

广州市新塘镇水环境重金属污染特征研究

张黎黎^{1,2}, 王成端¹, 刘晓文², 李霞^{1,2}, 方晓航²

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621000; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

摘要:为调查广州市新塘镇水环境重金属污染状况,以镇内地表水及东江北干流新塘段为研究对象,对不同样点的 20 个样中 6 种重金属进行分析。采用单因子评价法、地质累积指数法对地表水水体、底泥进行污染程度评价,利用潜在生态危害指数法评估底泥中重金属对周围环境的潜在生态危害。结果表明:新塘镇地表水水体中 Cu、Zn、Cd、Hg、Cr 均达到我国《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)三类水质标准,有轻微 Pb 污染;底泥中重金属污染程度依次为 Zn > Hg、Cd > Pb,其中 Zn 对环境造成偏重污染,无 Cu、Cr 污染;潜在生态危害评价法显示底泥中 Hg、Cd 对环境存在极强生态危害,Zn、Pb、Cr、Cu 不构成生态危害。分析底泥中重金属浓度间相关性,表明 Hg 与 Cd、Zn 与 Cu、Zn 与 Cd 有显著相关。

关键词:重金属污染;单因子评价法;地积累指数法;潜在生态危害评价法

中图分类号:X522

文献标志码:A

引言

重金属污染近年来倍受关注,因为它具有生物累积性,对人类身体健康和周围环境存在潜在的生态危害^[1-2]。重金属污染的主要来源是工业“三废”、机动车尾气、污水灌溉、农药、化肥以及矿山开采。水体中的重金属绝大部分能随物理、化学、生物的作用迅速转移至底泥中蓄积,使底泥成为重金属等化学物质的主要存储库^[3-4]。当环境变化时,底泥中的重金属形态将发生转化并释放造成污染^[5-6]。

新塘镇位于广州市属增城市西南部,珠江三角洲东江下游北岸,毗邻港澳,西与广州市黄埔区相连,南与东莞市一河之隔。总面积 251.51 平方公里,约占增城市的 15.4%,人口约占 50.4%,工农业生产总值约占 57.8%。以牛仔休闲服装及布匹业、汽车、摩托车及配件业三大工业为主。镇内主要河流有温涌、官湖河、雅瑶河等,西福河、东江北干流、东江流域惠东、博罗、河源等典型乡镇河流底质均被报道过有重金属污染特征和

生态危害潜在风险^[7-8],王进在广东省 14 条主要河段污染物的调查中发现有 10 条河流底泥受到重金属污染^[9]。但关于新塘镇的河流底质污染物特征分析的报道很少。我国在“十二五”规划中重点提出做好江河湖泊休养生息工作,在湖泊河流开展生态安全评估的利国利民策略,因此做好新塘镇内的水环境监测和评价,对当地人民以及下游居民生产生活意义重大。

目前,国内外使用的重金属污染评价的方法有很多,内梅罗评价法、德国的地质累积指数法、英国的污染负荷指数法、瑞典的潜在生态危害指数法及美国 EPA 推出的结合沉积物基准生态风险评价法^[10-14]。本文采用单因子评价法、算术平均综合指数法、地质累积指数评价法和潜在生态评价法^[15-16],确定新塘镇内水体和底泥中重金属分布、污染程度,揭示重金属污染对环境及人体的危害水平。

1 材料与方 法

1.1 采样点布 设

对新塘镇 8 条河流及东江北干流 20 个采样点进行监

收稿日期:2014-02-21

基金项目:环境保护部基金项目(PM-ZX015-201306-065)

作者简介:张黎黎(1987-),女,硕士,内蒙古赤峰人,主要从事水污染处理方面的研究,(E-mail)zhanglili123110@sina.com

测分析,包括表层水体和底泥。参照广东省河流重金属污染物特点,分别针对河流表层和底泥中 Pb、Cu、Zn、Cd、Cr、Hg 几项进行监测分析,其中在 1、2、4、5、6、7、8、9、17、20 等 10 个采样点采集底泥样品,采样点位如图 1 所示。

