

北仑河口近岸海域生态健康分析与评价*

Marine Ecosystem Environmental Health Assessment in the Coastal Waters of Beilun Estuary

赖俊翔, 许铭本, 姜发军, 柯珂, 张荣灿, 雷富**

LAI Jun-xiang, XU Ming-ben, JIANG Fa-jun, KE Ke, ZHANG Rong-can, LEI Fu

(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:【目的】对北仑河口近岸海域生态环境质量现状进行分析, 评价该海域的生态系统健康状况。【方法】根据2011年11月对广西北仑河口近岸海域海洋的调查结果, 采用《近岸海洋生态健康评价指南》中的河口及海湾生态系统健康评价方法对该海域的生态系统健康状况进行分析与评价。【结果】水环境健康指数、沉积环境健康指数、生物残毒健康指数、栖息地健康指数、生物健康指数分别为11.73、10.00、9.00、10.00、14.24, 海域生态系统健康指数为54.97。表明, 北仑河口近岸海域水环境和沉积环境都处于健康状态, 未受生物残毒污染, 而栖息地和生物指标分别处于亚健康和不健康状态; 虽然水环境判定为健康状态, 但其健康指数已接近亚健康标准阈值, 且已呈现富营养化。【结论】综合5类评价因子的评价结果, 判定北仑河口近岸海域的生态环境处于亚健康状态。

关键词: 北仑河口 生态环境 健康评价

中图分类号: P76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2014)01-0077-07

Abstract:【Objective】The ecological environmental quality condition and marine ecosystem environmental health of Beilun Estuary was analyzed and assessed. 【Method】According to the Guideline for the Assessment of Coastal Marine Ecosystem Health (2005), the assessment of marine ecosystem environmental health was conducted for the study area. 【Result】The index of water environment, sedimentary environment, biological residue, habitat, and marine organism were 11.73, 10.00, 9.00, 10.00 and 14.24, respectively. The index value of marine ecosystem environmental health was 54.97. The result indicated that the water environment, sedimentary environment, and biological residue were in healthy status, whereas the marine organism index has reached a sub-healthy status, and the habitat index was in unhealthy status. It is noteworthy that the water environment has reached the threshold of sub-healthy status, and the eutrophication index (EI) indicated that the whole sea area was eutrophic. 【Conclusion】The levels of the five categories were combined into a single rating for the coastal waters of Beilun Estuary, resulting in a rating of sub-healthy.

Key words: Beilun Estuary, ecological environment, health assessment

【研究意义】北仑河口是我国沿岸最西南端的一个入海河口, 位于北部湾西北部广西壮族自治区和越南接壤处^[1], 是中越两国的界河河口。河口宽约6

收稿日期: 2013-08-06

修回日期: 2013-09-15

作者简介: 赖俊翔(1984-), 男, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事海洋环境科学研究。

* 广西自然科学基金重大项目(2011GXNSFA018108); 广西自然科学基金项目(2011GXNSFA018108); 广西科学院基本科研业务费项目(12YJ25HY09)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: smllfoxlf@sina.com。

km,纵长约 11.1 km,水域面积约 66.5 km²,呈喇叭状自西北向东南方向敞开,与开阔的北部湾相通^[2]。随着广西沿海经济的大发展,我国与越南的边贸、文化交流的日益增多,北仑河口区域经济得到迅猛发展,城市化进程不断加快,入海工农业废水、海水养殖及生活污水大量排放,导致近岸水体富营养化态势日趋显现,赤潮灾害时有发生,渔业资源正在衰退;此外,海洋工程建筑物和围海造地也越来越多,给该海域带来了前所未有的环境压力^[3]。开展北仑河口近岸海域生态环境健康状况的评价研究,对管理部门科学有效的实施海洋管理,以及维护该区域的生态安全有着重要的意义。【前人研究进展】近年来,近岸海域生态系统的健康越来越受到人们的关注,为了提高海洋生态系统健康评价的科学性和规范性,国家海洋局制定并发布了我国海洋行业标准《近岸海洋生态健康评价指南》^[4],以下简称《指南》。张秋丰等^[5],蔡爱萍等^[6]采用《指南》中的评价方法分别对天津和福建近岸海域生态健康状况进行了分析评价。然而,由于在北仑河口区域进行调查涉及外交、安全等问题,造成该海域的实测资料极为匮乏^[7]。【本研究切入点】目前,有关北仑河口海域生态健康评价的研究鲜有报道。【拟解决的关键问题】利用 2011 年 11 月的调查数据及相关历史资料,依据“河口及海湾生态系统生态环境健康评价方法”^[1],对广西北仑河口近岸海域的海洋生态健康状况进行分析和评价,为保护该海域生态环境和促进区域经济的可持续发展提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 调查站位

