

◆全流域生态环境治理◆

广西北部湾近岸海域近 20 年赤潮灾害特征分析*

粟启仲^{1,2}, 雷学铁^{1,2**}, 刘国强^{1,2}, 孙燕¹, 劳齐斌², 孙田力³

(1. 国家海洋局北海海洋环境监测中心站, 广西北海 536000; 2. 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室, 广东广州 510000; 3. 自然资源部海洋减灾中心, 北京 100194)

摘要:本研究对广西北部湾近岸海域 2002-2021 年发生的 20 次赤潮灾害进行综合分析, 结果表明: 近 20 年广西近岸海域赤潮平均每年发生 1 次, 发生面积约为 384 km², 持续时间为 3.65 d, 主要集中在春夏季, 近 10 年(2012-2021 年)相对前 10 年(2002-2011 年)赤潮发生面积增加(18 倍)。引发赤潮的生物种类共有 10 种, 其中次数最多的是球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*), 其次是夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)和红海束毛藻(*Trichodesmium erythraeum*), 但近 10 年不断有新的赤潮藻种出现。赤潮发生总数中, 有毒或有害赤潮 11 次, 分别为球形棕囊藻 4 次, 夜光藻和水华微囊藻各 3 次, 链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*) 1 次。广西近岸海域赤潮发生的分布范围广, 2008 年以前主要发生在北海市涠洲岛海域, 2008 年以后钦州市三娘湾和三墩岛海域、北海市廉州湾及防城港市防城湾陆续开始发生赤潮。通过综合分析近 20 年北部湾近岸海域赤潮发生和分布的基本特征, 为北部湾赤潮预警预报及治理工作提供科学依据。

关键词:赤潮预警监测 赤潮灾害 分布特征 赤潮藻种 北部湾

中图分类号: P76 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2022)03-0552-06

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20220720.018

赤潮是海洋生态系统中的一种异常现象, 是在特定的环境条件下, 海水中某些赤潮生物暴发增殖或高密度聚集而引起水体变色的一种生态异常现象^[1]。赤潮不仅严重破坏海洋生态平衡、影响渔业和滨海旅游业, 造成直接经济损失, 还通过直接接触或食物链富集危害人类健康^[2]。近年来, 随着沿海经济的快速发展, 陆源污染物输入的增加, 导致近岸海域有害藻

类暴发(赤潮)的频率增加^[3]。广西北部湾近岸海域位于北部湾东北部, 西起中越边境的北仑河口, 东与广东省英罗港接壤, 东南与海南省相望, 海岸线长 1 628.59 km。广西近岸海域具有丰富的港口、滩涂、海洋生物和滨海旅游资源, 是北部湾的重要渔区, 为社会经济发展提供了有利条件。然而, 近年来随着广西沿海经济的快速增长, 在高强度人类活动和气候变

收稿日期: 2022-03-07

* 广西自然科学基金项目(2020GXNSFBA297065), 国家重点研发计划(2017YFC1404300)和广西科技基地和人才专项(桂科 AD20238018)资助。

【作者简介】

粟启仲(1989-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海洋环境监测与评价工作。

【**通信作者】

雷学铁(1988-), 男, 博士, 工程师, 主要从事海洋环境评价、典型海洋生态系统调查与评估工作, E-mail: xueteilei@yeah.net。

【引用本文】

粟启仲, 雷学铁, 刘国强, 等. 广西北部湾近岸海域近 20 年赤潮灾害特征分析[J]. 广西科学, 2022, 29(3): 552-557.

SU Q Z, LEI X T, LIU G Q, et al. Characteristics of Red Tide Disaster in Coastal Waters of Beibu Gulf of Guangxi in Recent 20 Years [J]. Guangxi Sciences, 2022, 29(3): 552-557.