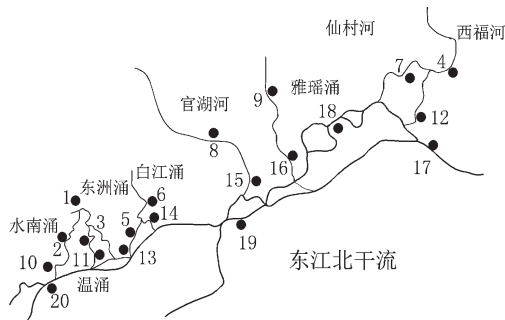


图 1 新塘镇水环境监测点分布

1.2 样品前处理与分析

将水样用聚氯乙烯瓶密封保存在 4 °C 的冰箱中,底泥样品经室温风干、研磨、过筛 100 目后放入样品袋中。水样直接用分析仪器测定,底泥样品经 HNO₃—HClO₄ 消解定容。Pb、Cu、Zn、Cr、Cd 含量均采用原子吸收分光光度法测定,Hg 浓度采用原子荧光法进行分析,Pb、Cu、Zn、Cr 检出限均为 0.5 mg/kg, Cd、Hg 检出限为 0.01 mg/kg。

1.3 分析方法

1.3.1 水体重金属单因子评价法和算术平均综合指数法

$$S_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{C_{s,i}}$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{i,j}$$

式中: $S_{i,j}$ —单项水质评价因子 i 在第 j 取样点的标准指数; $C_{i,j}$ —水质评价因子 i 在第 j 取样点的浓度(mg/L); $C_{s,i}$ —水质评价因子 i 的评价标准(mg/L),评价中采用地表水三类水质标准; S —水污染综合指数; n —参与评价因子数目。对照分级: $S < 0.2$ 为清洁, $0.2 < S < 0.4$ 为尚清洁, $0.4 < S < 0.7$ 为轻污染, $0.7 < S < 1.0$ 为中污染, $1.0 < S < 2.0$ 为重污染, $S > 2.0$ 严重污染。

1.3.2 底泥重金属污染程度地质累积指数评价法

地质累积指数法是由德国海德堡大学沉积物研究所的 Muller 提出,既考虑了人为因素和环境地质因素,还考虑到自然成岩作用对重金属含量的影响^[17]。

$$I_{geo} = \log_2 [C_i / (k \times B_i)]$$

式中: I_{geo} 为地质累积指数; C_i 为元素 i 在沉积物中的实测含量(mg/kg); B_i 为沉积物中该元素的地球化学背景值(mg/kg); k 为考虑沉积物的成岩作用可能会引起

背景值的变动而设定的最大系数,取 1.5。根据 I_{geo} 数值的大小, Muller^[17] 等人将沉积物中重金属的污染程度分为 7 个等级: $I_{geo} < 0$ 为清洁, $0 < I_{geo} < 1$ 为轻污染, $1 < I_{geo} < 2$ 为偏中污染, $2 < I_{geo} < 3$ 为中污染, $3 < I_{geo} < 4$ 为偏重污染, $4 < I_{geo} < 5$ 为重污染, $I_{geo} > 5$ 为严重污染。

1.3.3 潜在生态危害指数评价法

潜在生态危害指数评价法由瑞典著名学者 Hakanson 提出,是世界上广泛应用并被认可的对周围环境以及人体健康存在的潜在生态危害作出评价的方法^[18]。

$$E_r^i = T_r^i \times \frac{C^i}{C_n^i}$$

$$RI = \sum_{i=1}^m E_r^i$$

式中: C^i 为表层沉积物污染物质量分数实测值; C_n^i 为计算所需的参比值; T_r^i 为沉积物中各污染物毒性响应系数; E_r^i 为某单个污染物的潜在生态危害系数; RI 为潜在生态危害指数。常见 T_r^i : Cr 为 2, Hg 为 40, Cd 为 30, Cu 为 5, Pb 为 5, Zn 为 1^[19]。 E_r^i 和 RI 值相对应的污染程度及潜在生态危害程度见表 1。

