

涠洲岛赤潮监控区营养盐变化及其结构特征^{*}

邢素坤^{**}, 李萍, 何志江, 李武全

(国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 广西北海 536000)

摘要:通过分析 2010—2013 年赤潮监测区的营养盐监测数据,运用富营养化评价、空间波动评价以及营养盐限制评价方法研究涠洲岛赤潮监控区营养盐含量时空变化,探讨该海域的营养状况以及结构特征。2010—2013 年涠洲岛赤潮监控区营养盐含量未达到富营养化标准。硝酸盐($\text{NO}_3\text{-N}$)和活性磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)含量变异系数分别是 0.10~0.21 和 0.11~0.24,空间波动程度在年际间存在显著差异;除 2011 年 S1 站点的营养盐含量相对较高外,其余年份各个监测点位之间均差异不大;涠洲岛赤潮监控区表层海水中氮(N)、磷(P)和硅(Si)含量存在明显的月变化特征,4 月份表层海水中各类营养盐含量相对较高;监控区氮磷比(N/P 值)为 28.5 : 1~57.56 : 1,活性磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)对监控区浮游植物的繁殖生长起着潜在的限制性作用。涠洲岛赤潮监控区营养盐含量在 4 月份存在高值,为浮游植物的增殖提供基础条件,春夏季风生流对各形态磷(P)含量的补充,缓解海域的磷(P)限制,可能是近年来涠洲岛多次发生赤潮的原因。

关键词:赤潮 涠洲岛 营养盐 结构特征 富营养化 时空变化



微信扫一扫,与作者在线交流(OSID)

中图分类号:P76 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2019)03-0308-07

0 引言

涠洲岛位于广西壮族自治区北海市南部,属于亚热带季风气候,是中国最大最年轻的火山岛。涠洲岛是广西近海的赤潮监控区之一,近年来已成为广西近岸海域赤潮的高发区^[1],在 1995—2011 年广西发生的 12 次赤潮中,涠洲岛共发生 7 次,占广西近海赤潮总数的 58.3%^[2-3]。且在 2014 年 2 月、2014 年 12 月至 2015 年 2 月以及 2017 年 3 月,涠洲岛均出现球形棕囊藻大量增殖造成水色暗淡的现象^[4-6]。海水中的营养盐结构组成和含量水平是浮游植物群落变化和

爆发赤潮的物质基础^[7-8]。因此,研究涠洲岛赤潮监控区营养盐变化及结构特征对了解涠洲岛赤潮的发生具有重要意义。研究发现来自珠江口和粤西海岸的氮磷营养物质通过琼州海峡向西进入北部湾可能是涠洲岛附近高浓度氮磷主要来源^[3]。在 2004—2013 年间,涠洲岛无机氮整体呈现上升趋势,临近海域主要属于磷限制^[9-10]。涠洲岛赤潮的发生可能与水文和海水营养盐比例的不规则变化有关^[11-12]。尽管目前针对涠洲岛海域营养盐组成及来源的研究不少,但主要聚焦于涠洲岛东南部海域、珊瑚礁生态区或整个涠洲岛近岸海域,直接对赤潮监控区海域的营

^{*} 国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金项目(1357)资助。

【作者简介】

邢素坤(1986—),女,助理工程师,主要从事海洋环境调查研究工作,E-mail:491891119@qq.com。

【**通信作者】

【引用本文】

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20190618.008

邢素坤,李萍,何志江,等.涠洲岛赤潮监控区营养盐变化及其结构特征[J].广西科学,2019,26(3):308-314.

XING S K, LI P, HE Z J, et al. Variations and structure characteristic of nutrients in red-tide monitoring area of Weizhou Island [J]. Guangxi Sciences, 2019, 26(3): 308-314.

