

# 近20年福建沿海赤潮的发生特点

李雪丁

(福建省海洋预报台, 福建 福州 350003)

**摘要:** 本文整理了 2001—2019 年近 20 年福建沿海 231 次赤潮事件, 通过统计方法综合分析, 结果表明, 福建沿海赤潮的发生具有明显的时间和区域特点, 赤潮主要发生在 4—7 月, 高发期为 5—6 月, 位置集中在宁德、福州、平潭和厦门沿海区域; 主要赤潮生物种类为东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense*)、夜光藻 (*Noctiluca scintillans*)、中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、角毛藻 (*Chaetoceros* sp.) 和米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi*), 以甲藻类赤潮为主; 灾害性赤潮均为甲藻类赤潮, 造成直接经济损失最多的是米氏凯伦藻赤潮。本文的研究结果可以为福建沿海赤潮的防灾、减灾工作提供一定的参考。

**关键词:** 赤潮; 近 20 年; 福建沿海; 特点

中图分类号: X55

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2021)04-0601-10

## Occurrence characteristics of the red tide in Fujian coastal waters during the last two decades

LI Xue-ding

(Fujian Marine Forecasts, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** There were 231 red tide events collected during the last two decades from 2001 to 2019 in Fujian coastal waters, using statistical method to comprehensive analysis the temporal and spatial distribution characteristics of the red tide in Fujian coastal waters. The result shows that the red tide displayed a distinctive spatial-temporal characteristics. The red tide occurred in April to July mainly, and the high incidence period was May to June. The red tide occurred in Ningde, Fuzhou, Pingtan and Xiamen coastal waters mainly. The primary red tide organisms were *Prorocentrum donghaiense*, *Noctiluca scintillans*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* sp. and *Karenia mikimotoi*. The disastrous red tide were dinoflagellate which lead to the huge economic loss.

**Key words:** red tide; the last two decades; Fujian coastal waters; characteristics

赤潮是指海洋中一些微藻、原生动物或细菌在一定的环境条件下爆发性增殖或聚集达到某一水平, 引起水体变色或对海洋中其他生物产生危害的一种生态异常现象。随着我国沿海海洋环境的变化, 赤潮发生的频率越来越高, 发生的

面积和造成的经济损失也越来越大, 对海洋生态系统、沿海水产养殖业和滨海旅游业的影响随之加大<sup>[1-2]</sup>, 其影响范围覆盖我国沿海各省份<sup>[3-7]</sup>, 已成为我国主要的海洋环境灾害之一<sup>[8]</sup>, 也是当今世界普遍关注的环境问题<sup>[9-12]</sup>。

收稿日期: 2020-05-11, 修订日期: 2020-05-18

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2016YFC1401900); 福建省科技计划项目(2018Y0001); 国家重点研发计划重点专项(2017YFC1404800); 国家重点研发计划重点专项(2018YFC1407000)

作者简介: 李雪丁(1982—), 男, 江西新余人, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为海洋预报, E-mail: lxd007@xmu.edu.cn

福建省海岸线曲折漫长,海湾众多,近年来由于全球变化和人类活动的影响,海洋环境的污染日益加剧<sup>[13]</sup>,福建省已成为我国赤潮灾害的多发地区之一<sup>[14-15]</sup>,而且近年来有毒赤潮的发生呈快速增长态势,其中2012年在福建沿海发生了以米氏凯伦藻为优势藻种的有毒赤潮,致使大量养殖鲍死亡,直接经济损失达201116.8万元,对渔业生产、滨海旅游和人类健康都产生了严重的影响,这是我国近海赤潮造成经济损失最严重的记录<sup>[16-18]</sup>。面对赤潮这一日益突出的海洋环境问题,本文梳理了2001年以来福建省赤潮监测资料及相关文献,针对赤潮的特点进行分析,以期今后的防灾、减灾工作提供一定的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 赤潮数据收集

赤潮数据来源于福建省海洋与渔业局<sup>[17,19]</sup>,包括2001—2019年福建沿海赤潮发生的起始和消亡时间、所在海域、最大面积、优势生物、持续时间、造成的损失及是否有毒等。

### 1.2 赤潮统计方法

利用统计学方法对近20年的赤潮事件分类统计分析,包括赤潮发生的藻种类别、持续时间、最大面积、直接经济损失、年平均、月平均、最大值、最小值、变化率等数据,不同海域分别统计分析,其结果用Excel软件进行分析制图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 福建沿海赤潮的总体特点

2001—2019年福建沿海共发生赤潮231次,持续时间为1281天,面积为12727.95 km<sup>2</sup>,直接经济损失217178.8万元(其中损失超过500万元的赤潮事件为14次)。

如图1所示,近20年福建沿海赤潮平均每年发生12.2次(2003年最多,为29次)。平均每年发生赤潮的持续时间和发生面积分别为67.4天和669.9 km<sup>2</sup>,其发生次数和面积的年变化规律基本一致。赤潮造成直接经济损失大的年份分别为2002年、2003年、2009年、2012年

和2019年,占总直接经济损失的99.6%。

从年际变化来看,赤潮历年的发生次数、持续时间和发生面积近年来明显下降。2001—2010年赤潮的发生次数、持续时间和发生面积平均值分别为16.1次、83.9天和1059.8 km<sup>2</sup>;而2011—2019年赤潮的发生次数、持续时间和发生面积平均值分别为7.8次、49.1天和236.6 km<sup>2</sup>,分别下降了52.6%、41.5%和77.7%。赤潮所造成的直接经济损失没有明显的年际变化规律。

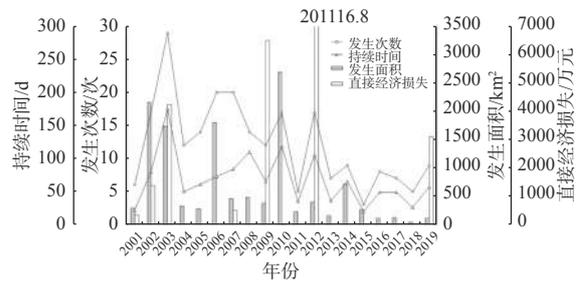


图1 福建沿海近20年赤潮的年际变化

Fig. 1 Yearly variation of the red tide in Fujian coastal waters during the last two decades

