

文章编号: 1004-4353(2014)03-0253-04

图们江中游表层沉积物的重金属 污染特征与生态风险评价

姚艳红

(延边大学分析测试中心, 吉林 延吉 133002)

摘要: 采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定了图们江中游表层沉积物中 As、Cd、Cr、Co、Cu、Ni、Pb、Zn 的含量,并对其生态风险进行了评价.研究表明:表层沉积物中 8 种重金属的浓度在 0.48~241.81 mg/kg 之间,平均浓度的高低顺序为 As、Pb、Zn、Cu、Ni、Cr、Co、Cd; 8 个采样点中,白龙(T5)、日光(T6)、图们公园(T7) 3 处采样点的污染较为严重;地积累指数(I_{geo})评价结果显示,污染程度的高低顺序为 Pb、Cd、Cu、As、Ni、Co、Zn、Cr,其中 Pb 和 Cd 呈中度污染,As 和 Cu 呈偏中度污染;生态风险系数(E_r^i)评价结果显示,8 种重金属元素的潜在生态风险指数(RI)在 215.6~349.3 之间,其高低顺序依次为 Cd、Pb、As、Cu、Ni、Co、Cr、Zn,其中 Cd 呈强生态风险,除图们下游(T8)采样点是中等潜在生态风险外,T1-T7 采样点都属于强生态风险.

关键词: 图们江中游; 表层沉积物; 重金属; 生态风险

中图分类号: X522

文献标识码: A

Pollution characteristics and its ecological risk assessment of heavy metals in the surface sediments from middle reaches of Tumen River

YAO Yanhong

(Analysis and Inspection Center, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: The contents of As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb and Zn in surface sediments from middle reaches of Tumen River are detected by Inductively Coupled Plasma Mass-Spectrometry (ICP-MS). The ecological risks of each heavy metals are evaluated. The mean concentration of 8 heavy metals is between from 0.48-241.81 mg/kg. The levels of heavy metals in surface sediments followed the order, As, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Cd. Among 8 sampling points, the White Dragon(T5), the Daylight (T6) and the Tumen Park (T7) are more seriously contaminated. Pb and Cd are moderately polluted, As and Cu are partial moderately polluted by geo-accumulation index (I_{geo}), the pollution extent of heavy metals followed the order, Pb, Cd, Cu, As, Ni, Co, Zn, Cr. Cd is highly risk by the potential ecological risk factors (E_r^i), the possible ecological risk index is Cd, Pb, As, Cu, Ni, Co, Cr and Zn. The possible ecological risk indexes (RI) of 8 heavy metals at all sampling points are 215.6-349.3. The heavy metals in the surface sediments from middle reaches of Tumen River is high ecological risk among the sampling point (T1-T7), however, the lower reaches of Tumen (T8) is moderate potential ecological risk.

Key words: middle reaches of Tumen River; surface sediment; heavy metals; ecological risk

收稿日期: 2014-06-13

作者简介: 姚艳红(1965—),女,高级实验师,研究方向为环境化学.

人类生产、生活中产生的重金属废弃物排入水体时,其绝大部分易于由水相通过悬浮物沉降进入沉积物而造成对沉积物的污染,进而对底栖生物构成威胁,通过食物链影响人类健康^[1];因此,研究重金属元素在沉积物中的含量、分布、变化形式及迁移规律具有重要意义.文献[2-6]研究了河流沉积物中重金属的背景值、沿程分布规律和赋存形态,确定了重金属的生物毒性及其可能的污染源,并预测了生态风险.本文在对图们江中游表层沉积物中磷^[7]和几种重金属赋存形态研究^[8]的基础上,利用地积累指数法和潜在生态风险指数法对图们江中游表层沉积物中重金属进行评价,为图们江流域的环境保护提供参考.

1 实验部分

1.1 样品采集与处理

根据《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91-2002),在图们江中游选择茂山铁矿汇口(T1)、茂山铁矿下游(T2)、开山屯上游(T3)、开山屯下游(T4)、白龙(T5)、日光(T6)、图们公园(T7)、图们下游(T8) 8 个点采集样品,采样点地理位置见文献[7-8].采集 0~5 cm 表层沉积物样品及平行样品,自然风干后用玛瑙研钵研磨,过 60 目尼龙筛,然后用四分法取样,在干燥器内保存备用.