数据主要来源于 2011 年 11 月 17~18 日(大潮)、11 月 23 日(小潮)期间,在北仑河口的竹山半岛海域(图 1)进行的水文、水质、沉积物质量、生态环境质量及渔业资源的综合调查结果。调查海域位于广西东兴市东兴镇东面,北仑河入海口处的竹山半岛,与越南芒街市的直线距离约 10 km,濒临北部湾。

样品的采集、贮存、运输及分析均按《海洋监测规范》(GB17378-2007)^[8]和《海洋调查规范》(GB12763-2007)^[9]执行。

1.2 评价方法

根据《广西海洋功能区划》确定各调查站位所处的海洋功能区,从而确定各测站相应的水质、沉积物

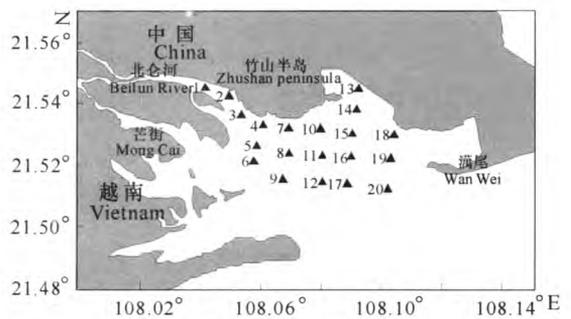


图 1 调查站位

Fig. 1 Location of survey stations

质量、生态环境质量要求(表 1),再按照《海水水质标准》(GB 3097-1997)^[10]、《海洋沉积物质量标准》(GB 18668-2002)^[11]和《生物体质量标准》(GB 18421-2001)^[12],采用单因子标准指数法进行评价,当标准指数>1 时,该项评价因子超标。此外,利用邹景忠等^[13]提出的富营养化指数综合评价法对研究海域的富营养化程度进行评价分析,公式如下:

$$EI = \frac{COD \times DIN \times PO_4^{3-} - P}{4500} \times 10^6,$$

其中,COD、DIN 和 $PO_4^{3-} - P$ 的浓度单位为 mg/L。当 $EI \geq 1$ 时,水体为富营养状态, EI 值越高,富营养化程度越严重。

采用《指南》中的“河口与海湾生态系统的生态健康评价模式和计算公式对研究海域生态系统健康状况进行评价分析。河口与海湾生态系统生态健康评价指标赋值情况和评价标准见《指南》,其中浮游生物及大型底栖动物的评价依据参考粤西海域各时期的高值。

各项评价指标的赋值计算公式如下:

$$V_q = \frac{\sum_i^m v_i}{m}, \quad (1)$$

式中, V_q 为第 q 项评价指标赋值, V_i 为第 i 个站位第 q 项评价指标赋值, n 为研究海域调查站位总数。

各类指标健康指数计算公式如下:

$$V_{\text{indx}} = \frac{\sum_i^m v_q}{m}, \quad (2)$$

式中, V_{indx} 为健康指数, V_q 为第 q 项评价指标赋值, m 为评价指标总数。

评价海域生态系统健康指数计算公式如下:

$$CEH_{\text{indx}} = \sum_j^k INDX_j, \quad (3)$$

式中, CEH_{indx} 为生态系统健康指数, $INDX_j$ 为第 j 类指标赋值, k 为评价指标类群数。

表 1 海洋功能区及质量要求

Table 1 Marine functional zones and quality requirements

站位 Station	海洋功能区 Marine functional zone	水质标准 Water quality stand- ard	沉积物标准 Sediment standard	生物标准 Biological Standard
01,02,04,07,13,14,18	自然保护区 Nature reserve	一类 First-rate	一类 First-rate	一类 First-rate
03,06	港口航运区 Port and shipping area	三类 Third-rate	二类 Second-rate	二类 Second-rate
05,08~12,15~17,19,20	农渔业区 Agricultural and fishery zone	二类 Second-rate	一类 First-rate	一类 First-rate

2 结果与分析

2.1 水环境评价

2.1.1 溶解氧含量

由表 2 可以看出,北仑河口近岸海域大潮、小潮期间溶解氧含量的平均值分别为 7.95mg/L 和 6.23 mg/L,小潮期间水体的溶解氧含量明显较低。按所处功能区的水质要求(表 1)及《海水水质标准》中相应溶解氧质量标准进行评价,标准指数变化范围为 0.10~2.61,除了小潮期的 01 和 02 号站超标外(超标率为 12.0%),其余测站的溶解氧含量均符合海洋功能区划相应的海水水质要求。其中位于北仑河口口门的 01 站达到了三类海水水质标准,溶解氧含量超标较严重。

