

## ◆特邀栏目◆

## 2021年秋季广西廉州湾海域营养盐及水质状况分析\*

刘熊<sup>1,2</sup>,雷富<sup>1,3</sup>,戴圣生<sup>4</sup>,王伊华<sup>1,3</sup>,梁千千<sup>1,3</sup>,谭凯燕<sup>5</sup>,陈丽雯<sup>1,3\*\*</sup>

(1. 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;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,广西海洋天然产物与组合生物合成化学重点实验室,广西南宁 530007;4. 广西科学院,广西南宁 530007;5. 广西壮族自治区产品质量检验研究院,广西南宁 530200)

**摘要:**2021年10月(秋季)对廉州湾近岸海域进行现场调查,分析廉州湾营养盐的分布特征,并利用富营养化指数和有机污染指数对该海域海水水质进行等级划分与评价。结果显示:秋季廉州湾海域的溶解态无机氮(DIN)浓度为0.149-1.587 mg/L,均值为0.493 mg/L;溶解态无机磷(DIP)浓度为0.010-0.084 mg/L,均值为0.033 mg/L;化学需氧量(COD)浓度为0.89-3.27 mg/L,均值为1.47 mg/L。DIN呈现近岸高、中部低的分布;DIP由湾内至湾外呈递减趋势,梯度分布明显,受河流输入影响显著。调查区域的富营养化指数为0.48-76.25,均值为12.23,大多数站位的水质状况属于轻度至中度富营养水平,严重富营养化主要出现在南流江口附近的站位;有机污染指数为-0.15-7.20,均值为1.80,研究区域50%的水质受到不同程度污染,南流江水质污染最严重,属于严重污染水域。总体来看,河流输入的陆源污染和人类对廉州湾海域的开发利用,是廉州湾海域富营养化和有机污染程度高的主要原因。

**关键词:**营养盐 海水水质 富营养化 污染状况 廉州湾

中图分类号:X55,P76 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2022)03-0288-07

DOI:10.13657/j.cnki.gxkxyb.20220804.001

廉州湾位于广西北部湾顶,北缘地带,北海市北侧,湾口朝西呈半开敞,处于亚热带湿润季风气候区,海洋生物资源与生物多样性极为丰富,是广西重要的海湾之一<sup>[1]</sup>。廉州湾是断陷河口湾,由南流江、大风江等注入,形成河口三角洲,是一个受陆源径流、沿岸污染与水产养殖影响的半封闭海湾,也是红树林分布

的主要海湾之一<sup>[2,3]</sup>。

随着国家发展战略的建立,北部湾经济区迎来了历史性新机遇<sup>[4,5]</sup>。随着经济发展和人口增加,工农业与生活排污导致廉州湾海域营养盐、重金属及其他污染物明显增加,环境污染日趋严重,生态系统将受到人类活动的巨大胁迫,该海域的生态安全问题成为

收稿日期:2022-05-27

修回日期:2022-06-08

\* 广西科技重大专项(桂科 AA17202020)和广西近海海洋环境科学重点实验室开放基金项目(GXKLYH21-03)资助。

## 【作者简介】

刘熊(1986-),男,工程师,主要从事海洋环境监测和研究,E-mail:liuxiong0773@163.com。

## 【\*\*通信作者】

陈丽雯(1997-),女,助理研究员,主要从事海洋环境调查和研究,E-mail:906718959@qq.com。

## 【引用本文】

刘熊,雷富,戴圣生,等. 2021年秋季广西廉州湾海域营养盐及水质状况分析[J]. 广西科学院学报,2022,38(3):288-294.

LIU X, LEI F, DAI S S, et al. Analysis of Nutrients and Water Quality in Lianzhou Bay of Guangxi in Autumn of 2021 [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2022, 38(3): 288-294.

