

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20180913.002

李世龙,熊建华,邓超冰,等. 西江流域柳江水体重金属污染状况及健康风险评价[J]. 广西科学,2018,25(4):393-399.

LI S L, XIONG J H, DENG C B, et al. The assessment of the heavy metal pollution and health risks in the Liujiang River, Xijiang Region[J]. Guangxi Sciences, 2018, 25(4): 393-399.

西江流域柳江水体重金属污染状况及健康风险评价^{*}

The Assessment of the Heavy Metal Pollution and Health Risks in the Liujiang River, Xijiang Region

李世龙^{1,2},熊建华^{1**},邓超冰^{1,2},王晓飞²

LI Shilong^{1,2}, XIONG Jianhua¹, DENG Chaobing^{1,2}, WANG Xiaofei²

(1. 广西大学资源环境与材料学院,广西南宁 530004;2. 广西壮族自治区环境监测中心站,广西南宁 530028)

(1. School of Resources, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Prefecture Environmental Monitoring Centre, Nanning, Guangxi, 530028, China)

摘要:【目的】以广西柳江水体为研究对象,对柳江地表水体中 Cu、Zn、Pb、Cd、As、Ni、Sb 和 Tl 8 种重金属污染物含量进行分析测定,以阐明柳江水体重金属污染物的分布特征和风险水平。【方法】运用内梅罗综合指数法、健康风险评价模型对柳江水质等级和水中重金属引起的健康风险水平进行评价。【结果】各采样点的重金属含量均符合地表水Ⅱ类水质标准,除点位 S2 为污染、点位 S3 为中污染外,柳江其余 7 个采样点水质均属重金属未污染状态,水质清洁。柳江所分析重金属的健康风险排序为 As>Zn>Cd>Cu>Pb。所有采样点的健康风险值均低于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险水平 $5.0 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ 。【结论】柳州市内的冶炼及化工等外排废水,可能是导致柳江水体重金属含量升高的原因。As 是柳江水环境产生健康风险的主要污染物质,应该作为柳江水环境风险管理的重点对象。

关键词:柳江 重金属 内梅罗指数 健康风险评价

中图分类号:X824 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2018)04-0393-07

Abstract:【Objective】The purpose of this research was to investigate the quality of the Liujiang River in Guangxi. Concentrations of heavy metals of Cu, Zn, Pb, Cd, As, Ni, Sb, Tl in the Longjiang River were analyzed to illustrate the distribution characteristics and risk levels of heavy metal pollutants in this area.【Methods】The Nemeru comprehensive index method and the health risk assessment model were used to evaluate the grade of Liujiang River water quality and the health risk level caused by heavy metals in the water.【Results】The results demonstrated that the concentrations of heavy metals in each sampling point was in line with the surface water quality standard Ⅱ. Except that sampling site S2 was pollution and S3 was medium pollution, the water quality of the remaining 7 samples in Liujiang River was not polluted by heavy metals, and the water quality was clean. The health risk values of heavy metals As

收稿日期:2018-07-10

作者简介:李世龙(1986—),男,在职硕士研究生,工程师,主要从事环境监测与保护工作。

* 广西自然科学基金重大项目“西江流域水环境重金属污染机制与调控”(2013GXNSFEA053001),广西科技重大专项“北部湾陆海统筹环境监控预警与污染治理技术研发及示范”(桂科AA17129001)和广西自然科学基金“广西北部湾近岸海域水环境绩效评估研究”(2016GXNSFAA380326)资助。

** 通信作者:熊建华(1980—),女,博士,副教授,主要从事水污染控制技术研究,E-mail:happybear99@126.com。

and the health risk level caused by heavy metals in the water.【Results】The results demonstrated that the concentrations of heavy metals in each sampling point was in line with the surface water quality standard Ⅱ. Except that sampling site S2 was pollution and S3 was medium pollution, the water quality of the remaining 7 samples in Liujiang River was not polluted by heavy metals, and the water quality was clean. The health risk values of heavy metals As

and Zn were higher than Cd, Pb, and Cu in the Liujiang River. The health risk values at all sampling points were below the maximum acceptable risk level ($5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$) recommended by the International Commission on Radiological Protection. **【Conclusion】** The smelting and chemical discharged waste water in Liuzhou city may be the cause of the increase of heavy metals in Liujiang water. Arsenic (As) is the main pollutant that causes health risks in Liujiang water environment, which should be the key target of Liujiang water environmental risk management.

