程度,计算式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1.5B_i} \right), \quad (1)$$

式中: I_{geo} 为地积累指数; C_i 为沉积物中某重金属元素的实测质量分数; B_i 为参比值,是沉积岩中该元素的地球化学背景值,考虑成岩作用可能会引起背景值变动,所以选用1.5作为系数^[6]。

地积累指数用0~6级7个等级来表示污染程度, I_{geo} 与污染程度分级关系见表1。

表1 地积累指数与污染程度分级

I_{geo}	≤ 0	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	> 5
级数	0	1	2	3	4	5	6
污染程度	无	无~中度	中度	中~强度	强度	强~极强	极强

1.3.2 潜在生态风险评价方法

采用潜在生态风险评价方法进行污染评价,该方法由瑞典学者 Hakanson 于 1980 年提出。潜在生态风险评价方法充分考虑了研究区域对重金属毒性和污染的敏感性水平和背景值差异,计算式为:

$$E_i = T_i(C_s^i/C_n^i), \quad (2)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_i, \quad (3)$$

式中: RI 为某一点沉积物多种重金属综合潜在生态危害指数; E_i 为某一重金属潜在生态危害指数; C_s^i 为沉积物中某一重金属元素的实测质量分数; C_n^i 为参比值,选用长江流域内工业化以前沉积物的重金属元素的背景值,以便更好反映三峡库区沉积物重金属污染情况; T_i 为毒性系数^[7],反映重金属的毒性强度及水体对污染的敏感程度。 E_i 与生态危害程度分级关系见表2。

表2 潜在生态危害指数及生态危害程度分级

E_i	<40	40~80	80~160	160~320	≥ 320
RI	<150	150~300	150~300	≥ 600	-
生态危害程度	轻微	中等	强	很强	极强

2 结果与分析

2.1 库区沉积物中重金属质量分数水平

使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)对三峡库区干流 37 个断面的重金属质量分数进行测定分析,结果见表3。

从表3可看出,库区干流上游段沉积物中重金属元素 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb、Hg 的平均质量分数分别为 89.38、33.30、51.75、142.09、9.18、1.09、48.04、0.13 mg/kg;中游段沉积物中重金属元素 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb、Hg 的平均质量分数分别为 113.56、39.12、56.19、134.77、10.84、0.76、49.13、0.11 mg/kg;下游段沉积物中重金属元素 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb、Hg 的平均质量分数分别为 109.77、50.80、69.58、107.94、15.06、0.95、62.77、0.13 mg/kg;总干流沉积物中重金属元素 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb、Hg 的平均质量分数分别为 106.14、42.44、60.54、151.21、12.15、0.92、54.39、0.12 mg/kg;各重金属元素质量分数均值比长江沉积物中重金属的背景值偏高。

Cr 元素质量分数的平均值、最大值、最小值分别为 106.14、297.44、70.32 mg/kg。质量分数沿程呈缓慢增长趋势,在某些特殊位置有极值出现,上、中、下游段共 4 处(上游 1 处、中游 2 处、下游 1 处)断面测定值达到长江沉积物背景值 1.6~3.6 倍。

Ni 元素质量分数的平均值、最大值、最小值分别为 42.44、55.89、27.88 mg/kg。质量分数沿程呈递增趋势,中、下游段共 13 处(中游 1 处、下游 12 处)断面测定值达到长江沉积物背景值 1.5~1.7 倍。

Cu 元素质量分数的平均值、最大值、最小值分别为 60.54、96.34、35.26 mg/kg。质量分数沿程呈递增趋势,上、中、下游段共 26 处(上游 5 处、中游 7 处、下游 14 处)断面测定值达到长江沉积物背景值 1.5~2.8 倍。

Zn 元素质量分数的平均值、最大值、最小值分别为 151.21、204.83、151.21 mg/kg。质量分数沿程呈先减小后增大的趋势,上、中、下游段共 34 处(上游 8 处、中游 11 处、下游 15 处)断面测定值达到长江沉积物背景值 1.5~2.8 倍。

As 元素质量分数的平均值、最大值、最小值分别为 12.15、16.79、6.91 mg/kg。质量分数沿程呈递增趋势,中、下游段共 13 处(中游 1 处、下游 12 处)断面测定值达到长江沉积物背景值 1.5~1.8 倍。

