

2010—2020年宁德近岸海域赤潮时空分布特征分析

康建华¹,黄舒虹¹,林毅力¹,裴璐璐^{1,2},罗肇河¹

(1.自然资源部第三海洋研究所 厦门 361005;2.福州大学 福州 350108)

摘要:文章收集整理2010—2020年发生在宁德近岸海域的赤潮事件,综合分析该海域赤潮的时空分布和种类特征,结果表明:①近11年来宁德近岸海域共发生赤潮16起,年均1.5起;总面积高达1468 km²,年均133.5 km²;持续时间共169天,年均15.4天。②从月份上看,赤潮发生在4—6月,高发期为5月。③发生赤潮的种类共有3种甲藻和1种硅藻,其中发生次数、面积和持续天数最高的均为东海原甲藻,其次为米氏凯伦藻,最低为中肋骨条藻。④从空间分布上来看,福宁湾及其周边海域(A区)赤潮次数和持续天数最长,三沙湾外海域(D区)赤潮面积最大,三沙湾内海域(C区)的赤潮种类最多。⑤米氏凯伦藻引发的有毒赤潮共4次,主要集中在霞浦近岸海域。适宜的温度、盐度、丰富的营养盐和良好的天气是米氏凯伦藻形成赤潮的前提条件。

关键词:赤潮;时空分布;硅藻;甲藻;米氏凯伦藻;宁德近岸海域

中图分类号:P76

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2022)03-0003-06

Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Red Tide in Ningde Coastal Waters From 2010 to 2020

KANG Jianhua¹, HUANG Shuhong¹, LIN Yili¹, PEI Lulu^{1,2}, LUO Zhaohe¹

(1.Third Institution of Oceanography,MNR,Xiamen 361005,China; 2. Fuzhou University, Fuzhou 350108,China)

Abstract:In order to analyze the spatio-temporal distribution and species characteristics of red tide in the coastal waters of Ningde, all red tide events occurred in this study area were collected from 2010 to 2020. The important conclusions were as follows: Firstly, a total of 16 red tides occurred in Ningde coastal waters, with an annual average of 1.5 times in the past 11 years. The total area of red tides was as high as 1468 km², with an annual average of 133.5 km². The duration of red tides was 169 days, with an annual average of 15.4 days. Secondly, red tide occurred from April to June, with a high frequency in May. Thirdly, red tide species included dinoflagellates and diatoms. In terms of frequency and area of red tide, *Prorocentrum donghaiense* ranked first, followed by *Karenia mikimotoi*, and the last one was *Skeletonema costatum*. Fourthly, in terms of spatial distribution, the locations with the highest frequency of red tide and the longest duration were in Funing Bay and its surrounding waters (Zone A), while the largest area of red tide was scattered in Sansha outer Bay (Zone D), and the largest number of red tide spe-

收稿日期:2021-05-07;修订日期:2022-02-16

基金项目:厦门市青年创新基金项目(3502Z20206095).

作者简介:康建华,副研究员,博士研究生,研究方向为海洋浮游植物生态学和近海有害藻华等

通信作者:罗肇河,副研究员,博士,研究方向为有害藻类对水产养殖危害及综合防治、有害赤潮防控等

cies was located in Sansha inner Bay (Zone C). Fifthly, there were four times of toxic red tides caused by *Karenia mikimotoi*, mainly concentrated in the waters around Xiapu coastal waters. Appropriate temperature and salinity, rich nutrients and good weather were the prerequisite conditions for the formation of red tide of *Karenia mikimotoi*.

Keywords: Red tide, Spatial-temporal distribution, Diatoms, Dinoflagellates, *Karenia mikimotoi*, Ningde coastal waters

0 引言

赤潮是生活在海水中某些浮游植物、原生动物或细菌在适宜的环境条件下,爆发性增殖或高度聚集而引起水体变色的一种有害生态现象^[1]。赤潮的暴发,会使生态平衡遭到破坏,特别是造成渔业资源的损失。当赤潮生物死亡分解时会消耗大量溶解在水中的氧气,造成海里的鱼虾因缺氧而死亡,还有些赤潮生物分泌的黏液会堵塞鱼虾的鳃部引起其窒息,有毒赤潮生物的毒素甚至能通过食物链的传递,最终被人类误食引起中毒甚至死亡^[2],因此,进行赤潮灾害相关的研究对人类的生产和生活极其重要。