根据《指南》中溶解氧指标的赋值范围并按公式(1)计算溶解氧指标的赋值,得 $W_{\text{溶解氧}} = 14.05$ 。

表 2 主要水环境评价指标调查结果

Table 2 Monitoring results of the main parameters of water environment evaluation

项目 Item	大潮 Spring tide		小潮 Neap tide	
	平均值 Mean	变化范围 Variation range	平均值 Mean	变化范围 Variation range
溶解氧 Dissolved oxygen (mg/L)	7.95	7.26~10.72	6.23	4.93~7.26
pH 值 pH value	8.00	7.72~8.07	7.81	7.55~7.93
活性磷酸盐 Active phosphate ($\mu\text{g/L}$)	11.00	未检出~50.70 Not detected ~50.70	30.30	10.50~70.70
溶解无机氮 Dissolved inorganic nitrogen ($\mu\text{g/L}$)	127.5	20.50~780.40	279.4	60.00~630.00
石油类 Petroleum ($\mu\text{g/L}$)	54.90	13.00~231.00	54.80	17.10~115.00

2.1.2 pH 值

由表 2 可以看出,研究海域 pH 值变化范围为 7.55~8.07,平均为 7.91。按所处功能区的水质要求(表 1)及《海水水质标准》中相应 pH 值质量标准进行评价,标准指数变化范围为 0.01~1.55,除了大潮期的 01 号和小潮期的 01、02、14 号站超标外(超标

率为 10.8%),其余测站的 pH 值均符合海洋功能区划相应的海水水质要求。

根据《指南》中 pH 值指标的赋值范围并按公式(1)计算 pH 值指标的赋值,得 $W_{\text{pH}} = 14.46$ 。

2.1.3 溶解无机氮(DIN)含量

调查结果显示(表 2),研究海域 DIN 的浓度变化梯度很大,范围为 20.5~780.4 $\mu\text{g/L}$,平均浓度为 203.5 $\mu\text{g/L}$ 。按所处功能区的水质要求(表 1)及《海水水质标准》中相应 DIN 质量标准进行评价,标准指数的变化范围为 0.07~3.90。在两次调查中,有 10 个测站 DIN 浓度超标,其中大潮期间仅有 01 号和 02 号站超标,而小潮期间 01~08 站均超标,超标率达到 35.0%,可见由于海水的稀释作用,大潮期的 DIN 浓度较低,水质相对较好。由图 2 可知,北仑河口竹山半岛近岸海域 DIN 含量高值区出现在口门邻近海域,这说明调查海域 DIN 浓度分布受陆源径流输入,沿岸污染物排放的影响较大。海水中溶解无机氮包括氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)和硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)3 种形态,它们在海洋生物饵料循环中起着非常重要的作用,在达到热力学平衡时海水中的溶解无机氮会以 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 形态为主^[14]。调查期间, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 占有比例 15.0%~98.5%,平均值为 66.0%; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的占有比例在 5.0%~77.0%,平均值为 30.5%; $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的占有比例在未检出至 20.0%,平均值为 3.0%, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 是防城港市近岸海域的 DIN 主要存在形式,表明该海域水体基本处于热力学平衡状态,DIN 的平面分布和污染程度主要是受 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的控制。

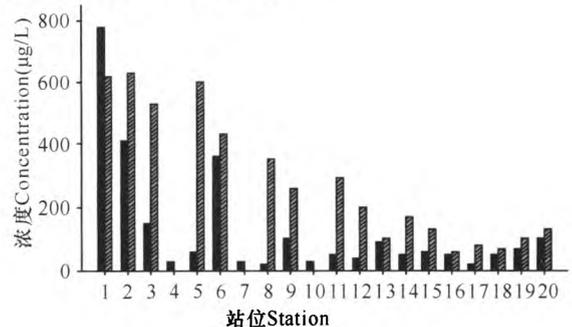


图 2 DIN 浓度的分布变化

Fig. 2 Spatial variation of DIN concentration

■:大潮Spring tide, ▨:小潮Neap tide.

