

宝鸡市王家崖水库沉积物重金属含量及潜在生态风险评价

杨林娜, 卢新卫, 王利军, 任春辉, 陈景辉

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 利用 X-Ray 荧光光谱仪对宝鸡市王家崖水库表层沉积物中的 As, Co, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, V 和 Zn 共 9 种重金属元素含量进行了测定, 分析了这几种元素含量的分布特征, 并采用潜在生态风险指数法对重金属生态危害程度进行了评价。测定结果表明, 9 种重金属的含量平均值均高于陕西省土壤背景值, 是陕西省土壤背景值的 1.5~1.9 倍, 其中 Cu 的累积程度最高, Zn 的累积程度最低; 各重金属元素具有相似的水平分布特征, 高值区位于水库中游, 低值区位于水库上游。潜在生态风险评价表明, 研究区重金属元素综合生态风险程度属于中度, 采样点位 5(中游)综合生态风险最高, 采样点位 8(上游)综合生态风险最低; 各元素生态危害程度大小顺序为: As>Cu>Ni>Co>Pb>V>Mn>Cr>Zn, 其中 As 具有中度生态危害, 其余各元素均为轻度生态危害。

关键词: 重金属; 生态风险; 沉积物; 水库

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)06-0190-04

中图分类号: S155, X53

Content Distribution and Potential Ecological Risk Evaluation of Heavy Metal in Sediment of Wangjiaya Reservoir in Baoji City

YANG Lin-na, LU Xin-wei, WANG Li-jun, REN Chun-hui, CHEN Jing-hui

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: The heavy metal content in the sediment of Wangjiaya Reservoir in Baoji City were determined by using X-ray fluorescence spectrometry and their ecological risk were assessed by using the potential ecological risk index. The results indicate that the average contents of As, Co, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, V and Zn in the sediment were higher than the soil background values of Shaanxi Province. The accumulation coefficient of Cu was the highest among the studied heavy metals, while Zn was the lowest. The heavy metal element distribution in the sediment had the similar horizontal character, which was high content in the reservoir centre, low values in the reservoir up-reach. The results of potential ecological risk assessment showed that the ecological risk degree of the heavy metal pollutants was moderate, and the highest comprehensive ecological risk was in section 5(in the middle reach) and lowest was in section 8(in the upper reach). The order of individual potential ecological risk was As>Cu>Ni>Co>Pb>V>Mn>Cr>Zn. As had the moderate ecological harm and other heavy metals have lower ecological risk.

Keywords: heavy metal; ecological risk; sediment; reservoir

水体沉积物既是重金属污染物的汇集地, 又是对水质有潜在影响的次生污染源^[1-2], 通过各种渠道进入水体的重金属绝大部分迅速地由水相转入固相, 并较快地转移至沉积物和悬浮物中, 结合了重金属的悬浮物在被水流搬运过程中, 当其负荷量超过搬运能力时, 便进入沉积物中^[3-5]。当外界环境条件如 pH 值, 氧化还原电位(Eh), 生物作用和水动力作用发生变

化时, 被沉积物吸附的重金属元素又可通过一系列物理、化学和生物过程重新释放而进入上覆水体中, 造成水环境的“二次污染”^[6-9]。因此, 监测分析沉积物中重金属的分布含量情况可以反映水体的重金属污染状况。目前, 国内外对于沉积物的研究有很多, 但还未见关于宝鸡王家崖水库沉积物中重金属污染的研究报道。为此, 本研究以宝鸡王家崖水库为对象,

收稿日期: 2011-03-14

修回日期: 2011-04-01

资助项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目“渭河陕西段及流域土壤重金属地球化学研究”(NCET-05-0861); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(GK200901008)

作者简介: 杨林娜(1984—), 女(汉族), 陕西省澄城县人, 硕士研究生, 研究方向为环境污染与修复。E-mail: butterfly04042006@163.com。

通信作者: 卢新卫(1968—), 男(汉族), 陕西省蓝田县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事环境污染与修复、环境评价与治理方面的研究。

E-mail: luxinwei@snnu.edu.cn。

测定沉积物中 As、Co 和 Cr 等 9 种重金属元素的含量情况,并采用潜在生态风险指数法对重金属元素的生态风险进行了评价,以期为合理开发利用水库资源、制定污染防治措施及水库综合治理规划提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

王家崖水库位于宝鸡市凤翔县长青镇,是宝鸡峡引渭灌区的一座渠库结合工程,水库修建在渭河的一个多泥沙支流——千河上,是一个典型的湖泊型水库,于 1970 年 12 月竣工,1971 年正式投入运用,设计总库容 $9.42\times10^7\text{ m}^3$ (高程 602.26 m),有效库容 $8.220\times10^7\text{ m}^3$ (高程 601.00 m),死库容 $1.80\times10^6\text{ m}^3$ (高程 583.00 m),水库除抽水补充宝鸡峡灌区用水不足外,还可向原下灌区自流供水。随着上游长青镇工业园区的建成及运行,对水库环境也带来一定影响。

