DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2012.05.007

东江下游水环境重金属污染特征及现状评价

王艳捷[1],宋乾武[1],陈洪伟[2],代晋国[1],张 玥[1],姜 萍[1]

(1.中国环境科学研究院,北京 100012; 2.东莞理工学院,广东 东莞 523808)

摘要:测定东江下游包括东江干流、东江支流和东莞运河的 8 个监测断面的水质及表层沉积物中 As、Ni、Pb、Cd、Cu、Zn、Cr 和 Hg 的质量比,并应用地积累指数法和潜在生态风险评价法对东江下游水环境的重金属污染潜在风险进行评价。结果表明,东江下游表层沉积物中重金属积累明显,Cd 的地积累指数对应的污染程度为极强;Hg 为中—强;Cu、Zn 在东江干流为中,在东江支流和东莞运河达到强—极强。潜在生态风险评价显示,东江下游区段(包括东江干流、东江支流和东莞运河)的潜在生态危害指数接近或超过 300,表明重金属引起的东江下游潜在生态风险程度达到了重度;存在潜在生态风险的重金属类物质主要是 Cd、Hg 和 Cu,其危害程度由大至小依次为:Cd>Hg>Cu。水质监测结果显示,东江下游枯水期水质堪忧,Hg 已超出地表水Ⅲ级水质标准。

关键词:水环境;重金属污染;地积累指数法;潜在生态风险评价法;东江下游

中图分类号:X52 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-6933(2012)05-0034-04

Assessment of heavy metal pollution downstream of Dongjiang River

WANG Yan-jie[1], **SONG Qian-wu**[1], **CHEN Hong-wei**[2], **DAI Jin-guo**[1], **ZHANG Yue**[1], **JIANG Ping**[1]

(1. *Chinese Research Academy of Environmental Sciences*, *Beijing* 100012, *China*;
2. *Dongguan University of Technology*, *Dongguan* 523808, *China*)

Abstract: The water quality and concentrations of heavy metals including As, Ni, Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, and Hg in surface sediments at eight monitoring sections of the Dongjiang River's main stream, its tributaries, and the Dongguan Canal downstream were examined. The index of geo-accumulation and potential ecological risk evaluation methods were used to evaluate the potential ecological risk of heavy metal pollution downstream of the Dongjiang River. The results show that heavy metals had accumulated in the surface sediments downstream of the Dongjiang River. The enrichment extent of Cd, according to the index of geo-accumulation, was very intense, the enrichment extent of Hg was moderate, and that of Cu and Zn was moderate in the main stream but intense in the tributaries and the Dongguan Canal. The potential ecological risk assessment shows that the ecological risk index was close to or greater than 300 downstream of the Dongjiang River, including the main stream, tributaries, and the canal, indicating that the total potential ecological risk caused by heavy metals was severe. Cd, Hg, and Cu were the main heavy metals contributing to the potential ecological risk, and their hazard ratings were in the following descending order: Cd, Hg, and Cu. The results from water quality monitoring show that the water quality downstream of the Dongjiang River was worrying during the dry period, when the concentration of Hg exceeded the Class Ⅲ standard of the Environmental Quality Standards for Surface Water.

Key words: water environment; heavy metal pollution; index of geo-accumulation; potential ecological risk evaluation; downstream of Dongjiang River

东江是珠江三大水系之一,发源于江西省赣州市寻乌县,其干流广东省河源市、惠州市至东莞市,注入狮子洋,经虎门出海。东江流域作为我国最重要的水源供给区和率先发展区,具有"高经济密度、高发展速度、高水质要求、高强度控污"的典型特征[1-3]。东江是我国华南地区最为重要的饮用水水

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07529-002-004)

作者简介:王艳捷(1980—),男,硕士,主要从事水污染控制研究。E-mail:wangyanjieoo@live.cn

源地之一,为香港、深圳、广州、东莞等重要城市提供高品质饮用水。改革开放以来,随着深圳、东莞、广州等城市经济的快速发展,东江流域经济平均密度超过 8 000 万元/km^2。工业经济的迅速增长致使东江水环境安全受到了威胁,水污染正面临从下游向上游乃至全流域蔓延、从常规污染向复合污染演变的严峻态势。东江水系的"高功能水质要求"正面临"高控污强度"的挑战,水质保护任务十分艰巨。