福建沿海发生的赤潮具有季节性,如图2所示,赤潮主要发生在4—7月,发生次数占全年总数的90.5%。赤潮高发期在5月和6月,其发生次数、持续时间、面积分别占全年赤潮总数的72.7%、84.5%、99.7%,5—6月正是福建沿海受西南暖湿气流影响最为强盛的时期,沿海湿度大,水温快速上升,非常有利于赤潮的发生<sup>[20-21]</sup>。图3为2001—2010年和2011—2019年各月发生赤潮次数占全年总数的比例变化,相比2001—2010年,2011—2019年4月、5月赤潮发生次数占总数的比例有所上升,特别是5月由46.3%上升到62.9%,而其余月份的比例均下降。同时,2001—2010年只有12月没有发生赤潮,而2011—2019年1—3月、8月、10—12月这7个月均无赤潮发生,这表明近年来赤潮的暴发时间在季节上更为集中(图3)。

近20年来,福建沿海由硅藻门(*Bacillariophyta*)引发的赤潮共96次,由甲藻门(*Dinophyta*)引发的赤潮共166次,由着色鞭毛藻门(*Chromophyta*)引发的赤潮共2次,由原生动物门(*Protozoa*)引发的赤潮共2次,由于在同一赤潮

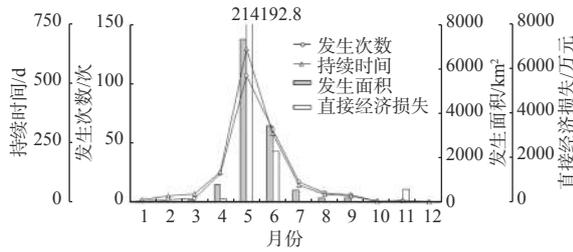


图2 福建沿海近20年赤潮月发生情况

Fig. 2 Monthly situation of red tide in Fujian coastal waters during the last two decades

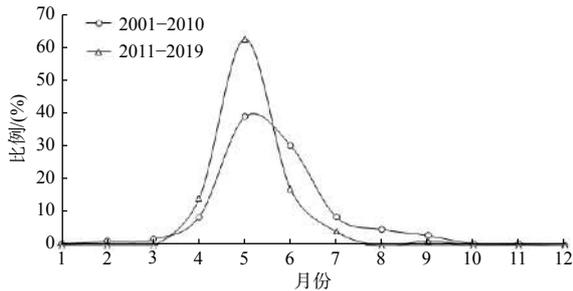


图3 2001—2010年和2011—2019年赤潮各月发生的赤潮次数占全年比例的变化

Fig. 3 Monthly red tide frequency during 2001—2010 and 2011—2019

事件中可能有多种藻种的生物密度同时达到或超过发生赤潮的基准密度, 本文在统计时分开计算, 因此以上赤潮的累计次数大于实际赤潮发生的总次数。引发赤潮的生物共有30种, 其具体的生物名称及其引发的赤潮次数如表1所示, 其中硅藻门引发赤潮的藻种有17种, 分别为布氏双尾藻 (*Ditylum brightwellii*)、地中海指管藻 (*Dactyliosolen mediterraneus*)、尖刺菱形藻 (*Nitzschia pungens*)、日本星杆藻 (*Asterionella japonica*)、新月菱形藻 (*Nitzschia closterium*)、柔弱角毛藻 (*Chaetoceros debilis*)、丹麦细柱藻 (*Leptocylindrus danicus*)、扭链角毛藻 (*Chaetoceros curvisetus*)、刚毛根管藻 (*Rhizosolenia setigera*)、圆海链藻 (*Thalassiosira rotula*)、短角弯角藻 (*Eucampia zodiacus*)、尖刺拟菱形藻 (*Pseudonitzschia pungens*)、柔弱菱形藻 (*Nitzschia delicatissima*)、诺氏海链藻 (*Thalassiosira nordenskiöldii*)、旋链角毛藻 (*Chaetoceros curvisetus*)、角毛藻 (*Chaetoceros* sp.)、中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、甲藻门引发赤潮的藻

种有11种, 分别为短裸甲藻 (*Gymnodinium brevis*)、微小原甲藻 (*Prorocentrum minimun*)、塔玛亚历山大藻 (*Alexandrium tamarense*)、多纹膝沟藻 (*Gonyaulax polygramma*)、锥状斯克里普藻 (*Scrippsiella trochoidea*)、链状裸甲藻 (*Gymnodinium catenatum*)、血红哈卡藻 (*Akashiwo sanguinea*)、裸甲藻 (*Gymnodinium* sp.)、米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi*)、夜光藻 (*Noctiluca scintillans*)、东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense*)、着色鞭毛藻门和原生动物门引发赤潮的生物各1种, 分别为球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*)和红色中缢虫 (*Mesodiniu rubrum*)。其中, 角毛藻和裸甲藻均为光镜下未定种, 分属于角毛藻属和裸甲藻属。与2001—2010年相比, 2011—2019年福建沿海没有出现13种藻种(分别为硅藻门的布氏双尾藻、地中海指管藻、尖刺菱形藻、日本星杆藻、新月菱形藻、柔弱角毛藻、柔弱菱形藻、诺氏海链藻、塔玛亚历山大藻、短裸甲藻、多纹膝沟藻、微小原甲藻以及原生动物门的红色中缢虫)引发的赤潮, 新出现了7种藻种(分别为硅藻门的丹麦细柱藻、短角弯角藻、扭链角毛藻、刚毛根管藻、尖刺拟菱形藻, 甲藻门的链状裸甲藻以及着色鞭毛藻门的球形棕囊藻)引发的赤潮。以上数据表明, 福建沿海引发赤潮的生物种类具有年际演变规律, 不断有新的生物种类引发赤潮。

