

# 北仑河口附近海域冬季海洋环境质量评价\*

## Winter Marine Environment Quality Assessment around the Beilun Estuary

罗万次<sup>1,2</sup>, 苏搏<sup>2</sup>, 刘熊<sup>1,2</sup>, 农立成<sup>1</sup>, 雷富<sup>3\*\*</sup>

LUO Wan-ci<sup>1,2</sup>, SU Bo<sup>2</sup>, LIU Xiong<sup>1,2</sup>, NONG Li-cheng<sup>1</sup>, LEI Fu<sup>3</sup>

(1. 防城港市海洋环境监测预报中心, 广西防城港 538001; 2. 广西北仑河口国家级自然保护区管理处, 广西防城港 538001; 3. 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)

(1. Fangchenggang Marine Environmental Monitoring and Forecasting Center, Fangchenggang, Guangxi, 538001, China; 2. Guangxi Beilun Estuary National Nature Reserve Administration, Fangchenggang, Guangxi, 538001, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

**摘要:**【目的】调查和评价广西北仑河口近岸海域的污染状况。【方法】2011年11月从广西北仑河口附近海域在大潮期采集20个海水样品和10个表层沉积物样品,在小潮期采集17个海水样品,分别测定海水中13种元素和沉积物中10种元素的含量,采用单因子指数法和内梅罗指数法对海水及表层沉积物污染特征进行分析和评价。【结果】在大潮期,该海域中海水平均单项污染程度依次为铅>锌>汞>溶解氧>化学耗氧量>无机氮>pH>铜>油类>镉>无机磷>砷>总铬;小潮期海域中海水平均单项污染程度依次为无机磷>无机氮>油类>溶解氧>pH>化学耗氧量>锌>汞>铅>铜>镉>砷>铬;表层沉积物中平均单向污染指数大小顺利分别为石油类>铅>镉>硫化物>有机碳>锌>铜>砷>汞>铬,均达到国家一类沉积物标准,主要污染物为石油类、铅、镉。【结论】广西北仑河口近岸海域海水在大潮期处于较清洁状态,在小潮期处于轻污染状态,沉积物质量环境状况良好。

**关键词:**北仑河口 内梅罗指数 评价 海水 沉积物

**中图分类号:**X82 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2014)02-0107-05

**Abstract:**【Objective】The survey and assessment on the environmental pollution situation in the coastal waters of Beilun estuary were studied in this paper. 【Methods】In November 2011, 20 seawater samples and 10 surface sediments samples were collected from the sea near Beilun estuary, Guangxi during spring tide acquisition, and 17 seawater samples were collected in neap tide. The content in seawater and sediments was determined. The pollution status of seawater and surface sediments were studied by the index technique of single factor and Nemerow index. 【Results】Results showed that the seawater sequence of single factor index was Pb > Zn > Hg > DO > COD > DIN > pH > Cu > Oils > Cd > P > As > Cr in spring tide and P > DIN > Oils > DO > pH > Pb > Zn > Hg > COD > Cu > Cd > As > Cr in neap tide. The surface sediments sequence of single factor index was Oils > Pb > Cd > S > TOC > Zn > Cu > As > Hg > Cr. The average content of single factor index was less than

收稿日期:2014-01-10

作者简介:罗万次(1974-),男,工程师,主要从事海洋环境科学研究。

\* 国家自然科学基金(41266002);广西自然科学基金项目(2012GXNSFEA053001;2011GXNSFE018002;2011GXNSF-A018108)资助。

\*\* 通讯作者:雷富(1975-),男,副研究员,主要从事海洋环境科学研究。E-mail:smallfoxlf@sohu.com。

one and was in the range of first grade sediments quality of china. The major pollution was Olis and Pb and Cd. **【Conclusion】**The Nemerow index of seawater state was comparatively clean in spring tide and light pollution in neap tide. The surface sediments was clean.