Key words: Liujiang River, heavy metals, Nemero index, health risks appraisal

0 引言

【研究意义】水是地球生物赖以存在的物质基础,水资源是维系地球生态环境可持续发展的首要条件。随着社会经济的发展和工业化程度的提高,洁净的淡水资源日趋短缺,水污染不断加剧。“十二五”规划中提出水环境重金属污染防治,表明我国水体重金属污染的问题严重以及水环境重金属污染治理的迫切性。重金属污染主要指因重金属或其化合物所引起的环境污染问题,日常生活中重金属污染物主要通过农业生产活动或生活废物的排放、受污染的河流底泥的释放以及大气的干湿沉降等方式进入水体。重金属污染具有富集性,在自然环境中很难通过微生物等途径降解,最终通过食物链等途径进入人体中,直接或间接地危害人类健康^[1-4]。柳州市是广西最大的工业城市,也是广西壮族自治区“三废”排放的重点城市。柳江是西江的一级支流,在柳州境内全长约 245 km,上游有二级支流龙江流入,下游有洛清江汇入。柳州市生产、生活用水的 92% 取自于柳江,而市区生产、生活用水形成的废水又大多数直接或间接地排入柳江。广西盛产 Pb、Zn 等有色重金属,广西的重金属污染主要以 Cd、As 污染为主。通过对柳江水体中重金属含量进行测定分析,比较系统和全面地对整个柳江河段重金属的含量、分布特征、污染状况及潜在危害和风险水平进行评价,为全面了解柳江水环境状况提供一定依据,也为相关环境部门对该河段的重金属污染防治、生态修复及水环境风险管理提供参考依据。**【前人研究进展】**20 世纪以来,人们开始对水的污染进行研究,当前我国环保部门主要采用均值法、单因子评价法和综合污染指数法来评价河流水质。如景一峰等^[5]采用单因子指数法和内梅罗指数法对蘑菇湖水库水体重金属含量进行评价。李名升等^[6]发现单因子评价法、内梅罗指数法、平均污染指数法、模糊综合评价、灰色关联分析、物元可拓评价法、综合水质标识指数法等 7 种评价方法具有一定的关联性和互补性。王宇博等^[7]研究表明,内梅罗指数法适用

于掌握水体被污染程度,集对分析法则适用于地下水水质变化情况的研究。程鹏等^[8]采用健康风险评价模型基于多年洋河流域重金属监测数据对洋河流域 As、Cd、Pb、Hg 和 Cu 的浓度及其引起健康风险的时空变化进行了评价。综合环境管理需求和各评价方法的优缺点,在水环境质量评价中可以组合使用单因子评价法和内梅罗指数法。水环境健康风险评价法一方面可以定量地描述环境污染对公众健康的危害,使评价指标落实到人体健康上;另一方面,可以直接得出环境污染物的主次,从而为环境风险管理提供科学依据。**【本研究切入点】**2012 年发生在柳江上游二级支流龙江河的 Cd 污染事故,是建国以来重金属对河流污染最严重的事件之一,对柳州市市民的饮水安全问题造成了严重的威胁。通过对柳江水体中重金属含量进行测定分析,系统和全面地对整个柳江河段重金属的含量、分布特征、污染状况及潜在危害和风险水平进行评价,为全面了解柳江水环境状况提供一定依据,也为相关环境部门对该河段的重金属污染防治、生态修复及水环境风险管理提供参考依据。**【拟解决的关键问题】**对柳江表层水中 Cu、Zn、Pb、Cd、As、Ni、Sb 和 Tl 8 种重金属含量进行监测分析,运用内梅罗综合指数法、健康风险评价模型对柳江水质等级和水中重金属引起的健康风险水平进行评价,以期对环境风险管理部门提供构建柳江流域跨界环境污染事故责任仲裁机制与综合协调方案的参考依据。

