

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

万艳

(福建省海洋预报台, 福建 福州 350003)

摘要: 以2002—2019年平潭海域发生的16次夜光藻赤潮作为研究对象, 基于平潭海域的水温资料和平潭气象站的气象观测资料, 分析了该区域夜光藻赤潮的发生与海表水温和气象条件之间的关系。结果表明: (1) 平潭海域夜光藻赤潮常发生于4月中旬—5月; (2) 夜光藻赤潮发生的较适宜水温为14.4~24.7℃, 最适宜水温为20.7~22.8℃; (3) 更温暖的水温和气温背景更有利于赤潮的发生, 而且在赤潮发生的前1d, 气温靠近最适宜赤潮发生的水温; (4) 与其他赤潮发生类似, 平潭海域夜光藻赤潮倾向于发生在弱风速时段; (5) 相对湿度高、日照时数少的阴天更有利夜光藻繁殖。

关键词: 平潭; 夜光藻; 赤潮; 水温; 天气; 适宜条件

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2020)06-0065-09

1 引言

近年来, “蓝眼泪”已经成为平潭的奇景之一, 吸引了大量游客 (新闻来源: <http://tv.cctv.com/2019/09/13/VIDEowPOBNestCHxZZDAnPA7190913.shtml?spm=C22284.PP7miAIBYiAV.EamyF6RC0q4e.16>)。“蓝眼泪”是夜光藻(*Noctiluca scintillans*)在夜间受潮汐或海浪拍打等刺激引起的发光现象。夜光藻, 通常称为海火花, 也称为夜光虫, 是一种自由生活、无寄生虫、海洋栖居的鞭毛藻物种, 在受到干扰时会表现出生物发光。

当夜光藻的密集程度达到或超过 $0.3 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^4$ /L时, 便称之为夜光藻赤潮(*Noctiluca scintillans* Red tide, NsRt)。夜光藻是全球性的赤潮生物, 是我国沿岸海域最普遍的赤潮种类, 也是福建海域出现频率最高的赤潮藻种, 其中以平潭海域出现该种赤潮的次数最多^[1-3]。虽然夜光藻无毒, 但是会粘附在鱼鳃上致使鱼类死亡, 鱼类死亡腐烂导致海水变质, 进一步造成鱼、虾、贝和藻类死亡。以1990年和1991年为例, 平潭海域发生4起夜光

藻赤潮, 其中两起造成水产业直接经济损失70多万元^[4]。

夜光藻赤潮的发生难以预测, 因为赤潮的发生是一个复杂的过程^[5-9]。前人对广东、浙江、天津、河北和辽宁等沿岸海域夜光藻赤潮的研究表明, 夜光藻赤潮的发生与水文^[10]、海洋生物^[11-12]、化学和气象^[13-15]等条件均存在一定程度的关系。营养盐等能够间接反映夜光藻的繁殖, 但富营养化程度尚不能作为预判夜光藻赤潮暴发的标准^[16]。获取长时间序列和实时的海洋生物、化学数据进行经验积累并开展实时预测, 目前来说是相对比较困难的。赤潮发生的原因是藻种在短时间内的爆发性繁殖或高度集聚, 并且夜光藻浮游活动发生在海水表面, 因此推测夜光藻赤潮的发生, 可能与海面上方气象条件和藻种生活的海表温度变化有紧密的联系。作为对前人研究工作的一种补充, 本文基于最近18 a平潭气象数据和水温数据, 分析平潭海域夜光藻赤潮发生的条件特征, 尽可能挖掘可预报信息, 也为大数据分析方法和人工智能模型提供基础支撑。

收稿日期: 2020-07-22; 修回日期: 2020-10-09。

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2017YFC1404804、2016YFC1401900); “十三五”国家海洋经济创新发展示范项目(FZHJ16)。

作者简介: 万艳(1979-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事海洋观测防灾减灾工作。E-mail: wanyanfj@163.com

2 资料和处理方法

2.1 数据资料来源

为做好赤潮监测与防范工作,及时掌握赤潮发生、发展动态及影响范围,2002年以来的4—10月,福建省海洋与渔业主管和技术部门开展了全省沿海赤潮藻种监测,也有志愿者队伍志愿性查看。本文研究对象为平潭海域监测(发现)到的夜光藻赤潮事件,数据跨度为2002—2019年。由于海域广阔,受观测站位的布放、观测仪器的观测能力、天气情况和人力因素等影响,有不少赤潮的发生是未被发现的;即便被发现,也不一定是赤潮刚刚发生。本文参考前人的分析和表达习惯,假设赤潮发生即被发现。

