

DOI: 10.3724/j.1007-6336.2025-0140

2015—2024年我国近海赤潮状况与发展趋势分析

马莹晓^{1,2}, 石晓勇^{1,2}, 林雨霏², 孙田力²

(1.中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266100; 2.自然资源部海洋减灾中心, 北京 100194)

摘要: 基于多年全国赤潮监测数据, 本文总结了 2015—2024 年我国近海赤潮的发生状况, 并对比 1995—2014 年的数据分析了赤潮暴发的变化趋势。结果表明, 2015—2024 年我国近海记录赤潮 513 次, 累计影响面积 58919 km²; 春夏季是高发期, 秋冬季有大规模赤潮出现; 长江口至福建中北部、珠江口和渤海西部是我国近海三大赤潮高发海域; 鉴定出赤潮生物 80 种, 以甲藻类和硅藻类为主。与之前 20 年相比, 我国近海赤潮的特征总体未发生明显改变, 但呈现以下发展趋势: (1) 赤潮高发月份和平均单次赤潮持续时间均出现延长; (2) 甲藻赤潮占比由 50% 增加到 66.28%; (3) 有毒有害赤潮呈分布范围扩大、异地成灾趋势。建议结合我国赤潮特点优化完善赤潮立体化监测预警网络, 推动无人化监测设备、快速检测技术和应急处置能力的提升, 以更好地应对赤潮灾害。

关键词: 我国近海; 赤潮状况; 发展趋势

中图分类号: X55

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2026)02-0236-09

Analysis of the status and development trends of red tides in China's offshore waters from 2015 to 2024

Ma Yingxiao^{1,2}, Shi Xiaoyong^{1,2}, Lin Yufei², Sun Tianli²

(1.College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2.National Marine Hazard Mitigation Service, Beijing 100194, China)

Abstract: Based on national monitoring data from 2015 to 2024, this study examines red tides in China's offshore waters and compares them with trends from 1995 to 2014. Key findings show 513 recorded red tide events affecting 58919 km², with peak occurrence in spring and summer—though large-scale events also appeared in autumn and winter. Major red tide-prone areas were the Yangtze Estuary to northern Fujian, Pearl River Estuary, and western Bohai Sea. Among 80 identified red tide species, dinoflagellates and diatoms dominated. Compared to the previous 20 years, overall red tide characteristics remained similar, yet three trends emerged: (1) The peak season and average event duration extended; (2) Dinoflagellate red tides increased from 50% to 66.28%; (3) Toxic red tides have spread geographically, including events caused by non-native species. To address these challenges, we recommend optimizing integrated monitoring and early-warning systems, advancing unmanned monitoring equipment, improving rapid detection technologies, and enhancing emergency response capabilities to strengthen preparedness for red tide disasters.

Key words: China's offshore waters; the status of red tides; development trends

收稿日期: 2025-09-16, 修订日期: 2025-10-20

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2022YFC3105205); 自然资源部莱州湾海洋生态系统野外科学观测研究站和山东省海洋生态修复重点实验室联合开放课题(SAL202402); 中国海油海洋环境与生态保护公益基金会海洋环保项目(CF-MEEC/TR/2024-7)

作者简介: 马莹晓(2001—), 女, 山东滨州人, 硕士研究生, 主要研究方向为赤潮灾害风险预警, E-mail: mayx0126@163.com

通信作者: 孙田力(1989—), 男, 山东济宁人, 副研究员, 博士, 主要研究方向为海洋生态灾害监测与评估, E-mail: suntianli89@126.com

20世纪以来,赤潮在世界范围内呈现愈演愈烈的态势,已从海洋生态系统一种自我调整的正常自然现象,演变为在人类活动胁迫下频繁发生的异常生态灾害,威胁人类健康、生态安全和社会经济发展^[1-6]。

我国近海是全球赤潮高发海域之一,截至2014年共记录超过1370次赤潮过程^[1,4,7-8]。赤潮发生和发展的历史总体呈现3个阶段性特征。(1)平稳期:20世纪80年代以前,对赤潮仅有一些零散描述,共记录赤潮10次^[7];(2)增长期:20世纪80年代至20世纪末,赤潮记录次数呈几何倍数增长,赤潮规模和危害程度都不断增大^[4],这一阶段共记录赤潮220余次^[7];(3)暴发期:20世纪末至21世纪初,我国建立了赤潮灾害业务化监测体系,赤潮记录明显增多,仅1995—2014年的20年间就记录赤潮1160次^[8]。

随着监测数据的不断积累和丰富,关于我国近海赤潮发生规律的认知也不断深入。洛昊等^[7]、郭皓等^[8]、高波等^[9]学者普遍认为,20世纪末至21世纪初我国近海赤潮总体呈现出发生频率增多、持续时间加长、危害程度增大的特征,气象学上的春季和夏季为高发期,河口、海湾为高发区,东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)、夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)和米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)为最常见优势种。相关研究普遍集中在2014年以前,随后多聚焦于海区和省市级尺度^[10-13],对近年来我国近海赤潮的整体特征和变化趋势报道较少。基于此,本文梳理了多年全国赤潮监测数据,对2015—2024年我国近海赤潮发生规律与变化趋势进行探讨,提出针对性防控建议,以期赤潮防灾减灾业务优化提供科学依据。

1 材料与方法

本文所使用的赤潮基础数据来源于自然资源部海洋减灾中心全国赤潮灾情数据库、《中国海洋灾害公报》(1995—2023)、《中国海洋生态预警监测公报》(2024)、《北海区海洋灾害公报》(2019)、《南海区海洋灾害公报》(2019)、《福建