**Key words:** Beilun estuary, Nemerow index, assessment, seawater, sediments

**【研究意义】**北仑河口位于广西东兴市的西面,是中国和越南之间的国土分界河口。北仑河全长107km,其中界河55.8km。河口口门宽约6km,其中潮间带滩涂面积为37.4km<sup>2</sup>,潮下带和浅滩面积为29.1km<sup>2</sup>,潮间浅滩面积约占河口总面积的60%<sup>[1]</sup>。在北仑河口主要保护对象为红树林生态系统、滨海过渡带生态系统、海草床生态系统及生物多样性。这里滩涂和渔业资源丰富,鱼类有27种,大型底栖动物155种,为候鸟重要繁殖地和迁徙停歇地。保护区内主要的红树植物群落类型有白骨壤群落、桐花树群落、秋茄群落、木榄群落和老鼠勒群落等<sup>[2]</sup>。近年来,由于当地人口增长,毁林开荒,砍伐植被,加上东兴市城市生产生活废水的排入,北仑河口的海洋环境质量不容乐观,2011年该海区就发生过大面积赤潮现象。**【前人研究进展】**海洋环境污染的越来越受到公众关注和重视,而海水和沉积物污染评价在海洋环境质量评价中的占着主要的作用,是海洋环境质量评价体系中的重要组成。针对海水和沉积物污染,已报道过多种评价方法,目前普遍使用的是单因子指数法,但单因子指数只能反映各个重金属元素的污染程度,不能全面地反映环境的整体污染状况。内梅罗指数法兼顾了单因子污染指数的平均值和最高,突出污染较重的重金属污染物的作用,能够较全面反映整个环境质量现状。目前该方法得到了比较多的应用,雷富等<sup>[3]</sup>利用该方法对北部湾海域进行了综合评价,得出北部湾海域的环境状况。**【本研究切入点】**目前对于北仑河口的研究和报道不少<sup>[4~6]</sup>,但是对该海域的整体污染评价的文章不多。**【拟解决的关键问题】**本文根据2011年11月广西北仑河口海洋环境调查资料,采用内梅罗指数法对海水中13种元素及表层沉积物中10种元素的污染状况进行分析和评价,为该海域环境保护和可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与调查方法

### 1.1 采样采集

于2011年11月在广西北仑河口海域设置20个海水采样站位和10个表层沉积物采样站位,分别在大潮期和小潮期进行采样。其中大潮期采集海水

和沉积物样品供检测,小潮期只采集海水样品供检测,具体采样点见图1。采用2.5dm<sup>3</sup>有机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GB17378.3-2007《海洋监测规范》<sup>[7]</sup>的要求操作。表层沉积物抓斗式采泥器采集,用塑料勺取其中央未受干扰的表层泥样于聚乙烯袋中。其中小潮期由于受海水退潮限制,4号站、7号站和10号站未进行海水采样测试。

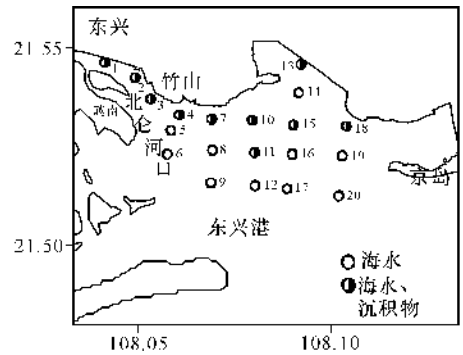


图1 采样站点

### 1.2 监测内容

海水水质监测的参数有:温度、盐度、溶解氧、化学耗氧量、无机氮、无机磷、石油类、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷;表层沉积物监测参数为有机碳、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、硫化物等项目,样品测定方法严格按照《海洋监测规范》2007版<sup>[8,9]</sup>的规定执行。

### 1.3 评价方法与标准

#### 1.3.1 评价方法

采用内梅罗指数法进行评价,其数学表达式<sup>[10]</sup>为

$$I = \sqrt{\frac{(P_i)_{\max}^2 + (P_i)_{\text{ave}}^2}{2}}$$

式中: $I$ 是海域水环境综合质量指数, $P_i$ 是指 $i$ 污染物的污染指数, $(P_i)_{\max}$ 是参评污染物中最大污染物的污染指数, $(P_i)_{\text{ave}}$ 为参评污染物的算术平均污染指数。其中,污染指数按《陆源入海排污口及邻近海域生态环境评价指南》2005版<sup>[11]</sup>执行。

$$P_i = \frac{M_i}{S_i}$$

式中: $P_i$ 为 $i$ 污染物的污染指数; $M_i$ 为 $i$ 污染物的算术平均值, $S_i$ 为 $i$ 污染物的标准值。

对于水中 pH 值,其标准污染指数采用下式计算:

$$S_{pH,i} = \frac{|2pH_i - pH_{upper} - pH_{lower}|}{pH_{upper} - pH_{lower}}$$

式中:  $S_{pH,i}$ — $i$  站位的 pH 标准指数,  $pH_i$ — $i$  站位的 pH 实测值,  $pH_{upper}$ —pH 评价标准值上限,  $pH_{lower}$ —pH 评价标准值下限。

