

松花江鱼类中汞含量的演变趋势及其生态风险评价

路永正¹, 阎百兴¹, 李宏伟¹, 王明军², 郭立英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.长春科技创业服务中心, 吉林 长春 130012)

摘要:对第二松花江白山、哨口、五棵树以及松花江干流肇源、依兰、佳木斯和同江 7 个断面中 12 种鱼类中总汞含量分析, 并利用单项评定指数法对鱼类中汞污染生态风险进行评价。结果表明, 第二松花江白山至五棵树江段鱼类总汞含量逐渐增加, 主要与江中的采沙活动有关, 而松花江干流肇源至同江江段变化不显著。肉食性鱼类总汞含量最高(0.103~0.220 mg·kg⁻¹), 而草食性鱼类最低, 为 0.006 mg·kg⁻¹。松花江鱼类总汞含量自 1973 年以来逐渐降低并且趋于平稳。目前, 大多数鱼类都处于无生态风险或低生态风险水平。

关键词:松花江; 鱼类; 汞; 演变趋势; 生态风险评价

中图分类号:X820.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)06-2430-04

The Evolution Rule and Ecology Risk Assessment of Mercury in Fish of Songhua River

LU Yong-zheng¹, YAN Bai-xing¹, LI Hong-wei¹, WANG Ming-jun², GUO Li-ying²

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130012, China; 2. Changchun Science & Technology Innovation Serving Center, Changchun 130012, China)

Abstract: The contents of mercury in 12 kinds of fish sampled in Baishan, Shaokou, Wukeshu sections of Dier Songhua River, and Zhaoyuan, Yilan, Jiamusi and Tongjiang sections of Main Songhua River were analyzed, and the ecology risk of mercury pollution in fish was assessed too based on single evaluation index. The results indicated that the content of mercury in fish of Baishan was the lowest, and the highest concentration was found in Wukeshu, which gradually increased from Baishan to Wukeshu section in Dier Songhua River. This reason was mainly attributed to sand-digging activity in watercourse. But the contents changed slightly from Zhaoyuan to Tongjiang in Main Songhua River and nearly kept a constant. The contents of mercury in fish of different species followed the order as flesh-eater>polyhagia>herbivorous-eater, the highest(0.103~0.220 mg·kg⁻¹) in parasiburus asvtus, and the lowest in herbivorous fish, only 0.006 mg·kg⁻¹. In addition, comparing with the historic data, the change of mercury contents in fish of Songhua River could be divided two phases, an initial rapid decrease from 1973 to 1990 is followed by stable phase from 1990 to 2005. In present, most of fish show no or low ecology risk based on the risk assessment. The mercury contents in fish would keep lower level if no extensive disturbing activity would be occurred.

Keywords: Songhua River; fish; mercury; evolution law; ecology risk assessment

20 世纪 50 年代起, 松花江沿岸化工厂长期将大量未经处理的化工、冶金工厂废水直接排入江中, 使水体污染达到十分严重的地步。其中, 以汞污染最为严重^[1-2]。汞的环境行为复杂, 通过生物作用或非生物作用可以使环境中的无机汞转化为毒性很大的甲基汞, 并通过食物链对人体产生极大的危害, 具有强烈

的致畸、致癌和致突变性^[3-5]。六七十年代, 松花江沿岸曾发生渔民由于食用被汞污染的鱼类造成甲基汞中毒事件^[6]。80 年代, 工业生产采用新工艺, 切断汞的污染源, 但仍有大量汞在江中沉积。然而, 自 90 年代以来, 松花江河道中人类活动明显增多, 自吉林市的哨口以下沿江大量的采沙过程加速了江水的扰动, 使沉积物中沉积的汞重新悬浮, 再次进入水体而形成二次污染。因此, 有必要开展对松花江鱼体内汞含量的研究, 了解不同鱼种及不同断面中汞含量的分布特征及存在的生态风险。

