

## 广西茅尾海海水和表层沉积物中重金属污染的调查及评价\*

## Survey and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Sea Water and Surface Sediments of Guangxi Maowei Sea

雷 富, 陈宪云, 许铭本, 张荣灿, 陈 默, 姜发军\*\*

LEI Fu, CHEN Xian-yun, XU Ming-ben, ZHANG Rong-can, CHEN Mo, JIANG Fa-jun

(广西科学院, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007)

(Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

**摘要:** 2011年10月从钦州茅尾海采集19个海水样品和16个沉积物样品, 利用原子吸收光谱仪和原子荧光分光光度计测定钦州茅尾海表层沉积物中6种重金属元素(Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As)含量, 采用单因子指数法和Häkanson生态风险指数法对海水及表层沉积物重金属污染特征及潜在生态风险性进行分析和评价。结果表明: 该海域海水中Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As的含量( $\mu\text{g/L}$ )变化范围分别为0.9~4.2、0~12.8、0~59.8、0.03~0.34、0~0.105、0.23~0.82, 平均浓度( $\mu\text{g/L}$ )分别为2.2、2.3、17.4、0.13、0.047、0.43, 其中, 海水中的Pb平均含量超过国家一类海水水质标准, 各种重金属单因子污染程度依次为Pb>Hg>Zn>Cu>Cd>As。表层沉积物中的Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As的含量( $\mu\text{g/L}$ )变化范围分别为 $(2.1\sim 46.5)\times 10^{-6}$ 、 $(13.9\sim 34.0)\times 10^{-6}$ 、 $(21.4\sim 114.1)\times 10^{-6}$ 、 $(0.06\sim 0.40)\times 10^{-6}$ 、 $(0.001\sim 0.126)\times 10^{-6}$ 、 $(3.77\sim 19.63)\times 10^{-6}$ , 平均含量( $\mu\text{g/L}$ )分别为 $18.1\times 10^{-6}$ 、 $26.3\times 10^{-6}$ 、 $56.7\times 10^{-6}$ 、 $0.19\times 10^{-6}$ 、 $0.056\times 10^{-6}$ 、 $9.60\times 10^{-6}$ 。该海域重金属综合污染程度和潜在生态风险性均较低, 重金属元素污染程度Cu>As>Pb>Cd>Zn>Hg, 重金属元素对海洋生态系统潜在危害的影响程度Cd>Hg>As>Cu>Pb>Zn, 沉积物中主要潜在生态风险因子为Cd、Hg。

关键词: 茅尾海 海水 沉积物 重金属 污染评价

中图法分类号: X82, X834 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2013)03-0176-05

**Abstract:** 19 seawater samples and 16 surface sediments samples were collected in Maowei Sea in October 2011. The heavy metals content in seawater and surface sediments was determined by atomic absorption spectrometry and atomic fluorescence spectrophotometer. The pollution status and the potential ecological risk of the heavy metals of surface sediments in Maowei Sea were studied by using the index technique of single factor and Håkanson ecological risk index. Results showed that the content range of Cu, Pb, Zn, Cd, Hg and As in surface seawater is 0.9~4.2, 0~12.8, 0~59.8, 0.03~0.34, 0~0.105, 0.23~0.82  $\mu\text{g/L}$ , respectively and the average for each metal is 2.2, 2.3, 17.4, 0.13, 0.047, 0.43  $\mu\text{g/L}$ , respectively. The concentration of Pb exceeded the standard of first grade seawater quality of China. The sequence of single factor index is Pb>Hg>Zn>Cu>Cd>As. The content range of Cu, Pb, Zn, Cd, Hg and As in surface sediments is  $(2.1\sim 46.5)\times 10^{-6}$ ,  $(13.9\sim 34.0)\times 10^{-6}$ ,  $(21.4\sim 114.1)\times 10^{-6}$ ,  $(0.06\sim 0.40)\times 10^{-6}$ ,  $(0.001\sim 0.126)\times 10^{-6}$ ,  $(3.77\sim 19.63)\times 10^{-6}$ , respectively. The average content of heavy metals in surface sediments is  $18.1\times 10^{-6}$ ,  $26.3\times 10^{-6}$ ,  $56.7\times 10^{-6}$ ,  $0.19\times 10^{-6}$ ,  $0.056\times 10^{-6}$ ,  $9.60\times 10^{-6}$   $\mu\text{g/L}$ . The comprehensive pollution degree and potential ecological risk of heavy metals in Maowei Sea are low, the pollution degree of heavy metals is Cu>As>Pb>Cd>Zn>Hg, the influence degree of heavy metals on the marine ecosystem is Cd>Hg>As>Cu>Pb>Zn, the main potential ecological risk factor in sediment is Cd, Hg.