1 材料和方法

1.1 采样点设置

根据人口分布情况、干支流分布、污染物排放口位置等因素,于 2014 年 7 月沿柳江河流流向设置 9 个采样点作为调查断面(图 1)分别为西门崖(S1),露塘(S2),洛维(S3),百鸟滩(S4),猫儿山(S5),沙煲滩(S6),石龙码头 2(S7),石龙码头 1(S8),车渡码头沙场(S9)。

1.2 样品采集与分析

水样采集:采样依据《地表水和污水监测技术规

范》(HJ/T 91—2002),水样采集后沉淀 30 min,经 0.45 μm 滤膜过滤后装瓶,现场加入浓硝酸至 pH 值小于 2,并同步采集全程序空白样品及不少于样品总数 10% 的平行样,按照《水与废水监测分析方法》(第四版)的要求密封保存,妥善带回实验室后置于 4℃ 冰箱中保存。



图 1 柳江采样点位

Fig. 1 Sampling site of Liujiang River

样品分析:样品分析依据相关的方法标准开展,采用电感耦合等离子质谱仪 Agilent7700E ICP-MS 进行分析测定。为了保证测量结果的稳定和准确,在每次测定过程中均插入标样,标样测定值在真值的 95% 置信区间内,样品加标回收率为 95%~105%,平行样测定值的相对偏差保持在 10% 以内,全程序

表 1 内梅罗综合指数评价表

Table 1 Evaluation table of Nemerow index level

污染等级 Pollution grades	清洁(I) Clean	轻污染(II) Slight pollution	污染(III) Pollution	中污染(IV) Moderately pollution	重污染(V) Serious pollution
内梅罗综合指数 $P_{综}$ Nemerow index level	$P_{综} < 0.74$	$0.74 \leq P_{综} < 0.92$	$0.92 \leq P_{综} < 1$	$1 \leq P_{综} < 1.73$	$P_{综} \geq 1.73$

1.4 水环境健康风险评价模型

目前国内外常用美国环保局推荐的健康风险评价模型来评价水环境健康风险^[12]。水环境健康风险评价^[13]主要是针对水环境中对人体有害的物质,包括化学致癌污染物和非致癌污染物。

通过饮用水途径摄入的化学致癌污染物健康危害模型:

$$R_c = [1 - \exp(-D_m \cdot q_c)] / ED, \quad (5)$$

式(5)中, R_c 为化学致癌物质 c 经饮用水途径摄入的人均年致癌风险,单位 a^{-1} ; \exp 为以自然常数 e 为底

空白测定结果未检出,所有质控结果满足要求。

1.3 水环境质量评价模型

1.3.1 单因子评价法

通过单因子评价^[9],可以确定主要的重金属污染物及其危害程度。一般以污染指数来表示,即重金属含量实测值和对应的评价标准值的比值:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}, \quad (1)$$

式中, P_i 为 i 重金属元素的污染指数; C_i 为重金属元素 i 含量实测值; S_i 为重金属元素 i 在地表水环境质量标准中的 III 类标准值。

1.3.2 内梅罗指数评价法

内梅罗指数法具备数学过程简洁明了的优点^[10],是以单因子评价法为基础,兼顾极值并突出考虑污染程度最大的因子,对水体中的各种指标参数进行综合评价的方法^[11]。其计算公式为:

$$P_{综} = \sqrt{\frac{(\bar{p}_i)^2 + (P_{imax})^2}{2}}, \quad (2)$$

$$\bar{p}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (3)$$

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}, \quad (4)$$

式(2)中, $P_{综}$ 是综合污染指数; P_{imax} 为重金属元素污染指数中的最大值; \bar{p}_i 为所有重金属元素的污染指数平均值;式(3)中, P_i 为重金属元素 i 的污染指数;式(4)中各符号的含义同式(1)。 $P_{综}$ 与水质污染的对对应关系见表 1。