表 1 E_r^i 和 RI 值相对应的潜在生态危害程度

生态危害系数	潜在生态危害指数	生态危害程度
$E_r^i \leq 40$	$RI < 150$	轻微
$40 \leq E_r^i < 80$	$150 \leq RI < 300$	中等
$80 \leq E_r^i < 160$	$300 \leq RI < 600$	强
$160 \leq E_r^i < 320$	$RI > 600$	很强
$E_r^i \geq 320$		极强

2 结果与讨论

2.1 水体中重金属含量分析

新塘镇水体重金属监测结果显示: Cr 在各监测点均低于最低检出限, Hg、Cu、Cd、Zn 检出量均低于《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中三类水水质标准, Pb 有 5 个监测点浓度在 0.013~0.024 之间, 略高于《地表水环境质量标准》中三类水水质标准 0.01。

单因子评价法和算术平均综合指数评价重金属污染程度结果显示: Pb 的单因子污染指数为 0.46, 高于其它重金属污染指数, 新塘镇水体存在轻微 Pb 污染。Pb 主要来自矿山开采、冶炼、染料、印刷、焊锡等产生的废水和废弃物, 另外, 汽车尾气中的四乙基铅也是其重要来源。由表 2 知除 Pb 之外其余重金属综合污染指数均小于 0.4, 属于清洁与尚清洁水体。几种重金属综合污染指数为 0.16, 且各污染物之间离散程度小, 因此新塘镇水体无 Cu、Zn、Cd、Hg、Cr 污染。

表2 水体重金属浓度及单因子、综合污染指数(mg/L)

项目名称	Cr	Hg	Cu	Cd	Pb	Zn
浓度最大值	0.01	0.00007	0.074	0.0018	0.024	0.057
浓度最小值	0.003	<0.00005	0.006	0.0001	0.004	0.005
浓度平均值	0.006	0.000033	0.02	0.0004	0.012	0.020
标准差	0	0.009	0.035	7.07E-05	0.005	0.005
地表水三类水质标准	0.05	0.00005	1	0.005	0.01	1
平均单因子污染指数	0.046	0.39	0.019	0.025	0.46	0.035
平均综合污染指数	0.16					

由图2 水体综合污染指数趋势图可以看出, 9、10、11、12、13、15、16、18 监测点重金属综合污染指数高于其它监测点, 这些监测点均靠近东江北干流或在干流上, 表明随水流流向重金属随之富集在河涌入汇干流处, 另东江北干流附近工业三废排放增加了水体中重金属的含量。本文分别对东江北干流涨潮和退潮时水体重金属含量进行监测分析, 发现涨退潮对东江北干流重金属含量没太大影响, 综合污染指数无大幅度变化。

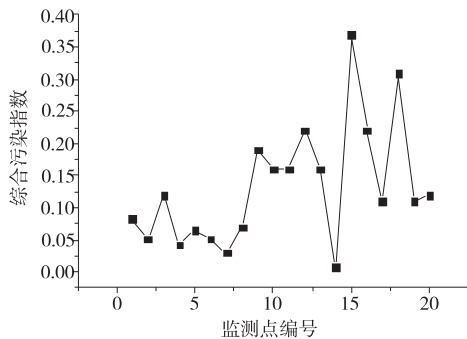


图2 水体监测点综合污染指数图

2.2 底泥重金属分布特征

2.2.1 底泥重金属含量分析

表3 底泥重金属浓度、 I_{geo} 、 RI 及评价等级(mg/L)

项目名称	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Hg
浓度最大值	183.7	274.8	916.3	1.66	123.1	0.9
浓度最小值	13.2	31.6	93.8	0.44	13.1	0.08
浓度平均值	90.04	147	450.23	0.93	51.49	0.42
标准差	3.25	1.06	265.09	0.57	5.87	0.24
土壤重金属二类标准	300	100	250	0.3	300	0.5
平均地质累积指数 I_{geo}	1.15	-2.26	3.12	2.89	-0.64	2.23
总污染程度	偏中	清洁	偏重	中	清洁	偏中
潜在生态危害指数 RI	20.01	61.25	15.52	594.23	2.43	380.68
潜在生态危害程度	轻微	轻微	轻微	强	轻微	强

