

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

赵 雪¹, 杨 凡², 郭 娜³, 李希茜¹, 宋萍萍¹

(1. 国家海洋局南海预报中心, 广东 广州 510300; 2. 国家海洋局珠海海洋环境监测中心站, 广东 珠海 519015; 3. 国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站, 广东 汕尾 516611)

摘 要: 2007年2月2日~3月5日期间, 广东省汕头附近港湾及南澳岛附近海湾发生了“球形棕囊藻”赤潮事件。由于持续时间较长, 导致附近养殖场大量扇贝死亡, 直接经济损失达300万元以上。这次赤潮事件主要表现有3个特点: (1) 藻类密度不大, 表层海水中只有零星破碎的胶囊体, 底层海水中胶囊体密度约3~5个/升; (2) 影响范围较大, 从刚开始在汕头妈屿和莱芜湾发现, 到广澳前江、南澳岛四周、牛田洋、海门、濠江等沿岸海域都出现藻类碎片; (3) 持续时间长, 从2月2日监测人员发现有赤潮藻类胶囊体, 一直持续到3月5日才基本消亡。本文主要从海洋水文气象环境场及海水理化因子方面对这次赤潮事件进行分析。

关键词: 赤潮; 球形棕囊藻; 水文气象环境场; 海水理化因子

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2009)01-0043-09

1 引言

赤潮是海水中某些微小浮游植物、原生动物或细菌在特定环境条件下爆发性增殖或高密度聚集而引起水体变色的一种有害生态现象, 水体随赤潮的发生原因、藻类种类和数量密度的不同而呈现不同的颜色。中国的赤潮事件报告从20世纪70年代开始增加^[1], 尤其是近年来, 随着现代化工农渔业生产的迅速发展、海洋经济开发活动的不断深入、海洋养殖业的扩大、沿海地区人口城市化等等, 大量工农业废水和生活污水排入海洋, 导致近海、港湾富营养化程度日趋严重。同时, 由于国际海运的发展导致有害藻类的引入^[2], 赤潮发生更趋频繁、危害程度也渐趋增大。不可否认, 赤潮已成为沿海地区的重要环境问题之一, 也是近年来日趋严重的海洋灾害之一。

赤潮形成的原因非常复杂, 暂时尚未完全查明, 但是研究发现有一个共识, 那就是赤潮生物的存在和水体污染(富营养化)是形成赤潮的主要原因。海区的地理位置、地形特征、水文、气象、海流、海况等条件, 是形成赤潮的自然因子。根据赤潮监控区监测资料分析: 在华南沿海赤潮多发区, 海水富营养化条件已经具备, 因此水文、气象要素条件就成为赤潮爆发的重要启动因子, 而大气环流的维持与变化决定了水文、气象要素因子的稳定与变化^[3]。近年来, 关于水文、气象因子对赤潮爆发、维持影响的分析屡屡

收稿日期: 2007-11-01

基金项目: 南海赤潮发生条件预报方法研究(国家“十五”科技攻关课题子课题, 项目编号2001BA603B-06-04)

作者简介: 赵雪(1980-), 女, 工程师, 从事海洋环境预报与研究。

见报, 吴迪生等^[4]发现春夏季当海平面气压和盐度出现下降趋势, 气温、水温和相对湿度呈上升趋势, 风速呈减弱趋势时容易发生赤潮, 赤潮发生海域主要位于500hPa图上的副高北沿, 赤潮发生海域均位于槽前。王咏亮等^[5]以春季(4月10日~5月20日)东海赤潮为研究对象, 选择2001~2003年的16个赤潮个例, 通过相关分析, 归纳出4种利于赤潮发生的典型环流形势: 准静止北涡南槽型、移动性暖脊型、高温扰动型和东亚中纬度移动性二槽一脊型。龚强等^[6]以1998年8~10月的辽东湾海域为例探讨了赤潮与气象因素的关系, 邓素清等^[7]对浙江海区赤潮发生前期气象因子进行了统计分析。

众多研究结果表明: 风、气压、气温、光照、降水、水温、盐度、潮汐、潮流、波浪等因素是赤潮形成、发展、维持和消亡的重要因素, 本文将以此为出发点, 对2007年2~3月汕头附近海域发生的一次“球形棕囊藻”赤潮事件进行分析。

