

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.05029

松花江流域鱼体内重金属含量的监测与污染评价

孙静雯¹, 于宏兵¹, 李云飞²

(1. 南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300071; 2. 内蒙古上都发电有限责任公司, 内蒙古 锡林郭勒 026000)

摘要: 为研究松花江流域鱼体重金属的污染现状, 采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定松花江流域鱼类体内的 Cu、Zn、Cr、Cd、Pb、Hg、As 等 7 种重金属的残留量, 使用综合污染指数法对污染情况进行了评价。结果表明, 松花江鱼体中 7 种重金属的基准值由高到低依次为 Zn、Cu、Cr、As、Pb、Hg 和 Cd, 且除 Hg 以外, 其他 6 种重金属的来源具有一定的相似性; 第二松花江流域中鱼体内重金属残留量高于嫩江和松花江干流两条流域中鱼体内重金属残留量; 参照《无公害食品 水产品中有毒有害物质的限量标准》(NK 5073-2006) 和《食品中锌限量卫生标准》(GB 13106-1991), 鱼体内 Pb、As、Cr 和 Zn 的超标率很高, 特别是 Pb 和 As 的污染比较严重。

关键词: 松花江; 重金属; 微波消解法; 电感耦合等离子体质谱法; 聚类分析法; Pearson 相关分析; 污染指数法
中图分类号: X82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0029-05

Monitoring and Pollution Assessment of Heavy Metals in Fishes of Songhua River

SUN Jing wen¹, YU Hong bing¹, LI Yun fei²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China;
2. The Inner Mongolia Shangdu Power Generation CO., LTD, Xilingol 026000, China)

Abstract: In order to investigate the current status of heavy metal pollution in fishes of the Songhua River, the Microwave digestion and ICP MS method was used to determine the concentrations of Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Hg, and As in fishes, and the heavy metal pollution status was assessed using the comprehensive pollution index method. The results showed that (1) the contents of heavy metals in fishes from high to low are Zn, Cu, Cr, As, Pb, Hg, and Cd, and the sources of six heavy metals are similar except for Hg; (2) the contents of heavy metals in fishes of the Second Songhua River are higher than those in fishes of the Nen River and main stream of the Songhua River; and (3) based on the evaluation criterion of NK 5073-2006 and GB 13106-1991, the contents of Pb, As, Cr, and Zn exceed the standard values, especially the pollution status of Pb and As is serious.

Key words: Songhua River; heavy metals; Microwave digestion; ICP MS method; cluster analysis; Pearson correlation analysis; pollution index method

历史上松花江曾受过严重的重金属污染, 如 20 世纪 50-70 年代松花江汞污染十分严重, 后经对源头的控制和江水的自然净化作用, 重金属污染水平有所下降^[1]。但是, 城市化的加剧及土地利用方式的改变可能会影响重金属的污染源结构。张凤英、阎百兴等^[2] 研究发现, 目前松花江部分江段沉积物中的 Pb 等重金属仍处于中等以上污染水平。因此, 在沿岸人类活动(如采砂活动、工程建设)的影响下, 沉积物中重金属可能会二次释放, 鱼体内很可能存在一定程度的重金属蓄积。本文对 Cu、Zn、Cd、Cr、Pb、As 和 Hg 等 7 种元素在松花江水系的不同江段中鱼体内的残留情况进行分析, 研

究 7 种重金属的空间分布特征, 并结合历史数据确定其时间分布特征, 通过单项污染指数法和综合污染指数法, 对 3 个特征江段中的鱼类体内的重金属污染情况进行评价, 为松花江水环境保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与选取

本文研究的样品均采自松花江流域 31 个采样点(图 1、表 1), 样品分 4 个批次采集: 2009 年 7 月 10 日至 2009 年 7 月 28 日、2009 年 10 月 5 日至 2009 年 10 月 23 日、2010 年 5 月 13 日

收稿日期: 2013-03-18 修回日期: 2013-08-07 网络出版时间: 2013-08-23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130823.1501.004.html>

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07526-002-01)

作者简介: 孙静雯(1988), 女, 山东烟台人, 硕士, 主要从事环境监测、清洁生产及污染控制研究。E-mail: sjwhellokitty@163.com.