收稿日期: 2013-04-15

修回日期: 2013-06-02

作者简介: 雷 富(1975-), 男, 副研究员, 主要从事海洋环境科学研究。

\* 广西自然科学基金项目(2010GXNSFE013001; 2011GXNSFE018002; 2012GXNSFEA053001)资助。

\*\* 通讯作者: 姜发军(1976-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事海洋环境研究。E-mail: hunanjf@126.com。

ter is 0.9~4.2, 0~12.8, 0~59.8, 0.03~0.34, 0~0.105, 0.23~0.82  $\mu\text{g/L}$ , respectively and the average for each metal is 2.2, 2.3, 17.4, 0.13, 0.047, 0.43  $\mu\text{g/L}$ , respectively. The concentration of Pb exceeded the standard of first grade seawater quality of China. The sequence of single factor index is Pb>Hg>Zn>Cu>Cd>As. The content range of Cu, Pb, Zn, Cd, Hg and As in surface sediments is  $(2.1\sim 46.5)\times 10^{-6}$ ,  $(13.9\sim 34.0)\times 10^{-6}$ ,  $(21.4\sim 114.1)\times 10^{-6}$ ,  $(0.06\sim 0.40)\times 10^{-6}$ ,  $(0.001\sim 0.126)\times 10^{-6}$ ,  $(3.77\sim 19.63)\times 10^{-6}$ , respectively. The average content of heavy metals in surface sediments is  $18.1\times 10^{-6}$ ,  $26.3\times 10^{-6}$ ,  $56.7\times 10^{-6}$ ,  $0.19\times 10^{-6}$ ,  $0.056\times 10^{-6}$ ,  $9.60\times 10^{-6}$   $\mu\text{g/L}$ . The comprehensive pollution degree and potential ecological risk of heavy metals in Maowei Sea are low, the pollution degree of heavy metals is Cu>As>Pb>Cd>Zn>Hg, the influence degree of heavy metals on the marine ecosystem is Cd>Hg>As>Cu>Pb>Zn, the main potential ecological risk factor in sediment is Cd, Hg.

$0.40) \times 10^{-6}$ ,  $(0.001 \sim 0.126) \times 10^{-6}$ ,  $(3.77 \sim 19.63) \times 10^{-6}$ , and the average for each metal is  $18.1 \times 10^{-6}$ ,  $26.3 \times 10^{-6}$ ,  $56.7 \times 10^{-6}$ ,  $0.19 \times 10^{-6}$ ,  $0.056 \times 10^{-6}$ ,  $9.60 \times 10^{-6}$  respectively. The result showed that the integrated contamination level of the heavy metals and the potential ecological risk of the heavy metal were both low in sediments of Maowei Sea. The order of the pollution degree was  $\text{Cu} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{Hg}$ , while, the order of the potential ecological risk was  $\text{Cd} > \text{Hg} > \text{As} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn}$ . The Cd and Hg are the key potential ecological risk factors in surface sediments in Maowei Sea.

