

文章编号: 1674-7054(2012)03-0276-05

由养殖废水导致的湛江硇洲岛 海域夜光藻赤潮

廖永岩¹, 谢 叶¹, 谢伟阳¹, 梁建安², 林尤通²

(1. 广东海洋大学 水产学院 广东 湛江 524025; 2. 湛江市渔政海监支队 广东 湛江 524039)

摘 要: 于2002年2月对湛江硇洲海域发生的夜光藻赤潮进行了调查, 结果发现: 该赤潮发生的海域水温19℃, 盐度27~32, pH值6.87~8.33, 溶解氧2.81~8.11 mg·L⁻¹, 化学需氧量0.97~492.28 mg·L⁻¹, 氨氮0.002~0.258 mg·L⁻¹, 硝酸盐0.040~0.262 mg·L⁻¹, 亚硝酸盐0.005~0.175 mg·L⁻¹, 无机氮0.047~0.529 mg·L⁻¹, 活性磷酸盐0.048~1.682 mg·L⁻¹。这是由于当地对虾养殖池清塘, 将大量富营养化养殖废水直接排入海, 从而造成该海域发生长约2 km, 宽约50 m, 面积约10 hm²的红色夜光藻赤潮的主要原因。

关键词: 赤潮; 夜光藻; 养殖废水; 湛江硇洲岛

中图分类号: X 55

文献标志码: A

赤潮是一种生态异常现象, 通常是指海洋环境条件的变化而导致浮游生物(微藻、原生动物或细菌等)爆发性增殖和高度聚集使局部水体颜色改变的现象。赤潮可分为河口、近岸、内湾型赤潮、外海(或外洋)型赤潮、外来型赤潮、养殖区型赤潮4种类型^[1]。不同的赤潮类型, 有自己特有的发生机制^[2]。赤潮的危害方式主要有: ①黏附于水生动物的腮上, 使其窒息而死^[3]; ②分泌有害物质危害其他生物^[4]; ③产生毒素, 毒死其他生物^[5]; ④大量耗氧, 使水体缺氧^[6]等4种。赤潮造成的危害, 主要表现在对海水养殖业、人体、海洋生态等方面的危害^[4, 7]。大规模的赤潮对海洋生态的破坏常常是毁灭性的。海水养殖业受到赤潮的冲击, 常造成巨大的经济损失。近年来, 随着我国工业化、城市化进程的加快, 部分海域的海洋环境恶化, 海水富营养化严重, 使得赤潮频频发生。特别是20世纪90年代后, 我国沿海海域赤潮发生频率逐渐增高, 周年均可发生^[1, 8]; 赤潮发生的时间也逐渐延长, 范围变广, 危害增大^[1, 9]。我国常发生的赤潮, 很大一部分是由夜光藻引发的^[1]。夜光藻(*Noctiluca scintillans*)^[10], 俗称夜光虫, 在分类上隶属于甲藻门, 甲藻纲, 横裂甲藻亚纲, 裸甲藻目, 夜光藻科^[11], 近球形, 直径约150~2 000 μm, 细胞壁透明, 具1条长触手。其细胞内原生质淡红色, 常引起红色赤潮。夜光藻能有性繁殖和无性繁殖^[12], 是1种完全异养的赤潮种类。它的这种异养特性, 使其种群与外界饵料之间存在密切关系。夜光藻食性很广, 主要是摄食水体中的有机体, 如硅藻、甲藻和扁藻等浮游植物、小型浮游动物及其卵、有机碎屑等^[13]。其中, 硅藻^[14]、扁藻^[15]是夜光藻的主要食物来源。夜光藻对温度、盐度的适应范围广, 适宜温度13~28℃, 盐度15.0~34.5。夜光藻本身并不含毒素, 但它大量繁殖形成赤潮时, 会黏附在水生生物的腮上, 使其缺氧窒息而死。另外, 它死亡分解时, 会产生硫化氢等有害物质影响海水水质, 破坏生态环境。湛江湾位于粤西海岸大尺度湾曲处, 由东海岛、南三岛和硇洲岛环绕, 属北回归线以南海区, 水域生境多样, 生物区系复杂, 是多种经济鱼、虾、贝类的繁育场所。近年, 随着湛江市经济的快速发展, 特别是随着湛江港吞吐量的增加、临港工业的高度发展、城市的扩容、养殖基地的兴建, 湛江湾海水污染日趋明显, 富营养化加重, 赤潮时有发生。本文报道了2002年2月发生于湛江湾硇洲岛附近海域的夜光藻赤潮, 并就该赤潮发生的原因进行了分析, 旨在为今后湛江海域赤潮防治及海域保护提供基础资料。