省海洋灾害公报》(2018—2019)以及相关研究文献^[7-9]。利用Excel软件统计分析了我国近海赤潮事件,包括赤潮次数和面积、发现海域、生物优势藻种、持续时间等。使用Shapiro-Wilk检验和Q-Q图评估年际赤潮次数、面积及持续时间的正态性,对非正态分布数据同时进行中位数和平均值分析,对非正态分布的时间序列数据趋势进行Mann-Kendall检验(显著性水平 α 为0.05,临界线范围为 ± 1.96)。使用核密度估计(kernel density estimation)分析赤潮次数分布。

2 结果与讨论

2.1 我国近海赤潮状况

2.1.1 总体特征

从次数来看,2015—2024年我国近海共记录赤潮513次,年赤潮次数中位数为52次,年赤潮次数平均值为51.3次。其中,最高值出现在2016年和2017年,均为68次;最低值为2020年的31次。近10年赤潮次数处于波动状态,无显著变化趋势(未通过M-K检验)(图1a)。

从面积来看,2015—2024年我国近海赤潮累计影响面积58919 km²,年赤潮面积中位数为3069 km²、平均值为5891.9 km²,年际变化与赤潮次数的对应关系不明显。其中,最高值出现在2021年,为23277 km²;最低值出现在2018年,为1406 km²。近10年赤潮面积处于波动状态,无显著趋势变化(未通过M-K检验)(图1b)。

与1995—2014年相比,2015—2024年赤潮次数和面积中位数分别下降23.53%和69.20%、平均值分别下降11.17%和44.81%。与21世纪以来(2000—2014年)的结果相比,下降趋势尤为显著(通过M-K检验)(图2)。尽管如此,赤潮次数和面积中位数、平均值仍然是1995—1999年赤潮次数和面积中位数的4.33倍和3.11倍、平均值的4.0倍和2.0倍,表明近10年赤潮高发的态势尚未根本转变。

2.1.2 月际分布特征

2015—2024年,我国近海各月份均有赤潮发生记录,气象学的春、夏季(3—5月、6—8月)仍是赤潮高发期。高发月份为4—8月(图3a),共

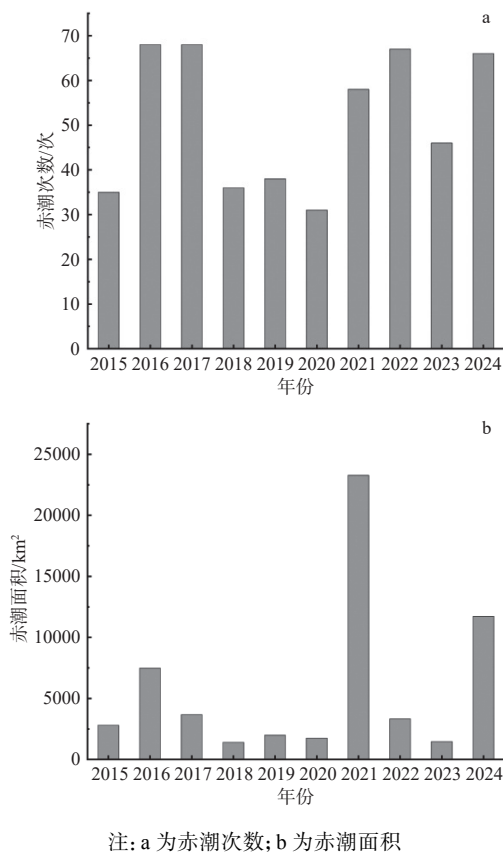


图1 2015—2024年我国近海赤潮发生情况

Fig. 1 Interannual variation of red tides in China's offshore waters from 2015 to 2024

记录赤潮 388 次, 累计面积 34453 km², 占比分别达 75.63% 和 58.48%。其中尤以 5—6 月为最, 造成直接经济损失的赤潮也多发生在 5—6 月。值得注意的是, 2015—2024 年春、夏季赤潮面积占比为 60.38%, 相比 1995—2014 年(5—7 月面积占比为 81.4%) 出现了明显下降(图 3b)。这与 2015—2024 年秋、冬季(9—11 月、12—2 月)大面积赤潮发生频率增加有关。例如, 2021 年 10 月下旬至 12 月下旬, 山东半岛近海连续暴发 3 次大规模赤潮, 累计面积超过 3500 km²。

我国各海域赤潮发生情况存在月份差异性。渤海赤潮高发期为 5—9 月, 其间赤潮次数占比 86.81%, 次数和面积均在 8 月达到顶峰; 10 月以后赤潮次数明显减少, 但出现面积峰值, 表明有大面积赤潮发生(图 4a)。黄海赤潮高发期为 5—9 月, 赤潮次数占比为 73.68%, 次数和面积均在 6 月达到顶峰; 与渤海类似, 黄