球形棕囊藻又名 *Phaeocystis globosa*, 是中国赤潮的一个新记录种, 自1997年10月至1998年2月我国东南沿海首次大规模爆发, 以前作为温带和寒带海域的优势种球形棕囊藻(*globosa*)^[8]目前正不断地向热带和亚热带扩散。2003年8月和12月在广东饶平和珠海相继发生了两次赤潮, 给我国沿海养殖业造成严重的危害。它有两种不同的细胞形态——群体和单细胞, 单细胞呈球形或近球形, 直径约3~9 μm ; 群体呈中空的球形胶质囊泡, 细胞包埋在胶质囊中均匀分散, 群体的直径从几十微米到3.0cm。单细胞经连续分裂转化形成完整的群体, 群体内细胞继续分裂使群体增大, 到达一定阶段, 群体衰亡破裂释放大量的单细胞^[9]。球形棕囊藻能分泌一种主要成分是十七碳二烯酰基的甘油溶血毒素, 该毒素能使鱼类鳃组织的红细胞溶解破裂, 同时球形棕囊藻其胶质囊能向外释放可溶性有机碳并在水面形成缺氧泡沫, 再加上藻体死亡分裂会产生二甲基丙磺酸(DMSP)和二甲基硫醚(DMS), 对鱼类及水体生态环境危害很大。

赤潮记录来自汕尾海洋环境监测中心和汕头市海洋与渔业局资源环境监测站, 根据该次赤潮事件发生的具体地理位置, 确定汕头海洋站和南澳海洋站(23°24'N, 117°06'E)为赤潮发生海域附近最近的站点, 考虑到汕头站2002年才建站, 资料时间序列及检验度不足, 所以统一采用南澳站海洋站的实测月报表资料。

2 赤潮事件特点分析

2007年2月2日开始, 广东省汕头附近港湾及南澳岛附近海湾发生了“球形棕囊藻”赤潮事件, 直至3月5日才基本消亡, 赤潮导致了附近养殖场大量扇贝死亡, 直接经济损失达300万元以上。

该次赤潮事件主要有3个特点:

(1) 藻类密度不大, 表层海水中只有零星破碎的胶囊体, 底层海水中胶囊体密度约3~5个/升, 根据《赤潮监测技术规程》中“赤潮生物个体与生物量标准”, 确定球形棕囊藻赤潮的藻细胞基准密度为 5×10^1 个/L, 汕头附近海域发生的这次事件密度低于基准密度。

(2) 影响范围较大, 从刚开始在汕头妈屿和莱芜湾发现, 到广澳前江、南澳岛四周、牛田洋、海门、濠江等沿岸海域都出现藻类碎片, 汕头附近海域和南澳岛附近海域

的赤潮面积共计 245km^2 左右;

(3) 持续时间长, 从2月2日监测人员发现有赤潮藻类胶囊体, 一直持续到3月5日才基本消散。

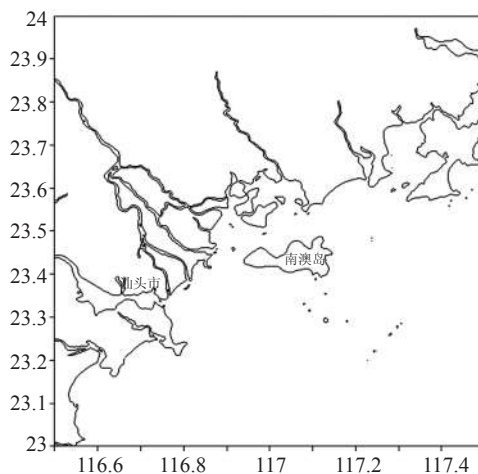


图1 汕头、南澳岛附近海域地形图

3 赤潮过程中水文气象及海水理化因子变化特征

海水中营养盐(主要是氮、磷等)、微量元素(铁、锰等)以及某些特殊有机物(维生素、蛋白质等)的存在形式和浓度, 直接影响着赤潮生物的生长、繁殖和代谢, 是赤潮形成和发展的物质基础。水体稳定性、水体交换率、适宜的水温和盐度等是赤潮发生的必备环境条件, 它们对赤潮生物的分布、迁移、扩散和聚集产生直接的影响。气象因子如风、气温、气压、降水、光照等气象因素是赤潮形成、发展、维持和消亡的重要诱发条件^[6]。

