

海表温度对连江黄岐赤潮影响的研究

李星

(福建省海洋预报台, 福建 福州 350003)

摘要: 利用连江黄岐半岛海域 20 a 的统计资料及附近海域近 5 a 的 SST 观测资料展开研究, 探讨 SST 对于该海域赤潮发生发展和消亡的影响及呈现出的特征。结果表明: 连江黄岐赤潮灾害集中发生在 4—6 月, 此时该海域 SST 在 18~26 °C, 赤潮发生盛期的适宜 SST 为 22~26 °C。若初春南风异常强劲, 造成 SST 明显比近 5 a 同期偏高, 则首次赤潮发生时间可能提前。研究同时表明: SST 变化率与赤潮也有密切联系, 发生赤潮的年份最大 SST 变化率偏大。每年首次发生赤潮灾害前均有一次较快的升温过程, 幅度在 2~3 °C, 赤潮维持期间剧烈的 SST 变化也会加速赤潮的消亡。另外, 积温在某种程度上也影响着赤潮生物的生长, 黄岐附近海域在积温达到 2 300 °C·d 时有利于赤潮的生成。

关键词: 赤潮; SST; 温度变化率; 积温

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2021)03-0095-09

1 引言

福建省连江县海洋捕捞、养殖和水产加工业发达。2018 年渔业产值 212.48 亿元, 占连江县第一产业总产值的近九成, 水产品产量 110.3 万吨^[1], 位列全省第一。连江黄岐半岛位于福建省东部海岸, 北面有罗源湾和三沙湾, 南面是闽江出海口, 呈现东西长南北窄的形状特点。黄岐半岛附近海域一直是福建赤潮的高发地带^[2], 一方面特殊的地形特征容易导致水体交换不良, 另一方面养殖业的繁荣发展加剧了海水富营养化^[3]。了解赤潮发生因子与该海域赤潮的关联特性, 能在一定程度上实现对赤潮的提前预警, 减少养殖户的损失。

赤潮的生消发展是一个复杂的过程, 具体原因尚无定论, 但普遍认为与气温、风力、SST、pH、溶解氧和无机盐等几十种孕灾因子相关, 涉及生物、化学、气象、水文和人为活动等多个方面^[4-7]。海表面温度 (Sea Surface Temperature, SST) 是水文环境中重要的孕灾因子之一, 张健等^[8]在研究与赤潮相关

的环境因子中, 发现东海沿海赤潮发生的最适 SST 区间为 25~33 °C, SST 与赤潮发生呈显著正相关。万艳^[9]在研究平潭海域夜光藻赤潮与水温的关系时发现, 温暖的水温背景更有利于赤潮的发生, 在赤潮发生的前 1 d, 气温靠近最适宜赤潮发生的水温。Hwang 等^[10]应用自组织映射 (Self-Organizing Map, SOM) 技术研究了韩国赤潮发生时的 SST 特征以及 SST 的变化规律。对于赤潮生消发展与多种孕灾因子的关系研究有很多^[11-12], 但以单一因子作为对象的深入研究却不多。本文将开展黄岐半岛海域 SST 与赤潮发生的特征相关性研究, 旨在挖掘 SST 对赤潮生消的影响, 提升赤潮灾害应急处置能力。

2 数据资料

统计数据来自 2000—2019 年《福建省海洋灾害公报》^[13]中赤潮灾害过程的统计结果, 包括赤潮发生海域、起止时间、持续天数、最大面积、优势藻种和经济损失等。SST 场资料采用美国环境预报中心

收稿日期: 2020-10-12; 修回日期: 2021-01-21。

基金项目: 国家重点研发计划重点专项 (2016YFC1401900, 2017YFC1404800)。

作者简介: 李星 (1987-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事海洋气象预报工作。E-mail: lixing100710@163.com

(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的FNL(Final Operational Global Analysis)再分析SST资料,空间分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,时间间隔为6 h。SST月平均资料来自NCEP再分析数据集。

观测资料选取黄岐半岛附近浮标搭载的两个温盐传感器传回的实测数据。站点1(119.7047°E , 26.3573°N)在黄岐半岛北侧,位于罗源湾内,SST数据从2014年6月—2019年12月;站点2(119.8752°E , 26.3600°N)在同心湾渔排养殖区内,SST数据从2015年8月—2019年12月。这两处数据为逐小时数据,连续性较好且具有代表性,在本文研究时段的数据质量较好。数据经过格式标准化处理、质量控制和非均一性检验。

3 连江黄岐赤潮概况

据《福建省海洋灾害公报》统计,2000—2019年20 a中福建近岸共发生233起赤潮事件,赤潮高发区集中在厦门、霞浦、连江、平潭和泉州,从北到南基本覆盖了整个福建沿海。厦门为赤潮发生最频繁的海域,高达54起,其次是霞浦,49起,连江,32起。但近5 a(2015—2019年)仅发生32起,平均每年6.4起,发生频率显著减少,发生最频繁的海域依次是泉州、霞浦和连江。

