

1984—2023年华南三省(区)近岸海域赤潮时空特征研究

仇月萍¹, 向昆仑^{2*}, 周水华¹, 罗军¹, 曾丽红¹, 赵长进¹, 徐博良¹

(1.自然资源部南海预报减灾中心,广东广州 510310;2.广东省生态气象中心,广东广州 510640)

摘 要: 收集华南三省(区)近岸海域1984—2023年的赤潮发生记录,利用地理信息系统(GIS)技术分析该海域赤潮的时空分布特征。结果表明:华南三省(区)近岸海域赤潮发生次数整体呈现上升趋势,年累计面积波动大;一年四季均有发生,春季是高发季节,高发月份为1—5月,其中4月发生次数最多;多以小型赤潮为主,约92%的赤潮发生在广东近岸海域,主要分布在珠江口、大鹏湾、湛江、大亚湾、汕尾、潮汕等内湾海域;夜光藻为华南三省(区)近岸海域第一优势藻种,主要发生在春、秋、冬三季的大鹏湾海域,发生频次排前四的优势藻种为夜光藻、球形棕囊藻、红色赤潮藻和中肋骨条藻。

关键词: 赤潮;时空分布特征;华南三省(区)近岸海域

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2025)02-0068-08

0 引言

赤潮又称红潮,是指在一定的环境条件下,海水中某些浮游植物、原生动物或细菌在短时间内突发性增殖或高度聚集而导致水体变色的生态异常现象^[1]。赤潮会破坏渔业资源和海产养殖产业,导致海洋生态失衡恶化,影响滨海旅游业及核电设施的安全运行,更严重的是有些藻类会分泌毒素,不仅危害海洋生物,还会通过食物链进入人体,危害人类健康^[2]。目前,全球大多数沿海国家均受过不同程度的赤潮灾害影响,导致了严重的经济损失。中国同样未能幸免,长期以来,我国近岸海域持续受到赤潮的侵害。广东省作为南海之滨的重要经济大省,已被列为我国三大赤潮高发地区之一^[3]。近年来,随着海洋牧场规划工作的逐步推进和加速实施,构建海上“蓝色粮仓”的任务愈发紧迫,赤潮灾害的监测与防治工作面临更为严峻的挑战。

国内外专家学者从各学科的角度出发,对赤潮的发生机制、监测方法、预报及防灾减灾等方面进

行了广泛而深入的研究,已经构建了涵盖海洋生物学、化学、气象学等多学科的研究框架。Uhlig等^[4]对1968—1988年发生在德国的夜光藻赤潮事件进行了深入分析,这为赤潮研究奠定了坚实的理论基础。我国自成立赤潮委员会以来,众多学者致力于开展赤潮生物及其与环境因素的相关性分析、赤潮监测预报和减灾技术以及特定赤潮过程的深入研究。吴瑞贞等^[5]研究并分析了1980—2004年发生在南海的赤潮事件及其时空分布特征;Zhang等^[6]通过统计赤潮个例生成前的水文气象要素,分析了赤潮暴发的重要因子及环流形势,并建立了赤潮预报方法;王素芬等^[7]利用历史数据和卫星观测,分析了1980—2003年南海海域发生的赤潮事件与环境特征;洛昊等^[8]研究了我国赤潮的时空分布特征及变化规律,并提出了应对赤潮灾害的减灾措施。上述研究为赤潮研究与防治工作提供了科学依据^[8-9]。与早期实地调查数据^[10-11]或遥感数据大尺度分析^[12]的方法不同,随着地理信息系统(Geographic Information System, GIS)强大的空间分析功能在气

收稿日期: 2024-04-19。

基金项目: 广东省自然科学基金青年项目(2020A1515110423)。

作者简介: 仇月萍(1983-),女,工程师,硕士,主要从事海洋环境预报和气候变化研究。E-mail: qypnuist@163.com

*通信作者: 向昆仑(1990-),男,高级工程师,博士,主要从事气候变化与环境生态学研究。E-mail: xiangkunlun8@126.com

象、地质、海洋等行业的广泛应用,近年来众多学者开始运用GIS技术深入研究赤潮的时空分布特征,已取得了显著的进展。例如,李志文等^[13]将中国近海赤潮发生的时空分布规律从2001—2017年^[2]扩大至1950—2020年,并获得优势种的演变过程;李阳东等^[14]利用自适应宽度核密度法分析了浙江近岸海域赤潮的时空分布特征;易斌等^[15]分析了华南近海的赤潮分布特征,并探讨了湛江港和大鹏湾内赤潮优势种存在差异的原因;陈炜婷等^[16]分析了2001—2020年广东海域的赤潮时空分布特征。这些研究进一步摸清了我国相应海域赤潮的时空分布规律,为本研究提供了参考。但现有研究主要存在两大局限:一是早期监测技术手段相对落后,导致历史资料的完整性和准确性不足,这不可避免地会对统计结果产生影响;二是关于华南三省(区)近岸海域赤潮的研究相对较少,多数研究聚焦于2010年之前,对长时间跨度的时空分布特征缺乏深入探讨,尤其是缺少最新的研究成果。