通讯作者: 于宏兵(1958), 男, 吉林长春人, 教授, 博士, 主要从事水土污染治理与控制、清洁生产、循环经济关键技术研究。E-mail: hongbingyu1130@sina.com

至 2010 年 5 月 26 日、2010 年 7 月 11 日至 2010 年 7 月 30 日。样本来自不同种类、不同年龄段的鱼类。首先测量分析样本的生物学指标,然后取样本的背部肌肉进行测定分析。

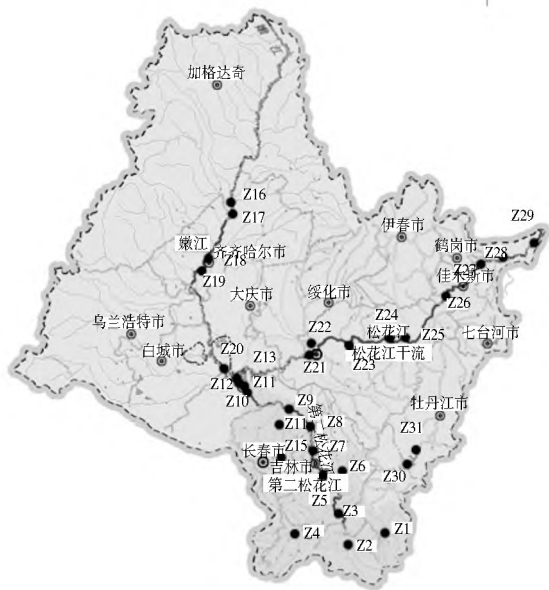


图 1 采样点位置示意图

Fig. 1 Location of sampling sites

1.2 样品测试

样品测试使用的药品包括:浓度 1 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 Cr、Cd、Cu、Zn、Pb 等 5 种标准试剂;浓度为 1 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 Hg 和 As 标准试剂;电导率为 18 $\text{M}\Omega/\text{cm}$ 的去离子水;70% 优级纯 HNO_3 ;30% 优级纯 H_2O_2 。利用 1 mol/L 的硝酸将 7 种重金属的标准试剂配制成 1 000 $\mu\text{g}/\text{L}$ 的储备液,用以配制系列标准试剂。

样品测试使用的仪器设备包括:WX-4000 微波快速消解系统、ELAN DRG e 型电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)。

样品测试步骤为:取分析样品背部肌肉 1.5 \pm 0.5 g (干重)放入微波消解罐,加入 HNO_3 (优级纯) 6 mL 和 H_2O_2 (优级纯) 2 mL。微波消解完毕后放入冰箱中冷却。同时做空白对照实验^[3-4]。最后,利用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)仪,针对 7 种重金属的系列标准试剂和经过预处理后的样品,依次测定其中的重金属含量。

1.3 质量控制

试验所需化学试剂均为优级纯,整个分析过程使用去离子水作为溶剂,试验所用的玻璃仪器及聚四氟乙烯消解罐,在使用前经 2.5% HNO_3 浸泡 6 h 以上并用去离子水冲洗。每次测定之前先绘制标准曲线,在拟合度达到 99.99% 以上时进行测试。在样品分析测试过程中,随机抽取 6% ~ 10% 的样品进行 3 次重复测试,以检验试验的重复性,结果显示相对偏差均小于 6%。

采用国家鱼肉标准物质(GBW10029)对 Cu、Zn、Cd、Cr、Pb 和 Hg 的测定方法进行验证,结果显示 5 种重金属的回收率范围均在 96.0% ~ 104.0% 之间。