的指数函数; D_m 为化学致癌物质 c 经饮用水途径摄入的单位体重日均暴露剂量,单位 $mg/(kg \cdot d)$; q_c 为化学致癌物质 c 经饮用水途径摄入的致癌强度系数,单位 $kg \cdot d/mg$; ED 为人均寿命(取人均寿命 70),单位 a 。

通过饮用水途径摄入的非致癌污染物健康危害模型:

$$R_n = (D_m / RFD_n) \cdot 10^{-6} / ED, \quad (6)$$

式(6)中, R_n 为非致癌物质 n 经饮用水途径摄入的人均年致癌风险,单位 a^{-1} ; RFD_n 为非致癌物质 n 经饮

用水途径摄入的单位体重日均暴露剂量,单位 mg/(kg·d)。

饮用水途径摄入的单位体重日均暴露剂量 D_m 按下式计算:

$$D_m = Q \cdot C_m / W, \quad (7)$$

式(7)中, Q 为成年人日均饮水量(建议值为 2.2),单位 L; C_m 为化学致癌物或非致癌物实际浓度,单位 mg/L; W 为人体重(建议值为 70),单位 kg。

根据国家癌症研究机构(IARC)和世界卫生组织(WHO)编制的分类系统,As 和 Cd 属于化学致癌

表 2 柳江河表层水中各采样点重金属的浓度(μg/L)

Table 2 Concentration of heavy metals at each sampling site in surface water of the Liujiang River(μg/L)

序号 Serial number	断面名称 Section name	Cu	Zn	Pb	Cd	As	Ni	Sb	Tl
S1	西门崖 Ximenya	0.86	1.93	0.70	0.06	2.62	0.20	4.53	0.02
S2	露塘 Lutang	0.46	ND	0.54	ND	2.47	0.20	6.86	0.03
S3	洛维 Luowei	0.77	8.10	0.59	ND	2.83	0.63	8.11	0.03
S4	百鸟滩 Bainiaotan	1.12	ND	0.42	ND	1.02	0.49	1.06	0.01
S5	猫耳山 Maoer Mountain	1.01	2.31	1.27	0.15	3.62	0.65	4.78	0.03
S6	沙堡滩 Shabaotan	1.75	ND	0.47	ND	1.61	0.51	1.08	0.01
S7	石龙码头 2 Shilong Dock 2	0.78	11.81	0.26	0.09	2.15	0.67	2.91	ND
S8	石龙码头 1 Shilong Dock 1	0.47	7.96	0.93	0.08	1.69	0.73	3.08	ND
S9	武宣,车渡码头沙场 Wuxuan, Chedu Dock	0.26	31.20	0.21	ND	1.80	0.33	1.42	ND
	最小值 Minimum value	0.26	ND	0.21	ND	1.02	0.20	1.06	0.00
	最大值 Maximun value	1.75	31.20	1.27	0.15	3.62	0.73	8.11	0.03
	平均值 Average value	0.83	7.03	0.60	0.06	2.20	0.49	3.76	0.02
	标准差 Standard deviation	0.44	10.04	0.33	ND	0.78	0.20	2.53	0.01
	变异系数 Coefficient of variation	0.53	1.43	0.56	0.85	0.35	0.41	0.67	0.91
	地表水环境质量标准 I 类标准值 Surface water environmental quality standard class I standard value	10	50	10	1	50	—	—	—
	地表水环境质量标准 II 类标准值 Surface water environmental quality standard class II standard value	1 000	1 000	10	5	50	—	—	—
	地表水环境质量标准 III 类标准值 Surface water environmental quality standard class III standard value	1 000	1 000	50	5	50	—	—	—
	集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值 Standard limits for specific projects of surface water sources for centralized drinking water	—	—	—	—	—	20	5	0.1
	方法检出限 Method detection limit	0.09	0.8	0.07	0.06	0.09	0.07	0.07	0.01

