

南麂列岛自然保护区海域红色裸甲藻赤潮及其成因分析

王金辉¹, 秦玉涛¹, 李志恩¹, 黄秀清¹, 陈雷², 雷友万³, 徐良国², 尤胜炮³

(1. 国家海洋局 东海监测中心, 上海 200137; 2. 温州海洋监测中心, 浙江 温州 325027; 3. 国家海洋局 南麂海洋监测站, 浙江 南麂 325408)

摘要: 2002年9月16~19日南麂列岛海域发生3km²红褐色赤潮,其原因种为红色裸甲藻(*Gymnodinium sanguineum* Hirasaka),密度高达4.6×10⁵个/L。赤潮发生时伴随细菌的大量繁殖,江浙沿岸流所携带的营养物质是本次赤潮发生的基础,森拉克台风是本次赤潮的重要诱因。南麂海域的赤潮多发季节为4~5月份,9~11月份发生赤潮的可能性也较大,大沙岙、马祖岙和火焜岙等水体交换相对较弱的岙口为赤潮多发区。为保护南麂列岛国家级海洋自然保护区珍稀海洋贝藻资源,需协调好保护和开发之间日益尖锐的矛盾,控制养殖业的发展规模和游客的数量。

关键词: 南麂列岛 红色裸甲藻 赤潮成因

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2005)02-

南麂列岛位于浙江省南部海域,距浙江省平阳县鳌江港以东海域56°。南麂列岛海域是江浙沿岸流与台湾暖流交汇和交替消长的区域,流系复杂,锋面发达,终年水清,这些独特而多样的生态环境为海洋动、植物的繁衍和生长提供了十分理想的条件。现已查明的生物种类有:贝类421种,大型底栖藻类174种(两者约占全国的20%与浙江省的80%),微小型藻类459种,鱼类397种,甲壳类257种,其他海洋生物158种。有22种贝类在国内仅出现在南麂列岛^[1]。因此,南麂列岛自然保护区素有天然博物馆、基因库和“南种北移、北种南移”的引种过渡驯化基地。1990年,南麂列岛经国务院批准建立国家海洋级自然保护区,之后又加入联合国教科文组织世界生物圈保护区网络的海洋型自然保护区。现保护区总面积201.6km²,有海洋生物1851种,被誉为“贝藻王国”。1998年7月,浙江南麂列岛自然保护区被联合国教科文组织批准为国际人与生物圈网络成员。2001年被联合国列为生物多样性管理示范区,并由此获得“全球环境基金”的资助。由此可见,南麂列岛海域是我国重要的海洋自然保护区和典型生态区,在海洋生物及其生态环保和科研方面具有特殊的意义。

2002年9月16~19日在南麂列岛海域大沙岙和马祖岙先发生红色裸甲藻赤潮,赤潮生物为红色裸甲

藻,密度为4.6×10⁵个/L,赤潮面积约km²。水体呈红褐色,块状分布。9月16日在南麂列岛海域的大沙岙发现赤潮,9月17日赤潮蔓延至火焜岙,9月18~19日赤潮在大沙岙继续存在,早晚颜色较淡,中午颜色较深,9月20日赤潮基本消亡。作者通过赤潮应急监测资料和常规环境监测资料进行总结,简要分析赤潮发生前后的生态环境特征和赤潮发生原因。

1 材料与方法

2002年9月16~19日在南麂列岛海域大沙岙和马祖岙发现赤潮后,监测人员立即赶赴现场进行应急监测,监测项目包括水文气象(水温、盐度、悬浮物浓度)、水质(含溶解氧、化学耗氧量、亚硝酸盐、硝酸

收稿日期:2003-06-24;修回日期:2003-12-30

基金项目:国家重点基础研究计划项目(2001CB409700)

作者简介:王金辉,(1974-),男,浙江义乌人,工程师,主要从事海洋生态环境监测和赤潮研究,E-mail: wfisher@online.sh.cn

盐、氨氮、磷酸盐、pH、叶绿素 a) 粪大肠菌群、细菌总数、浮游动物和赤潮生物(浮游植物种类、密度), 监测方法参照《海洋监测规范》^[21]。监测海域为赤潮发生海域和常规监测站位(表 1), 每月一次的常规监测资料由温州海洋监测中心和国家海洋局南麂海洋监测站提供。

