

◆全流域生态环境治理◆

广西北部湾海域水质污染调查与分析^{*}陶晓婷¹, 吴森^{1**}, 刘熊², 雷富³, 何喜林¹

(1. 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001; 2. 防城港市海域使用动态监管中心, 广西防城港 538001; 3. 广西科学院广西北部湾海洋研究中心, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007)

摘要:为全面了解广西北部湾海域水质污染状况, 根据广西北部湾海域 2021 年 8 月(夏季)和 2022 年 1 月(冬季)表层海水调查数据, 利用单因子污染指数法、有机污染指数法和综合污染指数法对广西北部湾海域进行水质污染分析和评价。研究表明:广西北部湾海域表层海水夏季和冬季 pH、溶解态无机氮(DIN)、溶解态无机磷(DIP)和溶解氧(DO)存在不同程度超标, 主要污染物为 DIN 和 DIP, 钦州湾和铁山港是各单因子主要超标海域。有机污染方面, 仅夏季钦州湾湾内存在 1 个重度污染站位, 在钦州湾和铁山港湾内出现中度污染, 夏和冬两季分别占 18.5% 和 13.6%, 其余受污染海域同时出现在钦州湾、廉州湾和铁山港, 夏和冬两季良好水质仅占 3.7% 和 22.7%, 均位于涠洲岛海域。综合污染方面, 未发现严重污染水域, 仅钦州湾在夏季出现中度污染, 轻度污染在夏和冬两季分别占 40.7% 和 31.8%, 夏季除涠洲岛外其他海域均受到综合污染, 冬季仅钦州湾和铁山港受到综合污染。整体而言, 单因子超标率、水体有机污染和综合污染程度在夏季高于冬季, 在湾内高于湾外。

关键词:单因子 有机污染 综合污染 水质评价 北部湾

中图分类号: P76 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2022)03-0532-09

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20220622.001

广西北部湾海域位于北回归线以南, 属南亚热带海洋性季风气候, 夏季高温, 拥有数条入海河流, 由西至东分布有珍珠湾、钦州湾、廉州湾、铁山港等港湾以及典型珊瑚生态保护区涠洲岛, 海洋生物资源十分丰富, 牡蛎及各种鱼类养殖业和海洋旅游业发达^[1]。作

为我国西部沿海沿江沿边区域, 广西的区位优势突出, 从 2008 年《广西北部湾经济区发展规划》至 2020 年《广西加快发展向海经济推动海洋强区建设三年行动计划(2020-2022 年)》发布, 广西北部湾经济区发展了众多临海产业群, 海洋产业发展迅速, 由此产生

收稿日期: 2022-03-18

^{*} 国家自然科学基金项目(41976155), 广西自然科学基金项目(2020GXNSFDA297001)和广西科技重大专项(桂科 AA17202020)资助。

【作者简介】

陶晓婷(1997-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事海洋与海岸带环境演变研究, E-mail: taoxiaoping0613@163.com。

【**通信作者】

吴森(1977-), 男, 实验员, 主要从事海洋环境监测与控制技术研究, E-mail: wumiao_2020@163.com。

【引用本文】

陶晓婷, 吴森, 刘熊, 等. 广西北部湾海域水质污染调查与分析[J]. 广西科学, 2022, 29(3): 532-540.

TAO X P, WU M, LIU X, et al. Investigation and Analysis of Water Quality Pollution in Beibu Gulf of Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2022, 29(3): 532-540.

的海洋环境问题有加重趋势^[2-5]。

海域水质污染调查与分析是海域污染防治、海洋生态保护修复与补偿工作的基础,常运用于海洋环境质量和生态保护成效评价工作中。单因子污染指数评价法、有机污染指数法以及综合污染指数法是较为成熟的水质评价方法,常用于对水体和沉积物污染状况评价。目前对广西北部湾多个季节、多个海域的水质评价研究仍不多^[6-9]。本研究根据2021年8月(夏季)以及2022年1月(冬季)广西珍珠湾、钦州湾、廉州湾、铁山港和涠洲岛表层海水的监测数据,进行水质污染分析和评价,旨在为广西北部湾海洋污染防治治理、完善海洋生态治理体系和海洋生态环境可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

2021年8月(夏季)和2022年1月(冬季)在广西北部湾的珍珠湾、钦州湾、廉州湾、铁山港和涠洲岛选取典型海域,夏季共布设27个站位,冬季共布设22个站位。冬季受疫情及海况影响,珍珠湾未设站位,廉州湾站位坐标作出一定调整(图1)。采集表层海水,分析水温(T)、酸碱度(pH)、硝酸盐氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)、氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)、溶解氧(DO)和化学需氧量(COD),样品采集与分析根据《海洋调查规范》^[10]和《海洋监测规范》^[11]执行。