社会关注的热点<sup>[6,7]</sup>。

氮、磷、硅、微量金属元素等构成的营养盐,对海洋浮游生物的生长和繁殖至关重要,是海洋初级生产力和食物链的基础<sup>[3]</sup>。水体中的营养物质与浮游植物的生长密切相关。营养盐过高会导致富集,营养盐过低会抑制生长,对海洋生态环境有很大影响<sup>[6,8]</sup>。2009年,李萍等<sup>[9]</sup>对廉州湾养殖区进行现场采样调查,发现海水中磷含量较丰富,秋季营养化程度大于夏季,且富营养化程度逐年增大。根据崔振昂等<sup>[1]</sup>对廉州湾海水环境质量的调查,发现廉州湾海水营养盐含量受到径流输入和沿岸排污的影响很大,在南流江出海口等值线较为密集。杨静等<sup>[10]</sup>通过对广西北部湾近岸海域海水营养盐含量的全面梳理,发现受入海径流季海域水团的影响,营养盐质量浓度呈湾内-湾口-湾外递减的趋势,钦州湾内、廉州湾内、廉州湾口和大风江口是富营养化最严重的区域。罗金福等<sup>[11]</sup>对廉州湾发生赤潮时海水中所含的污染物浓度进行统计,发现营养盐各项指标都有明显上升的趋势,呈现中度至重度富营养化,容易引起赤潮发生。因此,监测调查廉州湾海域营养盐浓度的变化,对了解廉州湾海域水体环境的营养状况与变化趋势具有重要意义。

本研究于2021年秋季在廉州湾海域进行现场采样调查,分析廉州湾海水中溶解态无机氮(DIN)、溶解态无机磷(DIP)、化学需氧量(COD)、pH、盐度(S)和溶解氧(DO),评价水体富营养化程度和有机污染状况,以为北海廉州湾的环境管理和生态环境保护提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 调查站位信息

2021年10月,在北海廉州湾海域布设20个监测站位(图1),监测站位所处的海洋功能区主要为港口航运区、农渔业区等,平均水温为22.5℃,监测站位水深小于10 m,采集表层(≤0.5 m)海水水样。调查项目主要为pH、盐度(S)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、溶解态无机磷(DIP)和溶解态无机氮(DIN)。其中,溶解态无机氮(DIN)为水体中溶解态NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N以及NH<sub>4</sub>-N的浓度总和;溶解态无机磷(DIP)为水体中PO<sub>4</sub>-P的浓度。

#### 1.1.2 样品采集和处理

海水样品采集和处理严格按照《海洋监测规范》

(GB 17378.3-2007)<sup>[12]</sup>规定进行。采样时,使用2.5 dm<sup>3</sup>有机玻璃采水器采集表层(≤0.5 m)海水。首先采集DO样品(约120 mL),放出少量海水清洗样品瓶两次,玻璃管插入底部,慢慢注入水样溢出约瓶子体积的1/2时,慢慢抽出,加入氯化锰溶液和碱性碘化钾溶液各1 mL,将瓶子缓慢上下颠倒20次充分混匀。营养盐经孔径0.45 μm的醋酸纤维膜过滤(滤膜需用pH值为2的盐酸浸泡24 h,再用超纯水洗至中性),加三氯甲烷固定,避光冷冻保存。

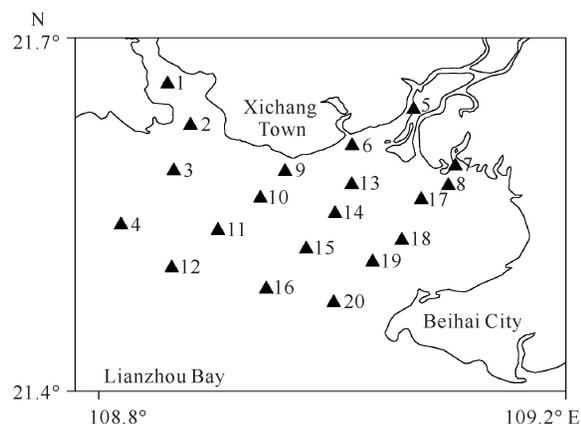


图1 采样点分布图

Fig.1 Distribution map of sampling stations

### 1.2 方法

#### 1.2.1 海水理化指标测定

根据《海洋监测规范》(GB 17378.4-2007)<sup>[13]</sup>的要求,测定海水样品各物质的浓度。pH、S、DO分别采用pH计法、盐度计法以及碘量法进行现场测定。COD、DIP、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N分别采用碱性高锰酸钾法、磷钼蓝分光光度法、萘乙二胺分光光度法、镉柱还原法、次溴酸盐氧化法进行测定。营养盐采用Cary100双光束紫外可见分光光度计(美国瓦里安技术中国有限公司)进行测定。为保证测量结果的稳定性和准确性,实验过程中均设置空白样品,对应加入2个标准样品进行测定,标准样品测定值均在真值范围内,标准物质的回收率为96% - 104%。