1.2 样品采集与预处理

在王家崖水库上、中、下游布设沉积物采样点 9 处(图 1),采用抓斗式采样器采集表层沉积物封存于双层聚乙烯袋内,采样过程中避免人为干扰或污染。所采样品现场密封后带回实验室冰箱于 0~4℃装盘冷冻,冷冻样品经冷冻干燥机(FD-1A-50 型,北京博医康生产)24 h 冻干后,破碎过 2 mm(10 目)的尼龙筛,剔除石块等杂物,然后取约 50 g 样品使用磨样仪细磨过 0.075 mm(200 目)的尼龙筛,处理好的样品密封于聚乙烯样品袋中待测。

1.3 样品分析

称取过筛(0.075 mm)后的待测样品 4 g,放入模具内,拨平,用硼酸衬底镶边于 30 t 压力下,经压样机(YYJ-260 型,长春光机所生产)压成圆形片状待测样品,使用 X-ray 荧光光谱仪(PW2403 型,荷兰帕纳科生产)测定样品中各重金属元素的质量分数。

实验过程采用国家标准参比物质 GSS-1 和 GSD-12 标准物质同时进行质量控制。测量结果表明,GSS-1 和 GSD-12 标准样品中重金属元素实测值与参考值的相对标准偏差 RSD 均小于 10%,测试数据采用 Excel 软件进行处理分析。

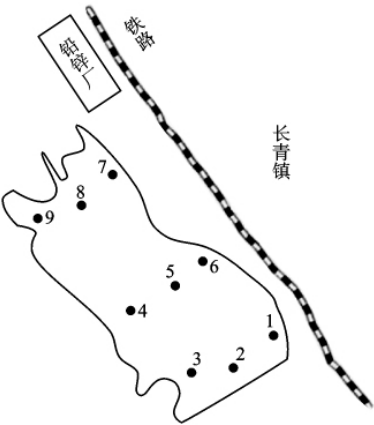


图 1 王家崖库区采样点示意图

2 结果与分析

2.1 沉积物重金属含量与分布

研究区沉积物重金属含量及水平分布如表 1 和图 2 所示。由表 1 可知,9 种重金属含量平均值均高于陕西土壤背景值,是陕西土壤背景值的 1.5~1.9 倍,说明上述元素在沉积物中发生明显积累。与陕西省土壤背景值相比,王家崖水库沉积物中所测重金属的平均累积强度由大到小依次为:Cu>Ni>V>Co>Pb>Mn>Cr>As>Zn。所监测的重金属元素中,除 As 的最小值低于背景值外,其余各元素的最小值均高于背景值,说明除 As 之外的元素人为积累量大,富集程度高。As、Cu、Ni 的变异系数(分别为 0.183、0.118 和 0.112)相对其它元素较大,反映了这些重金属元素在不同采样点上的富集程度有较大差异。

表 1 王家崖库区沉积物重金属元素含量

元 素	最小值	最大值	平均值	陕西省背景值 ^[10]	标准差	变异系数	累积强度
As	9.7	18.3	15.2	11.1	2.8	0.183	1.37
Co	15.3	20.6	18.2	10.6	1.5	0.081	1.72
Cu	31.0	46.9	41.5	21.4	4.9	0.118	1.94
Cr	86.4	97.3	93.0	62.5	4.2	0.045	1.49
Ni	38.3	55.5	50.3	28.8	5.6	0.112	1.74
Mn	707.7	984.6	892.0	557.0	90.0	0.101	1.60
Pb	30.7	37.7	35.2	21.4	2.3	0.066	1.64
V	97.2	126.1	115.4	66.9	9.1	0.079	1.73
Zn	75.1	106.6	91.2	69.4	8.5	0.093	1.31

注:重金属元素含量单位为 mg/kg。

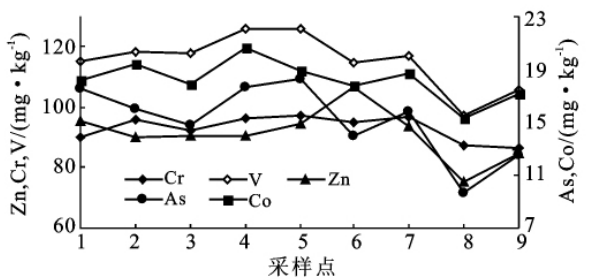
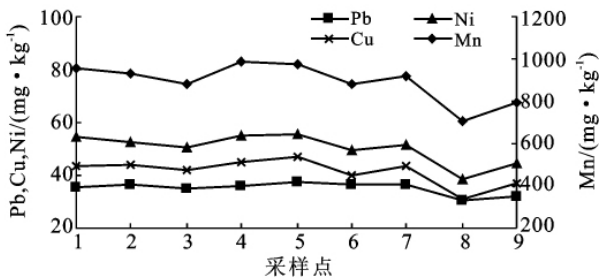


