

# 温州主要入海河流 6 种重金属的空间分布及风险评估

徐慧韬<sup>1,2</sup>, 徐秀丽<sup>1</sup>, 王丽平<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京), 海洋学院, 北京 100083;

2. 中国环境科学研究院, 水环境科学研究所, 北京 100012)

**摘要:**了解浙江温州地区主要入海河流重金属空间分布特征,合理评价研究区域水体重金属的潜在生态风险。在温州地区 3 条主要入海河流瓯江、飞云江和鳌江分析 6 种重金属的含量和空间分布,采用重金属污染指数法(HPI)和物种敏感性分布法(SSD)进行生态风险分析。Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As 的浓度分别为 12.46~1 830.01、2.94~372.79、19.58~435.04、0.06~0.79、14.11~192.98 和 1.59~63.95  $\mu\text{g/L}$ ,平均值分别为 801.68、73.80、168.61、0.26、81.06 和 23.53  $\mu\text{g/L}$ 。HPI 评估结果表明,O4、F2、A1 和 A2 4 个站位重金属污染程度高,F1 站位污染程度中等,O1、O2、O3 和 A3 污染程度低;其中对水体重金属污染贡献程度较高的 4 种重金属分别为 Cu、Pb、Cd 和 Cr。SSD 风险评价结果表明,Cu、Zn、Cr 和 As 在所有站点的表现均为高生态风险,Pb 在 O4 和 A2 站点表现为高生态风险,说明这 5 种重金属对所在区域水生生物具有较高的潜在危害。2 种方法从不同角度对重金属的潜在生态风险进行了评价,能有效规避单一评价方法的不足,互为补充。

**关键词:**入海河流;重金属;生态风险评价;温州

**中图分类号:**Q958.116 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2021)01-0042-07

重金属的持续性、难降解性导致其在环境中逗留时间长并沿着食物链流动,在高营养级生物体内累积(Dou et al, 2013; zhang et al, 2015; Yi et al, 2017; 齐鹏等, 2015)。水体中的重金属能通过浮游植物的吸收、浮游动物摄取等方式进入生物体,而人则因进食被重金属污染的水生生物间接受到影响(徐美娟等, 2018)。同时,水体中重金属经由各种生物和理化作用富集于沉积物中(郭晶等, 2016),是反映水环境质量的重要指标。

温州位于浙江省东南部,全市陆域面积约为  $1.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,工业发达河流沿岸布设有煤电化制热、尼龙和镍合金等新能源和重化工行业(胡伟韬, 2017)。部分学者进行了温州入海河流的沉积物重金属调查(金文奖等, 2017; 宋力等, 2012; 车继鲁等, 2017),张树刚等(2016)对温州近岸海域表层沉积物中重金属(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg、As)的含量进行了分析,发现高值区分布在瓯江口、飞云江口、鳌江口的入海区域。结合前人的研究,对温州主要入海

河流瓯江、飞云江、鳌江表层水体中 6 种潜在风险性较高的重金属(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As)的含量进行分析,并采用重金属污染指数(HPI)和物种敏感性分布(SSD)法进行生态风险分析,以期合理评价研究区域水体重金属的潜在生态风险。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品采集与处理

选取温州辖区内 3 条主要入海河流瓯江、飞云江、鳌江,于 2017 年 5 月 15-16 日采集水样。选取河流附近存在工业园区的区域布设站位,见图 1。

每个站位采 3 个平行样,样品经  $0.45 \mu\text{m}$  的醋酸纤维滤膜过滤后,加入 2 mol/L 的硝酸溶液,将待测样品的 pH 调至  $< 2$ ,于  $4^\circ\text{C}$  低温保存并尽快运回实验室完成样品分析工作。

### 1.2 样品分析

重金属浓度采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, 美国 Agilent 7500cx 型)测定,采用去离子水作为空白组消除系统误差。Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 和 As 的检出限分别为 0.020、0.003、0.320、0.005、2.250 和 0.056  $\mu\text{g/L}$ 。

### 1.3 评价方法

1.3.1 重金属污染指数法(HPI) 是评价地表水污染的有效工具(Zuo et al, 2016; Singh et al, 2017),结合多个参数获得可以与临界值进行比较的