因此,为更准确地揭示华南三省(区)赤潮的发生规律及时空特征,本研究收集更大时间跨度及最新的数据进行了较为全面、系统的分析。研究旨在通过补充、修正前人的研究成果,填补近40年该海域赤潮发生规律及时空演变特征研究的不足,进一步增强赤潮监测和防灾减灾的能力,从而为海洋牧场的规划选址提供参考依据。

1 数据和方法

1.1 研究区域

南海是中国三大边缘海之一,海域面积约为365万平方千米。南海地处亚洲大陆南部的热带和亚热带区域,属于热带海洋性季风气候,其生态环境极为复杂,涵盖多种典型的生态系统。南海沿海地区均为优质渔场,南海海洋捕捞的80%渔获量源自其北部沿岸的近海水域。南海赤潮常发生在近岸海域,容易受季风、天气、海洋环流、上升流及人类活动的多重影响。本研究涉及的区域包括广东、广西、海南三省(区)近岸海域。

1.2 数据收集和处理

本文收集整理了《南海区海洋灾害公报》(2017—

2023年)和《南海区海洋环境状况公报》(2012—2016年)(网址:<https://scs.mnr.gov.cn/scsb/gbytyj/list.shtml>)、《中国海洋灾害公报》(1989—2023年)(网址:https://www.mnr.gov.cn/sj/sjfw/hy/gbgg/zghyzhgb/index_1.html)、《广东省海洋环境质量公报》(1995—2023年)(网址:http://gdee.gd.gov.cn/hjzkgb/index_3.html)的有关记录以及1984—1989年公开发表的文献及书籍数据^[1,6,17]。资料包含广东、广西、海南三省(区)的赤潮数据。受制于观测手段和监测能力,某些年份(如2002年)的数据缺失或不够详细,导致赤潮记录数据与实际发生频率之间可能存在差异。本文实际分析赤潮时空分布特征时采用的是2000年后的数据,该时期的赤潮监测工作结合了卫星遥感图像,结果更准确且发布更权威。

本文对赤潮数据的处理方法为:①收集整理各公报及文献,统计赤潮发生时间、海域、面积及优势藻种等信息。②将上述信息按时间和空间进行常规统计分析,其中季节按照气候统计划分,即春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12月—次年2月)。③由于公报中赤潮空间分布描述的是大致海域,缺乏具体的面状经纬度信息,在实际分析中为便于落图分析,采用“中心法”思想,利用地图坐标拾取器找出赤潮发生海域中心点的大致位置,实现由描述性位置到“点数据”的转变^[14],本文利用该方法共得到华南三省(区)近岸海域265个赤潮“点数据”。利用ArcGIS(Arc Geographic Information System)空间分析功能中的核密度分析,分析离散的空间点数据在连续的空间平面区域的分布情况,即根据赤潮分布频次进行制图,利用自然断点法分析赤潮持续时间的空间分布特征。

2 结果和分析

2.1 华南三省(区)近岸海域赤潮发生时间变化特征

2.1.1 年际变化特征

统计1984—2023年华南三省(区)近岸海域的赤潮发生记录。从图1可见,华南三省(区)近岸海域共计发生赤潮265次,年平均约为9次,整体随年份增加呈现上升趋势。赤潮峰值出现在2016年,为17次,约为平均值的2倍,其次是1990年、2012年、2014年和2021年,均为16次,并列第二;赤潮发生

次数最少的是1996年,仅有1次。从年代际来看,2000年以前的赤潮年平均次数少于5次,除1990年和1991年分别为16次和10次外,其他年份的次数均在均值附近波动。赤潮暴发年累计面积最大的是2021年,超过6 196 km²,远高于年累计面积平均值70.7 km²,最少是2019年,约为12 km²,可见赤潮年累计面积波动较大。

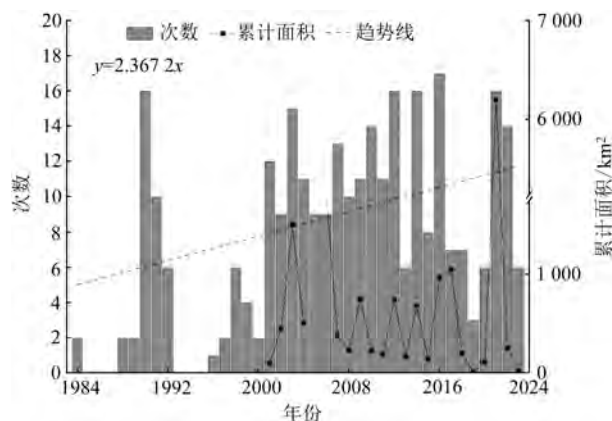


图1 1984—2023年华南三省(区)近岸海域发生赤潮次数和累计面积分布

Fig.1 The annual number and cumulative area distribution of red tides in the coastal regions of three provinces (regions) of South China from 1984 to 2023

