

网络优先数字出版时间: 2015-05-29

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20150529.0921.001.html>

广西北仑河口保护区近岸海域 2012~2014 年水质参数的变化^{*}

Changes of Water Quality Parameters Along the Coastal Area of National Nature Reserve of Guangxi Beilun Estuary, 2012~2014

刘 熊^{1,2}, 程冬梅², 叶朝放¹, 苏 搏², 罗万次¹, 曾晓鹏², 徐 丽², 罗正顺²

LIU Xiong^{1,2}, CHENG Dong-mei², YE Chao-fang¹, SU Bo², LUO Wan-ci¹, ZENG Xiao-peng², XU Li², LUO Zheng-shun²

(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 538021)

(1. Marine Environmental Monitoring and Forecasting Center of Fangchenggang, Fangchenggang, Guangxi, 538001, China; 2. National Nature Reserve of Beilun Estuary, Fangchenggang, Guangxi, 538021, China)

摘要:【目的】为了促进北仑河口保护区与周边社会的可持续发展。【方法】根据 2012~2014 年对北仑河口保护区沿岸水域的水环境理化指标的调查, 采用单因子指数法、营养水平指数法以及河口与海湾生态系统环境健康状况评价方法评价研究区域水质的变化趋势。【结果】除无机氮外, 北仑河口保护区各水质指标均符合一类或二类海水水质标准, 无机氮和石油类是主要污染物。2012~2014 年北仑河口保护区的营养指数分别为 1.94, 1.33 和 1.44, 存在富营养化现象, 且具明显的时空差异。【结论】研究期间, 该海区的水环境健康指数均达到水环境健康标准, 总体上处于健康状态。

关键词: 北仑河口保护区 单因子指数法 营养水平指数法

中图分类号: P76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2015)02-0089-05

Abstract: 【Objective】In order to promote the sustainable development of national nature reserve in Guangxi Beilun estuary and the surrounding community. 【Methods】Three approaches including single-factor index method, trophic level index method and water environment healthy status evaluation method of bay and estuarine ecosystem were used to evaluate the variation trend of water quality on the basis of the investigation and analysis of water physico-chemical parameters carried out in the Guangxi Beilun estuarine nature reserve during the period 2012~2014. 【Results】The result showed that the water quality indexes, expect the content of inorganic nitrogen, in sampling areas were below I or II grade standard of sea water quality. The inorganic nitrogen and petroleum were the main pollutants of the sampling sites. The trophic level index of the area between 2012 and 2014 were 1.94, 1.33 and 1.44 respectively, which indicated eutrophication existed there and showed significantly spatial and temporal differences. 【Conclusion】

During the research period, the water health indices from sampling areas met the water health standard for bay and estuarine ecosystem, which suggested the area in general is health.

Key words: national nature reserve of Guangxi

收稿日期: 2015-01-10

修回日期: 2015-03-09

作者简介: 刘 熊(1986-), 男, 助理工程师, 主要从事海洋环境科学研究。

^{*} 广西北仑河口保护区科研项目资助。

Beilun estuary, single-factor index method, trophic level index method

0 引言

【研究意义】近年来,海洋和河口环境的退化已经成为全球聚焦的问题之一。尤其是中国的热带、亚热带地区,红树林物种丰度和面积不断减少,取而代之的是成片的稻田和养殖池塘以及城市化的建设^[1]。频繁的人类活动以及台风、风暴潮、洪水等自然因素导致各种污染物质随着河流和沿岸流入河口和海洋,并引发了一系列的水环境质量问題,如水体透明度下降、缺氧、营养盐负荷加剧导致的富营养化、赤潮等,最终导致近岸海域的生境退化^[2~5]。

【前人研究进展】广西北仑河口国家级自然保护区位于我国大陆海岸线最西南端的广西壮族自治区防城港市西南沿海地带,南濒北部湾,西与越南交界,包括东起防城区江山乡白龙半岛,西至东兴市东兴镇罗浮江与北仑河汇集处的滩涂和部分海域,跨越防城区和东兴市的10个自然村,现红树林面积为1300 hm²。流入保护区的河流主要有黄竹江、江平江、罗浮江、北仑河等,河流带入大量的陆源污染物进入保护区管辖海域,导致保护区部分海域营养盐较为丰富,部分海域营养盐过剩导致水体环境的污染。近年来国家加大了对防城港市的发展规划,先后把防城港市纳入中国-东盟自由贸易区和北部湾经济区等区域经济区,并于2011年批准成立东兴国家重点开发开放试验区^[6]。大量的工业废水、养殖污水和市政生活污水的排放对该保护区的环境造成前所未有的压力^[7]。**【本研究切入点】**为促进保护区与周边社会的可持续发展,有必要调查了解保护区水体的环境质量状况,但目前只有北仑河口局部海域水质状况方面的研究^[6,7],对整个北仑河口保护区水质状况连续变化方面的研究尚未见报道。**【拟解决的关键问题】**通过连续3年定点站位现场采样调查,分析北仑河口保护区近岸海域基本的水环境变化情况,并评价水质的污染状况和富营养化状态以及水质变化发展情况,为北仑河口保护区生态系统的保护和管理提供基础资料。