根据《指南》中溶解无机氮指标的赋值范围并按

公式(1)计算溶解无机氮指标的赋值,得 $W_{\text{溶解无机氮}} = 7.70$ 。

2.1.4 活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$)浓度

调查结果显示(表2),研究海域表层海水的 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度范围为未检出至 $70.7 \mu\text{g/L}$,平均浓度为 $20.6 \mu\text{g/L}$ 。从分布趋势上看,调查海域 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的高值区主要分布在口门邻近海域(图3),且由于海水的稀释作用,大潮期的 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度明显低于小潮期的 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度。按所处功能区的水质要求(表1)及相应 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 质量标准进行评价,标准指数的变化范围为 $0.33 \sim 4.67$, $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 浓度的超标率为 25.5% ,其中有 16.2% 的测站超过第三类海水水质标准。口门近岸海域受到磷酸盐污染较为明显,一方面由于受河流输入的磷酸盐影响,另一方面由于地处北仑河口自然保护区的站位对水质要求较高。DIN 和 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的调查结果表明,该海域的营养盐主要来源于北仑河流域的工业废水、农业污水和生活污水等。

根据《指南》中活性磷酸盐指标的赋值范围并按公式(1)计算活性磷酸盐指标的赋值,得 $W_{\text{活性磷酸盐}} = 11.62$ 。

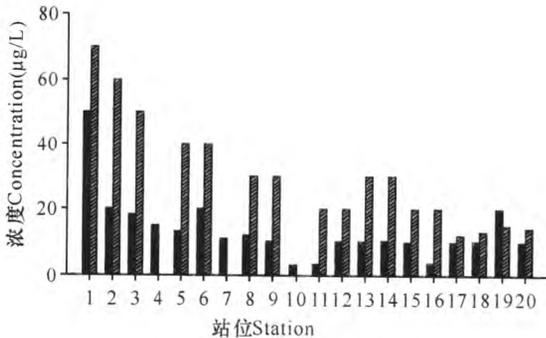


图3 活性磷酸盐浓度的分布变化

Fig. 3 Spatial variation of active phosphate concentration
 ■:大潮Spring tide, ▨:小潮Neap tide.

2.1.5 富营养化程度

海域的富营养化指数(EI)范围为 $0.05 \sim 24.40$,平均值为 3.15 ,尽管变化幅度较大,在时空分布上存在差异,但从总体上看,北仑河口竹山半岛海域已呈现富营养化。

2.1.6 石油类物质浓度

从表2可以看出,调查海域大潮、小潮期间表层海水的石油类物质浓度的平均值分别为 $54.9 \mu\text{g/L}$ 和 $54.8 \mu\text{g/L}$,总变化范围为 $13.0 \sim 231.0 \mu\text{g/L}$ 。从空间分布上看,由于调查海域涨潮流向为西北偏北向,油类向岸运输,落潮流向为东南偏南向,则促使油类向外海运输,高值区主要集中在港口航运区的03、06号站及潮流方向上的临近海域(图4)。石油类污染的主要来源是河口沿岸船舶运输,潮流场对油类污染物的空间分布格局有明显影响。按所处功能区及相应石油类质量标准进行评价,标准指数的变化范围

为 $0.18 \sim 4.62$,超标率为 32.5% ,反映出该海域已受到一定程度的油污染,这与陈敏等^[6]的调查结果一致。

根据《指南》中石油类指标的赋值范围并按公式(1)计算石油类指标的赋值,得 $W_{\text{石油类}} = 12.56$ 。

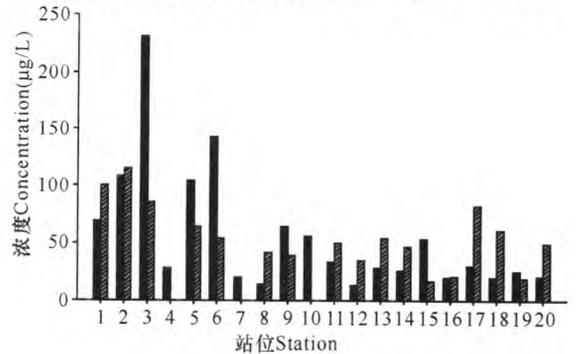


图4 石油类浓度的分布变化

Table 4 Spatial variation of petroleum content
 ■:大潮Spring tide, ▨:小潮Neap tide.

2.1.7 盐度年际变化

调查结果显示,研究海域盐度平均值为 24.16 ,而2010年在相同海域的调查结果^[6]显示盐度平均值为 19.36 ,盐度年际变化幅度为 4.8 。根据《指南》中盐度指标的赋值范围,得 $W_{\text{年度变化}} = 10.00$ 。

2.1.8 水环境健康指数

根据水环境每项指标赋值结果并按公式(2)计算水环境健康指数,得 $W_{\text{indx}} = (W_{\text{溶解氧}} + W_{\text{pH}} + W_{\text{溶解无机氮}} + W_{\text{活性磷酸盐}} + W_{\text{石油类}} + W_{\text{年度变化}}) / 6 = (14.05 + 14.46 + 7.70 + 11.62 + 12.56 + 10.00) / 6 = 11.73$ 。由于 11.73 介于 $11.00 \sim 15.00$,所以根据《指南》中水环境健康指数评价标准(范围 $11.00 \sim 15.00$),判定水环境为健康,但已接近亚健康的标准阈值 11 ,且已呈现富营养化,因此需要加强水环境的保护,防止水环境质量进一步下降。