注:ND 表示未检出

Note:ND means not detected

从表 3 可以看出,柳江水体中的重金属含量之间存在一定的相关性。As、Sb 和 Tl 三者两两显著相

物,致癌强度系数分别为 15 和 6.1;Zn、Pb、Cu 属于非致癌物,致癌强度系数分别为 3×10^{-1} , 1.4×10^{-3} , 5×10^{-3} 。

2 结果与分析

2.1 不同采样点的重金属含量分布

从表 2 中可以看出,柳江各断面表层水中的各重金属含量均符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) II 类水质标准,总体上柳江水体中重金属处于良好水平。

关,Pb 和 Cd 具有显著相关性。由此推断,As、Sb 和 Tl,Pb 和 Cd 分别具有相似的污染来源。

表 3 柳江表层水体 8 种重金属相关性分析

Table 3 Correlation analysis of 8 heavy metals in surface water body of the Liujiang River

重金属 Heavy metal	Cu	Zn	Pb	Cd	As	Ni	Sb	Tl
Cu	1	-0.598	0.081	-0.011	-0.124	0.186	-0.316	0.003
Zn		1	-0.452	-0.105	-0.139	-0.007	-0.25	-0.457
Pb			1	0.717*	0.611	0.318	0.347	0.496
Cd				1	0.626	0.481	0.102	0.16
As					1	0.029	0.727*	0.782*
Ni						1	-0.084	-0.216
Sb							1	0.851**
Tl								1

注：* 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性是显著的; ** 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性是显著的

Note: * When the confidence level (double test) is 0.05, the correlation is significant. ** When the confidence (double test) is 0.01, the correlation is significant

由表 4 和表 5 可知,柳江表层水体中 8 种重金属可由 3 个主成分反映 85.008% 的影响因子,成分 1 的贡献率为 42.49%,As、Sb 和 Tl 有较高的正载荷;成分 2 的贡献率为 23.041%,Pb、Cd 和 Ni 的正载荷

较高;成分 3 的贡献率为 19.477%,Cu 的正载荷较高,Zn 的负载荷较高。各重金属污染物的因子载荷详见图 2。

表 4 表层水体重金属含量主成分分析的总方差情况

Table 4 Total variance of principal component analysis of heavy metal content in surface water body

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalue			提取平方和载入 Extract square sum loading			旋转平方和载入 Rotation square sum loading		
	特征值 Eigen values	解释方差 Interpretation of variance	累积方差 Cumulative variance	特征值 Eigen values	解释方差 Interpretation of variance	累积方差 Cumulative variance	特征值 Eigen values	解释方差 Interpretation of variance	累积方差 Cumulative variance
1	3.399	42.49	42.49	3.399	42.49	42.49	3.011	37.643	37.643
2	1.843	23.041	65.531	1.843	23.041	65.531	2.078	25.976	63.619
3	1.558	19.477	85.008	1.558	19.477	85.008	1.711	21.389	85.008
4	0.571	7.136	92.144						
5	0.411	5.134	97.278						
6	0.173	2.163	99.44						
7	0.045	0.559	99.999						
8	5.05E-05	0.001	100						

表 5 表层水体重金属含量主成分分析的因子载荷矩阵

Table 5 Factor load matrix for principal component analysis of heavy metal content in surface water