重金属作为一类重要的有毒有害物质,具有生物毒性强、生物蓄积且长期残留在生物体内等特征,对人体健康和水生生物构成很大的威胁。而重金属涉及的工农业广泛,尤其是现代工业的快速发展造成了大量重金属物质进入水体。相关研究[4-5]表明,东江等水系的入海口——珠江口的沉积物中已存在相当严重的重金属积累。但针对东江本身的相关报道尚不多,因此,开展东江水系的重金属污染评价对保护东江饮用水源具有实际意义。

笔者结合相关研究成果,对东江流域下游区段的重金属污染特征进行分析和评价,旨在为保护东江饮用水源和制定相应的水环境管理措施提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与测试

根据东江下游水系特点和重金属污染途径,设置包括东江干流、支流和沿东江截污运河等在内的 8 处采样位置,其中东江干流设上、中、下 3 个采样断面:惠州汝湖、东莞桥头(省环境监测站)和东莞樟村(市环境监测站),支流设增江和沙河 2 个河口采样点,石马河、小海河和寒溪河 3 个东莞运河排涝口采样点。各采样位置分布见图 1。采样位置选择在河流中心区,底泥样为采泥器采集的表层沉积物。实地采样分别于 2010 年的丰水期(8 月)和枯水期(12 月)2 个时期进行,丰水期采集的样品为水样,枯水期采集的样品为水样和底泥样。

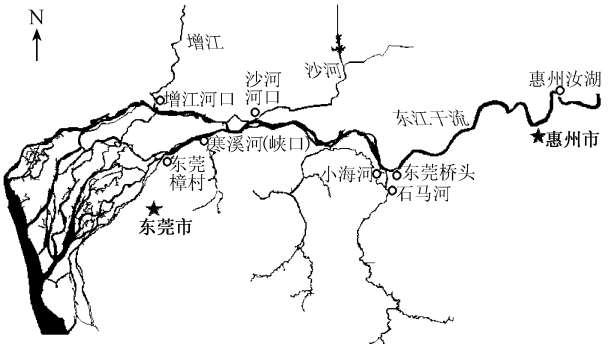

图 1 东江下游采样点分布

样品的前处理采用微波密封溶样消解法进行消解处理,As、Ni、Pb、Cd、Cu、Zn、Cr 用 ICP-AES 进行测定,Hg 用 ICP-MS 进行测定。具体测试工作委托清华大学深圳研究生院工业生态与环境检测中心和东莞市中鼎检测技术有限公司进行。

1.2 重金属指标评价方法

1.2.1 水质评价方法

采用单因子污染指数法进行水质评价,即将水体各监测项目的监测结果与 GB 3838—2002《国家地面水环境质量标准》相应的功能区分类标准进行比较,以确定水质污染特征,判断该区域的水质类别。

1.2.2 沉积物评价方法

沉积物作为重金属污染物的汇集地和次生污染源,可以反映水系状况以及水体被重金属污染的程度[6-7]。由于对沉积物中的重金属质量比评价没有相应的标准作为参照,因此,笔者采用地积累指数和潜在生态危害指数进行评价。地积累指数反映沉积物中重金属的积累程度;潜在生态危害指数则考虑重金属的生态毒性,反映沉积物中重金属的潜在生态风险程度。

a. 地积累指数评价法[8]。地积累指数是德国科学家 Muller 提出的一种定量研究水环境沉积物中重金属污染情况的指标,计算公式为

$$I_{geo} = \log_2[C_n/(1.5B_n)] \quad (1)$$

式中:I_{geo}为地积累指数;C_n 为元素 n 在沉积物中的质量比,为实测值;B_n 为沉积物中该元素的地球化学背景值,采用广东省土壤重金属背景值(即 As, Ni, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Cr 在土壤中的质量比分别为 15 mg/kg, 68 mg/kg, 70 mg/kg, 1 mg/kg, 50 mg/kg, 175 mg/kg, 0.25 mg/kg, 90 mg/kg)作为参照值[9];1.5 为常数,是考虑各地岩石差异可能会引起背景值的变动而取的系数。