1.2 样品分析

沉积物样品中重金属总量采用王水-氢氟酸-高氯酸微波消解,用 7500 电感耦合等离子质谱仪(美国安捷伦公司)测定.

1.3 质量控制

实验数据的可靠性通过加标和平行样控制.全程空白控制:总量各步提取过程中,同时做分析空白,以检查控制样品在处理测试过程中可能带来的污染;精密度控制:用平行样控制样品测试的精密度,每个样品平行测定 3 次;准确度控制:用中国土壤标准控制样品 GBW07437 确保分析质量.

1.4 生态风险评价方法

1) 地积累指数(I_{geo})法^[9]的计算公式为

$$I_{geo} = \log_2 [C_i / (k \times B_i)], \tag{1}$$

式中: C_i 为元素在沉积物中的测定值; B_i 为沉积物中该元素的地球化学背景值,本研究以延边地

区土壤重金属含量值^[10] 为背景值; k 是考虑不同地区岩石差异可能会引起背景值变动而取的系数,一般情况下 $k = 1.5$.

2) 潜在生态风险指数法的计算公式^[11] 为:

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i, \tag{2}$$

$$E_f^i = T_f^i \cdot C_f^i, \tag{3}$$

$$RI = \sum_r^i = \sum T_r^i \cdot C_f^i, \tag{4}$$

式中: C_f^i 为污染因子, C_s^i 为沉积物中重金属的实测含量, C_n^i 为重金属的参比值, T_r^i 为重金属 f 的毒性响应因子, E_f^i 为重金属 f 的潜在生态风险系数, RI 为潜在生态风险指数.

2 结果与分析

2.1 图们江中游表层沉积物中重金属的含量分布特征

图们江中游表层沉积物中重金属的含量见表 1.由表 1 可以看出:图们江中游表层沉积物中重金属平均浓度的高低顺序为 As、Pb、Zn、Cu、Ni、Cr、Co、Cd,除 Cu 和 Ni 的变异系数较小外,其他元素的变异系数较大,说明这些元素都是点污染.8 个采样点中,T6、T5、T7 3 处采样点的污染较为严重.8 种重金属中,As 的平均浓度为 182.35 mg/kg,高于其他 7 种重金属的浓度,可能源于农药、茂山铁矿和开山屯化学纤维浆厂排放的废水;Cd 的平均浓度为 0.76 mg/kg,是使用农药和化肥的标识^[12].Pb 的平均浓度为 176.85 mg/kg,可能源于机动车尾气的排放和茂山铁矿排放的废水;Cu 和 Ni 的平均浓度分别为 66.62 mg/kg 和 63.08 mg/kg,可能源于茂山铁矿和开山屯化学纤维浆厂排放的废水.

2.2 图们江中游表层沉积物中重金属的相关性与来源分析

利用 SAS(Statistics Analysis System)软件得到重金属含量的相关系数矩阵,见表 2.在同一条河流内,由于不同重金属的含量不同,其相关分析可以揭示不同重金属之间的来源关系,若金属元素之间存在相关关系,说明它们可能有相似的来源^[13].由表 2 的相关系数矩阵可以看出:As 与 Cr、Cu 和 Zn、Cr 与 Cu 和 Zn、Cu 与 Pb 和 Zn 高度相关(相关系数 $r \geq 0.8$),这表明 As、Cr、Cu、Zn

这 4 种元素的来源相同; As 与 Pb、Cd 与 Cu 和 Zn、Cr 与 Co 和 Pb、Zn 与 Pb 中度相关(相关系数 $0.5 \leq r \leq 0.8$), 这表明 As、Pb、Cr、Co 的来源可能相同; As 与 Cd 和 Co、Cd 与 Cr、Co 与 Ni 低度相关, 这表明 As、Cd、Ni 这些元素的来源不同。

