

乐安江沉积物重金属污染及生态风险性评价*

何孟常 王子健 汤鸿霄

(中国科学院生态环境研究中心国家重点环境水化学实验实, 北京 100085 E-mail: wangzj@mail.reces.ac.cn)

摘要 对 1987—1995 年期间所采集的乐安江表层沉积物中的重金属含量进行了统计分析和生态风险性评价。结果表明, 德兴铜矿的矿山酸性废水和洳水河河水, 使乐安江沉积物受到重金属的严重污染。沽口—香屯河段沉积物主要受到 Cu 严重污染, 戴村受到 Zn、Cu、Pb 等重金属的共同污染, 虎山—蔡家湾河段沉积物受到中等或轻度重金属污染。沉积物中 Cu 与 S、Fe 和水合氢氧化物有极显著的相关性, 偏相关分析表明沉积物中 S 是控制 Cu 含量的主要因素。Pb 主要与 Mn($r=0.9422$) 和 Fe($r=0.7271$) 元素呈显著相关性。Zn 与 Mn 显示极显著相关性($r=0.8081$)。并且, 乐安江沉积物具有潜在的生态危害性。

关键词 乐安江, 沉积物, 重金属污染, 生态风险性评价。

Pollution and Ecological Risk Assessment for Heavy Metals in Sediments of Le'an River

He Mengchang Wang Zijian Tang Hongxiao

(State key Lab. of Environ. Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

E-mail: wangzj@mail.reces.ac.cn)

Abstract By integrating and comparison of the experiment data collected during 1987 to 1995 on Le'an River, the pollution and ecological risk for heavy metals in sediments were assessed. The results showed that the sediments of Le'an River were heavily polluted due to discharge from Dexing copper mine and mines along the Jishui River. There were high contents of copper in sediment in the upstream (A04_ A06) due to the pollution from Dexing copper mine and high concentrations of zinc, copper and lead in sediments at site A07, and rather high concentrations of copper and zinc in the downstream (after site A07) due to the pollution from the upstream and Jishui River. The correlation coefficients between Cu against S, Fe or hydroxides were very significant. The analysis of partial correlation coefficients indicated that S was a main receptor for Cu in sediments. The correlation coefficients of Pb-Mn($r=0.9422$), Pb-Fe($r=0.7271$) and Zn-Mn($r=0.8081$) was also very significant. We concluded that the heavy metals in sediments possess potential ecological risk.

Keywords Le'an River, sediment, heavy metal pollution, ecological risk assessment.

关于酸性矿山废水的污染研究, 国外已有大量文献报道^[1,2]。为了阐明和评价中国江西德兴铜矿开采对乐安江及鄱阳湖水域的重金属污染及生态影响, 联合国教科文组织(UNESCO)、人与生物圈(MAB)研究计划、中国科学院和德国联邦研究和技术部, 从 1987—1995 年合作进行了一项生态合作研究计划(Cooperative Ecological Research Project, CERP), “乐安江-鄱阳湖区域重金属污染及生

态效应研究”为其中的一个项目(C2)。中德科学家合作, 利用地学、化学、生物和生态毒理学等方法, 对乐安江水体和沉积物中重金属的分布^[3-5]、吸附^[6]、迁移扩散^[7]、形态特征^[8]、毒性^[9,10]和生态效应^[11,12]等进行了广泛的研究, 取得了许多重要成果^[13-15]。

* 联合国教科文组织、人与生物圈“生态合作研究计划(CERP)”项目

何孟常: 男, 34 岁, 博士生

收稿日期: 1998-02-15

本文对 1987—1995 年间项目获取的大量数据, 进行整理, 综合评价了乐安江沉积物中重金属的污染及生态风险性。

1 数据来源及研究方法

数据主要取自“重金属污染及生态效应研究”课题数据库(CERP-DBMS), 沉积物样品的采集及分析方法, 参见 CERP 有关文献。沉积物中重金属浓度与主要化学性质的相关性分析在 SPSS for Windows(V6.0) 统计软件包上进行。研究区域及采样站位见图 1。