**Key words:** Maowei Sea, seawater, sediments, heavy metal, pollution evaluation

茅尾海位于钦州市南部海域,地理位置为  $21^{\circ}45'N \sim 21^{\circ}56'N$ ,  $108^{\circ}28'E \sim 108^{\circ}38'E$ 。海湾内宽口窄,呈椭圆形,东西北三面为陆地包围,面积约  $135\text{km}^2$ ,水深一般为  $0.1 \sim 5\text{m}$ ,北部有钦江、茅岭江注入,给茅尾海带来了丰富的营养物质和矿物质,使茅尾海的渔业资源十分丰富。茅尾海湾内有七十二泾风景旅游区、近江牡蛎增殖区、沿岸养殖区和红树林保护区等,是钦州市重点保护的生态区。近年来钦州港经济区的加速建设,钦州港(包括茅尾海)沿岸生态环境正承受着愈来愈大的压力,工农业污染和生活污水导致湾内重金属污染物在海水和沉积物中迅速蓄积。重金属污染具有来源广、残毒时间长、易蓄积、污染后不易被发现并且难于恢复等特征,对水生生物和人体健康有较大的负面影响,并且蓄积在沉积物中的重金属有二次污染的可能,一旦参与食物链循环并最终在生物体内积累,将会破坏生物体正常生理代谢活动<sup>[1~3]</sup>。随着公众对环境污染的关注和重视,重金属污染评价在海洋环境质量评价中的作用越来越重要,已经成为海洋环境质量评价体系中十分重要的因子。沉积物中的重金属污染,已报道过多种评价方法。其中,瑞典科学家 Håkanson 的潜在生态危害指数法(PERL)<sup>[4]</sup>不仅考虑到用单因子法得出的金属污染系数,而且引入重金属的毒性响应系数,二者综合后评价重金属对生态环境的危害。该方法简便、快速且较为准确,还顾及了背景值的地域分异性<sup>[5]</sup>。本文根据 2011 年 10 月广西茅尾海海域海洋环境调查资料,利用原子吸收光谱仪和原子荧光分光光度计测定钦州茅尾海表层沉积物中 6 种重金属元素(Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As)含量,采用单因子指数法和 Håkanson 生态风险指数法对海水及表层沉积物重金属污染特征及潜在生态风险性进行了分析和评价,为该海域环境保护和可持续发展提供科学依据。

## 1 采样分析与评价

### 1.1 采样与分析

于 2011 年 10 月在广西茅尾海海域设置 19 个

站位采集海水,16 个站位采集表层沉积物。具体采样点见图 1。

采用  $2.5\text{dm}^3$  有机玻璃采水器采集海水,所有海水样品采集、保存和前处理均按照《海洋监测规范》2007 版<sup>[6]</sup>的要求操作。表层沉积物用抓斗式采泥器采集,用塑料勺取其中央未受干扰的表层泥样于聚乙烯袋中。Cu、Pb、Zn、Cd 和 As 样品在  $105^{\circ}\text{C}$  烘箱内烘干,用玛瑙研钵将其磨碎并全部通过 160 目筛,充分混匀后取样以备用;Hg 样品经过自然风干,研磨通过 80 目筛,充分混匀后取样以备用。海水和沉积物样品中重金属含量的测定方法也依据《海洋监测规范》2007 版<sup>[6]</sup>的要求进行,Cu、Pb、Zn、Cd 含量采用原子吸收法测定(PerkinElmer Analyst 800),Hg、As 含量采用原子荧光法测定(北京吉天仪器有限公司 AFS-830 双道原子荧光光度计)。

实验所用玻璃器皿均用 1:3 硝酸浸泡至少 24h 以上,并用电阻率为  $18.2\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$  的超纯净水反复冲洗,所用 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 单元素标准溶液均由国家标准物质研究中心提供。质量控制所用的海水标准物质和沉积物标准物质均由国家海洋局第二海洋研究所标准物质中心提供。

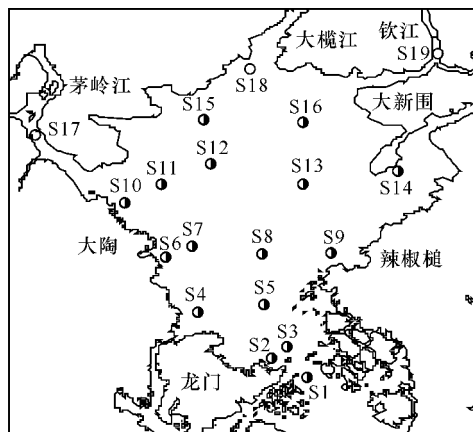


图 1 采样站位

○:水质站点;●:水质和沉积物站点。

### 1.2 评价方法

海水水质和沉积物采用单项污染指数( $C_f$ )评价<sup>[7,8]</sup>,以《海水水质标准》<sup>[9]</sup>的一类标准限值作为评

价标准,当  $C_f \leq 1$  时,表示重金属含量符合标准;当  $C_f > 1$  时,表示重金属含量超过标准。

单项污染指数按下式进行计算:

$$C_f = C_s / C_n,$$

式中,  $C_s$  为第  $i$  测站重金属含量的实测值,  $C_n$  采用一类重金属含量的标准限值。

潜在生态危害指数法计算方法<sup>[10,11]</sup>如下:对沉积物中多种重金属的综合污染效应,通过综合污染指数  $C_d$  来表征,计算公式为:

$$C_d = \sum_i^6 C_f^i,$$

式中:  $C_d$  是综合污染指数,是沉积物多种重金属污染指数之和。我们以前述所选择的6种重金属元素来评价沉积物中重金属的综合污染情况。

某单个重金属的潜在生态危害系数( $E_r^i$ ):

$$E_r^i = T_f^i \times C_f^i,$$

式中,  $T_f^i$  为重金属的毒性响应系数,反映了重金属的毒性水平和生物对其污染的敏感程度<sup>[10]</sup>。Hg, Cd, As, Pb, Cu, Zn 的毒性响应系数<sup>[12]</sup>分别为 40, 30, 10, 5, 5, 1。

沉积物中多个重金属的潜在生态危害指数(ERI)公式如下:

$$ERI = \sum_i^n E_r^i,$$

$C_f, C_d, E_r^i, ERI$  值所对应的污染程度及生态风险分级<sup>[10]</sup>,见表1。

表1  $C_f, C_d, E_r^i, ERI$  与污染程度的关系

$C_f$	污染程度分级	$C_d$	污染程度分级	$E_r^i$	生态风险分级	ERI	生态风险分级
$C_f < 1$	低污染	$C_d < 6$	低污染	$E_r^i < 25$	轻微	$ERI < 110$	低
$1 \leq C_f < 3$	中污染	$6 \leq C_d < 12$	中污染	$25 \leq E_r^i < 50$	中等	$110 \leq ERI < 220$	中
$3 \leq C_f < 6$	较高污染	$12 \leq C_d < 24$	较高污染	$50 \leq E_r^i < 100$	强	$220 \leq ERI < 440$	较高
$C_f \geq 6$	很高污染	$C_d \geq 24$	很高污染	$100 \leq E_r^i < 200$ $E_r^i \geq 200$	很强 极强	$ERI \geq 440$	很高

## 2 结果与分析

### 2.1 海水中重金属含量的分布特征与污染评价

#### 2.1.1 海水中重金属含量的分布特征

2011年10月的调查结果显示,茅尾海海水中重金属的含量均值从高到低的顺序依次是  $Zn > Pb > Cu > As > Cd > Hg$ 。该海域冬季海水中重金属元素含量的分布特征如下(见图2)。从图2结果可以

看出:

(1)Cu 平均含量为  $2.2 \mu\text{g/L}$ ,变化范围为  $0.9 \sim 4.2 \mu\text{g/L}$ ,该含量均达到国家一类海水水质标准。整个海域 Cu 浓度分布较为均匀,分布没有明显趋势,其中最高值出现在茅尾海入海口附近海域 S2 号站;

(2)Pb 平均含量为  $2.3 \mu\text{g/L}$ ,变化范围为  $0 \sim 12.8 \mu\text{g/L}$ ,超标率为 42.1%。最大值出现在 S5 号站,整个海域种 Pb 含量分布变化范围很大,高值区主要出现在码头区和各江河入海口附近海域。

(3)Zn 平均含量为  $17.4 \mu\text{g/L}$ ,变化范围为  $0 \sim 59.8 \mu\text{g/L}$ ,超标率为 15.8%。海区内 Zn 含量差异很大,高值点出现在茅尾海入海口 S2 号站以及 S13 号站,最小值出现在 S19 号站,各江河入海口调查值均不大。

(4)Cd 平均含量为  $0.13 \mu\text{g/L}$ ,变化范围为  $0.03 \sim 0.34 \mu\text{g/L}$ ,含量均达到国家一类海水水质标准。最大值在 S15 号站,最小值出现在大榄江入海口 S18 号站,从图2中的等值线分布可以看出,茅尾海海域 Cd 含量差别不大。

(5)Hg 平均值含量为  $0.047 \mu\text{g/L}$ ,变化范围为  $0 \sim 0.105 \mu\text{g/L}$ ,超标率为 42.1%。Hg 含量高值区出现在 S7 和 S8 号站,最低值出现在 S15 和 S16 号站,Hg 分布大体呈中部高,四周低的特点。

(6)As 平均含量为  $0.43 \mu\text{g/L}$ ,变化范围为  $0.23 \sim 0.82 \mu\text{g/L}$ ,含量均到一类海水水质标准。As 含量最高值出现茅尾海入海口附近海域 S2 号站,最低值出现在 S13 号站,整个海域 As 浓度分布较为均匀。