图 2 王家崖库区沉积物重金属含量水平分布

从图 2 可以看出,9 种重金属具有相似的水平分布特征,最高值与最低值出现的点位大致吻合。Co, Mn 和 V 最大值出现在样点位 4; As, Cr, Cu, Ni, Pb 等元素最大值均出现在样点位 5; Zn 最大值出现在样点位 6; 最小值均出现在样点位 8 处。各重金属元素在 1, 2, 3 号采样点位的累积含量之和为 4 171.9 mg/kg; 在 4, 5, 6 号采样点位的累积含量之和为 4 294.3 mg/kg; 在 7, 8, 9 号采样点位的累积含量之和为 3 701.1 mg/kg。由此可见,重金属元素高值区位于水库中游,低值区位于水库上游,各采样点位重金属元素累积叠加值由高到低依次为:采样点位 4>采样点位 5>采样点位 1>采样点位 2>采样点位 7>采样点位 6>采样点位 3>采样点位 9>采样点位 8。

2.2 潜在生态风险指数评价

目前国内外对于水系沉积物重金属的污染评价方法主要有地积累指数法、沉积物富集系数法、回归

过量分析法、脸谱图法和潜在生态危害指数法等^[11-14],基于对这几种方法的比较和研究,本研究采用潜在生态危害指数法的方法进行评价。瑞典科学家 Hakanson^[15]提出的潜在生态危害指数法以定量的方法划分出重金属元素潜在的危害程度,可以综合反映沉积物中重金属对生态环境的影响潜力。重金属元素 i 的综合潜在生态风险指数 I_R 计算公式为:

$$I_R = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i C_s^i / C_n^i$$

式中: E_r^i ——重金属 i 的潜在生态风险系数; T_r^i ——重金属的毒性系数; C_f^i ——单因子污染物污染参数; C_s^i, C_n^i ——表层沉积物中重金属含量实测值和参比值; Hakanson 提出以现代工业化前沉积物中金属的最高背景值作为参比值,为了反映特定区域的分异性,本研究选择陕西省土壤环境背景值为参比值。毒性系数^[16]及参比值见表 2。生态危害程度划分标准如表 3 所示^[17]。

表 2 王家崖库区重金属的参比值和毒性系数

项 目	As	Co	Cr	Cu	Ni	Mn	Pb	V	Zn
参比值/(mg·kg ⁻¹)	11.1	10.6	62.5	21.4	28.8	557	21.4	66.9	69.4
毒性系数	10	5	2	5	5	2	5	2	1

表 3 王家崖库区潜在生态风险评价指标与分级

单项潜在生态 风险系数(E_r^i)	潜在生态风险 指数(I_R)	潜在生态 风险程度	潜在生态 风险等级
$E_r^i < 10$	$I_R < 40$	轻 微	A
$10 \leq E_r^i < 20$	$40 \leq I_R < 80$	中 等	B
$20 \leq E_r^i < 40$	$80 \leq I_R < 160$	高	C
$40 \leq E_r^i < 80$	$I_R \geq 160$	很 高	D

按照沉积物重金属潜在生态风险指数的计算公式及确定生态风险强度的各项指标,计算出王家崖水库采样点的重金属潜在生态风险系数和生态风险指数(表 4)。由表 4 可知,研究区 9 个采样点位重金属综合污染潜在生态风险指数平均值为 59.82,生态风险等级为 B 级(中度生态危害),其中采样点位 5 的

I_R 值最大(66.54);采样点位 8 的 I_R 最小(46.35);各采样点位综合潜在生态危害程度由高到低依次为:采样点位 5>采样点位 4>采样点位 1>采样点位 2>采样点位 7>采样点位 3>采样点位 6>采样点位 9>采样点位 8。

从单因子污染物生态风险程度分析,As 的 E_r^i 值最大(13.65),生态风险等级为 B 级(中度生态危害),其中在采样点位 8 处 $E_r^i < 10$,为轻度生态危害,其余各点位 E_r^i 值均>10;其它各元素 E_r^i 值均小于 10,生态风险等级为 A 级(轻度生态危害);Zn 的 E_r^i 值最小(1.31),其中在采样点位 6 处最高,在采样点位 8 处最低;各重金属元素生态危害程度大小顺序为:As>Cu>Ni>Co>Pb>V>Mn>Cr>Zn。