2 结果

2.1 赤潮原因种

经鉴定, 本次南麂列岛附近海域的赤潮原因种为红色裸甲藻(*Gymnodinium sanguineum* Hirasaka)。为单细胞藻类, 细胞长 40~80 μm 。细胞形状为五角形, 上壳圆锥形, 下壳裂成两部分, 纵沟不延伸到上壳。红色裸甲藻是一种无甲板, 海洋浮游性的甲藻, 有休眠孢子, 可能有毒能产生小细胞^[2]在世界范围内的沿岸水体广泛分布。该种为赤潮种类, 其引起的赤潮曾导致鱼类和贝类的死亡。该种在形态方面差异较大, 细胞背腹扁平近似五角形, 顶端具凹槽, 细胞长度在 40~80 μm 范围内^[3]。上下壳大小近乎相等, 上壳呈圆锥形, 下壳被纵沟深裂成两后裂片, 横带左旋, 其位移距离为横沟宽度的 1~2 倍, 沟体不侵入上壳, 但扩展至下壳。红色裸甲藻从细胞中央辐射出众多红棕黄色纺锤状的色素体, 大细胞核略偏离中心, 细胞颜色可呈深色、淡黄到无色^[3-4]。红色裸甲藻可捕食原生动物, 该混合营养方式曾在 Chesapeake Bay(美国)观察到。红色裸甲藻营无性繁殖, 二分裂, 在有丝分裂期间细胞斜着分开。在周期性发生的赤潮中可能曾观测到该种的有性阶段, 推测该种能产生休眠孢子在下一赤潮季节萌发, Nakamura 等报道红色裸甲藻种群的温盐范围分别为 13~24 $^{\circ}\text{C}$ 和 15~35。

红色裸甲藻引起的第一次赤潮记录在日本 Kozusa-ura, Gokasho Bay。此后日本其他沿海地区也报道了该种引起的赤潮事件。赤潮事件也曾发生在澳大利亚和新西兰, 美国大西洋和太平洋沿岸^[5]。红色裸甲藻在我国的烟台四十里湾扇贝养殖区(1998 年 8~9 月, 170 km^2)^[6]、象山港海域、深圳湾蛇口渔港至黄田机场近岸水域(2001 年 2 月 6~22 日, 面积约 50 km^2)都曾发生过赤潮, 可见该赤潮生物在我国广泛分布, 赤潮多发于养殖区和近岸水域。

2.2 生物因子

2002 年 7, 8, 9, 10 月 4 次调查共发现、鉴定浮游植物 4 门 38 属 90 种(含变种), 其中硅藻门 23 属 59 种, 甲藻门 13 属 29 种, 蓝藻门 1 属 1 种, 隐藻门 1 属 1 种。其中赤潮生物 43 种。主要赤潮生物包括红色裸甲藻(*Gymnodinium sanguineum*)、中肋骨条藻

(*Skeletonema costatum*)、锥状斯比藻(*Scripsiella trochoidea*)、叉状角藻(*Ceratium furca*)、菱形海线藻(*Thalassionema nitzschiodes*)、佛氏海毛藻(*Thalassiothrix frauenfeldii*)、梭状角藻(*Ceratium fusus*)等, 与 1990 年 5 月和 10 月在南麂海域调查结果(浮游植物 99 种, 其中赤潮生物 25 种)相比^[7-8], 浮游植物的种类数变化不大, 赤潮生物种类数则大幅增加, 主要的赤潮生物也从夜光藻(*Noctiluca scintillans*)和尖叶原甲藻(*Prorocentrum triestinum*)演变为红色裸甲藻和中肋骨条藻等赤潮生物。

2002 年 9 月 18 日, 东海监测中心和南麂海洋站联合调查的结果(表 1)为: 大沙岙(NJ001)和柴屿附近海域(NJ005)的叶绿素含量高, 在 94 $\mu\text{g}/\text{L}$ 左右, 已处于赤潮状态, 其余站为非赤潮状态。大沙岙海域浮游植物密度在 1.7 $\times 10^5$ 个/L, 红色裸甲藻密度高达 1.1 $\times 10^5$ 个/L, 占浮游植物总个体数的 65% 左右。邻近海域的非赤潮水体叶绿素含量在 15~58 $\mu\text{g}/\text{L}$, 浮游植物密度处于 104 个/L 水平。浮游动物的生物量和密度与赤潮无明显关系, 平面分布为岛屿附近海域较低, 离岛较远的海域较高。细菌总数赤潮发生海域明显高于周围邻近海域。