从2011年10月茅尾海海水重金属的分布可以看出,高值区主要集中在茅尾海出入口附近海域,这种分布模式是受人类活动影响的体现,由于茅尾海周边地区人口主要集中在龙门港镇,生活生产等人类活动向茅尾海排放的大量污水,造成龙门港镇附近海域的重金属含量明显升高。

#### 2.1.2 海水中重金属污染评价

从表2可见,海水的 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 单项污染指数变化范围分别为  $0.18 \sim 0.84, 0 \sim 12.80, 0 \sim 2.99, 0.03 \sim 0.34, 0 \sim 2.10, 0.01 \sim 0.04$ ,单项平均污染指数分别为  $0.44, 2.30, 0.87, 0.13, 0.94, 0.02$ 。其中,茅尾海 Pb 的平均单项污染指数均大于1,表明 Pb 平均含量均超国家一类海水水质标准,其余元素平均含量均未超过一类标准限值,但 Hg 和 Zn 的平均单项污染指数均接近国家一类海

水水质标准,各重金属污染程度由高到低的排序是 Pb>Hg>Zn> Cu>Cd>As。

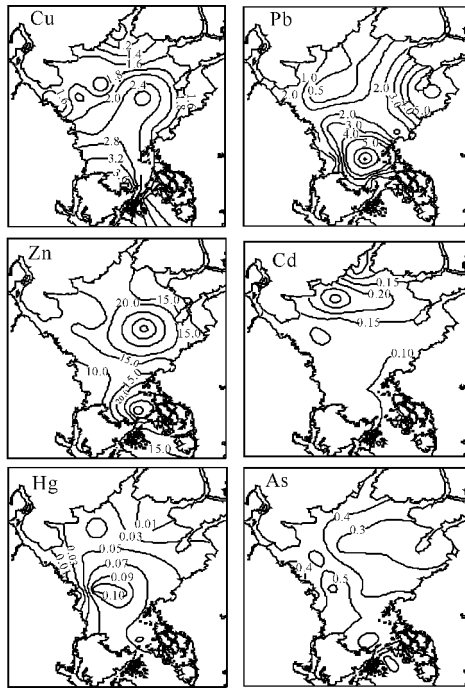


图2 茅尾海海水中重金属含量(μg/L)的平面分布

表2 茅尾海海水中各种重金属的污染指数

项目	各金属的单项污染指数					
	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
$C_f$	0.18~	0~	0~	0.03~	0~	0.01~
变化范围	0.84	12.80	2.99	0.34	2.10	0.04
均值	0.44	2.30	0.87	0.13	0.94	0.02

## 2.2 表层沉积物中重金属含量的分布特征与污染评价

### 2.2.1 表层沉积物中重金属含量的分布特征

从表3中可以看到,表层沉积物中的Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As的含量(μg/L)变化范围分别为(2.1~46.5)×10<sup>-6</sup>、(13.9~34.0)×10<sup>-6</sup>、(21.4~114.1)×10<sup>-6</sup>、(0.06~0.40)×10<sup>-6</sup>、(0.001~0.126)×10<sup>-6</sup>、(3.77~19.63)×10<sup>-6</sup>,平均含量(μg/L)分别为18.1×10<sup>-6</sup>、26.3×10<sup>-6</sup>、56.7×10<sup>-6</sup>、0.19×10<sup>-6</sup>、0.056×10<sup>-6</sup>、9.60×10<sup>-6</sup>。沉积物平均含量大小顺序为:Zn>Pb>Cu>As>Cd>Hg。

### 2.2.2 表层沉积物中重金属综合污染指数

从表4可看出,本次调查茅尾海海域重金属综合污染指数均小于6,污染程度均为低污染。其中,重金属综合污染指数最大值出现在S1号站,C<sub>d</sub>为4.74,最小值出现S11号站,C<sub>d</sub>为0.85。茅尾海海域沉积物综合质量状况较好,综合污染指数C<sub>d</sub>仅为2.48,污染水平为低污染,表明茅尾海海域沉积物尚

未被玷污,沉积物环境质量状况良好,各海区重金属综合污染指数最大值出现在茅尾海入海口附近海域,这可能与人类的生产生活等活动有关。从污染程度角度看,茅尾海海域重金属元素的排列顺序为:Cu>As>Pb>Cd>Zn>Hg。