Cd 元素质量分数的平均值、最大值、最小值分别为 0.92、2.10、0.56 mg/kg。质量分数沿程呈大幅度减小后缓慢增加趋势,上、中、下游段共 37 处(上游 9 处、中游 13 处、下游 15 处)断面测定值达到长江沉积物背景值 1.5~5.2 倍。

Pb 元素质量分数的平均值、最大值、最小值分别为 54.39、83.06、35.49 mg/kg。质量分数沿程呈递增趋势,上、中、下游段共 36 处(上游 9 处、中游 12 处、下游 15 处)断面测定值达到长江沉积物背景值 1.5~3.8 倍。

Hg 元素质量分数的平均值、最大值、最小值分别为 0.119、0.169、0.057 mg/kg。质量分数沿程呈先减小后增大的趋势,上、中、下游段共 19 处(上游 6 处、中游 4 处、下游 9 处)断面测定值达到长江沉积物背景值 1.5~2.1 倍。

表 3 三峡库区干流沉积物中重金属元素质量分数

		表3 三峡库区干流沉积物中重金属元素质量分数							mg/kg	
采样点		Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg	
上游段	1	131.07	36.89	61.54	204.83	11.99	2.10	58.31	0.17	
	2	79.50	32.64	52.66	131.81	9.39	1.20	51.73	0.08	
	3	96.40	36.51	62.84	168.87	10.72	1.55	54.57	0.14	
	4	89.43	36.86	63.28	167.81	10.59	1.23	50.64	0.15	
	5	79.35	32.45	52.68	124.38	7.91	0.76	47.10	0.13	
	6	70.32	27.88	38.89	110.35	7.33	0.70	40.90	0.12	
	7	97.26	32.04	45.89	122.72	8.89	0.75	42.17	0.13	
	8	83.11	33.12	43.55	124.37	8.10	0.78	42.06	0.12	
	9	78.00	31.35	44.46	123.61	7.72	0.75	44.83	0.10	
	最大值	131.07	36.89	63.28	204.83	11.99	2.10	58.31	0.17	
	最小值	70.32	27.88	38.89	110.35	7.33	0.70	40.90	0.08	
	均值	89.38	33.30	51.75	142.09	9.18	1.09	48.04	0.13	
中游段	10	93.54	37.37	54.63	124.44	9.60	0.65	44.39	0.10	
	11	84.09	34.42	44.74	113.14	8.46	0.65	42.78	0.10	
	12	171.12	36.29	52.38	147.55	8.78	0.95	53.73	0.13	
	13	297.44	27.94	45.64	128.08	6.91	0.56	35.49	0.06	
	14	91.10	40.48	59.32	128.99	11.55	0.62	56.79	0.13	
	15	93.01	38.27	49.84	138.29	9.27	0.81	47.53	0.10	
	16	70.99	31.33	35.26	106.73	8.62	0.61	41.30	0.12	
	17	95.42	37.42	54.11	140.91	9.97	0.92	52.90	0.12	
	18	91.82	43.65	57.10	143.65	13.18	0.90	43.55	0.12	
	19	105.87	52.53	96.34	164.15	15.80	0.93	69.14	0.10	
	20	90.34	43.19	69.82	144.73	13.98	0.91	55.09	0.14	
	21	96.32	45.89	65.83	147.77	13.73	0.72	54.50	0.10	
	22	95.19	39.78	45.47	123.63	11.03	0.65	41.55	0.09	
	最大值	297.44	52.53	96.34	164.15	15.80	0.95	69.14	0.14	
	最小值	70.99	27.94	35.26	106.73	6.91	0.56	35.49	0.06	
	均值	113.56	39.12	56.19	134.77	10.84	0.76	49.13	0.11	
下游段	23	105.34	41.71	54.11	172.61	12.06	0.84	76.64	0.09	
	24	96.51	43.20	50.26	146.57	12.56	0.89	48.50	0.11	
	25	107.76	44.63	76.63	143.15	13.31	0.66	58.87	0.10	
	26	121.31	55.89	66.37	198.59	15.84	1.15	64.76	0.15	
	27	106.45	51.50	89.36	166.61	15.53	0.83	67.25	0.13	
	28	131.14	54.99	80.05	176.25	16.79	1.29	61.59	0.17	
	29	111.86	55.48	88.13	198.46	15.80	1.15	72.54	0.15	
	30	107.08	51.81	81.87	169.22	15.49	0.83	66.95	0.10	
	31	107.33	52.69	75.91	169.70	16.77	0.85	60.86	0.11	
	32	114.93	55.65	77.56	192.50	16.74	0.98	83.06	0.13	
	33	110.00	52.26	61.31	165.72	14.72	1.00	54.15	0.13	
	34	109.32	51.41	62.28	175.70	15.02	1.05	58.07	0.12	
	35	107.62	52.27	70.53	164.62	15.91	0.87	56.65	0.12	
	36	102.54	48.56	54.52	156.49	14.42	0.92	55.58	0.15	
	37	107.33	50.01	54.83	167.93	15.04	0.99	56.03	0.16	
	最大值	131.14	55.89	89.36	198.59	16.79	1.29	83.06	0.17	
	最小值	96.51	41.71	50.26	143.15	12.06	0.66	48.50	0.09	
	均值	109.77	50.80	69.58	170.94	15.06	0.95	62.77	0.13	
	总干流	最大值	297.44	55.89	96.34	204.83	16.79	2.10	83.06	0.17
		最小值	70.32	27.88	35.26	106.73	6.91	0.56	35.49	0.06
均值		106.14	42.44	60.54	151.21	12.15	0.92	54.39	0.12	
长江沉积物背景值 ^[8]		82.00	33.00	35.00	78.00	9.60	0.25	27.00	0.08	