2 结果与分析

2.1 鱼类重金属污染的时间分布特征

利用本次测试结果,结合相关文献及历史数据^[5-9],得出

表 1 采样点位置坐标

Table 1 Coordinates of sampling sites

编号	点位名称	经度	纬度
Z01	长白山地区	128° 10' 30"	42° 13' 55"
Z02	抚松河	127° 15' 30"	42° 19' 52"
Z03	红石大桥	127° 6' 8"	42° 57' 37"
Z04	辉发河口	126° 2' 13"	42° 40' 2"
Z05	丰满水电站	126° 40' 38"	43° 43' 40"
Z06	庆岭镇松花湖	126° 53' 9"	43° 46' 57"
Z07	乌拉镇哨口渡口	126° 28' 43"	44° 3' 11"
Z08	霍家渡口	126° 28' 25"	44° 23' 23"
Z09	松花江镇	125° 56' 55"	44° 45' 29"
Z10	松原市滨江大道	124° 49' 54"	45° 9' 47"
Z11	畜牧场	124° 49' 55"	45° 9' 59"
Z12	西大嘴子	124° 46' 36"	45° 11' 15"
Z13	泔水缸	124° 43' 51"	45° 20' 42"
Z14	饮马河	125° 44' 39"	44° 31' 23"
Z15	新立城水库	125° 20' 41"	43° 42' 22"
Z16	嫩江县	125° 13' 18"	49° 10' 21"
Z17	讷谟尔河	124° 52' 9"	48° 24' 2"
Z18	溜园-齐齐哈尔	123° 55' 10"	47° 22' 39"
Z19	齐齐哈尔	123° 55' 10"	47° 22' 39"
Z20	大安市	124° 17' 12"	45° 32' 4"
Z21	哈尔滨	126° 34' 46"	45° 45' 9"
Z22	呼兰县	126° 35' 3"	45° 58' 11"
Z23	宾县白石村	127° 27' 24"	45° 54' 43"
Z24	方正县伊汉通乡	128° 53' 34"	45° 52' 50"
Z25	倭肯河-依兰县	129° 34' 1"	46° 20' 20"
Z26	佳木斯敖其镇	130° 6' 12"	46° 44' 48"
Z27	集贤县集贤镇	131° 15' 29"	46° 47' 47"
Z28	富锦市锦山镇	131° 44' 23"	47° 2' 56"
Z29	同江市	132° 28' 13"	47° 38' 45"
Z30	敦化市沙河桥	128° 22' 14"	43° 28' 51"
Z31	镜泊湖	128° 57' 42"	44° 2' 19"

松花江鱼类重金属污染水平的历史演变过程,见图 2。可以看出:20 世纪 80 年代至 2006 年间,松花江鱼类体中 Cu、Zn 和 Cd 的残留量呈现先上升后下降的规律,其中 Cd 的变化幅度最为明显;Hg 的残留量在 20 世纪 70 年代末大幅下降,到 1992 年下降至最低水平;而 Pb 残留量的变化规律与其他重金属相反,呈大幅上升趋势。2006 年-2010 年间,Cu、Cd 残留量没有明显的变化,Pb 残留量有下降趋势,而 Zn 和 Hg 的残留量呈上升趋势,尤以 Zn 最明显。

总的来看,2010 年的 Cu、Hg、Cd 的污染程度较 20 世纪 90 年代有所减轻,但 Zn 残留量明显上升,有毒元素 Hg 则小幅上升。Pb 的残留量虽比 2006 年降低,但仍处于高水平状态,成为影响松花江水质的因素之一。

2.2 鱼体内重金属残留量的空间分布特征

由于各采样点的鱼种类存在差异,为了减少不同种属鱼类体内重金属富集的差异性影响,对 31 个采样站位采集到的样品不分种类但分区段进行统计分析,确定松花江流域不同江段鱼类体内 7 种重金属的平均含量,并以此为基础值,求得 7 种重金属含量的差异系数(用各江段鱼类体内 7 种重