1 监测站位及方法

1.1 监测站位

于2012~2014年8月对广西北仑河口保护区(21.52°~21.61°N, 108.02°~108.24°E)进行现场调查,根据广西北仑河口保护区的功能区划图及环

境特点,自西向东从北仑河口至珍珠湾布设独墩、竹山、榕树头、漓尾、山心、交东、石角和新基8个监测断面,共22个监测站位(图1)。

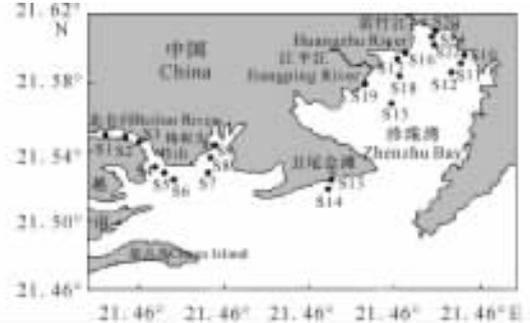


图1 调查站位

Fig.1 The sampling sites

1.2 样品采集与分析

样品于2012年8月8~9日,2013年7月31日~8月1日,2014年7月23~24日采集。由于北仑河口保护区水深较浅,区域内调查站位最大水深5.2 m,故每个站位只采集表层海水。监测要素有水温、盐度、pH值、溶解氧、化学需氧量、营养盐、石油类等,所有样品的采集、处理、保存、运输和分析方法均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.4—2007)^[8]和《海洋监测规范》(GB17378—2007)^[9]中有关规定进行。本研究采用单因子污染指数法、营养水平指数法和《近岸海洋生态健康评价指南》^[10]中河口与海湾生态系统水环境健康状况评价方法对北仑河口红树林保护区的水质现状进行评价。

2 结果与分析

2.1 水环境变量的时空分布

河口和红树林水域盐度的时空变化主要受到季风或潮汐变化引起的径流量变化的影响^[11]。研究结果表明,北仑河口保护区监测区域内在2012~2014年间盐度变化不显著($P > 0.05$,表1)。在22个监测站位中,站位1,2,3的盐度明显低于其它断面($P < 0.05$,图2),表明淡水输入是导致北仑河口保护区近岸海域盐度空间分布差异的主要原因。

2012~2014年,北仑河口保护区近岸海域的溶解氧含量除2012年的部分站位,其余的经测定均符合一类海水水质标准($> 6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,表1和图3)。

化学需氧量通常被作为表征水体有机物污染程度的重要指标。监测结果表明,2012~2014年北仑河口保护区化学需氧量均符合一类海水水质标准($< 2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,表1)。但是站位7,8,9的化学需氧

量明显高于其它站位的,且在 2013 和 2014 年的测定含量超过了二类海水水质标准($<3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $P < 0.05$,图 4)。

3 年的监测结果如表 1、图 5、图 6 所示,北仑河口保护区监测区域内无机氮平均含量为 $0.36 \sim 0.44 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,超过了二类海水水质标准($>0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$);磷酸盐的平均含量为 $0.008 \sim 0.015 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,未超过一类海水水质标准的阈值($<0.015 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。2012~2014 年从北仑河口至珍珠湾的无机氮含量均呈逐渐下降趋势($P < 0.05$)。除了独墩(站位 1,2,3)、竹山(站位 4,5,6)和榕树头(站位 7,8,9)3 个监测断面外,其余各监测断面均符合二类海水水质标准。非参数检验结果表明,各断面无机氮含量依次为独墩 $>$ 竹山 $>$ 榕树头 $>$ 其余各断面,说明北仑河口保护区内的无机氮主要来源于入海河流($P < 0.05$)。磷酸盐高值主要出现在靠近河口区域,且与水体盐度呈明显负相关(表 2, $P < 0.05$)。