3.1 光照、降水、风、气温、气压等气象因子

Riegman R 等^[8]的研究结果表明: 球形棕囊藻原来主要生活在温带和寒带水域中, 光照较强, 光合作用也较活跃。2月1~8日期间, 汕头及南澳岛附近海域主要受冷高压影响, 以晴间多云天气为主; 光照充足; 9日, 受弱冷空气前锋影响, 天气转阴, 间中有小雨, 实况录到10mm的降水量; 10~12日分别受弱高压脊出海的影响, 以多云到阴天气为主, 13~28日则受弱高压脊和西南低压槽的共同影响, 多云间阴天, 降水量极少, 只有在22日和3月5日分别录到4.4mm和4.5mm的降水量。从藻类密度12日开始略有减小来看, 后期多云到阴, 光照不充足的天气不太适合球形棕囊藻的生长繁殖。

赤潮生物细胞的聚集是近海赤潮形成的一个重要过程。而海域中藻类细胞的聚集与风况密切相关。如图2所示, 2月1日~3月5日期间, 除2月15日和3月5日外, 南澳站附近海域最大风力都保持在10m/s以下, 次高出现在2月26日, 最大达到8.6m/s, 其次是和2月2日和28日, 其余时间平均风速基本维持在3~4级和以下, 这对赤潮藻类细胞的滞留聚集

有利。根据风速和气温的分布情况分析,冷空气活动偏弱,主要有3次过程,2月2日前后,15日前后,26~28日,冷空气影响时最大阵风5级,瞬时风6级左右。前后两次冷空气过程间隔时间长,持续时间短,是造成藻类细胞不易扩散和快速减弱的最主要的原因。

与其对应的是,气温也呈现上升趋势,且均较常年同期明显偏高,日最高气温曾一度高达26℃,这在冬季是非常罕见的。干燥少雨,平均风力偏小,潮流缓慢,不易造成藻类细胞的扩散,这些都在客观上为本次“赤潮”的发生和持久创造了条件。

气压对赤潮藻类生长的作用,目前尚无明确的结论,单从这次事件来看(见图2),冬季发生赤潮的情况下,气压持续缓慢的下降有利于赤潮藻类的维持。

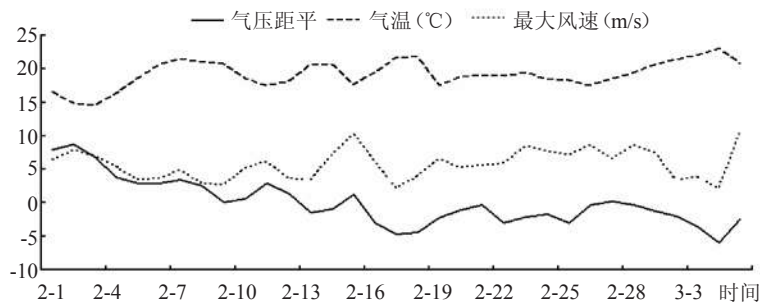


图2 2007年2月1日~3月5日,汕头南澳站日平均气温、日最大风速、日平均海平面气压距平变化曲线

3.2 气候因素

与这次冬季发生球形棕囊藻赤潮事件相类似的是,1997年10月~1998年2月在我国东南沿海首次暴发的大规模棕囊藻赤潮事件。这两次赤潮事件都发生在El Niño的全球气候背景下,其中,1997年这次是20世纪最强的一次El Niño事件,从1997年5月开始,到1998年6月结束;2006年8月,西北太平洋也发生了弱El Niño事件,持续到2007年2月结束。

全球气候的变化直接影响到近海水温和海水的交换,进而影响到营养盐状况和赤潮生物的生长与聚集等生态过程。El Niño引起黑潮暖流入侵南海减弱(北赤道流减弱),使南海的环流受到很大影响,南海暖水向大陆海岸堆积;同时沿岸流是由东北风引起,所以海水向海岸方向流动,这就使得沿岸流停滞在沿岸。由此,导致内湾的水和外海交换减小或停滞时间较长,从而有利于赤潮的发生、发展^[10]。