由表1可知, 福建沿海赤潮优势藻种主要为硅藻门的中肋骨条藻、角毛藻(包括表1中的柔弱角毛藻、扭链角毛藻、旋链角毛藻和角毛藻)和甲藻门的东海原甲藻、夜光藻和米氏凯伦藻, 共引发赤潮219次, 占总数的82.3%, 其中, 中肋骨条藻、角毛藻、东海原甲藻、夜光藻、米氏凯伦藻分别引发赤潮45次、31次、66次、51次、26次, 由东海原甲藻引发的赤潮次数居首位。

如图4所示, 2001—2019年由硅藻引发赤潮的次数呈逐年下降趋势, 由甲藻引发赤潮的次数也在逐年下降, 但变化幅度不大。2001—2010年由硅藻和甲藻引发的赤潮年平均次数分别为7.7次和10.2次, 而2011—2019年由硅藻和甲藻引发的赤潮年平均次数分别为2.1次和7.1次, 下降幅度分别达72.7%和30.4%。

表 1 近 20 年福建沿海引发赤潮的生物及引发的赤潮次数

Tab.1 Species and numbers of red tide outbreaks in Fujian coastal waters during the last two decades

赤潮生物	次数	赤潮生物	次数	赤潮生物	次数
布氏双尾藻	1	微小原甲藻	1	链状裸甲藻	3
地中海指管藻	1	塔玛亚历山大藻	1	诺氏海链藻	4
尖刺菱形藻	1	圆海链藻	2	血红哈卡藻	6
日本星杆藻	1	短角弯角藻	2	裸甲藻	7
新月菱形藻	1	尖刺拟菱形藻	2	旋链角毛藻	8
柔弱角毛藻	1	多纹膝沟藻	2	角毛藻	21
丹麦细柱藻	1	红色中缢虫	2	米氏凯伦藻	26
扭链角毛藻	1	球形棕囊藻	2	中肋骨条藻	45
刚毛根管藻	1	锥状斯克里普藻	2	夜光藻	51
短裸甲藻	1	柔弱菱形藻	3	东海原甲藻	66

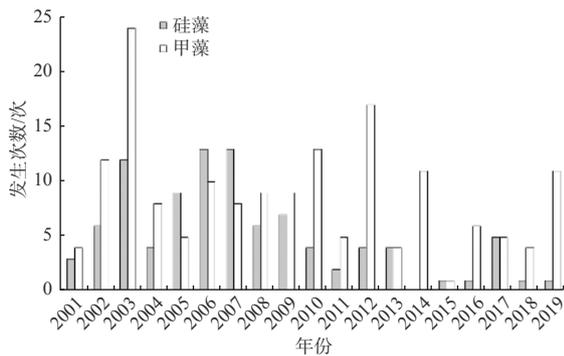


图 4 福建沿海近 20 年主要赤潮生物类群及其引发赤潮的次数

Fig. 4 Dominant red tide groups and numbers of red tide outbreaks in Fujian coastal waters during the last two decades

如图 5 所示,福建沿海由甲藻类引发的赤潮高发期在 4—6 月,处于春季向夏季的转换时期,时间段非常集中,占总数的 97.0%,其他月很少发生;由硅藻类引发赤潮的高发期时间跨度较大,4—9 月均有发生,高峰期在夏季(5—7 月),占总数的 74.0%。

2.2 福建各地市沿海赤潮发生的特点

2.2.1 赤潮发生的区域特点

福建宁德、福州、平潭、莆田、泉州、厦门和漳州沿海地区发生的赤潮具有明显的区域特点,如图 6 所示,各地市沿海赤潮主要发生在宁德、福州、平潭、厦门沿海,共发生 191 次,占赤潮总发生次数的 82.7%,以宁德沿海次数最多;各地市沿海赤潮的持续时间与发生次数变化特点一

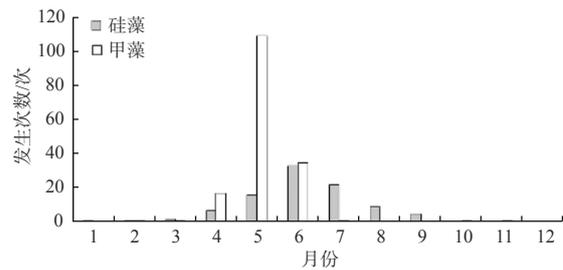


图 5 甲藻和硅藻近 20 年在各月引发的赤潮次数

Fig. 5 Numbers of red tide in each month of *Dinophyta* and *Bacillariophyta* during the last two decades

致。各地市沿海赤潮发生面积最大的是宁德沿海,占赤潮发生总面积的 38.4%,福州、平潭、莆田、厦门沿海地区赤潮的发生面积相差不大,占赤潮发生总面积的 10%~15%,泉州和漳州沿海地区赤潮发生面积在 1000 km<sup>2</sup> 以下;各地市沿海由赤潮造成的直接经济损失比较集中,主要发生在福州、平潭、莆田沿海,占总直接经济损失的 97.8%,宁德、泉州沿海由赤潮造成的直接经

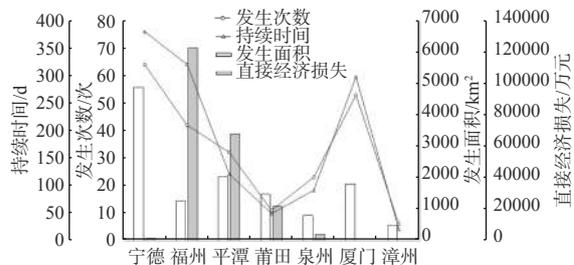


图 6 福建 7 个地市沿海近 20 年赤潮发生情况

Fig. 6 General situation of red tide in 7 cities of Fujian coastal waters during the last two decades