2.3 沉积物中各重金属的污染状况与风险评价

2.3.1 地积累指数(I_{geo})法 以延边土壤环境重金属的背景值作为参比值, 按照(1)式计算 8 种重金属的地积累指数, 见表 3。从表 3 可以看出: 在 8 个采样点中, As、Cd、Cu 和 Pb 的污染较重。按地

积累指数与污染程度分级^[14], Pb 和 Cd 的地积累指数范围为 $2 \leq I_{geo} < 3$, 属于中度污染; As、Cu 和 Ni 的地积累指数范围为 $1 \leq I_{geo} < 2$, 属于偏中度污染; Co 和 Zn 的地积累指数范围为 $0 \leq I_{geo} < 1$, 属于轻度污染; Cr 的地积累指数为 $I_{geo} < 0$, 属于无污染; 污染程度由高到低的顺序为: Pb、Cd、Cu、As、Ni、Co、Zn、Cr。

2.3.2 潜在生态风险指数(RI)法 潜在生态风险系数和潜在生态风险指数按照(2)式和(3)式计算, 结果见表 4。根据生态风险系数与污染程度的

表 1 沉积物中各重金属的含量

采样点	重金属的含量/(mg/kg)							
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
T1	123.97	0.93	31.72	11.71	59.48	44.51	123.97	108.78
T2	144.87	0.92	31.09	13.47	68.03	62.33	144.87	89.02
T3	183.13	0.63	37.37	15.66	56.61	58.92	183.13	114.59
T4	212.72	0.93	31.72	14.56	59.48	61.71	123.97	108.78
T5	214.77	0.78	46.95	17.73	73.83	76.33	212.72	158.46
T6	241.81	0.91	64.17	21.71	83.01	84.16	241.81	175.32
T7	169.54	0.48	45.77	23.62	72.79	61.87	214.77	133.88
T8	167.97	0.51	42.88	18.83	59.69	54.77	169.54	98.43
平均值	182.35	0.76	41.46	17.16	66.62	63.08	176.85	123.41
变异系数	0.21	0.32	0.28	0.26	0.14	0.19	0.26	0.27

表 2 沉积物中各重金属含量的相关系数矩阵

	As	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
As	1.000 0							
Cd	0.422 3	1.000 0						
Cr	0.965 1	0.459 1	1.000 0					
Co	0.402 6	-0.286 4	0.526 4	1.000 0				
Cu	0.835 0	0.615 2	0.839 5	0.151 0	1.000 0			
Ni	0.137 6	-0.480 7	0.158 9	0.466 1	0.278 5	1.000 0		
Pb	0.693 1	0.745 7	0.678 6	0.002 6	0.824 8	-0.060 0	1.000	
Zn	0.941 9	0.531 4	0.950 4	0.286 9	0.890 8	0.093 9	0.743 4	1.000 0

表 3 沉积物中各重金属的地积累指数

采样点	重金属的地积累指数(I_{geo})							
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
T1	0.488	2.252	-1.425	-0.805	1.192	0.259	1.648	-0.613
T2	0.714	2.236	-1.454	-0.603	1.385	0.745	1.873	-0.902
T3	1.051	1.689	-1.188	-0.386	1.120	0.663	2.211	-0.538
T4	1.268	2.252	-1.425	-0.491	1.192	0.730	1.648	-0.613
T5	1.282	1.998	-0.859	-0.207	1.503	1.037	2.427	-0.070
T6	1.453	2.221	-0.408	0.086	1.673	1.178	2.612	0.076
T7	0.940	1.297	-0.896	0.207	1.483	0.734	2.441	-0.313
T8	0.928	1.385	-0.989	-0.120	1.197	0.558	2.100	-0.757

关系和表 4 的结果可以看出: Cd 的生态风险系数(E_r^i)较大(平均值为 175.4), 属于强生态风险; As 在 T3-T6 采样点属于中等生态风险, Pb 在 T3、T5-T8 采样点属于中等生态风险. 8 种重金属元

素的潜在生态风险指数(RI) 在 215.6~349.3 之间, 平均值为 280.6, 除在 T8 采样点具有中等潜在生态风险外, 其他采样点都属于强生态风险.