2.2 沉积环境评价

对北仑河口近海海域各测站沉积物中有机碳和硫化物的调查结果见表3。结果表明,沉积物中有机碳和硫化物含量均符合相应的标准。总体而言,调查海域沉积物质量较好。根据《指南》中沉积环境各项指标的赋值范围并按公式(1)计算得到 $S_{\text{有机碳}}$ 和 $S_{\text{硫化物}}$ 赋值均为 10.00 。沉积环境健康指数为 $S_{\text{indx}} = (S_{\text{有机碳}} + S_{\text{硫化物}}) / 2 = (10 + 10) / 2 = 10.00$ 。由于 10 介于 $7 \sim 10$,所以根据《指南》中沉积环境健康指数评价标准(范围 $7.00 \sim 10.00$),判定沉积环境为健康。

2.3 生物残毒状况评价

调查期间,采集了鱼类、甲壳类和软体动物类样品,对其进行重金属和油类残毒分析(表4)。生物体质量评价结果显示,调查海域生物体质量状况整体良好,仅有少量超标现象。根据《指南》中生物残毒各项指标的赋值范围及公式(1),各生物残毒评价指标赋值计算结果分别为 $BR_{\text{汞}} = 10.00$, $BR_{\text{镉}} = 8.33$,

$BR_{\text{铅}} = 10.00$, $BR_{\text{砷}} = 10.00$, $BR_{\text{油类}} = 6.67$ 。生物残毒健康指数为: $BR_{\text{indx}} = (BR_{\text{汞}} + BR_{\text{镉}} + BR_{\text{铅}} + BR_{\text{砷}} + BR_{\text{油类}}) / 5 = (10.00 + 8.33 + 10.00 + 10.00 + 6.67) / 5 = 9.00$, 介于 7.00~10.00。根据《指南》中生物残毒的评价标准(范围 7.00~10.00), 判定海域未受生物残毒污染。

表 3 沉积环境评价指标调查结果

Table 3 Monitoring results of the parameters of Sedimentary environment evaluation

沉积物 Sediment	平均值 Mean	变化范围 Variation range	超标率 Over standard rate(%)	赋值 Assign- ment
有机碳 Organic carbon (%)	0.35	0.10~1.28	0	10.00
硫化物 Sulfide ($\mu\text{g/g}$)	87.69	12.41~219.20	0	10.00

表 4 生物残毒评价指标调查结果

Table 4 Monitoring results of the parameters of Biological residue

项目 Item	鱼类 Fish	甲壳类 Crustaceans	软体类 Molluscs
汞 Hg ($\mu\text{g/g}$)	0.01	0.01	0.02
镉 Cd ($\mu\text{g/g}$)	0.23	0.01	0.01
铅 Pb ($\mu\text{g/g}$)	0.05	0.01	0.03
砷 As ($\mu\text{g/g}$)	0.08	0.17	0.63
油类 Petroleum ($\mu\text{g/g}$)	15.50	7.00	20.50

2.4 栖息地健康评价

研究海域沿岸大部分位于广西北仑河口国家级自然保护区内, 该保护区总面积 3000 hm^2 , 自西向东跨越北仑河口、万尾岛和珍珠湾。根据相关资料统计^[15,16], 该海域虽然受到滨海湿地开发和大量海岸工程的建设影响, 但由于保护区对该海域滨海湿地的保护和恢复工作, 保护区内红树林面积从保护区成立之初的 1131 hm^2 恢复到约 1274 hm^2 , 增加了 11.5%, 北仑河口区域红树林湿地面积也有所恢复。根据《广西壮族自治区 2012 年海洋环境质量公报》^[17], 北仑河口红树林生态系统红树植物密度分别为 7286 株/ hm^2 , 生态系统群落结构和面积均保持稳定, 处于健康状态。根据《指南》中滨海湿地生境指标的赋值范围, 滨海湿地生境减少评价指标 SA 赋值为 15.00。

房旭东等^[18]的调查显示, 北仑河口可分为近口区、河口和口外滨海 3 个沉积区, 主要有砾砂、砂、粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂、砂-粉砂-粘土和粘土质粉砂等 7 种类型, 并具有自西北向东南逐渐变细的特征。01 号和 02 号站位于近口区, 主要受河流作用, 以砾砂为主, 而其他站位于河口区, 主要受粗颗