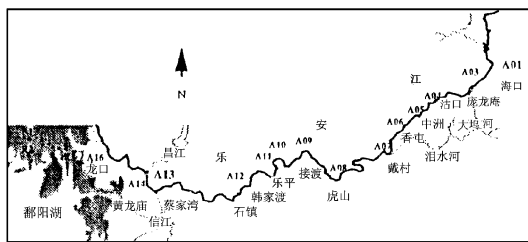


图 1 研究区域及采样站位

为了定量评价乐安江沉积物的潜在生态危害性, 采用瑞典学者 Hakanson 于 1980 年提出的潜在生态危害指数法进行评价^[16], 本研究选择评价的参数主要考虑对水生生物毒性大的 Cu、Pb 和 Zn 3 种元素, 根据潜在生态危害指数值(RI)的大小, 将乐安江沉积物重金属污染程度划分为 5 个等级: RI < 20 无污染, 20 RI < 80 轻污染, 80 RI < 160 中等污染, 160 RI < 240 重污染, RI ≥ 240 极重污染^[17]。

2 结果与讨论

2.1 乐安江沉积物中重金属富集倍数

据文献报道, 乐安江沉积物中 Cu、Pb 和 Zn 的背景浓度分别为 45、34 和 117 mg/kg。依背景浓度计算得出的沉积物富集倍数见图 2。上游海口河段基本上没有受到人为的 Cu 污染, 平均富集倍数小于 1。在沽口河段由于来自大坞河德兴铜矿酸性废水的污染, 此河段受到 Cu 极严重污染, 平均富集倍数达 64。之后, Cu 的浓度逐渐下降, 但在香屯站位 Cu 的浓度仍

相当高, 富集倍数为 48.3。泊水河对乐安江沉积物 Cu 污染的影响虽不如大坞河, 但近年上游德兴铜矿的影响减轻, 而泊水河的影响加重, 特别是沉积物中生物有效态 Cu 的含量增加。在戴村, Cu 的富集倍数为 22.5。在乐安江下游 A08—A13 各站位, 沉积物中 Cu 的浓度逐渐下降, 但到了蔡家湾仍维持比较高的水平, 富集倍数为 10.3。A14 至 A16 站位 Cu 的富集倍数为 4.6—5.5。沉积物中 Pb 的浓度变化, 在 A01—A06 站位之间, 除了 1993 年 A04 出现高浓度 Pb 污染外, 其余年份基本一致, Pb 的富集倍数为 1 左右。在戴村出现高浓度的 Pb 污染, 平均富集倍数为 6.1, 污染严重的 1993 和 1994 年, 分别达 9.1 和 17.2, 说明近年泊水河对乐安江的影响加重。在 A08—A13 各站位沉积物中 Pb 的浓度也基本一致, 富集倍数大于 2 点多。沉积物中 Zn 的污染趋势与铅基本一致, 也主要受到泊水河的污染。但是, 在乐安江的上游海口, 由于一活性炭工厂排放含 Zn 的废水, 沉积物中 Zn 的浓度比较高, 平均富集倍数达 2.7。在戴村站位, Zn 的富集倍数平均为 7.5。下游其余站位也受到不同程度 Zn 的污染, 富集倍数也比较高。

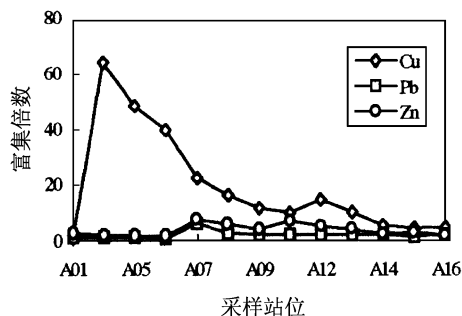


图 2 乐安江表层沉积物中重金属平均富集倍数(1987—1994)

2.2 沉积物中重金属含量与沉积物化学性质的关系

沉积物中重金属的含量受水体中重金属的负荷和沉积物-水界面环境条件(pH 和 Eh 等)的影响, 还受沉积物自身性质的显著影响。沉积物各组分与重金属之间的相关关系见表 1。沉积物中的 Cu 与 Fe、S 和水合氢氧化物有极显著的相关性, 对 3 个影响因素进行偏相关分析,

表明沉积物中的 S 是控制 Cu 含量的主要因素. Pb 主要与 Mn($r=0.9422$)和 Fe 元素呈显著相关性($r=0.7271$). Zn 与 Mn 显示极显著相关性($r=0.8081$), 主要由于 Zn 的氧化物或氢氧化物的共沉淀或吸附作用所致. 沉积物中

的 Pb 和 Zn 具有极显著相关性($r=0.8476$), 可进一步证实 Pb 和 Zn 来自相同的污染源. 另外, 对悬浮物和沉积物中各元素之间进行了相关分析, 发现沉积物和悬浮物中的 Cu 具有极显著相关性($r=0.8486$).