在2000—2019年连江海域发生的赤潮中,有25起发生在黄岐半岛附近海域,累计发生总天数166 d,平均持续6.64 d;近5 a连江发生的赤潮则全部发生在黄岐半岛附近海域。每年的3—9月为福建省赤潮的高发时段,黄岐赤潮则主要暴发于4—6月(见图1),3月、8月和9月偶有赤潮,7月没发生过赤潮,

5月发生次数最多,为11次,且赤潮种类较为多样。

不同藻类的最适温度、适温范围和耐受范围不尽相同^[14],从监测的第一优势藻种来看,具有一定的规律性。出现频率最高的中肋骨条藻,发生时间最早,且由于中肋骨条藻为广温性藻种,所以在3—6月很常见;其次为东海原甲藻,5—6月出现较为集中。进入夏季,由于气温和SST较高,藻类生长受到抑制,增殖数量锐减,维持在较低水平。

从20 a统计结果来看,赤潮第一优势藻种多为无毒藻种,但在复杂的赤潮生物中,往往还有第二和第三优势种且具有毒性,甚至第一优势种会变换更替,这对于养殖业或多或少会造成损失。例如,2019年5月23日在连江发生的赤潮,第一优势种为夜光藻,24日第一优势种变更为东海原甲藻,26日米氏凯伦藻密度增加成为第二优势种,之后密度减弱,整个过程中始终伴有具有毒性的米氏凯伦藻和短凯伦藻,虽未达到基准密度,但产生的毒素对海洋生物可能是致命的。

4 SST对赤潮的影响分析

由于SST观测数据有限,2016—2017年该海域没有发生赤潮的记录,结合有观测数据且发生赤潮的年份,我们选择对2015—2019年的5次赤潮过程(见表1)的SST进行研究。

4.1 SST时空分布

近5 a,黄岐海域有2 a没有观测到赤潮,2015年4月和2018年4月各发生1起中肋骨条藻无毒赤潮,2018年6月发生米氏凯伦藻有毒赤潮,2019年5月

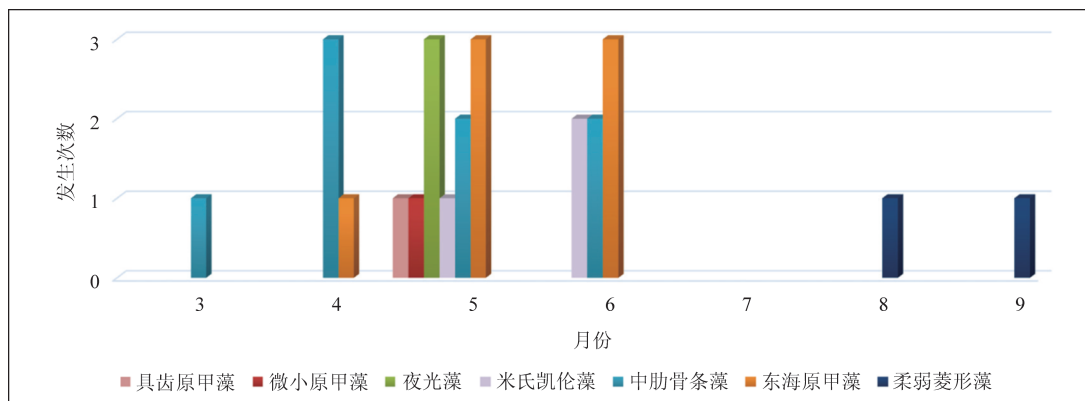


图1 连江黄岐赤潮第一优势藻种统计

表1 2015—2019年黄岐半岛附近海域发生的赤潮事件

年份	发生时间	持续天数/d	优势藻种
2015年	4月7—9日	3	中肋骨条藻
2018年	4月12—14日	3	中肋骨条藻
	6月7—12日	6	米氏凯伦藻
2019年	5月13—17日	5	夜光藻
	5月23—6月5日	14	夜光藻

发生2起夜光藻无毒赤潮。

利用FNL的再分析数据绘制的赤潮发生当天SST的分布情况来看(见图2),在罗源湾内和同心湾养殖区SST等值线基本与岸线平行,越靠近岸边温度梯度变化越大。赤潮多发海域赤潮发生时的SST从18~26℃均有出现,不过由于各藻种的最适

宜温度不同,增殖为赤潮灾害的第一优势种也不同。

中肋骨条藻是典型的广温广盐性赤潮生物,在10~34℃均可生存,最适温度为25℃。2015年4月7日和2018年4月12日中肋骨条藻赤潮暴发的同心湾附近海域SST为18~20℃,是此海域中在偏低SST环境暴发较早的赤潮藻种。两起赤潮均持续3d就消亡了,消亡时SST为15℃和20℃。