地积累指数共分为 7 级(0 ~ 6 级),反映重金属污染程度由无至极强。I_{geo}值与重金属污染程度的关系见表 1。

表 1 地积累指数 I_{geo}与污染程度分级

I_{geo}	级数	污染程度	I_{geo}	级数	污染程度
<0	0	无	3 ~ 4	4	强
0 ~ 1	1	无 ~ 中	4 ~ 5	5	强 ~ 极强
1 ~ 2	2	中	>5	6	极强
2 ~ 3	3	中 ~ 强			

b. 潜在生态危害指数评价法。潜在生态危害指数评价法是由瑞典学者 Hakanson[10] 提出的定量评价沉积物潜在生态危害程度的方法,该方法考虑了重金属的生态毒性。潜在生态危害指数的计算公式为

$$R_1 = \sum_i^m E_r^i \quad (2)$$

其中 $$E_r^i = T_r^i \frac{c_s^i}{c_n^i} \quad (3)$$

式中：R_I 为潜在生态危害指数；E_r^i 为第 i 种重金属的潜在生态危害指数；T_r^i 为第 i 种重金属的毒性系数[11-12]，反映其毒性水平和生物对其污染的敏感程度；c_s^i 为元素 i 在沉积物中的质量比，为实测值；c_n^i 为参照值，为工业化以前沉积物中重金属最高背景值[12-13]。

各种重金属的参照值 c_n^i 和毒性系数 T_r^i 见表 2，重金属潜在生态危害指数及其与潜在生态风险程度的关系见表 3。

表 2　潜在生态危害评价的参照值 c_n^i 和毒性系数 T_r^i

重金属	c_n^i/(mg·kg^{-1})	T_r^i	重金属	c_n^i/(mg·kg^{-1})	T_r^i
As	8.80	10	Cu	22.78	5
Ni	29.12	5	Zn	73.02	1
Pb	20.39	5	Hg	0.163	40
Cd	0.116	30	Cr	65.72	2

表 3　E_r^i 和 R_I 值相应的污染程度及潜在生态风险程度

E_r^i 范围	单因子生态风险程度	R_I 范围	总潜在生态风险程度
<40	低度	<150	低度
40～80	中度	150～300	中度
80～160	较重	300～600	重度
160～320	重度	≥600	严重
≥320	严重		

2　结果与分析

2.1　东江下游水体中的重金属分析

根据丰水期和枯水期水体中的重金属监测结果，丰水期的水质要明显优于枯水期。丰水期水样中重金属的检出率较低，已检出的重金属 Cu、Zn、Sn、Ni 等的质量浓度不高，均低于地表水Ⅲ类水质标准值。枯水期水样中检出的重金属类污染物种类明显增多，Hg、Cd、Cr、Pb、Cu 和 Zn 在各采样点均有检出，但相比水质标准值，除 Hg 外，其他重金属的质量浓度均不高。在东江干流的惠州汝湖和东莞桥头、支流的沙河以及东莞运河 3 处等 6 个采样点的水样中，Hg 的质量浓度均超出地表水Ⅲ类水质标准，且东江干流中东莞桥头采样点的 Hg 质量浓度最高，下游东莞运河的 Hg 污染程度整体上高于东江干流和支流，表明东江惠州段的 Hg 污染影响较大，进入东江东莞段后，由于东莞运河的截污作用，干流 Hg 污染程度略有降低。