2.1.2 年内变化特征

从2001—2023年华南三省(区)近岸海域各季赤潮累计发生次数和累计面积分布可见(见图2),该海域赤潮一年四季均有发生,高发期在春季,次数高达78次,占全年的37%,其次是冬季,为56次,占比约27%,夏季与秋季分别为40次和37次,这表明赤潮作为海洋生态事件具有季节性。累计面积最大的是冬季,约为7 929 km²,其次是春季,约为2 697 km²。

从2001—2023年华南三省(区)近岸海域各月赤潮发生次数来看(见图3),该海域赤潮主要发生在1—5月,共占年发生次数的60%,其中,4月最多,9月和12月较少。2月赤潮发生的累计面积最大,约为7 215 km²,9月最小,约为137 km²。

2.2 华南三省(区)近岸海域赤潮发生空间分布特征

2.2.1 赤潮持续时间

经过分析统计,我们发现在华南三省(区)近岸

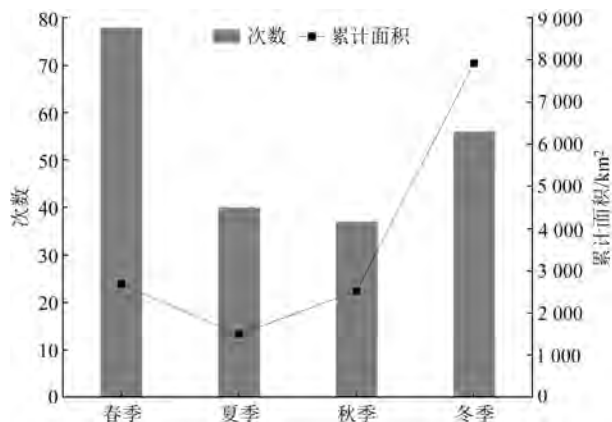


图2 2001—2023年华南三省(区)近岸海域各季赤潮累计发生次数和累计面积分布

Fig.2 Seasonal cumulative number and area distribution of red tides in the coastal regions of three provinces (regions) of South China from 2001 to 2023

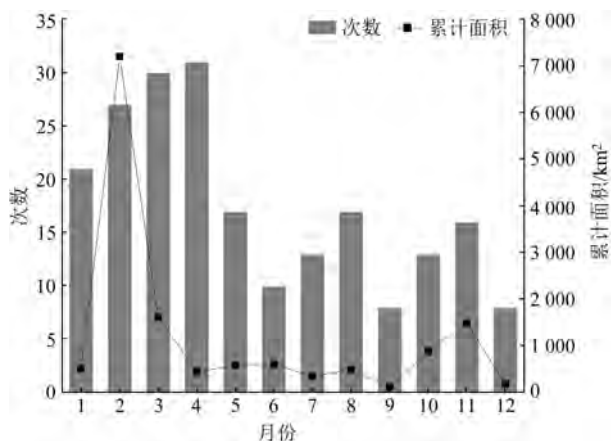


图3 2001—2023年华南三省(区)近岸海域各月赤潮累计发生次数和累计面积分布

Fig.3 Monthly cumulative number and area distribution of red tides in the coastal regions of three provinces (regions) of South China from 2001 to 2023

海域的赤潮累计次数、累计面积和持续时间上,广东的各项指标均显著高于海南和广西,约有92%的赤潮发生在广东省近岸海域。从图4可以看出,广东省赤潮高发区主要集中在珠江口、大鹏湾、湛江、大亚湾,其次是汕尾、潮汕近岸海域;广西壮族自治区的赤潮主要分布在北海及钦州近岸海域;海南省的赤潮在环岛近岸海域均有发生。华南三省(区)近岸海域赤潮的平均持续时间约为9天,其中广西最短,为3天。华南三省(区)近岸海域65%的赤潮