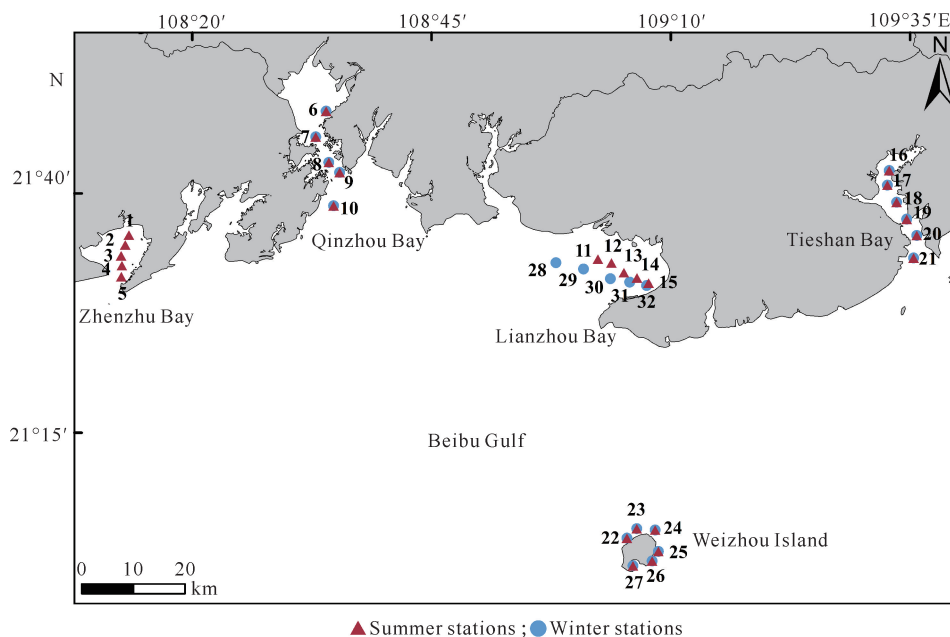


图1 研究区域站位

Fig. 1 Sampling stations in the study area

1.2 数据处理与评价方法

原始数据由Excel整理分析,应用ArcMap 10.2对研究区域站位进行可视化成图,应用Origin 2019b绘制各单因子污染指数柱状图。溶解态无机氮($\text{DIN}) = \text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NO}_2^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N}$,溶解态无机磷($\text{DIP}) = \text{PO}_4^{3-} - \text{P}$,水质判定参照《海水水质标准》^[12]。在我国近海海域中,北部湾海域水质状况相对较好^[13],结合前人研究^[6-9],采用第一类海水水质作为本研究评价标准。

运用《近岸海域环境监测技术规范 第十部分 评价及报告》^[14]中的单因子污染指数评价法、《海湾生态监测技术规程》^[15]中的有机污染指数法和1974年关伯仁^[16]提出的综合污染指数法分别对水质进行评价。当单因子污染指数(污染物 i 的污染指数, P_i) ≤ 1 时,表示该站位未受该因素污染,当单因子污染指数 > 1 时,表示该站位受该因素污染,值越大污染越重。有机污染指数法和综合污染指数法评价分级标准见表1。

表 1 水质评价等级划分标准

Table 1 Classification standard of water quality evaluation

| 有机污染指数(A) Organic pollution index (A) | 水质评价 Water quality evaluation | 综合污染指数(P) Comprehensive pollution index (P) | 污染程度 Degree of pollution |
|--|----------------------------------|--|-----------------------------|
| $A < 0$ | Good | $P \leq 1$ | Clean |
| $0 < A < 1$ | Fairly good | $1 < P \leq 2$ | Mild pollution |
| $1 < A < 2$ | Beginning of pollution | $2 < P \leq 3$ | Moderate pollution |
| $2 < A < 3$ | Mild pollution | $P > 3$ | Severe pollution |
| $3 < A < 4$ | Moderate pollution | | |
| $A > 4$ | Severe pollution | | |

2 结果与分析

2.1 pH 值

夏季 pH 值为 7.38–8.09, 均值 7.79, 单因子污染指数 P_{pH} 为 0.17–2.19, 均值 1.04, 27 个站点中共 12 个超标, 超标站点分布情况为钦州湾 6–10 号站点, 廉州湾 2 号站点和铁山港 16–21 号站点(图 2), 其中钦州湾 6 号站点超标值(2.19)最大, 8 号站点次之(2.11)。冬季 pH 值为 7.79–8.21, 均值 7.99, 单因子污染指数 P_{pH} 为 0.00–1.03, 均值 0.49, 22 个站点中超标站点共 3 个, 超标站点均分布于铁山港, 且单因子污染指数均为 1.03, 仅超过污染标准 0.03(图 2)。夏季 P_{pH} 超标站点个数、 P_{pH} 超标值明显高于冬季, 夏季 P_{pH} 超标站点涉及海域比冬季分布范围广。

2.2 DIN

夏季 DIN 为 0.03–0.43 mg/L, 均值 0.17 mg/L, 单因子污染指数 P_{DIN} 为 0.14–2.13, 均值 0.87, 27 个站点中超标站点共 12 个, 超标站点为钦州湾 6–9 号站点、廉州湾 12–13 号站点和铁山港 16–21 号站点(图 2), 其中钦州湾 6 号站点超标值(2.13)最大, 铁山港 16 号站点(2.02)次之。冬季 DIN 为 0.03–0.35 mg/L, 均值 0.16 mg/L, 单因子污染指数 P_{DIN} 为 0.17–1.75, 均值 0.80, 22 个站点中超标站点共 9 个, 超标站点为钦州湾 6–8 号站点, 廉州湾 31–32 号站点和铁山港 16–19 号站点(图 2), 其中钦州湾 6 号站点超标值(1.75)最大。夏季 P_{DIN} 超标站点个数、 P_{DIN} 超标值明显高于冬季, 夏季 P_{DIN} 超标站点所在海湾与冬季相同, 具体超标站点有所不同。