重金属 Heavy metal	因子载荷矩阵 Factor load matrix			旋转后因子载荷矩阵 Post-rotation factor load matrix		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
Cu	0.008	0.645	-0.666	-0.237	0.079	0.893
Zn	-0.475	-0.341	0.736	-0.324	-0.043	-0.881
Pb	0.808	0.371	0.117	0.509	0.691	0.261
Cd	0.615	0.49	0.509	0.242	0.904	-0.036
As	0.904	-0.173	0.201	0.847	0.405	-0.079
Ni	0.14	0.705	0.408	-0.264	0.780	0.067
Sb	0.762	-0.521	-0.046	0.919	-0.039	-0.088
Tl	0.851	-0.369	-0.302	0.949	-0.036	0.221

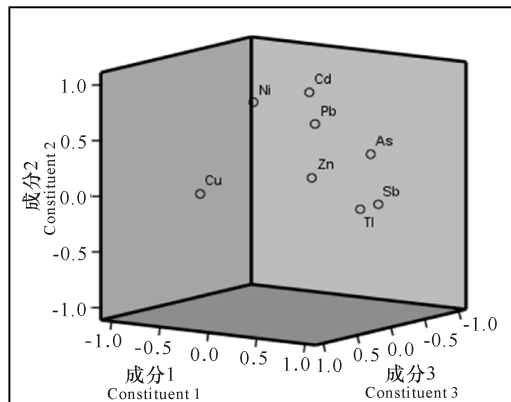


图 2 各种重金属污染物的三维因子载荷图

Fig. 2 Three dimensional factor load diagram of various heavy metal pollutants

2.2 不同采样点重金属污染评价

以我国地表水环境质量标准(GB 3838—2002) III类标准和集中式生活饮用水地表水源地特定项目

标准限值作为标准值,将各采样点重金属实测值代入单项污染指数法和内梅罗综合指数法的公式,结果见表6。从表6可以看出,点位S2属于污染,其综合污染指数 $P_{综}$ 为0.92~1;点位S3属于中污染,其综合污染指数 $P_{综}$ 为1~1.73;其余点位均属于清洁,综合污染指数 $P_{综}$ 均小于0.74。

表6 柳江水体重金属污染指数级水质等级

Table 6 Index grade water quality of heavy metal pollution in the Liujiang River water body

监测点位 Monitoring point	单项污染指数 P_i Single pollution index P_i								综合指数 $P_{综}$ Composite index	水质等级 Water quality grade
	Cu	Zn	Pb	Cd	As	Ni	Sb	Tl		
S1	0.000 86	0.001 9	0.014 0	0.012 0	0.052 4	0.010 0	0.906 0	0.21	0.65	清洁 Clean
S2	0.000 46	0.000 4	0.010 8	0.006	0.049 4	0.010 0	1.372 0	0.34	0.98	污染 Pollution
S3	0.000 77	0.008 1	0.011 8	0.006	0.056 6	0.031 5	1.622 0	0.29	1.16	中污染 Moderately pollution
S4	0.001 12	0.000 4	0.008 4	0.004	0.020 4	0.024 5	0.212 0	0.09	0.15	清洁 Clean
S5	0.001 01	0.002 3	0.025 4	0.030 0	0.072 4	0.032 5	0.956 0	0.32	0.69	清洁 Clean
S6	0.001 75	0.000 4	0.009 4	0.006 0	0.032 2	0.025 5	0.216 0	0.14	0.16	清洁 Clean
S7	0.000 78	0.011 8	0.005 1	0.018 9	0.042 91	0.033 3	0.581 11	0.05	0.42	清洁 Clean
S8	0.000 47	0.007 9	0.018 6	0.016 1	0.033 79	0.036 4	0.615 53	0.05	0.44	清洁 Clean
S9	0.000 26	0.031 2	0.004 3	0.006 0	0.035 9	0.016 4	0.284 52	0.05	0.20	清洁 Clean

注:低于检出限的点位按检出限的一半进行计算

Note: The point below the detection limit is calculated as half of the detection limit

表7 致癌物和非致癌物健康风险值(a^{-1})