Table 1 Results of the water quality

年份 Year	类型 Type	盐度 Salinity	pH 值 pH value	溶解氧 Dissolved oxygen ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	化学需氧量 Chemical oxygen demand ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	无机氮 Inorganic nitrogen ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	磷酸盐 Phosphate ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	石油类 Petroleum ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
2012	范围 Range	0.002~32.717	6.88~8.07	4.88~7.00	0.61~3.44	0.10~1.00	0.001~0.048	0.010~0.104
	平均值 Average value	14.566	7.63	6.84	1.51	0.38	0.015	0.041
2013	范围 Range	0.111~18.064	7.40~8.40	6.90~10.00	0.36~4.40	0.19~0.84	0.002~0.031	0.024~0.250
	平均值 Average value	9.793	8.02	7.82	1.96	0.36	0.008	0.054
2014	范围 Range	0.063~23.005	7.04~8.66	6.67~11.56	0.77~5.43	0.10~1.19	0.004~0.021	0.033~0.196
	平均值 Average value	11.950	8.07	8.37	1.75	0.44	0.008	0.075

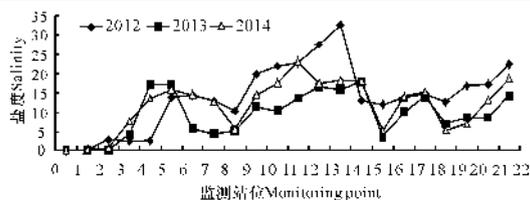


图 2 海水盐度的时空分布

Fig. 2 Spatial and temporal distribution of salinity

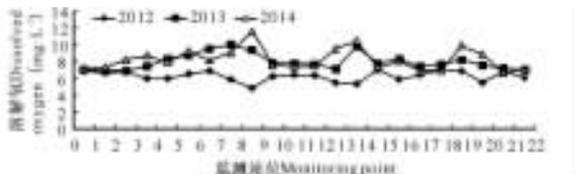


图 3 溶解氧的时空分布

Fig. 3 Spatial and temporal distribution of dissolved oxygen

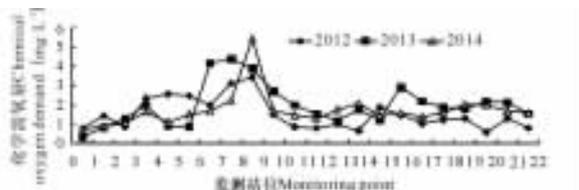


图 4 化学需氧量的时空分布

Fig. 4 Spatial and temporal distribution of chemical oxygen demand

珍珠湾的无机氮含量均呈逐渐下降趋势($P < 0.05$)。除了独墩(站位 1,2,3)、竹山(站位 4,5,6)和榕树头(站位 7,8,9)3 个监测断面外,其余各监测断面均符合二类海水水质标准。非参数检验结果表明,各断面无机氮含量依次为独墩 $>$ 竹山 $>$ 榕树头 $>$ 其余各断面,说明北仑河口保护区内的无机氮主要来源于入海河流($P < 0.05$)。磷酸盐高值主要出现在靠近河口区域,且与水体盐度呈明显负相关(表 2, $P < 0.05$)。

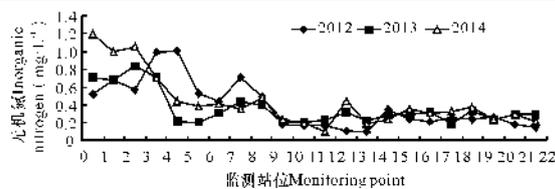


图 5 无机氮的时空分布

Fig. 5 Spatial and temporal distribution of inorganic nitrogen

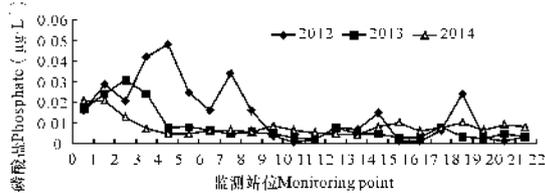


图 6 磷酸盐的时空分布

Fig. 6 Spatial and temporal distribution of phosphate

石油类监测结果如表 1 和图 7 所示,2012~2014 年北仑河口保护区的石油类含量呈逐年上升趋势($P < 0.05$)。2012 年大部分监测站位的石油类含量均小于 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,符合二类海水水质标准。但至 2014 年,68.2% 监测站位的石油类含量均超过二类海水水质标准,说明北仑河口保护区监测区域内水体已开始受到石油类污染。