金属元素的平均含量除以基准值), 根据差异性系数的大小 来判断各江段的污染状况。

表2 不同江段鱼类体内的重金属含量

Table 2 The concentrations of heavy metals in fishes of different river sections

污染物	检出率(%)	基准值/(mg·kg ⁻¹)	第二松花江		嫩江		松花江干流	
			ω/(mg·kg ⁻¹)	差异系数	ω/(mg·kg ⁻¹)	差异系数	ω/(mg·kg ⁻¹)	差异系数
Cu	100	2.264	2.792	1.233	2.202	0.972	2.223	0.982
Zn	100	43.015	63.426	1.474	41.248	0.959	35.636	0.828
Cd	100	0.054	0.068	1.258	0.040	0.745	0.0623	1.158
Cr	90.31	1.527	2.296	1.504	1.696	1.111	1.577	1.033
Pb	100	0.944	1.463	1.550	0.926	0.982	1.709	1.811
Hg	100	0.230	0.173	0.750	0.228	0.990	0.296	1.259
As	100	0.964	1.612	1.673	0.908	0.942	0.831	0.863

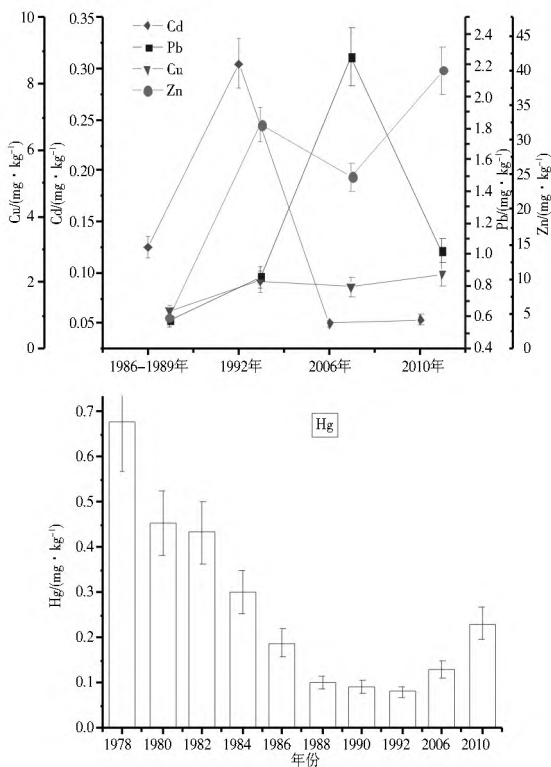


图2 松花江鱼类体内重金属残留量年份变化

Fig.2 Temporal variations of heavy metal concentrations in fishes of the Songhua River

由表2可知, 松花江流域鱼类体内7种重金属的基准值由高到低依次为 Zn、Cu、Cr、As、Pb、Hg 和 Cd。比较各江段的重金属含量可以发现: Cu、Zn、As 在第二松花江中的差异系数大于1, 即含量高于基准值, 在嫩江和松花江干流中的差异系数小于1。Cd、Pb 在第二松花江和松花江干流的含量较高, 差异系数均大于1, 在嫩江中的含量低于基准值, 其中 Pb 在第二松花江中的含量是基准值的1.5503倍, 在松花江干流中的含量是基准值的1.8111倍。Cr 在3个江段的含量差异系数均大于1, 差异系数最大值(第二松花江)为1.5039。Hg 在第二松花江和嫩江的差异系数都小于1, 在松花江干流含量较高, 差异系数为1.2587。

松花江沿程鱼类体内的7种重金属含量分布特征见图3。由图3可知, 除Hg元素以外, 6种重金属(Cu、Zn、Cr、Cd、Pb、As)的含量高值区均为Z08(霍家渡口)、Z11(畜牧场)、Z12(西大嘴子)和Z13(泔水缸)等江段, 低值均出现在Z06(庆岭镇松花湖)、Z14(饮马河)、Z15(新立城水库)、Z30(敦化

