

# 烟台四十里湾海域红色裸甲藻赤潮 发展过程及其成因\*

吴玉霖 周成旭 张永山 蒲新明 李伟华<sup>†</sup>

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

(烟台市环境监测中心站 烟台 264000)

**提要** 对 1998 年 8 月中旬至 9 月中旬烟台四十里湾发生的大规模赤潮进行调查研究。结果表明,此次赤潮发生面积约为 100km<sup>2</sup>,其原因种为红色裸甲藻 *Gymnodinium sanguineum*, 密度高达 1560ind/ml,是我国首次记录的由该种生物引起的大规模赤潮。大量衰亡赤潮生物的分解消耗水体的溶解氧,引起下层水体严重缺氧,导致养殖的扇贝大批死亡。赤潮的成因主要是大量陆源有机物、营养盐类的排入和大规模贝类筏式养殖的自身污染,为赤潮生物的爆发性增殖提供丰富的物质基础;适宜的水文气象条件亦为赤潮的发生提供良好的物理环境。

**关键词** 烟台四十里湾,红色裸甲藻,赤潮成因

中图分类号 Q948

赤潮灾害在我国沿海发生的频率,规模和危害程度有愈演愈烈的发展趋势。据统计,我国 20 世纪 70 年代发生赤潮有 11 起,80 年代上升至 75 起,90 年代从 1990 年至 1998 年就发生了 234 起<sup>1)</sup>。1989 年 8—10 月,渤海湾和莱州湾发生大规模赤潮,造成经济损失 3 亿多元。1998 年 8—10 月渤海沿海爆发大规模赤潮,面积达 5000km<sup>2</sup>,直接经济损失高达 5.61 亿元<sup>2)</sup>。同年 3—4 月,珠江口海域的大规模赤潮造成网箱养殖鱼类大量死亡(黄长江等,2000a、b),经济损失达 3.5 亿元。1998 年我国沿海因赤潮造成的经济损失超过 10 亿元<sup>1)</sup>。从已发生的赤潮海域可以看出,海水养殖区的赤潮发生频率要比非养殖区高得多,表明养殖区的自身污染是促成赤潮发生的重要因素,成为亟待探明的重要课题。本文报道 1998 年 8—9 月发生在烟台四十里湾贝类养殖区赤潮的发展过程及其成因的调查研究结果。

## 1 四十里湾的自然环境及赤潮形成和发展过程概况

四十里湾位于烟台市莱山区北部海域,西北与芝罘湾相连,东邻养马岛,北面为湾口,毗邻北黄海,其间散布有崆峒岛群,水深多为 8—10m。夏季水温较高,达到 23.3—27.4℃,通常为 24—25℃,至 10 月上旬,平均水温在 20℃左右;冬季水温大致为 2.5—3.0℃。

\* 国家自然科学基金重大资助项目,39790110 号;国家“九五”科技攻关资助项目,96-922-02-04 号;国家重点基础研究规划项目资助,1999012012 号。吴玉霖,男,出生于 1939 年 9 月,研究员, E-mail: czhang@ms. qdio. ac. cn

1) 梁松,钱宏林,齐雨藻,1999. 中国赤潮的历史回顾

2) 国家海洋局北海分局,1999. 北海区赤潮的防治与管理

收稿日期:2000-04-07,收修改稿日期:2000-08-25

潮流为正规的半日潮流,平均潮差为 1.66m。沿岸入海河流有逛荡河、马家河、辛安河和小鱼鸟河,其中辛安河最长,达 48.5km,洪峰径流量可达  $1160\text{m}^3/\text{s}$ 。小鱼鸟河平时干涸,其下游几乎成为宁海镇的纳污河,污染严重。四十里湾海水养殖历史悠久,是我国北方最早开展浅海海产养殖的海域之一,早在 20 世纪 40 年代就开展海带和裙带菜的养殖实验。目前,养殖对象有贻贝 (*Mytilus edulis*)、栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*)、海湾扇贝 (*Argopecten irradians*) 和海带 (*Laminaria japonica*) 等,养殖方式主要为浮筏养殖。扇贝、贻贝和海带的养殖面积分别为  $800\text{hm}^2$ 、 $400\text{hm}^2$  和  $250\text{hm}^2$ ,是我国北方典型的海水养殖区之一。