2.3 DIP

夏季 DIP 为 0.007–0.037 mg/L, 均值 0.019 mg/L, 单因子污染指数 P_{DIP} 为 0.47–2.46, 均值

1.25, 27 个站点中超标站点共 15 个, 超标站点为钦州湾 6–10 号站点, 廉州湾 11–13 号和 15 号站点, 铁山港 16–21 号站点(图 2), 其中超标程度最大站点为钦州湾 7 号站点(2.46), 6 号站点(2.06)次之。冬季 DIP 为 0.004–0.037 mg/L, 均值 0.021 mg/L, 单因子污染指数 P_{DIP} 为 0.24–2.49, 均值 1.37, 22 个站点中超标站点共 12 个, 超标站点为钦州湾 6–10 号, 廉州湾 32 号站点, 铁山港 16–20 号站点和涠洲岛 22 号(图 2), 其中钦州湾 6 号站点 P_{DIP} 超标程度最大(2.49)。夏季 P_{DIP} 超标站点个数多于冬季, 但夏季 P_{DIP} 超标站点分布海域比冬季范围小, 且冬季 22 号站点 P_{DIP} 是涠洲岛海域的唯一超标因子。

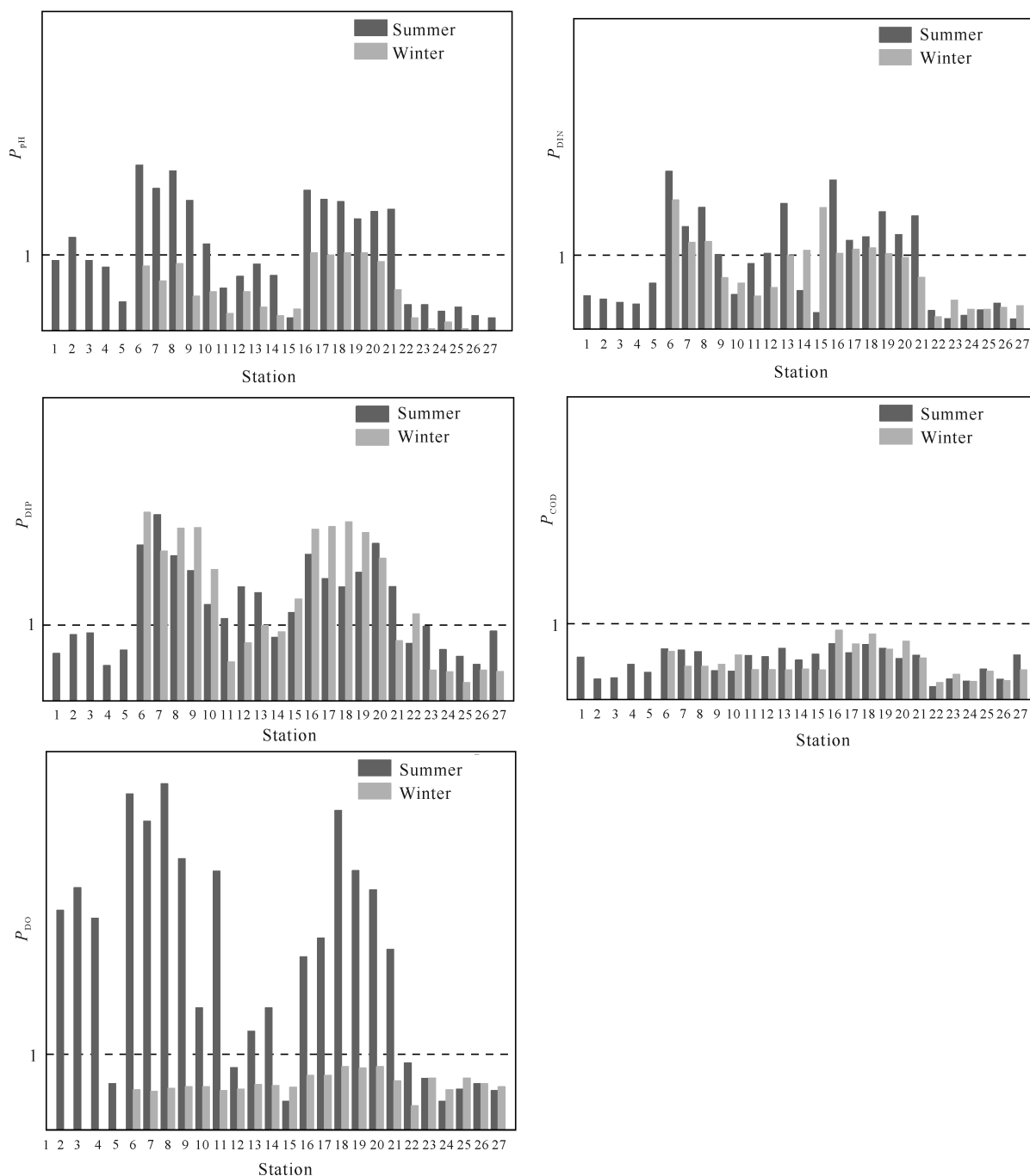
2.4 COD

夏季 COD 为 0.34–1.47 mg/L, 均值 0.99 mg/L, 单因子污染指数 P_{COD} 为 0.17–0.74, 均值 0.50, 27 个站点均未超标(图 2)。冬季 COD 为 0.45–1.83 mg/L, 均值 0.99 mg/L, 单因子污染指数 P_{COD} 为 0.23–0.92, 均值 0.49, 22 个站点亦均未超标(图 2)。夏和冬两季 P_{COD} 最高值均出现在铁山港 16 号站点。