收稿日期:2019-03-12

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC1402206)。

作者简介:徐慧韬,1994 年生,女,硕士研究生,研究方向为水环境生态学。E-mail: xu\_huitao@foxmail.com

通信作者:徐秀丽。E-mail: xiulixu@163.com

王丽平。E-mail: wanglp@craes.org.cn

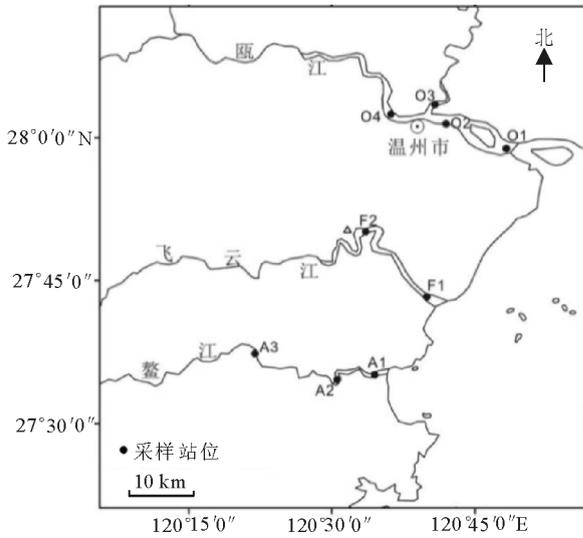


图1 温州主要入海河流采样站位

Fig.1 Location of sampling sites in the three rivers flowing to the sea at Wenzhou City

值,可综合评估重金属对整体水质的影响。指数法基于加权算术平均值的评级技术,过程分为2步,首先通过为每个选定的参数建立一个评级量表来给出权重,然后选择该指数所依据的污染参数(Mohan et al,1996)。其计算步骤为:

计算第*i*个重金属指标的权重:

$$W_i = \frac{k}{S_i} \quad (1)$$

计算第*i*个重金属指标的质量等级指数:

$$Q_i = 100 \times \left( \frac{C_i}{S_i} \right) \quad (2)$$

加权计算重金属污染指数:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3)$$

式中: $W_i$ 为第*i*个重金属指标的权重; $Q_i$ 为第*i*个重金属指标的质量等级指数;HPI为重金属污染指数; $k$ 为由条件决定的比例常数(为计算方便,一般取1); $S_i$ 为水体中重金属的浓度标准值; $C_i$ 为水体中重金属的实测浓度; $n$ 为参与评价的重金属元素个数。温州入海河流水体按照《地表水环境质量标准》中IV类进行管理,文中 $S_i$ 采用IV类水质对应的重金属浓度标准值。

Edet和Offiong(2002)提出将污染程度划分为高、中、低3个等级,当 $HPI < 15$ 时,污染程度低;当 $15 \leq HPI \leq 30$ 时,污染程度中等;当 $HPI > 30$ 时,污染程度高。本文采用该方案进行划分。

1.3.2 物种敏感性分布法 物种敏感性分布不同

于以往单一物种、单一污染物的方式,而是描述同一种污染物对一系列物种的毒性,更符合生态系统这一概念(Kooijman,1987)。该方法已经确立为制定环境标准的合理方法,应用于水体、土壤、沉积物等环境介质的生态风险评价(赵佳懿等,2014;王宏伟等,2017;杨阳等,2016;蒋丹烈等,2012;Wang et al,2008)。在所有环境介质中,地表水中生物毒性数据较多,样本含量大,构建的SSD曲线的拟合效果也会更好(Prasad et al,2001)。

本文借鉴杜建国等(2013)已构建的SSD曲线获取6种重金属对5%生物物种产生危害的污染浓度值( $HC_5$ ),预测无效应浓度值(PNEC)为 $HC_5$ 与不确定因子(AF)的比值。根据检测物种的数量定性和定量的毒性数据以及模型拟合优势度,取 $AF = 3$ (ECB,2003)。再运用熵值法进行风险表征从而判断温州主要入海河流的重金属污染情况。

$$PNEC = \frac{HC_5}{AF} \quad (4)$$

风险熵(risk quotient, RQ)是实测环境浓度(NEC)与PNEC的比值。当 $RQ \leq 0.1$ 时,为低生态风险;当 $0.1 < RQ < 1.0$ 时,为中度生态风险;当 $RQ \geq 1.0$ 时,则为高生态风险。