#### 1.2.2 评价方法

(1)单因子污染指数评价法。

海水水质评价采用单因子污染指数评价法<sup>[14]</sup>,污染程度随实测浓度增大而加重,计算公式如下:

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i}, \quad (1)$$

式中, $Q_i$ 为*i*污染因子的污染指数; $C_i$ 为*i*污染因子的实测值; $S_i$ 为*i*污染因子的海水评价标准<sup>[15]</sup>。当 $Q_i \geq 1$ 时,表明该项评价因子超标。《海水水质标准》

(GB 3097-1997)<sup>[15]</sup>规定, COD、DIN、DIP 的第一类标准限值分别为 2 mg/L、0.20 mg/L、0.015 mg/L, 第二类分别为 3 mg/L、0.30 mg/L、0.030 mg/L, 第三类分别为 4 mg/L、0.40 mg/L、0.030 mg/L, 第四类分别为 5 mg/L、0.50 mg/L、0.045 mg/L。

### (2) 富营养化指数法。

富营养化指数( $E$ )是衡量水体富营养化程度的指标, 水体富营养化会导致浮游生物过度繁殖, 诱发赤潮<sup>[16]</sup>。海水富集化状况采用富营养化指数法<sup>[17]</sup>进行评价, 计算公式如下:

$$E = \frac{\text{COD} \times \text{DIN} \times \text{DIP}}{4500} \times 10^6, \quad (2)$$

式中, COD、DIN 和 DIP 的浓度单位为 mg/L, 当  $E \geq 1$  时, 水体为富营养状态,  $E$  值越高, 富营养程度越严重。水质富营养可划分为贫营养( $E < 1.0$ )、轻度富营养( $1 \leq E < 2$ )、中度富营养( $2 \leq E < 5$ )、重富营养( $5 \leq E < 15$ )、严重富营养( $E \geq 15$ ) 5 个等级。

### (3) 有机污染指数法。

有机污染指数( $A$ )法<sup>[18]</sup>主要是针对水体有机污染的一种综合评价方法, 计算公式如下:

$$A = \frac{\text{COD}_i}{\text{COD}_0} + \frac{\text{DIN}_i}{\text{DIN}_0} + \frac{\text{DIP}_i}{\text{DIP}_0} - \frac{\text{DO}_i}{\text{DO}_0}, \quad (3)$$

表 1 廉州湾海水营养盐浓度、富营养化指数( $E$ )和有机污染指数( $A$ )的评价结果

Table 1 Evaluation results of seawater nutrient concentration, eutrophication index ( $E$ ) and organic pollution index ( $A$ ) in Lianzhou Bay

站点 Station	水质污染因子浓度(mg/L) Concentration of water pollution factors (mg/L)						$E$	$A$
	COD	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	DIN	DIP		
1	1.27	0.078	0.680	0.064	0.822	0.023	5.34	2.54
2	1.61	0.073	0.289	0.032	0.394	0.023	3.24	1.24
3	0.99	0.051	0.296	0.060	0.407	0.022	1.97	1.05
4	1.01	0.041	0.141	0.042	0.224	0.015	0.75	0.14
5	2.87	0.478	1.060	0.049	1.587	0.071	71.86	7.20
6	1.59	0.034	0.327	0.045	0.406	0.029	4.16	1.48
7	2.28	0.367	0.950	0.041	1.358	0.084	57.80	6.65
8	3.27	0.412	0.961	0.045	1.418	0.074	76.25	6.87
9	1.41	0.053	0.177	0.048	0.278	0.034	2.96	1.16
10	0.89	0.021	0.217	0.040	0.278	0.029	1.59	0.73
11	0.93	0.018	0.109	0.040	0.167	0.014	0.48	-0.15
12	1.04	0.011	0.266	0.042	0.319	0.010	0.74	0.17
13	1.04	0.039	0.174	0.037	0.250	0.023	1.33	0.57
14	0.90	0.030	0.242	0.039	0.311	0.022	1.37	0.68
15	0.93	0.035	0.261	0.044	0.340	0.022	1.55	0.73
16	1.05	0.074	0.337	0.041	0.452	0.013	1.37	0.79