2.2 地积累指数评价结果分析

三峡库区干流沉积物重金属地积累指数 I_{geo} 及污染级数如表4所示。从表4可看出,Ni、As、Hg元素地积累指数为0级,基本没有污染;Cr、Cu和Zn元素地积累指数为0~1级,属于轻度污染元素;Cd和Pb元素的地积累指数为1~2级,属于中度污染元素。总的来说,除个别采样点外,库区干流重金属污染程度由大到小排列为: Cd>Pb>Zn>Cu>Cr>As>Ni>Hg。

表4 三峡库区干流沉积物重金属地积累指数及污染分级

采样点	Cr		Ni		Cu		Zn		As		Cd		Pb		Hg	
	I_{geo}	级数	I_{geo}	级数	I_{geo}	级数	I_{geo}	级数	I_{geo}	级数	I_{geo}	级数	I_{geo}	级数	I_{geo}	级数
1	-0.04	0	-1.47	0	-0.13	0	0.52	1	-0.70	0	2.23	3	0.96	1	1.15	0
2	-0.76	0	-1.64	0	-0.36	0	-0.11	0	-1.05	0	1.41	2	0.79	1	2.26	0
3	-0.49	0	-1.48	0	-0.10	0	0.24	1	-0.86	0	1.79	2	0.86	1	1.40	0
4	-0.59	0	-1.47	0	-0.09	0	0.24	1	-0.88	0	1.45	2	0.76	1	1.35	0
5	-0.77	0	-1.65	0	-0.36	0	-0.20	0	-1.30	0	0.76	1	0.65	1	1.59	0
6	-0.94	0	-1.87	0	-0.80	0	-0.37	0	-1.41	0	0.64	1	0.45	1	1.61	0
7	-0.47	0	-1.67	0	-0.56	0	-0.22	0	-1.13	0	0.73	1	0.49	1	1.50	0
8	-0.70	0	-1.62	0	-0.63	0	-0.20	0	-1.27	0	0.80	1	0.49	1	1.66	0
9	-0.79	0	-1.70	0	-0.60	0	-0.21	0	-1.34	0	0.74	1	0.58	1	1.95	0
10	-0.53	0	-1.45	0	-0.31	0	-0.20	0	-1.02	0	0.53	1	0.57	1	1.94	0
11	-0.68	0	-1.57	0	-0.59	0	-0.33	0	-1.20	0	0.54	1	0.51	1	1.96	0
12	0.34	1	-1.49	0	-0.37	0	0.05	1	-1.15	0	1.08	2	0.84	1	1.54	0
13	1.14	2	-1.87	0	-0.56	0	-0.15	0	-1.50	0	0.31	1	0.24	1	2.72	0
14	-0.57	0	-1.33	0	-0.19	0	-0.14	0	-0.76	0	0.47	1	0.92	1	1.59	0
15	-0.54	0	-1.41	0	-0.44	0	-0.04	0	-1.07	0	0.84	1	0.66	1	1.92	0
16	-0.93	0	-1.70	0	-0.94	0	-0.42	0	-1.18	0	0.45	1	0.46	1	1.66	0
17	-0.50	0	-1.45	0	-0.32	0	-0.02	0	-0.97	0	1.03	2	0.82	1	1.63	0
18	-0.56	0	-1.22	0	-0.24	0	0.01	1	-0.57	0	1.00	2	0.54	1	1.66	0