养物质含量水平和结构变化的分析研究未见系统报道。本文基于 2010—2013 年赤潮监测区的监测数据, 分析赤潮监控区营养盐含量年度以及月度变化, 探讨该海域的营养状况以及结构特征, 以期为进一步了解涠洲岛海域赤潮高频次发生的原因提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查站位与时间

在广西涠洲岛赤潮监控区布设 6 个监测站位(图 1), 监测时间段为 2010—2013 年的 4—10 月, 每月 2 次。



图 1 赤潮监控区监测站位

Fig. 1 Stations of red tide monitoring area

1.2 调查项目及分析方法

调查项目主要包括硝酸盐($\text{NO}_3\text{-N}$), 亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$), 氨盐($\text{NH}_4\text{-N}$), 活性磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)和活性硅酸盐($\text{SiO}_3\text{-Si}$)。本文均采用表层海水(0.5 m)中营养盐监测资料进行分析。表层水样采集和分析方法均按《海洋监测规范》(GB 17378.4—2007)标准执行。

1.3 富营养化评价

参照齐雨藻等^[13]海水富营养化标准, 即当溶解态无机氮(Dissolved inorganic nitrogen, DIN)为 14.3~21.4 $\mu\text{mol/L}$, 溶解态无机磷(Dissolved inorganic phosphorus, DIP)为 0.65 $\mu\text{mol/L}$ 时海域为富营养化。DIN 为 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的总和。

1.4 空间波动评价

选用变异系数 CV 来表示营养物质空间波动程度的大小, 计算公式如下^[14]:

$$CV = \frac{S^2}{\bar{X}}$$

式中, S^2 表示氮(N)、磷(P)和硅(Si)营养盐含量空间序列的标准偏差, \bar{X} 表示各类营养盐含量空间序列的平均值。

1.5 营养盐结构和限制因素评价

本文选用 Justic^[15]建立的浮游植物生长的化学计量比和可能的营养盐限制因素标准, 评估该海域的营养盐结构, 以及浮游植物生长的可能限制因素。具体为当 $\text{Si/P} > 22$, $\text{N/P} > 22$ 时为 P 限制; 当 $\text{N/P} < 10$, $\text{Si/N} > 1$ 时为 DIN 限制; 当 $\text{Si/P} < 10$, $\text{Si/N} < 1$ 为 Si 限制。

2 结果与分析

2.1 营养盐浓度变化

2010—2013 年 4—10 月涠洲岛赤潮监控区 N、P 和 Si 营养盐连续监测的月平均值见表 1。2010 年 DIN 月均含量为 1.68~7.13 $\mu\text{mol/L}$, 4、5、6 月含量相对较高, 7 月开始降低, 10 月又有所回升; DIP 月均含量为 0.04~0.37 $\mu\text{mol/L}$, DIP 月均含量变化趋势与 DIN 基本一致; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 月平均含量为 4.76~11.60 $\mu\text{mol/L}$, 4 月含量最低, 6 月含量最高。2011 年 DIN 月均含量为 2.95~6.05 $\mu\text{mol/L}$, 4 月含量最高, 6 月最低; DIP 月均含量为 0.08~0.18 $\mu\text{mol/L}$, 8 月含量最高, 5 月最低; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 月平均含量为 5.41~13.81 $\mu\text{mol/L}$, 5 月含量最低, 6 月含量最高。2012 年 DIN 月均含量为 2.57~7.94 $\mu\text{mol/L}$, 4 月出现近几年的最高值; DIP 月均含量为 0.03~0.17 $\mu\text{mol/L}$, 4 月含量最高, 7 月最低; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 月平均含量为 5.94~15.11 $\mu\text{mol/L}$, 8 月含量最低, 4 月含量最高。2013 年 DIN 月均含量为 3.77~7.86 $\mu\text{mol/L}$, 7 月高值; DIP 月均含量为 0.04~0.15 $\mu\text{mol/L}$, 7 月含量最高; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 月平均含量为 5.49~8.04 $\mu\text{mol/L}$, 10 月含量最低, 8 月含量最高。

表 1 涠洲岛赤潮监控区 2010—2013 年表层海水中 N、P 和 Si 的月平均浓度

Table 1 Monthly average concentration of N, P and Si in surface water in red tide monitoring area of Weizhou Island in 2010—2013

年份 Year	月份 Month	浓度 Concentration ($\mu\text{mol/L}$)		
		DIN	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_3\text{-Si}$
2010	4 月 Apr.	5.48	0.27	4.76
	5 月 May	6.54	0.37	6.74
	6 月 Jun.	7.13	0.30	11.60
	7 月 Jul.	3.66	0.04	8.33