宁德俗称闽东,位于长江三角洲、珠江三角洲和我国台湾地区的中间位置,自然环境优良,基本形成了以海洋渔业、航运业、旅游业和工业等为主的海洋经济体系^[3]。宁德海岸线长 878 km(不包括岛屿),占全省海岸线总长近 1/3;海域面积 4.46 万 km²,占全省海洋渔场总面积的 35.63%;区域内分布大小岛屿 344 个、港湾 29 个,占福建省岛屿总数的 21.3%。海岸线曲折,港湾众多,拥有三都澳、沙埕、三沙和赛岐等几个重要的天然良港,尤其是三都澳港,50 万 t 轮船可随时进港全天候作业,是中国东南沿海唯一尚未大规模开发的深水良港,具有发展成为大型工业港和综合性枢纽港的广阔前景^[4]。由此可见,海洋是宁德市非常重要的组成部分。但随着宁德工农业和渔业的不断发展,海水的污染问题日益突显,造成了近年来宁德近岸海域频频发生赤潮,严重危害了海洋生态平衡和水产资源开发利用。由于对宁德赤潮的研究报道较少,本研究收集整理了宁德市沿海 2010—2020 年所记录的赤潮资料,对近 11 年赤潮发生的时空特征、生物种类特征和藻类毒性等进行全面分析研究,以期找出其时空变化的规律和趋势,为科研工作者以及

海洋管理者未来在防控和治理赤潮污染上提供基础研究分析资料和科学依据。

1 数据来源和调查范围

本研究分析的赤潮资料数据主要来源于《福建省海洋环境公报》《福建省灾害公报》以及福建省海洋与渔业局^[5-7]。这些数据包含了 2010—2020 年宁德海域发生赤潮的次数、天数、面积、持续时间、赤潮种类及其毒性等相关基础信息(2020 年收集的数据截止时间为 9 月 1 日)。根据这些信息,笔者勾勒出 2010—2020 年宁德海域赤潮发生的大致范围,并划分成相应的区域以便分析。其中:A 海区(120.02°E—120.46°E, 26.72°N—27.06°N)包括:霞浦海域;霞浦至高罗海域;宁德嵛山岛至高罗海域;宁德烽火岛至高罗海域;宁德长表岛至高罗以西海域;宁德嵛山岛至长表岛以西海域。B 海区(119.90°E—120.08°E, 26.68°N—26.80°N)包括:霞浦西洋岛、浮鹰岛到闰峡以西海域。C 海区(119.53°E—119.99°E, 26.52°N—26.90°N)包括:三沙湾海域;宁德蕉城区礁头码头至象山村海域;三沙湾的霞浦海域;三都黄湾附近海域。D 海区(119.79°E—120.48°E, 26.32°N—26.73°N)包括:三沙湾外海域。

2 结果和分析

2.1 年际和季节变化特征

2.1.1 赤潮种类及其总次数

图 1 展示了 2010—2020 年宁德近岸海域所有发生赤潮的生物门类、种类及其发生频率的情况。结果表明,近 11 年来,宁德近岸海域发生赤潮灾害的生物共两大门类,其中:甲藻门最多,占 3 种,分别为东海原甲藻、米氏凯伦藻和血红哈卡藻,发生次数占总次数的 93.75%;硅藻门仅有 1 种,为中肋骨条藻,发生次数占总次数的 6.25%。

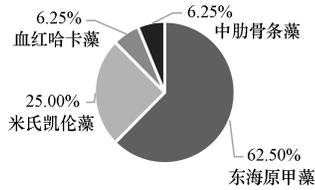


图 1 2010—2020 年宁德近岸海域所有赤潮生物门类及其发生频率

图 2 展示了 2010—2020 年宁德近岸海域每年发生赤潮的生物种类及其次数。结果表明,从每年出现的赤潮生物种类上来看,东海原甲藻发生的频率最高,除 2012 年和 2020 年未出现外,其他年份均有发现,共发生 10 次,占总次数的 62.50%,而血红哈卡藻和中肋骨条藻仅发生过 1 次。从年发生次数上来看,2010—2020 年宁德湾海域共发生赤潮 16 起,其中 2011 年、2012 年、2016—2018 年各发生 2 起,其余年份仅发生 1 起。