式中,  $\text{COD}_i$ 、 $\text{DIN}_i$ 、 $\text{DIP}_i$  和  $\text{DO}_i$  分别为 COD、DIN、DIP、DO 的实际值;  $\text{COD}_0$ 、 $\text{DIN}_0$ 、 $\text{DIP}_0$  和  $\text{DO}_0$  分别为 COD、DIN、DIP、DO 二类海水水质标准值, 其值分别为 3 mg/L、0.30 mg/L、0.030 mg/L 和 5 mg/L。水质有机污染可划分为良好( $A < 0$ )、较好( $0 < A < 1$ )、开始受到污染( $1 < A < 2$ )、轻度污染( $2 < A < 3$ )、中度污染( $3 < A < 4$ )、严重污染( $A > 4$ ) 6 个等级。

## 1.3 数据处理

结果用 Excel 进行初步整理分析。以《海水水质标准》(GB 3097-1997)<sup>[15]</sup>判定海水类别, 对照《海洋监测规范》(GB 17378.4-2007)<sup>[13]</sup>列出检出限值, 用公式计算标准偏差和变异系数, 相关性分析使用 SPSS 17.0 软件, 平面分布图使用 Surfer 8.00 软件绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 营养盐浓度与平面分布

2021年秋季对北海廉州湾海水调查结果见表 1。COD 的浓度为 0.89-3.27 mg/L, 均值为 1.47 mg/L, 符合一类、二类和三类海水的站位比例分别为

续表

Continued table

站 位 Station	水质污染因子浓度(mg/L) Concentration of water pollution factors (mg/L)						E	A
	COD	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	DIN	DIP		
17	2.19	0.060	0.183	0.046	0.289	0.043	6.05	1.76
18	1.20	0.062	0.061	0.026	0.149	0.031	1.23	0.53
19	1.89	0.056	0.065	0.047	0.168	0.038	2.68	1.06
20	1.09	0.063	0.159	0.024	0.246	0.031	1.85	0.81
Maximum value	3.27	0.478	1.060	0.064	1.587	0.084	76.25	7.20
Minimum value	0.89	0.011	0.061	0.024	0.149	0.010	0.48	-0.15
Average value	1.47	0.103	0.347	0.043	0.493	0.033	12.23	1.80
Detection limit	-	$0.28 \times 10^{-3}$	$0.72 \times 10^{-3}$	$0.42 \times 10^{-3}$	-	$0.20 \times 10^{-3}$	-	-
Coefficient variation (%)	46.94	134.97	88.26	22.03	89.23	63.69	200.81	126.68

Note:“-” indicates no data

80%、15%和5%，其中8号站位属于三类海水，最高浓度高达3.27 mg/L。DIN中的NO<sub>2</sub>-N作为NH<sub>4</sub>-N氧化和NO<sub>3</sub>-N还原的过渡形式，其浓度为三者中最低，占比8.72%；NH<sub>4</sub>-N和NO<sub>3</sub>-N浓度占比分别为20.89%和70.39%，NO<sub>3</sub>-N浓度最高，为DIN主要成分。DIN的浓度为0.149–1.587 mg/L，均值为0.493 mg/L，符合一类、二类、三类和四类海水的站位比例分别为15%、30%、20%和15%，其中1, 5, 7, 8号站位的水质为劣四类水质，占总站位数量的20%。DIP的浓度为0.010–0.084 mg/L，均值为0.033 mg/L，符合一类、二类和四类的站位比例分别为20%、40%和25%，其中DIP浓度超过四类海水的有5, 7, 8号站位，占总站位数量的15%。盐度为0–28.5，平均值为20.6。pH值为6.37–8.08，均值为7.75。DO浓度为6.81–7.78 mg/L，均值为7.10 mg/L。

从元素含量变异程度来看，NH<sub>4</sub>-N的变异系数最大，为134.97%，说明NH<sub>4</sub>-N浓度在各采样站点离散程度较大；而NO<sub>2</sub>-N和COD较小，分别为22.03%和46.94%；NO<sub>3</sub>-N和DIP处于中间位置，说明营养盐在廉州湾海域的分布存在地理差异。

从图2可以看出，DIN浓度分布呈中部海域低、近岸和远岸海域高的特征。南流江、大风江、养殖区和城市排污口附近海域的DIN浓度较高，为0.6 mg/L以上；南流江口内5号站位的DIN浓度最高，为1.587 mg/L [图2(a)]。DIP浓度的平面分布整体呈由近岸向外海逐渐降低的趋势，梯度分布明显，

