

第二松花江中下游沉积物汞的时空变化规律

孙晓静^{1,2}, 王起超^{1*}, 邵志国^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 将 1973、1976、1983、1991 年和本次的研究结果进行对比分析, 得出了第二松花江中下游表层沉积物汞含量的时间变化规律. 1976 年以前汞含量处于增加趋势; 1976 ~ 1982 年汞含量有所下降; 1982 年汞污染源被切断, 汞含量骤降; 随后, 汞污染浓度处于缓慢净化时期. 将本次采集的沉积物样品分为 3 个粒度等级, 最后以 63 μm 粒级的沉积物汞含量为代表分析了汞的水平变化规律, 总体趋势是, 排污口处汞含量最高; 哨口至朝阳桥断面汞含量增加; 朝阳桥至五家站断面, 汞含量骤降, 在五家站断面汞含量达到最小值; 五家站至洺水缸断面汞含量又略有增加. 并给出了本次研究中各断面沉积物汞的垂直变化规律.

关键词: 第二松花江; 沉积物; 汞含量; 变化规律

中图分类号: X131.2; X143 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)05-1062-05

Temporal and Spatial Variation Rule of Mercury in Sediments in Middle and Lower Reaches of the Second Songhua River

SUN Xiao-Jing^{1,2}, WANG Qi-Chao¹, SHAO Zhi-Guo^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. Graduate School of Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Temporal variation rule of mercury during 1973, 1976, 1983, 1991 and 2004 in surface sediments from the Second Songhua River was get. Mercury levels increased before 1976 and decreased on a certain extent in 1976 ~ 1982; mercury pollution source was halted in 1982, so mercury levels fell greatly; in the following years, mercury levels was in the slow purification time. Sediment samples taken this time were divided into three granularity scales. Based on sediments of 63 μm granularity, the horizontal variation rule was analyzed. Mercury levels reached the maximum at the pollution source site, increased from Shaokou Segment to Chaoyangqiao Segment, and fell largely from Chaoyangqiao Segment to Wujiashan Segment, where mercury levels attained the minimum. And mercury levels slightly increased from Wujiashan Segment to Ganshuigang Segment. In addition, the vertical variation rule of mercury levels in sediments of typical segments was shown.

Key words: the Second Songhua River; sediments; mercury levels; variation rule

第二松花江(以下简称二松)是东北地区的主要河流, 在 20 世纪 60 ~ 80 年代吉林化学工业公司电石厂向二松排放含有高浓度汞的乙醛生产废水, 致使其成为我国典型汞污染水体之一^[1]. 在汞输入高峰期, 汞的输入速率与日本水俣病发生区水俣湾的汞输入水平相近^[2]. 1982-10 该厂改变了生产工艺, 二松水体中汞和甲基汞污染水平均急剧下降. 此后, 二松水体进入汞净化时期. 关于二松沉积物中汞的历史污染状况已有相关报导^[2~7]. 为分析二松沉积物中汞的时间变化规律, 在 2003 ~ 2004 年期间对二松沉积物的汞污染现状再次进行了系统研究, 为分析沉积物中汞的空间变化规律, 对二松典型断面沉积物汞含量的水平分布和垂直分布分别进行了研究.

1 材料与方法

1.1 采样断面的布设和样品的采集

为了与历史资料对比, 采样断面的设置与

1973、1976、1983 和 1991 年的相一致. 于 2003-08、2003-11、2004-06、2004-09 沿二松中下游流域进行采样, 采样断面布局图如图 1 所示. 各采样断面至排污口的距离, 如表 1 所示.

沉积物用铁制采样器采集, 每一断面的沉积物按剖面分层采样, 每层 10 cm, 采样深 50 cm. 将采集的样品挑拣去除植物残体、瓦砾及较大砾石, 立即装入聚乙烯袋中密封, 以减少它们在大气中的过多暴露时间, 带回实验室.