对于水中溶解氧(DO)标准指数采用下式计算:

$$S_{DO,i} = \frac{|DO_f - DO_i|}{DO_f - DO_s}, DO_i \geq DO_s,$$

$$S_{DO,i} = 10 - 9 \frac{DO_i}{DO_s}, DO_i < DO_s,$$

式中:  $S_{DO,i}$ — $i$  站位的溶解氧标准指数;  $DO_f$ —现场水温及盐度条件下,水样中氧的饱和含量(mg/L);  $DO_i$ — $i$  站位的溶解氧实测值;  $DO_s$ —溶解氧的评价标准值。

### 1.3.2 参加评价的参数

由于北仑河口为生活生产入海排污处,功能区划主要为红树林保护区,因此确定海域水环境参加评价的参数为:溶解氧、pH 值、化学耗氧量、无机氮、无机磷、油类、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷,共 13 项。表层沉积物参加评价的参数为:有机碳、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、硫化物,共 10 项。

### 1.3.3 评价标准

根据广西海洋功能区划,北仑河口包括红树林保护区、渔业作业区和港口航道区,以红树林保护区环境要求为准,水质要求达到第一类海水水质标准<sup>[12]</sup>,其表层沉积物达到第一类海洋沉积物质量标准<sup>[13]</sup>。

### 1.4 污染等级划分

根据综合质量指数  $I$ ,对海域水环境的污染程度进行分级<sup>[10]</sup>,污染等级与综合质量指数  $I$  值的关系见表 1。

表 1 综合质量指数与污染等级

综合质量指数 $I$	污染等级	对应海水水质标准等级
0~0.6	清洁	一类
0.6~1.0	较清洁	二类
1.0~2.6	轻污染	三类
2.6~5.0	中度污染	四类
>5.0	严重污染	劣四类

## 2 结果与分析

### 2.1 水质监测结果与污染评价

#### 2.1.1 水质监测结果

北仑河口附近海域 20 个站位的水质参评项目监测和评价结果见表 2。从表 2 可以看出:

(1)大潮期 DO 平均含量为 7.8mg/L,变化范围为(7.3~8.7)mg/L,该含量均达到国家一类海水水质标准,最大值出现在 10 号站位,最小值出现在 1 号站位,整个海域 DO 浓度均大于该海区的饱和浓度;小潮期 DO 平均含量为 6.2mg/L,变化范围为(4.93~7.26)mg/L,超标率为 5.9%,最大值出现在 18 号站,最小值出现在 1 号站。

(2)大潮期 pH 值平均含量为 8.00,变化范围为(7.72~8.06),一类海水超标率为 5.9%,最大值出现在 16 号站,最小值出现在 1 号站;小潮期 pH 值平均含量为 7.81,变化范围为 7.55~7.93,一类海水超标率为 35.3%,最大值出现在 16 号站和 19 号站,最小值出现在 3 号站。

(3)大潮期 COD 平均含量为 1.6mg/L,变化范围为(1.2~2.2)mg/L,超标率为 5%。整个海区 COD 浓度分布较为均匀,分布没有呈明显趋势,其中最高值出现在 1 号站,最低值出现在 17 号站;小潮期 COD 平均含量为 1.8,变化范围为(1.2~3.6)mg/L,变化趋势从河口区向外逐渐减少,超标率为 29.4,最大值为 1 号站,最小值为 16 号站。

(4)大潮期油类平均含量为 0.0435mg/L,变化范围为(0.013~0.14)mg/L,含量均达到一类海水水质标准,整个海域油类含量分布变化不大,最大值出现在 2 号站,最低值出现在 12 号站。小潮期油类平均含量为 0.055 mg/L,变化范围为(0.017~0.115)mg/L,含量均达到一类海水水质标准。整个海域油类含量分布变化不大,最大值出现在 1 号站,最小值出现在 15 号站。

(5)大潮期无机氮平均含量为 0.13mg/L,变化范围为(0.020~0.78)mg/L,超标率为 15%,无机氮的含量变化较大,高值区出现在入海口处的 1 号站和 2 号站;小潮期无机氮平均含量为 0.28mg/L,变化范围为(0.07~0.65)mg/L,超标率为 53.0%,无机氮含量变化呈现由河口向外海逐渐减少的趋势。