粒沉积作用, 以砂为主。调查发现, 近年来大量海岸工程已对地形地貌和水土流失造成影响, 使得部分海域的沉积物主要组分含量发生较大的变化, 变化率大于 5%。根据《指南》中沉积物主要组分含量年度变化指标的赋值范围, 沉积物主要组分评价指标 SG 的赋值为 5.00。

栖息地健康指数 $E_{\text{indx}} = (SA + SG) / 2 = (15 + 5) / 2 = 10.00$ 。由于 $8.00 \leq E_{\text{indx}} < 11.00$, 所以根据《指南》中栖息地健康评价标准(范围 8.00~11.00), 判定栖息地为亚健康。

2.5 生物健康评价

2.5.1 浮游植物

共鉴定出浮游植物 6 大类 36 属 54 种。其中硅藻 16 属 33 种, 占总种数的 61.1%; 甲藻 9 属 11 种, 占总种数的 20.4%。浮游植物个体数量分布范围为 $0.66 \times 10^7 \sim 26.40 \times 10^7$ 个/L, 其中 10 号站个体数量最小, 13 号站个体数量最大, 全海域平均密度为 14.36×10^7 个/L。调查海域浮游植物中个体数量最大的为着色鞭毛藻门的球形棕囊藻, 已形成囊体, 囊体密度分布范围为 1~6 个/L, 平均为 3 个/L, 达到赤潮密度。由于本次调查球形棕囊藻数量大于其他浮游植物数量 3~4 个数量级, 单一种类占绝对优势浮游植物的种类多样性指数、种类分布均匀度、种类丰度极小, 从而缺乏统计意义。

根据《指南》中浮游植物密度指标的赋值范围, 所有测站均属于第 III 类等级, 浮游植物密度指标 $B_{\text{浮游植物密度}}$ 的赋值为 10.00。

2.5.2 浮游动物

共鉴定出浮游动物 26 种, 均为热带、亚热带种类。其中桡足类 14 种, 多毛类 4 种, 原生动物、栉水母类、介形类、樱虾类、糠虾类、异足类、毛颚动物、背囊动物各 1 种。种类最多的是 15 号站, 为 16 种。12 号站采集到的样品种类最少, 为 8 种。调查期间有 8 个测站的浮游动物生物多样性指数变化范围为 1.58~2.94, 生物多样性指数位于中等偏上水平, 表示该海域浮游动物物种丰富度较高, 个体分布比较均匀。此外均匀度指数相对较高(均值为 0.75), 优势度一般(均值为 0.61), 表示该海域没有突出优势种。调查海域浮游动物生物密度的平均值为 2.05×10^4 个/ m^3 , 其中 04 号站大型底栖生物密度最高, 为 3.06×10^4 个/ m^3 , 12 号站密度最低, 为 0.63×10^4 个/ m^3 。浮游动物生物量的平均值为 1770 mg/m^3 , 其中 04 号站浮游动物生物量最高, 为 2875 mg/m^3 , 12 号站底栖生物生物量最低, 为 900 mg/m^3 。根据《指南》中浮游动物密度和生物量指标的赋值范围, 按公

式(1)计算浮游动物密度 $B_{\text{浮游动物密度}}$ 和生物量

$B_{\text{浮游动物生物量}}$ 的赋值分别为 15.45 和 10.00。

2.5.3 鱼卵及仔鱼密度

在北仑河口附近海域共布设了 7 个站位,进行了鱼卵、仔鱼调查,但并未采集到鱼卵、仔鱼样本。相关资料表明,北仑河口海域鱼卵及仔鱼密度总体较低,现状不容乐观,根据《指南》中鱼卵及仔鱼密度指标的赋值范围,鱼卵及仔鱼密度指标的赋值为 10.00。