收稿日期: 2008-02-25
基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2004CB418502)
作者简介: 路永正(1970—), 男, 吉林省长春市人, 博士, 主要从事水环境污染物质迁移转化规律研究。E-mail: luyongzheng@163.com

本文通过分析松花江水体各种鱼类中汞的含量,并且与历史状况进行对比,同时对鱼类中汞污染进行生态风险评价,以了解松花江鱼类汞污染的变化趋势及存在的生态风险。

1 实验方法

1.1 样品的采集

于 2005 年 8 月在第二松花江白山、哨口、五棵树以及松花江干流肇源、依兰、佳木斯和同江共 7 个断面采集水下沉积物样品和 12 种鱼类样品,取出鱼类背部肌肉组织,用密封袋包好,立即放入低温冰柜冰冻保存,运回实验室测定鱼类体内的汞含量。沉积物样品采集后放置阴凉干燥处,自然风干,剔出草棍、石块等杂物,经碾碎、研磨后过 240 目筛。主要采集的鱼种类、食性和采集的数量如表 1 所示。

表 1 主要采集的鱼种类

Table 1 Fish species sampled in this study		
鱼 种	食性	数量
拟赤梢鱼(<i>Pseudaspius leptocephalus</i>)	肉食	5
鳊鱼(<i>Siniperca chuatsi</i>)	肉食	4
鲶鱼(<i>Silurus asotus</i>)	肉食	3
鲈塘鳢(<i>Perccottus glehni</i>)	肉食	8
棒花鱼(<i>Abbottina rivularis</i>)	杂食	12
泥鳅(<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)	杂食	6
麦穗鱼(<i>Pseudorasbora parva</i>)	杂食	8
蛇鮈(<i>Saurogobio dabryi</i>)	杂食	16
鲫鱼(<i>Carassius auratus gibelio</i>)	杂食	23
鲢鱼(<i>Phoreus sericeus</i>)	杂食	5
餐鲦(<i>Himeculter leuciculis</i>)	杂食	19
草鱼(<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	草食	2

1.2 样品分析

鱼类样品中总汞含量的分析采用 V₂O₅-H₂SO₄-HNO₃ 消解体系进行^[7]。消解液中汞的含量采用样品加入 BrCl 溶液氧化,再用 SnCl₂ 溶液还原,然后利用 F732-V 型测汞仪测定。

1.3 生态风险评价方法

本文根据单项评定指数评价松花江鱼类的生态风险,具体方法为:

$$P_i=C_i/C_0$$

式中: P_i 为生态风险评价指数; C_i 为实测值; C_0 为标准值。

以 WHO 标准中存在潜在风险的汞含量值为标准值,即 $C_0=0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,以我国食品卫生标准 0.3

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 WHO 标准 $0.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 为临界值。根据计算出的 P_i 值来确定汞的生态风险水平。

$P_i\leq 1(C_i\leq 0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1})$ 为无生态风险;

$1<P_i\leq 1.5(0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}<C_i\leq 0.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1})$ 为低生态风险水平;

$1.5<P_i\leq 2.5(0.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}<C_i\leq 0.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1})$ 为较高生态风险水平;

$P_i>2.5(C_i>0.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1})$ 为高生态风险水平。

2 结果与讨论

2.1 不同江段的鱼中总汞分布特征

由于本研究所布设的 7 个采样点中都可以采集到鲫鱼和餐鲦样品,因此选择这两个鱼种为代表,分析松花江不同江段的鱼类中总汞含量的变化。松花江 7 个采样断面中鲫鱼和餐鲦总汞含量变化如图 1 所示。

