

松花江沉积物中 Pb As Cr 的分布及生态风险评价

张凤英^{1,2}, 阎百兴¹, 路永正¹, 潘月鹏^{1,2}, 徐治国^{1,2}, 张丰松^{1,2}

(1.中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2.中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:通过样品采集和分析,研究了松花江自第二松花江白山至松花江干流佳木斯段表层沉积物(0~10 cm)中 Pb、As、Cr 的含量分布特征,并采用地累积指数法和 Hakanson 潜在生态危害指数法评价了沉积物中 Pb、As、Cr 污染及生态风险程度。结果表明,沉积物中 Pb、As、Cr 的含量范围分别为 12.1~232.4、4.6~26.1、9.0~94.4 mg·kg⁻¹,平均值分别为 34.8、12.8、37.9 mg·kg⁻¹。Pb 含量的变异系数达 1.4,污染源的性质及人为活动扰动可能是造成这种差异的主要原因。相关分析的结果显示,3 种元素之间存在明显的正相关性。3 种元素污染程度由高到低依次为 Pb、As、Cr;所有江段均受到一定程度的 Pb 污染,且以中等污染为主;68.4%的取样江段受到轻微的 As 污染;除少数江段外,多数取样江段无 Cr 污染。Pb、As、Cr 生态风险由强到弱的顺序为 Pb、As、Cr, 苇沙河及哨口江段存在较高的 Pb、As、Cr 综合生态风险,其余江段均为轻微生态风险。

关键词:沉积物;松花江;Pb;As;Cr;潜在生态风险

中图分类号:X820.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)02-0726-05

Distribution and Potential Ecological Risk of Pb, As, Cr in Songhua River Sediments

ZHANG Feng-ying^{1,2}, YAN Bai-xing¹, LU Yong-zheng¹, PAN Yue-peng^{1,2}, XU Zhi-guo^{1,2}, ZHANG Feng-song^{1,2}

(1.Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The characteristics of Pb, As, Cr distribution and potential ecological risk in surface sediments (0~10 cm) of Songhua River (from Baishan to Jiamusi) were studied. The pollution degree and environment risk assessment were conducted systematically using Geoaccumulation and Hakanson potential ecological risk index. The results indicated that the concentration of Pb, As, Cr ranged 12.1~232.4 mg·kg⁻¹, 4.6~26.1 mg·kg⁻¹ and 9.0~94.4 mg·kg⁻¹, with the average concentrations of Pb, As, Cr being 34.8 mg·kg⁻¹, 12.8 mg·kg⁻¹ and 37.9 mg·kg⁻¹, respectively. The coefficient of variation of Pb was up to 1.4, which may be resulted from different pollution sources and anthropogenic activities. Pearson correlation analysis indicated that the three elements may have similar pollution originations. The pollution degree of the three heavy metals was Pb>As>Cr. All the sampling sites were polluted by Pb and most of them belonged to a middle pollution degree. About 68.4% sites showed slight As pollution. There was no Cr pollution at most sampling sites. The potential ecological risk degree of these metals was Pb>As>Cr. Pb, As, Cr belonged to a high potential ecological risk at Weisha River and Shaokou sites, but showed a slightly potential ecological risk at other sampling sites.

Keywords: sediment; Songhua River; Pb; As; Cr; potential ecological risk

沉积物是水环境的基本组成部分,它既能为河流中的各种生物提供营养物质,同时又是有毒有害物质的储蓄库^[1]。研究表明,进入水体中的重金属大部分与悬浮物和沉积物结合,在水流缓慢时,悬浮物也逐步

沉积下来^[2]。结合在沉积物中的重金属又可通过一系列物理、化学及生物过程释放到水体中,造成水环境的“二次污染”^[1]。沉积物是水环境重金属污染的指示剂^[2]。对沉积物中重金属的研究具有重要的现实意义。

当前,从沉积物学角度对重金属污染及其环境风险的研究备受关注^[3,4]。对沉积物中重金属的生态风险评估方法主要有地累积指数法^[5]和潜在生态危害指数法^[6]。地累积指数法从地球化学角度出发,定量研究水

收稿日期:2007-07-05

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2004CB418502)

作者简介:张凤英(1982—),女,安徽庐江人,硕士研究生,主要研究方向为环境污染与控制。E-mail:bichun886@163.com

责任作者:阎百兴 E-mail:yanbx@neigae.ac.cn

2 结果与讨论

2.1 松花江沉积物中 Pb、As、Cr 的含量分布

松花江沿程沉积物中 Pb、Cr、As 含量分布特征如图 2 所示。

由图可见,沉积物中 Pb 的含量范围波动较大,最高值出现在苇沙河江段,这与苇沙河附近的众多采矿场常年将含有大量重金属的废水及尾矿排入河中有直接联系^[6];板庙河到哈达湾一段,流经吉林市,接纳了大量来自吉林市的工业废水和城市污水,水体中污染物浓度较高^[11],导致 Pb 在沉积物中的累积;哨口江段沿岸有石油、化工、造纸、金属冶炼和电镀工厂,所产生的工业废水大多排入松花江^[11],沉积物中 Pb 含量达到次高值。