2.3 赤潮发生前后主要环境因子的变化

赤潮海域水温比常年(平均 26.5 $^{\circ}\text{C}$)偏高, 表层水温 27~27.4 $^{\circ}\text{C}$; 盐度比常年(平均 30.2)偏低, 表层盐度 26.14~26.79。赤潮发生期间南麂海域表层水体环境因子如表 1 所示。赤潮期间溶解氧的含量不高, 与相同类型的赤潮相比溶解氧含量偏低, 其原因有待进一步分析。发生赤潮的大沙岙海域与邻近未发生赤潮的水体相比, 营养盐含量明显较低, 海水中无机氮含量为 0.159 mg/L , 无机磷含量为 0.0089 mg/L , 与相同类型的赤潮, 无机氮含量还较高, 可能监测时还处于赤潮的维持期, 营养盐消耗小, 无机磷含量则很低, 已明显低于浮游植物最适生长的下限(0.018 mg/L)。

赤潮发生前后表层水体部分环境因子与粪大肠菌群的变化如表 2 所示, 水温和盐度都逐步下降, 在赤潮发生时 pH 值较低, 粪大肠菌群较高, 溶解氧无明显变化。赤潮发生前水温偏高, 赤潮期间及以后的近一个月温盐都接近在红色裸甲藻生长的适宜范围内。

3 南麂海域赤潮成因分析

3.1 富营养化是本次赤潮形成的基础

南麂岛远离大陆, 没有工厂, 岛上常住居民约 2500 人, 夏季旅游季节游客和外来服务从业人员骤然增多, 污染源主要是江浙沿岸流所携带的陆源污染

表 1 2002 年 9 月 18 日南麂海域赤潮期间环境因子(表层水体)

Tab.1 The environmental factors in Nanji island sea area during HAB

站号	NJ001	NJ002	NJ003	NJ004	NJ005	NJ006
经度	121°03'34" E	121°05'16"E	121°05'16"E	121°03'20"E	121°04'00"E	121°03'07"E
纬度	27°27'39" N	27°25'29"N	27°27'15"N	27°28'39"N	N27°26'57"N	N27°28'11"N
水温(℃)	27.4	27.3	27.3	27.3	27	27.3
盐度	26.64	26.21	26.79	26.57	26.78	26.14
悬浮物(mg/L)	41.2	32.2	32.6	50.6	39.8	37.2
pH	7.9	7.92	8.32	8.33	8.3	8.32
化学需氧量(mg/L)	1.115	1.92	0.976	1.261	0.854	0.862
溶解氧(mg/L)	6.85	7.23	7.02	7.3	6.67	8.36
活性磷酸盐(mg/L)	0.0089	0.0135	0.0138	0.0141	0.0135	0.0103
亚硝酸盐(mg/L)	0.0122	0.0175	0.0199	0.0176	0.0213	0.0177
硝酸盐(mg/L)	0.137	0.182	0.172	0.184	0.187	0.168
氨氮(mg/L)	0.0099	0.0115	0.0155	0.002	0.0108	0.0123
油类(mg/L)	0.12	0.11	0.1	0.1	0.16	0.15
Chla(μg/L)	94.4	35.5	58.4	52.4	93.6	15.3
浮游植物(个/L)	171965	46438	88402	77073	131644	56969
红色裸甲藻(个/L)	114167	14072	62423	50909	81044	19544
浮游动物密度(个/m ³)	116.7	376.3	38.4	16.3	287.1	284.4
湿质量生物量(g/m ³)	0.596	1.366	0.325	0.421	0.831	1.056
细菌总数(个/mL)	473000	23000	150000	74000	50000	38000

表 2 赤潮发生前后部分环境因子与粪大肠菌群的变化

Tab.2 The variation of environmental factor and E. coli during HAB process

日期 (月-日)	水温 ¹⁾ (℃)	水温 ²⁾ (℃)	盐度	pH	溶解氧 (mg/L)	粪大肠菌群 (个/100mL)
08-30	29.8	32.7	28.4302	8.27	6.28	<2
09-05	28.4	29	27.458	8.26	6.77	2
09-12	28.8	31.8	27.0315	8.26	6.87	<2
09-18	26.7	27.2	26.6461	7.9	7.23	6
09-26	25.2	26.2	26.5751	8.12	7.64	<2
10-04	25.4	26.4	26.4264	8.22	7.66	9
10-11	24	25	27.6322	8.24	7.65	<2