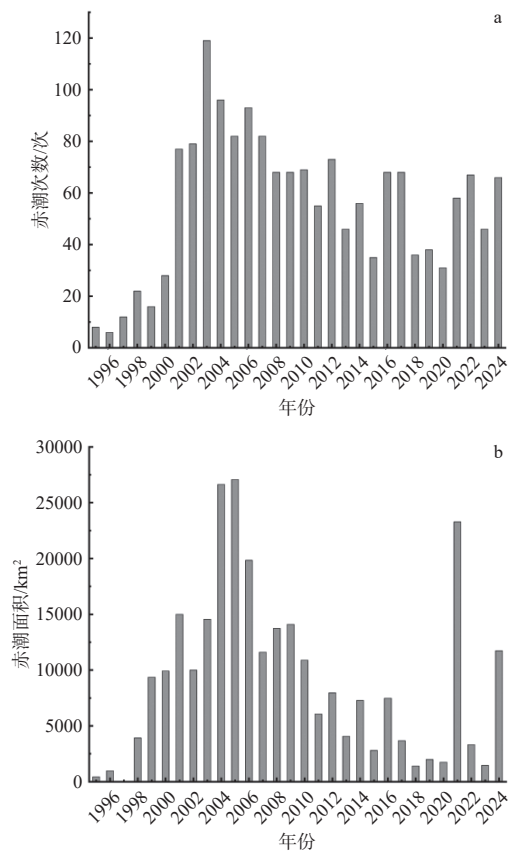


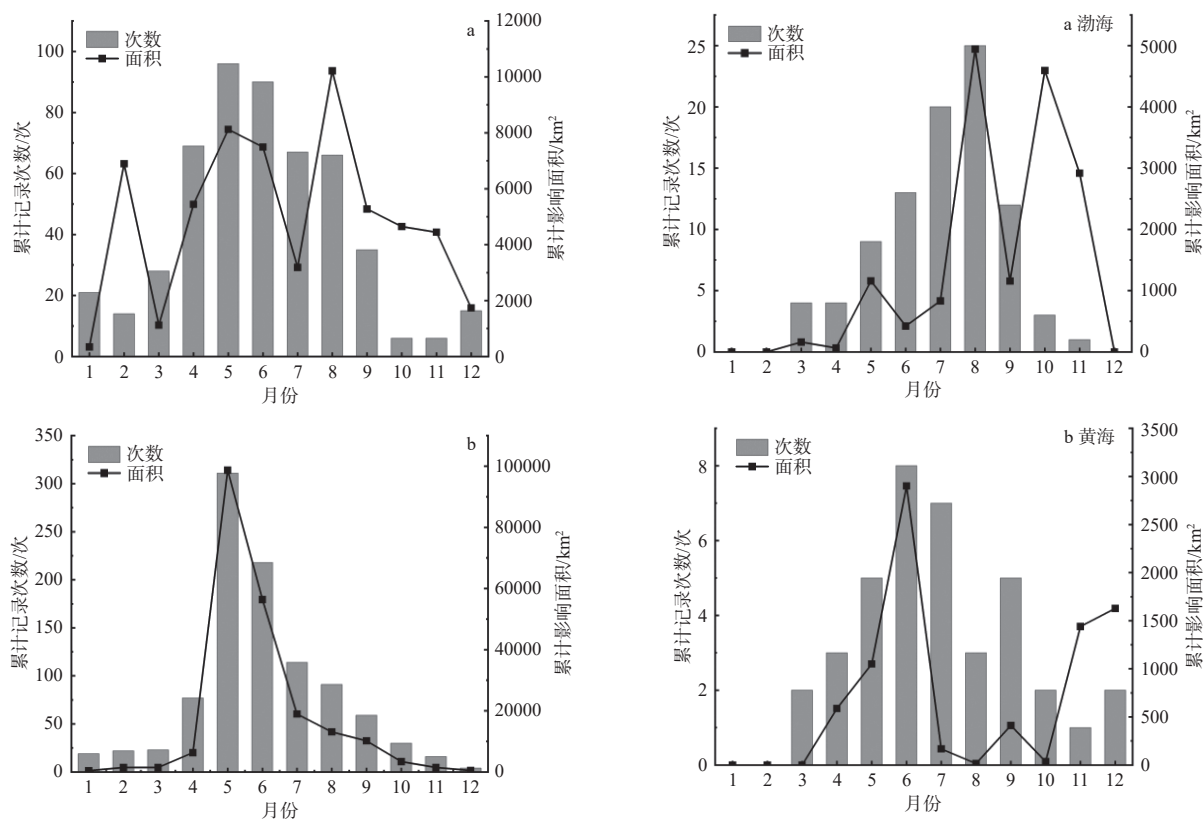
图2 1995—2024年我国近海赤潮发生情况

Fig. 2 Interannual variation of red tides in China's offshore waters from 1995 to 2024

海在 10 月以后也存在次数下降、面积增加的情况(图 4b)。东海赤潮季节特征最为明显, 高发期为 4—9 月, 赤潮次数和面积占比分别为 97.44% 和 99.34%, 在 5—6 月达到顶峰, 10 月至次年 3 月赤潮次数与面积均较少(图 4c)。南海赤潮高发期为 1—4 月, 其间赤潮次数占比 62.16%; 赤潮面积除 2 月出现一个峰值外, 其余月份无明显差异(图 4d)。

2.1.3 空间分布特征

东海海域是我国近海赤潮最高发区域, 2015—2024 年赤潮记录次数和影响面积分别为 273 次和 25429 km², 分别占全国总数的 53.22% 和 43.16%, 造成的直接经济损失也是 4 个海域中最高的; 其次为南海和渤海, 赤潮次数占比分别为 21.64% 和 17.74%, 影响面积



注: a 为 2015—2024 年赤潮次数和面积; b 为 1995—2014 年赤潮次数和面积(改绘自文献[8])

图3 我国近海赤潮月度发生情况

Fig. 3 Monthly variation of red tides in China's offshore waters

占比分别为 15.28% 和 27.57%; 黄海赤潮次数和面积均最低, 仅占 7.41% 和 13.98%(图 5a)。2015—2024 年各海域赤潮空间分布特征与 1995—2014 年结果基本保持一致(图 5b)。但统计发现, 东海赤潮在次数占比变化不明显的情况下, 赤潮面积占比由之前的 62.4%^[8] 下降至 43.16%, 而其他 3 个海域赤潮面积占比均有增加, 这与近 10 年渤海、黄海和南海大型赤潮增多有关。