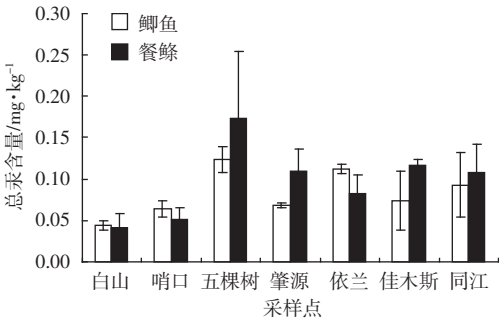


图 1 松花江各断面鲫鱼和餐鲦的总汞含量

Figure 1 Total mercury concentration of fish in different sites of Songhua River

从图 1 中可以看出,白山水库的鲫鱼和餐鲦的总汞含量最低,分别介于 $0.038\sim 0.051\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $0.022\sim 0.065\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均值分别为 $0.043\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.041\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。五棵树江段鲫鱼和餐鲦的总汞含量最高,分别介于 $0.105\sim 0.142\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $0.091\sim 0.265\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均值分别为 $0.124\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $0.178\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。总体来说,第二松花江江段总汞含量波动较大,白山至五棵树江段,鱼中总汞含量逐渐增加;而在松花江干流,鱼类中总汞含量的变化不明显。

白山水库位于松花江上游地区,不存在汞的污染源,因而鱼中总汞含量较低,与鱼体内总汞背景值接近($0.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[1]。目前,松花江水体中的汞主要来自第二松花江中游的高汞沉积物所形成的次生污染源。各采样断面的沉积物中汞含量如图 2 所示。哨口及五棵树断面的汞含量要远大于其他几个采样断面,

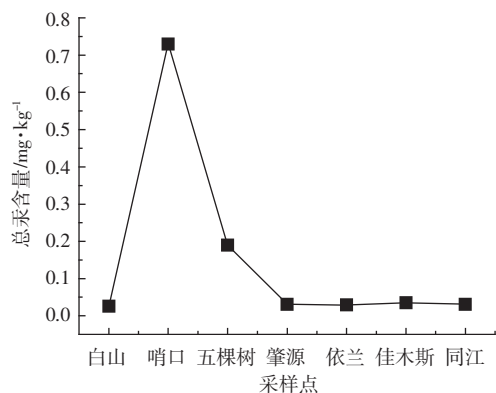


图2 各采样断面沉积物中总汞含量

Figure 2 The total mercury concentration of sediments in different sites

分别达到 $0.731 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.195 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

由于哨口以下江段人类挖沙活动规模较大,使沉积物中的汞受到扰动而重新释放到水中,进入水中的汞经食物链而进入鱼体。江水中汞含量越高,鱼类体内所富集的汞浓度越大。哨口断面江水中汞含量为 $0.094 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 五棵树断面为 $0.173 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 所以,江水中汞含量的差异导致鱼体内含汞量表现为五棵树断面>哨口断面>白山断面。上游沉积物向水中释放的汞,随水流迁移进入松花江干流,因而肇源、依兰、佳木斯和同江江段鱼中总汞含量也保持在相对较高的水平($0.070 \sim 0.128 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),波动幅度不大。

2.2 不同鱼种的总汞分布特征

松花江同江断面采集的9种鱼类中的总汞含量分布如图3所示。

根据图3分析结果,肉食性鱼(拟赤梢鱼、鳊鱼、鲢鱼)中的总汞含量相对较高,为 $0.103 \sim 0.235 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中拟赤梢鱼的总汞含量最高为 $0.175 \sim 0.295 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均为 $0.235 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其次为鳊鱼, 总汞含量为

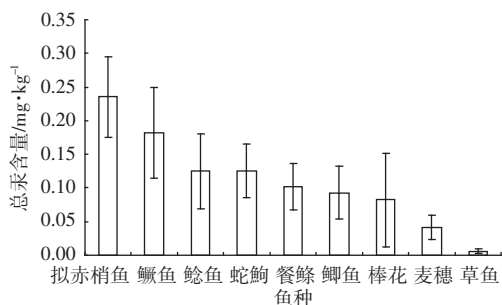


图3 松花江同江断面不同鱼种中汞含量

Figure 3 Mercury concentration in fish of different species in Tongjiang of Songhua River

$0.114 \sim 0.251 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均为 $0.182 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。再次为鲢鱼, 平均为 $0.125 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