1) 08:00 时水温 2) 14:00 水温

物,目前岛屿本身的生活污水和养殖自身污染几可忽略不计。江浙沿岸流主要源自长江和钱塘江径流,以低盐为主要特征,当其沿浙江近海南下期间,又汇入甬江、曹娥江、甌江等数十条江河的径流,是南麂海区营养物质的主要来源,南麂海区还存在浙南沿岸上升流,也是营养物质的重要输入途径。该海区夏季在台湾暖流的控制之下,冬季则受江浙沿岸水的支配。2002 年的监测结果(表 3)也与此相符,6~8 月营养盐含量很低,形成赤潮的可能性不大,其余月份的营养

盐含量都较高,可供浮游植物大量繁殖。

近年南麂岛的海水养殖业和旅游业出现了前所未有的发展速度,取得了显著的经济效益。然而,这些开发活动对环境和资源产生了很大的压力,目前区内已呈现出生态环境与自然资源受到人为影响的迹象。夏季该海域的营养盐含量低,目前夏季旅游高峰所形成的生活污水不足以形成富营养化。南麂列岛已被列为全国科技兴海示范基地,正在积极申报全国生态渔业示范区建设项目,准备上马深水网箱养殖和扇贝育苗养成,由此引起的养殖自身污染有可能成为将来南麂海域富营养化的重要来源,值得密切关注。

3.2 森拉克台风是本次赤潮的重要诱因

本次赤潮形成于 2002 年 9 月 16 日,在森拉克台风经过该海域的一个星期之后。2002 年 16 号森拉克台风 9 月 7 日正面经过南麂海域,并在苍南县登陆,台风伴随地面大量降雨,温州沿岸径流增大,携带大量营养物质随江浙沿岸流影响该海域,而台湾暖流的影响相对减弱。夏季沿岸流的流速一般为 0.3~0.5 kn,南麂列岛距大陆直线距离 56 km,因此预计富营养的大陆径流约在台风过后 4~6 d 影响南麂海域,浮游植物在水温较高,其它水文条件合适的情形下大量繁殖,约过 3~5 d 后形成本次赤潮。因此造成该季节该海域相对贫营养的台湾暖流减弱和富营养

表 3 2002 年赤潮发生海域表层水体环境因子逐月比较

Tab.3 The monthly variation of environmental factor in HAB sea area in 2002

月份	年平均 水温(°C)	年平均 盐度	水温 (°C)	盐度	pH	溶解氧 (mg/L)	COD (mg/L)	磷酸盐 (mg/L)	亚硝酸盐 (mg/L)	硝酸盐 (mg/L)	氨氮 (mg/L)
1	11.1	29.6	13.4	28.9		10.253		0.0346	0.01		0.0127
2	9.8	30	11.8	29.2		9.111		0.0372	0.0095	0.187	0.0138
3	10.6	30	13.8	30.65		9.035	1.379	0.0327	0.0181	0.223	0.0153
4	13.5	29.4	17.4	30.1	7.74	8.41	0.414	0.0445	0.0354	0.546	0.0205
5	19.3	30	24	29.15	8.29	20.389	3.75	0.0239	0.0037	0.2026	0.0012
6	23.7	31	24.4	30.1	7.77	8.35	1.47	0.0445	0.0034	0.0457	0.0401
7	26.8	33.2	27.5	34.18	8.15	7.45	0.681	0.013	0.0024	0.0426	0.0259
8	27.6	32.9	27.88	33.58	8.1	6.67	0.761	0.0095	0.005	0.043	0.0214
9	26.5	30.2	27.4	26.64	7.9	6.85	1.115	0.0089	0.0122	0.137	0.0099
10	22.8	28.2	22.8	28.16	8.17	6.96	0.31	0.0144	0.0235	0.442	0.0464
11	19.1	28.6									
12	14.5	29.0									

注 5 月份调查时发生具齿原甲藻(*Proocentrum dentatum*)赤潮 9 月份调查时发生红色裸甲藻赤潮

的江浙沿岸流增强的森拉克台风是本次赤潮的重要诱因。

3.3 南麂海域的赤潮多发季节和赤潮多发区

南麂海域表层水温年平均为 18.7°C, 月平均水温 8 月份最高, 为 27.8°C, 2 月份最低, 为 9.6°C, 4~11 月份的水温条件都适宜浮游植物大量繁殖。由于 6~8 月份南麂海域主要受台湾暖流控制, 盐度高营养盐低, 正常情况下发生赤潮的可能性不大, 因此 4~5 月份和 9~11 月份在南麂海域发生赤潮的可能性较大, 近几年该海域的赤潮多发于 4~5 月份。