米氏凯伦藻虽然也为广温广盐性种类,但20a的统计表明,该藻种在黄岐半岛出现在5月底—6月初,根据当地SST观测资料,发现此时SST普遍已经达到25℃,因此可判断此海域暴发米氏凯伦藻赤潮最适温度在25℃左右。姚炜民等^[15]通过2005年浙江海域米氏凯伦藻赤潮的连续监测分析,发现浙江

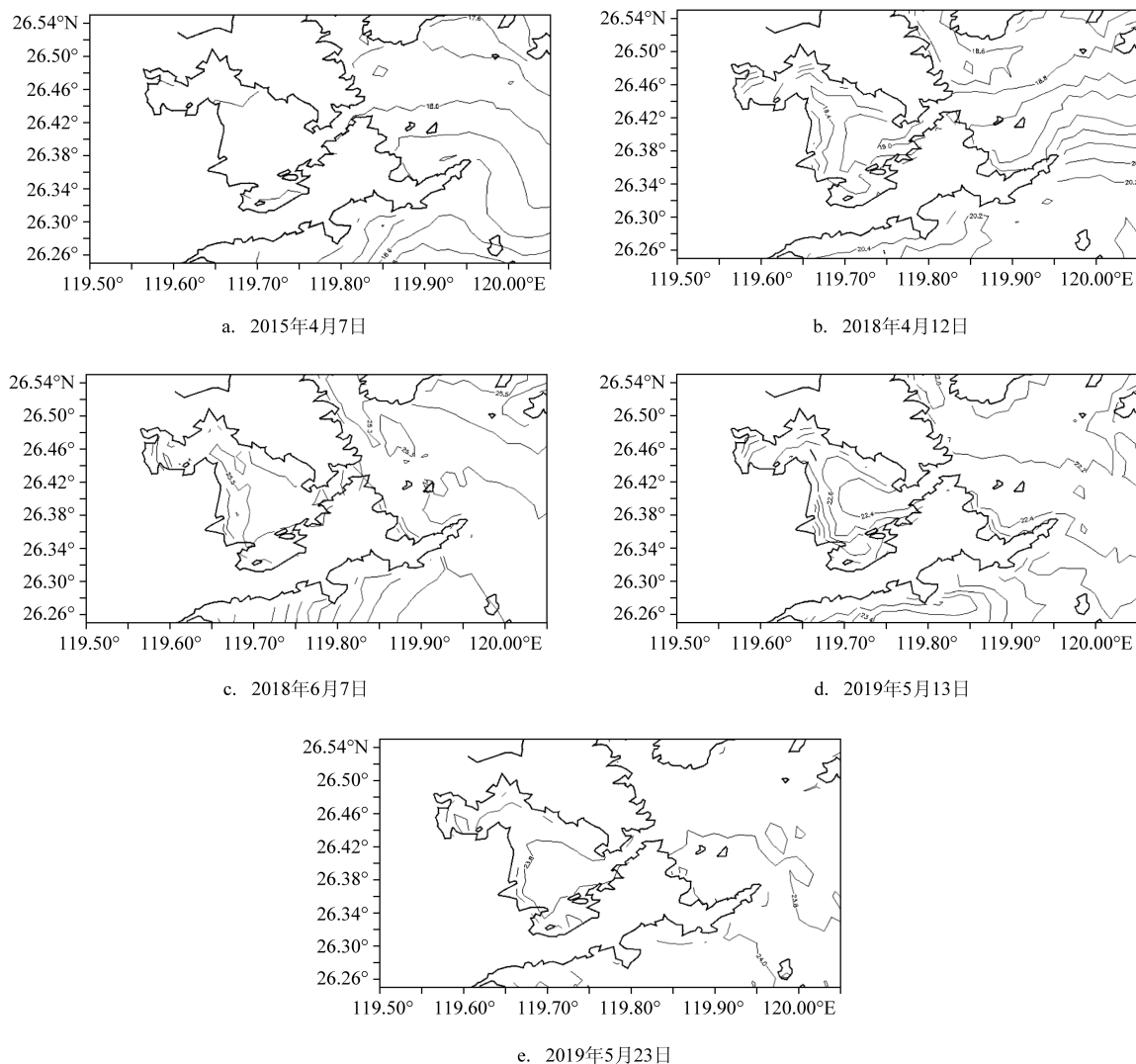


图2 赤潮发生时黄岐半岛海域SST分布

暴发米氏凯伦藻的最佳 SST 为 23.4~23.8 °C,这就说明同一赤潮生物在不同海域表现出不同的生态习性。2018 年米氏凯伦藻赤潮发生在 6 月,天气系统较为稳定, SST 已达 26 °C,但随着温度继续升高,过高的水温不适合赤潮的发展和维持,赤潮持续了 6 d 后消亡。

夜光藻在 16~25 °C 均可生存,最适温度为 22 °C^[16]。2019 年 5 月的两次夜光藻赤潮同样发生在同心湾附近海域, SST 在 22 °C 左右。5 月 23 日赤潮持续了 14 d,在此期间 SST 始终维持在 23 °C 左右,如此小的温度波动为赤潮的维持创造了有利条件,在消亡前 2 d SST 才上升至 25 °C,导致其消亡。