化等多重压力下,北部湾近海生境退化问题日益严重,海域水体富营养化程度呈增长趋势^[4-7]。此外,近年来北部湾河流的营养盐入海通量显著升高,这可能是导致北部湾近岸水体富营养化及赤潮发生的重要因素^[8]。这也导致了近 40 年来,北部湾藻类异常增殖次数明显上升,尤其是近 10 年,藻类暴发比例明显比之前高^[3]。因此,开展赤潮灾害特征分析对赤潮监测预警和防灾减灾具有重要意义。

目前关于广西北部湾近岸海域长时间系列关系赤潮研究的系统报道较少。鉴于此,本研究收集整理了广西近岸 2002 - 2021 年所记录的赤潮资料,对近

表 1 2002 - 2021 年广西近岸海域赤潮发生情况

Table 1 Occurrence of red tides in the coastal waters of Guangxi from 2002 to 2021

赤潮发生海域 Occurrence area of red tides	发生时间 Occurrence time	持续天数 (d) Lasting days (d)	发生面积 (km ²) Occurrence area(km ²)	赤潮生物种 Species of red tides	赤潮生物种 密度(个/L) Species density of red tide organisms (cell/L)	是否为有毒 有害赤潮 Toxic or Harmful red tide	参考文献 Reference
Weizhou Island	2002.05	4	3	-	-	-	[9]
Weizhou Island	2002.06	-	20	<i>Trichodesmium hildebrandtii</i>	-	No	[5]
Weizhou Island	2003.06	-	20	<i>Microcystis flos-aquae</i>	-	Toxic	[5]
Weizhou Island	2003.07	2	10	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	-	No	[5]
Northern waters of Beihai	2004.02	9	40	<i>M. flos-aquae</i>	-	Toxic	[5]
Weizhou Island	2004.03	2	2	<i>M. flos-aquae</i>	-	Toxic	[5]
Weizhou Island	2004.06	4	40	<i>T. erythraeum</i>	-	No	[10]
Weizhou Island	2005.05	2	250	<i>T. erythraeum</i>	-	No	[5]
Qinzhou Sanniang Bay	2008.04	2	0.1	<i>Noctiluca scintillans</i>	3.0×10^6	Non-toxic, harmful	[5]
Sandun Island, Qinzhou	2011.04	7	1.2	<i>N. scintillans</i>	5.0×10^5	Non-toxic, harmful	This study
Lianzhou Bay	2011.11	2	10	<i>Phaeocystis globosa</i>	8.5×10^7	Non-toxic, harmful	This study
East and West Bay of Fangchenggang	2011.11	2	0.003	<i>P. globosa</i>	2.0×10^7	Non-toxic, harmful	This study
Qinzhou Bay	2012.03	1	-	<i>Lephtocylindrus danicus</i>	2.9×10^5	No	This study
Qisha Bay of Fangcheng- gang	2013.09	-	6	<i>Chaetoceros psedocurvisetus</i>	2.4×10^4	No	This study
Qinzhou Bay	2016.05	4	20	<i>Gymnodinium sanguineum</i>	9.1×10^5	No	This study
Weizhou Island	2017.03	3	837	<i>P. globosa</i>	9.0×10^8	Non-toxic, harmful	This study
Lianzhou Bay	2019.01	9	0.006	<i>P. globosa</i>	1.3×10^7	Non-toxic, harmful	This study
Weizhou Island	2021.02	4	6 400	<i>N. scintillans</i>	3.2×10^5	Non-toxic, harmful	This study
Sanniang Bay, Sandun Is- land, Dalanping, Qinzhou	2021.08	8	21	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	1.3×10^8	No	This study
Sandun Island, Qinzhou	2021.09	5	3.54	<i>Gymnodinium catenatum</i>	1.1×10^6	Toxic	This study

Note: "-" represents no record

1.2 分析方法

采用 ArcGIS、Excel 等软件,绘制空间分布图、柱状图、折线图、饼图等,结合求平均值等定量分析方法,对赤潮发生的时空特征、生物特征和赤潮等级特征进行分析。

20 年赤潮发生的时空分布特征、生物种特征和毒性特征进行分析研究,以期为广西近岸海域的赤潮监测、预警和治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