2.5 DO

夏季 DO 为 3.62–7.83 mg/L, 均值 5.40 mg/L, 单因子污染指数 P_{DO} 为 0.38–4.58, 均值 2.14, 27 个站点中共 17 个超标, 超标站点分布情况为珍珠湾 2–4 号站点、钦州湾 6–10 号站点、廉州湾 11 和 13–14 号站点和铁山港 16–21 号站点(图 2), 其中超标最高值位于钦州湾 8 号站点(4.58)。冬季 DO 为 6.58–8.19 mg/L, 均值 7.42 mg/L, 单因子污染指数 P_{DO} 为 0.32–0.84, 均值 0.62, 22 个站点均未超标(图 2), 但最高值同时出现在铁山港 18 号(0.84)和 20 号(0.84)站点。夏季 P_{DO} 超标站点个数、 P_{DO} 超标值明显高于冬季, 夏季 P_{DO} 超标站点涉及海域

除涠洲岛外均有分布。



Stations 11–15 on the x -axis correspond to stations 11–15 in summer and stations 28–32 in winter, respectively

图2 广西北部湾海域夏和冬两季各环境因子单因子污染状况

Fig. 2 Single factor pollution of environmental factors in Beibu Gulf of Guangxi in summer and winter

2.6 有机污染

夏季 A 值为 $-0.05 - 4.24$, 均值 1.71, 珍珠湾未受有机污染, 钦州湾存在重度污染、中度污染、轻度污染和开始受到污染站位, 廉州湾出现轻度污染和开始受到污染站位, 铁山港同时受中度污染和轻度污染, 涠洲岛未受有机污染(表 2)。冬季 A 值为 $-0.35 -$

3.53, 均值 1.43, 钦州湾存在中度污染、轻度污染和开始受到污染站位, 廉州湾仅出现轻度污染和开始受到污染站位, 铁山港同时受中度污染和轻度污染, 涠洲岛未受有机污染(表 2)。夏季水质受有机污染站位个数和污染程度高于冬季。

表 2 广西北部湾海域有机污染评价和综合污染评价结果

Table 2 Results of organic pollution evaluation and comprehensive pollution evaluation in Beibu Gulf of Guangxi

| 站位 Station | 有机污染评价 Organic pollution evaluation | | | | 综合污染评价 Comprehensive pollution evaluation | | | |
|---------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| | 夏季 Summer | | 冬季 Winter | | 夏季 Summer | | 冬季 Winter | |
| | 有机污染 指数(A) Organic pollution index (A) | 水质评价 Water quality evaluation | 有机污染 指数(A) Organic pollution index (A) | 水质评价 Water quality evaluation | 综合污染 指数(P) Comprehensive pollution index (P) | 污染程度 Levels of pollution | 综合污染 指数(P) Comprehensive pollution index (P) | 污染程度 Degree of pollution |
| 1 | 0.54 | Fairly good | - | - | 0.63 | Clean | - | - |
| 2 | 0.77 | Fairly good | - | - | 1.14 | Mild pollution | - | - |
| 3 | 0.79 | Fairly good | - | - | 1.14 | Mild pollution | - | - |
| 4 | 0.47 | Fairly good | - | - | 0.98 | Clean | - | - |
| 5 | 0.57 | Fairly good | - | - | 0.53 | Clean | - | - |
| 6 | 4.24 | Severe pollution | 3.53 | Moderate pollution | 2.30 | Moderate pollution | 1.25 | Mild pollution |
| 7 | 3.84 | Moderate pollution | 2.27 | Mild pollution | 2.09 | Moderate pollution | 0.95 | Clean |
| 8 | 3.59 | Moderate pollution | 2.61 | Mild pollution | 2.18 | Moderate pollution | 1.07 | Mild pollution |
| 9 | 2.40 | Mild pollution | 2.17 | Mild pollution | 1.68 | Mild pollution | 0.90 | Clean |
| 10 | 1.18 | Beginning of pollution | 1.67 | Beginning of pollution | 0.98 | Clean | 0.81 | Clean |
| 11 (28) | 1.82 | Beginning of pollution | 0.04 | Fairly good | 1.31 | Mild pollution | 0.42 | Clean |
| 12 (29) | 2.06 | Mild pollution | 0.42 | Fairly good | 0.93 | Clean | 0.56 | Clean |
| 13 (30) | 2.84 | Mild pollution | 1.11 | Beginning of pollution | 1.20 | Mild pollution | 0.66 | Clean |
| 14 (31) | 0.95 | Fairly good | 1.11 | Beginning of pollution | 0.85 | Clean | 0.63 | Clean |
| 15 (32) | 0.69 | Fairly good | 2.10 | Mild pollution | 0.51 | Clean | 0.85 | Clean |
| 16 | 3.83 | Moderate pollution | 3.03 | Moderate pollution | 1.77 | Mild pollution | 1.19 | Mild pollution |
| 17 | 2.60 | Mild pollution | 2.94 | Mild pollution | 1.54 | Mild pollution | 1.17 | Mild pollution |
| 18 | 2.84 | Mild pollution | 3.23 | Moderate pollution | 1.88 | Mild pollution | 1.24 | Mild pollution |
| 19 | 3.23 | Moderate pollution | 2.80 | Mild pollution | 1.77 | Mild pollution | 1.15 | Mild pollution |
| 20 | 3.14 | Moderate pollution | 2.52 | Mild pollution | 1.73 | Mild pollution | 1.07 | Mild pollution |
| 21 | 2.78 | Mild pollution | 0.85 | Fairly good | 1.52 | Mild pollution | 0.65 | Clean |
| 22 | 0.15 | Fairly good | 0.18 | Fairly good | 0.48 | Clean | 0.41 | Clean |
| 23 | 0.31 | Fairly good | -0.03 | Good | 0.48 | Clean | 0.37 | Clean |
| 24 | -0.05 | Good | -0.35 | Good | 0.35 | Clean | 0.31 | Clean |
| 25 | 0.13 | Fairly good | -0.28 | Good | 0.42 | Clean | 0.32 | Clean |
| 26 | 0.00 | Fairly good | -0.26 | Good | 0.38 | Clean | 0.31 | Clean |
| 27 | 0.52 | Fairly good | -0.13 | Good | 0.47 | Clean | 0.33 | Clean |