我国各沿海省份(含自治区、直辖市)均有赤潮记录, 使用核密度估计分析可以看到, 长江口至福建中北部、珠江口和渤海西部海域是近 10 年我国近海赤潮的三大高发区(图 6)。我国近海赤潮以中小型赤潮($\leq 100 \text{ km}^2$)^[14] 为主, 特大型赤潮($\geq 1000 \text{ km}^2$)主要分布在山东半岛、长江口至浙江中北部、雷州半岛近岸海域。

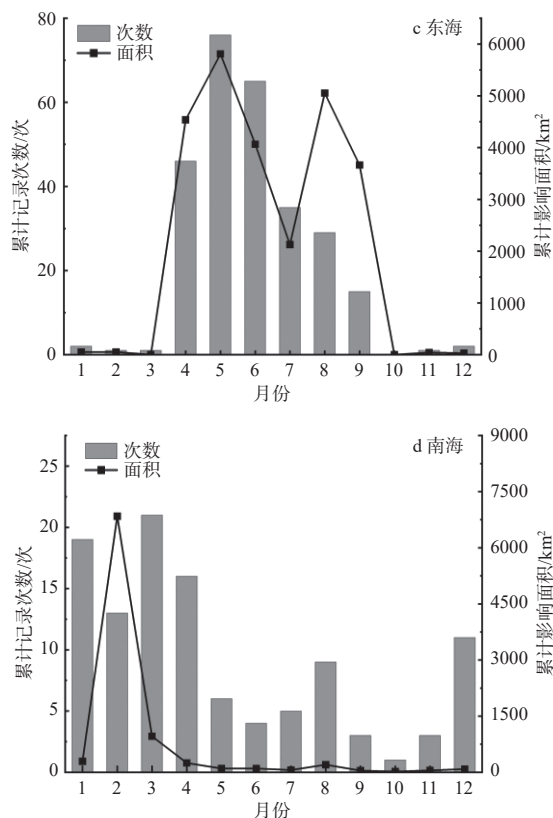
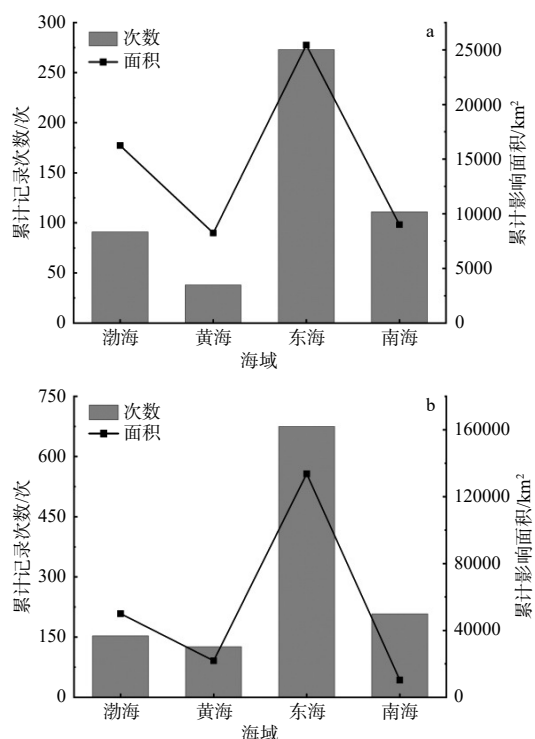


图4 2015—2024 年各海域赤潮月度发生情况

Fig. 4 Monthly variation of red tides by sea area of China from 2015 to 2024



注: a 为 2015—2024 年各海域赤潮次数和面积; b 为 1995—2014 年各海域赤潮次数和面积(改绘自文献 [8])

图 5 各海域赤潮总体发生情况

Fig. 5 Overview of red tides by sea area of China

2.1.4 赤潮生物类群特征

2015—2024 年,我国近海引发赤潮的生物门类包括甲藻门、硅藻门、黄藻门、金藻门、原生动物门、绿藻门和裸藻门,赤潮生物共计 80 种。其中,甲藻类赤潮是我国近海最常见的赤潮类型,共记录 340 次,占赤潮总数的 66.28%,造成直接经济损失的赤潮生物均为甲藻。其次为硅藻赤潮,共记录 110 次,占赤潮总数的 21.44%。引发赤潮次数 ≥ 2 次的常见赤潮生物共 47 种(图 7),与 1995—2014 年相比,东海原甲藻、夜光藻、中肋骨条藻仍然是最常见的赤潮优势种。2015—2024 年由红色赤潮藻(*Akashiwo sanguinea*)和球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)引发的赤潮明显增加,其常见程度已超过米氏凯伦藻。红色赤潮藻在高温、高盐、高光照环境下仍可生长繁殖^[15],已成为南海海域主要赤潮优势种之一。球形棕囊藻赤潮更适合在低温环境下生长^[15-16],在秋冬季节的南北方海域均有记录。球形棕囊藻可形成较大具有黏性的囊体,可能导致核电冷源系统堵塞,近年来已成为威胁近海核电冷源安全的新隐患^[17]。