由表3 监测数据显示: Zn 的污染程度最严重, 1、2、3、4、5、7 号 6 个监测点(监测数据未一一列出)的 $I_{geo} > 3$, 平均地质累积指数为 3.12, 达到 3 级偏重污染; Cd 与 Hg 分析结果相似属中污染, 地质累积指数分别为 2.89、2.23, 各监测点间污染程度差距较大, 1、2、5 监测点达到 5 级严重污染, 其余监测点均为轻微污染; Pb 污染程度

将底泥中重金属浓度平均值与《土壤环境质量标准》GB15618-1995 中土壤质量二级标准相比, Cr、Pb 含量低于二级标准; Hg 在 2、5 监测点超标, Cd 在 1、2、3、5 监测点超标, Cu 在 2、3、4、5、6、7 监测点超标, Zn 在 1、2、3、4、5、7 监测点超标。

Hg、Cd、Cu、Zn 均超标较严重的 2 与 5 监测点分别位于水南涌和白江涌监测点, 由于水南涌和白江涌流经新塘镇工业园区, 工厂密集, 人口众多, Hg、Cd、Cu、Zn 超标与车辆尾气和工业废水排放有直接关系。从空间位置上看, 各支流污染指数较东江北干流大, 可能是随金属的沉降和底泥的吸附交换作用使重金属富集在河流中。监测结果及评价计算值见表 3。

2.2.2 地质累积指数法评价结果

新塘地区土壤属赤红壤, 赤红壤中大多数重金属地球化学背景值都较我国平均水平偏低, 而砷元素比国内其它省份偏高, 本文中采用广东省赤红壤地球化学背景值作为参考^[20-21]: Cr 为 42.3 mg/kg, Hg 为 0.044 mg/kg, Cd 为 0.026 mg/kg, Cu 为 12 mg/kg, Pb 为 22.5 mg/kg, Zn 为 29 mg/kg。

偏中, 大多数监测点污染级别在 2~3 级即偏中和中污染之间; Cu 与 Cr 地质累积指数均小于零, 故无 Cu、Cr 污染; 从以上分析及图 3 地质累积指数评价图看出底泥中重金属污染程度依次为 Zn > Cd、Hg > Pb。

根据吴锦涛、王艳捷^[15-16]等人对东江北干流上下游及其它河流的底泥重金属评价结果, 上游污染物主要是

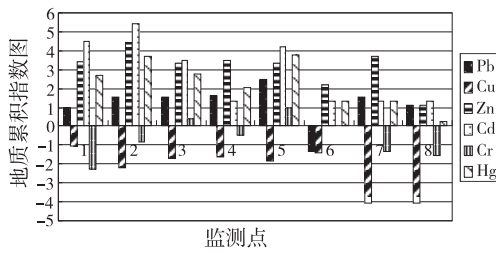


图 3 新塘水体底泥地质累积指数图

Cu、Zn,而下游污染物主要是 Cd、Hg,尤其东江惠州段与东莞段 Cd、Hg 达到强、极强污染程度。新塘镇的重金属污染与东莞、惠州相似,工业结构亦相似,新塘镇以服装纺织、电子信息、石化等工业为主,这些工业生产环节带来的废水、废物是造成新塘镇河流底泥重金属污染的主要原因。

2.2.3 潜在生态危害指数法评价结果

潜在生态危害指数法在不分析重金属元素形态的情况下,通过研究重金属的沉积学特征、生物学特征和毒理学、病理学特征研究某一沉积物中重金属对环境及人体的生态效应^[19],从而采取相应措施有效控制重金属污染。