赤潮资料数据来源于国家海洋局北海海洋环境监测中心站及文献报道^[5,9,10],包括 2002 - 2021 年这 20 年的广西近岸海域赤潮发生海域、发生时间、持续天数、发生面积、赤潮藻类、赤潮生物种密度和是否有毒等相关基础数据(表 1)。

2 结果与分析

2.1 赤潮发生时间特征分析

从发生次数来看,近 20 年广西近岸海域共发生赤潮 20 次,平均每年发生 1 次,历年赤潮发生的次数

详见图1。其中, 2004年、2011年和2021年发生的次数最多, 均为3次, 2006年、2007年、2009年、2010年、2014年、2015年、2018年和2020年8年均未发生赤潮。前10年(2002-2011年)共发生赤潮12次, 后10年(2012-2021年)共发生赤潮8次。前10年和后10年赤潮发生次数分别占近20年赤潮发生总数的60%和40%。与我国其他海域如福建近岸海域(2000-2018年平均每年发生12次)^[11]和广东珠海^[12,13]等海域相比, 广西近岸海域赤潮发生的次数相对较少, 频次较低。主要由于广东和福建沿海经济较为发达, 经济的快速发展导致近岸海域陆源污染物输入增加, 引起较多的赤潮发生^[14,15]。

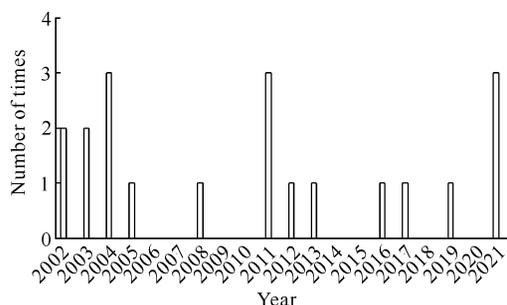


图1 广西近岸海域近20年赤潮发生次数

Fig. 1 Times of red tides occurrence in the coastal waters of Guangxi in recent 20 years

从发生面积来看, 近20年赤潮累计发生面积达到约7684 km², 平均每年发生面积约384 km²。其中2021年发生面积最大, 达到6424.54 km²; 2019年发生面积最小, 仅为0.006 km²。前10年累计发生面积约396 km², 后10年累计发生面积约7288 km², 后10年累计发生面积约为前10年的18倍, 表明后10年单次发生赤潮面积有所增加。统计结果表明, 20次赤潮中有50%的赤潮发生面积不大于10 km², 85%的赤潮发生面积小于50 km², 属于小规模赤潮。

从赤潮发生持续天数来看, 近20年赤潮发生累计持续天数为73 d, 平均每年持续3.65 d。历年赤潮发生持续天数详见图2。其中2021年持续天数最多, 为17 d, 2012年持续天数最少, 为1 d。前10年赤潮发生持续天数累计36 d, 占赤潮总持续天数的49.3%, 后10年赤潮持续天数累计37 d, 占赤潮总持续天数的50.7%, 表明广西近岸海域近20年赤潮发生持续天数变化不大。

从发生的月份来看, 近20年广西近岸海域赤潮最早发生在1月, 最迟在11月, 其中3月、5月和6

月最多, 均为3次(图3)。从发生的季节来看, 春季和夏季发生的次数较多, 秋季和冬季偶有发生, 尤其是广西北海市在秋冬季节时, 气温保持在21-25℃, 容易引发球形棕囊藻赤潮。

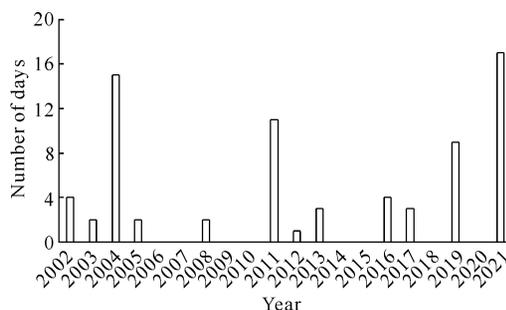


图2 广西近岸海域近20年赤潮发生持续天数

Fig. 2 Duration of red tide occurrence in the coastal waters of Guangxi in recent 20 years