Note: Values in parentheses indicate stations 28–32 in winter in Lianzhou Bay; "–" indicates no record

2.7 综合污染

夏季 P 值为 0.35–2.30, 均值 1.16, 珍珠湾存在轻度污染站位, 钦州湾同时受到中度污染和轻度污染, 廉州湾和铁山港仅存在轻度污染站位, 涠洲岛未

受综合污染(表 2)。冬季 P 值为 0.31–1.25, 均值 0.76, 仅钦州湾和铁山港存在轻度污染站位, 廉州湾和涠洲岛未受综合污染, 处于清洁状态(表 2)。受综合污染站位个数和污染程度在夏季高于冬季, 在湾内

高于湾外。

3 讨论

3.1 单因子污染评价

本研究发现夏和冬两季 DIN、DIP 和 COD 浓度差异小,但夏季 pH 和 DO 明显低于冬季。DO 浓度受温度、pH 和盐度等因素综合影响,高温条件下海气交换加强,夏季表层水体 DO 含量低于冬季;受水中光合作用生物的影响,pH 值与 DO 浓度呈正相关,夏季 pH 也出现低值^[17]。对比前人夏和冬两季的数据(表 3),近年广西北部湾海域表层海水夏和冬两季 pH、DIN、DIP 浓度波动较小,但随年际变化 DIP 仍稍有递增,表 3 内 DIP 年际变化趋势与杨静等^[19]研究中 DIP 浓度上升趋势相一致,但磷污染程度有所减弱;夏季北部湾 COD 入海通量占比大^[20],但 COD 浓度逐年递减且本研究夏季 COD 明显低于前人研究,分析原因与 2021 年夏季南方雨季偏晚、强度弱有关^[21];夏季 DO 浓度随年际波动大,有明显递减的趋势,分析是近年北部湾海域夏季富营养化程度加重,水体中浮游植物、细菌等微生物活动剧烈,耗氧量增多所致^[22,23]。

表 3 广西北部湾海域近年夏和冬两季环境因子对比

Table 3 Comparison of environmental factors between summer and winter in Beibu Gulf of Guangxi in recent years

| 时间 Date | pH 值 | DIN (mg/L) | DIP (mg/L) | COD (mg/L) | DO (mg/L) | 参考文献 References |
|------------|------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|
| 2010.6 | 7.89 | 0.19 | 0.016 | 1.3 | 6.2 | [7] |
| 2015.11 | 8.08 | 0.13 | 0.01 | 0.95 | 6.32 | [8] |
| 2016.8 | 8.03 | 0.15 | 0.007 | 1.23 | 5.88 | [9] |
| 2016.10 | 8.02 | 0.12 | 0.007 | 1.01 | 6.31 | [9] |
| 2017.12 | - | 0.23 | 0.019 | - | - | [18] |
| 2021.8 | 7.79 | 0.17 | 0.019 | 0.99 | 5.4 | This study |
| 2022.1 | 7.79 | 0.16 | 0.021 | 0.99 | 7.42 | This study |

Note: "-" indicates that there is no corresponding data

本研究中,广西北部湾海域夏季主要超标因子有 pH、DIN、DIP 和 DO,冬季为 pH、DIN、DIP,整个海域主要污染物为 DIN、DIP,这与《2017 年广西壮族自治区海洋环境质量公报》^[24]关于海水中主要污染物含有 DIN 和 DIP 的阐述相一致。夏季超标单因子个数、各单因子超标站位个数明显多于冬季,超标海域主要分布于钦州湾、铁山港和廉州湾,以钦州湾和铁山港最为严重,珍珠湾仅 1 个站位的 pH 值超标,3 个站位的 DO 超标,而涠洲岛整体符合一类水质标

准,仅在冬季有 1 个站位的 DIP 略微超标,可见,广西北部湾海域近岸海湾单因子污染超标站位数多于远岸岛屿涠洲岛。单因子超标站位分布海域及季节差异与前人研究基本相同,夏和冬两季超标率远高于前人研究^[7-9,25,26],但涠洲岛海域仅冬季出现 1 个 DIP 超标站位,这与该岛 2013 年、2016 年 DO 超标,2017 年 DIN 和 DO 同时超标不同^[27],可见近年涠洲岛海域单因子污染存在动态变化,但广西北部湾整体海域单因子超标状况趋于恶化。

3.2 有机污染评价

在 4 个海湾中,珍珠湾在 2008 年 8 月所有监测站位水质开始受到有机污染和轻度有机污染,珍珠湾口在 2016 年 5 月开始受到有机污染^[9,28];钦州湾有机污染程度于 1990-1998 年降低,1999-2010 年又趋于严重,在 2016 年 3 月出现严重有机污染^[9,29];廉州湾在 1996-2000 年已存在不同程度有机污染,总体水质达到中度有机污染,在 2016 年 10 月出现中度有机污染^[9,30];铁山港在 20 世纪末还未受有机污染,而后作为广西沿海重要工业区,其水质污染程度加重,港口海域在 2016 年已开始受到有机污染,铁山港整体海域在 2020 年都已受有机污染^[8,31,32];涠洲岛水体基本未受到有机污染,偶有报道开始受到有机污染和轻度有机污染情况^[7,31,33]。