3.3 海水理化因子

水温、盐度等海水的理化因子直接影响着赤潮的发生、发展和消亡。

3.3.1 水温

一般研究认为20~30℃是适宜赤潮藻类繁殖的温度范围,球形棕囊藻最佳生长温度为25℃^[8]。2007年2月发生的这次球形棕囊藻赤潮事件表明,低于20℃的水温条件下,球形

棕囊藻仍然能够继续存活和繁殖。如图3所示,2月1~4日期间,表层水温一直维持在15℃左右,4日之后开始拉升,至9日,升至17.3℃,一周内水温升高超过2℃,这与“一周内水温突然升高大于2℃是赤潮发生的先兆^[11]”相符,2月9日~3月2日期间,水温基本保持在17~18℃,此外,对每天3个时次(08时、14时、20时)实测水温的统计表明:水温的日变化不明显,日变化均小于1℃。

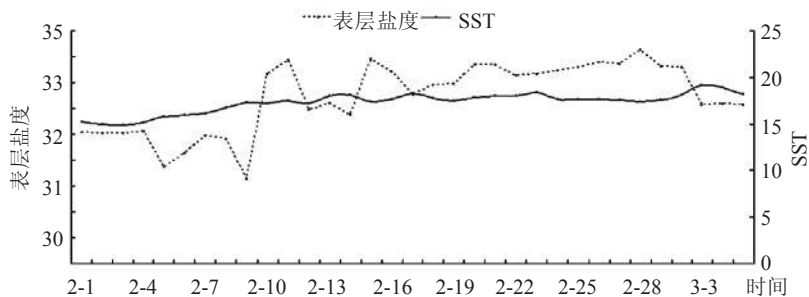


图3 2007年2月1日到3月5日,汕头南澳站表层盐度及海表面温度(SST)变化曲线

3.3.2 表层盐度

海水的盐度变化是促使赤潮生物大量繁殖的原因之一,它对赤潮爆发有着非同寻常的重要意义,但不同的赤潮生物对盐度的最适合生长要求不尽相同。晏荣军^[12]等的研究结果表明:球形棕囊藻在盐度8~32范围内均能正常生长,最佳生长盐度为16,当盐度低于8或高于32时,藻的生长明显受到抑制,细胞数量增长缓慢。实测资料表明:2月10日前,南澳附近海域表层水温盐度基本保持在31~32左右,其中9日最低,只有31.12,这与9日的降水导致的冲刷有关系。10日起,盐度略有升高,基本保持在33以上,2月28日最高达到了33.63,与其对应的是,10~12日开始,汕头濠江海域赤潮面积开始减小,棕囊藻碎片密度从3~4片/升减为1~3片/升,这意味着棕囊藻生长受阻。

3.4 水动力条件

沿岸流对许多赤潮藻类具有散播作用,这是因为许多赤潮生物都随海洋的波浪漂流,若漂流至近岸地方,遇到丰富的营养盐便会萌发和繁殖,从几次发生在汕头沿岸的球形棕囊藻赤潮事件来看,球形棕囊藻赤潮也具有随波漂流性质。

在赤潮发生初期,底部湍流、上升流等垂直混合运动对营养盐的上涌有利,是赤潮藻类生长的促进剂。在赤潮的发展和维持阶段,潮流等水平运动所造成的水平对流导致营养盐或微量元素的扩散流失,此外,对流还引起水团不稳定,不利于赤潮藻类的发展和维持。潮汐和波浪的作用相对复杂,引起水平运动的同时又导致了垂直混合,当处于不同阶段时,对赤潮藻类的发展贡献不一致。发生初期,随着沿岸的上升流将营养盐带到海洋表面,潮汐、波浪等将藻类细胞和营养盐迁移到附近海域,伴随其他适宜的环境条件,可以促进赤潮藻类的大面积繁殖或者扩散。同样是波浪和潮汐,在赤潮藻类营养盐被消耗,补