表 4 沉积物中各重金属的生态风险系数(E_r^i)和潜在生态风险指数(RI)

采样点	E_r^i								RI
	As	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	
T1	21.0	214.3	1.12	4.29	17.1	8.97	23.5	0.98	291.3
T2	24.6	211.9	1.09	4.94	19.6	12.6	27.5	0.80	303.0
T3	31.1	145.2	1.32	5.74	16.3	11.8	34.7	1.03	247.2
T4	36.1	214.3	1.12	5.34	17.1	12.4	23.5	0.98	310.8
T5	36.5	179.7	1.65	6.50	21.3	15.4	40.3	1.43	302.8
T6	41.1	209.7	2.26	7.96	23.9	17.0	45.8	1.58	349.3
T7	28.8	110.6	1.61	8.66	21.0	12.5	40.7	1.21	225.1
T8	28.5	117.5	1.51	6.90	17.2	11.0	32.1	0.89	215.6
平均值	31.0	175.4	1.46	6.29	19.2	12.7	33.5	1.11	280.6

3 结论

本文探讨了图们江中游表层沉积物中 8 种重金属的污染特征, 评价了其生态风险, 给出了沉积物中各重金属平均浓度由高到低的次序. 8 个采样点中, 有 3 处采样点为污染严重. 地积累指数和生态风险系数综合评价结果表明, 有 7 处采样点处于强生态风险. 本结果可为图们江流域的环境保护提供数据支持. 不同季节图们江中游和图们江全流域的表层沉积物的重金属特征正在进一步研究中.

参考文献:

[1] Lafabrie C, Pergent G, Kantin R, et al. Trace metals assessment in water, sediment, mussel and sea grass species-validation of the use of *Posidonia oceanica* as a metal biomonitor[J]. Chemosphere, 2007,68(11):2033-2039.

[2] 刘恩峰, 沈吉, 杨丽原, 等. 南四湖及主要入湖河流表层沉积物重金属形态组成及污染研究[J]. 环境科学, 2007,28(6):1377-1383.

[3] Woitke P, Wellmitz J, Helm D, et al. Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of River Danube[J]. Chemosphere, 2003,51(8):633-642.

[4] Segura R, Arancibia V, Zuniga M C, et al. Distribution of copper, zinc, lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago, Chile[J]. Journal of Geochemical Explora-

tion, 2006,91(1-3):71-80.

[5] 单保庆, 菅宇翔, 张洪. 北运河下游沉积物中重金属污染特征及评价[J]. 安全与环境学报, 2011,11(6):141-145.

[6] 周秀艳, 王恩德, 朱恩静. 辽东湾河口底泥中重金属的污染评价[J]. 环境化学, 2004,23(3):321-325.

[7] 姚艳红. 图们江中游表层沉积物中磷的赋存形态研究[J]. 延边大学学报:自然科学版, 2013,39(1):33-36.

[8] 姚艳红. 图们江中游表层沉积物中重金属的赋存形态研究[J]. 延边大学学报:自然科学版, 2013,39(4):273-276.

[9] Verca P, Dolence T. Geochemical estimation of copper contamination in the healing mud from Makirina Bay, central Adriatic[J]. Environment International, 2005,31(1):53-61.

[10] 孟宪玺, 李生智. 吉林省土壤元素背景值[M]. 北京: 科学出版社, 1995:18.

[11] 滕彦国, 鹿先国, 倪师军, 等. 应用地质累积指数评价沉积物中重金属污染: 选择地球化学背景的影响[J]. 环境科学与技术, 2002,25(2):7-9.

[12] Gray C W, McLaren R G, Roberts A H C. The effect of long-term phosphatic fertiliser applications on the mounts and forms of cadmium in soils under pasture in New Zealand[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1999,54(3):267-277.

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

[14] Liu J, Li Y, Zhang B, et al. Ecological risk of heavy metals in sediments of the Luan River source water[J]. Ecotoxicology, 2009,18(6):748-758.