市沙河村)和Z31(镜泊湖)等江段。

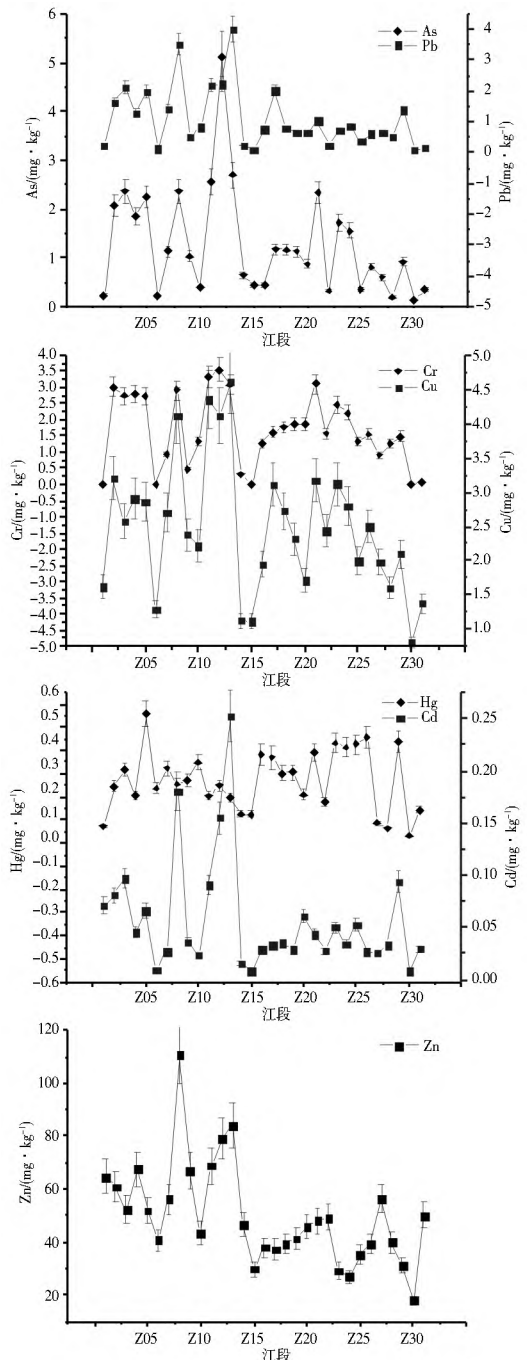


图3 鱼体内重金属含量沿程分布

Fig.3 Distribution of heavy metals in fishes along the river

为了研究各个江段鱼类受多种重金属的综合污染程度的差异,对各江段鱼类体内重金属残留量进行系统聚类分析^[10],结果见图 4。可见,Z01、Z08、Z11、Z12、Z13 江段鱼类体内重金属残留量特征均与其他江段表现出较大差异。这与上述分析基本吻合。

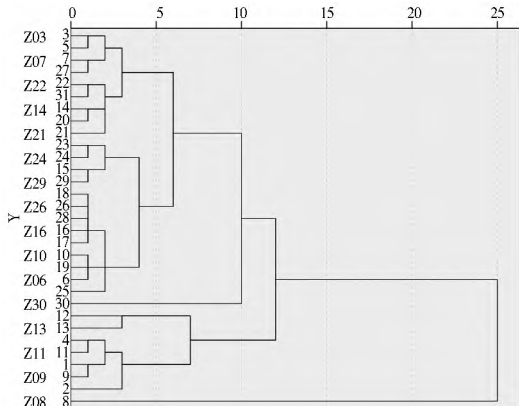


图 4 松花江鱼类体内重金属残留量聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis diagram of heavy metal residues in fishes of the Songhua River

综合表 2、图 3 和图 4 的结果,可以确定第二松花江中下游(Z08、Z11、Z12、Z13)的重金属综合污染程度相对较高,而其上游和支流(Z06、Z14、Z15、Z30、Z31)污染程度较轻。因此,初步认为第二松花江沿岸的重金属排放对整个松花江流域重金属污染水平贡献较大。