根据表 3 中潜在生态分析可得:各监测点 Pb、Cu、Zn、Cr 生态危害指数均小于 150,危害程度轻微;Cd 的潜在生态危害指数达到 594.23,1、2、5 监测点 Cd 的 RI > 600,与其它监测点危害指数差异很大,对环境及人体造成强生态危害;Hg 的潜在生态危害指数为 380.68,1、2、3、4、5 监测点 RI 值在 600 左右(此处监测点数据未一一列出),达到强生态危害程度。

2.2.4 底泥中重金属元素间相关性分析

水体和底泥中重金属的评价结果显示,底泥中重金属污染程度远高于水体中的重金属污染程度,与相关文献中得到结论一致^[22]。表 4 重金属相关系数显示:各重金属元素间均存在相关性,其中 Zn 与 Cr 负相关,Hg 与 Cd、Zn 与 Cu、Zn 与 Cd 几种重金属具有显著相关性。Hg、Cd、Zn、Cu 均属亲硫元素,故在土壤中的富集、转化有一定的相似性,由此推测 Zn、Pb、Hg、Cd 很可能是同源污染。但在表生作用下,由于它们的活泼性不同(Hg > Cd > Pb > Cu > Zn),它们的迁移能力也不同,在成土过程中产生分异现象,Hg、Cd 在底泥中易被有机物络合^[23],故 Hg、Cd 对周围环境造成的潜在生态危害远高于其它元素。

3 结论

(1)新塘镇地表水存在轻微 Pb 污染,其余重金属均

达到了水质三类标准要求,无污染。

表 4 底泥中重金属相关性系数表

重金属	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Hg
Pb	1					
Cu	0.309	1				
Zn	0.347	0.732 *	1			
Cd	0.247	0.359	0.763 *	1		
Cr	0.572	0.258	-0.06	0.004	1	
Hg	0.652	0.429	0.667	0.829 *	0.523	1

注: * 表示显著相关(p < 0.05)

(2)新塘镇各河流底泥中 Cr、Pb 浓度达到土壤中重金属二级标准;Hg、Cd、Cu、Zn 在 1、2、3、4、5、6、7 监测点超过土壤中重金属二级标准。

(3)底泥中重金属污染次序是 Zn > Cd、Hg > Pb,无 Cu、Cr 污染;对环境造成潜在生态危害的有 Cd、Hg,重点污染地区为 1、2、3、4、5、7 监测点,建议新塘镇这些地区重点防治 Cd、Hg 和 Zn 三种重金属污染。

参考文献:

[1] Anugrah R W,Aaron K O,Kentaro T,et al.Evaluation of heavy metal contents and Pb isotopic compositions in the Chao Phraya River sediments: Implication for anthropogenic inputs from urbanized areas,Bangkok[J]. Journal of Geochemical Exploration,2013(126-127):45-54.

[2] Wu S,Zhou S,Li X.Determining the anthropogenic contribution of heavy metal accumulations around a typical industrial town:Xushe[J].China Journal of Geochemical Exploration,2011,110(2):92-97.

[3] 吴春笃,瞿俊,李明俊,等.镇江内江底泥重金属分布特征及潜在生态危害评价[J].中国环境监测,2009,25(5):90-94.

[4] Bird G,Brewer P A,Macklin M G,et al,Heavy metal contamination in the Aries river catchment, western Romania: implications for development of the Rosia Montana gold deposit[J].Journal of Geochemical Exploration,2005,86(1):26-48.

[5] Segura R,Arancibia M,Zúiga M C,et al,Distribution of copper,zinc,lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago,Chile[J]. Journal of Geochemical Exploration,2006,91(1-3):71-80.

[6] Sjobakk T E,Almli B,Steinnes E.Heavy metal monitoring in contaminated river systems using May fly larvae [J].Journal of Geochemical Exploration,1997,58(2):203-207.

