

汉江上游汉中段河流表层沉积物重金属污染风险评价

赵佐平

(陕西理工学院 化学与环境科学学院, 陕西 汉中 723001)

摘要: 通过监测汉江上游汉中段河流表层沉积物重金属 Pb, Cu, Zn, Cd, Cr 的浓度, 分析了各元素的含量分布特征, 并选用 Hakanson 生态风险指数法对研究区进行了环境风险评价。结果表明, 汉江上游汉中段各监测点重金属富集顺序为: Cd>Zn>Pb>Cr>Cu。单个重金属的污染指数 C_p^i 显示, 汉江上游汉中段监测点仅有 Cu 的含量均值为 0.83, 小于 1, 为轻微污染; Pb, Zn, Cd, Cr 的均值分别为 1.06, 1.25, 1.33, 1.02, 略大于等于 1, 处于轻微污染以上水平, 达到中度污染水平。综合分析多项重金属污染系数 C_d , 单项重金属的潜在生态风险系数 E_p^i 和多种重金属的生态系统的潜在生态风险指数 I_R 可知, 汉江上游汉中段各监测点沉积物重金属污染属于轻微生态危害。

关键词: 汉江上游; 表层沉积物; 重金属污染; 生态风险指数

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)05-0158-04

中图分类号: X522

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.036

Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Surficial Sediments from Hanjiang Upstream Section of Hanzhong City

ZHAO Zuo-ping

(College of Chemical and Environment Science, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China)

Abstract: Based on observing the concentration data of heavy metals including Pb, Cu, Zn, Cd and Cr in the surficial sediments from the Hanjiang upstream, and the data of the content of each heavy metal distribution characteristics, the potential ecological risk of heavy metals in research area were analyzed and assessed by the method of potential ecological risk indices presented by Hakanson. The results indicated that the accumulating order for these heavy metals were Cd>Zn>Pb>Cr>Cu. The single pollution mean coefficient of Pb, Cu, Zn, Cd, Cr were 1.06, 0.83, 1.25, 1.33, 1.02, respectively. Among which, only Cu was less than 1, indicating slight pollution. The other elements were greater than or equal to 1, indicating moderate pollution. Combining with the heavy metal pollution coefficient (C_d), heavy metal potential ecological risk coefficient E_p^i and the potential ecological risk index (I_R) of surficial sediments from Hanjiang River, the contamination level of surficial sediments in Hanjiang upstream was slight ecological risk.

Keywords: Hanjiang upstream; surficial sediments; heavy metal contamination; ecological risk index

近年来, 中国学者对水系沉积物重金属污染作了大量研究, 主要包括重金属含量及分布特征, 重金属的赋存形态及其生物有效性, 重金属在沉积物间、沉积物—水相间的迁移转化规律等^[1-6]。汉江是长江最大的支流, 发源于陕西省汉中市宁强县秦岭南麓的潘家山, 因水量充沛, 2000 年国家将汉江作为南水北调中线工程水源地, 用以补充京、津、冀地区的城市用水和工业用水, 以缓解该地区长期以来水资源紧张的情况^[7]。因此, 汉江水质安全关乎着数千万人口的生命安全, 保护好汉江水质至关重要。目前, 有关汉江上游汉水质污染状况及其变化趋势相对报道较多, 但有关汉江上游汉中段河流表层沉积物重金属污染报道

甚少。为了解汉江上游汉中段水体沉积物中重金属污染现状, 本研究以运用 Hakanson^[8] 生态指数法为基础, 拟对汉江上游汉中段河流沉积物中重金属含量进行环境风险评价, 旨在为汉江上游汉中段河流污染防控和水体生态保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集与分析检测

2013 年 3 月沿汉江上游汉中段自西向东在宁强县烈金坝 (32°57' N, 106°12' E) S₁、南郑县梁西渡 (32°24' N, 107°02' E) S₂、城固县柳林镇 (33°08' N, 107°10' E) S₃、洋县黄安镇 (33°02' N, 107°11' E) S₄ 进

收稿日期: 2013-08-26

修回日期: 2013-09-22

资助项目: 陕西省教育厅专项科研项目“汉江上游有机有毒污染物的环境行为及风险影响评价”(12JK0653)