1.2 样品的处理和分析

沉积物样品在实验室内阴干、研磨后, 用 63 μm 、0.18 mm 和 0.5 mm 目尼龙筛筛分, 采用

收稿日期: 2006-06-01; 修订日期: 2006-07-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40371100); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-437); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2004CB418502)

作者简介: 孙晓静(1981 ~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为环境污染与控制, E-mail: xiaojingsun2002@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wangqichao@neigae.ac.cn

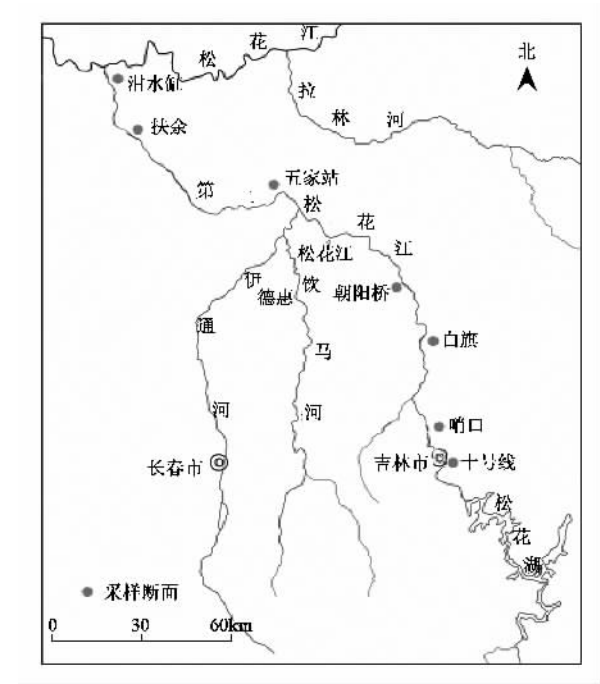


图 1 采样断面布局

Fig.1 Distribution of sampling segments

V₂O₅-HNO₃-H₂SO₄法消解,具体操作见参考文献[8], 20%的 SnCl₂ 作为还原剂,用 F732-V 冷原子吸收测汞仪(上海华光)测定样品中总汞的含量(本研究所提及的汞含量均指总汞含量).测样品中总汞含量前先作标准曲线,标准曲线的相关性要达到 99.99% 以上,才能进行样品的测定.测定的准确度用环境标准参考样品 GSS-5(GBW-07405)进行检验,回收率为 94.1% ~ 102.3% .

表 1 二松中下游每个断面到排污口的距离

Table 1 Distances from different segments to the pollution source site in the Second Songhua River							
采样断面	十号线	哨口	白旗	朝阳桥	五家站	扶余	泔水缸
距离/km	0	21	65	93	189	294	334

2 结果与讨论

2.1 二松中下游表层沉积物汞的时间变化规律

由于 1973 年和 1983 年二松中下游的中深层沉积物(10 ~ 50 cm)汞含量数据不可获得,因此只能对表层沉积物(0 ~ 10 cm)汞含量的时间变化规律进行分析.参考 1973 年和 1976 年汞污染严重时期、1983 年汞污染缓解时期和 1991 年汞污染净化时期的研究成果^[6,7],得出每个断面汞含量的时间变化规律,如图 2 所示.