续表 1

Continued table 1

年份 Year	月份 Month	浓度 Concentration ($\mu\text{mol/L}$)		
		DIN	PO ₄ -P	SiO ₃ -Si
2011	8月 Aug.	1.68	0.04	10.90
	9月 Sept.	3.40	0.06	8.75
	10月 Oct.	6.09	0.12	9.19
	4月 Apr.	6.05	0.17	8.07
	5月 May	4.45	0.08	5.41
	6月 Jun.	2.95	0.09	13.81
	7月 Jul.	4.53	0.13	10.62
	8月 Aug.	5.09	0.18	12.01
	9月 Sept.	3.82	0.15	9.18
	10月 Oct.	5.89	0.18	7.97
2012	4月 Apr.	7.94	0.17	15.11
	5月 May	2.57	0.08	7.34
	6月 Jun.	6.31	0.07	6.93
	7月 Jul.	3.71	0.03	7.02
	8月 Aug.	3.15	0.11	5.94
	9月 Sept.	3.76	0.12	6.45
	10月 Oct.	3.03	0.12	6.72
	4月 Apr.	4.78	0.06	6.65
	5月 May	3.90	0.09	6.07
	6月 Jun.	5.03	0.04	7.23
2013	7月 Jul.	7.86	0.15	7.83
	8月 Aug.	3.77	0.13	8.04
	9月 Sept.	6.54	0.06	5.69
	10月 Oct.	5.30	0.12	5.49

2.2 营养盐时空变化

2.2.1 空间变化

2010—2013年6个监测站位表层海水中N、P和Si营养盐监测结果的平均含量及其变异系数CV见表2。由表可知,N、P和Si含量的空间波动程度存在明显的差异;相对而言,NO₃-N和PO₄-P含量的空间波动程度在年际间存在显著差异,变异系数分别是0.10~0.21和0.11~0.24;NO₃-N在2010年的空间波动程度明显大于其他3年;PO₄-P在2011年的空间波动程度明显大于其他3年;NO₂-N含量的空间波动程度年际间变化不大(0.12~0.20);NH₄-N和SiO₃-Si含量的空间波动程度年际间变化相对最小,变异系数分别为0.07~0.12和0.04~0.09。

N、P和Si营养盐的空间分布特征分析表明,除2011年基本表现为S1的营养盐含量相对较高外,其余年份均没有明显的差异,可能与涠洲岛海域远离陆岸、受到陆源径流的影响较小有关,营养盐的空间分布未呈现显著的差异。

表2 涠洲岛赤潮监控区2010—2013年表层海水中营养盐的平均浓度

Table 2 Average concentration of nutrients in surface seawater in red tide monitoring area of Weizhou Island in 2010—2013

年份 Year	监测站位 Monitoring area	浓度 Concentration ($\mu\text{mol/L}$)				
		NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₃ -Si
2010	S1	0.31	2.50	3.31	0.22	9.85
	S2	0.40	1.91	2.69	0.16	8.43
	S3	0.25	1.55	2.73	0.17	7.58
	S4	0.34	1.74	2.42	0.14	9.02
	S5	0.41	1.53	2.44	0.18	8.73
	S6	0.28	1.56	2.75	0.16	8.17
	变异系数 CV	0.20	0.21	0.12	0.17	0.09
2011	S1	0.29	2.40	2.40	0.10	10.03
	S2	0.26	2.08	2.38	0.17	9.03
	S3	0.25	1.87	2.13	0.12	9.55
	S4	0.27	2.43	2.46	0.16	9.79
	S5	0.21	1.82	2.33	0.12	9.97
	S6	0.31	2.18	2.04	0.18	9.03
	变异系数 CV	0.12	0.12	0.07	0.24	0.05
2012	S1	0.39	2.46	1.52	0.09	7.81
	S2	0.40	3.08	1.43	0.09	8.01
	S3	0.27	2.45	1.55	0.10	8.65
	S4	0.34	2.62	1.28	0.10	8.23
	S5	0.31	2.46	1.61	0.09	7.59
	S6	0.39	2.32	1.26	0.12	7.30
	变异系数 CV	0.14	0.10	0.10	0.12	0.06
2013	S1	0.59	2.47	3.12	0.11	6.86
	S2	0.58	2.18	2.89	0.09	6.81
	S3	0.36	1.61	2.47	0.10	6.22
	S4	0.43	1.89	3.18	0.09	6.88
	S5	0.47	1.75	2.84	0.10	6.58
	S6	0.50	2.04	2.49	0.08	6.91
	变异系数 CV	0.18	0.16	0.11	0.11	0.04