2.2　沉积物中的重金属分析

2.2.1　地积累指数评价结果

进入水体中的重金属污染物可以通过吸附、沉降作用进入底泥，并在底泥沉积物中不断聚集，因此，沉积物中重金属质量比的变化能反映水体受重金属污染的情况。

底泥沉积物中重金属的地积累指数表明，东江下游河流表层沉积物中的重金属存在一定程度的沉积，多种重金属的质量比明显超过背景值，但不同重金属的地积累指数存在较大差异。Cd 在各采样点表层沉积物中的地积累指数均为 6，属于极强污染；Hg 在各采样点表层沉积物中的地积累指数基本在 3～4，属于中度、接近强度的污染；Cu 在东江支流和东莞运河的表层沉积物中的地积累指数均在 3 以上，在寒溪河和沙河分别达到 5 和 6，属于强至极强污染，但东江干流中 Cu 的地积累指数要低于支流和运河，属于中等污染以下；Zn 与 Cu 类似，在支流和运河的积累程度要高于东江干流；Cr、Ni、As 和 Pb 尽管也存在一定的富集，但整体污染程度不高。各采样点表层沉积物中重金属的地积累指数及相应的指数分级见表 4。

2.2.2　潜在生态风险评价结果

潜在生态风险评价结果就是考虑了污染物毒性水平后的潜在生态危害程度。由表 5 可知，东江下游区段包括干流、支流和运河的各采样点的潜在生态危害指数均接近或超过 300，表明重金属引起的总潜在生态风险程度接近或达到了重度。从污染的

表 4　东江下游沉积物中重金属地积累指数 I_{geo} 及其分级

重金属	东江干流						东江支流				东莞运河					
	惠州汝湖		东莞桥头		东莞樟村		增江河口		沙河河口		小海河		寒溪河		石马河	
	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级	I_{geo}	分级
As	0.86	1	1.92	2	0.89	1	1.19	2	0.37	1	−0.16	0	−0.31	0	−0.80	0
Ni	0.35	1	0.91	1	0.33	1	0.80	1	3.50	4	2.67	3	1.57	2	1.63	2
Pb	0.66	1	1.40	2	0.76	1	0.81	1	1.46	2	−0.30	0	0.81	1	−1.66	0
Cd	7.02	6	7.02	6	6.73	6	6.93	6	7.27	6	6.05	6	6.83	6	6.56	6
Cu	1.17	2	1.35	2	0.70	1	2.81	3	5.49	6	2.91	3	4.60	5	3.59	4
Zn	1.80	2	2.68	3	0.89	1	2.45	3	4.21	5	3.56	4	3.21	4	3.16	4
Hg	2.32	3	3.90	4	3.38	4	3.67	4	2.70	3	3.20	4	1.47	2	3.73	4
Cr	0.14	1	−0.05	0	−0.47	0	−0.04	0	2.49	3	2.83	3	0.73	1	0.71	1

表 5　各采样点位的生态风险评价结果

重金属	E_r^i							
	东江干流			东江支流		东莞运河		
	惠州汝湖	东莞桥头	东莞樟村	增江河口	沙河河口	小海河	寒溪河	石马河
As	10.9	22.7	11.1	13.7	7.7	5.4	4.9	3.5
Ni	1.1	1.6	1.1	1.5	9.9	5.6	2.6	2.7
Pb	2.7	4.5	2.9	3.0	4.7	1.4	3.0	0.5
Cd	233.1	233.7	191.4	219.9	277.5	119.1	205.2	170.1
Cu	2.6	3.0	1.9	8.3	52.8	8.8	28.5	14.1
Zn	0.7	1.2	0.4	1.0	3.5	2.2	1.8	1.7
Hg	45.2	135.3	94.1	115.6	58.8	83.2	25.2	120.6
Cr	0.9	0.8	0.6	0.8	4.7	6.0	1.4	1.4
R_I 值	316.05	429.67	321.07	393.81	518.75	270.94	324.62	352.1
总潜在生态风险程度	重	重	重	重	重	中	重	重

重金属种类看,主要有 Cd、Hg 和 Cu 的潜在生态风险较高,其中 Cd 的潜在生态风险程度最高,在各采样点均达到了重度;Hg 在干流的东莞桥头和东莞樟村、支流的增江河口、东莞运河的小海河和石马河等 5 个点位的潜在生态风险均被评定为较重,在惠州汝湖、沙河河口和寒溪河为低度 ~ 中度风险;Cu 则在支流和运河中的富集程度较高,但其潜在生态风险除在沙河河口为中度外,在其他点位均为低度。各采样点表层沉积物中重金属的 E_r^i 和 R_I 值见表 5。