济损失较小,而厦门和漳州沿海赤潮未造成直接经济损失。

从年际变化特点来看(如图7所示),2001年到2019年福建各地市沿海赤潮发生次数的比例变化较大,其中,宁德和厦门沿海赤潮的发生比例从2001—2010年的31.7%、29.8%分别下降到2011—2019年的18.6%和7.1%,而莆田和泉州沿海赤潮的发生比例则从2001—2010年的2.5%、5.0%分别上升到2011—2019年的10.0%和21.4%,福州、平潭和漳州沿海赤潮发生的比例均有上升,这表明近年来赤潮在福建各地市沿海的发生更加均匀。

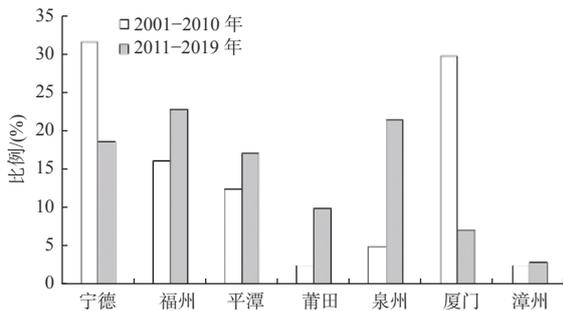


图7 2001—2010年和2011—2019年赤潮在福建7个地市沿海发生次数的比例变化

Fig. 7 Monthly red tide frequency of red tide in 7 cities of Fujian coastal waters during 2001—2010 and 2011—2019

### 2.2.2 赤潮发生的年度特点

福建各地市沿海的赤潮发生次数和发生面积如图8所示,宁德沿海赤潮发生次数占福建沿海的比例最高,历年的赤潮发生次数有两个峰值,自2003年开始呈逐年下降趋势,赤潮发生面积较大的年份为2002年、2003年、2010年。福州沿海赤潮集中发生在2007—2012年,发生次数最多的是2012年,发生面积较大的年份主要在2012年之前。平潭沿海赤潮2003年发生7次,其余年份发生赤潮均在3次以下,其中有3个年份没有发生赤潮,发生面积较大的年份为2003年、2006年、2010年;莆田沿海、泉州沿海和漳州沿海赤潮每年发生次数都在3次以下,且大部分年份不发生赤潮;厦门沿海赤潮发生次数和发生面积较大的年份主要在2011年之前,之后较少发生。

### 2.2.3 赤潮发生的月变化特点

福建各地市沿海赤潮发生次数和发生面积具有明显的季节性特点,如图9所示。宁德沿海赤潮的发生次数和面积主要集中在5月,分别占该区全年的65.6%和82.8%;福州沿海赤潮发生次数和面积主要集中在4—6月,分别占该区全年的88.1%和87.6%;平潭沿海赤潮发生次数和面积主要集中在5—6月,分别占该区全年的81.3%和88.4%;莆田沿海赤潮发生次数和面积主要集中在5月,分别占该区全年的72.7%和89.7%;泉州沿海赤潮发生次数主要集中在5—6月,但发生面积主要在4—6月和9月;厦门沿海赤潮发生次数和面积主要集中在6—7月,分别占该区全年的64.2%和73.3%;漳州沿海发生赤潮次数较少,且主要发生在5—6月。

### 2.2.4 赤潮生物类群特点

福建各地市沿海引发赤潮的生物类群如图10所示。在宁德沿海引发赤潮的主要生物类群包括甲藻、硅藻,共15种,其中,甲藻类、硅藻类赤潮发生次数分别占该区赤潮总量的92.4%和7.6%;发生面积分别占该区的98.7%和1.3%,以甲藻类赤潮为主。宁德沿海主要赤潮生物为东海原甲藻、夜光藻、米氏凯伦藻,三种赤潮生物引发赤潮的次数分别占该区赤潮总量的46.8%、20.3%和11.4%,发生面积分别占该区的67.5%、11.2%和8.0%。

在福州沿海引发赤潮的主要生物类群包括甲藻、硅藻,共10种,其中,甲藻类、硅藻类赤潮发生次数分别占该区赤潮总量的69.6%和30.4%;发生面积分别占该区的81.8%和18.2%,以甲藻类赤潮为主。福州沿海主要赤潮生物为东海原甲藻、中肋骨条藻、米氏凯伦藻,三种赤潮生物引发赤潮的次数分别占该区赤潮总量的32.6%、23.9%和15.2%,发生面积分别占该区的46.9%、14.3%和6.8%。裸甲藻赤潮虽然发生次数少,但发生面积占该区赤潮总量的25.7%。

在平潭沿海引发赤潮的主要生物类群包括甲藻、硅藻,共5种,其中,甲藻类、硅藻类赤潮发生次数分别占该区赤潮总量的97.1%和2.9%;发生面积分别占该区的77.3%和22.7%,以甲藻类赤潮为主。平潭沿海主要赤潮生物为夜光