19	-0.35	0	-0.96	0	0.51	1	0.20	1	-0.30	0	1.05	2	1.20	2	1.90	0
20	-0.58	0	-1.24	0	0.05	1	0.02	1	-0.48	0	1.01	2	0.88	1	1.46	0
21	-0.49	0	-1.15	0	-0.04	0	0.05	1	-0.51	0	0.69	1	0.86	1	1.96	0
22	-0.50	0	-1.36	0	-0.57	0	-0.20	0	-0.82	0	0.53	1	0.47	1	2.06	0
23	-0.36	0	-1.29	0	-0.32	0	0.28	1	-0.69	0	0.91	1	1.35	2	2.00	0
24	-0.48	0	-1.24	0	-0.43	0	0.04	1	-0.63	0	0.98	1	0.69	1	1.82	0
25	-0.33	0	-1.19	0	0.18	1	0.01	1	-0.55	0	0.56	1	0.97	1	1.90	0
26	-0.15	0	-0.87	0	-0.02	0	0.48	1	-0.30	0	1.35	2	1.11	2	1.35	0
27	-0.34	0	-0.99	0	0.40	1	0.23	1	-0.33	0	0.88	1	1.16	2	1.52	0
28	-0.04	0	-0.89	0	0.25	1	0.31	1	-0.22	0	1.52	2	1.04	2	1.18	0
29	-0.27	0	-0.88	0	0.38	1	0.48	1	-0.30	0	1.35	2	1.27	2	1.35	0
30	-0.33	0	-0.98	0	0.28	1	0.25	1	-0.33	0	0.88	1	1.16	2	1.92	0
31	-0.33	0	-0.95	0	0.17	1	0.25	1	-0.22	0	0.92	1	1.02	2	1.83	0
32	-0.23	0	-0.87	0	0.20	1	0.43	1	-0.22	0	1.13	2	1.47	2	1.51	0
33	-0.30	0	-0.96	0	-0.14	0	0.22	1	-0.41	0	1.15	2	0.85	1	1.58	0
34	-0.30	0	-0.99	0	-0.12	0	0.30	1	-0.38	0	1.23	2	0.95	1	1.63	0
35	-0.33	0	-0.96	0	0.06	1	0.21	1	-0.29	0	0.96	1	0.92	1	1.67	0
36	-0.40	0	-1.07	0	-0.31	0	0.14	1	-0.44	0	1.03	2	0.89	1	1.34	0
37	-0.33	0	-1.03	0	-0.30	0	0.24	1	-0.37	0	1.14	2	0.90	1	1.25	0

2.3 潜在生态风险评价结果分析

采用潜在生态风险评价方法对三峡库区干流沉积物中重金属元素的潜在生态风险因子(E_i)和潜在风险综合指数(RI)、风险等级进行计算分析和评价,结果如表5所示。

从表5可看出,总体来说,三峡库区干流处于轻微生态风险等级。但就单个元素而言,Cd元素的平均潜在危害生态风险因子(E_i)均大于40,生态危害风险为中等;其余6种元素生态危害风险为轻微。综合分析库区干流沉积物中重金属潜在生态危害风险呈现 Cd>Hg>Pb>Cu>As>Cr>Ni>Zn 的排列顺序。