气象观测数据下载于国家气象数据中心(网址:<http://data.cma.cn/>),数据集为中国地面气候资料日值数据集(V3.0),选取了平潭(海岛)气象站(国际气象组织编号58944)观测的日平均气温、日最大风速、日平均相对湿度、日降水和日照时数等日值数据进行分析。

海表温度数据下载于美国国家海洋和大气管理局网站物理科学实验室网站(网址:<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html>)^[17]。该数据为基于最优插值方法的混合分析格点数据,格点水平分辨率为 0.25° 。分析时提取平潭附近海域的海温值作为时间序列单点,时间范围主要为4—5月,也是日值数据。

2.2 数据处理方法

本次分析使用比较直接简单的箱式图作为统计分析表达方法:将关心的每个数据序列进行排序,并以25%为间隔,得到的数据从小到大依次为:最小值、下四分位数、中位数、上四分位和最大值。在箱式图中,最上方和最下方的线段分别表示数据的最大值和最小值,箱图上方和下方的线段分别表示上四分位数和下四分位数,箱图中间的粗线段表示数据的中位数。箱式图可以粗略地看出数据是否具有对称性、分布的分散程度等信息,特别是可用于对几个样本的比较。

3 平潭海域夜光藻赤潮发生情况

从2002—2019年的18 a间,平潭海域共发生夜光藻赤潮16起,年均接近1起(见表1)。2003年赤潮发生面积和起数是历史最多的年份。平潭海域夜光藻赤潮发生在4—6月,最早发生于4月17日,最晚发生于6月17日;4月3起,6月1起。平潭海域夜光藻赤潮最常发生的5月,共12起,占总数的75.0%;其中5月上旬(1—10日)共发生5起,中旬(11—20日)共发生4起,下旬(21—31日)共发生3起。

在2007—2008年、2010—2011年、2014—2015年和2018—2019年,平潭海域未发生夜光藻赤潮,4个不发生夜光藻赤潮的间歇期长度均为2 a,原因尚不明确。吴瑞贞等^[4]认为,一些年份不常发生夜光藻赤潮表明夜光藻赤潮生物在生存竞争中处于劣势而被更强势的生物所代替,并且这个现象是有区域特征的,因为在其他地方这些年份发生夜光藻赤潮。

4 夜光藻赤潮相关条件分析

因平潭海域夜光藻赤潮在6月只发生1起,将其视为特殊样本不参与统计对比分析;而将4月中旬—5月(4月10日—5月31日,因需考虑4月17日的前5 d条件变化情况)作为一年中关注的重点时段。分析不同年份和赤潮总体情况时,用于统计对比的数据的主要时段包括:2002—2019年所有年份共18 a每年的4月中旬—5月(Y_All)、没有赤潮发生的年份共8 a每年4月中旬—5月(Y_None)、有赤潮发生的年份共10 a每年4月中旬—5月(Y_NsRt)和发生赤潮的第前5 d至赤潮发生当天(5d-NsRt)。针对赤潮事件过程,统计发生赤潮的第前5 d至赤潮发生当天的每1 d的数据(5、4、3、2、1、0 days before NsRt found)。

4.1 海表水温

水温是决定赤潮季节变化的主要因素^[18],也是夜光藻赤潮集中出现在4—5月的主要因素。从图1a的水温统计情况看,如果把18 a 4月中旬—5月的

表1 2002—2017年平潭海域夜光藻赤潮发生情况

序号	发生年份	发生日期	消失日期	持续天数/d	发生海域	最大面积/km ²
1	2002	5月10日	5月11日	2	平潭海域	0.61
2	2003	4月17日	4月19日	3	平潭海坛湾海域	150
3	2003	5月3日	5月6日	4	平潭东部海域	60
4	2003	5月12日	5月14日	3	平潭东部海域	20
5	2003	5月19日	5月25日	7	平潭海坛湾	80
6	2004	5月20日	5月22日	3	平潭沿岸	20
7	2005	5月16日	5月17日	2	平潭海坛湾海域外海	10
8	2005	6月17日	6月18日	2	平潭海坛湾海域外海	8
9	2006	5月9日	5月10日	2	平潭海坛湾、龙王头海水浴场附近海域	10
10	2009	5月23日	5月24日	1	平潭县龙王头及流水码头	20
11	2012	4月19日	4月19日	1	平潭岛龙王头滨海旅游度假区以东海域	16
12	2013	5月9日	5月10日	1	平潭海坛湾、龙王头海水浴场附近海域	20
13	2013	5月21日	5月22日	1	平潭海坛湾、龙王头海水浴场到澳前山	30
14	2013	5月22日	5月23日	1	平潭苏澳钟门	20
15	2016	4月18日	4月22日	5	平潭澳前镇、流水镇海域	2
16	2017	5月8日	5月11日	4	平潭长江澳、龙王头海域	2