作者简介: 赵佐平(1982—), 男(汉族), 陕西省旬阳县人, 博士, 讲师, 主要从事环境污染物迁移方面的研究。E-mail: zhaozuoping@126.com。

行采样布点。使用自制采样器(直径 30 mm PVC 管一端割成斜面,另一端固定在竹竿上)采集表层(0—10 cm 左右)沉积物淤泥,样品为该采样点同一断面 3~5 个等量子样混合而成,约 1~2 kg。用聚乙烯塑料袋盛装,封口,以防止污染。

将采集好的样品带回实验室,在通风、避光、室温的条件下自然风干,去掉杂物及石块后经玛瑙研钵研磨处理,全部过 200 目尼龙筛,贮存备用^[1]。用 HNO₃—HF—HClO₄ 消解后,采用 ICP—AES 和原子吸收等方法测定 Cu,Pb,Cd,Zn,Cr 等元素。分析所用试剂均为优级纯,所用的水均为超纯水,分析过程均加入国家标准土壤参比物质(GSS-1)进行质量控制。测量结果表明:GSS1 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%。此外,随机选取 2 个样品做重复样,平行测定 3 次,其相对标准偏差均不超过 5%。

1.2 环境风险评价方法

本文采用瑞典科学家 Hakanson^[8]提出的重金属元素的潜在生态风险指数法,对汉江上游汉中段重金属污染的潜在生态风险进行评价。该方法是评价沉积物污染程度及水域潜在生态风险的一种相对简单、快速和便准的方法,也是目前国内应用最多的一种方法。根据此方法,某一区域沉积物中第 *i* 种重金属的潜在生态危害系数 E_r^i 可表示为:

$$E_r^i = T_r^i C_f^i \quad (1)$$

式中: E_r^i ——第 *i* 种重金属的潜在生态危害系数;

T_r^i ——重金属 *i* 元素的毒性响应系数,反映重金属元素的毒性水平及水体对重金属元素污染的敏感程度;
 C_f^i ——某一重金属元素的污染系数。

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i \quad (2)$$

式中: C_s^i ——表层沉积物第 *i* 种重金属浓度的实测值;
 C_n^i ——沉积物背景参考值。

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i \quad (3)$$

式中: C_d ——综合污染系数。

$$I_R = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (4)$$

式中: I_R ——多金属潜在生态风险系数。

目前研究中对参比值的选择差异较大,一般采用工业化以前的沉积物中重金属元素最高背景值,也有取区域土壤元素背景值。本文采用陕西省土壤中重金属的背景值(表 1)^[9]为参比,各重金属的生物毒性因子见表 1,评价标准见表 2。

表 1 重金属元素背景参考值(C_n^i)和毒性系数(T_r^i)

金属元素	$C_n^i / (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ 陕西省土壤重金属背景值	$C_n^i / (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ 工业化前全球沉积物重金属最高背景值	T_r^i
Pb	21.4	70	5
Cu	21.4	50	5
Zn	69.4	175	1
Cd	0.1	1	30
Cr	62.5	90	2

表 2 潜在生态风险评价指标与风险分级关系

污染程度	单项污染系数 C_f^i	综合污染系数 C_d	单项潜在生态风险系数 E_r^i	综合潜在生态风险 I_R	潜在生态风险程度
轻微	$C_f^i < 1$	$C_d < 8$	$E_r^i < 40$	$I_R < 150$	轻微
中等	$1 \leq C_f^i < 3$	$8 \leq C_d < 16$	$40 \leq E_r^i < 80$	$150 \leq I_R < 300$	中等
强	$3 \leq C_f^i < 6$	$16 \leq C_d < 32$	$80 \leq E_r^i < 160$	$300 \leq I_R < 600$	强
很强	$C_f^i \geq 6$	$C_d \geq 32$	$160 \leq E_r^i < 320$	$I_R \geq 600$	很强
极强			$E_r^i \geq 320$	—	极强