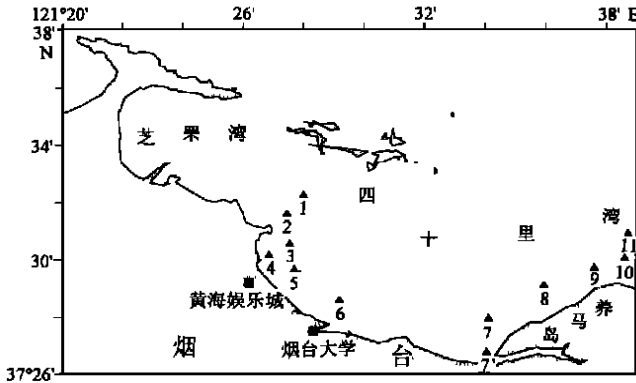


图 1 赤潮海域的地理位置及调查站位

Fig. 1 Red tide area and locations of sampling stations

本次四十里湾赤潮是 1998 年 8 月 15 日首先发现于烟台大学附近海域,其后逐渐往外蔓延拓展,赤潮区水色呈红褐色,至 8 月 31 日,赤潮面积约为  $20\text{km}^2$ ;至 9 月 5 日前后,赤潮达到盛期,面积扩展到约  $100\text{km}^2$ ,黄海娱乐城附近海域水色呈片状红褐色,而其它水域为条带状红褐色。对 1—4 号站的调查结果显示,赤潮生物密度最高达  $898\text{ind}/\text{ml}$  (图 1 和表 1)。9 月 10 日,作者又在四十里湾布设 7 个调查站位 (5—11 号站,图 1) 进行现场调查观测,发现四十里湾海域赤潮已退缩至养马岛附近海域,赤潮生物密度仍很高,其中 9 号站最高,数量达  $1560\text{ind}/\text{ml}$ ,赤潮生物占浮游植物总量的 93%。在湾的中西部海域,偶尔可见到水色呈浅红色,但海水中赤潮生物密度不高,均在发生赤潮的阈值以下(根据日本学者安达六郎 1973 年提出的形成赤潮密度标准,本赤潮种密度应为  $300\text{ind}/\text{ml}$  以上),而且自 8 号站向西,赤潮生物密度呈明显的递降趋势,至 5 号站每  $\text{ml}$  海水已平均不到 1 个赤潮藻,表明四十里湾大部水域已趋正常,本次赤潮进入消亡阶段。本次赤潮造成巨大的经济损失,仅扇贝就有  $170\text{hm}^2$  绝产,损失 3000 余万元<sup>1)</sup>。

## 2 赤潮原因种和赤潮海域主要环境因子的变化

### 2.1 赤潮原因种

经鉴定,本次四十里湾赤潮原因种为红色裸甲藻 (*Gymnodinium sanguineum*)。藻细胞外形略呈五角形,角圆,背腹扁平,横沟基本位于藻体中央,纵沟位于下锥部。藻细胞长  $54-60\mu\text{m}$ ,幅宽  $35-58\mu\text{m}$ 。色素体为茶褐色,呈纺锤状由细胞中央往周围放射状分布,所以赤潮水呈红褐色或茶褐色。未见到其能产生赤潮毒素的报道。对于该种赤潮生物的生理生态特征,国外学者已进行了若干研究,发现红色裸甲藻对铁的需求超过某些近岸性硅藻 1 至 2 个数量级,在缺铁的情况下,不同氮源 ( $\text{NO}_3-\text{N}$  和  $\text{NH}_4-\text{N}$ ) 对细胞中氮含量

1) 《中国海洋报》,1998 年 11 月 10 日

及游离氨基酸与蛋白质的比值有影响(Doucette *et al.*, 1990, 1991a, b)。红色裸甲藻属混合型营养的双鞭毛藻类,即除了通过光合作用自养外,还可以摄食其它微型生物,满足自身生理需求。Bockstahler 等(1993)在美国 Chesapeake 湾现场测定结果表明,红色裸甲藻能够大量摄食微型纤毛虫(nanociliate),每天可以消耗小于 20 $\mu$ m 纤毛虫生物量的 6%—67%。混合营养型生物相对于自养型或异养型生物在一定条件下具有竞争优势:当颗粒性食物短缺时,能够通过光合作用合成有机物维持生存;而在光限制条件下,如在真光层下方和晚上,又可以通过摄食食物获得生长所需的基本物质。混合型营养这一生活方式使生物具有潜在优势的生态学意义是在近年来才被考虑的(Sanders, 1991)。正因为红色裸甲藻具有这一竞争优势,才可以在短时间内大量增殖形成大规模赤潮。