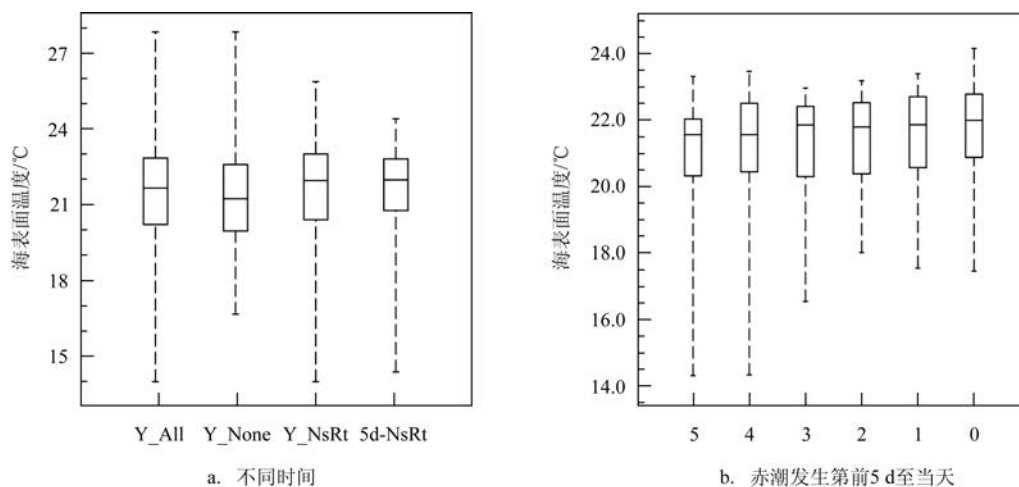


图1 平潭海域海表温度箱式图

情况视为常年状态,则没有发生赤潮的年份较常年水温略低,发生赤潮的年份较常年水温略高,赤潮发生的第前5 d至当天的水温状态也较没有发生赤潮的年份略高。这说明,平潭海域更暖的水温状态更有利于赤潮的发生,更冷则相反。

赤潮发生前5 d至发生当天(见图1b),水温范围为14.4~24.7℃,其中50%数据位于20.7~22.8℃。虽然这6 d的水温上限和下限差异较大,但是上四分位、下四分位差异很小,并且赤潮发生

的第前3 d至当天水温的中位数基本都为22.0℃,这说明虽然在一些特定的情况下也可以发生赤潮,但是大部分是水温达到夜光藻最适宜温度的情况下。林玉辉等^[19]对福建海岸夜光藻的调查表明,夜光藻生长较适温度为13.0~28.0℃,最适宜温度为16~20℃。林元烧等^[20]对福建沿岸中南部海岛周围水域夜光藻的调查表明,夜光藻最适宜温度为16~22℃。林元烧等的研究结果与本文结果比较接近。

4.2 日平均气温

从平潭海岛气象站气温的统计箱式图可知(见图2a),赤潮发生的年份比没有赤潮发生的年份的平均气温上四分位、中位、下四分位略高,与海表温度特征一致,说明更高的气候温度有利于赤潮的发生,反之则不利。

从赤潮发生前5 d的每日气温的统计情况看(见图2b),与上节海温统计结果不同,赤潮发生前5 d气温的上下四分位变化趋势不一致。从赤潮发生的第前4 d至赤潮发生当天,气温的下四分位表现为逐渐升高的趋势,上四分位表现为先降低后升

高的形态。赤潮发生当天和第前1 d是气温离散度最小的时段,说明在赤潮即将暴发时,更倾向于在一个范围内的温度。特别是,赤潮发生的前1 d的上下四分位为19~22℃,与最适宜赤潮生长水温相当,因此分析认为可能发生赤潮的前1 d,气温也在夜光藻适宜生长温度时,夜光藻的繁殖活动最活跃,是暴发赤潮的重要原因。