就广西北部湾海域整体而言,在 2006 年和 2011 年夏季良好水质分别占 93.4% 和 96.4%,重度有机污染分别占 2.1% 和 1.2%,受污染站位在廉州湾海域,夏和冬两季重度有机污染均出现在大风江口^[34];2015 年夏和冬两季受有机污染站位分别占 5.2% 和 6.9%,钦州湾内和大风江口在夏季开始受到有机污染,钦州湾内在冬季有轻度污染,而开始受到有机污染站位在钦州湾和廉州湾湾内^[8];在 2016 年夏,受有机污染比例占全海域的 34%,未出现重度有机污染,中度有机污染在防城港、廉州湾和铁山港湾内,防城港湾内、钦州湾湾内及湾口亦出现轻度有机污染,而大风江口、廉州湾和铁山港港口开始受到有机污染^[9]。

本次广西北部湾海域水体有机污染研究显示夏和冬两季水质良好站位分别占 3.7% 和 22.7%,均位于涠洲岛海域;重度有机污染出现在夏季钦州湾湾内,占比 3.7%,夏和冬两季中度有机污染分别占 18.5% 和 13.6%,位于钦州湾和铁山港湾内,开始受到有机污染和轻度有机污染海域在钦州湾、廉州湾和铁山港均有分布。时间上,广西北部湾海域夏季有机

污染程度高于冬季,且有机污染随年际变化呈恶化趋势,这与前人关于北部湾海域有机污染物浓度随历史推进增加,且将随未来经济开发继续增加的推测相一致^[35];空间分布上,近岸海湾有机污染程度高于离岸涠洲岛海域,且广西北部湾海湾有机污染程度存在明显的由湾内向湾外降低的趋势,分析其原因主要受陆源输入、近岸养殖排放以及水体交换能力等因素影响。

3.3 综合污染评价

本研究发现广西北部湾海域未出现严重污染水域,中度污染站位在夏季钦州湾出现,占全部站位的11.1%,其中综合污染指数最高值(2.30,中度污染)位于钦州湾内6号站位,冬季水质未达到中度污染;夏季处于轻度污染水平站位占所有站位的40.7%,除涠洲岛外其他海域均有分布;冬季轻度污染站位占31.8%,主要分布于铁山港,钦州湾也有分布,其余站位均处于清洁水平。可见,综合污染程度在时间上夏季高于冬季;空间上,夏季钦州湾高于铁山港高于珍珠湾和廉州湾高于涠洲岛,冬季铁山港高于钦州湾高于珍珠湾、廉州湾和涠洲岛。这与2010年水质综合污染研究中,污染程度在夏季高于冬季,钦州湾湾内夏季水质污染较为严重的结论相一致,所不同的是前人研究中污染主要集中在河流入海口,分析差异的原因与本研究站位距河流入海口较远、2021年夏季雨季偏晚和强度较弱有关^[21,36]。

北部湾近岸海域在2014年10月整体表现为轻度污染,其高污染指数区位于钦州湾,最大值达4.32,其次为铁山港,最后为防城港海域和廉州湾,其污染水域空间分布特征亦与本研究大致相同^[37]。2010年3月(春)及9月(秋),钦州湾水质污染程度评价结果均为轻度污染,春季综合污染指数最低值为2.14,秋季为1.97,然而秋季指数最高值达7.19,凸显重度综合污染^[38],而钦州湾湾内茅尾海在2014年夏季综合污染指数均值高于春和秋两季,为4.42,茅尾海整体处于中度污染^[39],直至2017-2018年,茅尾海整体海域已属轻度污染水质^[40],可见近年钦州湾综合水质污染有减缓趋势,分析其原因与近年广西近岸海域加快推进海洋生态文明建设,强化海洋生态环境监督有关^[41,42]。

3.4 不同水质污染评价方法比较

由于评价选取的评价因子、方法与标准的差异^[14-16],本研究3种水质评价结果不尽相同。研究涉及的所有海域均存在单因子污染站位,夏和冬两季受

单因子污染站位分别占70%和59%,受2个或2个以上单因子污染站位分别占56%和36%;有机污染方面,仅钦州湾、廉州湾和铁山港存在有机污染,夏和冬两季受有机污染站位分别占52%和59%;综合污染方面,除涠洲岛外其他海域均存在水质综合污染,夏和冬两季受综合污染站位分别占52%和36%。但无论夏季还是冬季,3种评价方法均发现钦州湾和铁山港为水质污染高发区,且均有水质污染程度湾内高于湾外、近岸海湾高于远岸岛屿涠洲岛的特征。此外,受单因子污染站位并不一定受到有机污染或综合污染,但受有机污染或综合污染的站位必然是环境因子超标较多的站位,且单因子污染指数越高,对应有机污染和综合污染程度很可能越严重。前人相关研究中,各方法评价结果间亦存在不同,但海域总体污染程度在各方法之间基本一致,与本研究结论类似^[6-9,39,40]。可见,单因子污染评价法、有机污染评价法和综合污染评价法三者相结合,能全面反映广西北部湾海域水质污染状况。