充不足的情况下,则导致水团不稳定,令其逐渐进入消亡阶段。

汕头近海表层以东北流为主。冬季外海盛行西北流,流速 $0.5\sim 0.8$ 节,沿岸有上升流和沿岸流。汕头以东和港口以西为不正规半日潮,平均潮差大部分为 1.0m 左右,最大潮差 2.0m 左右。南澳岛北部沿岸长山尾、青澳岛、深澳岛、莱芜湾、妈屿等海域向东或向北面向大海,受东北季风影响相对较大。而海门、濠江、广澳前江、云澳、前江湾、饶平、潮阳等由于地理位置的原因,偏北到东北风能够引起的风浪和涌浪相对较小,海水搅动混合及交换不够充足,潮流相对缓慢。

南澳站位于南澳岛南部,受岛屿阻挡的影响,观测到的东北季风引起的波高数据比真实情况略偏小。如图4所示,1m以上波高共计出现4d,主要分布在2月2日、15日、24日和26日。2月初,赤潮发生初期,出现的 $0.8\sim 1.0\text{m}$ 的波浪导致的混合运动对营养盐和赤潮藻类的扩散有利,对后来的赤潮大面积发生贡献为正。2月15日出现的 1.5m 的波浪则促发了藻类面积密度等的继续减小,为赤潮藻类的消亡起到了积极作用,但15日之后出现了7天左右的平静期,减缓了赤潮的消亡过程。

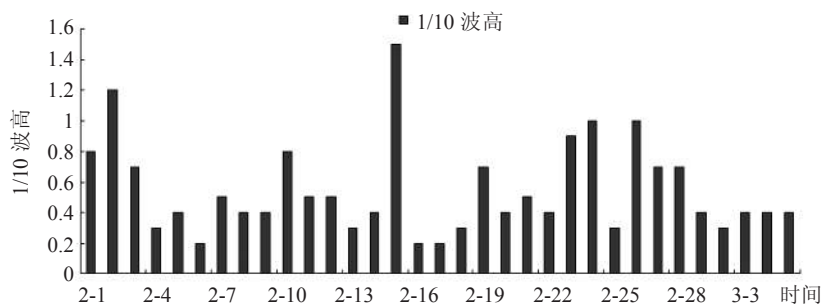


图4 2007年2月1日~3月5日,汕头南澳站日平均波高变化曲线

2~3月初的这段时间内,南澳及汕头附近海域平均风浪不大,1m以上波浪虽然出现过几次,但维持时间太短,中间又经历了缓和期,所以导致这次赤潮事件维持了较长时间,具体到不同的浪高对赤潮的影响程度问题还需进一步的研究才能深入了解。

总的来说,2007年2月冷空气强度明显偏弱,另一方面,来自海洋的暖湿气流却比常年同期明显偏强偏盛,致使该次赤潮事件发生迅速,但是还没来得及发展就被一次又一次的弱冷空气袭击冲淡。由于冷空气强度不够,导致其消亡阶段持续时间相对较长,直至3月5日,一次强冷空气南下,才为这次球形棕囊藻赤潮事件画上了句号。

4 球形棕囊藻赤潮的发生发展规律

表1是1997年10月份以来发生在广东省沿海的球形棕囊藻赤潮事件的时间及强度面积表,分析发现,近年来棕囊藻赤潮爆发的频率有加快的趋势,规模也不断扩大,有3个方面的特征:

(1) 从爆发的时间来看,球形棕囊藻赤潮事件多发生于下半年,冬季到次年春季期

表1 广东省沿岸球形棕囊藻爆发时间及强度表(不完全统计)