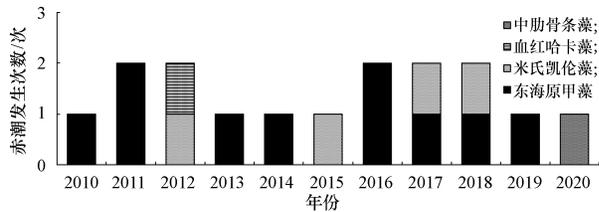


图 2 2010—2020 年宁德近岸海域每年发生赤潮的生物种类及其年累计次数

图 3 展示了 2010—2020 年宁德近岸海域每月发生赤潮的生物种类及其次数。从每月出现的赤潮生物种类上来看,东海原甲藻 4 月和 5 月均有出现,但尤以 5 月最为突出,高达 9 次;米氏凯伦藻则在 5 月和 6 月出现,以 5 月居多,高达 3 次;血红哈卡藻和中肋骨条藻则分别在 4 月和 6 月出现 1 次。

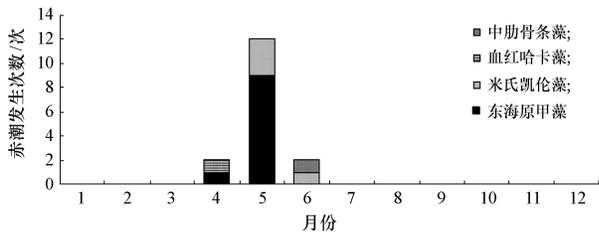


图 3 2010—2020 年宁德近岸海域每月发生赤潮的生物种类及其月累计次数

从月发生次数上来看,2010—2020 年宁德近岸海域赤潮灾害全部集中在 4—6 月,其中 5 月是高峰期,共发生 12 起,占赤潮月总次数的 75%,4 月和 6 月各发生 2 起,其他月份均无赤潮发生。

2.1.2 发生面积

2010—2020 年宁德近岸海域甲藻门赤潮灾害发生面积占赤潮发生总面积的 99.93%,而硅藻门中的中肋骨条藻赤潮面积仅占 0.07%(图 4)。

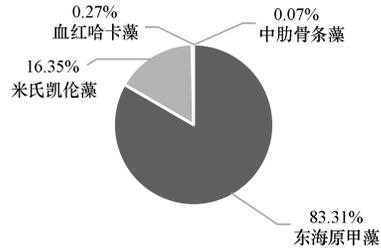


图 4 2010—2020 年宁德近岸海域所有赤潮藻门类发生面积占总面积的百分比

从年发生面积上来看,2010—2020 年宁德近岸海域发生赤潮的总面积高达 1 468 km²,年均约 133.5 km²。其中 2010 年赤潮发生面积最多,高达 925 km²,2012 年和 2015 年紧随其后,分别为 134 km² 和 100 km²。以 2015 年为界,2010—2014 年发生赤潮总面积为 1 274 km²,年均发生 255 km²,2016—2020 年共发生 94 km²,年均 18.8 km²,较前 5 年的平均值下降约 83.44%(图 5)。

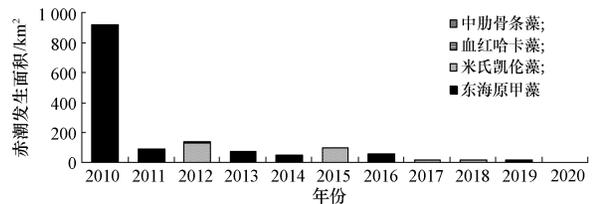


图 5 2010—2020 年宁德近岸海域发生赤潮的生物种类年累计面积

2010—2020 年宁德近岸海域发生赤潮全部集中于 4—6 月,总面积达 1 468 km²,其中 5 月最多,高达 1 427 km²,占比约 97%,6 月为 3 个月中最低的,仅有 7 km²(图 6)。

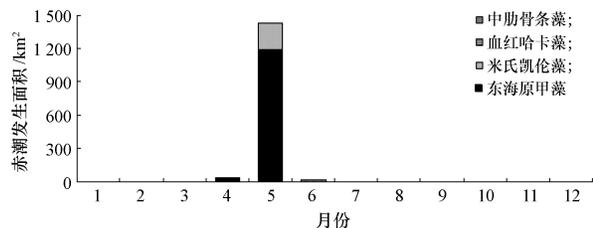


图 6 2010—2020 年宁德近岸海域发生赤潮的生物种类月累计面积

2.1.3 持续天数

2010—2020年宁德近岸海域持续发生赤潮天数最长的是甲藻门,占持续天数的98.82%,而硅藻门仅占持续天数的1.18%(图7)。

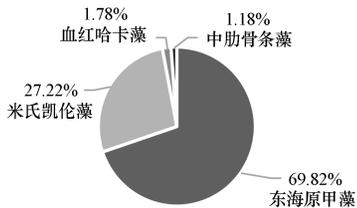


图7 2010—2020年宁德近岸海域所有赤潮藻门类持续天数占总天数的百分比

从赤潮年持续天数上来看,2010—2020年宁德近岸海域赤潮共持续169天,年均约15天。其中:2017年持续天数最长,长达30天;2020年持续天数最短,仅有2天。以2015年为界,2010—2014年赤潮持续总天数为87天,年均持续17天,而2015—2020年共持续75天,年均持续15天,较前5年略有下降(图8)。