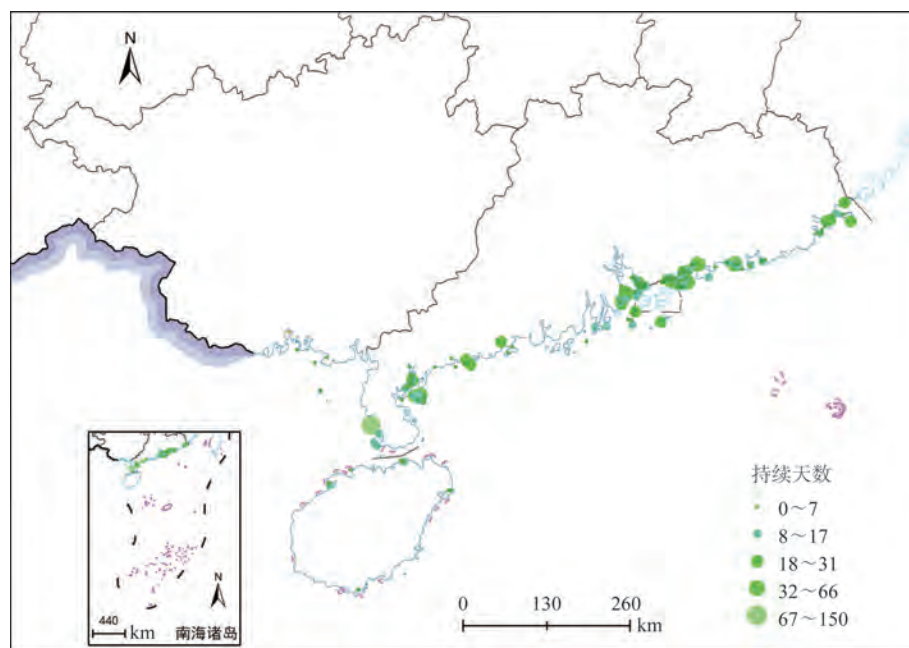


图4 1984—2023年华南三省(区)近岸海域赤潮持续时间空间分布

Fig.4 Spatial distribution of red tide duration in the coastal regions of three provinces (regions) of South China from 1984 to 2023

持续时间在7天内,持续时间在8~17天的约占25%,超过1个月的赤潮事件为7起,其中持续时间最长的为5个月,仅有1起。上述7起赤潮事件分别发生在1998年1—2月的汕尾海域、1998年3月—4月上旬的珠江口海域、2005年11月28日—2006年4月中下旬的徐闻海域、2009年11月4日—12月21日的珠江口海域、2009年11月9日—12月29日的湛江海域、2016年3月4日—5月9日的大亚湾海域、2021年1月25日—2月24日的珠海海域。

2.2.2 赤潮发生面积空间

统计2001—2023年华南三省(区)近岸海域213个赤潮发生记录,根据赵玲等^[18]对我国有害赤潮的灾害分级,将单次赤潮面积在1 000 km²以上、500~1 000 km²、100~500 km²、50~100 km²和小于50 km²的分别定义为特大型、重大型、大型、中型和小型赤潮。从2001—2023年华南三省(区)近岸海域赤潮面积空间分布图可以发现(见图5),该海域的赤潮多以小型赤潮为主,占比高达约78%;大型和中型占比相当;有两次重大型赤潮过程,分别为2012年汕尾海域以长角弯角藻和脆根管藻为优势藻的赤潮(面积达535 km²),以及2006年徐闻海域发生的以球形棕囊藻为优势藻的赤潮(面积高达700 km²);

2021年2月在广西北海涠洲岛以西海域发生的以夜光藻为优势种的赤潮属于特大型赤潮过程(面积为6 000 km²),是本文统计期间该海域记录的最大面积的赤潮事件。总的来看,珠江口海域的赤潮灾害以大型、中型和小型为主,大亚湾海域及大鹏湾海域以中型赤潮为主,湛江海域以大型赤潮居多;潮汕海域以中小型赤潮为主;海南岛除洋浦发生过大型赤潮外,其他均为小型赤潮。

2.2.3 赤潮发生频率

利用ArcGIS空间分析功能中的核密度分析来制作赤潮发生频率分布。从分析结果可见(见图6),华南三省(区)近岸海域赤潮主要分布在珠江口、大鹏湾、湛江、大亚湾、汕尾、潮汕海域,其中珠江口、大鹏湾及大亚湾附近海域赤潮的分布密度介于中—高之间,符合我国近岸海域赤潮高发区域集中在海湾、河口、港湾等海域^[8]的研究结论。

2.3 华南三省(区)近岸海域主要赤潮优势种

在华南三省(区)近岸海域赤潮发生频次前十的生物种类中(见图1),甲藻门生物占据主导地位,其次是硅藻门。发生频次前四的优势藻种分别是夜光藻、球形棕囊藻、红色赤潮藻和中肋骨条藻。