收稿日期: 2012-03-18

基金项目: 广东省海洋渔业科技推广专项科技攻关与研发重点项目(A201008J01)

作者简介: 廖永岩(1965-)男, 湖南保靖人, 广东海洋大学水产学院副教授, 硕士生导师。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 水样 于 2002 年 2 月湛江硇洲岛赤潮发生时,立即从该岛 3 个不同赤潮站点采集水样。

1.1.2 仪器 采水器(河南驼人医疗器械公司),溶氧仪(YSI-SS),表面海水温度计(浙江省宁波市温度表厂,SWL1-1),盐度计(ATAGO ES-421),pH 计(梅特勒-托利多 SG2),722 型分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)等。

1.2 方法

1.2.1 实地调查 赤潮发生时,接报赤潮发生的信息后,及时访问当地干部、渔民,了解赤潮发生的具体情况,并及时赶到赤潮发生现场,调查海水颜色、气味、分布范围等。

1.2.2 布点检测和取样分析 在赤潮发生现场布点检测和取样分析,获取海水重要理化指标及有关的生物情况。具体方法如下:根据赤潮与对虾养殖池排废口的距离,设置 3 个站点,用采水器分别采集上层和近底层水。主要测定项目:水温、盐度、比重、透明度、pH 值、溶解氧、化学需氧量、浊度、悬浮物、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、无机氮及活性磷酸盐等。

1.2.3 赤潮生物鉴定 在实验室对采集到的赤潮生物进行分离、计数,然后进行形态学鉴定,确定赤潮生物种类。

2 结果与分析

2.1 赤潮发生海域的基本情况 本次赤潮发生地点在湛江硇洲岛谭北斗龙至烟楼村一带。硇洲岛位于湛江市东南面,即东经 $110^{\circ}33' \sim 110^{\circ}38'$,北纬 $20^{\circ}52' \sim 20^{\circ}56'30''$,位于北回归线以南。该岛面积约 56 km^2 ,海岸全长约 36 km ,东临南海,西濒雷州湾。岛岸除南部淡水镇至南港是砂岸外,其余为岩礁,海流畅通,风大浪大。该岛地处热带,属热带季风气候,夏季时间长,台风和暴雨较多,冬季不冷,年平均气温 23.4°C ,海水温度 $17 \sim 29^{\circ}\text{C}$ 。除天然降雨外,岛内没有常年的淡水河川注入沿海,因而海水盐度较稳定,盐度约 30.44 。

本次赤潮开始于 2002 年 2 月 6 日(农历腊月 25)早晨,赤潮最盛时长约 2 km ,宽约 50 m ,面积约 10 hm^2 。赤潮爆发前几天天气晴朗,风浪小。赤潮海域海水呈桔红色。3 个站点的具体情况分别为:第 1 站点离养殖场排放口最近(约 20 m),水色最红,但没有臭味;第 2 站点离养殖场距离次之(约 1 km);第 3 站点离养殖场最远(约 1.5 km)。第 2 和第 3 站点的水色均为淡红色,气味相近。走访调查发现,在本次夜光藻赤潮发生前后,正是当地对虾养殖池进行清塘排废的时期,而且养殖废水直接排入该海区,排放前没有经过任何处理。

2.2 水样测定 分别测定了 3 个不同站点的水温、盐度、pH 值、溶解氧、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、无机氮、活性磷酸盐等项目,测定结果见表 1。

表 1 湛江硇洲岛赤潮海域不同站点水样理化指标

测定项目	第 1 站点	第 2 站点	第 3 站点
水温/ $^{\circ}\text{C}$	19.1	19.2	19.1
盐度	27.0	32.0	31.0
pH 值	6.87	7.87	8.33
溶解氧/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	2.81	8.01	8.11
化学需氧量/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	492.28	147.34	0.97
浊度/NTU	$>1\,000$	42.5	4.57
氨氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.002	未检出	0.258
硝酸盐/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.04	未检出	0.262
亚硝酸盐/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.005	0.175	0.009
无机氮/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.047	0.175	0.529
活性磷酸盐/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1.458	1.682	0.048