总体来看,沉积物中 As 含量的变化幅度不大;白山江段的 As 含量为沿程最低值,苇沙河江段的 As 含量为沿程最高值;板庙河江段以下,As 含量在 12.5 mg·kg⁻¹ 上下波动。

Cr 含量的沿程变化趋势较为复杂,分布图像上出现两个近似相等的高峰值;苇沙河江段的 Cr 含量为最高值;板庙河到哈达湾一段,Cr 含量逐渐增加,并在松花湖江段达到第二个高峰;哈达湾江段以下,Cr 含量在 9.0 ~ 47.0 mg·kg⁻¹ 间变动。

由图 2 不难发现,3 种元素的最高值均为苇沙河

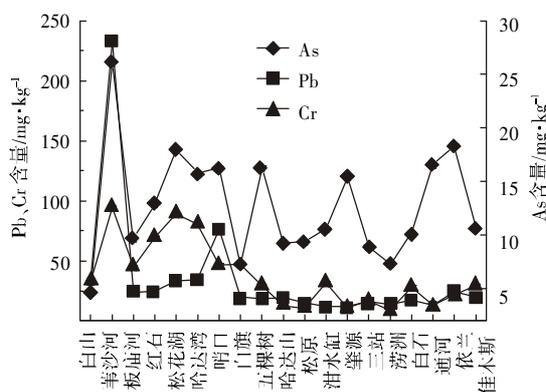


图 2 Pb、As、Cr 含量沿程分布图

Figure 2 Pb, As, Cr content in Songhua River sediments

江段;含量分布的高值区和低值区大致吻合,它们的沿程分布特征基本相似。对它们的含量进行 Pearson 相关分析,结果显示,这 3 种元素的含量存在明显的正相关关系,Pb 含量与 As、Cr 含量在 $P < 0.01$ 水平下显著正相关 ($r = 0.661, 0.599; n = 19$),As 与 Cr 的含量在 $P < 0.05$ 水平下呈显著正相关关系 ($r = 0.530; n = 19$),这表明在沉积物中 Pb、As、Cr 含量的沿程分布具有共同变化的趋势,一定程度上反映了松花江沉积物中 Pb、As、Cr 来源的相似性。

3 种元素含量的平均值、标准差及变异系数如表 1。

沉积物中 Pb、As、Cr 的含量范围分别为 12.1~232.4、4.6~26.1、9.0~94.4 mg·kg⁻¹; 平均含量分别为 34.8、12.8 和 37.9 mg·kg⁻¹。从表 1 中可以看出,3 种重金属含量的变异系数均较大,这体现了松花江沉积物中元素含量分布的高度空间异质性,其中 Pb 的差异性最大,Cr 次之,As 最小。重金属污染源的性质及人为活动的扰动可能是造成同种元素沿程含量变异系数较大的主要原因。

2.2 Pb、As、Cr 污染评价

采用地累积指数来定量评价松花江沉积物中 Pb、As、Cr 的污染程度,计算公式为

$$I_{geo} = \log_2(C_n / 1.5B_n) \quad (1)$$

式中: C_n 为元素实测含量, B_n 为该元素的背景含量。

沉积物重金属地累积指数分级与污染程度之间的相互关系见表 2。

表 2 沉积物重金属地累积指数与污染程度分级^[7]

Table 2 Geoaccumulation index of heavy metals in sediment and grading of pollution levels

地累积指数	级别	污染程度
<0	0	无
0~1	1	轻
1~2	2	中
2~3	3	中-强
3~4	4	强
4~5	5	强-极强
>5	6	极强

表 1 松花江沉积物中 Pb、Cr、As 的含量

Table 1 Pb, Cr, As concentrations in sediments of Songhua River

元素	最小值/mg·kg ⁻¹	最大值/mg·kg ⁻¹	平均值/mg·kg ⁻¹	标准差	变异系数
Pb	12.1	232.4	34.8	50.0	1.4
As	4.6	26.1	12.8	5.2	0.4
Cr	9.0	94.4	37.9	27.2	0.7