表 1 乐安江沉积物重金属浓度与主要地球化学性质的关系

元素	Fe	Mn	Al	S	Hydro.	Orgm.	Cu 的偏相关系数
Cu	0.9016 ²	ns	ns	0.9218 ²	0.8381 ²	ns	$r_{Cu,S/Fe,Hydr}=0.5986^{1)}$
Pb	0.7271 ¹⁾	0.9422 ²⁾	ns	ns	ns	ns	$r_{Cu,Hydr/Fe,S}=0.3362$
Zn	ns	0.8081 ²⁾	ns	ns	ns	ns	$r_{Cu,Fe/Hydr,S}=0.1814$

ns 无显著性 1) $0.01 < P < 0.05$ 2) $P < 0.01$

2.3 沉积物中重金属的生态风险性

潜在生态风险性指数值综合反映了沉积物中 Cu、Pb 和 Zn 的污染水平及潜在生态危害性(图 3). 结果表明, 海口(A01)沉积物基本上没有潜在的生态危害. 沽口(A04)至香屯(A05)河段, 由于受到大坞河酸性废水的污染, 沉积物具有极重或重度生态危害. 戴村(A07)站位, 由于受到洎水河的污染, 沉积物在 1989 和 1990 年属于中等和轻度危害. 但 1993 和 1994 年污染急剧加重, 说明洎水河近年对乐安江污染加重. 到了虎山(A08)之后, 直到蔡家湾和龙口, 沉积物仍有中等或轻度危害. 上述评价结果与水生生物评价结果基本一致^[11, 12].

另外, 根据文献报道的沉积物生物效应评价参比值^[18]和乐安江沉积物质量基准值(表

2), 对乐安江沉积物重金属的生物效性进行了评价. 其中, 乐安江沉积物质量基准的确定是选取生物及生态响应水平最低的上游海口样点作为基准主要参考值, 响应水平相对较低的接近鄱阳湖的下游龙口样点作为基准的辅助参考值. 结果表明(表 3), 乐安江沉积物中 Cu 的浓度除了海口站位低于各种生物效应评价参比值外, 其余样点都超过各种生物效应浓度, 并且超过乐安江沉积物基准辅助参考值. 沉积物中 Pb 的浓度只有戴村站位超过 ER-M 值和乐安江沉积物质量基准值. 沉积物中 Zn 的浓度, 在海口至香屯等站位都低于各种生物效应浓度, 戴村以下各站位都高于 ER-L、ER-M 和 AET 值, 并且 A07 和 A11 站位超过乐安江沉积物基准辅助参考值.

表 2 沉积物生物效应评价参比值

元素	ER-L ¹⁾	ER-M ²⁾	AET ³⁾	置性度 ⁴⁾	WSSQC ⁵⁾	乐安江沉积物基准 ⁶⁾	乐安江沉积物基准辅助参考值
Cu	70	390	300	H/H	390	190	330
Pb	35	110	300	M/H	450	190	830
Zn	120	270	160	H/H	410	790	800

1) ER-L, effects range-low 2) ER-M, effects range-median 3) AET, apparent effects threshold 4) L, low; M, medium; H, high 5) 美国华盛顿州沉积物质量基准 6) 乐安江水体沉积物质量基准值的制定见参考文献《江西乐安江-鄱阳湖水域重金属污染及其生态效应》(课题总报告), 中国科学院生态环境研究中心环境水化学国家重点实验室编. 1998-07

表 3 乐安江表层沉积物中主要重金属的超标情况

元素	A01	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A11	A12	A13	A14	A15	A16
Cu	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pb	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-