由表 1 可见,第 1 个站点受虾塘污染最严重,有机物的含量最大(化学需氧量为 $492.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),溶解氧仅 $2.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 6.87。第 2 个站点,污染较严重,有机物的含量比较大(化学需氧量为 $147.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),但此处的溶解氧水平较高($8.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),与第 3 个点($8.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)相差不大;另外,水样中均未检出氨氮和硝酸盐,亚硝酸盐的含量为 $0.175 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。第 3 站点离养殖场最远,受虾场所排废水污染最小,有机物含量最低(化学需氧量为 $0.97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),无机氮含量为 $0.529 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,活性磷酸盐含量为 $0.048 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,这仍是一个较高的含量。

2.3 赤潮生物鉴定 在水样分析中,笔者发现了大量夜光藻,其他的浮游生物相当少。因此,可以确定形成赤潮的生物为浮游生物甲藻门的夜光藻,此次赤潮是由夜光藻大量繁殖和死亡造成的,其他浮游植物有可能已被消耗殆尽。

3 讨 论

3.1 夜光藻赤潮发生的影响因素 夜光藻赤潮的发生是个相当复杂的过程,夜光藻自身的种群基数是形成赤潮的内因。受制于无机氮和无机磷等营养元素的浮游植物数量则是外因中的一个最主要因素。此外,温度、盐度、溶解氧、水文、气象条件等也可影响其生长繁殖和夜光藻赤潮的发生。一般说来在夜光藻赤潮发生前均会有个浮游植物的高峰期^[16]。水温、盐度、光强、pH、溶解氧、降雨及水流条件等是影响赤潮发生的重要因素或辅助条件^[17]。不同环境因子对赤潮发生中的影响程度不同,同一环境因子在不同赤潮发生中所起的作用也不尽相同。赤潮高发期海域适宜的水温、较强的光照、风浪、潮汐有时可成为诱发赤潮生物迅速生长繁殖的主要条件。

3.2 本次赤潮的发生原因 本次夜光藻赤潮发生的时间正是当地对虾养殖池进行清塘的时期。大量养殖废水没有经过任何处理就直接排入该海域。养殖废水不仅含有大量的无机盐,还带有许多浮游植物。适宜的环境和足够的营养盐使得浮游植物大量增长。事发海域赤潮爆发前是否会有大量浮游植物出现,可以根据湛江海域对虾养殖中几种常见的饵料藻类的生态习性进行分析,几种虾池常见的饵料藻类的生态习性见表 2^[18]。

表 2 湛江海域对虾养殖中几种常见饵料藻类的生态条件

藻类	盐度	最适盐度	温度/℃	最适温度/℃	pH 值	最适 pH 值
亚心形扁藻	8~80	30~40	7~30	20~28	6~9	7.5~8.5
三角褐指藻	9~92	25~32	5~25	10~20	7~10	7.5~8.5
牟氏角毛藻	2.6~35	10~15	5~30	30	6.4~9.5	8.0~8.9
中肋骨条藻	7~50	15~30	10~34	20~30	6.5~9.5	7.5~8.5

赤潮发生海域水温 $19 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 盐度 $27 \sim 32$, pH 值 $6.87 \sim 8.33$, 可见,饵料植物能够在此种条件下大量生长,其中,亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)最适宜在这种环境条件下生长,仅牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)不太适宜。