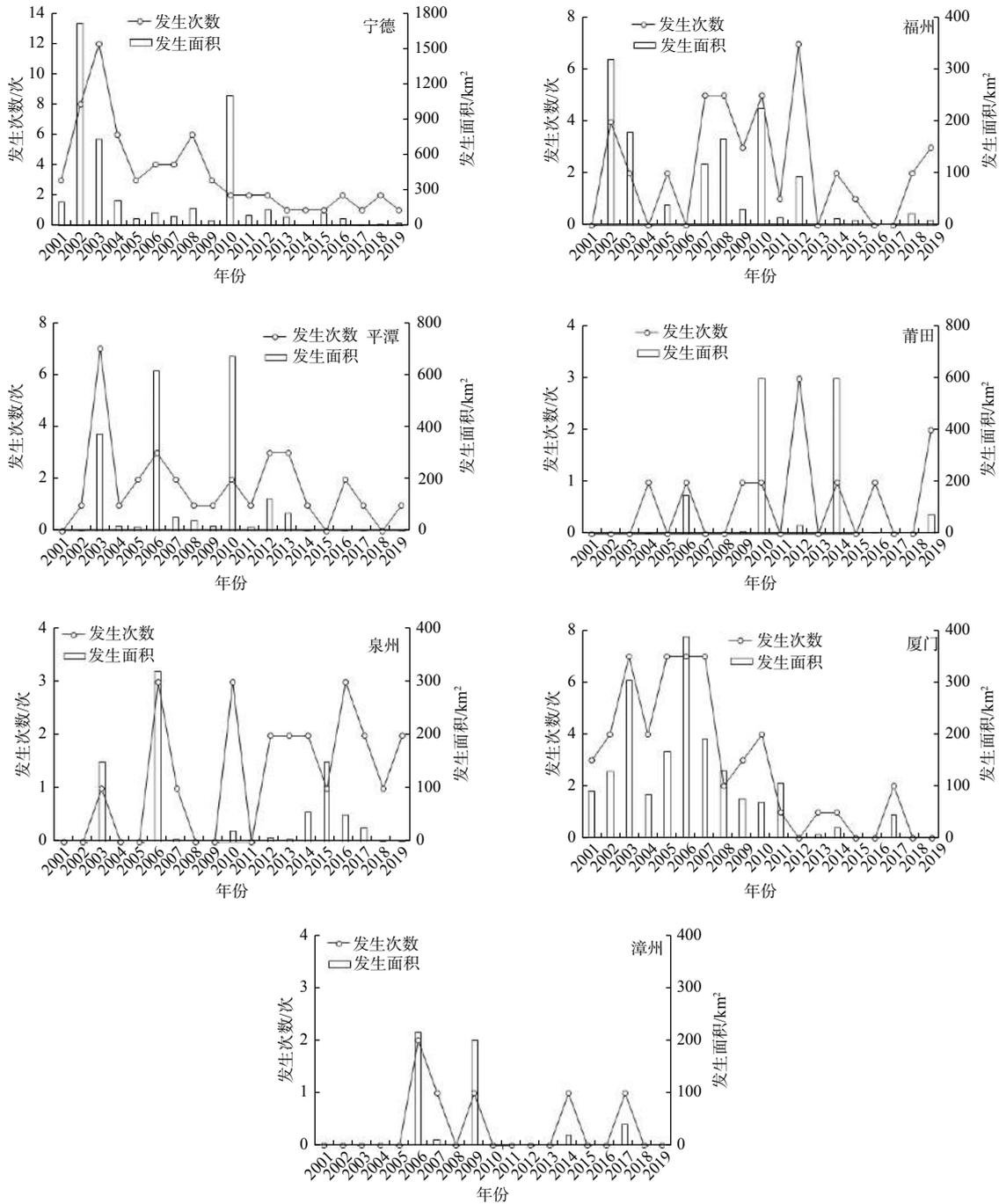


图 8 福建 7 个地市沿海近 20 年赤潮年度变化

Fig. 8 Annual change of red tide in 7 cities of Fujian coastal waters during the last two decades

藻、东海原甲藻、米氏凯伦藻, 三种赤潮生物引发赤潮的次数分别占该区赤潮总量的 58.8%、23.9% 和 11.8%, 发生面积分别占该区的 20.2%、29.1% 和 5.2%。中肋骨条藻赤潮和多纹膝沟藻赤潮虽然都只发生 1 次, 但面积却达到 600 km<sup>2</sup>。

在莆田沿海引发赤潮的主要生物类群包括甲藻、硅藻, 共 4 种, 其中, 甲藻类、硅藻类赤潮

的发生次数分别占该区赤潮总量的 90.9% 和 9.1%; 发生面积分别占该区的 99.9% 和 0.1%, 以甲藻类赤潮为主。莆田沿海主要赤潮生物为夜光藻, 其发生次数和面积分别占该区的 54.5% 和 36.0%; 东海原甲藻赤潮虽然只发生 2 次, 但发生面积占该区总面积的 62.2%。