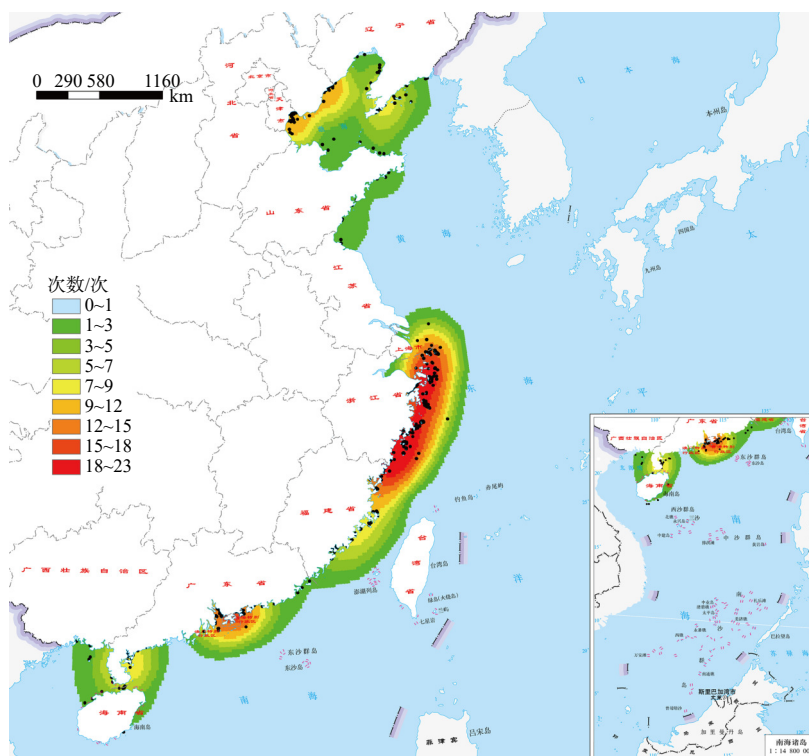


图 6 2015—2024 年我国近海赤潮频率分布

Fig. 6 Spatial distribution of red tides in China's offshore waters from 2015 to 2024

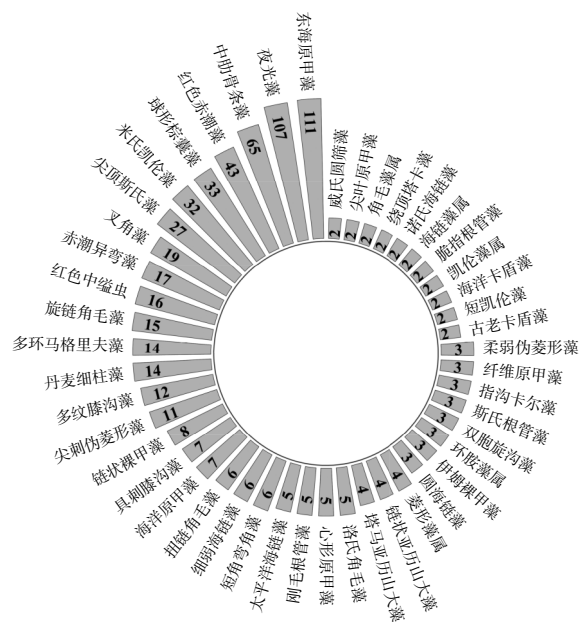


图 7 2015—2024 年我国近海主要赤潮生物记录情况
Fig. 7 Inventory of recorded causative species of red tides in China's offshore waters from 2015 to 2024

各海域赤潮生物类群特征也有所不同。渤海引发赤潮的生物类群包括甲藻、硅藻、原生动物和黄藻等,其中甲藻和硅藻赤潮次数分别占渤海赤潮总数的 67.03% 和 18.68%; 常见优势种包括夜光藻、尖顶斯氏藻 (*Scrippsiella acuminata*) 和多环马格里夫藻 (*Margalefidinium polykrikoides*)。其中,夜光藻赤潮次数和面积分别占渤海赤潮总数的 26.37% 和 4.45%; 尖顶斯氏藻赤潮次数和面积分别占 8.79% 和 2.18%; 多环马格里夫藻赤潮次数和面积分别占 8.79% 和 10.34%。

黄海引发赤潮的生物类群主要为甲藻、硅藻和金藻等,其中甲藻和硅藻赤潮次数占比分别为 76.32% 和 15.79%; 常见优势种为夜光藻、短角弯角藻(*Eucampia zodiacus*)和中肋骨条藻。其中,夜光藻赤潮次数和面积分别达到黄海赤潮总数的 60.53% 和 55.26%,短角弯角藻赤潮次数和面积分别占比 7.89% 和 5.0%,中肋骨条藻赤潮次数和面积分别占比 5.26% 和 0.49%。

东海引发赤潮的生物类群主要包括甲藻、硅藻、金藻和原生动物等,其中甲藻和硅藻赤潮次数占比分别为 69.60% 和 24.54%, 常见优势种为东海原甲藻、中肋骨条藻、米氏凯伦藻和夜光

藻。其中,东海原甲藻赤潮次数和面积分别占东海赤潮总数的 39.56% 和 44.32%, 中肋骨条藻赤潮次数和面积分别占 11.72% 和 14.55%, 米氏凯伦藻赤潮次数和面积分别占 7.33% 和 4.01%, 夜光藻赤潮次数和面积分别占 6.59% 和 5.59%。

南海引发赤潮的生物类群主要为甲藻、金藻和硅藻, 引发赤潮次数分别占南海赤潮总数的 54.05%、21.62% 和 18.02%, 常见优势种包括夜光藻、球形棕囊藻和红色赤潮藻。其中, 夜光藻赤潮次数和面积分别占南海赤潮总数的 23.42% 和 69.29%, 球形棕囊藻赤潮次数和面积分别占 21.62% 和 13.98%, 红色赤潮藻赤潮次数和面积分别占 14.41% 和 9.84%。