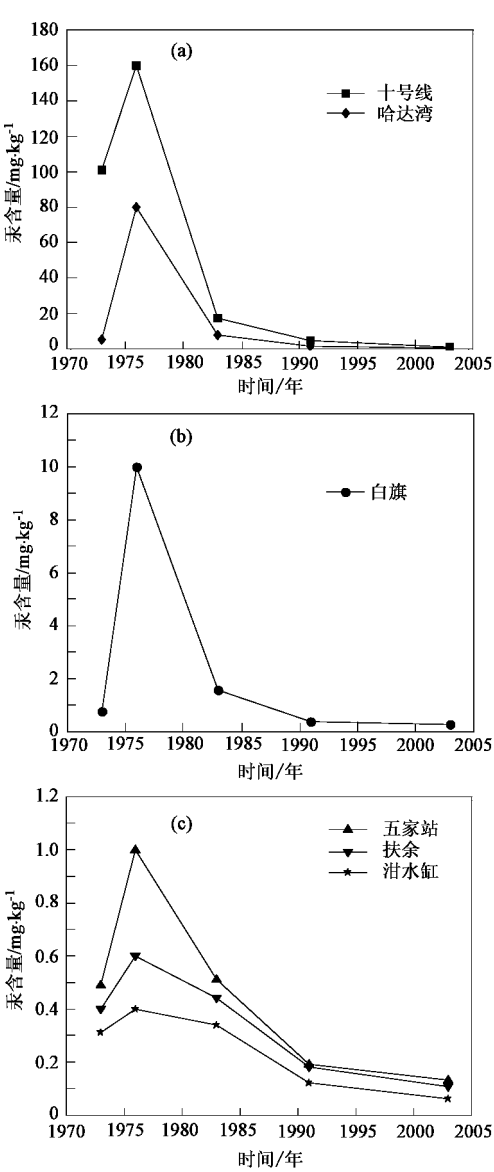


图 2 典型断面表层沉积物总汞含量的时间变化规律

Fig.2 Temporal variation rule of total mercury levels in typical segments along the Second Songhua River

从图 2 中可以看出,这些断面汞含量的时间变化规律基本一致:在 1973 ~ 1976 年(污染源切断之前),每个断面汞含量均呈增加趋势,1976 年开始采取一些治理措施,汞含量有所下降,1982 年切断汞的工业污染源后,所有断面汞含量均下降,只是降幅有所不同.十号线、哈达湾和白旗断面离排污口较近,其沉积物汞含量 1983 年比 1976 年降低了几十倍至百倍,这是由于切断汞污染源对其产生了直接影响;五家站、扶余和泔水缸由于离排污口较远,其表层沉积物汞含量相对较低,切断污染源虽然也导致其汞含量降低,但降低的绝对含量小.1983 ~ 1991 年,十号线、哈达湾和白旗断面汞含量降低程度明显

小于 1983 年比 1976 年的降低程度;从斜率来看,五家站、扶余和泔水缸断面 1983 ~ 1991 年与 1976 ~ 1983 年汞含量的降低程度相似,1983 ~ 1991 年各断面汞含量的降低是通过江水的自然净化和政府的综合防治实现的.1991 ~ 2004 年所有断面汞含量降低缓慢,主要通过江水的自然净化来实现,进入相对稳定阶段.二松沉积物汞含量的背景值为 $0.036 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[9],目前每个断面表层沉积物的汞含量仍然高于其环境背景值.

2.2 二松中下游沉积物汞的空间变化规律

空间变化规律从 2 个角度进行介绍,即水平变化规律和垂直变化规律.

2.2.1 二松沉积物中下游汞的水平变化规律

所选二松中下游断面到排污口的距离如表 1 所示.将本次采集的每个断面的表层(0 ~ 10 cm)、中层(10 ~ 30 cm)和深层(30 ~ 50 cm)沉积物样品分别研磨至通过 $63 \mu\text{m}$ 、 0.18 mm 和 0.5 mm 尼龙筛.陈静生等^[10]研究表明小于 63 粒级的沉积物重金属含量可代表整个沉积物重金属含量的合理性,在此给出了排污口处(十号线)不同粒度沉积物汞含量的分布,如图 3 所示.从图 3 中可以看出, $63 \mu\text{m} > 0.18 \text{ mm} > 0.5 \text{ mm}$ 粒级的沉积物汞含量,说明汞大多吸附在细粒级的沉积物上,结果符合陈静生等所得结论.因此,为避免繁琐,在分析沉积物汞含量的水平变化规律时,以测得的 $63 \mu\text{m}$ 粒级沉积物的汞含量为基准来进行研究.