在泉州沿海引发赤潮的主要生物类群包括

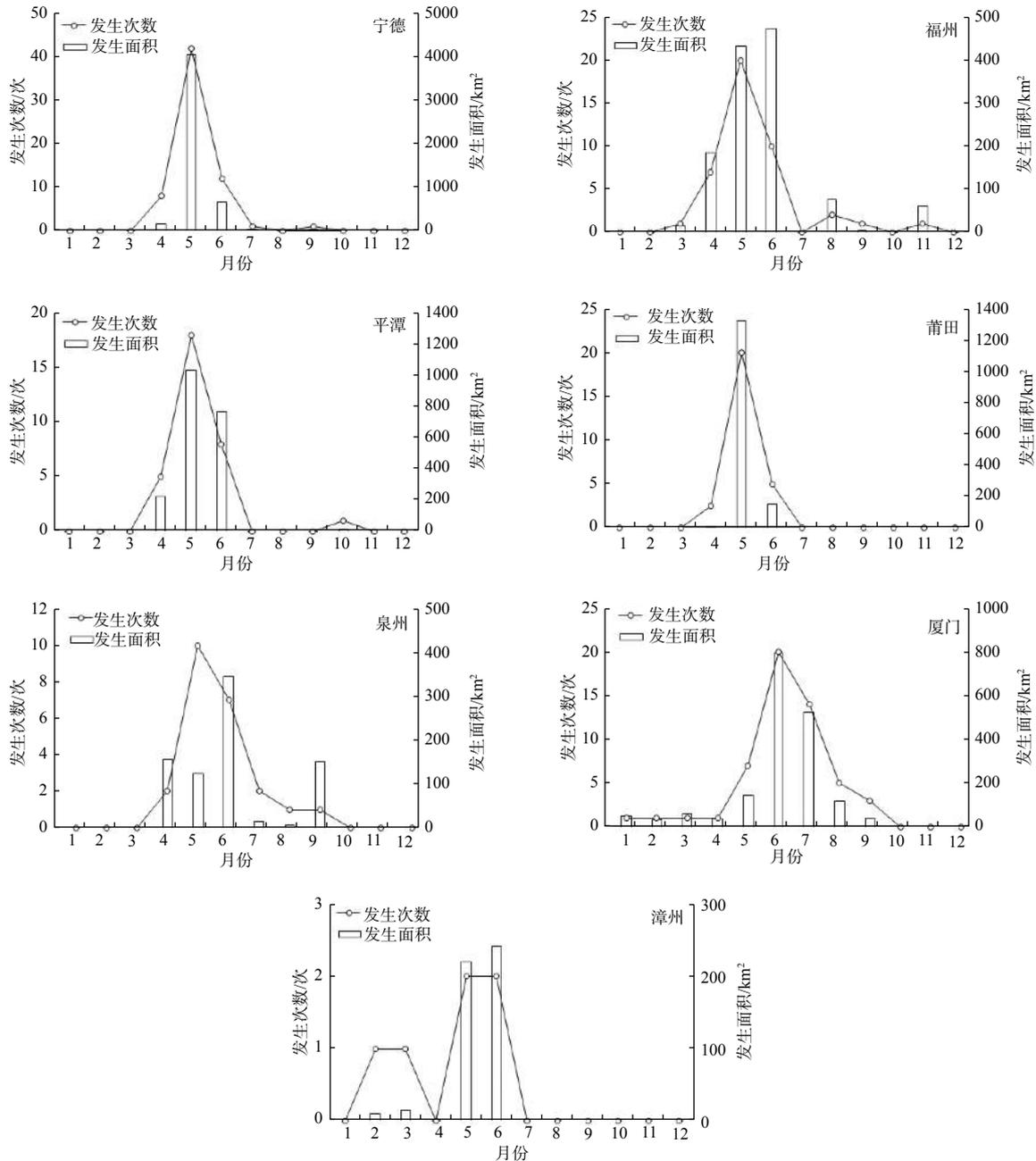


图 9 福建 7 个地市沿海近 20 年赤潮月变化

Fig. 9 Monthly change of red tide in 7 cities of Fujian coastal waters during the last two decades

甲藻、硅藻和着色鞭毛藻, 共 11 种, 其中, 甲藻、硅藻和着色鞭毛藻赤潮发生次数分别占该区赤潮总量的 54.5%、36.4% 和 9.1%; 发生面积分别占该区的 33.9%、34.5% 和 31.6%。泉州沿海主要赤潮生物为夜光藻, 发生次数和面积分别占该区赤潮总量的 22.7% 和 17.5%。

在厦门沿海引发赤潮的主要生物类群包括甲藻、硅藻和原生动物, 共 13 种, 其中甲藻类、

硅藻类赤潮和原生动物发生次数分别占该区赤潮总量的 10.3%、86.8% 和 2.9%; 发生面积分别占该区的 11.5%、86.9% 和 1.5%, 以硅藻类为主。厦门沿海主要赤潮生物为中肋骨条藻、角毛藻。其中中肋骨条藻赤潮发生次数和面积分别占该区赤潮总量的 39.7% 和 34.0%; 角毛藻赤潮发生次数和面积分别占该区的 30.9% 和 33.7%。