2.2.2 时间变化

2010—2013年4—10月份各类营养盐连续监测的月平均含量统计结果见表3。由表可见,涠洲岛赤潮监控区表层海水中N、P和Si含量存在明显的月变化特征。在4月份表层海水中各类营养盐含量相对较高,为浮游植物生长提供基础。进入5月份,海水表层的温度和光照条件为浮游植物的迅速生长提供了有利条件,浮游植物的生长消耗了表层海水中营养盐,除NO₂-N与4月份相当外,其他营养盐的含量均有所降低,SiO₃-Si含量更是降到最低;随后夏季琼州海峡携带的珠江口以及粤西沿岸的营养物质向西输运进入北部湾^[16],涠洲岛营养盐得到补充,营养盐

含量开始趋于升高, 6、7 和 8 月份营养盐含量均相对较低; 9 月份除 $\text{NH}_4\text{-N}$ 外, 其他营养盐含量相对

表 3 涠洲赤潮监控区 2010—2013 年表层海水中各类营养盐的月平均浓度

Table 3 Monthly average concentration of nutrients in surface seawater in red tide monitoring area of Weizhou Island in 2010—2013

时间 Time	浓度 Concentration ($\mu\text{mol/L}$)				
	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_3\text{-Si}$
4 月 Apr.	0.28±0.17	2.99±2.29	2.80±1.34	0.17±0.11	8.65±4.80
5 月 May	0.28±0.28	1.95±1.22	2.13±1.09	0.16±0.15	6.39±1.69
6 月 Jun.	0.44±0.42	2.41±1.60	2.50±1.11	0.13±0.18	9.88±4.05
7 月 Jul.	0.45±0.42	2.28±1.24	2.21±1.31	0.09±0.09	8.44±2.74
8 月 Aug.	0.39±0.30	1.56±1.21	1.48±0.73	0.11±0.09	9.21±3.76
9 月 Sept.	0.12±0.12	1.43±1.53	2.83±2.79	0.10±0.08	7.56±3.31
10 月 Oct.	0.55±0.42	2.23±1.43	2.30±1.41	0.13±0.10	7.34±3.22

2.3 营养盐成分及比例

2010—2013 年监控区 6 个监测站位的营养盐结构状况统计见表 4。2010—2013 年 $\text{NO}_2\text{-N/DIN}$ 年均为 5.7%~9.2%; $\text{NO}_3\text{-N/DIN}$ 年均为 36.8%~58.8%; $\text{NH}_4\text{-N/DIN}$ 年均为 33.1%~56.3%, 涠洲岛无机氮主要以硝酸盐氮和氨氮为主, 亚硝酸盐氮的含量相对较低。各站点、各年度的无机氮结构比例均没有显著的差异。

表 4 涠洲赤潮监控区 2010—2013 年各测站表层海水 DIN 成分比例

Table 4 Proportion of DIN components of surface seawater at the monitoring stations in the red tide monitoring area of Weizhou Island in 2010—2013

年份 Year	监测站位 Monitoring area	DIN 成分比例 DIN proportion (%)		
		$\text{NO}_2\text{-N/DIN}$	$\text{NO}_3\text{-N/DIN}$	$\text{NH}_4\text{-N/DIN}$
2010	S1	5.1	40.8	54.1
	S2	8.0	38.2	53.8
	S3	5.5	34.2	60.3
	S4	7.6	38.6	53.8
	S5	9.4	34.9	55.7
	S6	6.1	34.1	59.9
	平均值 Average	7.0	36.8	56.3
2011	S1	5.8	47.1	47.1
	S2	5.5	44.1	50.5
	S3	5.9	44.0	50.1
	S4	5.3	47.1	47.6
	S5	4.9	41.7	53.4
	S6	6.8	48.2	45.0