表5 三峡库区干流沉积物重金属潜在生态风险评价

采样点	E_i								RI	等级
	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg		
1	4.37	2.71	10.26	2.56	7.99	126.24	11.66	26.97	192.8	中等
2	2.65	2.40	8.78	1.65	6.26	71.76	10.35	12.54	116.4	轻微
3	3.21	2.68	10.47	2.11	7.15	93.24	10.91	22.69	152.5	中等
4	2.98	2.71	10.55	2.10	7.06	73.92	10.13	23.56	133.0	轻微
5	2.64	2.39	8.78	1.55	5.27	45.60	9.42	19.98	95.64	轻微
6	2.34	2.05	6.48	1.38	4.89	42.12	8.18	19.72	87.16	轻微
7	3.24	2.36	7.65	1.53	5.92	44.76	8.43	21.24	95.14	轻微
8	2.77	2.44	7.26	1.55	5.40	46.92	8.41	18.93	93.68	轻微
9	2.60	2.31	7.41	1.55	5.15	45.12	8.97	15.51	88.61	轻微
10	3.12	2.75	9.11	1.56	6.40	39.00	8.88	15.63	86.43	轻微
11	2.80	2.53	7.46	1.41	5.64	39.24	8.56	15.47	83.11	轻微
12	5.70	2.67	8.73	1.84	5.86	57.06	10.75	20.61	113.21	轻微
13	9.91	2.05	7.61	1.60	4.61	33.48	7.10	9.10	75.46	轻微
14	3.04	2.98	9.89	1.61	7.70	37.44	11.36	19.93	93.94	轻微
15	3.10	2.81	8.31	1.73	6.18	48.36	9.51	15.85	95.84	轻微
16	2.37	2.30	5.88	1.33	5.75	36.84	8.26	18.97	81.70	轻微
17	3.18	2.75	9.02	1.76	6.65	55.14	10.58	19.32	108.40	轻微
18	3.06	3.21	9.52	1.80	8.78	53.88	8.71	18.96	107.92	轻微
19	3.53	3.86	16.06	2.05	10.53	55.92	13.83	16.07	121.9	轻微
20	3.01	3.18	11.64	1.81	9.32	54.54	11.02	21.88	116.39	轻微
21	3.21	3.37	10.97	1.85	9.15	43.44	10.90	15.44	98.34	轻微
22	3.17	2.93	7.58	1.55	7.35	39.12	8.31	14.38	84.38	轻微
23	3.51	3.07	9.02	2.16	8.04	50.64	15.33	15.02	106.79	轻微
24	3.22	3.18	8.38	1.83	8.37	53.22	9.70	16.94	104.83	轻微
25	3.59	3.28	12.77	1.79	8.87	39.72	11.77	16.09	97.89	轻微
26	4.04	4.11	11.06	2.48	10.56	68.76	12.95	23.59	137.6	轻微
27	3.55	3.79	14.89	2.08	10.35	49.80	13.45	20.88	118.80	轻微
28	4.37	4.04	13.34	2.20	11.19	77.40	12.32	26.41	151.3	中等
29	3.73	4.08	14.69	2.48	10.53	69.00	14.51	23.48	142.5	轻微
30	3.57	3.81	13.64	2.12	10.33	49.62	13.39	15.86	112.34	轻微
31	3.58	3.87	12.65	2.12	11.18	51.12	12.17	16.91	113.61	轻微
32	3.83	4.09	12.93	2.41	11.16	59.04	16.61	21.00	131.1	轻微
33	3.67	3.84	10.22	2.07	9.81	59.94	10.83	20.05	120.4	轻微
34	3.64	3.78	10.38	2.20	10.01	63.12	11.61	19.43	124.2	轻微
35	3.59	3.84	11.76	2.06	10.60	52.38	11.33	18.92	114.47	轻微
36	3.42	3.57	9.09	1.96	9.61	55.08	11.12	23.63	117.47	轻微
37	3.58	3.68	9.14	2.10	10.03	59.36	11.21	25.17	124.26	轻微

2.4 2种方法结果比较与分析

根据地积累指数评价法计算结果,三峡库区干流水体沉积物的重金属污染程度由强至弱排列顺序为: $Cd > Pb > Zn > Cu > Cr > As > Ni > Hg$ 。其中Cd、Pb元素是三峡库区的首要污染元素;Cu和Zn元素属于轻度污染物且易在三峡库区下游段积累后产生污染;Cr元素除极个别点超过健康标准,整体没有产生污染;As、Ni、Hg元素不存在污染情况。采用潜在生态危害风险法评价库区干支流生态危害程度顺序为 $Cd > Hg > Pb > Cu > As > Cr > Ni > Zn$ 。除Cd元素有中度潜在生态危害风险外,其他重金属元素均处于轻度或无生态危害风险,整体呈现轻微潜在生态危害风险。

综上所述,2种评价方法对污染源元素Cd及非污染源元素Cr、As、Ni的判定是统一的,差别在于Hg、Pb、Cu、Zn元素污染程度及强度顺序。发生差别的主要原因在于重金属的背景值不同及重金属毒性系数的差异。