以六五期间调查的松花江沉积物背景数据^[12]为本研究的背景含量,计算地累积指数的结果见表3。

所有江段均存在一定程度的Pb污染,其中,处于轻度污染的江段为5个,板庙河等9个江段处于中度污染,松花湖等4个江段的地累积指数为2~3,处于中-强污染,哨口及苇沙河江段分别处于Pb强污染、强-极强污染程度,受到中等及中等以上Pb污染的江段占总数的73.7%。苇沙河等3个江段的As含量为中等污染,红石等13个江段的地累积指数为0~1,处于轻度污染程度,占总样品数的68.4%,白山等3个江段无As污染。由于大部分江段沉积物中Cr的含量低于松花江沉积物背景值,仅苇沙河等4个江段Cr的地累积指数处于0~1之间,其余江段均无Cr污染。

从受污染程度来看,沉积物中重金属污染程度由重到轻依次为:Pb、As、Cr。

2.3 Pb、As、Cr潜在生态风险评价

本研究采用潜在生态危害指数法对松花江沉积物中Pb、As、Cr的含量进行生态风险评价,定量给出它们存在的潜在生态风险程度,具体计算公式如下:

$$C_j^i = C_b^i / C_k^i; C_d = \sum_{i=1}^m C_j^i; E_r^i = T_r^i \times C_j^i; RI = \sum_{i=1}^m E_r^i \quad (2)$$

式中: C_j^i 为单项污染参数; C_b^i 为沉积物重金属*i*的实

测值; C_k^i 为沉积物背景参考值,本研究采用松花江表层沉积物的背景值^[12]; C_d 为多金属污染度; E_r^i 为单一重金属潜在生态风险指数; RI 为多金属潜在生态风险指数; T_r^i 为重金属生物毒性响应因子,反映了重金属的毒性水平以及生物对重金属的敏感程度。

以Hakanson^[9]制定的标准化重金属毒性系数为评价依据,Pb、As、Cr的值分别为5、10、2。 E_r^i 、 RI 及污染强度分级标准为: $E_r^i < 30$ 或 $RI < 110$ 为轻微生态风险; $30 \leq E_r^i < 60$ 或 $110 \leq RI < 220$ 为中等生态风险; $60 \leq E_r^i < 120$ 或 $220 \leq RI < 440$ 为强生态风险; $120 \leq E_r^i < 240$ 或 $RI \geq 440$ 为强生态风险; $E_r^i \geq 240$ 为极强生态风险^[9]。

所有江段沉积物中Pb、As、Cr的 E_r^i 、 RI 值见表3。

苇沙河江段Pb的 E_r^i 为211.3,存在强生态风险;哨口江段Pb的 E_r^i 高于60,有强生态风险;松花湖、哈达湾的 E_r^i 高于30,具有中等生态风险;其余江段沉积物中Pb的生态风险均较低。苇沙河、松花湖、依兰3个江段中As的 E_r^i 大于30,存在中等生态风险;其余江段沉积物中As的 E_r^i 值低于30,基本无生态风险。由于Cr的生物毒性响应因子($T_r^i=2$)较小,且大多数样品的Cr含量低于松花江流域沉积物Cr背景值,各江段沉积物中Cr的 E_r^i 均低于30,为轻微生态风险。Pb、As、Cr污染风险比较,由强到弱的顺序为:Pb、As、

表3 松花江沉积物中Pb、As、Cr地累积指数及生态风险指数

Table 3 Geoaccumulation index and potential ecological risk index of Pb, As, Cr in the sediments of Songhua River

采样点	$I_{geo}Pb$	$I_{geo}As$	$I_{geo}Cr$	$E_r^i Pb$	$E_r^i As$	$E_r^i Cr$	RI
白山	2.0	-1.0	-0.6	29.9	7.8	2.0	39.7
苇沙河	4.8	1.5	0.9	211.3	44.2	5.7	261.2
板庙河	1.5	0.1	-0.1	21.6	16.4	2.7	40.7
红石	1.6	0.5	0.5	22.6	21.8	4.2	48.6
松花湖	2.0	1.0	0.8	30.4	30.4	5.4	66.2
哈达湾	2.1	0.8	0.7	31.3	26.7	4.9	62.9
哨口	3.2	0.9	-0.1	69.8	27.5	2.8	100.1
白旗	1.3	-0.3	-0.1	18.2	12.2	2.9	33.3
五棵树	1.2	0.9	-0.7	16.9	27.6	1.8	46.3
哈达山	1.2	0.0	-1.9	17.7	15.7	0.8	34.2
松原	0.9	0.1	-2.2	14.0	15.9	0.6	30.5
泔水缸	0.6	0.2	-0.6	11.0	17.8	1.9	30.7
肇源	0.6	0.8	-2.1	11.0	26.1	0.7	37.8
三站	1.0	0.0	-1.5	14.9	15.1	1.0	31.0
涝洲	0.8	-0.3	-2.5	12.8	12.3	0.6	25.7
白石	1.1	0.2	-0.8	15.8	17.1	1.7	34.6
通河	0.7	0.9	-1.9	12.2	28.0	0.8	41.0
依兰	1.6	1.0	-1.2	22.2	31.0	1.3	54.5
佳木斯	1.3	0.2	-0.7	18.3	18.0	1.8	38.1