通过比较 3 个站点的检测结果发现,离对虾养殖池排废口最近的第 1 站点的浊度最大($>1000 \text{ NTU}$),是第 2 站点的 23.5 倍,是第 3 站点的 218.8 倍,海域颜色最红,说明此站点赤潮最严重,是本次夜光藻赤潮爆发的中心区。第 1 站点的化学需氧量最高($492.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),是第 2 站点的 3.3 倍,是第 3 站点的 507.5 倍,这说明第 1 站点的生物量相当强,初级生产力相当大。因为本次赤潮不是外来型赤潮,属于养殖区型赤潮^[1]。所以,第 1 站点初级生物力应来自养殖池或来自第 1 站点本身。这就说明,赤潮发生前,饵料藻类曾大量繁殖,制造了第 1 站点如此高的生物量。第 1 站点的氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、无机氮均最低,也从侧面印证了此处自养性饵料藻类生物曾大量繁殖,消耗了大量的营养盐,致使此站点的营养盐低于第 2 和第 3 站点。第 1 站点溶解氧最低($2.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),仅为第 2 站点的 35.1%,第 3 站点的 34.6%,pH 值最低(6.87)。这就说明,第 1 站点的自养型饵料藻类虽然曾经大量繁殖,但由于大量繁殖的饵料藻类诱发了夜光藻赤潮,大量繁殖的异养型夜光藻,已将光合自养型的饵料藻类消耗殆尽,致使氧

气产生量急剧减少或停止,而消耗量急剧增加,也导致海水溶解氧急降。溶解氧的降低,二氧化碳浓度的升高,又使pH值降得最低;即第1站点已经渡过了自养型浮游植物高峰期,处在赤潮爆发阶段。

在富营养化水体中,一旦遇到适宜的水温、盐度和气候等条件,或对赤潮生物增殖有特殊促进作用的物质含量增加时,赤潮生物就会以异常的速度大量繁殖。本次赤潮爆发时间为2002年2月6日,即赤潮爆发前及赤潮爆发时,属于平潮期(或小潮期),湛江湾海浪小,海水流动缓慢,天气晴朗,富营养化养殖废水及爆发性繁殖的饵料生物和夜光藻不易扩散,使夜光藻在硇洲岛水产养殖废水污染海域迅速繁殖和高度聚集,从而形成此次赤潮。这说明,海洋污染、海水富营养化,是赤潮灾害发生的重要原因^[19],同时,潮汐、风浪、天气等也是诱发赤潮爆发的重要原因。

海水的富营养化,是自养型饵料藻类大量繁殖的基础;而自养型饵料藻类的爆发,则是异养型的夜光藻爆发的基础。这样,除外来型赤潮外,海水富营养化范围,就决定了赤潮发生的范围。海水富营养化持续的时间,也就决定了赤潮发生的持续时间。无机氮含量为 $0.529\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,活性磷酸盐含量为 $0.048\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,无机氮为 $0.2\sim0.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,无机磷为 $0.045\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,叶绿素A为 $1\times10^{-3}\sim1\times10^{-2}\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,被称为富营养化的阈值^[20]。从表1可见,第3站点海域的富营养化程度较高,说明本次赤潮尚有一定的扩展趋势,但扩展趋势已不太强,这说明本次赤潮的面积已基本固定,不会再大规模扩展。站点1和站点2富营养化程度不高,水样里除夜光藻外,已很难发现饵料藻类,这说明本次赤潮核心区已失去进一步持续加强的基础,赤潮的爆发强度也不会再增加。

要防止这种由水产养殖排放废水而引发的赤潮爆发,对对虾和鲍类等人工养殖排出的养殖废水进行严格管理是十分必要的。因为养殖废水把大量的有机物和营养盐带入海中,造成沿岸局部水域的富营养化,同时养殖废水还常常含有大量的浮游植物,可以使整个海域的生物组成发生大的变化,极易诱发赤潮。所以,必须加强保护海洋的执法力度,严格制止乱排养殖废水的行为。加强教育和宣传海洋环保意识,使渔民意识到保护海洋环境不受破坏是与自己息息相关的事情。湛江是水产养殖发展相当快的地区,也是我国对虾养殖的主产区之一。只有海洋环境得到改善,才能保证养殖环境安全,使养殖产业不受赤潮灾害的危害,从而获得渔业丰收。