越往廉州湾内浓度越高，南流江及城市排水口附近海域的DIP浓度较高，7号站最高，为0.084 mg/L [图2(b)]。COD浓度的监测结果显示，平面分布特征与DIP相似，均为湾内高、湾外低，近岸高、远岸低的规律 [图2(c)]。

## 2.2 富营养化程度评价

由表1可知，廉州湾海域的海水大部分属于富营养化状态，富营养化指数E值为0.48–76.25，均值为12.23。其中，8号站位最高，为76.25；5号站位为71.86；7号站位为57.80，这3个站位的水质都属于严重富营养水平；1, 17号站位属于重富营养水平，E值分别为5.34, 6.05。属于中度、轻度和贫营养水平的站位数量分别占总站位数量的20%、40%和15%，E值≥1的站位数量占总站位数量的85%，说明廉州湾海域整体富营养化程度较严重。从变异系数来看，富营养化指数的变异系数较大，表明该海域富营养化程度的地理位置差异大。

## 2.3 有机污染状况评价

廉州湾海域的有机污染指数状况见表1。该海域的有机污染指数A值为-0.15–7.20，均值为1.80。属于严重污染水域的有5, 7, 8号站位，占总数的15%，其中5号站位的A值最大，为7.20；其次是8, 7号站位，分别为6.87, 6.65。良好、较好、开始受到污染和轻度污染的站位分别占总数的5%、45%、30%和5%，该海域有50%站位的水质受到不同程度的污染(A>1)。

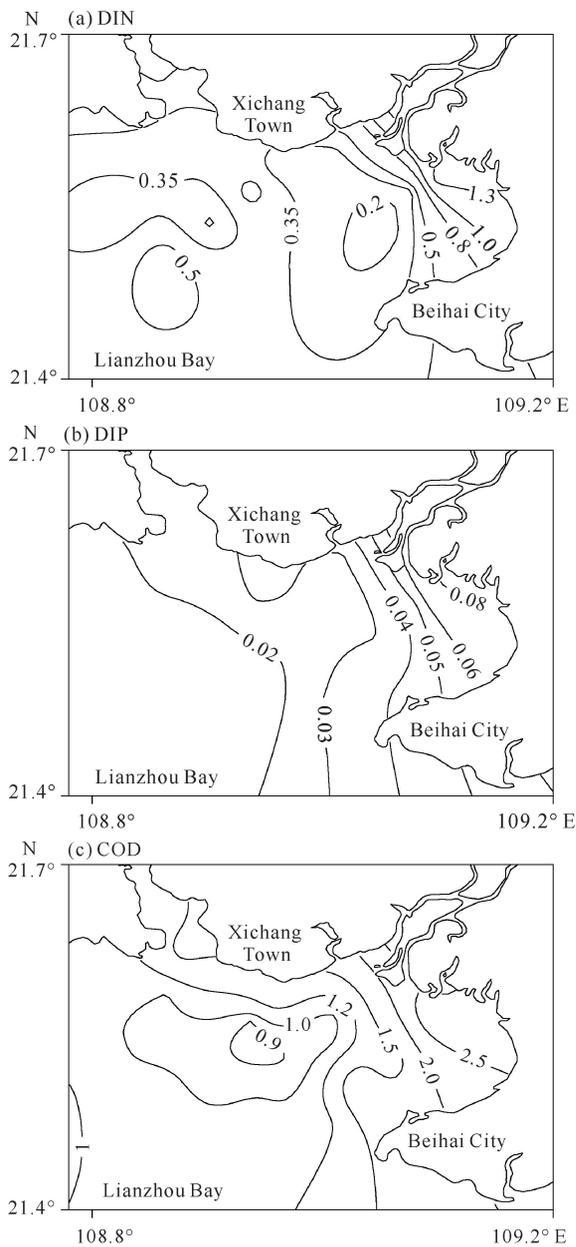


图2 廉州湾 DIN、DIP 和 COD 浓度的平面分布

Fig. 2 Plane distribution of DIN, DIP and COD concentrations in Lianzhou Bay

## 2.4 营养盐相关性分析

从表 2 可知, S 与 pH、COD、DIN、DIP 的相关系数分别为 0.937, -0.862, -0.926, -0.932, 说明 S 与 COD、DIN、DIP 之间呈显著的负相关关系, 而与 pH 为显著的正相关关系。DO 与 COD、DIN、DIP 呈负相关关系, pH 与 COD、DIN、DIP 呈显著的负相关关系, COD、DIN、DIP 两两之间呈现显著的正相关性关系。