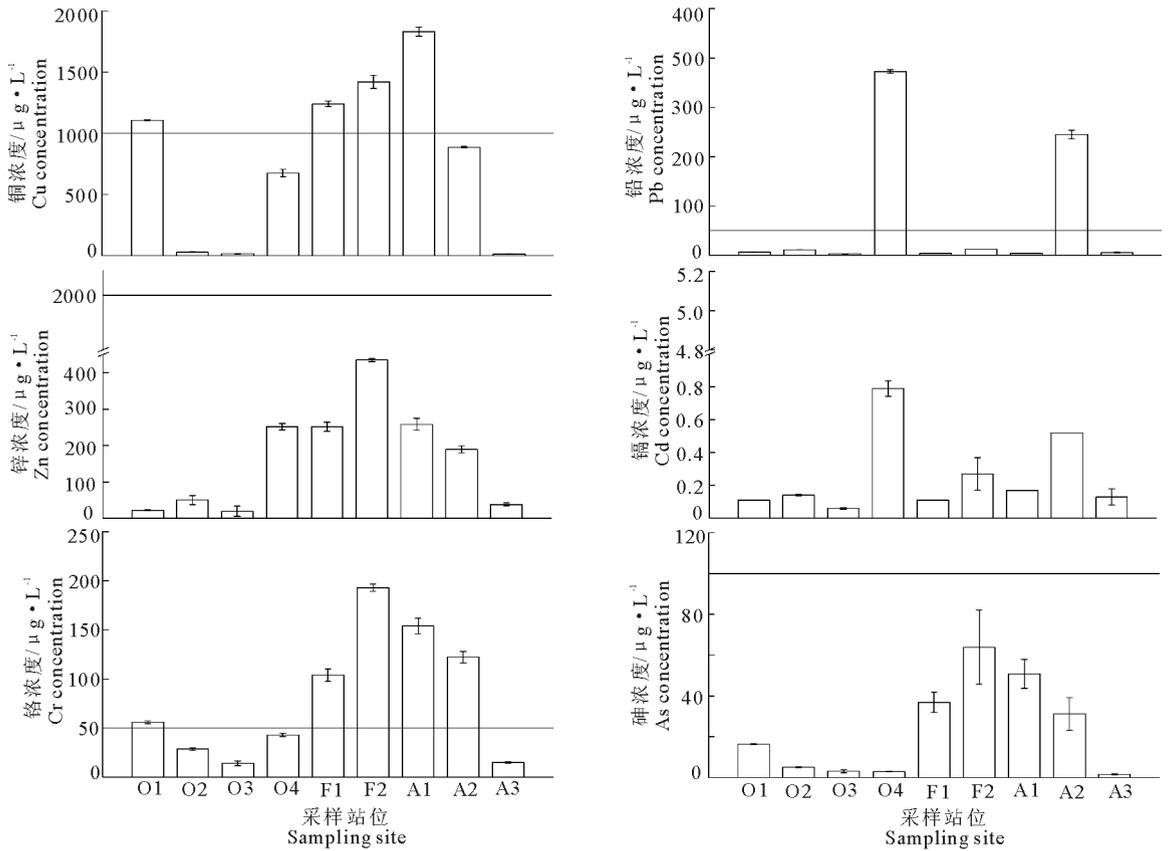
$$RQ = \frac{NEC}{PNEC} \quad (5)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 鳌江、瓯江和飞云江重金属含量

研究区域温度 $22.4 \sim 25.7^\circ\text{C}$ ;pH $5.60 \sim 7.96$ ,瓯江站位整体偏酸性,而鳌江和飞云江则呈现弱碱性。溶解氧含量 $3.41 \sim 8.17 \text{ mg/L}$ ,瓯江站位的溶解氧含量 $8.08 \sim 8.17 \text{ mg/L}$ ,而鳌江和飞云江分别在 $3.41 \sim 5.61$ 、 $4.73 \sim 7.09 \text{ mg/L}$ 。