表 4 库区沉积物重金属单项潜在生态风险系数(E_i^p)和综合潜在生态风险指数(I_R)

样 点	单项潜在生态风险系数(E_i^p)									I_R	风险等级
	As	Cr	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Zn		
1	15.86	2.89	8.58	10.21	3.42	9.44	8.25	3.44	1.37	63.47	B
2	14.41	3.07	9.15	10.30	3.35	9.13	8.53	3.54	1.30	62.78	B
3	13.33	2.95	8.44	9.79	3.17	8.78	8.13	3.53	1.30	59.43	B
4	15.95	3.08	9.72	10.51	3.54	9.58	8.46	3.77	1.30	65.91	B
5	16.49	3.11	8.92	10.96	3.49	9.64	8.81	3.77	1.36	66.54	B
6	12.61	3.04	8.40	9.39	3.16	8.59	8.53	3.43	1.54	58.69	B
7	14.23	3.09	8.82	10.14	3.30	8.98	8.55	3.50	1.35	61.97	B
8	8.74	2.80	7.22	7.24	2.54	6.65	7.17	2.91	1.08	46.35	B
9	11.26	2.76	8.11	8.62	2.86	7.73	7.50	3.17	1.22	53.23	B
平均值	13.65	2.98	8.60	9.69	3.20	8.72	8.21	3.45	1.31	59.82	B
风险等级	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	

3 结 论

(1) 王家崖水库表层沉积物 9 种重金属元素含量平均值均高于陕西省土壤背景值,均存在一定程度的富集和污染,其累积强度由大到小依次为:Cu>Ni>V>Co>Pb>Mn>Cr>As>Zn。

(2) 各重金属元素具有相似的水平分布特征,高值区位于水库中游,低值区位于水库上游。

(3) 潜在生态风险评价结果表明,研究区重金属元素潜在生态风险等级为 B 级,属中度生态危害,各元素生态危害程度大小排序为:As>Cu>Ni>Co>Pb>V>Mn>Cr>Zn。其中,采样点位 5 处生态危害最高,采样点位 8 处生态危害最低。

[参 考 文 献]

[1] 贾振邦,梁涛,林健枝,等. 香港河流重金属污染及潜在生态危害研究[J]. 北京大学学报,1997,33(4):485-492.

[2] 刘成,王兆印,何耘,等. 环渤海湾诸河口潜在生态风险评价[J]. 环境科学研究,2002,15(5):33-37.

[3] 范成新,朱育新,吉志军,等. 太湖宜溧河水系沉积物的重金属污染特征[J]. 湖泊科学,2002,14(3):235-241.

[4] 陈静生. 沉积物金属污染研究中的若干问题[J]. 环境科学丛刊,1983,4(8):1-12.

[5] Loska K, Wiechula D, Korus I. Contamination of farming soils affected by industry[J]. Environment International,2004,30(2):159-165.

[6] 弓晓峰,陈春丽,周文斌,等. 鄱阳湖底泥中重金属污染现状评价[J]. 环境科学,2006,27(4):732-736.

[7] 蔡京傍,李文奇,刘娜,等. 洋河水库底泥污染特性研究

[J]. 农业环境科学学报,2007,26(3):886-893.

[8] Reddy M S, Basha S, Kumar V G S, et al. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Alang-Sosiya ship scrapping yard, India [J]. Marine Pollution Bulletin, 2004,48:1055-1059.

[9] 黄奕龙,王仰麟,岳隼. 深圳市河流沉积物重金属污染特征及评价[J]. 环境污染与防治,2005,27(9):711-715.

[10] 中国环境监测总站,北京大学,中科院沈阳应用生态研究所,等. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:329-493.

[11] 霍文毅,黄风茹,陈静生,等. 河流颗粒物重金属污染评价方法比较研究[J]. 地理科学,1997,17(1):81-86.

[12] 张鑫,周涛发,杨西飞,等. 河流沉积物重金属污染评价方法比较研究[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2005,28(11):1419-1423.

[13] 雷凯,卢新卫,王利军,等. 渭河西安段表层沉积物重金属分布及潜在生态风险评价[J]. 地质科技情报,2008,27(3):83-87.

[14] 贾振邦,赵智杰,安凯,等. 北京大学未名湖沉积物中主要重金属随深度变化的研究[J]. 北京大学学报:自然科学版,2003,39(4):522-525.

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

[16] 徐争启,倪师军,庾先国,等. 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.

[17] 赵沁娜,徐启新,杨凯. 潜在生态危害指数法在典型污染行业土壤污染评价中的应用[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2005(1):111-116.