杂食性鱼(蛇鮈、餐鲦、鲫鱼、棒花鱼、麦穗鱼)的总汞含量较低, 介于 $0.041 \sim 0.126 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $0.088 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中蛇鮈的总汞含量最高, 介于 $0.042 \sim 0.196 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $0.126 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。总汞含量最低的为麦穗鱼, 介于 $0.023 \sim 0.059 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $0.041 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

草食性鱼(草鱼)的总汞含量在各种鱼类中最低, 仅为 $0.006 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

如果鱼类生活环境中的汞水平相同, 则它们的生态学特性成为不同种鱼类平均含汞量之间差异的主要影响因素。肉食性鱼如鲢鱼等平均汞含量比杂食性鱼如鲫鱼、麦穗鱼等的平均汞含量高, 如鲢鱼中汞的含量为 $0.125 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比江水中汞($0.061 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)高 2 049 倍, 而麦穗鱼中汞的含量为 $0.041 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比江水中汞高 672 倍, 造成这种结果的主要原因是底层食肉性鱼类的食物链很长, 食物链越长的鱼类对汞的富集能力越强, 其体内含汞量也就越高。

2.3 鱼体内总汞含量的年际变化趋势

将 2005 年松花江各种鱼平均、鲢鱼和鲫鱼总汞含量的分析结果与 1973—2004 年的分析数据进行对比^[1], 得到松花江鱼类中总汞含量的时间变化趋势, 结果见图4。

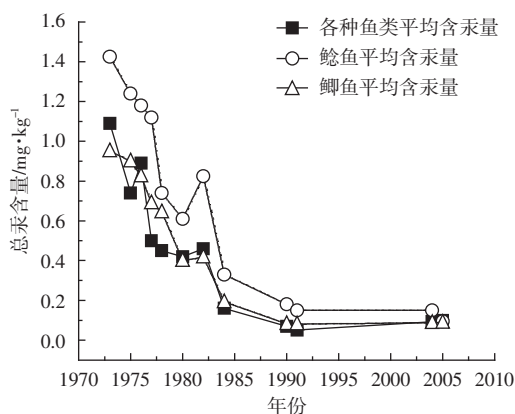


图4 松花江各种鱼中平均汞含量时间变化过程

Figure 4 Temporal distribution of mercury concentration in fish of Songhua River

总体看来, 松花江鱼中总汞含量水平的变化趋势, 可以分为 1973—1976 年的高污染阶段, 1976—1990 年的大幅度下降阶段, 和 1990—2005 年的逐步稳定阶段。

1973—1976 年, 为松花江汞污染的高峰期, 江水

中的总汞浓度较高,在汞的主要排放口(吉化东十号线)下游,其总汞检出值达 $12.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,因而鱼中的总汞含量很高,达到 $1.09\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。1976—1990 年,尤其是 1982 年汞污染源的彻底根断,随着汞排放的逐年减少,鱼中的总汞含量也是逐渐降低,至 1990 年,降低到一定程度($0.077\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)后,基本稳定。而 1990—2005 年,鱼中总汞含量略有上升,但波动范围不大,由 1990 年的 $0.077\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,达到 2005 年的 $0.093\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

由此可见,目前松花江鱼中的总汞含量已基本稳定,并在没有大规模的扰动条件下,将持续保持着相对较低的水平。

2.4 鱼类中汞污染的生态风险评价

采用单项评定指数法对松花江不同江段中鱼类的生态风险性进行评价,白山、哨口、五棵树、肇源、依兰、佳木斯、同江等 7 个采样断面鱼类中汞污染的评价结果如表 2 所示。

表 2 不同江段鱼体中的汞生态风险评价
Table 2 Ecological risk assessment of Mercury concentration in fish of different sites

采样断面	无生态风险比例	低生态风险水平比例	较高生态风险水平比例
白山	100.0%	0.0%	0.0%
哨口	100.0%	0.0%	0.0%
五棵树	69.2%	23.1%	7.7%
肇源	77.6%	2.4%	0.0%
依兰	100.0%	0.0%	0.0%
佳木斯	100.0%	0.0%	0.0%
同江	66.7%	25.0%	8.3%