南麂海域流系复杂, 锋面发达。由于海区岛礁呈罗棋布, 受地形影响, 局部涡流亦十分发达, 水体交换良好。该岛存在几个小海湾如大沙岙、马祖岙和火焜岙等, 马祖岙的筏式养殖较多, 需合理安排养殖密度有效控制养殖污染。这些岙口又以火焜岙和大沙岙最狭长封闭, 水体交换相对较弱, 近几年的赤潮也多发于这两个岙内, 可视作南麂海域的赤潮多发区重点监视。2002 年 5 月份具齿原甲藻赤潮过后曾发现大沙岙核心区内的贝类成片死亡, 为了保护南麂列岛黑叶马尾藻和革氏威等珍贵贝藻资源, 需有效控制污染源, 减少赤潮发生。

4 结论

2002 年 9 月 16~19 日在南麂列岛海域发生赤潮的原因种是红色裸甲藻, 富营养化是本次赤潮形成的基础, 森拉克台风是本次赤潮的重要诱因; 南麂海域的赤潮多发季节为 4~5 月份, 9~11 月份发生赤潮的

可能性也较大, 大沙岙、马祖岙和火焜岙等水体交换相对较弱的岙口为赤潮多发区; 鉴于南麂列岛国家级海洋自然保护区在海洋生物特别是海洋贝藻类方面的生态经济价值和环境教育价值, 需协调好保护和开发之间日益尖锐的矛盾, 控制养殖业的发展规模和游客的数量。

参考文献:

- [1] 浙江省海洋管理局. 南麂列岛国家级海洋自然保护区论文选(一)[M]. 北京: 海洋出版社, 1992. 1-15.
- [2] GB17378-1998, 海洋监测规范[S].
- [3] Silva E S, Faust M A. Small cells in the life history of dinoflagellates (Dinophyceae): a review[J]. *Phycologia*, 1995, 34: 396-408.
- [4] Steidinger K A, Tangen K. Dinoflagellates. Identifying marine diatoms and dinoflagellates[M]. San Diego: Academic Press Inc, 1996, 387-584.
- [5] Lebour M V. The dinoflagellates of northern seas[J]. *Mar Biol Ass U K Plymouth*, 1925. 1-250.
- [6] 吴玉霖, 周成旭, 张永山. 烟台四十里湾海域红色裸甲藻赤潮发展过程及其成因[J]. *海洋与湖沼*, 1998, 32(2): 159-167.
- [7] 张志道, 陆斗定. 南麂列岛附近海域的浮游植物和赤潮生物[J]. *东海海洋*, 1996, 14(3): 13-20.
- [8] 陆斗定, 张志道. 南麂列岛附近海域的浮游植物与潮生物的初步研究[A]. 朱明远. 中国赤潮研究[C]. 青岛: 青岛出版社, 1996. 78-83.

The environmental factor and cause of *Gymnodinium sanguineum* HAB in Nanji Islands Preserved District

WANG Jin - hui¹ , QIN Yu - tao¹ , LI Zhi - en¹ , HUANG Xiu - qing¹ , CHEN Le² , LEI You - wan³ , XU Liang - guo² , YOU Sheng - pao³

(1. East China Sea Environmental Monitor Center , SOA , Shanghai 200137 , China ; 2. Wenzhou Marine Environmental Monitor Center , Wenzhou 325027 , China ; 3. Nanji Marine Monitor Station , SOA , Wenzhou 325408 , Chian)

Received: Jun., 24, 2003

Key words: Nanji Islands; *Gymnodinium sanguineum*; cause of HAB

Abstract: A red - brown harmful algal bloom was found in Nanji Islands preserved District during Sep 16 to Sep 19 2002. The HAB species was *Gymnodinium sanguineum* at high density (4.6×10^5 cell/L) with infected area of about 3 km². The bacteria multiplied fast in the HAB event. Nutriment brought by Zhejiang coastal current was the major reason of this event, and Typhoon Sinlaku was an important induce; In the study area, the HAB frequent season is April and May in the areas of Dasha Ao, Mazhu Ao and Huogen Ao where water exchange is weak. To protect marine resources in the area, as well as the tourism, overloading in aquaculture and sight - seeing must be coordinated and controlled.

(本文编辑: 张培新)