续表 4

Continued table 4

年份 Year	监测站位 Monitoring area	DIN 成分比例 DIN proportion (%)		
		$\text{NO}_2\text{-N/DIN}$	$\text{NO}_3\text{-N/DIN}$	$\text{NH}_4\text{-N/DIN}$
2012	平均值 Average	5.7	45.4	49.0
	S1	8.8	56.3	34.9
	S2	8.2	62.7	29.1
	S3	6.4	57.4	36.3
	S4	8.1	61.8	30.1
	S5	7.2	56.2	36.6
	S6	9.7	58.6	31.7
2013	平均值 Average	8.1	58.8	33.1
	S1	9.5	40.0	50.5
	S2	10.2	38.6	51.2
	S3	8.2	36.3	55.5
	S4	7.8	34.4	57.8
	S5	9.3	34.6	56.1
	S6	9.9	40.6	49.5
平均值 Average	9.2	37.4	53.4	

2010—2013 年 N/P 年均 28.5~57.6; Si/P 年均为 51.1~81.6; Si/N 年均为 1.27~2.05。N/P 年均值出现随着年度逐渐升高的趋势, Si/P 和 Si/N 年均值年度间无明显的变化趋势。2010 年、2012 年、2013 年各点位间, N/P 基本保持一致, 而 2011 年则在 S1 点位相对较高(表 5)。

表5 涠洲岛赤潮监控区2010—2013年各测站表层海水营养盐比值

Table 5 Proportion of nutrients of surface seawater at the monitoring stations in the red tide monitoring area of Weizhou Island in 2010—2013

年份 Year	监测站位 Monitoring area	比值 Proportion		
		N/P	Si/P	Si/N
2010	S1	27.5	44.3	1.61
	S2	31.6	53.4	1.69
	S3	26.5	44.3	1.67
	S4	33.2	66.6	2.00
	S5	24.3	48.3	1.99
	S6	27.9	49.7	1.78
	平均值 Average		28.5	51.1
2011	S1	52.6	103.7	1.97
	S2	28.1	53.8	1.91
	S3	36.6	82.2	2.25
	S4	32.0	60.7	1.90
	S5	36.6	83.5	2.28
	S6	25.0	50.0	2.00
	平均值 Average		35.2	72.3
2012	S1	50.1	89.7	1.79
	S2	52.5	85.7	1.63
	S3	42.7	86.5	2.03
	S4	42.4	82.3	1.94
	S5	48.6	84.1	1.73
	S6	33.2	61.1	1.84
	平均值 Average		44.9	81.6
2013	S1	58.0	64.5	1.11
	S2	62.6	75.4	1.21
	S3	46.0	64.3	1.40
	S4	63.2	79.0	1.25
	S5	50.6	65.8	1.30
	S6	65.0	89.3	1.37
	平均值 Average		57.6	73.1

3 讨论

3.1 赤潮监控区富营养状况

从2010—2013年营养盐浓度月均值变化可知,根据齐雨藻等海水富营养化标准^[13],近年来监控区表层海水DIN的各月平均含量约是富营养化标准下限 $14.3 \mu\text{mol/L}$ 的 $0.12\sim 0.56$ 倍,DIP约为富营养化标准 $0.65 \mu\text{mol/L}$ 的 $0.24\sim 0.77$ 倍,监控区海域未达到富营养化状态。所有的营养盐含量均满足海水水质标准(GB 3097—1997) II类海水水质要求(DIN为 0.30 mg/L ,DIP为 0.030 mg/L)。表明近

年来涠洲赤潮监控区海域并未受到了DIP、DIN的污染,水体状态良好。

尽管涠洲岛属于非富营养化海域,但DIN的各月平均浓度范围为 $1.68\sim 7.94 \mu\text{mol/L}$,DIP平均浓度范围为 $0.03\sim 0.37 \mu\text{mol/L}$ 。根据Nelson等提出的浮游植物营养盐的绝对限制法^[17],即 $\text{DIN} = 1 \mu\text{mol/L}$ 、 $\text{DIP} = 0.1 \mu\text{mol/L}$ 为浮游植物生长所需的最低阈值。涠洲岛赤潮监控区DIN和DIP均高出浮游植物生长阈值几倍,说明涠洲岛有足够的营养物质供浮游植物的生长。