把赤潮发生时的日均 SST 与 5 a 同期平均值进行对比(见表 2),可以看出在赤潮高发期的 5—6 月,黄岐半岛附近海域的 SST 为 22~26 °C,与 5 a 同期平均值差不多,为多数赤潮藻种适宜生长的温度。但观察在首次赤潮发生较早的年份中,初春 SST 较 5 a 同期明显偏高,因此可以认为 SST 异常偏高是引起赤潮提早发生的重要原因之一。

4.2 SST 变化对赤潮的影响

从连江黄岐附近海域 5 a 的 SST 变化来看,季节内震荡较大,最低日均温 8.9 °C,最高日均温达 31 °C,单日最高 SST 出现 34 °C。在赤潮多发的 4—6 月,除了没有明显天气系统影响,水体条件稳定,还有一个重要因素就是此时的 SST 基本达到了非常适宜赤潮生物生长的水平。

在冬春季节转换过程中,冷空气天气系统对福建的影响逐渐减小,南海夏季风基本都在 5 月左右正式建立,7 月到达极盛期^[17-19],但其实从 3 月起夏季风就开始影响中国华南沿海,然后以渐进和急进两种方式向北推进^[20]。南海夏季风带来了暖湿空

气,水温持续升高,风浪较小,在这种高温、高湿和无风浪的条件下,能够促进藻类繁殖^[21]。从图 3 可以看出,3 月开始 SST 变化趋势出现拐点,开始缓慢升高,4 月 SST 普遍超过 15 °C,并呈现持续升高的趋势,7 月 SST 接近 30 °C,赤潮藻种的生长再次受到了抑制。

由于 SST 变化是一个缓慢的过程,所以以 5 d SST 变化率作为研究 SST 变化的指针,时间范围包括赤潮发生盛期的前 1 M—后 1 M,即 3—7 月。5 d SST 的变化范围在 5 °C 以内,是类似正弦波的曲线,在 SST 缓慢上升的过程中,存在增温和降温的交替出现。

2015 年全球经历了一次超强厄尔尼诺(El Niño)事件,此时黄岐海域 3—7 月的 5 d SST 变化率比其他年份的震荡周期更有规律,周期为 0.5 M,1 M 内大约出现两次振幅相当的升温和降温(见图 3a)。由于升温和降温的幅度较大,且每次基本都能达到 2 °C 以上,因此虽然出现的最大 5 d 变化率为+3.72 °C 和最小 5 d 变化率为-4.95 °C,远超其他年份,但平均值却是 5 a 最低,方差为 5 a 最大(见表 3)。2015 年 SST 变化特点是没有剧烈波动,且具有较长的稳定上升和下降时间,对赤潮藻种生长是有利的。

2016 年和 2017 年在黄岐海域没有监测到赤潮事件,5 d 的 SST 平均变化率为+0.49 °C 和+0.46 °C,最大变化率都未达到 3 °C,方差较小。但值得注意的是虽然最小值为-3.81 °C 和-2.99 °C,但在 5 M 中仅出现一次这样的剧烈降温,且都出现在盛期开始前和接近结束的时候,变化率波动的范围基本处于正半轴,也就是持续升温,降温时间较少幅度较小,升温的幅度小且周期短。2018 年和 2019 年平均 SST 变化率为+0.47 °C 和+0.45 °C,5 d SST 变化范围较前 3 a 小,变化率在-2.5~2.9 °C 之间,波动频繁,周期短。

通过对比,发生赤潮年份的平均 SST 变化率与不发生赤潮的年份相近,3—7 月的 5 d 最大 SST 变化率均超过 2.7 °C,方差超过 0.96,也就是说赤潮发生年份的海水变化较为剧烈,特别是升温的幅度。与发生赤潮时间标志(见图 3 的“▲”)综合来看,在 5 次赤潮事件发生前,有 3 次的 SST 有较大上升,幅度在 2~3 °C。这 3 次赤潮事件均为当地当年的首

表 2 赤潮发生和消亡时 SST 与 5 a 同期平均值对比

赤潮发生时间	发生时 SST/°C	消亡时 SST/°C	5 a 同期 SST 平均值/°C
2015 年 4 月 7 日	18.15	15.53	17.85
2018 年 4 月 12 日	20.43	20.30	17.41
2018 年 6 月 7 日	26.22	27.75	25.39
2019 年 5 月 13 日	22.22	22.50	22.97
2019 年 5 月 23 日	22.75	25.08	23.52