表 2 廉州湾海域营养盐浓度与环境因子的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between nutrient concentration and environmental factors in Lianzhou Bay

	S	pH	DO	COD	DIN	DIP
S	1.000					
pH	0.937**	1.000				
DO	0.216	0.116	1.000			
COD	-0.862**	-0.790**	-0.264	1.000		
DIN	-0.926**	-0.927**	-0.040	0.791**	1.000	
DIP	-0.932**	-0.927**	-0.273	0.881**	0.824**	1.000

Note: \*\* indicates that the correlation is significant at the 0.01 level (bilateral)

## 3 讨论

### 3.1 营养盐的时空变化

海水中的营养盐是海洋浮游植物生长和繁殖的必需养分, 而陆源输入和人为活动等因素是海水营养盐的重要来源<sup>[19]</sup>。本研究发现, DIN 和 DIP 浓度均值分别为 0.493 mg/L 和 0.033 mg/L, 相对廉州湾 1996-2000 年春季海水 DIN 均值 (0.440 mg/L) 和 DIP 均值 (0.008 mg/L)<sup>[20]</sup>, DIN 基本相同, DIP 增加了近 3 倍; 相对于廉州湾 2013-2015 年春季海水 DIN 均值 (0.367 mg/L) 和 DIP 均值 (0.040 mg/L)<sup>[21]</sup>, DIN 与 DIP 浓度基本相同; 相对于北部湾 2016 年春季、夏季、秋季海水 DIN 均值 (0.172 mg/L) 和 DIP 均值 (0.028 mg/L)<sup>[7]</sup>, DIN 增加了近 2 倍, DIP 基本相同。综上可知, 氮、磷营养盐有递增的趋势, 氮、磷营养盐的增加可能受流入海洋的河流和水产养殖业污染排放的影响。廉州湾有着径流量大的入海河流, 其流域面积较大, 能汇集邻近区域大量的工业、农业和城市生活污水, 同时廉州湾是主要的水产养殖区, 湾内水产养殖业发达, 养殖者投放饲料、化肥等, 加剧了水体营养物质的污染, 从而导致藻类水华频繁发生<sup>[7, 22-24]</sup>。

从图 2 可以看出, COD 浓度呈由内向外逐渐递减的趋势。由于南流江 COD 排放量大, 在江中及江口处 COD 浓度较高, 属于二、三类海水水质标准, 且高于湾内站位的浓度, 越进入廉州湾内, 其浓度在潮汐季自身降解的作用下逐渐降低, 与张少峰等<sup>[25]</sup>的研究结果一致。DIN 浓度分布呈中部海域低、近岸和远岸海域高的特征, 其原因可能是廉州湾属于半封闭性海湾, 同时作为北海市主要的水产养殖区, 水产养殖对氮肥的利用率低。廉州湾海域 5, 7, 8 号站位

的 DIN 和 1, 5, 7, 8 号站位的 DIP 都属于劣四类水质, 说明该海域中河流和沿海水域的营养因子浓度相对较高, 这是因为河流附近聚集了大部分虾塘和城市直排入海混排口等, 水体随支流往河口排出。杨静等<sup>[10]</sup>研究发现, 廉州湾湾内和湾口是主要的氮污染区, 其 DIN 长期处于四类或劣四类水质; 廉州湾内近年来海水污染日趋严重, DIP 大部分处于二、三类海水水质, 小部分为劣四类海水。Lai 等<sup>[26]</sup>研究发现, DIN 主要在河口和沿海水域浓度高, 可能是南流江径流与海水稀释的结果。对比前人研究, 受陆源污染和水产养殖等因素影响, 营养盐在河流和湾口处浓度较高。

从相关性分析可以看出, DIN 与 DIP 呈显著的正相关关系, 说明河流径流运输大量 DIN 的同时也运输了较多的 DIP。廉州湾是由江河注入形成河口三角洲, 河流起到冲淡作用, 盐度越往远岸越大, DIN、DIP 和 COD 都与 S 呈显著的负相关关系, 随着 S 含量的增加, 营养盐和 COD 浓度逐渐递减, 说明这些指标在河口区均呈保守行为, 河口区起到了清除作用, 受到河流径流与海水稀释的影响较大, 与邱邵芳等<sup>[27]</sup>、劳齐斌等<sup>[28]</sup>的研究结果一致。