在漳州沿海引发赤潮的主要生物类群包括

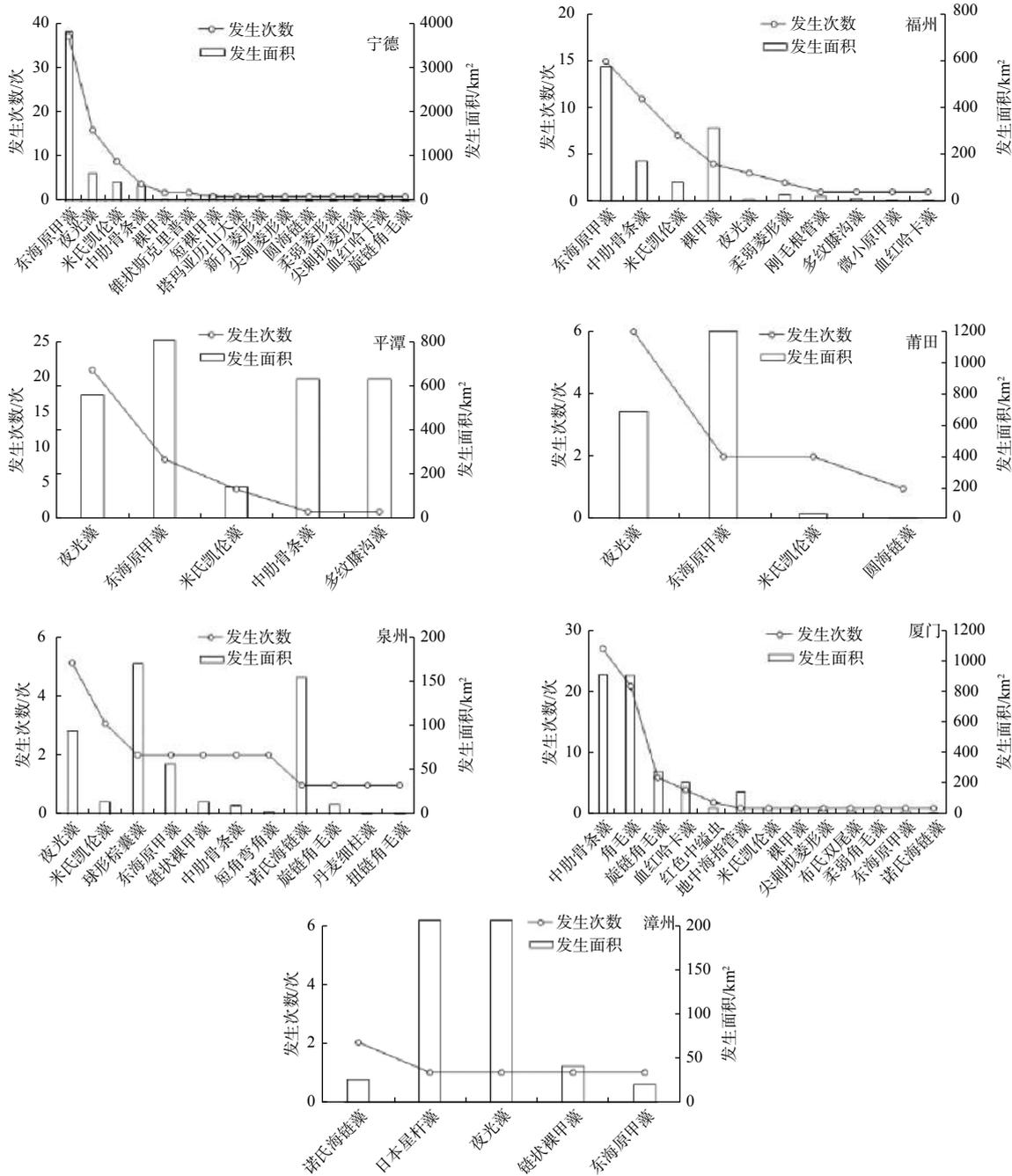


图 10 福建 7 个地市沿海近 20 年赤潮生物及其引发赤潮情况

Fig. 10 Main red tide species and outbreaks cases in 7 cities of Fujian coastal waters during the last two decades

甲藻、硅藻等, 共 5 种, 其中, 甲藻类、硅藻类赤潮的发生次数各占该区赤潮总量的 50.0%; 发生面积分别占该区的 53.6% 和 46.4%。

2.2.5 高发性赤潮生物类群特点

福建沿海高发性赤潮生物东海原甲藻、夜光藻、中肋骨条藻、角毛藻和米氏凯伦藻在 7 个地市沿海发生次数如图 11 所示。东海原甲藻引发的赤潮在福建沿海均有分布, 主要分布在宁德、

福州和平潭沿海, 占比达到 90.9%, 东海原甲藻赤潮发生前有一个升温过程, 升温是该种赤潮暴发的重要条件<sup>[14]</sup>; 夜光藻引发的赤潮分布在泉州以北海域, 主要分布在宁德和平潭沿海, 占总数的 70.6%, 夜光藻在闷热无雨、风浪小、水体稳定的海况下易引发赤潮<sup>[14]</sup>; 中肋骨条藻引发的赤潮分布在厦门以北海域, 主要分布在福州和厦门沿海, 占总数的 84.4%, 中肋骨条藻赤潮主要发生

在受淡水影响的沿岸海域,包括河口区以及降雨后海水盐度降低且营养盐丰富的海域<sup>[22]</sup>;角毛藻引发的赤潮分布非常集中,主要分布在厦门海域,占总数的 90%;米氏凯伦藻引发的赤潮在福建沿海分布较为均匀,发生次数在各地市沿海相差不多。

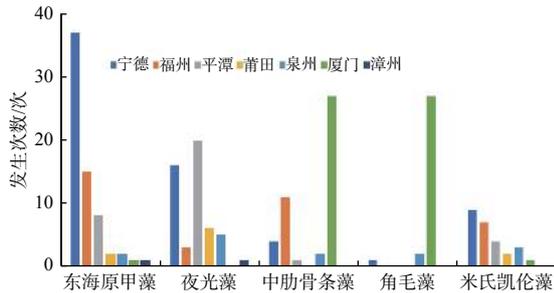


图 11 福建 7 个地市沿海近 20 年高发赤潮生物种类及发生次数

Fig. 11 High incident red tide species and numbers of red tide outbreaks in 7 cities of Fujian coastal waters during the last two decades

2001—2010 年和 2011—2019 年高发赤潮生物引发赤潮次数占总数的比例变化如图 12 所示。2011—2019 年东海原甲藻和米氏凯伦藻引发的赤潮比例明显上升,分别上升了 6.8% 和 13.3%,米氏凯伦藻具有较强的垂直运动能力,在自然海域中能够竞争光照和营养物质,在群落中具有较强的种群竞争力<sup>[2]</sup>;夜光藻引发的赤潮发生比例变化不大;而中肋骨条藻和角毛藻引发的赤潮比例明显下降,分别下降了 11.0% 和 10.2%,从图 11 可知,中肋骨条藻和角毛藻主要发生在厦门海域,随着 2010 年厦门高集海堤开口改造的顺利完成,厦门东西海域水体交换通畅,再加上海上养殖清退,水体状况转好,作为“三废污染”指示种<sup>[23]</sup>的中肋骨条藻赤潮发生的次数大幅减少。以上数据表明,引发赤潮的生物种类近年来更加集中为甲藻类,并且向米氏凯伦藻等有害赤潮发展。

### 2.3 引发灾害性的赤潮生物

近 20 年福建沿海共发生灾害性赤潮 36 次,总发生面积 3023.2 km<sup>2</sup>,仅占历年赤潮累计发生总数的 15.6% 和 23.8%,但造成的直接经济损失达 217178.8 万元。在福建 7 个沿海地市中,宁德沿

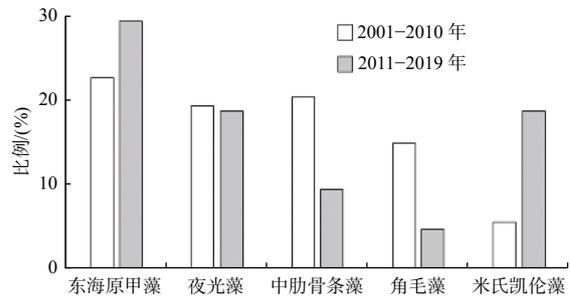


图 12 2001—2010 年和 2011—2019 年高发赤潮生物引发赤潮次数占总数的比例

Fig. 12 High incident red tide species outbreaks frequency during 2001-2010 and 2011-2019