表3 茅尾海表层沉积物中重金属含量

项目	含量(×10 <sup>6</sup> ,μg/L)					
	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As
范围	2.1~46.5	13.9~34.0	21.4~114.1	0.06~0.40	0.001~0.126	3.77~19.63
均值	18.1	26.3	56.7	0.19	0.056	9.60

表4 茅尾海沉积物重金属污染程度及分布状况

站位	$C_f$						$C_d$	污染程度分级
	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As		
S1	1.33	0.49	0.76	0.80	0.63	0.72	4.74	低污染
S2	0.91	0.41	0.57	0.74	0.53	0.67	3.83	低污染
S3	0.06	0.30	0.23	0.12	0.01	0.98	1.69	低污染
S4	0.41	0.39	0.37	0.36	0.03	0.64	2.20	低污染
S5	0.69	0.57	0.52	0.46	0.37	0.61	3.21	低污染
S6	0.65	0.49	0.37	0.50	0.30	0.35	2.64	低污染
S7	0.61	0.50	0.38	0.40	0.22	0.36	2.48	低污染
S8	0.58	0.41	0.36	0.46	0.22	0.38	2.39	低污染
S9	0.09	0.32	0.18	0.16	0.08	0.41	1.24	低污染
S10	0.66	0.49	0.38	0.50	0.15	0.31	2.50	低污染
S11	0.13	0.23	0.14	0.14	0.02	0.19	0.85	低污染
S12	0.45	0.40	0.32	0.30	0.23	0.39	2.08	低污染
S13	0.52	0.50	0.47	0.34	0.41	0.52	2.75	低污染
S14	0.34	0.46	0.32	0.32	0.37	0.30	2.10	低污染
S15	0.40	0.51	0.28	0.26	0.42	0.39	2.26	低污染
S16	0.40	0.56	0.40	0.30	0.51	0.46	2.63	低污染
均值	0.52	0.44	0.38	0.39	0.28	0.48	2.48	低污染

### 2.2.3 表层沉积物中重金属潜在生态风险

从总体污染程度(表5)上看,茅尾海海域的重金属潜在生态风险指数ERI值范围在8.66~66.32,平均值为32.62,远小于110,表明该海域表层沉积物重金属对海洋生态系统的潜在风险较低。重金属潜在生态风险性最高的测站为茅尾海入海口附近海域S1号站,最低为S11号站。从单个重金属污染来看,Cd和Hg的潜在生态风险系数E<sub>r</sub><sup>i</sup>平均值比较高,但所有E<sub>r</sub><sup>i</sup>值均未超过25,为轻微潜在生态风险;其余重金属Cu、Pb、Zn和As的潜在生态风险系数E<sub>r</sub><sup>i</sup>较低,为轻微潜在生态风险,对海洋生态系统的危害性较低。该海域各种重金属元素对海洋生态系统潜在危害的影响程度从大到小顺序是: Cd>Hg>As>Cu>Pb>Zn。

### 2.2.4 不同重金属对ERI的贡献率

用某一重金属各站E<sub>r</sub><sup>i</sup>的平均值除以各站ERI

的平均值,可以算出不同重金属对  $ERI$  的总体贡献。从图 3 可以看出 Cd、Hg 的贡献率分别为 35.4% 和 34.1%,几乎占了所有重金属的 70%,Zn 的贡献率最小,只占 1.2%,因此,Cd、Hg 为茅尾海海域的主要风险因子,对海洋生态具有较高的潜在生态危害性。因此,今后应该加强对 Cd、Hg 的监测。

表 5 茅尾海沉积物重金属的潜在生态危害系数和危害指数

站位	$E_i^p$						$ERI$	生态风险分级
	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As		
S1	6.64	2.47	0.76	24.00	25.20	7.25	66.32	低
S2	4.57	2.03	0.57	22.20	21.20	6.70	57.28	低
S3	0.30	1.48	0.23	3.60	0.20	9.82	15.63	低
S4	2.07	1.93	0.37	10.80	1.00	6.44	22.62	低
S5	3.43	2.83	0.52	13.80	14.60	6.11	41.30	低
S6	3.24	2.44	0.37	15.00	11.80	3.45	36.30	低
S7	3.07	2.51	0.38	12.00	8.80	3.62	30.37	低
S8	2.89	2.03	0.36	13.80	8.60	3.80	31.47	低
S9	0.47	1.62	0.18	4.80	3.00	4.07	14.14	低
S10	3.31	2.46	0.38	15.00	6.00	3.11	30.26	低
S11	0.67	1.16	0.14	4.20	0.60	1.89	8.66	低
S12	2.24	2.01	0.32	9.00	9.20	3.86	26.63	低
S13	2.61	2.48	0.47	10.20	16.20	5.24	37.20	低
S14	1.70	2.28	0.32	9.60	14.60	2.99	31.49	低
S15	2.01	2.54	0.28	7.80	16.60	3.91	33.14	低
S16	2.01	2.80	0.40	9.00	20.40	4.59	39.20	低
平均值	2.58	2.19	0.38	11.55	11.13	4.80	32.62	低