4.3 日最大风速和最大风速风向

从日最大风速的箱式图看(见图3a),赤潮发生的前5 d,是4月中旬—5月中最大风速相对小的时间段,赤潮发生的前1 d和当天的风速都较前1 d减

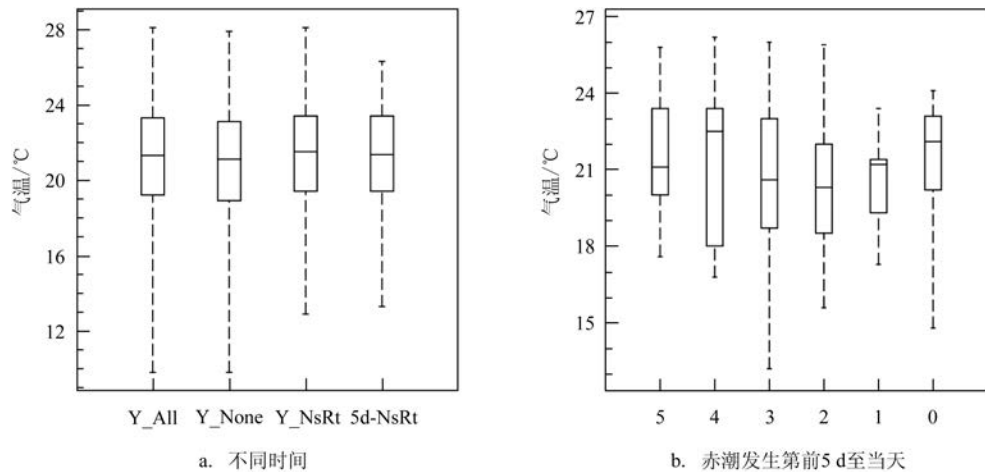


图2 平潭海岛日平均气温箱式图

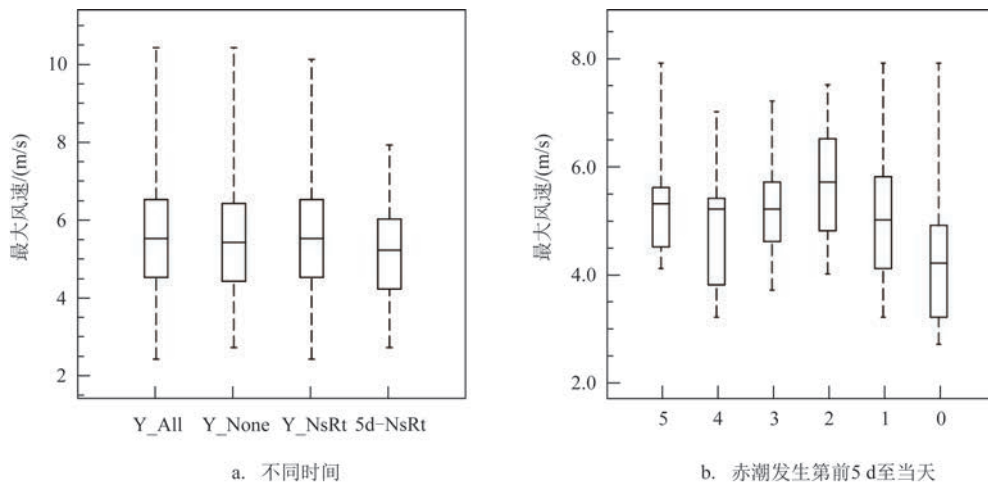


图3 平潭海岛日最大风速箱式图

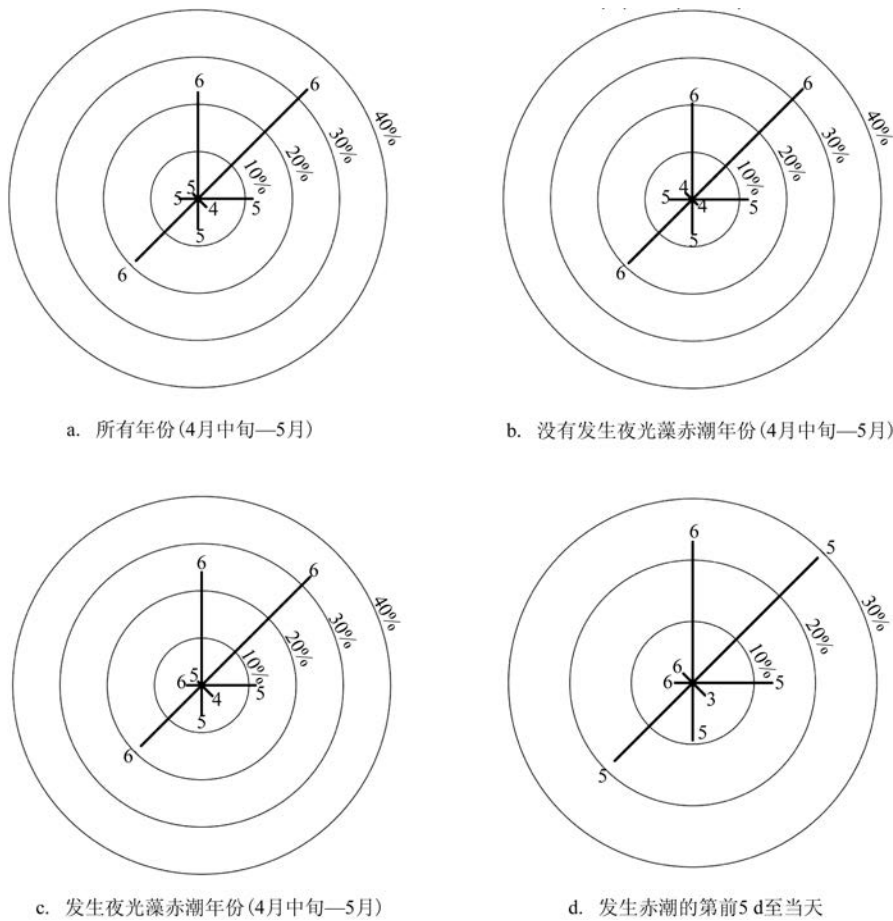


图4 平潭海岛日最大风速风向玫瑰图

小(见图3b)。这说明夜光藻赤潮倾向于出现在风速小的情况下,这与前人的分析结论一致^[1,10]。从赤潮发生前5 d每天最大风速变化看,赤潮发生的第前2 d风速是多天中风速最大的时段(见图3b)。

从最大风速风向的长时间段统计玫瑰图看(见图4),常年状态下4月中旬—5月主风向前3位为:东北向、北向和西南向。赤潮发生的前5 d是4月中旬—5月中北向风、东北向风相对较多的时段。从赤潮事件过程看,在赤潮发生的前1 d,北向风和东北风比重尤其明显;赤潮发生的当天,因为风速相对最小而主风向不明显(见图5)。

结合图2b中在赤潮发生的第前4—1 d的上四分位气温逐渐降低现象,和赤潮发生前1 d偏北向风比重的增加,可以大致推测,北向风是赤潮发生前1 d气温上四分位降低的原因。而气温的下四分位变化则可理解为西南风影响时气温的升高趋势。上节分析认为,赤潮发生前1 d气温有向夜光

藻适宜海表温度靠近的趋势。所以,推测北向风对气温的降低调节可能是部分赤潮事件暴发的原因。

4.4 日平均相对湿度和日降水

从日平均湿度和日降水统计情况看(见图6—7),相比4月中旬—5月的总体相对湿度和日降水状态,赤潮发生的第前5 d是相对湿度较大和降水相对较多的时段。在赤潮发生的第前2 d,相对湿度的离散度最大,中位数是前5 d最高的(见图6b),降水相对最明显(见图7b)。这说明,在赤潮发生的第前2 d大部分事件是高湿度情况,有相对更多的降水,但是也出现了较低湿度的事件。