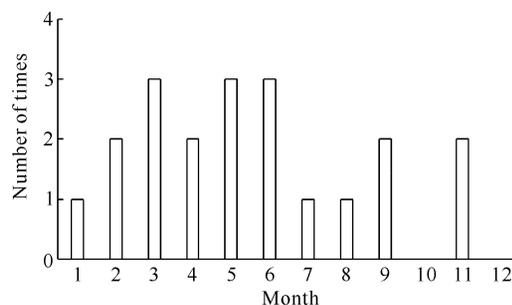


图3 广西近岸海域近20年各月份赤潮发生次数

Fig. 3 Times of red tides occurrence in each month in the coastal waters of Guangxi in recent 20 years

2.2 引发赤潮生物种类分析

广西近岸海域近20年赤潮生物种类共有10种, 其中甲藻门(Pyrrophyta)4种, 蓝藻门(Cyanophyta)3种, 硅藻门(Bacillariophyta)2种, 金藻门(Chryso-phyta)1种, 赤潮生物详细名录见表1。引发赤潮次数最多的是球形棕囊藻(*P. globosa*), 发生4次, 2011年发生2次, 2017年和2019年各发生1次, 占赤潮发生总数的20%。其次是夜光藻(*N. scintillans*)、水华微囊藻(*M. flos-aquae*)和红海束毛藻(*T. erythraeum*), 各发生3次, 共占赤潮发生总数的45%, 夜光藻赤潮发生在2008年、2011年和2021年, 水华微囊藻赤潮发生在2003年和2004年, 红海束毛藻赤潮发生在2003年、2004年和2005年。汉氏束毛藻(*T. hildebrandtii*)、丹麦细柱藻(*L. danicus*)、拟弯角毛藻(*C. psedocurvisetus*)、红色裸甲藻(*G. sanguineum*)、锥状斯克里普藻(*S. trochoidea*)和链状裸甲藻(*G. catenatum*)各发生1次, 其中锥状

斯克里普藻和链状裸甲藻均为2021年在广西近岸海域首次发生。统计结果表明,近10年广西近岸海域赤潮生物种类主要以球形棕囊藻和夜光藻为主,但也不断有新的赤潮藻类引发赤潮。

从有毒有害赤潮情况分析来看,近20年广西近岸海域共发生有毒有害赤潮11次,占赤潮发生总数的55%。其中引发有毒有害赤潮最多的为球形棕囊藻4次,其次为夜光藻和水华微囊藻各3次,链状裸甲藻1次。

2.3 赤潮发生空间分布特征

从发生海区来看,近20年广西北部湾海域赤潮

主要发生在钦州湾、涠洲岛和廉州湾附近海域(图4)。分布范围广,沿海三市(北海市、钦州市和防城港市)均有赤潮发生,其中北海市海域发生12次,占赤潮发生总数的60%,钦州市海域发生6次,占赤潮发生总数的30%,防城港市海域发生2次,占赤潮发生总数的10%。赤潮发生的海区较为集中,2008年以前主要发生在北海市涠洲岛海域,发生8次,此后涠洲岛海域发生赤潮的次数明显减少,仅发生2次。2008年以后,钦州三娘湾、三墩岛海域、廉州湾和防城港湾也陆续开始发生赤潮。