重金属的浓度分布见图2。Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As的浓度分别在 $12.46 \sim 1\ 830.01$ 、 $2.94 \sim 372.79$ 、 $19.58 \sim 435.04$ 、 $0.06 \sim 0.79$ 、 $14.11 \sim 192.98$ 和 $1.59 \sim 63.95 \mu\text{g/L}$ ,平均值分别为 $801.68$ 、 $73.80$ 、 $168.61$ 、 $0.26$ 、 $81.06$ 和 $23.53 \mu\text{g/L}$ 。对比《地表水环境质量标准》中Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As的IV类水质标准值( $1\ 000$ 、 $50$ 、 $2000$ 、 $5$ 、 $50$ 、 $100 \mu\text{g/L}$ ),Cu在O1、F1、F2、A1站位超标;Pb在O4、A2站位超标;Cr在O1、F1、F2、A1、A2站位超标。这与罗蔚华等(2007)的研究结果相似,其Cu和Pb的最大值分别为 $1196.8$ 和 $287.03 \mu\text{g/L}$ 。研究区域各重金属含量的离散程度较大,空间分布不均匀。



(图中黑色实线为 IV 类水质浓度标准值)

图 2 各站点 6 种重金属的浓度

(The solid black line indicates the Class IV standard for water quality)

Fig.2 Concentration of the six heavy metals at each sampling site

2.2 重金属污染指数评价

重金属污染指数(HPI)计算结果见表1。各站点6种重金属的综合污染程度为 O4>A2>F2>A1>F1>O1>O2>A3>O3。鳌江各站点 HPI 值变化范围为 5.39~68.26,由大到小依次为 A2>A1>A3,靠近河口的 A1 和 A2 站点污染程度高,而上游的 A3 站点污染程度低,表明了重金属主要通过地表径流汇集于河口区。瓯江各站点 HPI 值变化

范围为 3.8~79.10,由大到小依次为 O4>O1>O2>O3,其中 O1、O2 与 O3 站点的 HPI 值均<15,污染程度低;O4 站点为 79.26,超过 30,污染程度高。飞云江的 F1 与 F2 站点的 HPI 值分别为 20.90 和 40.11,表明 F1 站点污染程度中等,F2 站点污染程度高。与河口区高而干流区低的一般趋势不同,O4 和 F2 站点高于河口区站点。经调查发现这两个站点附近有工业园区,可能存在瞬时污染现象。

表 1 各站点重金属污染指数(HPI)

Tab.1 Heavy metal pollution index (HPI) for each sampling site

	O1	O2	O3	O4	F1	F2	A1	A2	A3
HPI	12.80	8.90	3.80	79.10	20.90	40.11	30.60	68.26	5.39
污染程度	低	低	低	高	中等	高	高	高	低

各站点 HPI 的累积百分比见图 3。其中 Pb 是造成 O4 和 A2 站点中重金属污染程度高的原因,累积百分比分别为 75%和 57%。Cr 是造成 F2 站点中重金属污染程度高的原因,累积百分比为 77%。综合各站点的 HPI 值,发现 4 个站点污染程度高、1 个站点污染程度中等还有另外 4 个站点污染程度低。说明温州主要入海河流重金属污染程度相对严

重,且各站点造成重金属污染的种类不尽相同。

2.3 物种敏感性分布风险评价

根据杜建国等(2013)建立的重金属物种敏感性分布曲线,Cu、Zn、As、Cd、Cr、Pb 对应的 HC<sub>5</sub> 值分别为 3.46、25.54、0.50、1.07、25.43、234.06 μg/L。从采样站位的实测环境浓度看,各站点的 Cd 浓度值均低于其对应的 HC<sub>5</sub> 值,Cu 和 As 的浓度值均高