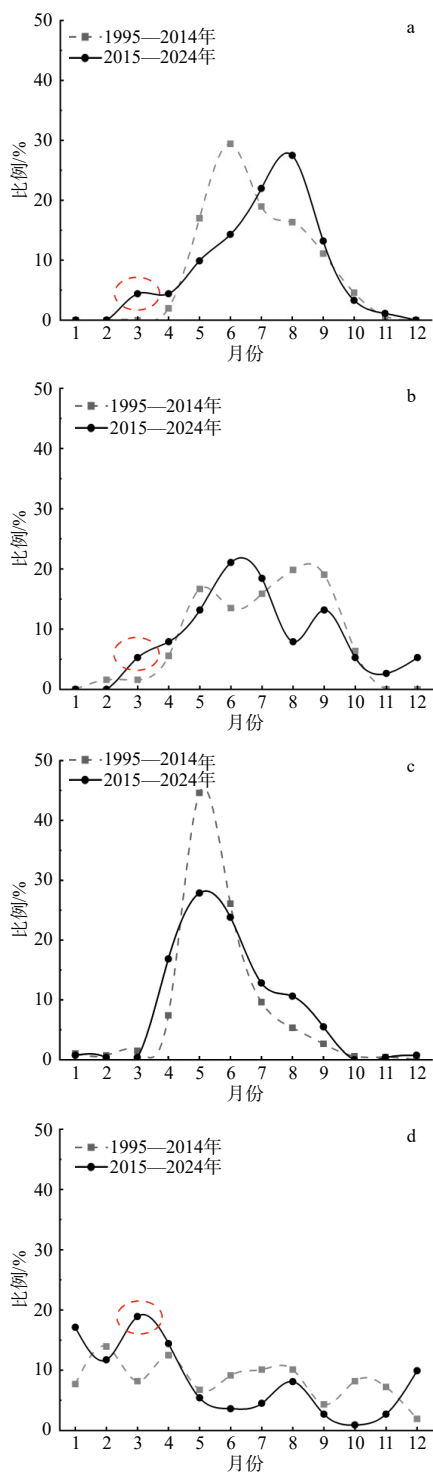
2.2 2015—2024 年我国赤潮变化趋势

2.2.1 赤潮暴发窗口期延长

从赤潮高发月份来看, 2015—2024 年传统赤潮高发月份(4—10 月)共记录赤潮 429 次, 占赤潮总数的 83.6%, 相比 1995—2014 年的 90.4% 有所下降; 发生在 3 月的赤潮总次数占比从 2.5% 增加至 5.5%, 增加了 1.2 倍。渤海、黄海和南海 3 月赤潮次数占比均有明显增加(图 8a、图 8b、图 8d), 呈现出赤潮高发期提前的趋势, 这一现象在东海并不明显(图 8c)。

从单次赤潮持续时间看, 2015—2024 年单次赤潮持续时间的中位数为 6 d, 比 1999—2014 年延长了 2 d; 单次赤潮持续时间的平均值为 9.42 d, 比 1999—2014 年延长了 2.87 d(1995—1998 年数据缺失)。持续时间 ≥ 10 d 的赤潮占比从 17.15% 增加至 27.10%, ≥ 30 d 的赤潮占比从 0.84% 增加至 3.12%, ≥ 60 d 的赤潮占比从 0.36% 增加至 1.17%, 单次赤潮最长持续时间高达 111 d(图 9)。

赤潮暴发窗口期的延长可能是多种因素协同作用的结果。环境要素方面,研究发现近40年,渤、黄海各月份平均海温均有增加趋势,其中3—6月增温最快^[18],这与渤、黄海3月开始暴发赤潮的情况对应,说明全球变暖导致的升温可能是渤、黄海赤潮高发期提前的关键原因。此外,2015—2024年持续时间超过30 d的赤潮过程均发生于无机氮和活性磷酸盐高值海域,充足的营养盐供应是赤潮长期维持的必要条件^[4]。



注: a 为渤海; b 为黄海; c 为东海; d 为南海(1995—2014 年的数据来自文献 [8])

图 8 1995—2014 年和 2015—2024 年海域各月赤潮次数占比情况对比

Fig. 8 Comparative monthly distribution of red tides by sea area: the percentage contribution of monthly frequency between 1995—2014 and 2015—2024

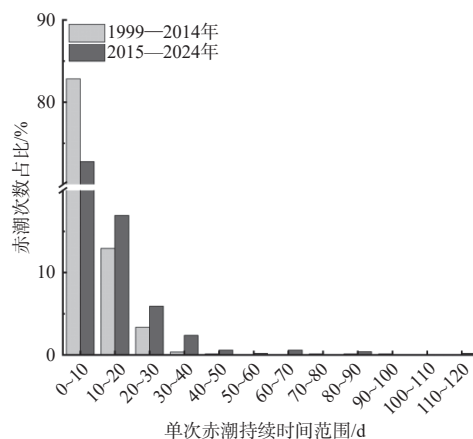


图 9 1999—2014 年和 2015—2024 年我国近海不同持续时间范围内的赤潮次数占比

Fig. 9 Comparison of the proportion of red tides by duration in China's offshore waters between 1999—2014 and 2015—2024

赤潮生物方面, 广温性藻种对环境的适应能力更强, 所引发的赤潮不断增多, 也是造成赤潮暴发的窗口期提前和加大的原因之一^[15-16,19]。

2.2.2 甲藻赤潮占比进一步增加

1995—2014 年, 我国近海甲藻赤潮次数占赤潮总数的 50.0%^[8]。相比之下, 2015—2024 年甲藻赤潮次数占比进一步增加至 66.28%, 黄海甲藻赤潮次数占比已超过 75%。各海域主要赤潮生物类群也均向甲藻化发展, 渤海、黄海、东海和南海的甲藻赤潮占比分别为之前的 1.49 倍、1.88 倍、1.58 倍和 1.24 倍(图 10)。