Table 7 The health risk values of carcinogens and non carcinogens(a^{-1})

监测点位 Monitoring point	致癌物 Carcinogen		非致癌物 Non-Carcinogen			总计 Total
	Cd	As	Pb	Cu	Zn	
S1	1.64E-07	1.76E-05	4.40E-10	1.93E-09	2.60E-07	1.81E-05
S2	8.22E-08	1.66E-05	3.39E-10	1.03E-09	5.39E-08	1.68E-05
S3	8.22E-08	1.90E-05	3.71E-10	1.73E-09	1.09E-06	2.02E-05
S4	5.48E-08	6.87E-06	2.64E-10	2.51E-09	5.39E-08	6.98E-06
S5	4.11E-07	2.44E-05	7.98E-10	2.27E-09	3.11E-07	2.51E-05
S6	8.22E-08	1.08E-05	2.95E-10	3.93E-09	5.39E-08	1.10E-05
S7	2.60E-07	1.44E-05	1.62E-10	1.75E-09	1.59E-06	1.63E-05
S8	2.21E-07	1.14E-05	5.86E-10	1.06E-09	1.07E-06	1.27E-05
S9	8.22E-08	1.21E-05	1.34E-10	5.72E-10	4.20E-06	1.64E-05
平均值 Mean	1.60E-07	1.48E-05	3.77E-10	1.87E-09	9.65E-07	1.59E-05

注:低于检出限的点位按检出限的一半进行计算

Note: The point below the detection limit is calculated as half of the detection limit

从表7可看出,所有重金属的健康风险排序为 $As > Zn > Cd > Cu > Pb$ 。由致癌物As和Cd通过饮水途径所引起的健康风险值为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-8} a^{-1}$,其中As最大,Cd次之。所有采样点的健康风险值均低于国际辐射防护委员会推荐的最大可接受风险水平 $5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$,但As在S1、S2、S3、S5、S6、S7、S8、S9采样点处所引起的健康风险值超过

2.3 不同采样点重金属健康风险评价

根据健康风险评价模型、致癌强度系数和柳江水体中重金属的测定浓度,可计算出柳江水体中各个采样点重金属通过饮水途径所引起的健康风险,计算结果详见表7。

了荷兰建设和环境部、瑞典环保局推荐的最大可接受水平 $1.0 \times 10^{-5} a^{-1}$ 。由此可见,As是柳江河水环境产生健康风险的主要污染物质,应该作为柳江河水环境风险管理的重点对象。

从表7中还可以看出,由非致癌物Pb、Cu、Zn通过饮水途径所引起的健康风险以Zn最大,Cu次之,

Pb 最小。其中 Cu、Pb 对人体健康的个人年风险主要集中在 $1.0 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^{-10} a^{-1}$, Cu、Pb 和 Zn 的健康风险值均未超过荷兰建设和环境部、瑞典环保局推荐的最大可接受水平 $1.0 \times 10^{-5} a^{-1}$, 所引起的健康风险不大, 不会对人体健康构成明显危害。

3 结论

(1) 根据内梅罗综合指数法, 柳州市下游的第一个采样点 S3 重金属污染综合指数最高, 属于中污染。由此可以判断, 柳州市内的冶炼及化工等外排废水, 可能是导致柳江水体重金属含量升高的原因, 应加强对柳州市内的重金属污染企业的监管。

(2) 通过水环境健康风险评价模型, As 是柳江水环境产生健康风险的主要污染物质, 应该作为柳江水环境风险管理的重点对象。水环境健康风险评价模型较传统的水质等级评价体系能够更直观地表征水体中各污染物对人体健康的潜在危害, 有利于明确水体污染物治理的优先顺序, 为水环境管理提供科学依据。

参考文献:

[1] ZHANG C, DONG S H. A new water quality assessment model based on projection pursuit technique[J]. Journal Environment Sciences, 2009(Suppl):154-157.