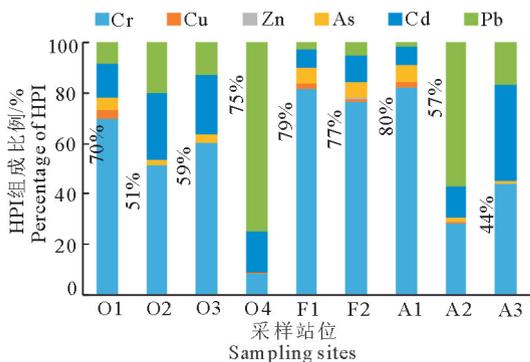


图3 各站点 HPI 的累积百分比

Fig.3 Cumulative percentage of HPI for each sampling site

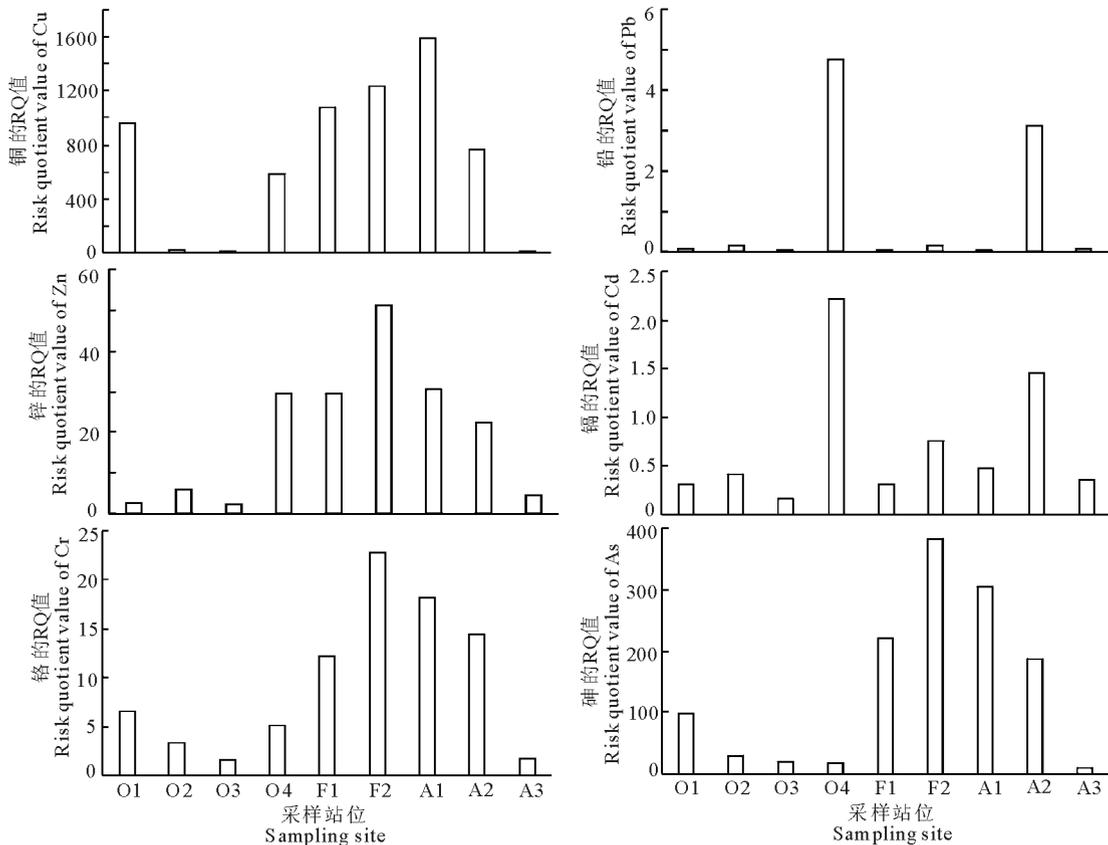


图4 各站点 6 种重金属的 RQ 值

Fig.4 Risk quotient values of the six heavy metals for each sampling site

2.21 和 1.46,为高生态风险,其余站点为中等生态风险。由 RQ 值判断,6 种重金属的生态风险排序为 Cu>As>Zn>Cr>Cd>Pb。

### 3 讨论

张树刚等(2016)对温州近岸海域沉积物中的重金属进行了生态风险评价,结果表明 64.8%的站点 Cu 含量超标,其次是 Cr,且高值区都分布在瓯江、飞云江、鳌江近岸海域,本文研究结果也表明 Cu、Cr 在温州入海河口区域浓度较高、生态风险较大。

于其对应的 HC<sub>5</sub> 值,有 7 个站点(占 77.8%)的 Zn 和 Cr 浓度值超出其对应的 HC<sub>5</sub> 值,另外有 2 个站点(占 22.2%)的 Pb 浓度值超出其对应的 HC<sub>5</sub> 值。表明研究区域水体中 Cu、As、Zn 和 Cr 的污染严重,可能会对当地的物种造成一定程度的影响。

6 种重金属的 RQ 值见图 4。Cu、Zn、Cr 和 As 在所有站点的 RQ>1.0,为高生态风险;Pb 的 RQ 值在 0.04~4.78,其中 O4 和 A2 站点分别是 4.78 和 3.14,为高生态风险,O2 和 F2 站点分别是 0.14 和 0.16,为中等生态风险,其余站点为低生态风险;Cd 的 RQ 值在 0.17~2.21,其中 O4 和 A2 站点分别是