甲藻已成为我国最主要的赤潮生物类群。这种现象的出现除与甲藻生物能够垂直迁移和形成孢囊等适应策略有关之外^[1,20], 营养盐浓度和结构的变化也可能是甲藻赤潮大规模暴发、有害藻华优势类群由硅藻向甲藻演变的主要原因^[21]。研究发现, 均衡营养盐比例下硅藻生长较好, 高 N/P 下甲藻生长更好^[22], 表明高 N/P 下甲藻更具竞争优势。我国近海大多处于磷限制营养状态, 近年来 N/P 结构失衡加剧^[23], 这种变化在一定程度上增加了甲藻的竞争优势, 如渤海从氮限制转为潜在磷限制后, 浮游植物组成由硅藻向甲藻转变^[24]。

2.2.3 有毒有害赤潮危害更广

有毒有害赤潮是指能够引起人类中毒或对海洋自然资源和海洋经济造成危害的赤潮(自然

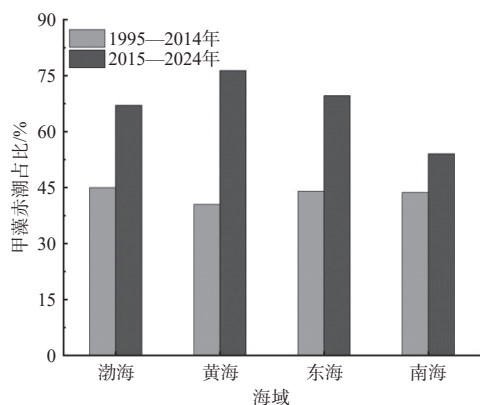


图10 1995—2014年和2015—2024年各海域甲藻赤潮占比

Fig. 10 Comparison of the proportion of dinoflagellate-induced red tides by sea area between 1995—2014 and 2015—2024

资源部《赤潮灾害应急预案》, 2021年)。统计发现, 2015—2024年, 在引发大面积赤潮($\geq 100 \text{ km}^2$)和造成直接经济损失的赤潮过程中, 主要优势生物共42种, 其中有毒有害种22种, 占比52.38%, 相比1995—2014年(44.07%)有明显增加。此外, 2015—2024年新鉴定出的指沟卡尔藻(*Karlodinium digitatum*)、蝶形凯伦藻(*Karenia papilionacea*)和绕顶塔卡藻(*Takayama acrotrocha*)3个有毒有害种, 导致福建、山东等近海养殖的鲍鱼、鱼类大量死亡, 造成重大经济损失。

同时, 有毒有害赤潮呈现分布范围扩大、异地成灾趋势。球形棕囊藻赤潮自1997年在福建、广东近海首次记录以来^[25], 成灾区域不断扩大, 2004年在渤海首次记录^[26], 2021年在黄海首次记录, 目前其暴发范围已基本覆盖全海域。同时, 球形棕囊藻赤潮的记录频率也在增加, 2015—2024年在南海记录的次数占南海赤潮总数的21.62%, 而1995—2014年其占比仅为8.5%。2013年之前尖顶斯氏藻赤潮仅在东海和南海有发生记录, 但自从2014年首次在渤海出现后, 便持续在河北、天津近海暴发, 尖顶斯氏藻已经成为当地最主要的赤潮藻种之一。

2.3 赤潮应对对策和建议

在全球变化和人类活动的共同作用下, 我国近海的赤潮问题在短期内恐难以发生根本性转

变, 要做好与赤潮长期共存的准备。因此, 强化赤潮发现和应对能力是有效应对赤潮、保障人类生命财产安全的有效手段。

(1) 提高赤潮灾害发现和预警水平。推动建立完善空—天—岸—海一体化赤潮立体监测网络, 聚焦3—10月赤潮高发期和高发区, 兼顾秋、冬季大规模赤潮高发海域, 集成卫星遥感、无人机与原位传感器技术, 实现大范围、高频率的监视性监测。加快赤潮预警模型的研发与应用, 提高赤潮灾害预警的时效性和精确度, 建立分级预警信息发布平台, 多渠道发布赤潮预警。

(2) 提高有毒有害赤潮检测与应对能力。深化赤潮藻种库与赤潮灾害辅助决策数据库建设, 推动有毒有害赤潮的自动化识别鉴定、藻毒素快速检测技术的应用; 推广改性黏土絮凝、靶向抑藻剂等高效、低毒的藻华消减技术; 制定完善应急预案, 减少赤潮对养殖业、旅游业和滨海工业的损失。

(3) 强化赤潮领域科技创新。研究建立基于卫星遥感和无人机的赤潮发现、类群鉴定和生物量估算方法, 提高近海赤潮监测精细化程度。构建原位监测数据与赤潮生消规律的拟合模型, 补齐多云、不良海况下的赤潮监测预警短板。打造基于人工智能技术的近岸海域3 h研判应急圈, 实现赤潮应对“早发现、早预警、不死人、降损失”的预期目标。

3 结论

(1) 2015—2024年, 我国近海记录赤潮513次, 累计影响面积58919 km^2 , 次数和面积尽管与之前20年(1995—2014年)对比出现了显著下降, 但仍处于高发态势。