[7] 王若师,许秋瑾,张娴,等.东江流域典型乡镇饮用水

- 源地重金属污染健康风险评价[J].环境科学,2012,33(9):3083-3088.
- [8] 刘金铃,冯新斌,朱伟,等.东江沉积物重金属分布特征及污染评价[J].生态学杂志,2011,30(5):981-986.
- [9] 王进.广东省主要污染河段底质重金属污染评价[J].广东水利水电,2006,4(2):52-53.
- [10] 张江华,赵阿宁,王仲复,等.内梅罗指数和地质累积指数在土壤重金属评价中的差异探讨—以小秦岭金矿带为例[J].环保与分析,2010,8(31):43-46.
- [11] 刘慧力,崔龙鹏.淮南矿区水体沉积物中金属污染及环境现状评价[J].环境科学研究,2009,22(5):601-606.
- [12] 邓保乐,祝凌燕,刘慢,等.太湖和辽河沉积物重金属质量基准及生态风险评估[J].环境科学研究,2011,24(1):34-42.
- [13] 刘慧力,崔龙鹏,刘培陶,等.淮南矿区刘岗塘沉积物中重金属污染现状评价[J].能源环境保护,2008,22(3):57-61.
- [14] 魏焕鹏,党志,易筱筠,等.大宝山矿区水体和沉积物中重金属的污染评价[J].环境工程学报,2011,5(9):1943-1949.
- [15] 彭文启,张祥伟.现代水环境质量评价理论与方法[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [16] 吴锦涛,周岩梅.东江流域表层沉积物中重金属污染评价[J].环境科学与技术,2011,34(12H):349-351.
- [17] Muller G. Index of geo accumulation in the sediments of the Rhine[J]. River. Geo Journal, 1969, 2(3):108-118.
- [18] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control A sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8):975-1001.
- [19] 徐争启,倪师军,庾先国,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.
- [20] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等.中国土壤环境背景值研究[J].环境科学,1994,12(4):12-19.
- [21] 许硕烽,刘腾辉.广东土壤环境背景值和临界含量地带性分异[J].华南农业大学学报,1996,17(4):58-62.
- [22] Vega F A, Covelo E F, Andrade M L. Impact of industrial and urban waste on the heavy metal content of salt marsh soils in the southwest of the province of Pontevedra (Galicia, Spain)[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2008, 96(2-3):148-160.
- [23] 戴昭华,黄衍初.天津地区土壤中若干金属元素间的相关性[J].土壤学报,1984,21(3):314-319.

Characteristics Research of Heavy Metal Pollution in Water Environment of Xintang Town in Guangzhou

ZHANG Lili^{1,2}, WANG Chengduan¹, LIU Xiaowen², LI Xia^{1,2}, FANG Xiaohang²

(1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China;

2. Ministry of Environment Protection, South China Environment Science Research Institute, Guangzhou 510655, China)

Abstract: In order to investigate the status of heavy metal pollution in water environment of Xintang town in Guangzhou, taking the surface water in the town and the north main stream of Dongjiang in Xintang as the object of study, the 6 kinds of heavy metals in 20 samples from different sampling point are analyzed. The pollution levels of surface water and sediment are evaluated by single factor evaluation assessment and geo-accumulation index method. The potential ecological risk index method is employed to determine the potential ecological risk of heavy metal in sediment on the surrounding environment. The results show that all the levels of Cu, Zn, Cd, Hg, Cr in surface water meet the three kinds of water quality standards in Environment Quality Standard for Surface Water (GB3838-2002), but it is slightly contaminated by Pb. The pollution degrees of heavy metals in sediments follow the order Zn > Hg, Cd > Pb, and environment is heavily contaminated by Zn and not contaminated by Cu and Cr. The potential ecological risk assessment method shows, the sediments are exposed to very high potential ecological risk by Hg and Cd, and low potential ecological risk by Zn, Pb, Cr and Cu. The correlation among the heavy metals' concentration in sediment is analyzed, and the result indicates that the Hg and Cd, Cu and Zn, Zn and Cd have significant correlation.

Key words: Heavy metals pollution; Single factor evaluation assessment; geo-accumulation index method; potential ecological risk assessment method