注:评价元素为 Pb,Cu,Zn,Cd,Cr。

2 结果与分析

2.1 汉江上游汉中段河流表层沉积物重金属元素含量及空间分布特征

汉江上游汉中段河流表层沉积物中重金属含量如表 3 所示。自发源地宁强到洋县黄安镇各监测点沉积物中重金属含量呈波浪式变化。Pb,Cu,Zn,Cd 含量最高监测值出现在南郑县梁西渡监测点(S_2),分别为 24.46,20.35,98.16,0.18 mg/kg,较土壤环境

背景高 3.06,-1.05,28.76,0.086 mg/kg;Cr 最高监测值出现在城固县柳林镇(S_3),为 77.36 mg/kg,较陕西省土壤背景值高 14.86 mg/kg。而 4 个监测点平均值低于陕西省土壤环境背景值的只有 Cu 元素,平均值为 17.83 mg/kg,较陕西省土壤环境背景值低 3.57 mg/kg。

变异系数(C_v)反映了各采样点之间的平均变异程度。由表 3 可知,重金属 Cd 的变异系数最大,为 38.37%,属于较强变异类型,表明汉江上游汉中段河

流表层沉积物 Cd 的空间分布极不均匀,离散性相对较大;重金属 Zn 的变异系数也较大,为 17.07%。重金属 Pb, Cu 的变异系数较小,空间分布较均匀,波动程度相对较小。由于不同地理区域受人为活动影响的大小不同,因而重金属含量分布在区域上也表现出一定的差异性。

表 3 汉江上游汉中段河流沉积物重金属含量 mg/kg

采样点	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr
S ₁	20.55	15.32	65.74	0.09	65.87
S ₂	24.46	20.35	98.16	0.18	56.42
S ₃	22.13	18.21	86.85	0.08	77.36
S ₄	23.67	17.42	95.98	0.15	54.21
平均值	22.70	17.83	86.68	0.13	63.46
变异系数/%	7.62	11.66	17.07	38.37	16.63
陕西省土壤中 重金属背景值	21.40	21.40	69.40	0.09	62.50

2.2 沉积物重金属潜在生态风险指数评价

根据 Hakanson^[8]的潜在生态风险指数法,可以计算出汉江上游汉中段各取样点的重金属单项污染系数、多项污染系数及潜在生态危害系数、潜在生态风险指数,其结果见表 4 和表 5。

表 4 沉积物重金属单项污染系数 C_f和多项污染系数 C_d

采样点	C _f					C _d
	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	
S ₁	0.96	0.72	0.95	0.96	1.05	4.63
S ₂	1.14	0.95	1.41	1.91	0.90	6.33
S ₃	1.03	0.85	1.25	0.85	1.24	5.23
S ₄	1.11	0.81	1.38	1.60	0.87	5.77
平均值	1.06	0.83	1.25	1.33	1.02	5.49

表 5 沉积物重金属元素的单项潜在生态危害系数 E_rⁱ和多项潜在生态风险指数 I_R

采样点	E _r ⁱ					I _R
	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	
S ₁	4.80	3.58	0.95	28.72	2.11	40.16
S ₂	5.71	4.75	1.41	57.45	1.81	71.14
S ₃	5.17	4.25	1.25	25.53	2.48	38.68
S ₄	5.53	4.07	1.38	47.87	1.73	60.59
平均值	5.30	4.17	1.25	39.89	2.03	52.64

从单个重金属的污染指数 C_f来说,汉江上游汉中段 Cu 的单项污染指数均值为 0.83,小于 1,结合表 2 可知,属轻微污染;Pb, Zn, Cd, Cr 的单项污染指数均值分别为 1.06, 1.25, 1.33, 1.02, 略超过临界值 1,为中度污染程度。5 种重金属的单项污染指数为: Cd

(1.33) > Zn(1.25) > Pb(1.06) > Cr(1.02) > Cu(0.83)。从重金属的多项污染系数 C_d来看, S₁, S₂, S₃, S₄ 采样点的值分别为 4.63, 6.33, 5.23 和 5.77 均小于 8,为低污染程度。4 个采样点的 C_d值由高到低依次为: S₂(6.33) > S₄(5.77) > S₃(5.23) > S₁(4.63)。