海发生灾害性赤潮 10 次,累计发生面积 1890 km<sup>2</sup>,造成直接经济损失 1086 万元;福州沿海发生灾害性赤潮 10 次,累计发生面积 561 km<sup>2</sup>,造成直接经济损失 122786.1 万元;平潭沿海发生灾害性赤潮 10 次,累计发生面积 513.5 km<sup>2</sup>,造成直接经济损失 67923.2 万元;莆田沿海发生灾害性赤潮 3 次,累计发生面积 44 km<sup>2</sup>,造成直接经济损失 21599.5 万元;泉州沿海发生灾害性赤潮 3 次,累计发生面积 14.7 km<sup>2</sup>,造成直接经济损失 3784 万元。这表明灾害性赤潮造成的直接经济损失主要发生在福州和平潭沿海,占总数的 87.8%,厦门和漳州沿海均没有发生直接经济损失。

从图 13 可知,近 20 年福建沿海引发灾害性赤潮的生物均为甲藻类,分别为米氏凯伦藻、裸甲藻、夜光藻和东海原甲藻。其中,米氏凯伦藻的影响最大,造成直接经济损失 204815.8 万元,占总数的 94.3%,米氏凯伦藻是鱼毒性赤潮典型代表<sup>[24]</sup>,其产生的溶血毒素和细胞毒素可造成鱼类大量死亡<sup>[2]</sup>,同时米氏凯伦藻细胞死亡后会产生

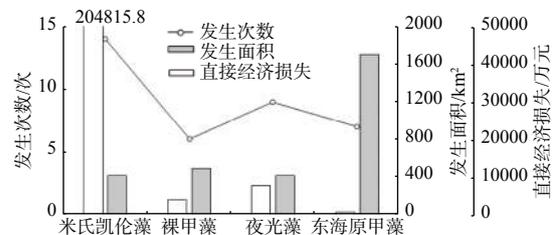


图 13 福建沿海近 20 年灾害性赤潮发生情况

Fig. 13 Disastrous red tide situation in Fujian coastal waters during the last two decades

大量粘液并消耗水中的氧气,且死亡的鱼类等生物体内累积的毒素会经食物链传递到人类,威胁人类健康和安<sup>[25-26]</sup>。裸甲藻、夜光藻发生次数与米氏凯伦藻相当,但造成的直接经济损失仅占总数的5.4%。东海原甲藻引发灾害性赤潮的发生面积远大于前三者,但造成的直接经济损失却仅占总数的0.3%。

### 3 结 论

(1)近20年福建沿海赤潮主要发生在4—7月,高发期为5—6月;引发赤潮的生物有30种,赤潮优势藻种主要为硅藻门的中肋骨条藻、角毛藻和甲藻门的东海原甲藻、夜光藻和米氏凯伦藻,以东海原甲藻引发赤潮的次数居首位;近年来由硅藻和甲藻引发的赤潮次数明显下降;引发赤潮的生物种类具有年际演变规律,不断有新的生物种类引发赤潮。

(2)近20年福建各地市沿海赤潮主要发生在宁德、福州、平潭、厦门沿海;灾害性赤潮造成的直接经济损失主要发生在福州和平潭沿海,引发灾害性赤潮的生物均为甲藻类,其中米氏凯伦藻的影响最大。

### 参考文献:

- [1] 齐雨藻. 中国沿海赤潮[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] 吕颂辉, 岑竞仪, 王建艳, 等. 我国近海米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)藻华发生概况、危害及其生态学机制[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(3): 487-494.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 谢宏英, 王金辉, 马祖友, 等. 赤潮灾害的研究进展[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(3): 482-488.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 左书华, 李 蓓. 近20年中国海洋灾害特征、危害及防治对策[J]. 气象与减灾研究, 2008, 31(4): 28-33.
- [9] HALLEGRAEFF G M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase[J]. *Phycologia*, 1993, 32(2): 79-99.
- [10] CORRALES R A, MACLEAN J L. Impacts of harmful algae on seafarming in the Asia-Pacific areas[J]. *Journal of Applied Phycology*, 1995, 7(2): 151-162.
- [11] ANDERSON D M. Turning back the harmful red tide[J]. *Nature*, 1997, 388(6642): 513-514.
- [12] PARK T G, LIM W A, PARK Y T, et al. Economic impact, management and mitigation of red tides in Korea[J]. *Harmful Algae*, 2013, 30(S1): S131-S143.
- [13] 蔡清海. 福建主要港湾的环境质量[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [14] 许翠娅, 黄美珍, 杜 琦. 福建沿岸海域主要赤潮生物的生态学特征[J]. 台湾海峡, 2010, 29(3): 434-441.
- [15] 李雪丁. 福建沿海近10a赤潮基本特征分析[J]. 环境科学, 2012, 33(7): 2210-2216.
- [16] 陈宝红, 谢尔艺, 高亚辉, 等. 米氏凯伦藻对海洋生物致毒作用的研究进展[J]. 福建水产, 2015, 37(3): 241-249.
- [17] 福建省海洋与渔业局. 福建省海洋灾害公报[R]. 福州: 福建省海洋与渔业局, 2011-2019.
- [18] 林佳宁, 颜 天, 张清春, 等. 福建沿海米氏凯伦藻赤潮对皱纹盘鲍的危害原因[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(1): 27-34.
- [19] 福建省海洋与渔业局. 福建省海洋环境状况公报[R]. 福州: 福建省海洋与渔业局, 2001-2017.
- [20] HELLERMAN S, ROSENSTEIN M. Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1983, 13(7): 1093-1104.
- [21] 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.
- [22] 陈炳章, 王宗灵, 朱明远, 等. 温度、盐度对具齿原甲藻生长的影响及其与中肋骨条藻的比较[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(1): 60-64.
- [23] 郑 重. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [24] GENTIEN P, LUNVEN M, LAZURE P, et al. Motility and autotoxicity in *Karenia mikimotoi* (Dinophyceae)[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2007, 362(1487): 1937-1946.
- [25] MITCHELL S O, RODGER H. Pathology of wild and cultured fish affected by a *Karenia mikimotoi* bloom in Ireland, 2005[J]. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 2007, 27(1): 39-42.
- [26] JI X Q, HAN X T, ZHENG L, et al. Allelopathic interactions between *Prorocentrum micans* and *Skeletonema costatum* or *Karenia mikimotoi* in laboratory cultures[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2011, 29(4): 840-848.