为了进一步准确把握松花江流域鱼类体内重金属污染水平,本文采用了 Pearson 相关分析^[11]对松花江鱼体内 7 种重金属的沿程分布含量等进行了计算分析,结果见表 3。可以看出,Cd 含量与 Pb、Zn 的含量在 $P < 0.01$ 水平下显著且正相关性较强,Cr 含量与 Cu、As 的含量在 $P < 0.01$ 水平下显著且正相关性较强,而 Hg 含量在 $P < 0.01$ 水平下与其他 6 种重金属含量均不显著相关。这说明松花江鱼类体内 Cd、Pb、Zn、Cr、Cu 与 As 等 6 种重金属含量的沿程分布趋势具有一定程度的相似,而 Hg 含量的沿程分布特征与其他 6 种重金属有较大差异,说明除 Hg 以外,松花江鱼类体内的其他 6 种重金属元素来源具有相似性。

表 3 沿程不同重金属在鱼体内残留量的相关性分析

Table 3 Correlation Analysis of different heavy metal residues in fishes along the river

	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn	As	Hg
Cd Pearson 相关性							
显著性(双侧)							
Cu Pearson 相关性 0.724**							
显著性(双侧) 0.000							
Cr Pearson 相关性 0.609** 0.870**							
显著性(双侧) 0.000 0.000							
Pb Pearson 相关性 0.864** 0.851** 0.734**							
显著性(双侧) 0.000 0.000 0.000							
Zn Pearson 相关性 0.728** 0.642** 0.451* 0.695**							
显著性(双侧) 0.000 0.000 0.011 0.000							
As Pearson 相关性 0.680** 0.823** 0.838** 0.739** 0.575*							
显著性(双侧) 0.000 0.000 0.000 0.000 0.001							
Hg Pearson 相关性 0.000 0.329 0.384* 0.226 - 0.207 0.218							
显著性(双侧) 0.999 0.071 0.033 0.222 0.264 0.240							

注** 为在 0.01 水平(双侧)上显著相关;* 为在 0.05 水平(双侧)上显著相关

2.3 松花江鱼类重金属的污染评价

出于综合评价各种重金属的污染程度的目的,采用单项污染指数法与均值型综合污染指数法^[12]作为评价方法。把各种重金属在鱼体内的单项污染指数(I_i)的均值作为综合污染指数(PI),单项污染指数(I_i)值的大小可表示某一种重金属的单一污染程度^[13],综合污染指数值的大小可表示各种重金属的综合污染程度。

$$I_i = \frac{C_i}{C_{oi}} \quad (1)$$

式中: C_i 表示鱼体内 i 类重金属的残留量 (mg/kg), 即实测值; C_{oi} 为鱼体内 i 类重金属允许残留量标准 (mg/kg)。

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} \quad (2)$$

式中: n 表示评价时所用的重金属种类个数。

Cu、Pb、Cr、Cd、Hg、As 的评价标准按照农业部发布的行业标准《无公害食品 水产品中有毒有害物质的限量标准》(NK 5073-2006) 计算^[14]。由于此标准不含 Zn, 因此 Zn 的评价标准依照《食品中锌限量卫生标准》(GB 13106-1991) 进行计算^[15]。目前国内尚无明确的污染等级划分标准, 一般认为, $PI < 0.2$ 时可视为正常背景水平, $0.2 < PI < 0.6$ 时为轻污染水平, $0.6 < PI < 1.0$ 时为污染水平, $PI > 1.0$ 时为重污染水平^[16-17]。

松花江流域的第二松花江、嫩江和松花江干流等 3 个江段的鱼类体内重金属残留量污染评价结果见表 4。从 7 种重金属的综合污染水平来看, Cu 无超标样品, Cd 和 Hg 虽有部分超标, 但其残留量指数 I_i 均小于 1, 说明这两种重金属的单

