

北部湾近岸海域夏季海洋环境质量评价*

Application the Nemerow Index to Comprehensive Assessment of Sea Area Environmental Quality of Beibu Gulf Coast in Summer

雷 富, 陈宪云, 张荣灿, 庄军莲, 柯 珂, 姜发军, 许铭本**

LEI Fu, CHEN Xian-yun, ZHANG Rong-can, ZHUANG Jun-lian, KE Ke, JIANG Fa-jun, XU Ming-ben

(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】调查和评价广西北部湾近岸海域的污染状况。【方法】2010年6月从广西北部湾近岸海域采集46个海水样品和24个表层沉积物样品,测定海水中14种元素和沉积物中12种元素的含量,并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】该海域中海水平均单项污染程度依次为铅>无机磷>无机氮=锌>汞>pH值>溶解氧>化学耗氧量>油类>铜>镉>DDT>砷>总铬,其中铅和无机磷平均含量超过国家一类海水水质标准;表层沉积物中平均单向污染指数大小顺序为砷>石油类>铅>铬>锌>汞=铜>有机碳>DDT>镉>多氯联苯>硫化物,平均含量单项污染指数均小于1,主要污染物为砷、石油类、铅、铬。【结论】内梅罗指数综合评价结果显示,广西北部湾近岸海域海水处于较清洁状态,沉积物质量环境状况良好;综合评价结果显示,该海域海水处于清洁状态。

关键词: 北部湾 海水 沉积物 内梅罗指数

中图分类号: X82, X834 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2014)01-0084-05

Abstract: 【Objective】The survey and assessment on the environmental situation of pollution were conducted in the coastal waters of Beibu Gulf. 【Method】46 seawater samples and 24 surface sediments samples were collected by Guangxi Beibu Gulf Coast in June 2010. The content in seawater and sediments was determined. The pollution status of seawater and surface sediments in Beibu Gulf Coast by the index technique of single factor and Nemerow index. 【Result】The results showed that the seawater sequence of single factor index was Pb>P>DIN=Zn>Hg>pH>DO>COD>Oils>Cu>Cd>DDT>As>Cr. The concentration of Pb and P exceeded the standard of first grade seawater quality of China. The surface sediments sequence of single factor index was As>Oils>Pb>Cr>Zn>Hg=Cu>TOC>DDT>Cd>PCBs>S. The average content of single factor index was less than one. It was in the first grade sediments quality of china. The major pollution was As, Oils, Pb and Cr. 【Conclusion】The seawater was in comparatively clean state of Nemerow index and the surface sediments were in clean state of Nemerow index.

Key words: Beibu Gulf, seawater, sediments, Nemerow index

收稿日期:2013-09-04

修回日期:2013-10-11

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(2011GXNSFA018108;2010HY001;2012GXNSFEA053001)资助。

** 通讯作者:许铭本(1983-),男,工程师,主要从事海洋环境科学研究。E-mail:93501157@qq.com。

【研究意义】广西北部湾拥有大陆海岸线1595km,岛屿岸线605km,沿海滩涂面积约 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$,海洋生物资源与生物多样性极为丰富^[1]。

近年来,广西不断深化改革开放、加快转变经济发展方式,区域经济发展呈现出加速化、临海化、重工业化的总体趋势。频繁的开发利用活动带来经济效益的同时,对海洋的自然环境、生态环境都产生一系列的负面影响,海洋生态系统健康状况也面临着严重的威胁^[2]。目前,北部湾海域已出现海湾纳潮量降低、海水交换能力减弱、海洋环境受到污染、赤潮发生频次增多、湿地衰退、海岸侵蚀,以及近岸渔业资源衰减等问题。【前人研究进展】随着公众对环境污染的关注和重视,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。对于海水和沉积物污染,已报道过多种评价方法,目前普遍使用的是单因子指数法,但是单因子指数只能反映各个元素的污染程度,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值,能突出污染较重的污染物作用,能够较全面地反映整个环境质量现状。【本研究切入点】目前对于广西北部湾的研究和报道不少^[3~6],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2010年6月广西北部湾近岸海域海洋环境调查资料,采用内梅罗指数法对海水中的14种元素及表层沉积物中的12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 调查及评价方法

1.1 样品采集

于2010年6月在广西北部湾近岸海域设置了46个海水采样站位和24个表层沉积物采样站位(图1)。结合本次调查站位布设状况,将广西沿岸海域进行不同类型的海区划分,主要划分为3个海域:防城港海区包括珍珠湾至防城湾毗连海域;钦州海区包括龙门港至大风江的毗连海域,还包括茅尾海、钦州港、大风江外近海;北海海区包括廉州湾、银滩、营盘以及铁山港毗连海域。



图1 采样站点

Fig.1 Sample stations

- :水质站点, ●:水质和沉积物站点。
- : Stations for seawater, ●: Stations for seawater and sediments.