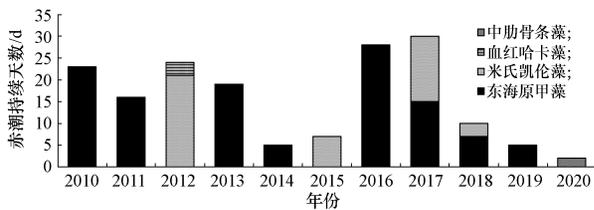


图8 2010—2020年宁德近岸海域各赤潮生物种类的年持续天数

从每月持续的天数来看,2010—2020年宁德近岸海域赤潮在夏季的持续时间最长,其中最主要集中在5月,高达141天,其次是4月,持续天数为23天,最少是6月,仅持续5天,其他月份均未发生赤潮(图9)。

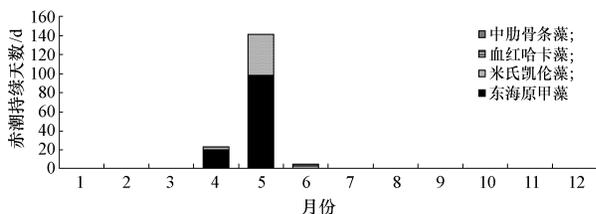


图9 2010—2020年宁德近岸海域发生赤潮生物种类的月持续天数

2.2 空间变化特征

2.2.1 发生区域及其年次数

宁德近岸海域自北向南,近11年来发生赤潮灾害的海域划分为A、B、C、D共4个区域。从各区域年发生次数来看,A海区三沙湾内海域的次数最多,高达9次,占总次数的56.3%;C海区次之,共发生5次,占总次数的31.3%。B海区和D海区分别位于三沙湾内和三沙湾外,均只发生1次。

2.2.2 持续天数

近11年来宁德近岸海域赤潮持续天数总数为169天。从各海区来看,持续天数最长的海区是A海区,高达101天,占总天数的60%;其次是C海区,持续天数为42天,占总天数的25%;D海区持续天数为23天,占总天数的14%;持续天数最短的是B海区,持续天数为3天,仅占总天数的1.8%。

2.2.3 发生面积

近11年来宁德海域发生赤潮的总面积为1468 km²。从各海区来看,D海区赤潮发生面积最大,高达925 km²,占总面积的63%;其次为A海区,赤潮发生面积为312 km²,占总面积的21%;紧接着是C海区,赤潮发生面积为225 km²,占总面积的15%;最少的是B海区,赤潮发生面积为6 km²,仅占总面积的0.4%。

2.2.4 赤潮种类

2010—2020年宁德近岸海域赤潮发生的藻种情况汇总可知,A海区发生赤潮的藻种是米氏凯伦藻和东海原甲藻,主要发生在5月;B海区引发赤潮的藻种为米氏凯伦藻,发生于6月;C海区发生赤潮的藻种最多,东海原甲藻、米氏凯伦藻、血红哈卡藻、中肋骨条藻均有出现,发生在4月、5月和6月;D海区发生赤潮的藻种为东海原甲藻,主要发生于5月。

2.2.5 有毒赤潮种类

2010—2020年宁德近岸海域虽然共发生16次赤潮,但引发有毒赤潮的种类仅有1种,即米氏凯伦藻。米氏凯伦藻能产生细胞毒素、溶血毒素、糖脂类毒素、脂肪酸类毒素,这些毒素能够引起海洋动物和鱼类的死亡,从而对人类生活造成影响^[8]。本研究中米氏凯伦藻发生的海域主要位于三沙湾的

霞浦海域和霞浦西洋岛、浮鹰岛到闰峡以西海域,分别于2012年、2015年、2017年、2018年各发生1次,均集中于5月和6月。尤其值得注意的是,2017年5月宁德长表岛至高罗以西海域出现复合型赤潮,有毒性的米氏凯伦藻在发生赤潮时伴随着无毒的东海原甲藻。