4.5 日照时数

从日照时数的统计情况看,常年日照时数上四分位约8 h,下四分0 h,中位数约2 h,有发生夜光藻

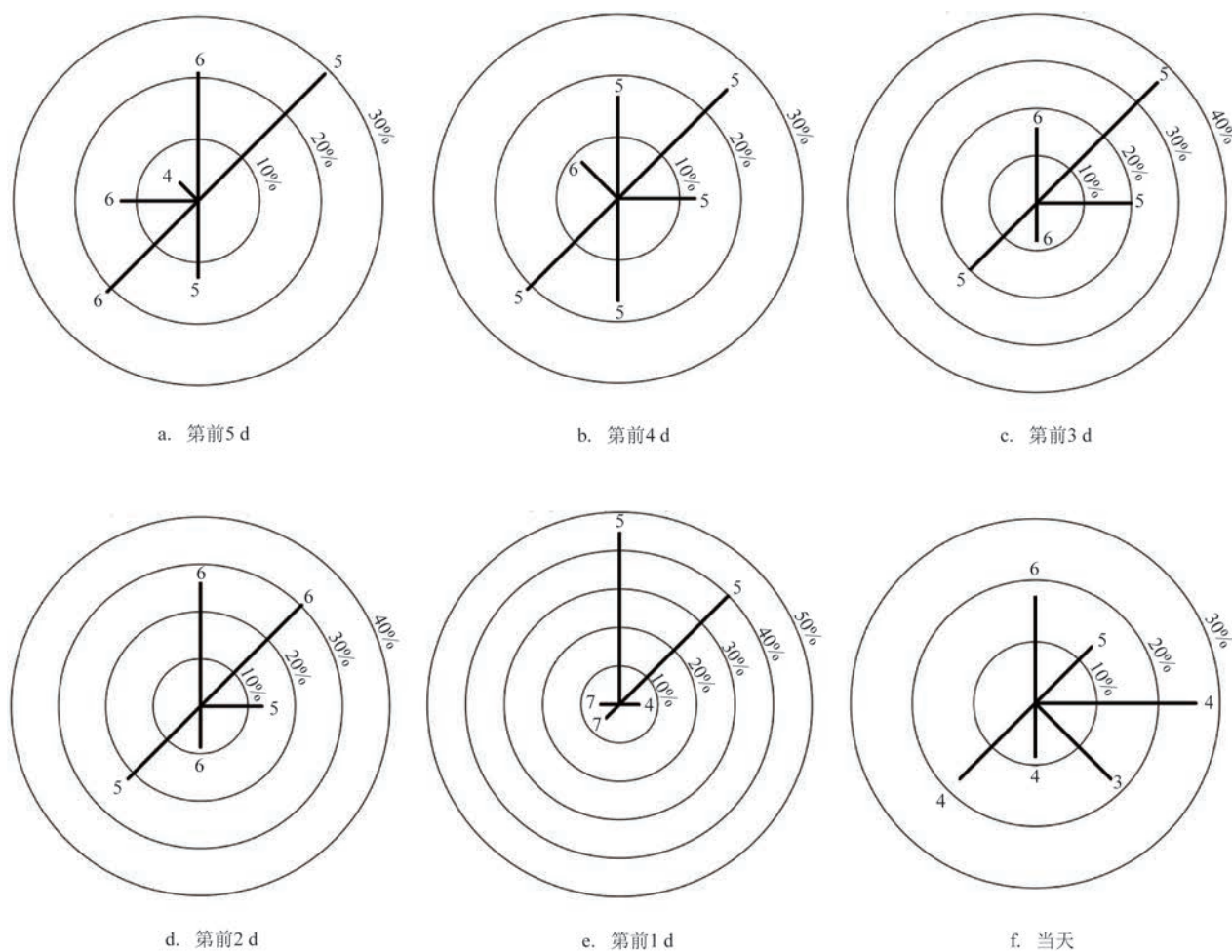


图5 赤潮发生的第前5 d至当天日平潭每日最大风速风向玫瑰图

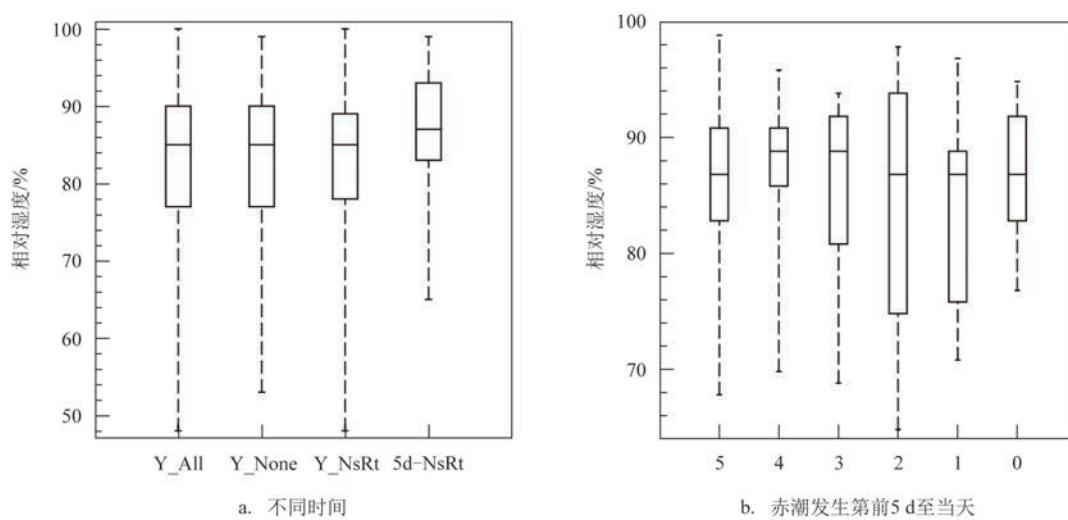


图6 平潭海岛日平均相对湿度箱式图

赤潮的年份比未发生夜光藻赤潮的年份略高(见图8a)。在赤潮发生的前5 d,上分位约3.5 h,中位数0 h(见图8a),说明赤潮发生前的日照时数是4月中旬—5月相对少的时段。从图8b可知,赤潮发生的第前4 d至第前2 d,日照时数中位数为0 h,是日照时数相对更少的时段,尤其是赤潮发生的第前3 d,上四分位也是0 h。研究表明,夜光藻可能以营养繁殖为主,且现场营养繁殖的高峰在0点左右,实验室培养中营养繁殖高峰在0—6时,连续光照下节律性减弱^[21],与本文分析得出的日照时数少有利于

夜光藻繁殖的结论一致。这也许是赤潮发生前天气表现为相对湿度大(体感为闷)的更直接的原因。

5 小结

2002—2019年的18 a,平潭海域共发生16起夜光藻赤潮。本文基于平潭海域的水温资料和平潭气象站观测资料,分析了该区域夜光藻赤潮的发生和气象、水温条件之间的关系。统计结果表明:

(1)平潭海域夜光藻赤潮发生最早发生于4月

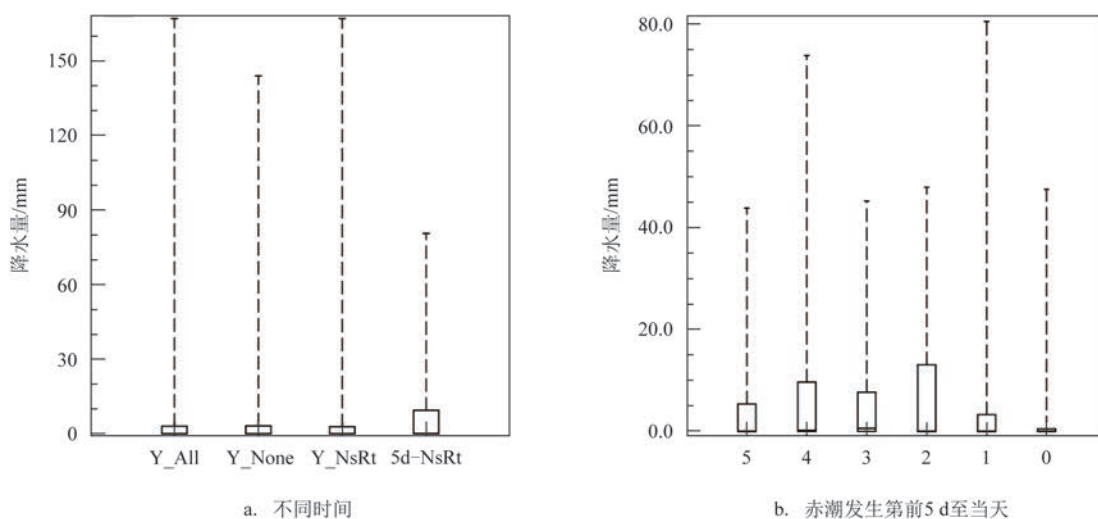


图7 平潭海岛日降水箱式图

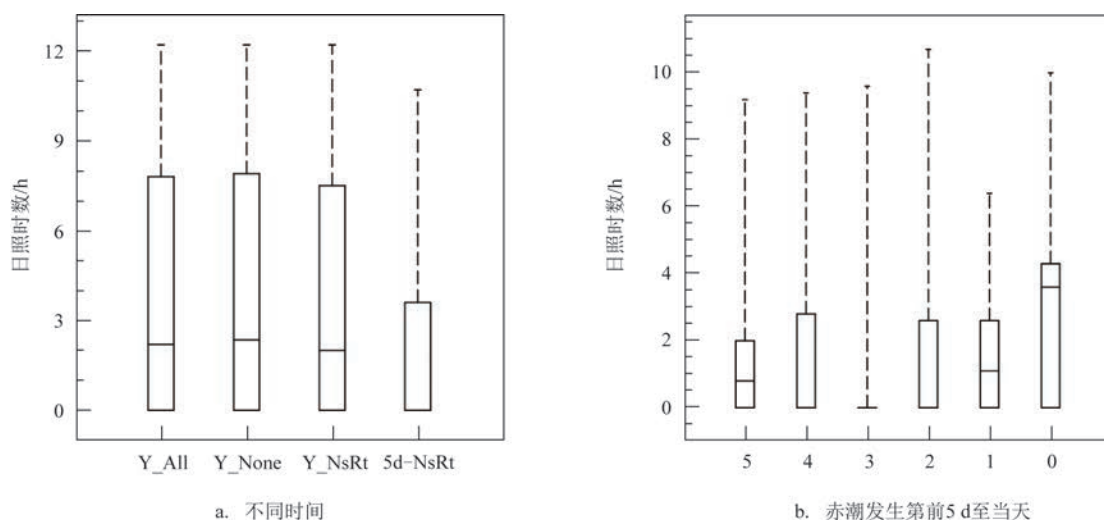


图8 平潭海岛日照时数箱式图

17日,最晚发生于6月17日,主要发生于4月中旬—5月。6月只发生了1起,在统计时作为特殊样本。

(2)海表水温统计表明,平潭海域夜光藻赤潮发生的较适宜水温为14.4~24.7℃,最适宜水温为20.7~22.8℃。水温温暖的年份比寒冷的年份更容易发生赤潮。

(3)夜光藻发生的时段是4月中旬—5月气温更高的时段,说明更高的气温有利于赤潮的发生。而且在赤潮发生前,气温逐渐向夜光藻赤潮最适宜水温靠近,尤其是在赤潮发生的前1d。

(4)与其他赤潮发生类似,平潭海域夜光藻赤潮倾向于发生在弱风速时段。在赤潮发生的第前2d风速最大,第前1d北向风比重最大,可能是北向风在调节气温向赤潮最适宜的水温靠近。