(6)大潮期无机磷平均含量为 0.012mg/L,变化范围为(0~0.05)mg/L,含量均达到一类海水水质标准,整个海域无机磷含量分布变化不大,高值区出现在入海口的 1 号站和 2 号站。小潮期无机磷平均含量为 0.029 mg/L,变化范围为(0.010~0.070)mg/L,超标率为 76.5%,高值区出现在入海口的 1 号站和 2 号站,低值区出现在 15 号站和 16 号站附近海域。

(7)大潮期铜平均含量为 1.5 $\mu$ g/L,变化范围为

(1.2~2.2)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 整个海域铜含量分布变化不大, 高值区出现在入海口的2号站和3号站; 小潮期铜平均含量为1.1  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0.5~2.5)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 高值区出现在入海口的1号站和2号站, 低值区出现在16号站附近海域。

(8) 大潮期铅平均含量为1.6  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0~1.8)  $\mu\text{g/L}$ , 超标率为50%, 整个海域铅含量分布变化较大, 高值区出现在入海口的2号站和3号站; 小潮期铅平均含量为0.048  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0.2~0.9)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 分布较为均匀。

(9) 大潮期锌平均含量为20  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(14~29)  $\mu\text{g/L}$ , 超标率为35.3%, 整个海域铅含量分布变化较大, 高值区出现在20号站附近, 低值区出现在2号站附近海域; 小潮期锌平均含量为17  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(10~26)  $\mu\text{g/L}$ , 超标率为35.3%, 高值区出现在入海口的1号站和2号站, 低值区出现在19号站附近海域。

(10) 大潮期镉平均含量为0.092  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0.040~0.17)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 整个海域铅含量分布变化不大, 高值区出现在2号站; 小潮期镉平均含量为0.086  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0.05~0.15)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 整个海域铅含量分布变化不大, 高值区出现在入海口1号站和2号站。

(11) 大潮期总铬平均含量为0.40  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0.20~0.80)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 整个海域铅含量较低, 且分布变化不大; 小潮期总铬平均含量为0.75  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0.3~1.2)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 整个海域铅含量较低, 含量分布也较为均匀。

(12) 大潮期汞平均含量为0.048  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0.025~0.10)  $\mu\text{g/L}$ , 超标率为50%, 整个海域铅含量分布变化较大, 高值区出现在20号站附近, 低值区出现在2号站附近; 小潮期汞平均含量为0.045  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0~0.098)  $\mu\text{g/L}$ , 超标率为35.3%, 高值区出现在15号站和16号站, 低值区出现在20号站附近海域。

(13) 大潮期砷平均含量为0.50  $\mu\text{g/L}$ , 变化范围为(0.30~0.68)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 整个海域铅含量较低, 且分布变化不大; 小潮期砷平均含量为0.51, 变化范围为(0.30~0.65)  $\mu\text{g/L}$ , 含量均达到一类海水水质标准, 整个海域铅含量

较低, 且分布变化不大。

从2011年11月大潮期和小潮期北仑河口海水的监测结果看, 高值区主要出现在1号站和2号站附近的河口海域, 这种分布模式是受人类活动影响的体现, 北仑河沿岸地区的人口主要集中在北仑河口不远的东兴市, 其生活生产等人类活动向北仑河排放部分污水, 同时由于北仑河口存在围填养殖活动, 在退潮时富含营养盐的养殖废水会排放入海, 因此造成了该海区尤其是河口区化学耗氧量、有营养盐含量较高, 如在小潮期的无机磷和无机氮, 含量呈现了河口高外海低的趋势; 北仑河口规划有港口航运区, 部分船只压舱水的不合理排放可能会影响到该海域的重金属含量; 而大潮期溶解氧含量大于饱和浓度, 则可能是由于该海区赤潮藻生物大量繁殖进行光合作用的结果, 随着赤潮藻生物的消亡, 在小潮期溶解氧含量减少了许多, 部分站位甚至只达到三类海水水质标准。