红色裸甲藻在日本和韩国近海均为一种重要的赤潮生物(Fukayo *et al.*, 1990; Kim *et al.*, 1993)。由本种生物形成大面积赤潮在我国尚属首次记录。

除红色裸甲藻外,在海水浮游植物样品中还发现有另外 3 种较重要的赤潮生物,即尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)、柔弱菱形藻(*Nit. delicatissima*)和中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)。

8 月 31 日,烟台市莱山区海洋与水产局组织的调查结果为:甲藻类赤潮生物密度,高区(水深 14m)为 575ind/ml,中区(水深 10m)为 486ind/ml,低区(水深 6m)为 375ind/ml,赤潮面积约为 20km<sup>2</sup>。

9 月 5 日,在对四十里湾赤潮进行调查时,发现赤潮区已几乎扩展至整个四十里湾海域,面积约为 100km<sup>2</sup>,赤潮呈条带状,在 4 个采样站中,4 号站(黄海娱乐城附近海域)赤潮生物密度高达 898ind/ml;1 号站位于两条茶色条带之间,水色正常,赤潮生物密度较低,仅为 14ind/ml(表 1)。

表 1 1998 年 9 月 5 日四十里湾海域赤潮生物调查结果

Tab. 1 Results of the investigation on the red tide organisms on 5th Sep., 1998

站号	经度(E)	纬度(N)	叶绿素 <i>a</i> 含量 (mg/m <sup>3</sup> )	浮游植物总量 (ind/ml)	红色裸甲藻含量 (ind/ml)
1	121° 28. 180'	37° 31. 264'	0. 75	152	14
2	121° 27. 784'	37° 29. 986'	1. 74	156	52
3	121° 27. 716'	37° 29. 832'	2. 06	248	92
4	121° 27. 454'	37° 29. 548'	3. 82	1230	898

9 月 10 日,作者在四十里湾分设 7 个调查站位进行现场调查观测,调查结果列于表 2,站位见图 1。

本次调查结果表明,四十里湾海域的赤潮已东移至养马岛东北部邻近的局部水域,赤潮生物密度以 9 号站最高,达到 1560ind/ml,占该站浮游植物总量的 93%。养马岛以西水域,虽偶尔可见到呈浅红褐色的水团,但海水中赤潮生物的密度不高,而且自 8 号站向西赤潮生物的密度呈明显的递降趋势,表明四十里湾养马岛以西的广大水域已趋向正常。

表2 1998年9月10日四十里湾海域赤潮生物调查结果

Tab 2 Results of the investigation on the red tide organisms on 10th Sep., 1998

站号	经度(E)	纬度(N)	透明度(m)	叶绿素 <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	浮游植物总量 (ind/ml)	红色裸甲藻 (ind/ml)
5	121°27.714'	37°27.399'	2.4	1.45	283	0.4
6	121°28.775'	37°28.775'	1.5	4.04	158	3.8
7	121°34.585'	37°27.031'	2.3	3.33	122	39
8	121°36.921'	37°28.695'	1.8	5.14	94	73
9	121°37.579'	37°29.187'	0.8	12.5	1670	1560
10	121°38.587'	37°29.415'	1.5	8.70	553	546
11	121°39.217'	37°29.349'	1.2	10.98	539	525

## 2.2 主要环境因子的变化

赤潮海域水温比常年偏高,表层水温达到 25—26℃;而盐度较低,为 30.566—31.493,多数小于 31.0。溶解氧的时空变化十分明显。白天,包含有大量赤潮生物的浮游植物进行光合作用释放氧,导致表层海水中溶解氧含量很高。9月5日的调查中,4号站的溶解氧含量高达 14.42mg/L;9月8日在7号站更高达 18.80mg/L。几次调查的结果均显示,表层海水溶解氧含量同浮游植物数量呈密切的正相关关系,相关系数为 0.84。