从表 2 中可以看出,白山水库、哨口、依兰和佳木斯 4 个采样江段均无生态风险,肇源江段鱼中汞的生态风险水平较低,不存在较高生态风险水平的鱼,而且低生态风险水平的鱼仅为 2.4%,五棵树、同江江段鱼中汞生态风险较高。较高生态风险水平的鱼分别达到了 7.7%和 8.3%,低生态风险水平的鱼为 23.1%和 25.0%。

美国国家环境保护总局规定甲基汞参考剂量为 $0.1\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,因为鱼中的汞绝大多数以甲基汞形态存在(约 80%~90%)^[1],2005 年监测的松花江各种鱼汞含量均值为 $0.093\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,人的平均体重按 50 kg 来计算,可以计算出沿岸居民每天的食鱼量不得超过 46.50 g,即每周的食鱼量不得超过 325 g。而对一些含

汞量较高的鱼,如拟赤稍鱼汞含量为 $0.23\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其每周食用量则不得超过 157 g。

3 结论

松花江白山至五棵树江段鱼类总汞含量波动较大,呈现逐渐增加趋势,而在肇源至同江江段,鱼类中总汞含量的变化不明显。不同鱼种中总汞含量表现为肉食性鱼类>杂食性鱼类>草食性鱼类。与松花江鱼类中总汞含量历史数据对比的结果表明,目前松花江鱼中的总汞含量已基本稳定,并在没有大规模的扰动条件下,将持续保持着相对较低的水平。松花江 7 个采样断面中,各种鱼类中汞含量大多数均处于无生态风险或低生态风险水平。

参考文献:

[1] 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: 中国科学出版社, 1998. 195-215.
LIU Yong-mao, WANG Ren-hua, ZHAI Ping-yang. Control and standards on methylmercury pollution of Songhua river in China[M]. Beijing: China Science Press, 1998. 195-215.

[2] 于常荣,梁冬梅,赫颖,等. 松花江鱼类汞污染现状研究[J]. 环境科学, 1994, 15(4): 35-38.
YU Chang-rong, LIANG Dong-mei, HE Ying, et al. Study on the total mercury and methyl mercury contaminations in fish from the Songhua-jiang River[J]. *Environmental Science*, 1994, 15(4): 35-38.

[3] 丁振华,王文华,刘彩娥,等. 黄浦江江水和沉积物中汞的分布和形态特征[J]. 环境科学, 2005, 26(5): 62-66.
DING Zhen-hua, WANG Wen-hua, LIU Cai-e, et al. Distribution and species of mercury in water and sediments from Huangpu River[J]. *Environmental Science*, 2005, 26(5): 62-66.

[4] Wheatly B, Wheatley M A. Methylmercury and the health of indigenous peoples: a risk management challenge for physical and social sciences and for public health policy [J]. *The Science of the Total Environment*, 2000, 259: 23-29.

[5] Patricia M, Márcia C B, Wilson F J. Sorption of mercury(II)in Amazon soils from column studies[J]. *Chemosphere*, 2005, 60: 1583-1589.

[6] 李宏伟,阎百兴,徐治国,等. 松花江水中总汞的时空分布研究[J]. 环境科学学报, 2006, 5: 840-845.
LI Hong-wei, YAN Bai-xing, XU Zhi-guo, et al. Spatial and temporal distribution of total mercury (T-Hg) in water of Songhua River[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 5: 840-845.

[7] 哈伦,白韶丽,肖剑民. 呼伦池主要鱼体中总汞含量的调查 [J]. 环境科学, 1990, 11: 43-46.
HA Lun, BAI Shao-li, XIAO Jian-min. Investigation of contents of total mercury in fishes in the Huluen Lake, Inner Mongolia[J]. *Environmental Science*, 1990, 11: 43-46.