3 讨论

通过对长达11年的宁德近岸海域的赤潮结果分析发现,以2015年为界,2020—2014年和2015—2020年赤潮暴发的次数及肇事物种并没有发生显著变化,但是后5年赤潮的发生面积显著缩小且持续时间略有下降,表明宁德近海海域在污染物入海控制、富营养化海域水体和底质改善、养殖品种优化等综合管理中取得初步成效。同时,统计结果表明,东海原甲藻和米氏凯伦藻无论是在其年度还是月份累积次数、面积、持续天数上均占据绝对优势,将是未来宁德近海赤潮防控重点关注物种。所以讨论这两种赤潮藻的形成条件显得尤为重要,决策者和管理者一旦弄清了其形成机理,则可以针对其源头和发展过程进行有效的防控和治理。综上所述原因,本研究将重点讨论这两种藻发生赤潮的条件。

3.1 东海原甲藻

宁德海域发生赤潮的藻种中东海原甲藻发生的频率最高,且集中发生在5月。东海原甲藻赤潮发生前,气温均有一定的上升,4—6月平均气温达到17℃以上。升温是该种赤潮暴发的重要条件,赤潮发生前的较高温度,对东海原甲藻的大量增殖形成赤潮有诱导作用^[9]。根据黄备等^[10]调查的结果,5月东海海水温度将有较大提升,水温均超过了20℃,海域平均温度从4月的15.9℃上升到5月的21.9℃。另一个是气压和风力因素,东海原甲藻暴发前,气压会明显降低,风力会变小,风向一般会由东北转为东南或正南。从气象角度来看,宁德出现的东海原甲藻偏爱发生于持续多云或者阴天的天气,这说明弱的光照条件可能是东海原甲藻赤潮发生和延续的一个重要因子^[11]。但也有研究表明,东海原甲藻赤潮也可以在光照较强的条件下发生^[12],所以光照的强弱对东海原甲藻的影响存在一定的争议。而无可争议的是,丰富的营养盐肯定是东海

原甲藻暴发的首要条件,有研究表明,宁德近岸海域5月的营养盐非常高,其中溶解无机氮和磷酸盐的浓度分别高达0.317 mg/L和0.028 mg/L,这为东海原甲藻全面发展成赤潮提供了充足的营养来源^[13]。

3.2 米氏凯伦藻

宁德近岸海域最经常发生的有毒赤潮藻为米氏凯伦藻赤潮,其能产生溶血毒素(haemolytictoxin)和细胞毒素(cytotoxin),该毒素的主要成分为糖脂类、糖苷类和不饱和多脂酸类化合物,也有少数蛋白质和肽类物质^[14]。这种毒素能够溶解鱼类、贝类等鳃组织结构,使鱼类、贝类等无法正常呼吸而窒息死亡,造成重大渔业经济损失^[15]。米氏凯伦藻形成赤潮时对温度和盐度的条件比较苛刻,其适温和适盐范围相对有限,这正是米氏凯伦藻在宁德近岸海域与东海原甲藻相比,赤潮发生频率较小、持续时间较短和覆盖面积较少的主要原因。另外,米氏凯伦藻赤潮的发生与降雨相关性非常明显,降雨冲刷大量的营养物质及其他微量元素进入海洋,同时会引起水温、盐度和营养盐浓度的瞬时改变,这很可能对藻类的增殖具有一定程度上的刺激作用^[16]。宁德近岸海域5月中旬至6月上旬常有雷阵雨,雨量充沛,易引起地表径流、农田排水和污染源排放量的增加,保证了丰富的营养物质输入,强降雨之后天气转晴,海况良好(1~2级),风力较小(2~3级),良好的光照和适宜的气温(22℃~25℃),这些均构成米氏凯伦藻赤潮发生和发展的充分条件^[17]。但也有研究结果表明,在非降雨的天气情况下,24℃左右的气温、良好的海况和充分的营养盐才是赤潮发生及维持的重要因素^[18]。虽然这两者对降雨是否为引发赤潮发生的必要因素的观点存在分歧,但对富营养是米氏凯伦藻赤潮发生的最基本条件的这个结论是保持一致的。

4 结论和建议

(1)2010—2020年以来宁德近岸海域共发生赤潮16起,年均1.5起;总面积高达1468 km²,年均133.5 km²;持续时间高达169天,年均15.4天。从年发生次数、面积和持续天数来看,2010—2014年较2015—2020年均呈明显的下降趋势。从月份上