由单个重金属的生态危害系数 E_rⁱ可知,各采样点重金属 E_rⁱ值呈现相同的规律,即 Cd > Pb > Cu > Cr > Zn。从单项潜在生态危害系数 E_rⁱ来看,除 S₂ 和 S₄ 采样点 Cd 的 E_rⁱ值分别大于 40,其他各采样点各重金属元素的 E_rⁱ值远远小于 40,属低生态危害水平。而 S₂ 和 S₄ 采样点 Cd 的 E_rⁱ值分别 57.45 和 47.87,略大于 40,但小于 80,处于低等生态危害以上水平,说明 S₂ 和 S₄ 采样点河流沉积物中 Cd 存在一定程度污染。但 4 个断面采样点中 Cd 的 E_rⁱ平均值为 39.89,小于 40,属低生态危害水平。由潜在生态风险指数 I_R可知, S₂(71.14) > S₄(60.59) > S₁(40.16) > S₃(38.68)。其值远远小于 150,说明汉江上游汉中段河流断面沉积物中重金属含量处于低潜在生态风险。

结合表 3 和重金属含量及潜在生态危害等指数来看, S₂ 采样点的 Cd, Pb, Cu, Zn 的单项潜在生态风险系数达到最大值,分别为 57.45, 5.71, 4.75, 1.41。与重金属的含量分析结论一致。Cr 的最大单项潜在生态风险值出现在 S₃ 采样点,与重金属含量表 3 结果一致。说明重金属元素的含量分布与其潜在生态风险指数成正相关,重金属富集程度越大,其潜在生态风险指数越大。

3 讨论

3.1 沉积物重金属的含量与环境风险

汉江上游汉中段河流沉积物中重金属含量在不同采样点污染程度不同,但将各种重金属含量与世界平均水平比较,发现汉江上游汉中段河流表层沉积物中 Cu, Zn, Cr, Cd 平均含量均分别低于世界平均水平(32, 127, 71 和 0.2 mg/kg)^[10]。从单个重金属的污染指数 C_f来看,5 种重金属的污染程度为: Cd(1.33) > Zn(1.25) > Pb(1.06) > Cr(1.02) > Cu(0.83); 由潜在生态风险指数 I_R来说,汉江上游汉中段河流沉积物重金属含量处于低潜在生态风险水平。唐文清等^[11]研究表明,湘江(衡阳段)表层沉积物中各重金属潜在生态危害系数大小依次为: Cd > Pb > Cu > Cr > Zn,出现差异的原因主要与河流流经的地区有关。汉江上游汉中段河流表层沉积物也出现与之相似的结论。结合国内众多对河流沉积物重金属的研究结果^[12-17]来看, Cd 的生态危害系数均较大,主要是因为

其毒性系数 T_i 值远远大于其他重金属元素,并且作为一种过渡金属,在大多数沉积物 pH 值范围内,以二价阳离子存在,从而被黏土和有机质强烈吸附^[18]。因此,在有机污染物输入河流时,对河流的 Cd 污染应采取相应的控制措施,防止污染加剧。

3.2 沉积物中重金属的来源问题

沉积物中重金属的来源一般可分为自然源和人为源。自然源主要来自岩石和矿物,而人为源主要来源于人类生产活动带来的重金属直接或间接排放。一些工农业生产活动包括采矿、金属冶炼加工、化石燃料燃烧、废弃物焚烧及处置、化肥农药的生产和使用等过程^[19-21],均可导致重金属进入环境,并因此在环境中产生累积。由结果分析中发现 S_2 采样点的 Cd, Pb, Cu, Zn 的单项潜在生态风险系数值最大,分别为 57.45, 5.71, 4.75, 1.41, 与重金属的含量分析结果一致。而 S_2 采样点主要用于控制宁强县、勉县河段接纳污染物的情况,属于勉县又属于汉江上游汉中段的重点工业县城。目前,该县有八一铝业、汉钢、三粮液、春光油脂、尧柏水泥、远东化肥等规模以上工业企业 35 家。采矿、选矿、烧石灰等工业企业 50 多家,机械加工企业 5 家,化工企业 6 家。因此,该县的工业活动、生活垃圾排放都有可能致使经过该段的河流受到不同程度污染。