### 2.1.2 水质污染评价

按照1.3.1中描述的评价方法对北仑河口附近海域水环境污染指数和综合质量指数进行计算, 计算结果见表2。由表2可见, 大潮期北仑河口附近海域海水平均单向污染指数大小顺序分别为铅>锌>汞>溶解氧>化学耗氧量>无机氮>pH>铜>油类>镉>无机磷>砷>总铬。海水中的主要污染指标为重金属铅( $P_i = 1.02$ )、锌( $P_i = 1.01$ )、汞( $P_i = 0.96$ )以及溶解氧( $P_i = 0.94$ ), 其中铅和锌的平均单项污染指数大于1, 平均含量超过国家一类海水水质标准; 小潮期北仑河口附近海域海水平均单项污染指数大小顺序无机磷>无机氮>油类>溶解氧>pH>化学耗氧量>锌>汞>铅>铜>镉>砷>铬。海水中主要污染指标为无机磷( $P_i = 1.96$ )、无机氮( $P_i = 1.30$ )、石油类( $P_i = 1.10$ )、溶解氧( $P_i = 0.97$ )、pH( $P_i = 0.96$ ), 其中无机磷、无机氮和石油类的平均单向污染指数大于1, 平均含量超过国家一类海水水质标准(表3)。

通过运用内梅罗指数法计算得出大潮期北仑河口附近海域水环境综合质量指数  $I$  为0.79, 说明北仑河口附近海域处于较清洁状态, 海水水质呈二类; 小潮期水环境综合质量指数  $I$  为1.26, 说明海域处于轻污染状态, 海水水质呈三类。由于北仑河口主要是红树林保护区, 按照海洋功能区划要求为一类海水水质, 而实际海水水质已超出了海洋功能区划的要求, 因此应加强对北仑河口水质的监测和管理。

表 2 大潮期北仑河口附近海域水环境评价结果

项目	DO	pH	COD	Olis	DIN	P	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
污染指数 $P_i$	0.94	0.43	0.77	0.10	0.64	0.08	0.31	1.02	1.01	0.09	0.01	0.96	0.03
环境综合指数 $I$	0.79												
评价结论	较清洁												

表 3 小潮期北仑河口附近海域水环境评价结果

项目	DO	pH	COD	Olis	DIN	P	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
污染指数 $P_i$	0.97	0.96	0.91	1.10	1.30	1.96	0.22	0.48	0.90	0.09	0.02	0.89	0.03
环境综合指数 $I$	1.26												
评价结论	轻污染												

## 2.2 表层沉积物监测结果与综合评价

从表 4 可看出,通过运用内梅罗指数计算得出沉积物环境综合质量指数  $I$  为 0.32,表明北仑河口附近海域表层沉积物处于清洁状态,尚未被污染,沉积物质量环境状况良好。从单项评价指数分析,本次调查北仑河口沉积物平均单向污染指数大小顺利分别为石油类>铅>镉>硫化物>有机碳>锌>铜>砷>汞>铬,平均含量单项污染指数均小于 1,达到国家一类沉积物标准。主要污染物为石油类、铅、镉和硫化物,这可能是由于北仑河除了承担沿岸人类生产生活废水和养殖废水排放入海功能外,在河口附近海域还规划了红树林保护区、农渔业区和港口航运区的缘故,因此,主要污染物类型与北仑河口功能相关。

## 3 结论

通过对 2011 年 11 月广西北仑河口附近海域海水和表层沉积物的调查和评价,得到以下结论:

(1)大潮期北仑河口附近海域海水平均单向污染指数大小顺利分别为铅>锌>汞>溶解氧>化学耗氧量>无机氮>pH>铜>油类>镉>无机磷>砷>总铬,海水中的主要污染指标为溶解氧、化学耗

氧量、无机氮、铅、锌和汞,其中铅和锌平均含量超过国家一类海水水质标准,海水水质呈二类,海域水体处于较清洁状态,超出了主要海洋功能区划的要求。

(2)小潮期海水平均单项污染指数大小顺序无机磷>无机氮>油类>溶解氧>pH>化学耗氧量>锌>汞>铅>铜>镉>砷>铬。海水中主要污染指标为无机磷、无机氮、石油类、溶解氧,其中无机磷、无机氮和石油类平均含量超过国家一类海水水质标准,海水水质呈三类,海域水体处于轻污染状态,超出了主要海洋功能区划的要求。

(3)北仑河口沉积物平均单向污染指数大小顺利分别为石油类>铅>镉>硫化物>有机碳>锌>铜>砷>汞>铬,平均含量单项污染指数均小于 1,达到国家一类沉积物标准,主要污染物为石油类、铅、镉和硫化物,主要污染物类型与北仑河口规划功能相关。