### 3.2 富营养化状况

氮、磷是富营养化的关键元素<sup>[6, 10]</sup>。2018 年, 崔振昂等<sup>[1]</sup>调查廉州湾海域海水中的营养盐发现, 该海域营养盐的富营养化指数大多属于重富营养与严重富营养水质, 较高的区域主要集中在湾内养殖区, 且中部区域的富营养化均值大于 1。与崔振昂等<sup>[1]</sup>的研究结果相比, 本研究中廉州湾海域富营养化主要集中在南流江及湾内养殖区, 并且整体海域富营养化程度高。

### 3.3 有机污染状况

本研究发现, 该海域有机污染从开始受到污染至严重污染站点 ( $A > 1$ ) 占全部站位的 50%。2016 年, 李萍等<sup>[7]</sup>调查北部湾近岸海域水质现状发现, 5 月和 8 月的 A 均值分别为 1.07 和 0.83, 其中 5 月大风江口有机污染呈现严重污染, 8 月廉州湾内有机污染呈现中度污染。2020 年, 徐轶肖等<sup>[6]</sup>调查北海半岛水质现状发现, 有机污染开始受到污染至中度污染站点 ( $1 < A < 4$ ) 占全部站位的 61.9%。综上可以看出, 廉州湾海域有机污染未得到改善。

## 4 结论

本研究对 2021 年秋季廉州湾营养盐及水质状况

进行了分析, 得出了以下结论: ①廉州湾海域 DIN 浓度为 0.149 - 1.587 mg/L, 均值为 0.493 mg/L; DIP 浓度为 0.010 - 0.084 mg/L, 均值为 0.033 mg/L。DIN 和 DIP 浓度的高值区出现在南流江口与湾内的水产养殖区, 受水产养殖以及陆源污染的影响显著; ②相关性分析表明, COD、DIN 和 DIP 与 S 呈显著的负相关关系, 说明 DIN、DIP 和 COD 浓度变化大部分受到河流径流影响; ③廉州湾海域整体海域富营养化程度高, 有机污染严重; ④该海域成为河流携带的陆源污染物质和水产养殖污染物的聚集地, 导致富营养化水平和有机污染居高不下, 与人类对海域利用开发加大有关。本研究只调查了秋季廉州湾海域的水质状况, 研究存在一定的局限性, 仍需要进一步对海域内的水质状况开展全面调查和深入分析, 以期全面地了解该海域的生态环境情况。