将同一断面不同深度的汞取均值后作为断面汞含量.由于排污口处沉积物汞含量较高,且为了上述验证陈静生等所得的粒度分布规律,所以将十号线沉积物汞含量单独作图.其他断面沉积物汞含量如图 4 所示.结合图 3 和图 4,可以看出(就每个断面不同深度沉积物汞含量的均值而言)汞含量的水平变化规律,十号线断面沉积物汞含量最高,达 $7.203 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,因其位于排污口处.哨口至朝阳桥断面,汞含量呈增加趋势,排污口除外的断面中,朝阳桥汞含量达到了最高值($1.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),这可能与沉积物性质有关,因为朝阳桥断面所采到的为泥质沉积物,粒度小,所以汞含量高(见图 3).朝阳桥至五家站断面,汞含量骤减,这与距排污口的远近有关,距排污口越远,通过江水的进一步稀释和沉积物的吸附,则汞含量越低.五家站断面表层沉积物汞含量达到最小值,为 $0.167 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.五家站-扶余-泔水缸断面汞含量略有增加,这一方面与沉积物性质有关,在五家站基本没采集到泥质沉积物;另一方面,扶余石油炼

治厂工业废水、松原市生活污水和工业用水的排放,使扶余和泔水缸断面汞含量增加;再者,与上游沉积物的迁移有关.

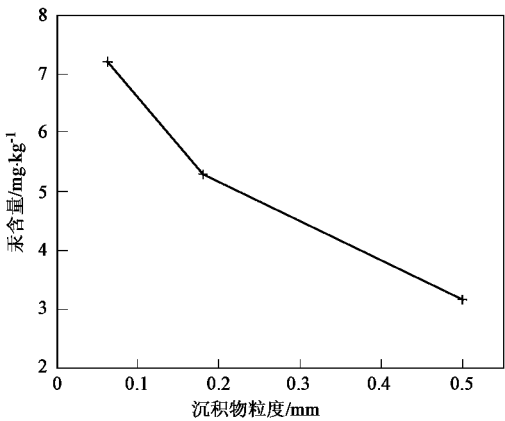


图 3 排污口处不同粒度沉积物的汞含量

Fig.3 Mercury levels in sediments of different granularity at the pollution source site

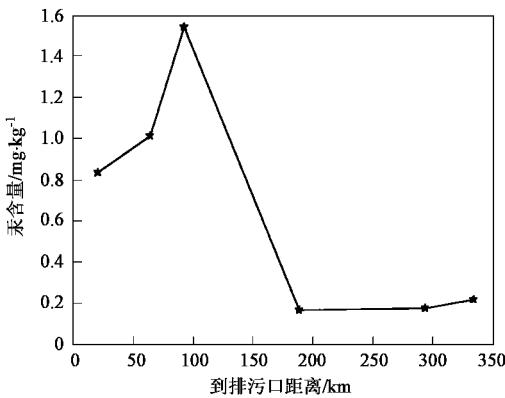


图 4 沉积物中汞含量的水平变化规律

Fig.4 Horizontal variation rule of mercury levels in sediments

2.2.2 二松中下游沉积物汞的垂直变化规律

为充分说明二松中下游沉积物汞含量的垂直变化规律,将本次采集的每个断面沉积物每隔 10 cm 的数据列出,直至深 50 cm,如表 2 所示.由于城市建设、开辟沙场和修建旅游景点等人类活动对二松流域的部分江岸进行了修整(如哈达湾、九站、扶余、泔水缸断面),甚至有的江岸成了采沙场的堆沙场所(如哨口、白旗断面),有的断面只能采到江岸一侧的沉积物,因此在下列数据中部分断面列出了左右岸,其它断面只列了一岸.

表 2 中,十号线-1、十号线-2、十号线-3 和十号线-4 是十号线右岸分别距江水距离为 1、2、5 和 8 m 的采样点;哨口-1 为哨口右岸距江水 10 m

表 2 典型断面沉积物汞含量的垂直分布/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 2 Vertical distribution of mercury levels in sediments at typical segments/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