(5)相对湿度高、日照时数少的阴天更有利于夜光藻繁殖,也更有利于平潭夜光藻赤潮的爆发。

本文所利用的数据局限于平潭气象站和海温数据,涵盖的观测站点数量和观测要素有限,统计结果的可靠性有待进一步检验。下一步将尽可能收集更多的海洋生物、化学要素的观测数据进行比较分析,尝试用数值模拟和机器学习等方法进行平潭海域夜光藻赤潮的预测研究。

参考文献:

- [1] 齐雨藻. 中国沿海赤潮[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 黄毅坚, 王小奉, 杜琦. 福建沿海赤潮对水产业的危害及防治措施[J]. 福建水产, 1992(3): 71-73.
- [5] 黄伟建, 齐雨藻. 大鹏湾海水理化因子对夜光藻生长影响的因子分析[J]. 海洋通报, 1993, 12(2): 17-22.
- [6] 林祖亨, 梁舜华. 大鹏湾盐田海域夜光藻赤潮形成与潮汐的关系[J]. 海洋通报, 1993, 12(2): 35-38.
- [7] 谢健, 李锦蓉. 夜光藻赤潮与环境因子的关系[J]. 海洋通报, 1993, 12(2): 1-6.
- [8] 王寿松, 冯国灿, 夏综万, 等. 大鹏湾夜光藻赤潮发生要素的结构分析[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 146-151.
- [9] 国家海洋局南海分局. 大鹏湾环境与赤潮的研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1996.
- [10] 吴瑞贞, 林端, 马毅. 南海夜光藻赤潮概况及其对水文气象的适应条件[J]. 台湾海峡, 2007, 26(4): 590-595.
- [11] 陆斗定, 张志道, 朱根海, 等. 浙江近海夜光藻的分布及其生态学特点[J]. 东海海洋, 1994, 12(3): 62-69.
- [12] 尹翠玲, 张秋丰, 邹涛, 等. 渤海湾天津近岸海域夜光藻赤潮生消过程初探[J]. 海洋湖沼通报, 2013(2): 99-104.
- [13] 王素凤. 秦皇岛近海养殖区域夜光藻种群动态与环境温度的关系[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2003, 13(3): 52-54.
- [14] 董婧, 王文波, 刘海映. 辽宁近海浮游植物与夜光藻赤潮的关系[J]. 水产科学, 2000, 19(1): 17-20.
- [15] 周遵春, 马志强, 薛克, 等. 对辽东湾夜光藻赤潮和叉状角藻赤潮成因的初步研究[J]. 水产科学, 2002, 21(2): 9-12.
- [16] 孙东, 赵冬至, 文世勇, 等. 夜光藻赤潮与环境因子关系的模糊分析[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(1): 70-75.
- [17] Reynolds R W, Smith T M, Liu C Y, et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. Journal of Climate, 2007, 20(22): 5473-5496.
- [18] 徐兆礼. 长江口夜光藻(*Noctiluca scintillans*)年间变化和海域富营养化趋势[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 793-798.
- [19] 林玉辉, 连光山. 福建海岸带夜光藻生态的初步研究[J]. 台湾海峡, 1989, 8(3): 226-232.
- [20] 林元烧, 曹文清. 福建沿岸中部和南部海岛周围水域夜光藻生态调查研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1994, 33(S1): 62-65.
- [21] 陈汉辉, 杞桑. 夜光藻摄食和营养繁殖的昼夜节律[J]. 暨南大学学报, 1991, 12(3): 104-107.

Statistical analysis of water temperature and meteorological conditions favorable for the occurrence of *Noctiluca scintillans* red tide in Pingtan sea area

WAN Yan

(Fu-Jian Marine Forecast Center, Fuzhou 350003 China)

Abstract: Based on the sea temperature data in the Pingtan sea area and the meteorological data observed by Pingtan Meteorological Station, this paper studies 16 NsRt events occurred in Pingtan sea area from 2002 to 2019 and analyzes their relationship with the sea surface temperature (SST) and meteorological condition. The results show that NsRt usually occurs between mid-April and May when the SST is from 14.4 to 24.7 °C with the most suitable SST between 20.7~22.8 °C. The warm sea water temperature and air temperature is favorable for the occurrence of NsRt, and the air temperature is close to the most suitable SST one day ahead of the occurrence. Similar to the occurrence of other red tides, NsRt in Pingtan sea area tends to occur when the wind speed is slow. Moreover, cloudy days with high relative humidity and fewer sunshine hours favors the reproduction of *Noctiluca scintillans*.

Key words: Pingtan; *noctiluca scientillans*; red tide; water temperature; weather; suitable conditions