| 爆发时间 | 地点 | 持续时间 | 面积 (km ²) |
|------------------------|----------------|------|-----------------------|
| 1997 年 10 月~1998 年 2 月 | 福建东山/广东饶平 | 5 个月 | 不详 |
| 1999 年 7 月 | 汕头饶平、南澳等海域 | 17 天 | 不详 |
| 2003 年 7 月 | 汕头饶平、南澳附近海域 | 3 天 | 不详 |
| 2003 年 11 月 | 汕头附近海域 | 6 天 | 400 |
| 2003 年 12 月 | 广东珠海 | 不详 | 不详 |
| 2003 年 12 月 | 汕头妈屿附近海域 | 不详 | 不详 |
| 2004 年 1 月 | 南澎列岛~南澳 | 16 天 | 200 |
| 2004 年 1 月 | 珠海淇澳岛北部海域 | 不详 | 50 |
| 2004 年 1 月 | 湛江港附近海域 | 4 个月 | 200 |
| 2004 年 11 月 | 汕头广澳岛附近海域 | 9 天 | 900 |
| 2005 年 3 月 | 湛江港附近海域 | 6 天 | 270 |
| 2006 年 2 月 | 广东珠海、桂山港网箱养殖海域 | 不详 | 350 |
| 2006 年 2 月 | 湛江港网箱养殖区 | 不详 | 不详 |
| 2006 年 12 月 | 汕尾港 | 12 天 | 不详 |
| 2007 年 2 月 | 汕头、南澳附近海域 | 33 天 | 245 |
| 2007 年 7 月 | 汕头湾口至莱芜一带海域 | 不详 | 不详 |
| 2007 年 9 月 | 汕尾港 | 10 天 | 30 |

间偏多,夏季也有发生,这可能与它原来生活在温带和寒带海域的生活习性有关系。

(2)从发生地点来看,主要集中在汕头汕尾附近海域、珠海、湛江港网箱养殖海域等地。这些地方均具备营养盐丰富,海水富营养化程度较高的特征。

汕头市位于广东省东部,韩江三角洲南端,素有“岭东门户、华南要冲”之美称,是经济特区、沿海开放城市和著名侨乡。韩江、榕江、练江三江下游穿越汕头辖区注入南海,三江入海口附近海域氮、磷等无机物含量较高,特别是妈屿岛至濠江区赤屿一带海域,由于受到陆源污染物的直接污染,无机氮、磷酸盐和铁、锰等微量元素及其他有机物浓度较高;另一方面,汕头、饶平附近海域又是著名的黑潮暖流和南海暖流的交汇涌升区,上升流能将海底的营养物携到表层,因此近海营养盐类丰富,水质肥沃,有利于藻类等生长繁殖。

南澳岛码头区、深澳网箱养殖区、珠海桂山港网箱养殖区和湛江港网箱养殖区等,由于投饵中的残余饵料和鱼类排泄物沉积,海水中氮、磷、微量元素等有机物含量偏

高,这些无机物和有机物经过分解形成过剩的营养盐类,超过水体自净能力,导致海水呈现富营养化,这在客观上为赤潮藻类的繁殖提供了物质基础。

(3) 球形棕囊藻赤潮持续时间较长,最长的有4~5个月之久,且球形棕囊藻赤潮事件一旦在某地发生,就很容易经常在此发生。最明显的例子就是汕头附近海域,这是因为,球形棕囊藻的杀手铜“胞囊”,在水温、盐度、营养物和微量元素等外界环境不适宜的条件下,会随波沉于海底,等到气候、营养物等因素适应便会再次大肆繁殖。

5 结论与建议

秋冬季节,是我们过去认为不适宜赤潮藻类大面积繁殖的季节,现在也正逐渐成为球形棕囊藻赤潮事件的多发季节,它之所以能够在广东省沿岸的特定海域大面积繁殖,适合的环境主要有以下特点:

(1) 如果El Niño在当年8月份之前发生,则接下来的冬季多数为暖冬,冷空气活动偏弱,这样的气候背景有利于球形棕囊藻的生长繁殖;

(2) 正常年景时,如果冷空气影响偏弱,大陆冷高压入海变性,华南沿海以晴到多云天气为主,光照充足,这类天气形势也有利于球形棕囊藻的生长繁殖;

(3) 球形棕囊藻赤潮事件发生过程中,如果前后两次冷空气过程间隔时间长,冷空气过程持续时间短,对藻类细胞的扩散和减弱不利;

(4) 降水在赤潮发生和发展过程中所起的作用不同,对于河流出海口附近海域,降水导致的冲刷可能使河流中的营养盐入海,导致海水富营养化,促发藻类的繁殖和赤潮的发生;另一方面,在赤潮发展过程中,降水会使盐度降低,低至某种水平,又会使特定区域的赤潮藻类繁殖受阻;

(5) 平均风力在4级以下时,对赤潮藻类细胞的滞留聚集有利;气压持续缓慢下降时,也有利于赤潮藻类的维持;