### 参考文献

- [1] 崔振昂, 滕德强, 张亮, 等. 广西廉州湾海水环境质量综合监测[J]. 中国地质调查, 2018, 5(5): 74-84.
- [2] 邱绍芳, 赖廷和. 廉州湾近岸的海水理化要素含量的变化特征[J]. 广西科学院学报, 2005(3): 151-154.
- [3] 王资生. 海水营养盐及其对浮游植物的影响[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2001, 14(2): 40-43, 49.
- [4] 刘丽萍, 王国强. 北部湾经济区发展优势比较与应对举措[J]. 保山学院学报, 2021, 40(5): 90-95.
- [5] 覃灏雁. 2010 - 2018 年广西近岸海域水质状况及变化趋势[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(4): 71-73.
- [6] 徐轶肖, 陶晓娉, 刘成辉, 等. 广西北海半岛夏季营养盐及水质状况分析[J]. 海洋科学, 2021, 45(6): 107-117.
- [7] 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.
- [8] 王增军, 梁燕燕, 韦江玲, 等. 海岸带修复地形变形监测探讨——以北海市廉州湾东岸整治修复为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(11): 35-38.
- [9] 李萍, 刘保良, 陈旭阳. 广西北海市廉州湾养殖区营养盐分布与富营养化的研究[J]. 科技传播, 2011(17): 75-76.
- [10] 杨静, 张仁铎, 赵庄明, 等. 近 25 年广西北部湾海域营养盐时空分布特征[J]. 生态环境学报, 2015, 24(9): 1493-1498.
- [11] 罗金福, 李天深, 蓝文陆. 北部湾海域赤潮演变趋势及防控思路[J]. 环境保护, 2016, 44(20): 40-42.
- [12] 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 3 部分 样品采集、贮存与运输: GB 17378.3 - 2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 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.
- [14] 雷富, 陈宪云, 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.
- [15] 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.
- [16] 张立柱,余雷,唐谋生. 湛江港湾水域富营养化与赤潮浅析[J]. 水资源保护,2009,25(2):50-54.
- [17] 中华人民共和国生态环境部. 近岸海域环境监测技术规范:第三部分 近岸海域水质监测:HJ 442.3-2020 [S]. 北京:中国环境科学出版社,2021.
- [18] 中华人民共和国国家海洋局. 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.
- [19] 李潇,刘书明,付瑞全,等. 杭州湾表层海水营养盐分布特征及富营养化状况研究[J]. 环境科学与管理,2017,42(9):66-71.
- [20] 陈群英. 广西廉州湾水质状况评价[J]. 海洋环境科学,2001,20(2):56-58.
- [21] 黄鸾玉,黎小正,吴祥庆,等. 采用主成分分析法评价廉州湾贝类养殖区水质状况[J]. 渔业现代化,2017,44(1):69-74.
- [22] 陈聚法,赵俊,孙耀,等. 桑沟湾贝类养殖水域沉积物再悬浮的动力机制及其对水体中营养盐的影响[J]. 海洋水产研究,2007,28(3):105-111.
- [23] 秦培兵,卢继武. 滤食性贝类对浅海养殖系统中营养盐循环的影响[J]. 海洋科学,2001,25(5):27-29.
- [24] 徐宁,段舜山,李爱芬,等. 沿岸海域富营养化与赤潮发生的关系[J]. 生态学报,2005,25(7):1782-1787.
- [25] 张少峰,宋德海,张春华,等. 广西廉州湾海水 DIN、DIP、COD 污染物浓度数值模拟[J]. 钦州学院学报,2014,29(8):1-5.
- [26] 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.
- [27] 邱绍芳,赖廷和. 廉州湾海水营养盐组成特征与主要环境因子的关系[J]. 广西科学院学报,2004(3):179-181,188.
- [28] 劳齐斌,刘国强,申友利,等. 北部湾入海河流营养盐的分布特征及入海通量研究[J]. 海洋学报,2020,42(12):93-100.

## Analysis of Nutrients and Water Quality in Lianzhou Bay of Guangxi in Autumn of 2021

LIU Xiong<sup>1,2</sup>, LEI Fu<sup>1,3</sup>, DAI Shengsheng<sup>4</sup>, WANG Yihua<sup>1,3</sup>, LIANG Qianqian<sup>1,3</sup>, TAN Kaiyan<sup>5</sup>, CHEN Liwen<sup>1,3\*\*</sup>

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. Center for Dynamic Supervision for Usage of Fangchenggang City Sea Area, Fangchenggang, Guangxi, 538001, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Marine Natural Products and Combinatorial Biosynthesis Chemistry, Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 4. Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 5. Guangxi Zhuang Autonomous Region Institute of Product Quality Inspection, Nanning, Guangxi, 530200, China)

**Abstract:** In October 2021 (autumn), a field survey was carried out in the coastal waters of Lianzhou Bay to analyze the distribution characteristics of nutrient in the bay, and the seawater quality was graded and evaluated by eutrophication index and organic pollution index. The results showed that the concentration of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in Lianzhou Bay in autumn was 0.149–1.587 mg/L, with an average of 0.493 mg/L. The concentration of dissolved inorganic phosphorus (DIP) was 0.010–0.084 mg/L, with an average of 0.033 mg/L. The concentration of chemical oxygen demand (COD) was 0.89–3.27 mg/L, with an average of 1.47 mg/L. The spatial distribution of inorganic nitrogen was higher near shore and lower in the middle. DIP showed a decreasing trend from the inner bay to the outer bay, and the gradient distribution was obvious, which was significantly affected by river input. The eutrophication index of the survey area was 0.48–76.25, with an average of 12.23. The water quality of most stations was at mild to moderate eutrophication level, and the severe eutrophication level mainly occurred at the stations near the Nanliu Estuary. The organic pollution index was -0.15–7.20, with an average of 1.80, and 50% of the water quality in the study area were polluted to varying degrees. The water pollution of Nanliu River was the most serious, which belonged to the seriously polluted water area. Overall, the river input of terrestrial pollution and human development and utilization of the Lianzhou Bay waters are the main reasons for the high degree of eutrophication and organic pollution in the Lianzhou Bay waters.

**Key words:** nutrient; seawater quality; eutrophication; pollution status; Lianzhou Bay

责任编辑:唐淑芬