应用 Pearson 相关性分析(RStudio v1.1.463)发现温州主要入海河流水体和温州近岸海域沉积物中的重金属含量呈现强相关性,相关性系数为 0.97,表明入海河流水体中的重金属对近岸海域沉积物中的重金属污染有一定影响。

重金属浓度和两种风险评价结果均表明瓯江、飞云江、鳌江存在重金属高污染现象。HPI 的判定结果显示 O4、F2、A1、A2 为高污染区域,污染程度表现为 O4>A2>F2>A1(表 1)。经过对这些高污染站点附近工业园区布局的调研发现,O4 站点周围

有大小不等的14家工业园区分布,A2站位周围有7家工业园区,F2站位附近有1个工业区,A1站位上游分布有9家工业园区。这些工业园区主要涉及五金、制鞋、包装印刷、电子等行业,可见重金属的污染程度受附近分布的工业园区影响较大。

两种评价方法结果比较详见表2。HPI中占比大的4种重金属Cu、Pb、Cr和Cd,在SSD方法评价结果也是中等或高等生态风险。例如,HPI结果表明O4和A2站位为高污染程度,Pb的HPI指数占比分别为75%和57%,SSD也表明在O4和A2站位Pb的RQ值均为高生态风险,2种方法表明O4和A2区域为高污染,且Pb污染严重。差异性在于:HPI是基于《地表水环境质量标准》Ⅳ类标准浓度值计算而得,而RQ值则是根据水生态环境中生物的耐受阈值决定,2种评价方法侧重点的不同造成了结果的不同。例如,HPI指数结果显示O1、O2、O3和A3站位为低污染程度,SSD评价结果则显示Cu、As、Zn和Cr在每个站位均存在高风险。

表2 各站位重金属污染指数(HPI)和物种敏感性分布(SSD)生态风险分析比较

Tab.2 Comparison of HPI and ecological risk assessment based on SSD for each sampling site

站位	重金属指数法(HPI)	物种敏感性分布生态风险评价(SSD-RQ)
O1	污染程度低,Cr占比最大,其次是Cd和Cu	Cu、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd为中等生态风险
O2	污染程度低,Cr占比最大,其次是Cd和Pb	Cu、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd和Pb为中等生态风险
O3	污染程度低,Cr占比最大,其次是Cd和Pb	Cu、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd为中等生态风险
O4	污染程度高,Pb浓度过高,其次是Cd和Cr	Cu、Pb、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd为中等生态风险
F1	污染程度中等,Cr占比最大,其次是Cd和Cu	Cu、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd为中等生态风险
F2	污染程度高,Cr占比最大,其次是Cd和Cu	Cu、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd和Pb为中等生态风险
A1	污染程度高,Cr占比最大,其次是Cd和Cu	Cu、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd为中等生态风险
A2	污染程度高,Pb浓度过高,其次是Cd和Cr	Cu、Pb、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd为中等生态风险
A3	污染程度低,Cr占比最大,其次是Cd和Pb	Cu、As、Zn和Cr表现为高生态风险,Cd为中等生态风险

综上,两种评价方法在综合评价重金属污染程度时侧重点各不相同,在实际应用中可以先通过HPI评价法确定水体重金属污染程度高的站位或区域,再通过SSD评价方法确定其中对水生生物危害性高的重金属进行重点防治及监控,从而为保护水生态安全提供技术支持。

## 4 结论

(1)Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As的浓度平均值分别为801.68、73.80、168.61、0.26、81.06和23.53  $\mu\text{g/L}$ 。重金属的污染程度与采样站位附近的工业园区分布紧密相关。

(2)重金属污染指数评价结果表明,O4、F2、A1和A2 4个站位重金属污染程度高,F1站位污染程度中等,O1、O2、O3和A3污染程度低。根据HPI

重金属污染指数法(HPI)和物种敏感性分布法都是目前较成熟且应用较广的方法。如臧星华(2017)应用HPI法对抚新周边地下水和土壤中的典型重金属进行评价,发现部分地下水采样点的Pb和镍(Ni)超标;左航等(2016)使用HPI法评估了黄河上游水体的重金属污染,结果表明各采样站位枯水期HPI为6.46~11.95,平水期HPI为4.53~210.53,靠近工厂和采矿的站位HPI指数较高;王宏伟等(2018)对渤海湾近岸水体中重金属的潜在生态风险进行评价,结果发现Cu的RQ值为4.87~13.13,存在高生态风险,Zn的RQ值为1.28~17.06,所有站位均为高生态风险;杜萌(2014)对南方某流域的环境样品中砷(As)、汞(Hg)这2种重金属进行分析,发现As在水体和沉积物中均为低生态风险,RQ的平均值分别为0.24和0.23。Hg在水体中为低风险,RQ值最大为0.36,但在沉积物中风险较高。