(6) 低于20℃的水温条件下,球形棕囊藻仍然能够继续存活和繁殖,事实也验证了:一周内水温突然升高大于2℃是赤潮发生的先兆;此外,日变化小于1℃的水温环境有利于藻类的维持;

(7) 球形棕囊藻在盐度8~32范围内均能正常生长,最佳生长盐度为16,当盐度低于8或高于32时,藻的生长受到抑制。降水冲刷导致盐度过小,或者光照过分充足导致水份蒸发盐度过大,都会使球形棕囊藻生长受阻;

(8) 球形棕囊藻赤潮发生初期,波浪导致的混合运动对营养盐和赤潮藻类的扩散有利,可能导致赤潮的大面积滋生。但在发生过程中,较大的波浪则会导致水团不稳定和海水的充分混合,促发藻类面积密度减小,对赤潮藻类的消亡起积极作用;且两次中~大浪过程中间的平静期如果过长,也会减缓赤潮的消亡过程。

对特定海域来说,赤潮的发生既是一种巧合,也是一种必然。巧的是各种外界环境条件、藻类自身条件同时达成了一种协调,于是赤潮就发生了;必然,是因为只要有赤

潮藻类生物存在,那么在环境等适宜的条件下,赤潮就一定会发生。

海洋是一种生物与环境、生物与生物之间相互依存,相互制约的复杂生态系统。系统中的物质循环、能量流动均处于相对稳定、动态平衡中。当污染物排放过量,超过水体自净极限,这种平衡就会遭到干扰和破坏,赤潮就是平衡被打破的表现之一。要彻底根除赤潮,应该从源头抓起,消灭引发赤潮的物质基础,我们最需要做的就是尽量减少污染物排放量和强化网箱养殖区管理。

此外,应加强科研工作,对影响赤潮藻类发生、发展的各方面要素、环境条件等进行研究和分析,不同的赤潮藻类对水文、气象环境因子的要求可能类似,但是对水温、盐度、pH、光照强度、溶解氧、微量元素等的要求却千差万别,且不同的藻类随着温度的变化对光照的要求亦不相同,为此,建议对不同藻类引发的赤潮事件分别进行总结、分析,对适合各种藻类的环境因子进行归纳、提取,建立基础信息数据库,在此基础上采取科学的方法,针对监测站的实况资料和未来天气发展形势,及时进行赤潮预测,配合监测人员的严密监视和渔民发现赤潮藻类之后的快速反映,努力将赤潮灾害损失降到最低。

参考文献:

- [1] 苏纪兰. 中国的赤潮研究[J]. 中国科学院院刊, 2001, 16(5): 339-342.
- [2] 钱宏林, 梁松, 齐雨藻. 广东沿海赤潮的特点及成因研究[J]. 生态科学, 2000, 19(3): 8-16.
- [3] 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.
- [4] 吴迪生, 黎广媚, 赵雪. 1997~1998年广东赤潮发生与海洋水文气象的关系[J]. 广东气象, 2005, 27(2): 14-15.
- [5] 王咏亮, 翟自强, 缪国芳, 蔡怡. 500hPa 环流形势对东海春季赤潮的影响[J]. 海洋预报, 2005, 22(S1): 62-69.
- [6] 龚强, 汪宏宇, 付丹丹. 影响赤潮的气象因素分析[J]. 环境保护科学, 2004, 30(5): 33-36.
- [7] 邓素清, 汤燕冰. 浙江海区赤潮发生前期气象因子的统计分析[J]. 科技通报, 2005, (4): 16-21.
- [8] Riegman R, Boekel W V. The ecophysiology of *Phaeocystis globosa*: a review[J]. J Sea Res, 1996, 35(4): 235-242.
- [9] 沈萍萍. 有害赤潮藻——球形棕囊藻的分类生理特性及产毒研究[D]. 暨南大学, 2001.
- [10] 黄小平, 黄良民, 等. 近海赤潮发生与环境条件之间的关系[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(4): 63-69.
- [11] 周凡. 赤潮的成因、危害及治理[J]. 生物学教学, 2004, 29(1): 1-2.
- [12] 晏荣军, 尹平河. 应用原子力显微镜研究盐度对棕囊藻生长的影响[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(1): 45-48.