采用2.5dm³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》^[7]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。

1.2 监测内容

海水水质监测的参数有:温度、盐度、溶解氧、pH值、化学耗氧量、无机氮、无机磷、石油类、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷、DDT。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、多氯联苯、DDT等,样品测定方法严格按照《海洋监测规范》2007版^[8,9]的规定执行。

1.3 评价方法和标准

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^[10]为:

$$I = l((P \downarrow i) \max \uparrow 2 + (P \downarrow i) \text{ave} \uparrow 2) / 2。$$

式中, I 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。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^[11]中的方法执行计算。

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

其中, 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, $S_{pH,i}$ 表示 i 站位的pH值标准指数; pH_i 表示 i 站位的pH实测值; pH_{upper} 表示pH值评价标准值上限; pH_{lower} 表示pH值评价标准值下限。

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

1.3.2 评价参数

由于调查区域为广西北部湾近岸海域,涉及范围广,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、石油类、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷、DDT, 共 14 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、多氯联苯、DDT, 共 12 项。

1.3.3 评价标准

根据广西海洋功能区划, 调查区域包括了红树林保护区, 海洋保护区、港口航运, 休闲娱乐区、农渔区、工业城镇用海区等, 以红树林保护区环境和海洋保护区要求为准, 水质要求达到第一类海水水质标准^[12], 其表层沉积物达到第一类海洋沉积物质量标准^[13]。

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^[10], 分级的标准见表 1。

表 1 综合质量指数与污染等级

Table 1 Comprehensive quality index and Pollution degree

综合质量指数 I Comprehensive quality index	污染等级 Pollution degree	对应海水水质标准等级 corresponding the standard of grade seawater quality
0~0.6	清洁 Clean	一类 One class
0.6~1.0	较清洁 Cleaner	二类 Two class
1.0~2.6	轻污染 Light pollution	三类 Three class
2.6~5.0	中度污染 Middle level pollution	四类 Four class
>5.0	严重污染 Serious pollution	劣四类 Four bad class

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

北部湾近岸海域 46 个站点的水质参评项目监测结果如下:

(1) 溶解氧平均含量为 6.2mg/L, 变化范围为 (5.1~7.6)mg/L, 超标率为 32.7%, 低值区出现在北海濠州湾海区, 高值区出现在珍珠湾附近海域。

(2) pH 值平均含量为 7.89, 变化范围为 6.61~8.19, 超标率为 2%, 低值区出现在茅尾海海域, 高值区出现在防城港海域。

(3) 化学耗氧量平均含量为 1.3mg/L, 变化范围为 (0.58~3.0)mg/L, 超标率为 13%。低值区出现在北海银滩附近海域, 高值区出现在茅尾海海域。

(4) 油类平均含量为 0.018mg/L, 变化范围为 (0.0040~0.043)mg/L, 含量均达到一类海水水质标准, 高值区出现在防城港附近海域, 低值区出现在珍珠湾附近海域。

(5) 无机氮平均含量为 0.19mg/L, 变化范围为

(0.010~0.89)mg/L, 超标率为 32.7%, 高值区出现在茅尾海海域, 低值区出现在珍珠湾附近海域。

(6) 无机磷平均含量为 0.016mg/L, 变化范围为 (0~0.060)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, 高值区出现在茅尾海海域, 低值区出现在珍珠湾附近海域。

(7) Cu 平均含量为 1.7 μ g/L, 变化范围为 (0.20~6.2) μ g/L, 呈现西高东低的趋势, 高值区在防城港湾外海区域, 整个广西北部湾除防城港海区的 12 号站位超标外, 其他站位均达到国家一类海水水质标准。

(8) Pb 平均含量为 1.1 μ g/L, 变化范围为 (0~4.1) μ g/L, 超标率为 41.3%。高值区出现在防城港海域, 低值区出现在钦州港离岸海域。

(9) Zn 平均含量为 19.3 μ g/L, 变化范围为 (1.0~41.3) μ g/L, 超标率为 47.8%, 高值区出现在防城港海域濠州湾海域, 低值区钦州港和茅尾海海域, 各海区调查最大值均出现在江河入海口。