表 4 松花江鱼类重金属污染评价

Table 4 Assessment of heavy metal pollution in fishes of the Songhua River

江段	污染物	超标率(%)	I_i	PI
第二松花江	Cu	0	0.056	1.407
	Zn	59.26	1.268	
	Cr	49.38	1.148	
	Pb	53.09	2.926	
	Cd	18.52	0.677	
	Hg	8.64	0.546	
	As	67.90	3.225	
嫩江	Cu	0	0.044	0.917
	Zn	20.35	0.825	
	Cr	23.89	0.848	
	Pb	44.24	1.853	
	Cd	6.19	0.401	
松花江干流	Hg	14.61	0.630	0.945
	As	41.59	1.816	
	Cu	0	0.044	
	Zn	23.59	0.713	
	Cr	15.73	0.788	
	Pb	61.91	1.996	
	Cd	3.37	0.622	
Hg	30.97	0.791		
As	62.92	1.149		

一污染程度均较低;而 Pb、Cr、As 和 Zn 的超标率都很高, Cr 和 Zn 的残留量指数接近于 1, Pb 和 As 的残留量指数 I 则远大于 1, 说明第二松花江、嫩江及松花江主流均受到了较严重的 Pb 和 As 的污染。从不同河段污染水平来看, 第二松花江重金属综合污染指数超过 1, 处于重污染水平, 嫩江和松花江干流的综合污染指数分为 0.920 4 和 0.945 4, 处于污染水平。

3 结论

本文系统分析了松花江流域鱼类体内重金属残留量在空间与时间上的变化趋势, 并采用单项污染指数法和综合污染指数法对鱼类受重金属污染状况进行了评价。得出以下结论。

(1) 霍家渡口、畜牧场、西大嘴子和泔水缸等江段的鱼类体内 Cu、Zn、Cr、Cd、Pb、As 的残留量比其余江段高, 而庆岭镇松花湖、饮马河、新立城水库、敦化市沙河村和镜泊湖等江段鱼类体内重金属残留量则比其他江段低, 长白山区域除 Cd 和 Zn 含量为沿程的较高值外, Cu、Cr、Pb、As、Hg 等 5 种重金属含量均为沿程的偏低值。

(2) 松花江鱼类体内 Cd、Pb、Zn、Cr、Cu 与 As 等 6 种重金属的来源具有一定的相似性。

(3) 2010 年鱼类体内 Cu、Hg、Cd 的污染程度较 20 世纪 90 年代有所好转, 但 Zn 残留量明显上升, 有毒元素 Hg 残留量有小幅度的上升, Pb 的残留量虽较 2006 年较低, 但其残留量仍在一个高水平程度上。

(4) 松花江鱼类体内重金属 Pb、Cr、As 和 Zn 的超标率很高, 其受 Pb 和 As 的污染较重, 第二松花江受重金属的综合污染程度比嫩江和松花江干流严重。

参考文献(References):