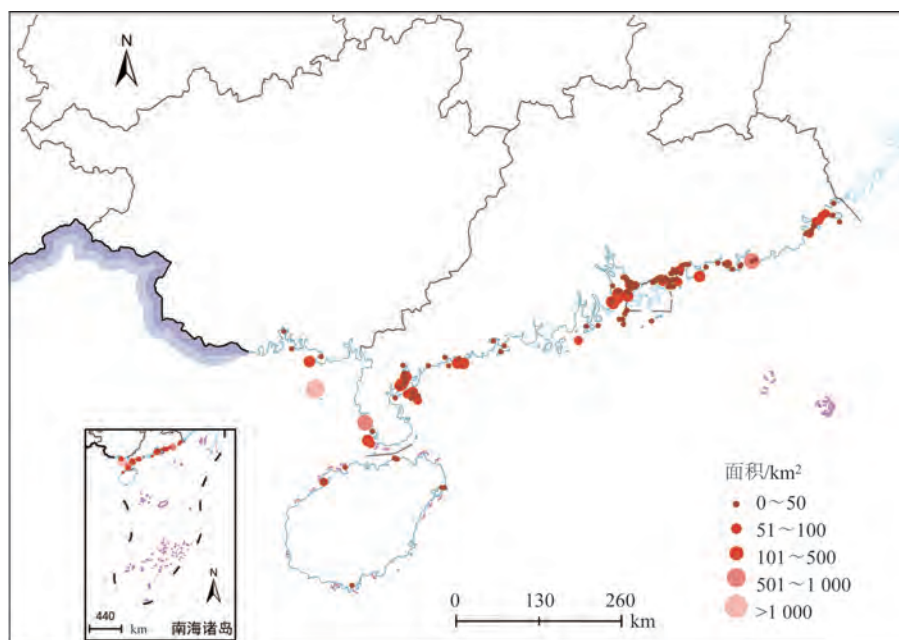


图5 2001—2023年华南三省(区)近岸海域赤潮面积空间分布图

Fig.5 Spatial distribution of red tide area in the coastal regions of three provinces (regions) of South China from 2001 to 2023

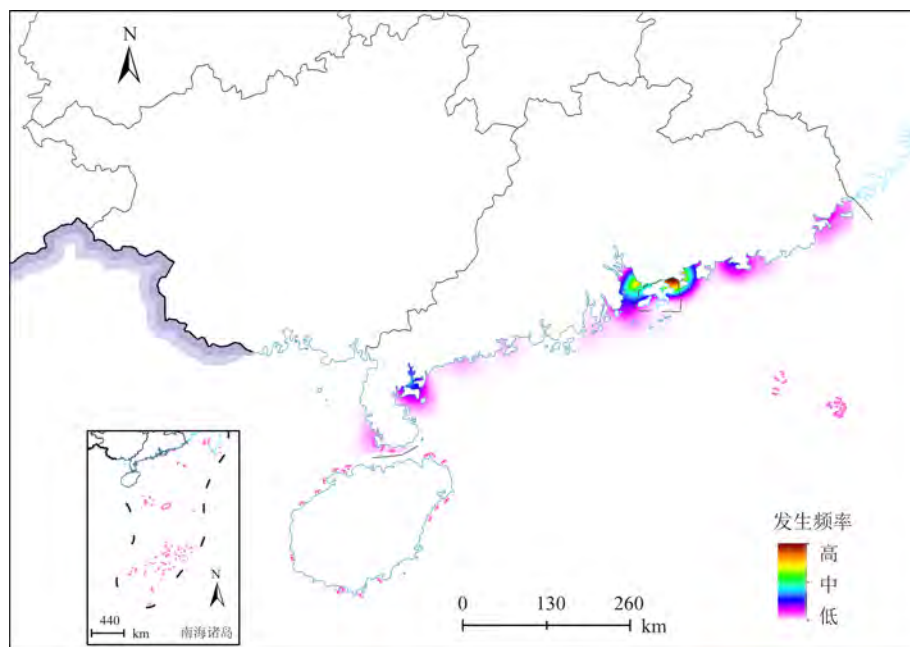


图6 华南三省(区)近岸海域赤潮分布区发生的频率分布

Fig.6 Frequency distribution of red tides in the coastal regions of three provinces (regions) of South China

夜光藻多年来一直是华南三省(区)近岸海域赤潮的第一优势藻种,约19%的赤潮诱发优势种都是夜光藻,该藻种发生累计面积高达6 736.5 km²。从空间分布来看,夜光藻优势种赤潮中约60%发生在大

鹏湾海域;球形棕囊藻约25%发生在湛江海域,其次是汕头海域;红色赤潮藻主要发生在珠江口、大亚湾及大鹏湾海域;中肋骨条藻约60%发生在湛江海域。珠江口海域的主要赤潮优势藻种是夜光藻、

红色赤潮藻、中肋骨条藻、双胞旋沟藻,其他优势藻种包括锥状斯克里普藻、红色中缢虫、球形棕囊藻、丹麦细柱藻、海链藻等,但占比均较低。从时间分布来看,夜光藻发生在春季、秋季和冬季;球形棕囊藻在除5月外的月份均有发生;红色赤潮藻主要集中在1—6月以及12月;中肋骨条藻主要集中在3—10月以及1月。