断面	深度/cm					断面	深度/cm				
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50		0~10	10~20	20~30	30~40	40~50
十号线-1	0.661	2.936	7.527	0.765	0.336	白旗左-3	1.281	3.037	1.168	0.028	0.037
十号线-2	0.395	3.035	14.590	10.591	8.694	白旗右-1	0.478	0.447	0.253	0.253	0.095
十号线-3	1.301	0.917	2.651	5.188	4.720	白旗右-2	0.136	0.119	0.078	0.116	0.043
十号线-4	1.813	1.498	1.409	1.858	2.533	朝阳桥左-1	0.455	0.277	0.140	0.398	0.633
哨口-1	0.401	0.472	0.822	0.622	0.542	朝阳桥左-2	0.368	0.409	0.521	0.695	0.262
哨口-2	0.226	0.270	0.384	0.260	0.155	朝阳桥右-1	1.271	0.146	0.111	0.116	0.385
哨口-3	0.938	0.119	0.107	0.122	0.099	朝阳桥右-2	0.032	0.821	0.591	0.661	0.387
哨口-4	0.550	0.770	0.575	0.511	0.531	五家站左	0.034	0.012	0.026	0.105	0.016
白旗左-1	0.762	0.593	0.092	0.131	0.134	五家站右-1	0.073	0.118	0.218	0.169	0.129
白旗左-2	0.738	0.908	1.620	2.114	1.295	五家站右-2	0.562	1.048	1.347	0.658	0.273

的黑色沙质沉积物,哨口-2、哨口-3、哨口-4 分别为哨口右岸距江水 1、3 和 5 m 的采样点;白旗左-1、白旗左-2、白旗左-3 分别距江水 1、2 和 3 m,白旗右岸的 2 个样品白旗右 1 和白旗右 2 分别距江水 1 m、3 m;朝阳桥左-1、朝阳桥左-2 和朝阳桥右-1、朝阳桥右-2 是在朝阳桥左岸和右岸距江水边 1 m 和 3 m 处的采样点;五家站左为五家站左岸距离江水边 1 m 的样品,五家站右 1、五家站右 2 分别是右岸距江水边 1 m 的沙质样品和灰黑泥质样品.将表中每个断面多个采样点的同一深度沉积物汞含量取均值,所得每个断面沉积物汞含量的垂直变化规律如图 5 所示.

从图 5 中可以看出,二松中下游典型断面沉积物汞含量的垂直变化规律大致分 2 大类型:十号线、白旗、五家站和泔水缸断面为 1 类,均为中层沉积物(10~30 cm)汞含量最高.白旗和泔水缸的汞含量最高值出现在 10~20 cm,十号线和五家站的汞含量最高值出现在 20~30 cm,这与沉积物的性质和水文条件有关,白旗和泔水缸在 10~20 cm 深度采集到泥质沉积物;而十号线和五家站的泥质沉积物在 20~30 cm 深度.十号线表层沉积物在污染源切断后被清除外运,清除深度在 2 m 左右,长度为 800 m 左右,并在上面覆盖了 1~2 m 厚的砾砂土,覆盖砂土本来未受到汞污染,但汞浓度达到了 $1.403\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,说明受污染的沉积物中的汞在涨落江水的浸泡过程中发生了迁移并逐渐向上部移动,致使上部的覆盖砂土被汞污染.中层沉积物汞含量达到最高值的这一类,说明受水作用影响,表层沉积物净化速率快,下层慢.哨口、朝阳桥和扶余断面沉积物汞含量的垂直分布为第 2 大类.汞含量最高值出现在表层沉积物.哨口和朝阳桥断面中深层沉积物的汞含量比较均化,扶余断面沉积物汞含量随深度的增