(2) 时空分布上, 2015—2024年我国近海各月份均有赤潮发生记录, 气象学的春、夏季节(3—5月、6—8月)仍是赤潮高发期。渤、黄海赤潮高发月份为5—9月, 东海为4—9月, 南海为1—4月。东海是我国赤潮最高发海域, 其次为南海、渤海和黄海, 长江口至福建中北部、珠江口和渤海西部是我国近海三大赤潮高发海域。与之前20年相比, 2015—2024年赤潮时空分布总体特征基本保持不变。

(3)主要赤潮生物类群上,2015—2024 年赤潮生物共计 80 种,最常见赤潮优势物种包括东海原甲藻、夜光藻、中肋骨条藻、红色赤潮藻和球形棕囊藻等。与之前 20 年相比,赤潮生物仍以甲藻类和硅藻类为主,最常见优势物种有所更替,红色赤潮藻和球形棕囊藻占比增加,米氏凯伦藻占比有所减少。

(4)2015—2024 年我国近海赤潮呈现出 3 点新变化趋势。一是赤潮暴发窗口期有所延长,3 月赤潮次数占比明显增加,平均单次赤潮持续时间延长了 2 d、10 d、30 d 和 60 d 以上的赤潮占比均明显增加。二是甲藻赤潮占比进一步增加,我国近海甲藻赤潮占比进一步增加至 66.28%,各海域甲藻赤潮占比也均有增加。三是有毒有害赤潮危害更广,新鉴定出有毒有害藻种 3 种,有毒有害赤潮呈现分布范围扩大、异地成灾趋势。

参考文献:

- [1] 周名江,朱明远,张 经. 中国赤潮的发生趋势和研究进展[J]. 生命科学, 2001, 13(2): 54-59, 53.
- [2] Ho K C, Hodgkiss I J. Red tides in subtropical waters: an overview of the occurrence[M]//MORTON B. Asian Marine Biology 8. Hong Kong, China: Hong Kong University Press, 1991: 5-23.
- [3] Ahles M D. Red tide: a recurrent health hazard[J]. *American Journal of Public Health*, 1974, 64(8): 807-808.
- [4] 俞志明,陈楠生. 国内外赤潮的发展趋势与研究热点[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(3): 474-486.
- [5] Anderson D M. Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs)[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2009, 52(7): 342-347.
- [6] Feng Y, Xiong Y L, Hall-Spencer J M, et al. Shift in algal blooms from micro- to macroalgae around China with increasing eutrophication and climate change[J]. *Global Change Biology*, 2024, 30(1): e17018.
- [7] 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.
- [8] 郭 皓,丁德文,林凤翔,等. 近 20a 我国近海赤潮特点与发生规律[J]. 海洋科学进展, 2015, 33(4): 547-558.
- [9] 高 波,邵爱杰. 我国近海赤潮灾害发生特征、机理及防治对策研究[J]. 海洋预报, 2011, 28(2): 68-77.
- [10] 高月鑫,郑晓琴,管琴乐,等. 上海近岸海域赤潮特征分析及其对海表温度变化的响应[J]. 海洋科学, 2024, 48(8): 42-50.
- [11] 张春桂,任汉龙,吴幸毓,等. 福建沿海赤潮灾害气象预报[J]. 气象科技, 2010, 38(2): 253-258.
- [12] 石晓勇,李鸿妹,王 颢,等. 夏季台湾暖流的水文化学特性及其对东海赤潮高发区影响的初步探讨[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(5): 1208-1215.
- [13] 吴瑞贞. 南海赤潮发生前后阶段水文气象要素演变特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006: 50.
- [14] 江天久,佟蒙蒙,齐雨藻. 赤潮的分类分级标准及预警色设置[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 2035-2040.
- [15] 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.
- [16] 刘 悦,李 丽,翟晓辉,等. 深圳大鹏湾一次球形棕囊藻藻华的发生过程及成因分析[J]. 热带海洋学报, 2022, 41(3): 164-171.
- [17] Yu Z M, Song X X, Cao X H, et al. Mitigation of harmful algal blooms using modified clays: theory, mechanisms, and applications[J]. *Harmful Algae*, 2017, 69: 48-64.
- [18] 孙艺迪,王 德,高志强,等. 1982—2021 年黄、渤海表层温度变化的线性和非线性特征分析[J]. 海洋科学, 2023, 47(5): 41-53.
- [19] Matsubara T, Nagasoe S, Yamasaki Y, et al. Effects of temperature, salinity, and irradiance on the growth of the dinoflagellate *Akashiwo sanguinea*[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 342(2): 226-230.
- [20] Zheng B F, Lucas A J, Franks P J S, et al. Dinoflagellate vertical migration fuels an intense red tide[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2023, 120(36): e2304590120.
- [21] 于仁成,吕颂辉,齐雨藻,等. 中国近海有害藻华研究现状与展望[J]. 海洋与湖沼, 2020, 51(4): 768-788.
- [22] Xiao W P, Liu X, Irwin A J, et al. Warming and eutrophication combine to restructure diatoms and dinoflagellates[J]. *Water Research*, 2018, 128: 206-216.
- [23] 冉祥滨,韦钦胜,于志刚. 中国近海营养盐结构失衡与磷消耗问题及其生态环境效应的研究进展[J]. 海洋科学, 2023, 47(8): 75-89.
- [24] Xin M, Wang B D, Xie L P, et al. Long-term changes in nutrient regimes and their ecological effects in the Bohai Sea, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 146: 562-573.
- [25] 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(自然科学版), 1999, 20(3): 124-129.
- [26] 沈萍萍,齐雨藻,欧林坚. 中国沿海球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*) 的分类、分布及其藻华[J]. 海洋科学, 2018, 42(10): 146-162.

(本文编辑: 曲丽梅)