3 结论

1)三峡库区干流沉积物中重金属元素 Cr、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb、Hg 的平均质量分数分别为 106.14、42.44、60.54、151.21、12.15、0.92、54.39、0.12 mg/kg,沉积物中各重金属元素质量分数均值普遍高于长江沉积物中重金属的背景值,大小顺序为:Zn>Cr>Cu>Pb>Ni>As>Cd>Hg。

2)三峡库区干流沉积物中重金属元素质量分数沿程分布主要分 3 种情况:①Ni、Cu、As、Pb 元素整体呈沿程增加趋势。②Zn、Cd、Hg 元素源头质量分数较高,沿程呈先减小后增加趋势。③Cr 元素整体呈不明显增加趋势,在某些特殊位置有极值出现。

3)三峡库区干流沉积物中: Cd 元素在库区干流上游段、下游段已达到中等污染程度; Pb 元素整体处于轻度污染水平; Cu 和 Zn 元素容易通过积累在下游产生轻度污染。Cr、As、Ni 元素只有极个别断面产生污染,整体对生态环境危害较弱。

参考文献:

- [1] 朱青青, 王中良. 中国主要水系沉积物中重金属分布特征及来源分析[J]. 地球与环境, 2012, 30(3):305-313.
- [2] 王岚, 王亚平, 许春雪, 等. 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, 2012, 33(8): 2 599-2 606.
- [3] 贾旭威, 王晨, 曾祥英, 等. 三峡沉积物中重金属污染累积及潜在生态风险评估[J]. 地球化学, 2014, 43(2):174-179.
- [4] 郭威, 殷淑华, 徐建新, 等. 三峡库区(重庆—宜昌段)沉积物中钒的污染特征及生态风险评价[J]. 环境科学, 2016, 37(9):3 333-3 339.
- [5] 梁淑轩, 王欣, 吴虹, 等. 微波消解/ICP-MS 测定水系沉积物中的 9 种重金属元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(3):809-812.
- [6] 叶雅杰, 罗金明, 王永洁, 等. 扎龙湿地底泥沉积物重金属污染评价[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(4):139-141, 143.
- [7] 徐争启, 倪师军, 庾先国. 潜在生态危害指数法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.
- [8] 张立城, 余中盛, 章申. 水环境化学元素研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [9] 朱圣清, 臧小平. 长江主要城市江段重金属污染状况及特征[J]. 人民长江, 2001, 32(7):23-25,50.
- [10] 周怀东, 袁浩, 王雨春, 等. 长江水系沉积物中重金属的赋存形态[J]. 环境化学, 2008, 27(4):515-519.
- [11] 王健康, 高博, 周怀东, 等. 三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评估[J]. 环境科学, 2012, 33(5):1 693-1 699.

Assessing Contents and Pollution of Heavy Metals within the Sediment Deposits in the Main Streams of the Three Gorges Reservoir

ZHANG Weijie, XU Jianxin*

(North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: 【Objective】 Heavy metals in sediment deposits is a concern in study of ecology and environment of river and reservoir, and the purpose of this paper is to present the results of an experimental study on the mass fraction and potential contamination of heavy metals in the sediments in the main streams of the Three Gorges Reservoir. 【Method】 Samples in surface sediment deposits were taken from 37 locations in the region of the Three Gorges Reservoir in June 2015. Inductively coupled plasma source mass spectrometer (ICP-MS) was used to analyse the mass fraction of the heavy metals in the samples. Their contamination potential was evaluated using the geo-accumulation index and the potential ecological risk assessment method. 【Result】 The average mass fraction of Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd and Pb in the sediments of the main streams was 106.14 mg/kg, 42.44 mg/kg, 60.54 mg/kg, 151.21 mg/kg, 12.15 mg/kg, 0.92 mg/kg, 54.39 mg/kg, 0.12 mg/kg, respectively, higher than the background values in the sediments of the Yangtze River. The mass fraction of Ni, Cu, Pb and As showed an increasing trend from the upstream to the downstream; the content of Zn, Cd and Hg was higher at their sources and then decreased before increasing again along the stream. The distribution of Cr was relatively uniform except at several specific locations. There was a moderate Cd pollution in the upstream and midstream, while the pollution caused by Pb was minor. The accumulation of Cu and Zn could lead to a pollution to the downstream, and Cr, As and Ni resulted in pollution only at some specific locations. 【Conclusion】 Overall, Cd pollution is a concern and should be paid an attention.

Key words: Three Gorges Reservoir; heavy metals; pollution assessment

责任编辑:刘春成