据张有份^[19]统计,中国近岸海域的赤潮生物种类共计30多个属,150种。除了原生动物红色中缢虫外,其他所有赤潮生物均属于浮游藻类。这其中,已被确认的有毒赤潮生物为83种,占比达到55.3%。统计1984—2023年华南三省(区)近岸海域不同生物种的赤潮频次(见表1),结果显示,赤潮藻类共有64种。1990年之前,优势种主要为夜光藻,种类相对较少,且未发生有毒赤潮;自1990年起,赤潮种类明显增多并出现了有毒赤潮,主要的有毒赤潮生物包括球形棕囊藻(43次)、红色赤潮藻(27

次)、赤潮异弯藻(7次)、米氏凯伦藻(5次)、多环旋沟藻(4次)、链状裸甲藻(2次)、束毛藻(2次)、微小原甲藻(1次)、具刺膝沟藻(1次)。

据统计,球形棕囊藻是华南三省(区)近岸海域赤潮的第二优势种,也是有毒藻类的第一优势种。该藻种自1997年在中国东南沿海首次暴发以来^[20],在华南三省(区)近岸海域具有发生频率高、分布区域广、持续时间长的特点,其在汕头、湛江、珠江口等海域多次被发现^[21]。球形棕囊藻累计发生面积仅次于夜光藻,达3 257.3 km²,约25%发生在湛江海域,其次是汕头海域。2007年9月发生在汕尾港海域的球形棕囊藻赤潮,给近岸水产养殖业造成的直接经济损失约100万元。

3 结果与展望

从时间尺度上看,1984—2023年华南三省(区)

表1 1984—2023年华南三省(区)近岸海域赤潮发生频次前十的生物种类

Tab. 1 Top ten species of red tides in coastal region of three provinces (regions) of South China from 1984 to 2023

门类	生物种	次数	发生年份	发生面积/km ²	季节
甲藻门 Pyrrophyta	夜光藻	60	1988、1989、1990、1991、1992、2001、2002、2008、2009、2010、2011、2012、2013、2014、2015、2016、2018、2021、2022	6 736.5	春、秋、冬
	<i>Noctiluca scintillans</i>				
	红色赤潮藻	27	2011、2012、2014、2016、2018、2021、2022	1 033.5	春、冬
	<i>Akashiwo sanguinea</i>				
	锥状斯克里普藻	20	1998、1999、2000、2001、2002、2006、2010、2012、2015、2016、2017、2022	287.9	夏、秋
	<i>Scrippsiella trochoidea</i>				
	双胞旋沟藻	8	2011、2012、2013、2018、2020	238.5	夏、秋
	<i>Cochlodinium geminatum</i>				
硅藻门 Bacillariophyta	中肋骨条藻	26	2002、2006、2007、2012、2013、2014、2015、2016、2020、2021、2022	1 515.6	春、夏、秋、冬
	<i>Skeletonema costatum</i>				
	海链藻	9	1990、2001、2002、2009、2021、2022	76.5	春、夏、冬
	<i>Thalassiosira</i>				
	丹麦细柱藻	7	2001、2009、2011、2012、2018、2019、2021	31.9	春、夏
	<i>Leptocylindrus danicus</i>				
定鞭藻门 Haptophyta	球形棕囊藻	43	1997、2002、2006、2007、2008、2009、2010、2011、2013、2014、2015、2017、2018、2020、2021、2023	3 257.3	春、夏、秋、冬
	<i>Phaeocystis globosa</i>				
黄藻门 Xanthophyta	赤潮异弯藻	7	2001、2014、2015、2017、2019、2020	18.5	春、冬
	<i>Heterosigma akashiwo</i>				
原生动物 Protozoa	红色中缢虫	6	1998、2001、2002、2006、2021	327.0	春、秋
	<i>Mesodinium rubrum</i>				

近岸海域赤潮年发生次数整体为上升趋势,年累计面积波动较大。2001—2023年该海域赤潮一年四季均有发生,春季是高发季,高发月份为1—5月,4月最多,平均持续时间约为9天。

从空间尺度上看,华南三省(区)近岸海域多以小型赤潮为主,约92%发生在广东近岸海域,如珠江口、大鹏湾、湛江、大亚湾、汕尾、潮汕等内湾海域,其中珠江口、大鹏湾及大亚湾附近海域赤潮分布密度介于中—高之间。

优势种方面,甲藻门生物占据华南三省(区)近岸海域赤潮藻类的主导地位。发生频次前四的优势藻种是夜光藻、球形棕囊藻、红色赤潮藻和中肋骨条藻。夜光藻是该海域的第一优势藻种,占赤潮诱发优势种的19%,其发生频次和累计面积均居首位。夜光藻主要在春季、秋季和冬季发生于大鹏湾海域,球形棕囊藻在除5月外的月份均有发生,主要发生在湛江海域。