4 结论

除COD外,pH、DIN、DIP和DO均有不同程度超标,超标因子和超标站位个数在夏季高于冬季,超标主要发生在钦州湾和铁山港,其次为廉州湾和珍珠湾,涠洲岛仅在冬季有1个站位的DIP略微超标。广西北部湾海域近岸海湾单因子污染超标站位数多于远岸岛屿涠洲岛,主要污染物为DIN和DIP。

有机污染指数显示夏和冬两季水质良好站位分别占3.7%和22.7%,均位于涠洲岛海域;重度污染出现在夏季钦州湾湾内,占比3.7%;夏和冬两季中度污染在钦州湾和铁山港湾内,占比分别为18.5%和13.6%;开始受到污染和轻度污染海域在钦州湾、廉州湾和铁山港均有分布。广西北部湾海域有机污染程度在夏季高于冬季,存在明显由湾内向湾外降低的现象,且水质呈逐年恶化趋势。

水质综合污染指数显示未发现严重污染水域,仅钦州湾在夏季出现中度污染,夏和冬两季轻度污染占比分别40.7%和31.8%;夏季除涠洲岛外其他海域均受到一定程度的污染,冬季仅钦州湾和铁山港受到污染。综合污染程度在夏季高于冬季,在湾内高于湾外;涠洲岛水质清洁,钦州湾湾内水质污染尤为严重,后者水质虽在近年污染程度有所减缓,但应继续加强海域生态环境监管及治理。

参考文献

- [1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志 第十二分册 广西海湾[M]. 北京:海洋出版社,1993.
- [2] 广西壮族自治区海洋局,广西壮族自治区发展和改革委员会. 广西向海经济发展战略规划(2021-2035年)[EB/OL]. (2021-11-15)[2022-02-24]. http://hyj.gxzf.gov.cn/zwgk_66846/xxgk/fdzdgnr/fzgh/ghjh/t11106078.shtml.
- [3] ZHENG Q,ZHANG R J,WANG Y H,et al. Occurrence and distribution of antibiotics in the Beibu Gulf, China: Impacts of river discharge and aquaculture activities [J]. Marine Environmental Research,2012,78:26-33.
- [4] YANG J C,WANG W G,ZHAO M W,et al. Spatial distribution and historical trends of heavy metals in the sediments of petroleum producing regions of the Beibu Gulf,China [J]. Marine Pollution Bulletin,2015,91(1): 87-95.
- [5] LAO Q B,SU Q Z,LIU G Q,et al. Spatial distribution of and historical changes in heavy metals in the surface seawater and sediments of the Beibu Gulf, China [J]. Marine Pollution Bulletin,2019,146:427-434.
- [6] 陈作志,蔡文贵,徐姗楠,等. 广西北部湾近岸生态系统风险评价[J]. 应用生态学报,2011,22(11):2977-2986.
- [7] 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.
- [8] 李萍,莫海连,郭钊. 广西近岸海域水质状况调查与评价[J]. 科技通报,2018,34(7):274-279.
- [9] 李萍,莫海连,郭钊. 2016年北部湾近岸海域海水环境质量评价[J]. 海洋湖沼通报,2019(1):54-64.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范:第4部分 海水化学要素调查:GB/T 12763.4-2007 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范:第4部分 海水分析:GB 17378.4-2007 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [12] 国家环境保护局. 海水水质标准:GB 3097-1997 [S]. 北京:中国环境科学出版社,2004.
- [13] 中华人民共和国生态环境部. 2020年中国海洋生态环境状况公报[EB/OL]. (2021-05-26) [2022-03-05]. <https://www.nmemc.org.cn/hjzl/sthjgb/202105/P020210527387702531341.pdf>.
- [14] 生态环境部. 近岸海域环境监测技术规范 第十部分 评价及报告:HJ 442.10-2020 [S]. 北京:中国环境科学出版社,2021.
- [15] 国家海洋局. 海湾生态监测技术规程:HY/T 084-2005 [S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [16] 关伯仁. 水污染指数的综合问题[J]. 环境污染与防治,1980(2):11-14.
- [17] 李潇,王晓莉,刘书明,等. 天津近岸海域溶解氧含量分布特征及影响因素研究[J]. 海洋开发与管理,2017,34(8):75-78.
- [18] 黄大力. 广西北部湾近岸海域浮游植物粒级结构分布及影响因素[D]. 南宁:广西大学,2018.
- [19] 杨静,张仁铎,赵庄明,等. 近25年广西北部湾海域营盐时空分布特征[J]. 生态环境学报,2015,24(9):1493-1498.
- [20] 李斌,谭趣孜,李蕾鲜,等. 2014年北部湾主要河流污染状况及污染物入海通量[J]. 广西科学,2018,25(2):172-180.
- [21] 中国气象局. 2021年中国气候公报[EB/OL]. (2022-03-08) [2022-05-19]. http://zwgk.cma.gov.cn/zfxxgk/gknr/qxbg/202203/t20220308_4568477.html.
- [22] LAI J X,JIANG F J,KE K,et al. Nutrients distribution and trophic status assessment in the northern Beibu Gulf, China [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology,2014,32(5):1128-1144.
- [23] LI N,CHEN X,ZHAO H X,et al. Spatial distribution and functional profile of the bacterial community in response to eutrophication in the subtropical Beibu Gulf, China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2020, 161: 111742.
- [24] 广西壮族自治区海洋局. 2017年广西壮族自治区海洋环境质量公报[EB/OL]. (2018-03-12) [2022-02-24]. http://hyj.gxzf.gov.cn/zwgk_66846/hygb_66897/hyjzlg/t7201864.shtml.
- [25] 李萍,莫海连,郭钊. 广西铁山港区域用海环境质量评价[J]. 科技通报,2018,34(11):242-250.
- [26] 李萍,劳齐斌,莫海连,等. 2013-2016年广西主要海水养殖区营盐年际变化及富营养化评价[J]. 海洋湖沼通报,2020(5):74-81.
- [27] 陈继艺,刘保良,魏春雷. 涠洲岛珊瑚礁海洋公园海水因子分类和水质评价[J]. 海洋开发与管理,2018,35(12):52-56.
- [28] 蒙珍金,覃盈盈. 珍珠湾海域水环境状况与评价[J]. 安徽农业科学,2009,37(30):14845-14847.
- [29] 蓝文陆. 近20年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响[J]. 生态学报,2011,31(20):5970-5976.
- [30] 陈群英. 广西廉州湾水质状况评价[J]. 海洋环境科学,2001(2):56-58.
- [31] 韦蔓新,赖廷和,何本茂. 铁山港湾水质状况发展趋势[J]. 海洋通报,2002(5):69-74.
- [32] 徐轶肖,陶晓娣,刘成辉,等. 广西北海半岛夏季营盐及水质状况分析[J]. 海洋科学,2021,45(6):107-117.
- [33] 梁鑫,彭在清. 广西涠洲岛珊瑚礁海域水环境变化研究与评价[J]. 海洋开发与管理,2018,35(1):114-119.
- [34] 吴敏兰. 北部湾北部海域营盐的分布特征及其对生态系统的影响研究[D]. 厦门:厦门大学,2014.