[2] 张智慧, 李宝, 梁仁君. 南四湖南阳湖区河口与湖心沉积物重金属形态对比研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(5):1408-1416.

ZHANG Z H, LI B, LIANG R J. Comparison of sediment heavy metal fractions at center of Nanyang Zone from Nansi Lak, China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(5):1408-1416.

[3] 叶成权. 乡镇集中式饮用水源水质健康风险评价[J]. 北方环境, 2012, 2(3):89-90, 86.

YE C Q. Showing towns of drinking water and water quality health risk assessment[J]. Northern Environmental, 2012, 25(3):89-90, 86.

[4] 辛成林, 任景玲, 张桂玲, 等. 海南东部河流、河口及近岸水域颗粒态重金属的分布及污染状况[J]. 环境科学, 2013, 34(4):1315-1323.

XIN C L, REN J L, ZHANG G L, et al. Distribution and pollution status of heavy metals in the suspended particles of the estuaries and coastal area of Eastern Hainan [J]. Environmental Science, 2013, 34(4):1315-1323.

[5] 景一峰, 张凤华. 蘑菇湖水库水体重金属污染情况分析与评价[J]. 科技创新与应用, 2016(10):151-152.

JING Y F, ZHANG F H. Analysis and evaluation of water body weight and metal pollution in Mogu Lake[J]. Technology Innovation and Application, 2016(10):151-152.

[6] 李名升, 张建辉, 梁念, 等. 常用水环境质量评价方法分析与比较. 地理科学进展[J], 2012, 31(5):617-624.

LI M S, ZHANG J H, LIANG N, et al. Comparison of some common methods for water environmental quality assessment[J]. Progress in Geography, 2012, 31(5):617-624.

[7] 王宇博, 梁秀娟, 乔雨. 2 种方法在地下水水质评价中的应用——以吉林市为例[J]. 节水灌溉, 2014, 5:34-37.

WANG Y B, LIANG X J, QIAO Y. Application of two methods in groundwater quality evaluation—Case study of Jilin City[J]. Water Saving Irrigation, 2014(5):34-37.

[8] 程鹏, 李叙勇. 洋河流域不同时空水体重金属污染及健康风险评价[J]. 环境工程学报, 2017, 11(8):4513-4519.

CHENG P, LI X Y. Heavy metals pollution and related health risk assessment of Yang River: Spatial and temporal variation [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, 11(8):4513-4519.

[9] 中国环境科学研究院. 地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S]. 北京:中国标准出版社, 2002.

Chinese Research Academy of Environmental Sciences. The surface water environment quality standards. GB 3838—2002 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.

[10] 徐彬, 林灿尧, 毛新伟. 内梅罗水污染指数法在太湖水质评价中的适用性分析[J]. 水资源保护, 2014, 30(2):38-40.

XU B, LIN C Y, MAO X W. Analysis of applicability of Nemerow pollution index to evaluation of water quality of Taihu Lake[J]. Water Resources protection, 2014, 30(2):38-40.

[11] 秦普丰, 李细红, 侯红. 硫酸锰化工厂遗址周围水体重金属污染健康风险评价[J]. 环境科学研究, 2011, 24(4):395-400.

QIN P F, LI X H, HOU H. Health risk of heavy metal pollution in water around an abandoned manganese sulfate chemical plant site[J]. Research of Environmental Sciences, 2011, 24(4):395-400.

[12] 李永丽, 刘静玲. 滦河流域不同时空水环境重金属污染健康风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(6):1177-1184.

LI Y L, LIU J L. Health risk assessment on heavy metal pollution in the water environment of Luan River [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(6):1177-1184.

[13] 李涛, 石磊, 马中, 等. 海浪河水环境重金属污染健康风险评价[J]. 环境工程学报, 2014, 8(12):5521-5526.

LI T, SHI L, MA Z, et al. Health risk assessment on heavy metal pollution in water environment of Hailang River[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(12):5521-5526.

(责任编辑:符支宏)