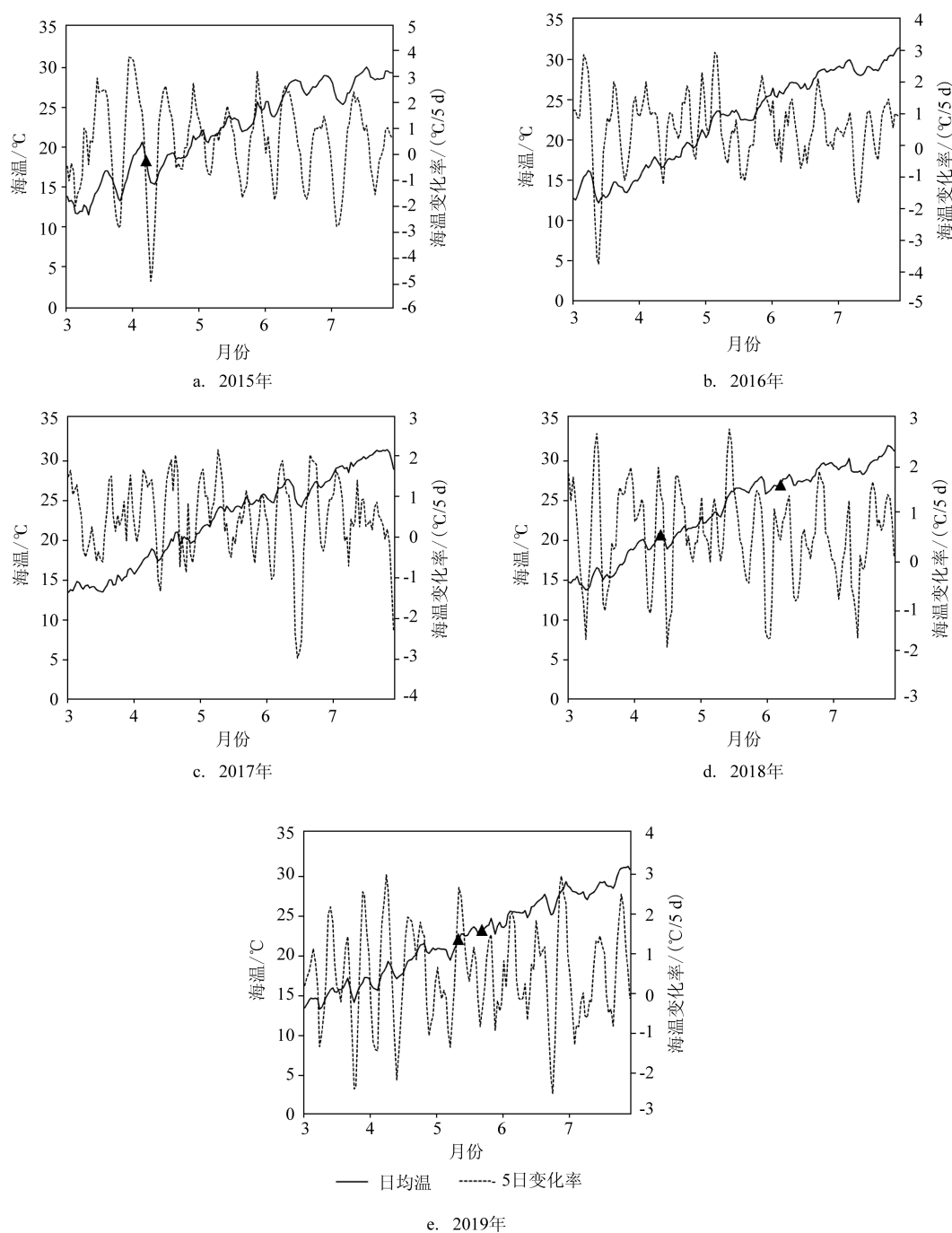


图3 2015—2019年黄岐海域日均 SST 和 5 d 海温变化率(▲为赤潮发生标志)

次赤潮事件,而后发生的第二次赤潮事件对 SST 变化的响应没有首次那么明显。

SST 变化对赤潮消亡也有重要作用。在研究的赤潮事件中,2015 年 4 月中肋骨条藻赤潮在消亡前受冷空气影响,温度迅速下降至 15 °C,终结了此次赤潮。2019 年 5 月持续了 14 d 的夜光藻赤潮消亡

前,也发现 2 d 内 SST 从 23 °C 上升到 25 °C。虽然 SST 的变化多依赖强天气过程,但 SST 的快速变化却可能直接加速赤潮的发生和消亡。

4.3 海气相互作用对赤潮的影响

2015 年全球经历了一次超强的厄尔尼诺事件,

表3 黄岐海域2015—2019年3—7月的5 d SST变化率统计

类别	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
平均值	+0.40	+0.49	+0.46	+0.47	+0.45
最大值	+3.72	+2.90	+2.17	+2.73	+2.91
最小值	-4.95	-3.81	-2.99	-1.90	-2.50
方差	2.66	1.17	0.93	0.96	1.36

发生在热带太平洋地区的厄尔尼诺和南方涛动(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)现象是年际气候变化中的最强信号。美国气候预报中心(Climatic Prediction Center, CPC)的监测结果显示(来源: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>), 2015年4—6月赤道中东太平洋异常偏暖, 赤道西太平洋附近呈现中性偏冷状态, 有正SST异常向西传播。