2.5.4 底栖动物

共鉴定出大型底栖生物 58 种,分属于 10 门,均为热带、亚热带物种。环节动物、软体动物、节肢动物和棘皮动物是该海域大型底栖生物的主要组成类群。其中软体动物多毛类最多,达 30 种,占总种数的 52%;环节动物多毛类次之,为 13 种,占总种数的 22%;节肢动物甲壳类 8 种,占总种数的 14%。其他类(腔肠动物、线虫、纽形动物、星虫、腕足动物、棘皮动物和尾索动物)各 1 种。软体动物群落中种数所占比例最高,其中珠带拟蟹守螺出现频率和所占比例均最大,该种在 04、05、07、10 号站所占比例均超过 50%,分别为 88%、65%、63%和 64%。沟纹毛肌蛤虽然只在 13 号站出现,但其生物密度占该站总生物密度的 91%。03 号站中的第一优势种为菲律宾偏顶蛤,其密度百分比也很高,为 61%。调查海域底栖动物生物量、生物密度分布差异较大,生物量变化范围为 6.68~653.53 g/m²,生物量最高的为 03 号站,最低的为 20 号站。生物密度变化范围为 20.0~1543.4 个/m²,生物密度最高的为 18 号站,最低的为 20 号站。整个调查海域的平均生物量为 174.9 g/m²,平均生物密度为 379.6 个/m²。结合生物量、生物密度、均匀度指数和优势度指数的结果可知,该海域虽然生物量较大、生物密度较高,但优势种较为突出,个体分布不甚均匀。根据《指南》中底栖动物密度和生物量指标的赋值范围,按公式(1)计算出底栖动物密度 $B_{\text{底栖动物密度}}$ 和生物量 $B_{\text{底栖动物生物量}}$ 的赋值均为 20.00。

2.5.5 生物健康指数

根据海洋生物每项指标赋值结果,并按公式(2)计算生物健康指数,得 $B_{\text{indx}} = (B_{\text{浮游植物密度}} + B_{\text{浮游动物密度}} + B_{\text{浮游动物生物量}} + B_{\text{鱼卵仔鱼密度}} + B_{\text{底栖动物密度}} + B_{\text{底栖动物生物量}}) / 6 = (10.00 + 15.45 + 10.00 + 10.00 + 20.00 + 20.00) / 6 = 14.24$ 。由于 14.24 介于 10.00~20.00,所以根据《指南》中生物健康评价标准(范围 10.00~20.00),判定生物为不健康。

2.6 生态健康评价

依据水环境、沉积环境、生物残毒、栖息地和生物健康指数计算结果,按公式(3)计算北仑河口近岸海域生态系统健康指数为: $CEH_{\text{indx}} = W_{\text{水环境}} + S_{\text{沉积环境}} + BR_{\text{生物残毒}} + E_{\text{栖息地}} + B_{\text{生物}} = 11.73 + 10 + 9 + 10 + 14.24 = 54.97$ 。根据《指南》中河口及海湾生态系统生态健康评价标准(范围 50.00~75.00),北仑河口邻近海域生态系统健康指数 54.97 介于 50.00~75.00,所以判定北仑河口近岸海域的生态系统处于亚健康状态。

3 结论

北仑河口近岸海域海洋生态健康分析及评价结果如下:

(1)根据水环境健康指数评价结果,判定该海域水环境为健康,但已接近亚健康的标准阈值。调查结果显示,无机氮、磷酸盐和石油类物质几项指标均有不同程度的超标,且靠近口门的海域水污染较为严重,北仑河口污染物输入对水质影响较大。此外,由于研究海域已处于富营养化状态,因此要加强水环境的保护,防止水环境质量进一步下降。

(2)沉积物中有机碳和硫化物含量均符合相应的标准,说明沉积物质量较好。根据沉积环境健康指数评价结果,判定该海域沉积环境处于健康状态。

(3)生物体质量状况整体良好,仅有少量镉和石油类物质超标现象。根据生物残毒健康评价结果,判定该海域未受生物残毒污染。

(4)近年来,大量护岸工程及其他海洋工程的建设,对海域水动力环境、海洋地形地貌和冲淤环境等均产生了一定的影响,虽然北仑河口是国家级自然保护区,栖息地环境也无法避免的受到了一定程度的破坏。根据栖息地健康指数评价结果,判定该海域栖息地为亚健康,必须严格监控该区域围填海工程建设和滩涂海岸的开发,加强对栖息地的保护。

(5)浮游植物密度、浮游动物密度、浮游动物生物量、鱼卵及仔鱼密度等各项海洋生物评价指标中大部分指标处于《指南》相应评价标准的Ⅲ等级。根据生物健康指数评价结果,判定该海域生物处于不健康状态。

综合水环境、沉积环境、生物残毒、栖息地和生物健康评价结果,判定北仑河口近岸海域生态系统处于亚健康状态,生态系统基本维持其自然属性,但承受的生态压力已超出其承载能力。

参考文献:

[1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第十四分册(重要

Guangxi Sciences, Vol. 21 No. 1, February 2014

- 河口)[M].北京:海洋出版社,1998:782-796.
China bay records editorial committee. The fourteenth section of China bay records (Important Estuary)[M]. Beijing:Maritime Press,1998:782-796.
- [2] 韩姝怡,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(2):196-199.
Han S Y, Chen B, Qiu S F, et al. Relationship between coastal environment and hydrodynamic in the north of Beilunhe estuary[J]. Guangxi Sciences, 2009(2): 196-199.
- [3] 陈敏,蓝东兆,任建业,等.2008年广西北仑河口海域水质状况评价[J].海洋湖沼通报,2012(1):110-115.
Chen M, Lan D Z, Ren J Y, et al. Assessment of sea water quality status in Beilun river estuary, Guangxi in 2008[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2012(1):110-115.
- [4] 国家海洋局. HY/T 087-2005 近岸海洋生态健康评价指南[S].北京,2005.
State Oceanic Administration, People's Republic of China. HY/T 087-2005 The guidance for the assessment of coastal marine ecosystem health[S]. Beijing, 2005.
- [5] 张秋丰,屠建波,胡延忠,等.天津近岸海域生态环境健康评价[J].海洋通报,2008(5):73-78.
Zhang Q F, Tu J B, Hu Y H, et al. Marine ecosystem environmental health assessment for Tianjin coastal areas [J]. Marine Science Bulletin, 2008(5): 73-78.
- [6] 蔡爱萍,洪雄业,杨玉波.福建省近岸海域海洋生态健康评价与分析[J].海峡科学,2011(12):30-34.
Cai A P, Hong X Y, Yang Y B. Marine ecosystem environmental health assessment for Fujian coastal areas [J]. Channel Sciences, 2011(12): 30-34.
- [7] 郑斌鑫,李九发,曾志,等.北仑河口潮流和余流特征分析[J].台湾海峡,2012(1):121-129.
Zheng B X, Li J F, Zeng Z, et al. Characteristical analysis of tidal and residual currents in Beilun estuary[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2012(1): 121-129.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化委员会. GB17378-2007 海洋监测规范[S].北京,2008.
Chinese National Standardization Committee of Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB17378-2007 Specifications for marine monitoring [S]. Beijing, 2008.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化委员会. GB12763-2007 海洋调查规范[S].北京,2008.
Chinese National Standardization Committee of Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB12763-2007 Specifications for oceanographic survey [S]. Beijing, 2008.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 3097-1997 海水水质标准[S].北京,1997.
Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 3097-1997 Sea water quality standard[S]. Beijing, 1997.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18668-2002 海洋沉积物质量标准[S].北京,2002.
Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18668-2002 Marine sediment quality standard[S]. Beijing, 2002.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18421-2001 生物体质量标准[S].北京,2001.
Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18421-2001 Marine biological quality standard[S]. Beijing, 2001.
- [13] 邹景忠,董丽萍,秦保平.渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J].海洋环境科学,1983(2):41-54.
Zou J Z, Dong L P, Qin B P. The primary research on the eutrophication and red tide in Bohai bay[J]. Marine Environmental Science, 1983(2): 41-54.
- [14] Lévassieur M E, Theriault J C. Phytoplankton biomass and nutrient dynamics in a tidally induced upwelling: the role of the NO₃: SiO₄ ratio [J]. Marine Ecology Progress Series, 1987, 39: 87-97.
- [15] 广西壮族自治区海洋局.北仑河口自然保护区总体规划通过评审[EB/OL].(2013-06-10) <http://www.gxoa.gov.cn/NewsView.aspx?id=312>, 2008-11-14.
Guangxi Oceanographic Administration. Nature reserve master plan of Beilun estuary nature reserve was approved by committee of experts[EB/OL]. (2013-06-10) <http://www.gxoa.gov.cn/NewsView.aspx?id=312>, 2008-11-14.
- [16] 国家海洋局.2012年中国海洋环境状况公报[EB/OL].(2013-06-10) <http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyhjzlgbl/hyhjzlgbl/2012nzgghyhjzkgbl/>, 2013-3-27.
State Oceanic Administration, People's Republic of China. Bulletin of marine environmental status of China for the year of 2012[EB/OL]. (2013-06-10) <http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyhjzlgbl/hyhjzlgbl/2012nzgghyhjzkgbl/>, 2013-3-27.
- [17] 广西壮族自治区海洋局.广西壮族自治区2012年海洋环境质量公报[EB/OL].(2013-07-02) <http://www.gxoa.gov.cn/NewsView.aspx?id=5364>, 2013-5-31.
Guangxi Oceanographic Administration. Bulletin of marine environmental status of Guangxi for the year of 2012[EB/OL]. (2013-07-02) <http://www.gxoa.gov.cn/NewsView.aspx?id=5364>, 2013-5-31.
- [18] 房旭东,许江.北仑河口的表层沉积物类型及其分布特征[J].台湾海峡,2010(1):81-88.
Pang X D, Xu J. Characters of grain sizes on the surface sediments of Beilun estuary[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2010(1): 81-88.

(责任编辑:尹 闯)