致谢:湛江渔政海监支队大量工作人员对本调查给予了很大帮助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1]梁松,钱宏林,齐雨藻. 中国沿海的赤潮问题[J]. 生态科学,2000,19(4): 44-50.
- [2]POWERS L, CREED I F, TRICK C G. Sinking of *Heterosigma akashiwo* results in increased toxicity of this harmful algal bloom species[J]. Harmful Algae, 2012, 13: 95-104.
- [3]RODGER H D, HEMY L, MITCHELL S O. Non-infectious gill disorders of marine salmonid fish[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2011, 21(3): 423-440.
- [4]RODRÍGUEZ-PALACIO M C M C, CRISÓSTOMO-VÁZQUEZ L L, ALVAREZ-HERNÁNDEZ S S, et al. Strains of toxic and harmful microalgae, from waste water, marine, brackish and fresh water [J]. Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2012, 29(2): 304-313.
- [5]HOLLAND P T, SHI F, SATAKE M, et al. Novel toxins produced by the dinoflagellate *Karenia brevisulcata* [J]. Harmful Algae, 2012, 13: 47-57.
- [6]刁洪成,江建华. 浅谈赤潮的危害和防治[J]. 山东环境,1998(5): 52-53.
- [7]ANDERSON D M, CEMBELLA A D, HALLEGRAEFF G M. Progress in understanding harmful algal blooms: Paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management [J]. Annual Review of Marine Science, 2012(4): 143-176.
- [8]宋春印,范志杰,郭晋萍. 我国沿海赤潮的状况及其研究进展[J]. 环境监测管理与技术,1995,7(3): 11-14.
- [9]田从华,邓义祥. 我国赤潮的预测与控制研究现状[J]. 环境科学进展,1998,6(6): 73-77.
- [10]HARRISON P J, FURUYA K, GLIBERT P M, et al. Geographical distribution of red and green *Noctiluca scintillans* [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(4): 807-831.

- [11]李伟新,朱仲嘉,刘凤贤. 海藻学概论[M]. 上海: 海科学技术出版社, 1982: 94 – 96.
- [12]徐韧,沈斌,王桂兰,等. 夜光藻的实验室培养及对其带触手二分裂现象的观察[J]. 水产学报, 1995, 19(3): 268 – 271.
- [13]NIKISHINA A B, DRITS A V, VASILYEVA Y V, et al. Role of the *Noctiluca scintillans* population in the trophic dynamics of the Black Sea plankton over the spring period[J]. Oceanology, 2011, 51(6): 1029 – 1039.
- [14]钱宏林,梁松,齐雨藻,等. 南海北部沿海夜光藻赤潮的生态模式研究[J]. 生态科学, 1994(1): 39 – 46.
- [15]吴玉霖,周成旭,张永山. 夜光藻的室内培养[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 165 – 167.
- [16]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.
- [17]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.
- [18]陈明耀. 饵料生物培养[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 27 – 33.
- [19]聂粤湘. 赤潮的防治与海洋环境保护[J]. 环境保护, 1999(1): 28 – 29.
- [20]沈国英. 海洋生态学[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2008.

Harmful Algal Blooms of *Noctiluca scintillans* Resulted from Wastewater of Aquaculture in the Waters Around the Naozhou Island, Zhanjiang, China

LIAO Yong-yan¹, XIE Ye¹, XIE Wei-yang¹, LIANG Jian-an², LIN You-tong²

(1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China;

2. Zhanjiang Detachment of Fishery Administration and Marine Surveillance, Zhanjiang 524000, China)

Abstract: An investigation of harmful algal blooms of *Noctiluca scintillans* was conducted in the waters around the Naozhou Island, Zhanjiang, China. The investigation showed that the harmful algal blooms appeared in the waters around the Island when the sea temperature was 19 °C, the salinity 27 – 32, the pH 6.87 – 8.33, the dissolved oxygen 2.81 – 8.11 mg · L⁻¹, the chemical oxygen demand 0.97 – 492.28 mg · L⁻¹, the ammonia nitrogen 0.002 – 0.258 mg · L⁻¹, the nitrate 0.04 – 0.262 mg · L⁻¹, the nitrite 0.005 – 0.175 mg · L⁻¹, the inorganic nitrogen 0.047 – 0.529 mg · L⁻¹, and the reactive phosphate 0.048 – 1.682 mg · L⁻¹. This was due to the fact that large amounts of eutrophic waste water were discharged into the sea waters directly from the local prawn ponds due to pond cleaning. This mass of eutrophic waste water was the major factor that caused the harmful algal blooms of *N. scintillans* covering the waters 2 km long and 50 m wide, or a sea area of 10 hectares in the waters around the Island.

Key words: harmful algal blooms; Naozhou Island; Zhanjiang; *Noctiluca scintillans*; aquaculture-based waste water