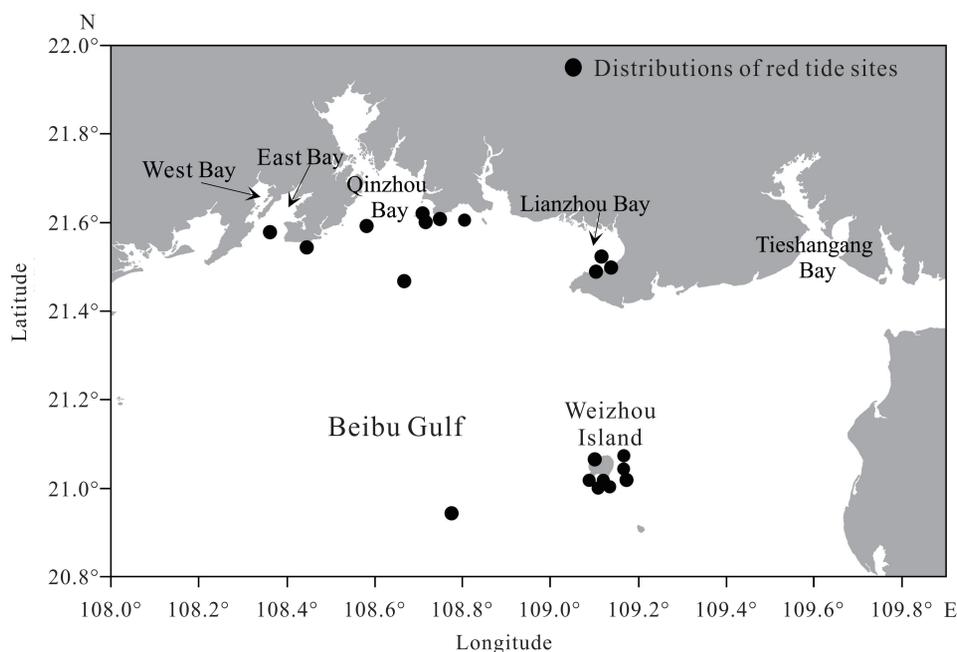


图4 广西北部湾海域近20年赤潮发生的区域

Fig. 4 Areas of red tides have occurred in Beibu Gulf waters of Guangxi in recent 20 years

3 讨论

3.1 赤潮发生趋势分析

虽然广西近岸海域赤潮发生的次数相对其他地方较少,如福建省^[11]和广东省^[12,13],但赤潮特征发生了一定变化,广西近岸海域赤潮灾害风险在增加,总体上呈现加重的趋势。主要表现在以下方面:(1)赤潮种类有所增加。2008年以前以单一的蓝藻门为主,2008年以后赤潮种类呈多样化,先后发生了甲藻门、硅藻门和金藻门赤潮,主要以夜光藻和球形棕囊藻为主。(2)单次赤潮发生面积有所增加。2005年以前,赤潮发生面积都是小于50 km²的小规模赤潮,2005年以后开始出现3次大面积的赤潮,最高达

6 400 km²。(3)赤潮发生海区不断扩大。2008年以前主要发生在北海市涠洲岛海域,2008年以后,钦州三娘湾、三墩岛海域、廉州湾和防城港湾也陆续开始发生赤潮。

3.2 赤潮发生原因浅析

赤潮发生的原因较为复杂,包括社会因素导致的海区富营养化和自然因素(水文气象、理化条件)等。近年来广西近岸海域赤潮发生特征变化的主要原因与赤潮高发区环境变化有关,主要表现在以下方面:(1)部分海域营养化趋势明显,为赤潮的形成提供了物质基础^[6,7]。如钦州湾海域,近40年水体富营养化呈现增长趋势^[7]。近年来,通过入海河流携带进入广西近岸海域的总磷、总氮呈显著增加趋势,由2008年

的 5 249 t 到 2017 年的 37 712 t, 近岸海域海水主要污染物为无机氮、活性磷酸盐, 污染区域主要分布在廉州湾、茅尾海、大风江口海域^[16]。此外, 北部湾河流营养盐入海通量在近些年也呈显著增长趋势, 尤其在夏季, 部分河流营养盐浓度及入海通量明显高于冬季, 这可能是加重北部湾水体富营养化及诱发赤潮的重要因素^[8]。(2) 围填海改变了海湾原有环境, 释放底部营养物质, 加速海区富营养化^[17]。(3) 广西近岸海域属于天然半封闭海湾, 海湾内水流动性和交换性较差, 营养物质和污染物不易扩散, 同时海湾内自西向东的气旋式环流, 带来大量粤西海域的营养物质, 为赤潮生物提供养分^[18-20]。