在前人研究的基础上,本研究收集了更大时间跨度和最新的数据,对华南三省(区)近岸海域赤潮事件的时空分布特征进行了较为全面和系统的分析,揭示了该海域赤潮的分布规律,可为赤潮预警预报业务工作提供新思路及科学依据;通过将该区域赤潮空间发生频率进行可视化,有助于提高政府部门对赤潮空间分布的具象化认识,旨在为华南三省(区)的政府部门在赤潮监测、防灾减灾及海洋牧场规划与选址等方面提供决策参考。

本文在分析赤潮发生频率分布时,主要依据公开信息并采用以点代面的方法,但未能全面考虑赤潮的种类、毒性等要素。赤潮的发生原因众多、机理极其复杂,本研究对海温、营养盐、生物种类等因素对赤潮发生的机理未展开探讨。为提升赤潮预警的精准性与有效性,后续研究建议从多学科角度出发,在气候变化的背景下,深入探索赤潮发生的内在机理以及华南三省(区)近岸赤潮时空变化特征内在的机理,从而为建立赤潮预警体系提供更坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 陈洁. 中国沿海赤潮监测、预警、防治技术研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2022.
- CHEN J. Study on red tide monitoring, early warning and prevention technology in coastal China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2022.
- [2] 张善发, 王茜, 关淳雅, 等. 2001—2017年中国近海水域赤潮发生规律及其影响因素[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, 56(6): 1129-1140.
- ZHANG S F, WANG Q, GUAN C Y, et al. Study on the occurrence law of red tide and its influencing factors in the offshore waters of China from 2001 to 2017[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2020, 56(6): 1129-1140.
- [3] 于仁成, 刘东艳. 我国近海藻华灾害现状、演变趋势与应对策略[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(10): 1167-1174.
- YU R C, LIU D Y. Harmful algal blooms in the coastal waters of China: current situation, long-term changes and prevention strategies[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(10): 1167-1174.
- [4] UHLIG G, SAHLING G. Long-term studies on Noctiluca scintillans in the German Bight population dynamics and red tide phenomena 1968—1988[J]. Netherlands Journal of Sea Research, 1990, 25(1-2): 101-112.
- [5] 吴瑞贞, 马毅. 近20 a南海赤潮的时空分布特征及原因分析[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(1): 30-32.
- WU R Z, MA Y. Analysis on spatial and temporal distribution and cause of red tides over past 20 years in South China Sea[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(1): 30-32.
- [6] ZHANG J F, BAI Y P, YU J L, et al. Forecast of red tide in the South China Sea by using the variation trend of hydrological and meteorological factors[J]. Marine Science Bulletin, 2006, 2(8): 60-74.
- [7] 王素芬, 唐丹玲. 南海赤潮的时空分布特征及其与南海环境关系的综合分析[J]. 海洋通报, 2010, 29(5): 577-583.
- WANG S F, TANG D L. Analysis of harmful algal blooms associated with ocean environments in the South China Sea[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(5): 577-583.
- [8] 洛昊, 马明辉, 梁斌, 等. 中国近海赤潮基本特征与减灾对策[J]. 海洋通报, 2013, 32(5): 595-600.
- LUO H, MA M H, LIANG B, et al. Basic characteristics and mitigation countermeasures of red tides in China seas[J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(5): 595-600.
- [9] 李立新. 中国赤潮研究与防治(二): 中国海洋学会赤潮研究与防治专业委员会第二届学术研讨会论文集[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- LI L X. Research and prevention of red tides in China (II) [M]. Beijing: China Ocean Press, 2008.
- [10] 何恩业, 季轩梁, 李晓, 等. 2001—2020年福建沿海赤潮灾害分级和时空分布特征研究[J]. 海洋通报, 2021, 40(5): 578-590.
- HE E Y, JI X L, LI X, et al. The spatial-temporal distribution and hazard grading of red tides in Fujian coast waters during 2001—2020[J]. Marine Science Bulletin, 2021, 40(5): 578-590.
- [11] 曹婧, 张传松, 王江涛. 2006年春季东海近海海域赤潮高发区溶解态营养盐的时空分布[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(6): 643-647.
- CAO J, ZHANG C S, WANG J T. Temporal and spatial distribution of nutrient in coastal area of East China Sea in Spring 2006[J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(6): 643-647.