3.2 赤潮监控区营养盐结构特征

海水中的DIN的3种形态($\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$)在海洋生物循环中起着非常重要的作用,当氨化和硝化作用充分进行时,不同形态的铵才能达到基本的热力学平衡^[18]。从表4中看出,这4年来监控区各测站在赤潮多发期 $\text{NO}_2\text{-N}$ 含量占DIN的 $4.9\%\sim 10.2\%$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 占DIN含量的 $34.1\%\sim 62.7\%$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 占DIN含量的 $29.1\%\sim 60.3\%$ 。从年际变化上看,在2013年, $\text{NO}_3\text{-N}$ 在DIN中占的比例最大,表明无机氮受到生物影响较小,大部分以稳定的还原态存在。其余3年皆是 $\text{NH}_4\text{-N}$ 占的比例最大,可能与浮游植物优先消耗 $\text{NO}_3\text{-N}$,以及珊瑚礁等生物活动的氧化分解再生 $\text{NH}_4\text{-N}$ 有关^[19]。另外,涠洲岛受到环流影响,海水交换机表底层海水的混合影响着 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的组成^[20]。

监控区海域Si、N和P的比值(摩尔比)是海水水体现存Si、N、P营养状态的具体反映^[21]。浮游植物对N、P营养盐的吸收是按 $16:1$ 的恒定摩尔比进行的^[22]。但海区物理、生物和化学等各种因子的差异性及其所造成的影响各不相同,使得海区N、P和Si营养盐结构比例发生变化,进而会导致某个要素成为浮游植物生长的限制性因子。表4统计结果表明,这4年来监控区N/P值的变化为 $28.5:1\sim 57.6:1$,Si/P值的变化为 $51.1:1\sim 81.6:1$,Si/N值的变化为 $1.27:1\sim 2.05:1$;N/P值和Si/P值均大于22。根据化学计量营养盐限制标准,2010—2013年,赤潮监控区为磷限制状态, $\text{PO}_4\text{-P}$ 对监控区浮游植物的繁殖生长起着潜在的限制性作用,这和韩丽君等^[9]、何本茂等^[10]的研究一致。因涠洲岛远离大陆,风生流的补充影响对各形态P的含量分布起主导控制作用,并有可能缓解海域的磷限制,从而对浮游生物生物量的提高起明显促进作用,是近年来涠洲岛多次发生赤潮的可能原因^[23]。