指数大小重金属的综合污染程度为O4>A2>F2>A1>F1>O1>O2>A3>O3。其中对水体重金属污染贡献程度高的4种重金属分别为Cu、Pb、Cd和Cr。

(3)基于物种敏感性分布生态风险评价结果表明;Cu、Zn、Cr和As在所有站位的表现均为高生态风险,Pb在O4和A2站位表现为高生态风险,对生物存在极高的潜在危害性。6种重金属的生态风险排序为Cu>As>Zn>Cr>Cd>Pb。

(4)两种方法从不同角度对重金属的潜在生态风险进行了评价,能有效的结合互为补充。建议评价时先通过HPI评价法确定高污染程度的区域,再通过SSD生态风险评价方法筛选该区域生态毒性高的重金属,进行重点监测和预防。

## 参考文献

- 车继鲁,余树全,张鑫,等,2017. 瓯江下游流域河流沉积物重金属污染特征、来源及潜在生态风险评价[J]. 生态科学, 36(4):176-184.
- 杜萌,2014. 基于砷、汞形态的生态风险评价研究[D]. 北京:中国科学院大学.
- 杜建国,赵佳懿,陈彬,等,2013. 应用物种敏感性分布评估重金属对海洋生物的生态风险[J]. 生态毒理学报, 8(4):561-570.
- 郭晶,李利强,黄代中,等,2016. 洞庭湖表层水和底泥中重金属污染状况及其变化趋势[J]. 环境科学研究, (1):44-51.
- 胡伟韬,2017. 浙江省近岸海域生态环境健康评估和对策研究[D]. 沈阳:沈阳理工大学.
- 蒋丹烈,岳龙,马迪,等,2012. 应用物种敏感性分布法分析太湖及天目湖水体的生态风险[J]. 环境化学, 31(3):296-301.
- 金文奖,侯平,张伟,等,2017. 温州鳌江流域表层底泥及河岸土壤重金属空间分布与生态风险评价[J]. 浙江农林大学学报, (6):963-971.
- 罗蔚华,南旭阳,2007. 温州市区部分河道重金属污染的调查研究[J]. 陕西农业科学, (3):48-52.
- 齐鹏,余树全,张超,等,2015. 城市地表水表层沉积物重金属污染特征与潜在生态风险评估:以永康市为例[J]. 环境科学, 36(12):4486-4493.
- 宋力,顾敦罡,黄民生,等,2012. 温州河网沉积物中重金属分布特征与污染评价[J]. 光谱学与光谱分析, (9):2540-2545.
- 王宏伟,乔艳珍,王丽平,2017. 天津渤海湾4种重金属的分布及生态风险评价[J]. 水生态学杂志, 38(2):38-43.
- 徐美娟,鲍波,陈春燕等,2018. 宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价[J]. 环境科学, 39(02):729-737.
- 杨阳,陈卫平,李艳玲,等,2016. 基于不确定性分析的土壤-水稻系统镉污染综合风险评估[J]. 环境科学, (12):4800-4805.
- 臧星华,2017. 城镇化进程中典型金属的污染特征及其风险评估[D]. 北京:北京交通大学.
- 张树刚,吕宝强,马志凯,等,2016. 温州近岸海域沉积物中重金属生态风险评价[J]. 环境科学与技术, 39(S2):437-443.
- 赵佳懿,杜建国,陈彬,等,2014. 应用物种敏感性分布评估九龙江口水体重金属生态风险[J]. 生态学杂志, 33(2):400-407.
- 左航,马小玲,陈艺贞,等,2016. 黄河上游水体中重金属分布特征及重金属污染指数研究[J]. 光谱学与光谱分析, 36(9):3047-3052.
- Dou Y G, Li J, Zhao J T, et al,2013. Distribution, enrichment and source of heavy metals in surface sediments of the eastern Beibu Bay, South China Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 67(1/2): 137 - 145.
- ECB(European Chemicals Bureau),2003.Technical Guidance Document on Risk Assessment Part I [R]. Institute for Health and Consumer Protection, Italy, Ispra.
- Edet, A E, Offiong O E,2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria) [J]. GeoJournal. 57(4): 295 - 304.
- Zuo H, Ma X L, Chen Y Z, et al,2016. Studied on Distribution and Heavy Metal Pollution Index of Heavy Metals in Water from Upper Reaches of the Yellow River, China[J]. Spectroscopy & Spectral Analysis, 36: 3047 - 3052.
- Kooijman S A L M,1987. A safety factor for LC50 values allowing for differences in sensitivity among species[J]. Water Research, 21(3):269-276.
- Mohan S V, Nithila P, Reddy S J,1996. Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index[J]. J Environ Sci Health A31:283-289.
- Prasad B, Bose J,2001. Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas[J]. Environmental Geology, 41(1):183-188.
- Singh R, Venkatesh A S, Syed T H, et al,2017. Assessment of potentially toxic trace elements contamination in groundwater resources of the coal mining area of the Korba Coalfield, Central India[J]. Environmental Earth Sciences, 76(16):566.
- Wang B, Yu G, Huang J, et al,2008. Development of species sensitivity distributions and estimation of HC5 of organochlorine pesticides with five statistical approaches [J]. Ecotoxicology, 17(8):716-724.
- Yi Y J, Tang C H, Yi T C, et al,2017. Health risk assessment of heavy metals in fish and accumulation patterns in food web in the upper Yangtze River, China [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 145: 295 - 302.
- Zhang L, Shi Z, Jiang Z J, et al,2015. Distribution and bioaccumulation of heavy metals in marine organisms in east and West Guangdong coastal regions, South China [J]. Marine Pollution Bulletin, 101(2): 930 - 937.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