从福建近海SST情况来看(见图4), 2015年4月较常年值偏低0~0.5℃, 但是在发生赤潮时黄岐海域的SST却比5 a平均值偏高0.3℃。从赤潮发生前的天气形势来看, 3月29日—4月6日连续9 d未受到冷空气影响, 在倒槽的发展下, 强盛的西南暖湿气流使福建沿海的SST不断升高, 连江黄岐海

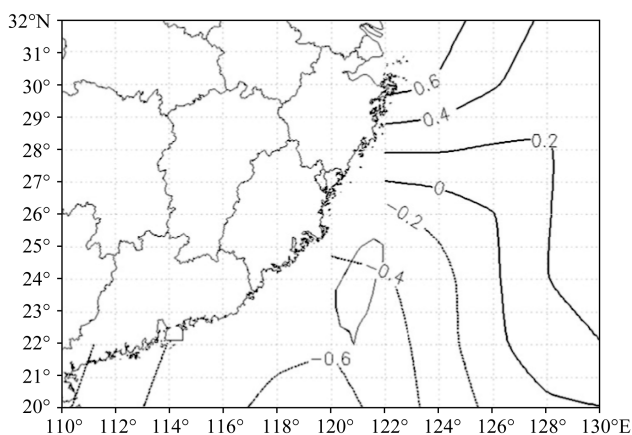


图4 2015年4月福建近海SST与常年矩平

域SST于4月5日达到20.48℃的异常高值, 在有浮标数据记录的5 a同期都未出现, 因此2015年首次赤潮比其他年份发生的偏早。

同样在4月发生赤潮的2018年, 从4月9日开始也是受到西南暖湿气流影响, 4月12日SST突破20℃, 同日在连江黄岐海域也监测到中肋骨条藻赤潮。

每年4—5月东亚夏季风开始建立, 从表4的经向风变化来看, 4—5月北风逐渐变为南风, SST升高, 有利于赤潮暴发。而在8—9月夏季风向冬季风转变时, SST降低, 赤潮生物难再繁殖。

2015年和2018年4月中上旬都发生了赤潮, 从经向风来看, 3月的南风比其他年份强劲, SST的升高对初春赤潮的暴发有重要作用。而在进入春季后, 连江黄岐赤潮发生的月份(2018年6月和2019年5月)南风却较弱, 北风异常加强, 说明SST不是越高越好, 适宜的范围内才有助于赤潮发生。

4.4 积温对赤潮的影响

赤潮生物的生消经过孢囊休眠、孢囊萌发、赤潮生成、赤潮维持、赤潮消亡和孢囊休眠等多个阶段^[22]。在赤潮生成到消亡整个过程中SST都起到相当重要的作用, 每个阶段所需温度是不同的。前文已说明同一赤潮生物在不同海区的适宜温度存在差异, 这就要考虑其生长发育所需要的积温。前人的研究证明, 即使达到适宜SST, 还需要达到相应的积温值才有可能产生赤潮^[23]。

赤潮生物必须从环境摄取一定的热量才能完成某一阶段的发育, 而各个阶段需要的总热量是一个常数, 用有效积温 K 表示^[24], 公式为:

$$K = \sum N(T - C)$$

式中: N 为发育历期; T 为发育期平均温度; C 为生物学零点。计算起点应为赤潮生物的生物学零

表4 黄岐附近海域1 000 hPa月平均经向风力(单位: m/s)

年份	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2015年	-4.34	-2.56	-1.72	-0.59	1.32	3.70	2.23	1.04	-1.30	-4.29	-3.87	-6.20
2016年	-4.64	-4.71	-2.10	0.59	1.06	3.66	3.04	0.34	-1.37	-2.66	-4.03	-5.46
2017年	-4.22	-3.78	-2.14	0.15	-0.70	2.94	2.95	2.28	-0.44	-6.26	-5.92	-6.87
2018年	-5.30	-4.40	-1.73	-0.10	1.72	0.93	1.07	2.49	-2.57	-5.37	-3.94	-5.73
2019年	-4.61	-2.74	-2.27	-0.34	-1.00	2.34	3.42	0.08	-4.59	-4.25	-6.20	-5.63

度,但考虑到温度对赤潮生物萌发的控制作用以及不同赤潮生物积温间的对比,因此选用每年冬春交汇之际的最低温度日作为起算点^[22]。

2015年黄岐海域的最低日均SST出现在2月10日,2016年出现在1月25日,2017年出现在2月26日,2018年出现在2月5日,2019年出现在1月1日。5a的积温曲线如图5所示,彩色实线代表该年份出现赤潮,两条虚线代表该年份没有出现赤潮。图中可以看出2017年积温低于其他年份,过低的积温不利于赤潮的发生。