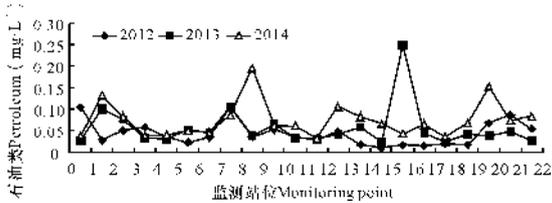


图7 石油类的时空分布

Fig. 7 Spatial and temporal distribution of petroleum

2.2 富营养化评价结果

根据营养指数公式计算结果表明,2012~2014年北仑河口保护区的营养指数分别为1.94,1.33和1.44,处于富营养化状态(表2)。然而,由图8可知,独墩、竹山和榕树头断面是导致北仑河口保护区营养指数整体偏高的主要原因。其中,2012~2014年站点2和3的营养指数分别为3.14~6.40和2.35~7.37,远超过营养指数阈值。营养指数越高,表明该区域水体的富营养化程度越严重。营养指数高值出现在2012年站点4,5和8,分别超标20.95倍、26.31倍和15.57倍。但至2013年和2014年,5个监测站点(4,5,6,8,9)测定的营养指数较2012年的均出现大幅度的下降,2014年,站点5和6的营养指数甚至略低于营养指数阈值,无富营养化现象。

表2 水质综合评价结果

Table 2 The overall evaluation of water quality

指数 Index	年份 Year		
	2012	2013	2014
营养指数 Nutritional index(E)	1.94	1.33	1.41
W_{index}	11.78	12.16	12.50

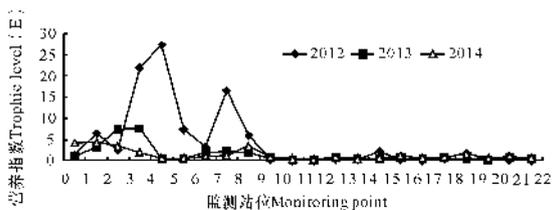


图8 营养水平变化趋势

Fig. 8 The variation trend of trophic level

表3 营养盐因子和盐度的相关分析结果

Table 3 Correlation analysis of salinity and nutrition factors

年份 Year	盐度 Salinity	营养盐因子 Nutrition factors						
		总氮 Total azote	无机氮 Inorganic nitrogen	硝酸盐 Nitrate	亚硝酸 Nitrite	氨氮 Ammonia nitrogen	总磷 Total phosphorus	磷酸盐 Phosphate
2012	14.566	-0.11	-0.80	-0.89	-0.09	-0.49	-0.63	-0.66
2013	9.793	-0.67	-0.78	-0.82	-0.55	-0.49	-0.65	-0.57
2014	11.950	-0.77	-0.80	-0.81	-0.06	-0.47	-0.39	-0.72

2.3 水环境健康状况评价结果

根据《近岸海洋生态健康评价指南》^[10]中河口与海湾生态系统水环境评价指标、标准及赋值进行北仑河口保护区水环境健康指数计算。2012~2014年北仑河口保护区的水环境健康指数(W_{index})均大于水环境健康标准的阈值11,表明北仑河口保护区监测区域内水环境处于健康状态。

3 讨论

氮、磷是海水中的主要营养元素,也是导致水体发生富营养化的主要原因。其中,无机氮和磷酸盐是海洋生物,尤其是浮游植物摄取氮、磷的主要形式。北仑河口保护区的无机氮和磷酸盐浓度由北仑河口至珍珠湾方向总体呈下降趋势,且与盐度具明显负相关关系(表3, $P < 0.05$)。丰雨季节,河流径流是影响盐度空间分布的主导因子^[5]。监测结果显示北仑河口保护区近岸海域的硝酸盐含量与盐度呈显著负相关(表3, $P < 0.05$),且溶解氧含量一直处于较高水平。淡水的稀释作用导致北仑河口保护区近岸海域水体盐度不同程度地下降,并提高水体对氧的溶解度^[12,13]。因此,陆源污染物随着入海径流入北仑河口,使得水体营养盐含量呈现明显的时空差异。北仑河处于中国、越南的边界线上,是两国临近城市的主要市政排污河流。同时,由于养殖污水的排放,导致独墩、竹山以及榕树头断面水体的营养盐含量显著高于其他断面的,存在富营养化现象。由于北仑河口为喇叭型河口地形,其竹山段以上水域主要以往复流形式运动,受径流影响较大;但漓尾至新基一段主要以逆时针环流为主,受径流影响较小,且沿岸生长了大面积的红树林^[14,15]。因此,该区段营养盐含量较低,未出现富营养化现象。2013年,防城港市政府于竹山断面沿岸建立污水处理厂,使得该处水质有所好转,无机氮和磷酸盐含量显著减少,营养指数大幅下降。2014年,仅独墩和榕树头断面水域仍处于富营养化状态。