(4)北仑河口附近海域表层沉积物处于清洁状态,沉积物质量环境状况良好。

(5)北仑河口附近海域海洋环境质量状况主要受人类生产生活等行为影响,尤其是海水水质,受影响程度更大,建议加强对北仑河口水质的监测和管理。

表 4 仑河口附近海域表层沉积物环境评价结果

项目	TOC (%)	Olis ( $\times 10^{-6}$ )	Cu ( $\times 10^{-6}$ )	Pb ( $\times 10^{-6}$ )	Zn ( $\times 10^{-6}$ )	Cd ( $\times 10^{-6}$ )	Cr ( $\times 10^{-6}$ )	Hg ( $\times 10^{-6}$ )	As ( $\times 10^{-6}$ )	S ( $\times 10^{-6}$ )
范围	0.10~1.3	39~780	0.9~17	10~48	8.5~55	0.070~0.33	0~38	0~0.075	1.4~11	12~220
均值 $M_i$	0.35	202	5.4	20.6	27	0.16	8.2	0.022	3.1	87
标准值 $S_i$	2	500	35	60	150	0.5	80	0.2	20	300
污染指数 $P_i$	0.19	0.40	0.16	0.34	0.17	0.32	0.10	0.11	0.15	0.29
环境综合指数 $I$	0.32									
评价结论	清洁									

- 相关性研究[J]. 广东轻工职业技术学院学报, 2006, 5(2):14-15.
- [20] 王海燕, 蔡海军. COD 与 TOC 相关性理论研究[J]. 河南城建学院学报, 2011, 20(2):36-40.
- [21] 于培松, 薛斌, 潘建明, 等. 长江口和东海海域沉积物粒径对有机质分布的影响海洋学研究[J]. 海洋学研究, 2011, 29(3):202-208.
- [22] 冯晓萍, 蔡进功. 沉积物的颗粒大小与所含有机质关系的进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(6):141-146.
- [23] 蔡进功, 徐金鲤, 杨守业, 等. 泥质沉积物颗粒分级及其有机质富集的差异性[J]. 高校地质学报, 2006, 12(2):234-241.

(责任编辑:尹 闯)

(上接第 111 页)

## 参考文献:

- [1] 韩妹怡. 20 世纪 60 年—21 世纪初北仑河口地形地貌演变与成因分析[D]. 南宁:广西师范学院.
- [2] 广西北仑河口国家级自然保护区管理处, 北仑河口国家级自然保护区总体规划[EB/OL]. [2012-01-10]http://www.china-landscape.net, 2011.
- [3] 雷富, 陈宪云, 张荣灿, 等. 北部湾近岸海域夏季海洋环境质量评价[J]. 广西科学, 2014, 21(1):84-88.
- [4] 赖俊翔, 许铭本, 姜发军, 等. 北仑河口近岸海域生态健康分析与评价[J]. 广西科学, 2014, 21(1):77-83.
- [5] 韩妹怡, 陈波, 邱绍芳, 等. 北仑河口北侧海岸环境演变与水动力学之间的关系[J]. 广西科学, 2009, 16(2):196-199.
- [6] 邱绍芳, 陈波, 何碧娟. 广西沿岸 2 大入海河口区域的环境变化与水流动力影响分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003, 3(3):24-29.
- [7] 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.
- [8] 马永安, 徐恒振, 于涛, 等. GB17378. 4—2007 海洋监测规范 第 4 部分:海水分析[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- [9] 马永安, 徐恒振, 于涛, 等. GB17378. 5—2007 海洋监测规范 第 5 部分:沉积物分析[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- [10] 丁菁. 内梅罗污染指数法在排污口邻近海域水环境质量评价中的应用[J]. 福建水产, 2006(1):1-4.
- [11] 国家海洋局. HY/T086—2005 陆源入海排污口及邻近水域生态环境评价指南[S]. 北京:中国标准出版社, 2005.
- [12] 黄自强, 张克, 许昆灿, 等. GB3097—1997 海水水质标准[S]. 北京:中国环境科学出版社, 1997.
- [13] 马德毅, 汤烈风, 王菊, 等. GB18668—2002 海洋沉积物质量[S]. 北京:中国标准出版社, 1997.

(责任编辑:尹 闯)