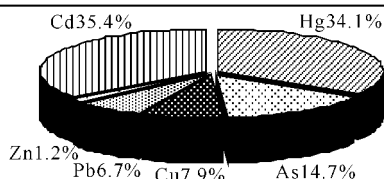


图 3 不同重金属对  $ERI$  的贡献率

综合上述两种评价结果,可以看出,从污染程度角度看,茅尾海海域表层沉积物中重金属元素的排列顺序为:  $Cu > As > Pb > Cd > Zn > Hg$ ,从生态危害的角度看,各金属元素的潜在生态风险性排列顺序为:  $Cd > Hg > As > Cu > Pb > Zn$ 。可以看出两种结果的排列顺序并不一致,这可能是由于有些重金属元素具有亲颗粒性,容易被悬浮物迁移进入沉积物中而矿化埋藏,使它们对生物的毒性降低<sup>[13]</sup>。同时,由于各种金属元素对海域生物的毒性不同,污染程度较高的不一定对生态系统的危害就高,因此,只有把两种方法相结合,才能更全面的反映茅尾海海域重金属的污染特征和对海洋生态系统的危害性。

### 3 结论

通过对 2011 年 10 月广西茅尾海海域海水和表

层沉积物中的重金属的调查和评价,得到以下结论:

(1)该海域海水中 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 的含量( $\mu\text{g/L}$ )范围分别为 0.9~4.2、0~12.8、0~59.8、0.03~0.34、0~0.105、0.23~0.82,平均浓度( $\mu\text{g/L}$ )分别为 2.2、2.3、17.4、0.13、0.047、0.43,其中,海水中的 Pb 平均含量超过国家一类海水水质标准,各种重金属单因子污染程度依次为  $Pb > Hg > Zn > Cu > Cd > As$ 。

(2)表层沉积物中的 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 的含量( $\mu\text{g/L}$ )变化范围分别  $(2.1 \sim 46.5) \times 10^{-6}$ 、 $(13.9 \sim 34.0) \times 10^{-6}$ 、 $(21.4 \sim 114.1) \times 10^{-6}$ 、 $(0.06 \sim 0.40) \times 10^{-6}$ 、 $(0.001 \sim 0.126) \times 10^{-6}$ 、 $(3.77 \sim 19.63) \times 10^{-6}$ ,平均含量( $\mu\text{g/L}$ )分别为  $18.1 \times 10^{-6}$ 、 $26.3 \times 10^{-6}$ 、 $56.7 \times 10^{-6}$ 、 $0.19 \times 10^{-6}$ 、 $0.056 \times 10^{-6}$ 、 $9.60 \times 10^{-6}$ 。

(3)从污染程度角度分析,广西茅尾海海域表层沉积物重金属元素污染的排列顺序为:  $Cu > As > Pb > Cd > Zn > Hg$ 。

(4)该海域表层沉积物重金属对海洋生态系统的潜在风险较低,该海域各种重金属元素对海洋生态系统潜在危害的影响程度从大到小顺序是:  $Cd > Hg > As > Cu > Pb > Zn$ ,Cd、Hg 为茅尾海海域的主要风险因子。

#### 参考文献:

- [1] 温琰茂,韦照韬.广州城市污泥化学成分和农业利用的环境容量[J].中山大学学报:自然科学版,1996,35(2):124-128.
- [2] 林祖亨,梁舜华.珠江河口的现代沉积环境与底质重金属的含量分布[J].海洋通报,1995,14(4):43-49.
- [3] 姜性义.固体废物处理与利用[M].北京:冶金工业出版社,1996.
- [4] HäKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach [J]. Water Research,1980(14):975-1001.
- [5] 张鑫,周涛发,杨西飞,等.河流沉积物重金属污染评价方法比较研究[J].合肥工业大学学报,2008,28(11):1419-1423.
- [6] 徐恒振,马永安,于涛,等.GB17378.3-2007 海洋监测规范.第 3 部分:样品采集、贮存与运输[S].北京:中国标准出版社,2007.