来看,赤潮主要集中在 4—6 月,其中 5 月的发生次数(12 次)、面积(1 427 km²)和持续天数(141 天)均为最高。

(2)2010—2020 年以来宁德近岸海域发生赤潮的种类共有 4 种(硅藻门 1 种、甲藻门 3 种),其中东海原甲藻的发生次数(10 次)、面积(925 km²)和持续天数(118 天)均为最高,其次为米氏凯伦藻,最低的是中肋骨条藻。

(3)2010—2020 年以来宁德近岸海域赤潮的空间分布特征差异明显。从年次数上来看,A 海区最多,总体呈现 A>C>B=C;从持续天数上来看,A 海区最多,总体呈现 A>C>D>B;从发生面积上来看,D 海区最大,总体趋势为 D>A>C>B;从赤潮种类上来看,A 海区发生赤潮的种类为米氏凯伦藻和东海原甲藻,B 海区发生赤潮的主要种类为米氏凯伦藻,C 海区最多,东海原甲藻、米氏凯伦藻、血红哈卡藻、中肋骨条藻均存在,D 海区则仅有东海原甲藻。

(4)2010—2020 年以来宁德近岸海域仅发现米氏凯伦藻为有毒赤潮的种类,其主要位于霞浦附近海域,共发生 4 次,持续天数为 7 天,总面积为 244 km²。适宜的温度和盐度、丰富的营养盐、良好的天气和海况是米氏凯伦藻形成赤潮的前提条件。

(5)鉴于宁德近岸海域赤潮主要发生在 4—6 月,尤以 5 月最为严重,且 A 海区和 C 海区的赤潮年发生频率和种类较多,建议相关海事和管理部门不仅要重点关注 5 月,同时要加大 A 海区和 C 海区的生活及工农业排污和渔业生产的监测力度,提前制定防控及应对措施。另外,米氏凯伦藻的毒素能够引起海洋动物和鱼类的死亡,对渔业造成重大损失,必要时应聘请赤潮方面的专业技术专家进行咨询并提出减灾和治理方案。

参考文献

[1] 李光毅,郑崇荣,杨凡,等. 2008—2017 年泉州市沿海赤潮灾害

特征分析[J]. 海洋开发与管理,2019,58(7): 58—63.

- [2] 卓鑫. 近十年福州沿海赤潮的基本特征研究[J]. 海洋预报, 2018,35(4): 34—40.
- [3] 谢宏英. 赤潮灾害风险评估研究:以宁德沿海为例[D]. 上海:上海海洋大学,2018:1—30.
- [4] 福建省环境科学研究院. 宁德市城市总体规划(2011—2030)—环境影响篇章[EB/OL]. (2014—09—24)[2021—03—01]. http://www.ningde.gov.cn/zwgk/gjhj/ghgy/201409/t20140924_47860.htm.
- [5] 福建省海洋与渔业厅. 福建省海洋环境状况公报(2010 年)[R]. 2010:1—37.
- [6] 福建省海洋与渔业厅. 福建省灾害公报[R]. 2011—2018.
- [7] 福建省海洋与渔业局. 福建省海洋环境状况公报[R]. 2019—2020.
- [8] 刘桂英,葛坤,宋伦,等. 米氏凯伦藻的研究进展[J]. 水产研究所海洋科学,2015,39(9):117—122.
- [9] 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.
- [10] 黄备,邵君波,魏娜,等. 2014 年春季东海大面积甲藻赤潮的生态特征[J]. 生态环境学报,2014,23(9): 1457—1462.
- [11] 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.
- [12] 李正华. 福建长乐海区一次东海原甲藻赤潮生消过程分析[J]. 渔业研究,2012,34(3):196—202.
- [13] 林永添. 宁德三都湾海水网箱养殖区营养盐状况调查[J]. 水产养殖,2014,35(4):33—36.
- [14] 刘桂英,葛坤,宋伦,等. 米氏凯伦藻的研究进展[J]. 水产研究所海洋科学,2015,39(9):117—122.
- [15] 龙华,杜琦. 福建沿海米氏凯伦藻赤潮的初步研究[J]. 福建水产,2005,25(4):22—26.
- [16] 刘志国,王金辉,蔡芃,等. 米氏凯伦藻分布及其引发赤潮的发生规律研究[J]. 国土与自然资源研究,2014(1):38—41.
- [17] 龙华,杜琦. 福建沿海米氏凯伦藻赤潮的初步研究[J]. 福建水产,2005,25(4):22—26.
- [18] 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.