- : 未超标, + : 根据乐安江沉积物基准值确定为超标, + : 根据乐安江沉积物基准辅助参考值确定为超标

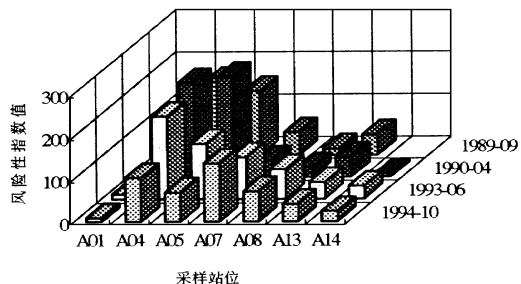


图3 乐安江沉积物潜在生态风险性指数变化

3 结论

通过多年的研究数据分析,认为乐安江沉积物受到重金属的严重污染,沽口(A04)—香屯(A06)河段主要受到Cu严重污染,戴村(A07)受到Zn、Cu和Pb等重金属的共同污染,虎山(A08)—蔡家湾(A13)河段沉积物受到中等或轻度重金属污染.近年,沽口河段重金属Cu污染呈下降趋势,而戴村河段Zn和Pb等元素污染加重.沉积物生态风险性指数评价结果表明,乐安江沉积物具有潜在的生态危害性.根据乐安江沉积物基准值评价表明,乐安江沉积物主要超标的重金属是Cu、Zn和Pb主要出现在戴村站位.

致谢 CERP项目的所有参加者为本文提供了大量原始数据,深表谢意.

参 考 文 献

- Boult S, Collins D N et al. Metal transport in a stream polluted by acid mine drainage-The Afon Goch, Anglesey, UK. *Environmental Pollution*, 1994, **84**(3): 279_ 284
- Cabrera F, Toca C G et al. Acid mine-water and agricultural pollution in a river skirting the Donana National Park (Guadimar River, South West Spain). *Water Research*, 1984, **18**(12): 1469_ 1482
- Lin Y and Li Q. The present change of heavy metal pollution in Le'an River-Poyang Lake. *China Environmental Science*, 1994, **5**(2): 110_ 115
- Yahya A and Song Y. Distributions of heavy metals in sediments and pore waters of Le'an River at Caijiawan. *China Environmental Science*, 1994, **5**(2): 105_ 109
- Ramezani N. Heavy-metal concentrations in sediment from the Le'an River to Poyang Lake. Final Report of the Co-operative Ecological Research Project (CERP). Published by the United Nations Educational, Scientific and

- Cultural Organization, printed in France, 1996. 21_ 23
- Du Q, Wen X and Tang H. Surface complexion model for the adsorption of heavy metal on the river sediment near-by Poyang Lake. *China Environmental Science*, 1994, **5**(2): 140_ 148
- Lin Y and Li Q. Study on the heavy metal speciation modeling in aquatic system of Le'an River. *Journal of Environmental Sciences(China)*. 1992, **2**(3): 100_ 108
- Mao M, Liu Z and Dong H. Distribution and speciation of metals in sediments along Le'an River. *Journal of Environmental Sciences(China)*. 1992, **2**(3): 72_ 81
- Wang H and Tang H. Toxic effects of the polluted sediments in Le'an River on Hydrobios. *China Environmental Science*, 1994, **5**(2): 165_ 168
- Wang Z, Ma M et al. Toxic assessment by Photobacterium phosphorum. *China Environmental Science*, 1994, **5**(2): 159_ 164
- Xu M, Gao Y et al. The relationship between the changes of plankton community structure and the metal pollution in Le'an River. *China Environmental Science*, 1994, **5**(2): 172_ 176
- Zhu J, Ren S et al. Preliminary study on the benthic macroinvertebrate community relating to the metal pollution in Le'an River. *China Environmental Science*, 1994, **5**(2): 177_ 181
- Tang H, Wang Z et al. Ecological impacts of heavy metal pollution from Dexing Copper Mine to Poyang Lake—Recent research progress in CERP—continual phase. *China Environmental Science*, 1994, **5**(2): 97_ 101
- Muller G and Tang H. Ecological effects of heavy-metal pollution in the Dexing Copper Mine region in Jiang Xi Province, China. Final report of the Co-operative Ecological Research Project (CERP). Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, printed in France, 1996: 13_ 16
- He M, Wang Z and Tang H. Spatial and temporal patterns of acidity and heavy metals in predicting the potential ecological impact on the Le'an River polluted by acid mine drainage. *The Sciences of the Total Environment*. 1997, **206**(1): 67_ 77
- Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Research*. 1980, **14**(8): 975_ 1001
- He M, Wang Z and Tang H. The chemical, toxicological and ecological studies in assessing the heavy metal pollution in Le'an River, China. *Water Research*, 1998, **32**(2): 510_ 518
- Kennicut M C, Wade T L et al. Sediment contaminants in Casco Bay, Maine: Inventories, Sources, and Potential Biological Impact. *Environ. Sci. Technol.* 1994, **28**(1): 1_ 15