4 结论

汉江上游汉中段重金属富集顺序为: $Cd > Zn > Pb > Cr > Cu$ 。Zn 和 Cd 的单项污染系数均值 1.25 和 1.33, 高于其他 3 种元素。5 种被监测重金属元素的单项污染系数值除 Cu 为 0.83 外,其他均略大于等于 1, 处于低等污染水平边缘。Pb, Cu, Zn, Cd, Cr 元素的潜在生态风险系数 E_i^p 值分别为 5.30, 4.17, 1.25, 39.89, 2.03, 均小于 40, 处于低生态危害水平, 其环境生态风险程度均为轻微水平。

[参 考 文 献]

- [1] 尚英男,倪师军,张成江,等.成都市河流表层沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J].生态环境,2005,14(6):827-829.
- [2] 战玉柱,姜霞,陈春霄,等.太湖西南部沉积物重金属的空间分布特征和污染评价[J].环境科学研究,2011,24(4):363-370.
- [3] 彭景权,肖唐付,李航,等.黔西南滥木厂铀矿化区河流沉积物中重金属污染及其潜在生态危害[J].地球与环境,2007,35(3):247-254.
- [4] 刘孟兰,郑西来,林端,等.南海重点海洋倾倒地表层沉积物富集特征及其潜在生态风险评价[J].海洋环境科学,2007,26(2):158-160,165.
- [5] 沈敏,于红霞,邓西海.长江下游沉积物中重金属污染现状与特征[J].环境监测管理与技术,2006,18(5):15-18.
- [6] 程杰,李学德,花日茂,等.巢湖水体沉积物重金属的分布及生态风险评价[J].农业环境科学学报,2008,27(4):97-102.
- [7] 赵佐平,闫莎,同延安,等.汉江流域上游生态环境现状及治理措施[J].水土保持通报,2012,32(5):32-36.
- [8] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8):975-1001.
- [9] 王利军,卢新卫,雷凯,等.渭河宝鸡段表层沉积物重金属污染研究[J].农业环境科学学报,2011,30(2):334-340.
- [10] Martin J M, Meybeck M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers [J]. Marine Chemistry, 1979, 7(3):173-206.
- [11] 唐文清,曾荣英,冯泳兰,等.湘江(衡阳段)河流沉积物中重金属潜在生态风险评价[J].环境监测管理与技术,2008,20(5):25-27.
- [12] 雷凯,卢新卫,王利军,等.渭河西安段表层沉积物重金属元素分布及其潜在生态风险评价[J].地质科技情报,2008,27(3):83-87.
- [13] 黄宏,郁亚娟,王晓栋,等.淮河沉积物中重金属污染及潜在生态危害评价[J].环境污染与防治,2004,26(3):207-208,231.
- [14] 王鸣宇,张雷,秦延文,等.湘江表层沉积物重金属的赋存形态及其环境影响因子分析[J].环境科学学报,2011,31(11):2447-2458.
- [15] 李桂海,蓝东兆,曹志敏,等.厦门海域沉积物中的重金属及其潜在生态风险[J].海洋通报,2007,26(1):67-72.
- [16] 刘建艳.水体沉积物重金属污染的实验研究与评价[J].环境工程,2011(S1):345-348.
- [17] 王贵,张丽洁.海湾河口沉积物中重金属分布特征及形态研究[J].海洋地质动态,2002,18(12):1-5.
- [18] 余贵芬,蒋新,孙磊,等.有机物质对土壤镉有效性的影响研究综述[J].生态学报,2002,22(5):682-688.
- [19] Nriagu J O, Pacyna J M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals [J]. Nature, 1988, 333(6169):134-139.
- [20] Ratha D S, Sahu B K. Source and distribution of metals in urban soil of Bombay, India, using multivariate statistical techniques [J]. Environmental Geology, 1993, 22(3):276-285.
- [21] Susana O R, Daniel D L R, Lazaro L, et al. Assessment of heavy metal levels in Almendares River sediments—Havana City, Cuba [J]. Water Research, 2005, 39(16):3945-3953.