2.2.3 *东江下游重金属污染特征分析*

东江的工业在上游地区主要以一些重要的金属矿山开采业、冶炼加工业为主;在中游以 IT 产业为主,其次是塑胶行业和纺织服装行业;下游的工业高度集中,涵盖了通信设备、计算机、电气机械及仪器仪表、纺织服装鞋帽业、纸制品、家具、玩具、食品饮料和化工制品等制造行业,以及造纸、纺织和电镀等高污染行业,这些行业大多存在重金属污染的隐患。

综合水质和沉积物的重金属检测结果,可以发现,Hg、Cd、Cu 和 Zn 是东江下游需要重点关注的几种重金属污染物,但它们的危害程度和污染特征不尽相同,因此,制定相应的环境管理措施时需要区别对待。如 Hg 和 Cd 的生态毒性均较大,且枯水期 Hg 在多处采样点出现水质超标,Cd 的潜在生态风险程度在多处采样点达到重度,因此,二者的污染及危害程度高;而 Zn 由于生态毒性小,属于低度潜在生态风险,其危害程度要远低于 Hg 和 Cd。

比较不同重金属的污染程度,可以发现其污染特征的差异。东江下游干流最上段的惠州湖采样点受到了较重程度的 Cd 污染,说明惠州以上的东江中上游已存在相当程度的 Cd 污染。Hg 在干流采样点位的惠州汝湖和东莞桥头有较大差异,处于惠州下游的东莞桥头采样点的 Hg 污染明显要高于惠州上游的惠州汝湖采样点,表明东江干流在惠州段已受到相当程度的 Hg 污染。由于多个饮用水的取水口均处于干流惠州段的下游,因此干流惠州段下游的污染问题对饮用水源水质安全的影响很大。Cu 和 Zn 等重金属对东江支流和东莞运河的污染程度明显要高于对东江干流的污染,尤其东莞运河水体中有机污染严重,表层沉积物中的有机质成分含量较高,弱化了底泥重金属的积累程度,但实际上,该性质的表层沉积物更容易形成次生污染源,尤其在丰水期会影响东江干流水质。

3　结　论

a. 水质检测结果显示,丰水期重金属的污染尚未对东江下游水质安全构成威胁,但枯水期 Hg 污染较为突出,多处超出了地表水Ⅲ类水质标准。

b. 对表层沉积物的分析表明,东江下游表层沉积物中重金属积累明显,其中 Cd 达到极强污染程度;Hg 为中度接近强度污染;Cu、Zn 在东江干流的积累为中度污染,在东江支流和东莞运河的积累程度达到强或极强污染。潜在生态风险指数反映存在潜在生态风险的重金属类物质主要是 Cd、Hg 和 Cu,其危害程度由大至小依次为:Cd>Hg>Cu。重金属引起的总潜在生态风险在东江下游区段(包括干流、支流和运河)均达到了重度。

c. 不同重金属的污染方式存在差异,东江干流的惠州上游受到 Cd 污染,Hg 在惠州段的污染贡献率较大;东江支流和东莞运河的 Cu 和 Zn 污染程度明显要高于东江干流,但 Cu 和 Zn 仍然对东江干流的饮用水源构成了一定程度的潜在威胁,需要加强管理。

参考文献:

[1] 贺涛,马小玲,彭晓春,等. 东江水资源环境管理问题及矛盾[J]. 水资源保护,2009,25(6):85-89.

(下转第 47 页)

d. 建议对竺山湖以及太湖西沿岸区大浦口区域 Cd 的污染进行必要的疏浚控制,疏浚深度在底泥 50 cm 深处,以有效去除该区域的 Cd 污染。

参考文献:

[1] 陈静生. 水环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.

[2] 陈静生,刘玉机. 中国水环境重金属研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992.