## Spatial Distribution and Risk Assessment of Six Heavy Metals in Rivers Flowing into Sea at Wenzhou, Zhejiang Province

XU Hui-tao<sup>1,2</sup>, XU Xiu-li<sup>1</sup>, WANG Li-ping<sup>2</sup>

(1. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, P.R.China;

2. Water Environmental Research Institute, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, P.R.China)

**Abstract:** Wenzhou City is located in the southeast of Zhejiang Province with industries that are associated with heavy metals. In order to understand the basic situation of heavy metal pollution in the coastal waters of Wenzhou City, we investigated the spatial distribution characteristics of six heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd, Cr and As) in three major rivers flowing to the sea (the Oujiang, Feiyun and Aojiang Rivers), and the potential risk posed by each heavy metals was assessed using the heavy metal pollution index (HPI) and species sensitivity distribution (SSD). Water samples were collected at nine representative sites near the industrial zone on May 15 – 16, 2017 (O1 – O4 in Oujiang River, F1 – F2 in Feiyun River and A1 – A3 in Aojiang River) and the six heavy metals were determined using ICP-MS. The degree of heavy metal pollution at each sampling station was closely related its proximity to the industry zone. The metal concentration ranges and mean values ( $\mu\text{g/L}$ ) were as follows: Cu (12.46 – 1 830.01, 801.68), Pb (2.94 – 372.79, 73.80), Zn (19.58 – 435.04, 168.61), Cd (0.06 – 0.79, 0.26), Cr (14.11 – 192.98, 81.06) and As (1.59 – 63.95, 23.53). The HPI indicated that heavy metal pollution was high at sites O4, F2, A1 and A2; moderate at site F1; and low at sites O1, O2, O3 and A3. The metals posing the highest potential risk in the three rivers were, in order: Cu, Pb, Cd and Cr. The ecological risk assessment, based on SSD, showed that Cu, Zn, Cr and As posed a high ecological risk at all sites, and Pb posed a high ecological risk at sites O4 and A2, indicating that these five heavy metals all posed a risk of adverse impact to aquatic organisms. The HPI and SSD were calculated and compared in this study to more comprehensively evaluate the potential ecological risk of heavy metals and avoid the shortcomings of a single evaluation method. We recommend that the HPI could be used to determine the degree of pollution, and the SSD could be used to evaluate the ecological risk posed by toxic heavy metals. The risk analysis carried out in this study provides basic information on a key group of contaminants to guide future monitoring and development of pollution control measures.

**Key words:** rivers flowing into sea; heavy metals; ecological risk assessment; Wenzhou City