3.3 赤潮防范对策

加强广西北部湾入海流域及沿海地区污染防治和近岸海域环境保护, 减少污染物排放是防治海湾污染的根本措施, 引导海洋产业结构调整是关键, 建立有效的流域海湾管理制度是保障。严格执行入海污染物总量控制制度, 在南流江、大风江、钦江、茅岭江、防城河等主要入海河流实施总氮、总磷控制指标, 减少污染物入海, 确保河口近岸海域水质不下降, 减少赤潮高发海区富营养化的趋势。

加强赤潮预警监控体系建设, 在常规监测的基础上, 充分利用自动在线浮标监测, 积极构建北部湾赤潮监控预警系统, 实现赤潮的早期发现、早期预警和早期防范, 减少赤潮的危害。

加大科研资金投入, 鼓励国内外赤潮研究团队以北部湾为研究对象开展研究, 重点加强北部湾赤潮发生规律、预警预报技术及治理管理技术的研究, 加快开展广西北部湾海域灾害风险评估与区划工作, 为赤潮的监控预警及防范提供技术支持。

4 结论

近 20 年广西近岸海域赤潮发生时间特征: 共发生赤潮 20 次, 赤潮发生的次数相对较少, 平均每年发生 1 次, 发生面积约 384 km², 持续天数 3.65 d, 后 10 年(2012 - 2021 年)较前 10 年(2002 - 2011 年)赤潮发生面积有所增加, 持续天数相对稳定, 赤潮发生时间季节性不明显, 各季节均有赤潮发生, 相对集中在春夏两季。

近 20 年广西近岸海域引发赤潮的生物特征: 引发赤潮的生物有 10 种, 其中甲藻门 4 种, 蓝藻门 3 种, 硅藻门 2 种, 金藻门 1 种。引发赤潮次数最多的是球形棕囊藻、夜光藻、水华微囊藻和红海束毛藻。

广西近岸海域赤潮生物种类现阶段主要以球形棕囊藻和夜光藻为主, 但也不断有新的赤潮藻类引发赤潮。共发生有毒有害赤潮 11 次, 其中球形棕囊藻 4 次, 夜光藻和水华微囊藻各 3 次, 链状裸甲藻 1 次。

近 20 年广西近岸海域赤潮的空间分布特征: 分布范围广, 主要发生在钦州湾、涠洲岛和廉州湾附近海域。2008 年以前主要发生在北海市涠洲岛海域, 2008 年以后, 钦州三娘湾、三墩岛海域、廉州湾和防城港湾也陆续开始发生赤潮。

致谢:

感谢国家海洋局北海海洋环境监测中心站环境监测与工程研究室提供基础数据。

参考文献

- [1] 李冠国, 范振刚. 海洋生态学: 第 2 版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [2] 富砚昭, 韩成伟, 许士国. 近岸海域赤潮发生机制及其控制途径研究进展[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(1): 146-152.
- [3] XU Y X, ZHANG T, ZHOU J. Historical occurrence of algal blooms in the northern Beibu Gulf of China and implications for future trends [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2019, 10: 451. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00451.
- [4] 李斌, 刘保良, 陈旭阳, 等. 基于海洋生态在线监测浮标数据的钦州湾藻华过程研究[J]. 广西科学, 2021, 28(1): 30-36.
- [5] 姜宁. 广西北部湾海域赤潮演变趋势分析及其防控思路[J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(11): 82-85.
- [6] LAO Q B, LIU G Q, SHEN Y L, et al. Biogeochemical processes and eutrophication status of nutrients in the northern Beibu Gulf, South China [J]. *Journal of Earth System Science*, 2021, 130(4): 199. DOI: 10.1007/s12040-021-01706-y.
- [7] 劳齐斌, 刘国强, 高劲松, 等. 钦州湾养殖区营养盐分布特征及富营养化状况研究[J]. 海洋环境科学, 40(3): 407-416.
- [8] 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.
- [9] 李风华, 赖春苗. 广西海域赤潮调查及对策建议[J]. 环境科学与管理, 2007, 23(9): 76-77, 109.
- [10] 李小敏, 张敬怀, 刘国强, 等. 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.
- [11] 黄春秀, 陈火柴, 李聪. 2000 - 2018 年福建近岸海域赤潮分布特征[J]. 应用海洋学学报, 2020, 39(4): 542-