[3] 范英宏,林春野,何孟常,等. 大辽河水系表层沉积物中重金属的迁移特征及生物有效性研究[J]. 环境科学,2008,29(12):3469-3476.

[4] 魏俊峰,吴大清,彭金莲,等. 污染沉积物中重金属的释放及其动力学[J]. 生态环境,2003,12(2):127-130.

[5] QU W C, DICKMAN M, WANG S M. Multivariate of analysis of heavy metal and nutrient concentrations in sediments of Taihu Lake[J]. China Hydrobiologia,2001,450:83-89.

[6] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control:a sedimentological approach[J]. Water Research, 1980,14(8):975-1001.

[7] 弓晓峰,陈春丽,周文斌,等. 鄱阳湖底泥中重金属污染现状评价[J]. 环境科学,2006,27(4):732-736.

[8] 乔胜英,蒋敬业,向武,等. 武汉地区湖泊沉积物重金属的分布及潜在生态效应评价[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(3):353-357.

[9] 汤莉莉,牛生杰,徐建强,等. 外秦淮河疏浚后底泥重金属污染与潜在生态风险评价[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(3):424-430.

[10] 万金保,王建永,吴丹. 乐安河沉积物重金属污染现状评价[J]. 环境科学与技术,2008,31(11):130-133.

(收稿日期:2012-02-14 编辑:彭桃英)

(上接第 37 页)

[2] 金辉. 东江干流东莞段水质研究[J]. 环境科学研究,2001,14(3):45-48.

[3] 马小玲. 东江流域水资源制度研究初探[EB/OL]. [2003-09-16]. http://www. riel. whu. edu. cn/article. asp? id=25596,2003:415-418.

[4] 甘华阳,梁开,郑志昌. 珠江口沉积物的重金属背景值及污染评价分区[J]. 地球与环境,2010,38(3):344-350.

[5] 杨永强. 珠江口及近海沉积物中重金属元素的分布、赋存形态及其潜在生态风险评价[D]. 北京:中国科学院研究生院,2007.

[6] 吕文英,汪玉娟,刘国光. 北京底泥中重金属污染特征及生态危害评价[J]. 中国环境监测,2009,25(3):69-72.

[7] 牛红义,吴群河,陈新庚. 珠江(广州河段)表层沉积物中的重金属污染调查与评价[J]. 环境监测管理与技术,2007,19(2):23-25.

[8] FORSTNER U. Lecture notes in earth sciences: contaminated sediments [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1989:107-109.

[9] 广东省环境监测中心站. 广东省土壤环境背景值数据集[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.

[10] HAKANSON L. A ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. Water Research,1980,14(8):975-1001.

[11] 刘芳文,颇文,王文质,等. 珠江口沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价[J]. 海洋环境科学,2002,21(3):34-38.

[12] 徐争启,倪师军,庹先国,等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术,2008,31(2):112-115.

[13] 黎彤. 地球和地壳的化学元素丰度[M]. 北京:地质出版社,1990.

(收稿日期:2011-06-20 编辑:彭桃英)

《水资源保护》征订启事

中国科技核心期刊　　RCCSE 中国核心学术期刊

《水资源保护》是河海大学和中国水利学会环境水利研究会共同主办的科学技术期刊,创刊于 1985 年,双月刊,国内外公开发行,国内统一连续出版物号:CN32-1356/TV,ISSN 1004-6933。

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究,应用技术,工程措施,综合述评,以及水资源管理、评价、监测、优化配置,节水技术,水环境污染控制等方面的文章。近年来,重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向,新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容。

主要读者对象:与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理人员以及大专院校的师生。

《水资源保护》邮发代号:28-298,双月刊,每期定价 12 元,全年共 72 元,每逢单月出版。可在全国各地邮局订阅,也可直接与编辑部联系订阅。

地　址:210098 南京市西康路 1 号　河海大学《水资源保护》编辑部

电话/传真:(025)83786642　　E-mail:bh@hhu.edu.cn

网　址:kkb.hhu.edu.cn/web/indexbh.asp? d_id=34