Cr, 且除少数江段外, 松花江沉积物中 Pb、As、Cr 的 E_i 多低于 30, 存在轻微生态风险。

由 3 种元素总潜在生态风险指数 RI 来看, 苇沙河江段的 RI 为 261.1, 存在较高的生态风险, 亟需对其进行污染治理, 同时采取必要的生态恢复措施, 避免重金属污染对生态系统造成危害; 哨口江段的 RI 为 100.1, 接近中等生态风险, 对生态环境的影响不容忽视; 其余江段沉积物中 Pb、As、Cr 综合污染的生态风险均较低。

由以上分析可见, 松花江沉积物受到了一定程度的 Pb、As、Cr 污染, 其中 Pb 污染最为严重, 需引起相关部门的重视。

3 结论

(1) 松花江表层沉积物中 Pb、As、Cr 的含量范围分别为 12.1~232.4、4.6~26.1、9.0~94.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 平均含量分别为 34.8、12.8 和 37.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。3 种元素含量分布的高值区与低值区基本吻合, 沿程分布特征相似; Person 相关分析的结果表明, 它们的含量之间存在明显的正相关关系, 同一江段的 Pb、As、Cr 污染可能存在相同或相似的污染源。

(2) 地累积指数法和潜在生态危害指数法评价的结果显示, 各江段均有一定程度的 Pb 污染, 73% 以上的取样点存在中等及中等以上程度 Pb 污染, 部分江段存在较高的潜在生态风险, 需要进行污染治理与控制; 除少数江段有 As 中等生态风险外, As 在多数江段尚未构成生态威胁; 沉积物中 Cr 对环境无生态风险。总体而言, 这 3 种金属污染程度由高到低依次为 Pb、As、Cr; 潜在生态风险指数为 $\text{Pb} > \text{As} > \text{Cr}$ 。

(3) 苇沙河江段处于 3 种元素综合污染极高风险程度, 存在较高生态风险, 需要对其进行污染治理; 哨口江段的 RI 接近中等生态风险, 有造成生态威胁的可能, 需要加以重视; 其余江段无 Pb、As、Cr 综合污染生态风险。

参考文献:

- [1] Kunwar P S, Dinesh M, Vinod K S, et al. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments—a tributary of the Ganges, India[J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 312:14–27.
- [2] 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.
- [3] Hakan Pekey. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52:1197–1208.
- [4] Chiu–Wen Chen, Chih–Ming Kao, Chih–Feng Chen, et al. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan[J]. *Chemosphere*, 2007, 66:1431–1440.
- [5] Muiler G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. *Geo Journal*, 1969, 2(3):108–118.
- [6] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. *Water Research*, 1980, 14(8):975–1001.
- [7] 贾振邦, 周 华, 赵智杰, 等. 应用地累积指数法评价太子河沉积物中重金属污染[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2000, 36(4):525–530.
- [8] Habes G, Nigem Y. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al–Arab Dam, Jordan [J]. *Chemosphere*, 2006, 65: 2114–2121.
- [9] 曹会聪, 王金达, 张学林. 吉林黑土中 Cd、Pb、As 的空间分布及潜在生态风险[J]. *中国环境科学*, 2007, 27(1):89–92.
- [10] 刘永懋, 王稔华, 翟平阳. 中国松花江甲基汞污染防治与标准研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [11] 苏 伟, 刘景双, 李 方. 第二松花江干流重金属污染物健康风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(6):1611–1615.
- [12] 余中盛, 王晓君, 刘玉青, 等. 松花江水系沉积物中重金属元素背景值[C]//余中盛, 何 岩, 阎百兴, 等. 区域环境研究文集. 北京: 北京科学技术出版社, 1992. 67–74.
- [13] 中国科学院长春地理所, 等. 松花江水系背景值研究[R]. 1985.
- [14] 李宏伟. 松花江水环境多介质汞的时空分布特征及生态风险评估[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2006.
- [15] 邵志国. 第二松花江汞污染净化规律及预测[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2005.
- [16] 吉林省环境保护局. 吉林省环境质量报告书(1996–2000)[R]. 2001.
- [17] 松辽流域城镇入河排污口普查课题组. 松花江流域城镇入河排污口普查研究报告[R]. 1994.