- 550.
- [12] 韦桂秋,王华,蔡伟叙,等.近10年珠江口海域赤潮发生特征及原因初探[J].海洋通报,2012,31(4):466-474.
- [13] 冷科明,江天久.深圳海域近20年赤潮发生的特征分析[J].生态科学,2004,23(2):166-170,174.
- [14] CHEN,B H,WANG K,DONG X,et al. Long-term changes in red tide outbreaks in Xiamen Bay in China from 1986 to 2017 [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science,2021(249):107095.
- [15] LIU R J,ZHANG J,CUI B G,et al. Red tide detection based on high spatial resolution broad band satellite data: A case study of GF-1 [J]. Journal of Coastal Research,2019,90(SI):120-128.
- [16] 广西壮族自治区海洋局.广西壮族自治区海洋环境质量公报[R].南宁:广西壮族自治区海洋局,2008-2017.
- [17] 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.
- [18] 俎婷婷.北部湾环流及其机制的分析[D].青岛:中国海洋大学,2005.
- [19] 姜发军,陈波,何碧娟,等.2010年夏季广西北部湾沿岸浮游植物分布特征及其与环境因子的相关性[J].广西科学,2012,19(4):377-383.
- [20] 朱冬琳,陈波,牙韩争,等.广西近海污染物输运模拟研究[J].广西科学,2019,26(6):669-675.

Characteristics of Red Tide Disaster in Coastal Waters of Beibu Gulf of Guangxi in Recent 20 Years

SU Qizhong^{1,2}, LEI Xuetic^{1,2*}, LIU Guoqiang^{1,2}, SUN Yan¹, LAO Qibin², SUN Tianli³

(1. Marine Environmental Monitoring Centre of Beihai, State Oceanic Administration, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. Key Laboratory of Marine Environmental Survey Technology and Application, Ministry of Natural Resources, Guangzhou, Guangdong, 510000, China; 3. Marine Disaster Reduction Center, Ministry of Natural Resources, Beijing, 100194, China)

Abstract: In this study, 20 red tide disasters occurred in the coastal waters of Beibu Gulf in Guangxi from 2002 to 2021 were comprehensively analyzed. The results showed that the red tide occurred once a year on average in the coastal waters of Guangxi in recent 20 years, with an area of about 384 km² and the duration of 3.65 d, mainly concentrated in spring and summer. The occurrence area of red tide in recent 10 years (2012-2021) increased by 18 times compared with that in the previous 10 years (2002-2011). There are 10 species of organisms causing red tides, among which *Phaeocystis globosa* is the most frequent one, followed by *Noctiluca scintillan*, *Microcystis flos-aquae* and *Trichodesmium erythraeum*. However, new species of red tide algae have emerged continuously in recent 10 years. Among the total number of red tides, there were 11 toxic or harmful red tides, 4 times of *P. globosa*, 3 times of *N. scintillan* and *M. flos-aquae*, and 1 time of *Gyrodinium catenatum*. Red tides occurred widely in coastal waters of Guangxi. Before 2008, they mainly occurred in Weizhou Island of Beihai city. After 2008, red tides also began to occur in Sanniang Bay and Sandun Island of Qinzhou City, Lianzhou Bay of Beihai City, and Fangchenggang Bay of Fangchenggang City. The basic characteristics of occurrence and distribution of red tides in the coastal waters of Beibu Gulf in recent 20 years are comprehensively analyzed to provide a scientific basis for the early warning forecast and management of red tides in Beibu Gulf.

Key words: red tide warning and monitoring; red tide disasters; distribution characteristics; red tides species; Beibu Gulf

责任编辑:梁 晓