(10) Cd 平均含量为 0.13 μ g/L, 变化范围为 (0~0.54) μ g/L, 最大值在钦州湾海域, Cd 含量均达到国家一类海水水质标准, 3 个海区 Cd 含量差别不大。

(11) 总 Cr 平均含量为 0.059 μ g/L, 变化范围为 (0~0.7) μ g/L, 各海区含量较低, 均达到国家一类海水水质标准, 3 个海区总 Cr 含量差别不大。

(12) Hg 含量变化范围为 (0.013~0.237) μ g/L, 平均值为 0.043 μ g/L, 超标率为 19.6%, 最高值出现在防城江口, 最低值出现在钦州湾茅尾海。3 个海区内, 防城港海区的 Hg 含量平均值最高。

(13) As 含量变化范围为 (0.17~3.67) μ g/L, 平均值为 1.51 μ g/L。所有站位的 As 含量均达到一类海水水质标准。As 含量最高值出现在北海濠州湾海域, 最低值出现在钦州湾茅尾海。3 个海区中, 北海近岸海区的 As 含量平均值最高, 防城港近岸海区 As 平均含量最低。

(14) DDT 含量变化范围为 (0~0.0060) μ g/L, 平均值为 0.0052 μ g/L。所有站位的 As 含量均到一类海水水质标准, 高值区出现在茅尾海海域, 其余海域大部分为未检出。

从上述监测结果可以看出, 各种元素含量的高值区主要出现在防城港海域和濠州湾海域, 低值区主要出现在珍珠湾海域和钦州湾海域。这种分布模式是受人类活动影响的体现, 防城港海域主要以港口码头为主, 西湾顶部有防城江入海口, 而濠州湾也主要是港口码头和生活污水排放区域, 因此造成该海区的大部分调查元素含量较高; 珍珠湾海域由于受人为活动

影响较少,所以调查元素含量普遍较低;钦州湾沿岸虽然正在进行大规模的开发,但由于许多项目正在进行中,尚未向海域大规模排放工业废水,因此,该海域的调查元素也普遍较低。总体来讲,北部湾近岸海域受人类活动影响较大。另外,江河入海口的调查值总体上也比其它海域偏高。

2.1.2 水质污染评价

由表2可见,广西北部湾近岸海域海水平均单向污染指数大小顺利为铅>无机磷>无机氮=锌>汞>pH>溶解氧>化学耗氧量>油类>铜>镉>DDT>砷>总铬。水中的主要污染指标为铅($P_i = 1.10$)、无机磷($P_i = 1.07$)、无机氮($P_i = 0.95$)和锌($P_i = 0.95$)和汞($P_i = 0.82$),其中铅和无机磷的平均单项污染指数大于1,表明铅和无机磷的平均含量超过国家一类海水水质标准。

表2 广西北部湾近岸海域水环境评价结果

Table 2 The result of seawater environment evaluation in Guangxi Beibu Gulf Coast

污染指数 P_i Pollution index													
DO	pH	COD	Olis	DIN	P	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	DDT
0.67	0.74	0.65	0.36	0.95	1.07	0.34	1.10	0.95	0.12	0.001	0.82	0.08	0.10

根据表2数据,运用内梅罗指数法计算得出的广西北部湾近岸海域水环境综合质量指数 I 为 0.88,说明调查海域处于较清洁状态,海水水质呈二类,因此应加强对广西北部湾近岸海域水质的监测和管理。

2.2 表层沉积物监测结果与综合评价

根据表3结果,运用内梅罗指数法计算得出的沉积物环境综合质量指数 I 为 0.37,表明广西北部湾近岸海域表层沉积物处于清洁状态,沉积物质量环境状况良好。从单项评价指数分析,本次调查广西北部湾

表3 广西北部湾近岸海域沉积物环境评价结果

Table 3 The result of surface sediment environment evaluation in Guangxi Beibu Gulf Coast

项目 Item	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 ($\times 10^{-6}$)	多氯联苯 ($\times 10^{-9}$)	DDT ($\times 10^{-9}$)
范围 Range	0~ 2.22	5.2~ 1292	0~ 50.9	4.9~ 97.7	5.0~ 156	0~ 0.45	0~ 65.2	0.01~ 0.16	0.52~ 27	0~ 121	0~ 9.3	0~ 11.2
污染指数 P_i Pollution index	0.22	0.36	0.24	0.34	0.25	0.08	0.27	0.24	0.48	0.05	0.07	0.12

参考文献:

[1] 朱坚真,孙鹏,张力. 北部湾经济区海洋生物资源开发与保护问题研究[J]. 创新,2010(5):25-29.
Zhu J Z, Sun P, Zhang L. Research on development and protection of marine living resources in Beibu Gulf Economic Zone[J]. Innovation, 2010(5):25-29.
[2] 陈群英,李风华. 广西沿海地区海洋生态环境保护状况
广西科学 2014年2月 第21卷第1期

近岸海域沉积物平均单向污染指数大小顺序为砷>石油类>铅>铬>锌>汞=铜>有机碳>DDT>镉>多氯联苯>硫化物,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。主要污染物为砷、石油类、铅、铬,可能与北部湾进行的海洋开发有关。由于目前广西北部湾正在进行大规模的海洋工程项目,往来船只的压舱水和部分码头工业废水的不合理排放,导致了重金属和油类为主要污染物。

3 结论

本文对2010年6月广西北部湾近岸海域海水和表层沉积物的调查和评价,得到以下结论:

(1)广西北部湾近岸海域海水平均单向污染指数大小顺序分别为铅>无机磷>无机氮=锌>汞>pH>溶解氧>化学耗氧量>油类>铜>镉>DDT>砷>总铬,海水中的主要污染指标为铅、无机磷、无机氮、锌和汞,其中铅和无机磷平均含量超过国家一类海水水质标准。

(2)广西北部湾近岸海域处于较清洁状态,海水水质呈二类,建议加强对北仑河口水质的监测和管理。

(3)广西北部湾近岸沉积物平均单向污染指数大小顺利分别为砷>石油类>铅>铬>锌>汞=铜>有机碳>DDT>镉>多氯联苯>硫化物,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,主要污染物为砷、石油类、铅、铬,主要污染物类型与广西沿岸海洋开发有关。

(4)广西北部湾近岸海域表层沉积物处于清洁状态,沉积物质量环境状况良好。

及对策建议[J]. 环境科学与管理,2008,33(9):146-149, 185.

Chen Q Y, Li F H. The marine environmental protection condition and strategy in Guangxi's littoral[J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(9):146-149, 185.

[3] 雷富,陈充云,陈默,等. 广西茅尾海夏季海水和表层沉积物中重金属污染现状及评价[J]. 广西科学,2013,20

- (3);205-209.
 Lei F, Chen X Y, Chen M, et al. Pollution evaluation of heavy metals in the sea water and surface sediments of maowei sea in summer[J]. Guangxi Sciences, 2013, 20(3);205-209.
- [4] 邱绍芳. 广西4个港湾海洋环境质量现状调查[J]. 广西科学, 2001, 8(3);236-240.
 Qiu S F. Investigation of marine environmental quality in the offshore of four bays of Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2001, 8(3);236-240.
- [5] 雷富, 韦重霄, 何小英, 等. 钦州湾近岸海域底栖生物体内重金属含量与污染评价[J]. 广西科学院学报, 2011, 27(4);351-354.
 Lei F, Wei C X, He X Y, et al. Heavy metals content and pollution assessment in benthon of Qinzhou Bay coastal waters[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2011, 27(4);351-354.
- [6] 庄军莲, 许铭本, 张荣灿, 等. 广西防城港湾浮游植物数量周年变化特征[J]. 广西科学, 2010, 17(4);387-390, 395.
 Zhuang J L, Xu M B, Zhang R C, et al. Anniversary variation of phytoplankton abundance in Fangchenggang Bay of Guangxi[J]. Guangxi Sciences, 2010, 17(4);387-390, 395.
- [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.
 Xu H Z, Ma Y A, Yu T, et al. GB17378.3-2007 The specification for marine monitoring part 3: Sample collection, storage and transportation[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 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.
 Ma Y A, XU H Z, Yu T, et al. GB17378.3-2007 The specification for marine monitoring part 4: seawater analysis[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 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.
 Ma Y A, XU H Z, Yu T, et al. GB17378.3-2007 The specification for marine monitoring Part 5: Sediment analysis[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 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.
 Ding J. An application of the Nemerow pollution index in the quality assessment of the seawater environment in the vicinity of terrestrial drains[J]. Journal of Fujian Fisheries, 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.
 State Oceanic Administration People's Republic of China. HY/T086-2005 The eco-environmental assessment guidance for terrestrial pollution source and near sea area[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 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.
 Huang Z Q, Zhang K, Xu K C, et al. GB3097-1997 Sea water quality standard[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 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.
 Ma D Y, Tang L F, Wang J, et al. GB18668-2002 Marine sediment quality [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 1997.

(责任编辑:尹 闯)