- [12] 陈艳拢, 宋琍琍, 许苏清, 等. 基于 SST 的东海原甲藻比生长率时空分布规律研究[J]. 海洋环境科学, 2020, 39(3): 432-437.
CHEN Y L, SONG L L, XU S Q, et al. Study on spatial-temporal distribution of specific growth rate of *Prorocentrum donghaiense* Lu based on SST[J]. Marine Environmental Science, 2020, 39(3): 432-437.
- [13] 李志文, 左秀玲, 滕君灿. 基于 GIS 的中国近岸海域 1950—2020 年赤潮时空变异格局[J]. 环境科学学报, 2023, 43(6): 203-214.
LI Z W, ZUO X L, TENG J C. GIS-based temporal and spatial patterns of red tides in the coastal waters of China from 1950 to 2020[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2023, 43(6): 203-214.
- [14] 李阳东, 谢洋洋, 李仁虎, 等. 浙江近岸海域赤潮事件时空分布特征研究[J]. 海洋预报, 2021, 38(1): 54-60.
LI Y D, XIE Y Y, LI R H, et al. Research on the temporal and spatial distribution characteristics of red tide in Zhejiang coastal area[J]. Marine Forecasts, 2021, 38(1): 54-60.
- [15] 易斌, 陈凯彪, 周俊杰, 等. 2009 年至 2016 年华南近海赤潮分布特征[J]. 海洋湖沼通报, 2018(2): 23-31.
YI B, CHEN K B, ZHOU J J, et al. Characteristics of red tide in coastal region of South China from 2009 to 2016[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018(2): 23-31.
- [16] 陈炜婷, 姜广甲, 邓伟, 等. 基于 GIS 的 2001—2020 年广东近岸海域赤潮时空分布[J]. 环境工程, 2023, 41(S2): 49-53.
CHEN W T, JIANG G J, DENG W, et al. Temporal and spatial distribution of harmful algal blooms in Guangdong province coastal area during 2001—2020 based on GIS[J]. Environmental Engineering, 2023, 41(S2): 49-53.
- [17] 李丽, 吕颂辉. 近 30 年广东沿海赤潮灾害的特征及成因分析[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(3): 83-86.
LI L, LYU S H. A 30-year retrospective analysis over the detrimental algal blooms in Guangdong coastal areas[J]. Journal of Safety and Environment, 2009, 9(3): 83-86.
- [18] 赵玲, 赵冬至, 张昕阳, 等. 我国有害赤潮的灾害分级与时空分布[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(2): 15-19.
ZHAO L, ZHAO D Z, ZHANG X Y, et al. Spatial and temporal distribution of harmful algae blooms and hazard grading in China [J]. Marine Environmental Science, 2003, 22(2): 15-19.
- [19] 张有份. 海洋赤潮知识 100 问[M]. 北京: 海洋出版社, 2000.
ZHANG Y F. 100 questions about red tides in the ocean[M]. Beijing: China Ocean Press, 2000.
- [20] 陈菊芳, 徐宁, 江天久, 等. 中国赤潮新记录种——球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*) [J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 1999, 20(3): 124-129.
CHEN J F, XU N, JIANG T J, et al. A report of *Phaeocystis globosa* bloom in coastal water of Southeast China[J]. Journal of Jinan University (Natural Science), 1999, 20(3): 124-129.
- [21] 陈楠生, 张梦佳. 中国海洋浮游植物和赤潮物种的生物多样性研究进展(三): 南海[J]. 海洋与湖沼, 2021, 52(2): 385-401.
CHEN N S, ZHANG M J. Advances in the study of biodiversity of phytoplankton and red tide species in China (III): the South China Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2021, 52(2): 385-401.

Spatiotemporal characteristics of red tides in coastal regions of three provinces (regions) of South China from 1984 to 2023

QIU Yueping¹, XIANG Kunlun^{2*}, ZHOU Shuihua¹, LUO Jun¹, ZENG Lihong¹, ZHAO Changjin¹, XU Boliang¹

(1. South China Sea Marine Forecasting and Disaster Reduction Center, Ministry of Natural Resource, Guangzhou 510310, China; 2. Guangdong Ecological Meteorology Center, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The records of historical red tide in coastal regions of three provinces (regions) of South China from 1984 to 2023 are collected to analyze their spatiotemporal characteristics using geographic information system (GIS) technology. The results show that the frequency of red tide events exhibits an overall upward trend, while the annual cumulative area fluctuates significantly. Red tides occur in all seasons, with high occurrence probability in the season of spring (January to May) and in the month of April. Most of the red tide events are small in size and approximately 92% of them occur in the Guangdong coastal seas, such as the Pearl River Estuary, Mirs Bay, Zhanjiang, Daya Bay, Shanwei, Chaoshan and other inner bays. *Noctiluca scintillans* is the first dominant algae species in the South China Sea coastal waters, mainly existing in the waters of Mirs Bay in spring, autumn and winter. The four most frequently observed dominant algal species are *Noctiluca scintillans*, *Phaeocystis globosa*, *Akashiwo sanguinea* and *Skeletonema costatum*.

Key words: red tide; spatiotemporal distribution characteristics; coastal regions of three provinces (regions) of South China