(下转第 185 页)

成立特定的协调委员会,建立特定的协调机制,出台相应政策法规引导处理好跨部门、跨行政区域间利益和职权分配问题<sup>[7]</sup>,只有严谨制定规划并严格按照规划进行海岛的开发利用及管理,才能确保海岛保护及开发利用的有效性及其有序性。

### 3.3 健全相关设施及措施,保障海岛资源与环境的可持续发展

鉴于海岛开发需要大量的资金,对海岛开发及保护应多给予政策上的优惠及扶持。目前,针对近年广西海岛开发利用中存在的问题,广西已开展了一些整治修复的规划工作,比如针对部分海岛岸线受损、海岸侵蚀、崩塌、海岛防护设施破坏等问题,拟采取相应的工程或生物措施防护;针对人为破坏导致植被消失、减少,植物群落退化等问题,拟采用人工干预的方法促进植被恢复;此外,还拟针对部分海岛现状进行沙滩整治修复、潮间带生态修复、填海连岛整治修复、建设饮水工程、供电工程、污染处理工程等,这些规划的实施将有利于改善海岛的生态环境及服务功能,也需要大量资金的支持方可完成,因此,建议针对其中的重点项目给予政策扶持及资金资助,并确保其实施的有效性。

同时,针对广西沿岸一带的工业布局,尤其是防城港湾及钦州湾一带布局的多个大工业园区(涉及到核电、造纸、石化、金属冶炼等产业),应密切关注其开发建设对周边海洋、海岛环境的影响,做好沿岸

海域、海岛环境的监控管理,以确保在保护与开发相对平衡的状态下,对广西海岛资源进行合理的开发利用,最终实现广西海岛资源与环境的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 中国新闻网. 专家:中国无居民海岛近万个海岛经济空间大[EB/OL]. (2011-11-16). <http://www.chinanews.com/cj/2011/10-16/3391611.shtml>.
- [2] 《全国海岛资源综合调查报告》编写组. 全国海岛资源综合调查报告[M]. 北京:海洋出版社,1996.
- [3] 覃立团. 广西壮族自治区海岛保护规划(2010—2020年)[EB/OL]. (2012-6-14). <http://www.gxoa.gov.cn/NewsView.aspx?id=5061>.
- [4] 李常亮. 广西海岛保护与开发利用管理措施探讨[J]. 南方国土,2009(4):35-36.
- [5] 宁世江,邓泽龙,蒋运生. 广西海岛红树林资源的调查研究[J]. 广西植物,1995,15(2):139-145.
- [6] 祝效程,陈明剑. 广西海岛志[M]. 南宁:广西科学技术出版社,1996.
- [7] 杨小光. 对广西海岛保护规划实施管理体系的思考[J]. 南方国土资源,2011(10):47-49.
- [8] 杨洁. 国外海岛旅游的成功经验对我国海岛旅游发展的启示[D]. 大连:辽宁师范大学,2009.

(责任编辑:邓大玉)

(上接第 180 页)

- [7] 孙书涵,王冬艳,胡克,等. 双台子河口区水中重金属污染评价及其生态效应分析[J]. 世界地质,2007,26(1):75-79.
- [8] 国家环境保护局环境工程评估中心. 环境影响评价技术方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2005.
- [9] 黄自强,张克,许昆灿,等. GB 3097—1997 海水水质标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,1997.
- [10] 黄宏,郁亚娟,王晓栋,等. 淮河沉积物中重金属污染及潜在生态危害评价[J]. 环境污染与防治,2004,26(3):207-208,231.

- [11] 冯慕华,龙江平,喻龙,等. 辽东湾东部浅水区沉积物中重金属潜在生态评价[J]. 海洋科学,2003,27(3):52-56.
- [12] 陈静生,周家义. 中国水环境重金属研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992:168-170.
- [13] 贾振邦,梁涛. 香港河流重金属污染及其潜在生态危害研究[J]. 北京大学学报,1997,33(4):185-192.

(责任编辑:尹 闯)