4 结论

2010—2013年涠洲岛赤潮监控区营养盐含量未达到富营养化标准。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量的空间波动程度在年际间存在显著差异,变异系数分别是0.10~0.21和0.11~0.24;除2011年个别站点的营养盐含量相对较高外,其余年份各个监测点位之间均没有明显的差异;涠洲岛赤潮监控区表层海水中N、P和Si含量存在明显的月变化特征,4月份表层海水中各类营养盐含量相对较高,为赤潮发生提供良好的物质基础;监控区N/P值为28.5:1~57.6:1, $\text{PO}_4\text{-P}$ 对监控区浮游植物的繁殖生长起着潜在的限制性作用。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 覃仙玲,陈波. 广西沿海赤潮多发区高浓度氮磷营养元素来源探讨[J]. 广西科学院学报, 2018, 34(3): 222-227.
- [3] 侍茂崇,陈波. 涠洲岛东南部海域高浓度氮和磷的来源分析[J]. 广西科学, 2015, 22(3): 237-244.
- [4] 广西壮族自治区海洋局. 广西壮族自治区2015年广西海洋环境状况公报[R]. 南宁:广西壮族自治区海洋局, 2016.
- [5] 广西壮族自治区海洋局. 广西壮族自治区2016年广西海洋环境状况公报[R]. 南宁:广西壮族自治区海洋局, 2017.
- [6] 广西壮族自治区海洋局. 广西壮族自治区2017年广西海洋环境状况公报[R]. 南宁:广西壮族自治区海洋局, 2018.
- [7] NENUDORFER J V, KEMP W M. Nitrogen versus phosphorus enrichment of brackish waters: Response of the submerged plant *Potamogeton perfoliatus* and its associated algal communities [J]. Marine Ecology Progress Series, 1993, 94: 71-82.
- [8] TATLOR D I, NIXON S W, GRANGER S L, et al. Responses of coastal lagoon plant communities to different forms of nutrient enrichment—A mesocosm experiment [J]. Aquatic Botany, 1995, 52: 19-34.
- [9] 韩丽君,郑新庆,蓝文陆,等. 近10年涠洲岛周边海域表层海水营养盐含量变化特征[J]. 应用海洋学报, 2015, 34(1): 65-72.
- [10] 何本茂,黎广钊,韦蔓新,等. 涠洲岛珊瑚礁海域氮磷比值季节变化与浮游生物结构的关系[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(4): 64-72.
- [11] 李小敏,张敬怀,刘国强. 涠洲岛附近海域一次红海束毛藻赤潮生消过程分析[J]. 广西科学, 2009, 16(2): 188-192.
- [12] 邱绍芳,赖廷和,庄军莲. 涠洲岛南湾港海域发生铜绿微囊藻赤潮实例分析[J]. 广西科学, 2005, 12(4): 330-333.
- [13] 齐雨藻,张家平,吴坤东. 中国沿海的赤潮——深圳湾富营养化与赤潮研究[J]. 暨南大学学报(赤潮研究专刊), 1989(10): 86-89.
- [14] 崔党群. 生物统计学[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1994: 34-35.
- [15] JUSTIĆ D, RABALAIS N N, TURNER R E, et al. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1995, 40(3): 339-356.
- [16] 夏华永,李树华,侍茂崇. 北部湾三维风生流及密度流模拟[J]. 海洋学报, 2001, 23(6): 11-23.
- [17] NELSON D M, BRZEZINSKI M A. Kinetics of silicate acid uptake by natural diatom assemblages in two Gulf Stream warm-core rings [J]. Marine Ecology Progress Series, 1990, 62(3): 283-292.
- [18] 张正斌,顾宏堪,刘莲生,等. 海洋化学[M]. 上海:科学技术出版社, 1984: 276-281.
- [19] 任玲,杨军. 海洋中氮营养盐循环及其模型研究[J]. 地球科学进展, 2000, 15(1): 58-64.
- [20] 侍茂崇. 北部湾环流研究评述[J]. 广西科学, 2014(4): 313-324.
- [21] 张丽旭,蒋晓山,蔡燕红. 近4年来象山港赤潮监控区营养盐变化及其结构特征[J]. 海洋通报, 2006, 25(6): 1-9.
- [22] REDFIELD A C, KETCHUP B H, RICHARDS F A. The influence of organisms on the composition of seawater [M]// HILL M N, GOLDBERG E D, ISELIN C O D, et al. The sea: Vol. 2. London: Interscience Publishers, 1963: 26-77.
- [23] 韦蔓新,黎广钊,何本茂,等. 涠洲岛珊瑚礁生态区各种形态磷含量的季节变化及其影响因素[J]. 应用海洋学报, 2013, 32(2): 258-265.

Variations and Structure Characteristic of Nutrients in Red -tide Monitoring Area of Weizhou Island

XING Sukun, LI Ping, HE Zhijiang, LI Wuquan

(Beihai Marine Environmental Monitoring Center, SOA, Beihai, Guangxi, 536000, China)

Abstract: Based on the analysis of nutrient monitoring data of red tide monitoring area from 2010 to 2013, the eutrophication evaluation, spatial fluctuation evaluation and nutrient limitation evaluation method were used to study the temporal and spatial variation of nutrient content in the monitoring area of red tide in Weizhou Island, and to explore the nutrient status and structure characteristics. In 2010–2013, the nutrient content in the red tide monitoring area of Weizhou Island did not reach the eutrophication standard. The range of variation coefficients of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ content was 0.10–0.21 and 0.11–0.24, respectively. There was a significant difference in spatial fluctuation between years. Except for the relatively high nutrient content in the S1 site in 2011, there was no significant difference among the monitoring sites in the other years. The contents of nitrogen (N), phosphorus (P) and silicon (Si) in the surface seawater of Weizhou Island red tide monitoring area had obvious characteristics of monthly changes. In April, the content of various nutrients in the surface seawater was relatively high. The change of nitrogen/phosphorus ratio (N/P value) in the monitoring area was 28.5 ± 1 to 57.6 ± 1 , and the active phosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$) had a potential limiting effect on the reproduction and growth of phytoplankton in the monitoring area. The content of nutrients in the red tide monitoring area of Weizhou Island had a high value in April, which provided the basic conditions for the proliferation of phytoplankton. The supplementation of the phosphorus (P) by spring and summer wind currents and the alleviation of phosphorus restrictions in the sea may be the reason why the red tide occurred many times in Weizhou Island in recent years.

Key words: red tide, Weizhou Island, nutrient, structural features, eutrophication, spatial-temporal change

责任编辑:符支宏



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱: gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>