4 结论

本文采用单因子污染指数法、营养水平指数法和河口与海湾生态系统水环境健康状况评价方法对 2012~2014 年北仑河口保护区的水质现状进行评价。单因子指数结果表明,除了无机氮外,其余各水质指标均符合一类或二类海水水质标准,无机氮是北仑河口保护区水域的主要污染物。多年调查结果显示,北仑河口保护区的石油类浓度一直处于较低水平。然而,2012~2014 年北仑河口保护区的石油类含量呈逐年上升趋势 ($P < 0.05$),至 2014 年,大部分监测断面的石油类含量均超过二类海水水质标准,受到石油类污染,这可能与近年来防城港市的船舶业与旅游业的快速发展有关。

根据河口与海湾生态系统水环境健康评价结果,这 3 年来北仑河口保护区的水环境健康指数呈逐年上升趋势。近年来,广西北仑河口国家级自然保护区管理处加大环境保护力度,开展多项红树林生态修复工程,恢复面积达 26 hm²(与 2013 年相比)。多项调查数据表明,保护区管理处的环境保护和管理工作取得一定的成效。但石油类和无机氮仍是北仑河口保护区海域水环境的主要污染因子^[6],未来北仑河口保护区所属海域的环境治理工作依旧值得重视。

参考文献:

[1] Li M S, Lee S Y. Mangroves of China: A brief review [J]. *Forest Ecology and Management*, 1997, 96: 241-259.

[2] Reay W G. Water quality within the York River Estuary [J]. *Journal of Coastal Research*, 2009, SI (57): 23-39.

[3] Herbeck L S, Unger D, Krumme U, et al. Typhoon-induced precipitation impact on nutrient and suspended matter dynamics of a tropical estuary affected by human activities in Hainan, China [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011, 93: 375-388.

[4] Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences [J]. *Ecological Applications*, 1997, 7: 737-750.

[5] Rabalais N N, Gilbert D. Distribution and consequences of hypoxia [M] // Urban E, Sundby B, Malanotte-Rizzoli P, et al. *Watersheds, Bays and Bounded Seas: The Science and Management of Semi-enclosed Marine Systems*. Washington D C: Island Press, 2009: 2009-2226.

[6] 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]. *Transaction of Oceanology and Limnology*, 2012(1): 110-115.

- [7] 何祥英. 北部湾防城港近岸海域海水环境参数变化与水质状况评价 [J]. *广西科学院学报*, 2012, 28(4): 293-297.
- He X Y. Changes of seawater environmental parameter and assessment of water quality in Beibu Gulf Fangchenggang inshore [J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2012, 28(4): 293-297.
- [8] 国家海洋局. GB/T 12763. 4—2007 海洋调查规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- State Oceanic Administration. GB/T 12763. 4—2007 The Specification for Oceanographic Survey [S]. Beijing: China Standards Press, 2007.
- [9] 国家海洋局. GB 17378. 4—2007 海洋监测规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- State Oceanic Administration. GB 17378. 4—2007 The Specification for Marine Monitoring [S]. Beijing: China Standards Press, 2007.
- [10] 国家海洋环境监测中心. HY/T 087—2005 近岸海洋生态健康评价指南 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- National Marine Environment Monitoring Center. HY/T 087—2005 The Guidance for the Assessment of Coastal Marine Ecosystem Health [S]. Beijing: China Standards Press, 2007.
- [11] 孔亚珍, 贺松林, 丁平兴, 等. 长江口盐度的时空变化特征及其指示意义 [J]. *海洋学报*, 2004, 26(4): 9-18.
- Kong Y Z, He S L, Ding P X, et al. Automatic system for monitoring salt water intrusion in Changjiang Estuary [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(4): 9-18.
- [12] Srinivasan K, Natesan U. Spatio-temporal variations in water quality of Muttukadu Backwaters, Tamilnadu, India [J]. *Water Environment Research*, 2013, 85(7): 587-595.
- [13] Prema M, Subramaniam B. Hydrobiological parameters of Muttukadu Backwater of bay of Bengal [J]. *Indian Hydrobiology*, 2003, 6(1): 95-100.
- [14] 韩姝怡. 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, 2010.
- Han S Y. Analysis of Marine Marine Environment Evolution in the Beilun Eastry [D]. Nanning: Guangxi Teachers Education University, 2010.
- [15] 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, 31(1): 121-129.
- Zheng B X, Li J F, Zeng Z, et al. Analysis of current characteristics in the Beilun estuary [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2012, 31(1): 121-129.