- [35] KAISER D, SCHULZ-BULL D E, WANIEK J J. Profiles and inventories of organic pollutants in sediments from the central Beibu Gulf and its coastal mangroves [J]. *Chemosphere*, 2016, 153:39-47.
- [36] 姜发军, 许铭本, 陈宪云, 等. 北部湾海域水质综合污染指数和浮游植物多样性指数评价[J]. *广西科学*, 2014, 21(4):376-380.
- [37] 庞碧剑, 覃秋荣, 蓝文陆. 生物多样性指数在生态评价中的实用性分析——以北部湾为例[J]. *广西科学院学报*, 2019, 35(2):91-99.
- [38] 张荣灿, 姜发军, 陈宪云, 等. 钦州湾近岸海域水质污染状况评价[J]. *广西科学*, 2014, 21(4):403-410.
- [39] 王倩. 钦州茅尾海水环境质量评价及主要污染物的分布特征[D]. 南宁: 广西师范学院, 2016.
- [40] 陆双龙. 月尺度下的茅尾海营养盐与环境因子的时空变化及空间自相关特征研究[D]. 南宁: 南宁师范大学, 2021.
- [41] 广西壮族自治区人民政府办公厅. 广西生态经济发展规划(2015-2020年)[EB/OL]. (2015-08-31) [2022-05-19]. http://www.gxzf.gov.cn/zfwj/zzqrmzfbgtwj_34828/2015ngzbwj_34831/t1506972.shtml.
- [42] 钦州市人民政府办公室. 钦州市人民政府办公室关于印发钦州市水污染防治行动计划工作方案 [EB/OL]. (2016-01-29) [2022-05-19]. http://www.qinzhou.gov.cn/zewj_246/zfgb/2016zfgb/2016_1/201601/t20160129_42497.html.

Investigation and Analysis of Water Quality Pollution in Beibu Gulf of Guangxi

TAO Xiaoping¹, WU Miao¹, LIU Xiong², LEI Fu³, HE Xilin¹

(1. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. Center for Dynamic Supervision for Usage of Fangchenggang City Sea Area, Fangchenggang, Guangxi, 538001, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

Abstract: In order to comprehensively understand the water quality pollution status in Beibu Gulf of Guangxi, the single-factor pollution index method, organic pollution index method and comprehensive pollution index method were used to analyze and evaluate the water quality pollution based on the surface seawater survey data in Beibu Gulf of Guangxi from August 2021 (summer) and January 2022 (winter). The results showed that pH, dissolved inorganic nitrogen (DIN), dissolved inorganic phosphorus (DIP) and dissolved oxygen (DO) in the surface seawater of Beibu Gulf in summer and winter exceeded the standard in varying degrees, and the main pollutants were DIN and DIP. Qinzhou Bay and Tieshan Port were the main sea areas with single factor exceeding the standard. In terms of organic pollution, there was only one severe pollution station in Qinzhou Bay in summer, and moderate pollution occurred in Qinzhou Bay and Tieshan Bay, accounting for 18.5% and 13.6% in summer and winter, respectively. The rest of the polluted sea areas appeared in Qinzhou Bay, Lianzhou Bay and Tieshan Bay at the same time. Good water quality in summer and winter accounted for only 3.7% and 22.7%, both of which located in the sea area of Weizhou Island. In terms of comprehensive pollution, no serious polluted waters were found. Only Qinzhou Bay was moderately polluted in summer, and mild pollution accounted for 40.7% and 31.8% in summer and winter, respectively. In summer, other sea areas except Weizhou Island were comprehensively polluted, and only Qinzhou Bay and Tieshan Port were comprehensively polluted in winter. On the whole, the over-standard rate of single factor, organic pollution and comprehensive pollution of water body are higher in summer than in winter, and higher in the bay than outside.

Key words: single factor; organic pollution; comprehensive pollution; water quality evaluation; Beibu Gulf

责任编辑: 梁 晓