- [1] 于常荣, 于宏兵, 王炜. 松花江上游鱼类甲基汞污染研究[R]. 吉林省环境科学研究院, 1990. (YU Chang rong, YU Hong bing, WANG Wei. Study on Methylmercury Contamination of the Songhua River Upstream Fish[R]. Jilin Academy of Environmental Sciences, 1990. (in Chinese))
- [2] 张凤英, 阎百兴, 路永正, 等. 松花江沉积物中 Pb、As、Cr 的分布及生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 726-730. (ZHANG Fengying, YAN Bai xing, LU Yong zheng, et al. Distribution and Potential Ecological Risk of Pb, As, Cr in Songhua River Sediments[J]. Journal of Agroenvironment Science, 2008, 27(2): 726-730. (in Chinese))
- [3] Aurore Boscher, Sylvie Gobert, Cedric Guignard, et al. Chemical Contaminants in Fish Species from Rivers in the North of Luxembourg: Potential Impact on the Eurasian Otter[J]. Chemosphere, 2010, 78: 785-792.
- [4] Vlatka Filipovi Mariji, Biserka Raspor. Metal Exposure Assessment in Native Fish, Mullus Barbatulus L., from the Eastern Adriatic Sea[J]. Toxicology Letters, 2007, 168: 292-301.
- [5] 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. (LIU Yongmao, WANG Renhua, ZHAI Pingyang. Controls and Standards on Methylmercury Pollution of Songhua River in China[M]. Beijing: Science Press, 1998. (in Chinese))
- [6] 吉林省环境保护局. 吉林省环境质量报告(1996-2000)[R]. 长春: 吉林省环境保护局, 2001. (Jilin Environmental Protection Bureau. Jilin Province Environmental Quality Report(1996-2000)[R]. Changchun: Jilin Environmental Protection Bureau, 2001. (in Chinese))
- [7] 苏伟, 刘景双, 李方, 等. 第二松花江干流重金属污染物健康风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(6): 1611-1615. (SU Wei, LIU Jing shuang, LI Fang, et al. Assessment on Health Risk of Heavy Metals in the Second Songhua River[J]. Journal of Agroenvironment Science, 2006, 25(6): 1611-1615. (in Chinese))
- [8] 于沛芬. 松花江水系鱼体中痕量重金属锌、铜、铅、镉的监测[J]. 水产学杂志, 1994, 7(2): 96-97. (YU Peifen. Monitoring of Trace Amounts of Heavy Metals Such as Zinc, Copper, Lead and Cadmium in Fish of Songhua River[J]. Chinese Journal of Fisheries, 1994, 7(2): 96-97. (in Chinese))
- [9] 于中盛, 刘玉青, 王晓军, 等. 松花江水系水体环境背景值研究[A]. 区域环境研究文集[C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1992: 1-106. (YU Zhong sheng, LIU Yuqing, WANG Xiaojun, et al. Study on Environmental Background Values of Water Bodies of Songhua River[A]. Regional Environmental Study Series. Beijing[C]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1992: 1-106. (in Chinese))
- [10] J. A. Grande, J. Borrego, J. A. Morales, et al. A Description of How Metal Pollution Occurs in the Tinto-Odiel Rias (Huelva Spain) through the Application of Cluster Analysis[J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 46(4): 475-480.
- [11] Mariusz Rudy. The Analysis of Correlations Between the Age and the Level of Bioaccumulation of Heavy Metals in Tissues and the Chemical Composition of Sheep Meat from the Region in SE Poland[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(6): 1117-1122.
- [12] 杨婉玲, 赖子尼, 魏泰莉, 等. 北江清远段水产品铅含量调查[J]. 淡水渔业, 2007, 37(3): 67-69. (YANG Wanling, LAI Zini, WEI Taili, et al. The Content of Lead in the Aquatic Products in Qingyuan Basin of Beijiang River[J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(3): 67-69. (in Chinese))
- [13] 马成玲, 周建民, 王火焰, 等. 农田土壤重金属污染评价方法研究——以长江三角洲典型县级市常熟市为例[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(1): 48-53. (MA Chengling, ZHOU Jianmin, WANG Huoyan, et al. Methods for Assessment of Heavy Metal Pollution in Cropland Soils——A Case Study of Changshu[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2006, 22(1): 48-53. (in Chinese))
- [14] NK 5073-2006, 无公害食品、水产品中有毒有害物质的限量标准[S]. (NK 5073-2006, Limits for Hazardous Substances in Free Food and Aquatic Products[S]. (in Chinese))
- [15] GB 13106 1991, 食品中锌限量卫生标准[S]. (GB 13106 1991, Tolerance Limit of Zinc in Foods[S]. (in Chinese))
- [16] 魏泰莉, 杨婉玲, 赖子尼, 等. 珠江口水域鱼虾类重金属残留的调查[J]. 中国水产科学, 2002, 9(2): 172-176. (WEI Taili, YANG Wanling, LAI Zini, et al. Residues of Heavy Metals in Economic Aquatic Animal Muscles in Pearl River Estuary, South China[J]. Chinese Academy of Fishery Sciences, 2002, 9(2): 172-176. (in Chinese))
- [17] 贾晓平, 林钦, 李纯厚, 等. 广东沿海牡蛎体 Pb 含量水平及时空变化趋势[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 527-532. (JIA Xiaoping, LIN Qin, LI Chunhou, et al. Concentrations and Temporal-Spatial Variation Trend of Pb in the Oysters from Guangdong Coastal Water[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(6): 527-532. (in Chinese))