由图5显示,虽然2015—2019年的起点日期不同,但是到12月底的积温都在7 000~8 000 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,4月出现的两次赤潮对应的积温为830 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 和994 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,5月和6月赤潮对应的积温为2 307 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、2 079 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 和2 304 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,积温2 300 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的位置发生了两次赤潮,分别是米氏凯伦藻和夜光藻,说明此积温将促进赤潮生物加快生长。

一般认为在其他条件不变的情况下,积温偏高或偏低则浮游生物发育速度较快或较慢,从而导致赤潮暴发时间的提前或推迟。换言之,同一种赤潮生物在环境SST提前或推迟达到某一积温值时,伴随出现生长发育的鼎盛时期。黄岐海域2019年(见图5中蓝线)的积温值远高于其他年份,在2 300 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 积温值处发生的赤潮也比2018年的赤潮提前0.5 M。

5 总结

本文利用20 a的赤潮统计和近5 a SST观测数据,对SST对连江黄岐赤潮灾害的影响作了初步研究。结论如下:

(1)从2000—2019年的20 a统计结果来看,每年3—9月为福建省赤潮高发时间,连江黄岐赤潮灾害集中发生在4—6月,3月、8月和9月发生较少,7月则从未监测到赤潮。在20 a发生的25起赤潮中,出现频率最高的是中肋骨条藻,其次为东海原甲藻。

(2)在分析2015—2019年黄岐SST对赤潮的影响特征中发现,罗源湾和同心湾SST等值线基本与岸线平行,且越靠近岸边梯度越大。赤潮发生时SST为18~26 $^{\circ}\text{C}$,5—6月赤潮发生盛期的SST为22~26 $^{\circ}\text{C}$,与5 a同期平均值差不多。如果3月南风异常强劲,可能造成SST提前达到赤潮生物大规模繁殖的适宜温度,因此认为初春SST异常偏高是引起首次赤潮提前发生的重要原因。

(3)黄岐附近海域在2015年、2018年和2019年发生了赤潮,将发生赤潮年份的5 d SST变化率与不发生赤潮的年份进行对比,发现发生赤潮的年份中最大SST变化率偏大,方差也偏大,说明赤潮发生年份的SST变化剧烈,升温幅度大。SST的快速变化

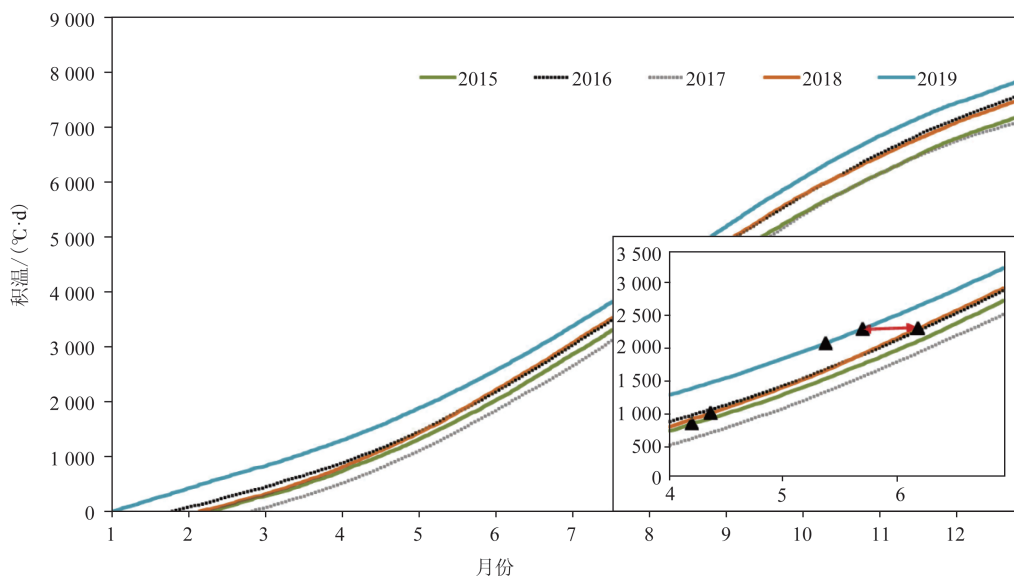


图5 2015—2019年黄岐海域积温图

可能直接影响赤潮的发生和消亡,这3 a首次发生赤潮灾害前均有一次较快升温过程,幅度在 $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明SST变化率与赤潮发生有着密切联系。

(4)在讨论积温对赤潮影响的研究中发现,黄岐附近海域在积温达到 $2\ 300\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时对赤潮有加快生长的作用,但对于不同赤潮生物是否有不同的响应还需要继续深入研究。

参考文献:

- [1] 连江县统计局. 2018年连江县国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2019-10-12). http://ljx.fuzhou.gov.cn/xjwz/zwgk/zfxgkzl/xrmzfgzbm_11124/ljxtjj/gkml/nftjgb/201910/t20191012_3057877.htm.
- [2] 陈佩君. 黄岐半岛海域赤潮高发区水环境因子与叶绿素a的通路分析[J]. 环境保护科学, 2020, 46(2): 49-52.
- [3] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 41-54.
- [4] 吴瑞贞, 马毅, 宋萍萍, 等. 我国华南近海赤潮发生发展的温、压演变模式[J]. 海洋预报, 2010, 27(1): 24-33.
- [5] 赵雪, 杨凡, 郭娜, 等. 2007年2月汕头赤潮事件水文气象及海水理化因子影响分析[J]. 海洋预报, 2009, 26(1): 43-51.
- [6] 张俊峰, 俞建良, 庞海龙, 等. 利用水文气象要素因子的变化趋势预测南海区赤潮的发生[J]. 海洋预报, 2006, 23(1): 9-19.
- [7] 姚炜民, 郑爱榕, 邱进坤. 浙江洞头列岛海域水体富营养化及其与赤潮的关系[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(5): 466-469.
- [8] 张健, 杨翼, 杨璐, 等. 东海近岸海域赤潮与环境因子的关系[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(1): 66-70.
- [9] 万艳. 适宜平潭海域夜光藻赤潮发生的水温和气象条件统计分析[J]. 海洋预报, 2020, 37(6): 65-73.
- [10] Hwang D H, Bak S H, Enkhjargal U, et al. Analysis of the red tide occurrence pattern when high water temperature[C]//The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 6th International Conference on Geomatics and Geospatial Technology. Kuala Lumpur, Malaysia, 2019: 267-269.
- [11] 曹兵, 高清清, 何佩东, 等. 江苏海域赤潮发生消亡与水文气象因子关系研究[J]. 海洋湖沼通报, 2019(3): 36-42.
- [12] 彭模, 梁晓红, 赵爱博. 连云港海州湾海域赤潮发生与水文气象环境因子特征分析[J]. 海洋开发与管理, 2010, 27(9): 48-53.
- [13] 福建省海洋与渔业局. 福建省海洋灾害公报[R/OL]. (2019-07-12). http://hyyyj.fujian.gov.cn/xxgk/tzgg/201907/t20190712_4919428.htm.
- [14] William K W L. Temperature adaptation in phytoplankton: cellular and photosynthetic characteristics[J]. Primary productivity in the sea, 1980: 259-279.
- [15] 姚炜民, 潘晓东, 华丹丹. 浙江海域米氏凯伦藻赤潮成因的初步研究[J]. 水利渔业, 2007, 27(6): 57-58, 76.
- [16] 黄长江, 齐雨藻, 黄奕华, 等. 南海大鹏湾夜光藻种群生态及其赤潮成因分析[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(3): 245-255.
- [17] 任素玲, 李云, 方翔, 等. 利用风云气象卫星反演产品定义南海夏季风爆发指标[J]. 热带气象学报, 2018, 34(5): 587-597.
- [18] 尤俊丽, 简茂球, 林晓霞. 春季对流层温度的季内和季节以上分量对南海夏季风爆发的年代际变化的相对影响[J]. 热带气象学报, 2019, 35(3): 313-323.
- [19] 殷美祥, 曾钦文, 罗瑞婷, 等. 2012年南海夏季风特征分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2017, 32(3): 328-335.
- [20] 李崇银, 张利平. 南海夏季风活动及其影响[J]. 大气科学, 1999, 23(3): 257-266.
- [21] 李星. 2013年小岙杜厝海域赤潮发生过程分析[J]. 海洋预报, 2014, 31(4): 68-76.
- [22] 赵冬至. 我国赤潮灾害分布规律与卫星遥感探测模型[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- [23] 赵冬至, 文世勇, 宋琍琍, 等. 赤潮灾害风险评估理论与区划方法[M]. 北京: 海洋出版社, 2013: 60.
- [24] 赵斌斌, 张全星, 王文慧, 等. 华北平原11种植物种子萌发的生物学零点与积温探究[J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(2): 20-23.

The influence of SST on the red tide near Huangqi in Lianjiang

LI Xing

(Fujian Marine Forecasts, Fuzhou 350003 China)

Abstract: Based on the 20 years statistical data and the SST data near Huangqi area in recent five years, we discuss the influence of SST on the occurrence, development and extinction of red tide in this area. The results show that the red tide in Huangqi largely occurs between April and June with the SST between $18\sim 26\text{ }^{\circ}\text{C}$, which is suitable for the occurrence of red tide. The red tide may occur earlier than usual if the south wind in early

spring is abnormally stronger and the SST is significantly higher. The change rate of SST is also closely related to the red tide. It is found that the maximum SST change rate is higher in the year with red tide occurrence. There is a rapid heating process with an amplitude of $2\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ before the red tide disaster occurs for the first time each year. During the maintenance period of the red tide, the drastic sea temperature change will also accelerate the extinction of the red tide. In addition, the accumulated temperature produce also affects the growth of red tide organisms. It is favorable for the formation of red tide near Huangqi when the accumulated temperature reaches $2\ 300\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$.

Key words: red tide; SST; temperature change rate; accumulated temperature