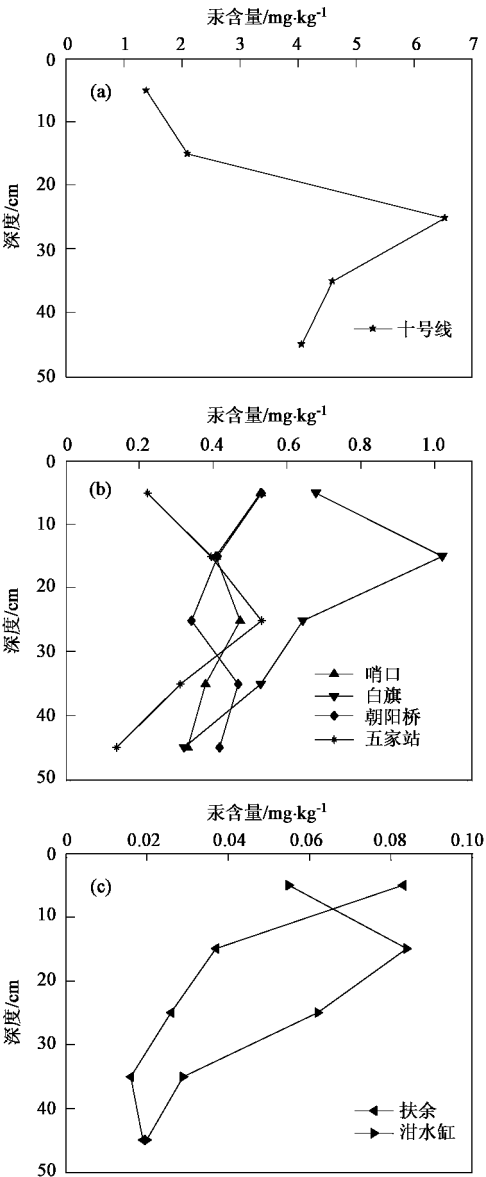


图 5 典型断面沉积物汞含量垂直变化规律

Fig.5 Vertical variation rule of mercury levels in sediments at typical segments

加而降低.

3 结论

(1) 二松中下游表层沉积物汞的时间变化规律:1976 年以前汞含量处于增加趋势;1976 年开始采取了一些治理措施,汞含量有所下降;1982 年汞污染源被切断,在切断污染源的最初几年,汞含量骤降,随后,汞污染浓度处于缓慢净化时期.目前二松中下游表层沉积物汞含量仍然高于其环境背景值.

(2) 二松中下游沉积物汞的水平变化规律:粒度越小的沉积物含汞量越高,以 63 μm 粒级的沉积物汞含量为代表,所得结果为排污口处汞含量最高,五家站汞含量最低;哨口至朝阳桥断面汞含量增加,朝阳桥至五家站断面,汞含量骤降,五家站至泔水缸断面汞含量又略有增加.

(3) 二松中下游沉积物汞的垂直变化规律:不同断面汞含量在垂直方向上变化不同,大致分为 2 大类,1 类为中层沉积物汞含量最高,可能会造成二次污染;另 1 类为表层沉积物汞含量最高.

参考文献:

[1] 王起超,王书海,王稔华.第二松花江沉积物中汞形态分布

[J]. 环境污染与防治,1985,7(1): 11~15.

[2] 王起超,王书海,王稔华.第二松花江水中不同形态汞迁移规律的研究[R]. 长春:中国科学院东北地理与农业生态研究所,1984. 79~88.

[3] 王稔华,富德义,郝天朝,等.第二松花江与松花湖沉积物汞污染调查报告[R]. 长春:中国科学院东北地理与农业生态研究所,1975. 1~18.

[4] 郝天朝,刘桂琴,王稔华.汞在第二松花江沉积物中赋存形态的初步研究[R]. 长春:中国科学院东北地理与农业生态研究所,1979. 1~16.

[5] 王稔华,王书海,富德义,等.第二松花江汞输入途径与输入强度的研究[R]. 长春:中国科学院东北地理与农业生态研究所,1982. 1~25.

[6] 王稔华,王书海,王起超.第二松花江汞污染规律和恢复途径的研究综合报告[R]. 长春:中国科学院东北地理与农业生态研究所,1984. 51~56.

[7] 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. 1~385.

[8] 张磊,王起超,邵志国.第二松花江下游居民发汞水平及影响因素分析[J]. 环境科学研究,2005,18(6): 113~115.

[9] 余中盛,孟宪玺,朱颜明,等.对第二松花江流域环境背景值的研究[A]. 见:第二松花江环境科学论文集[C]. 吉林:吉林人民出版社. 1982. 24~33.

[10] 陈静生,王飞越,陈江麟.论小于 63 μm 粒级作为水体颗粒物重金属研究介质的合理性及有关粒级转换模型研究[J]. 环境科学学报,1994,14(4): 419~425.