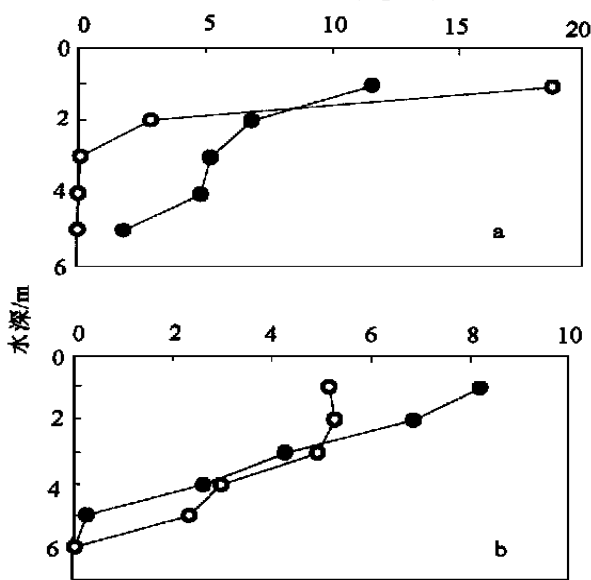
溶解氧含量/(mg·L<sup>-1</sup>)

图2 1998年9月8日(a)和10日(b)四十里湾溶解氧的垂直分布<sup>1)</sup>

Fig. 2 Vertical changes of DO on 8th Sep. (a) and 10th Sep. (b), 1998

a. ●7号站, ○9号站; b. ●6号站, ○7号站

溶解氧含量的垂直变化明显,特别是靠近湾的顶部,9月8日调查时,发现7号站表层溶解氧含量为 18.80mg/L,2m层急降为 6.92mg/L,而3m层更降至 0.10mg/L;7号站亦随水深呈明显递降趋势(图 2a)。9月10日在6号站和7号站调查时亦发现类似现象(图 2b)。红色裸甲藻本身不具赤潮毒素,但其过度增殖后,大量衰老死亡细胞下沉分解会消耗水中的溶解氧,造成下层水体呈缺氧状态,是导致下层笼养扇贝、营底栖生活的海参和鲍鱼大量死亡的重要原因。据养马岛渔民反映,该海域海参大量死亡并解体呈胶状,还发现有少数底层鱼类死亡。相对来说,海湾扇贝的死亡程度要轻于栉孔扇贝。

赤潮期间,水体中营养盐含量已降至较低水平,9月5日调查时,海水中无机氮含量为 0.036—0.090mg/L,平均为 0.064mg/L,与 1993年8月作者

1) 图中数据由烟台市海洋渔政监测大队王晓鹏分析和提供

在该海域的调查结果(平均为 0.112mg/L)相比,有明显的降低。在无机氮的形态结构上,以氨氮为主,其含量占无机氮的 85% 以上。在 9 月 10 日调查时,海水中营养盐进一步降低,除 8 号站底层水异常地高达 0.477mg/L 外,平均仅为 0.044mg/L。赤潮高峰刚过后的水域(5—8 号站),表层海水无机氮含量更低,8 号站稍高,也仅为 0.014mg/L。但底层水中含量相对略高些。水体中磷的含量也较低,平均仅为 0.0078mg/L。氮、磷的原子比为 5.64:1。总之,赤潮水域氮和磷含量已明显低于浮游植物最适生长的下限(0.080mgN/L, 0.018mgP/L)(Chu, 1949),表明本次赤潮难以继续发展。

表 3 1998 年 9 月 5 日赤潮区水质监测结果(mg/L)

Tab. 3 Water quality results(mg/L) of the investigation in the red tide area on 5th Sep., 1998

站位	SiO <sub>3</sub> Si	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> N	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> P	DO	COD
1	0.0359	0.0075	—	0.0284	0.0077	7.51	1.26
2	—	0.0127	0.0006	0.0563	0.0073	6.04	0.98
3	0.0094	0.0050	—	0.0499	0.0070	10.04	1.39
4	0.0217	0.0057	—	0.0842	0.0227	14.42	3.34

化学耗氧量(COD)的变化明显。根据 1997 年 8 月中国科学院海洋研究所在该海域调查的结果(赵卫红等, 2000), COD 值为 0.78—1.73mg/L; 而本次调查中, COD 升高至 1.36—5.92mg/L, 大多数在 3.0mg/L 以上。大量赤潮生物排出的代谢物及部分赤潮生物死亡分解是造成水域有机质含量升高的重要原因。

表 4 1998 年 9 月 10 日赤潮区水质监测结果

Tab. 4 Water quality in the red tide area on 10th Sep., 1998

站号	水层	水温(°C)	pH	盐度	无机氮 (mg/L)	溶氧 (mg/L)	无机磷 (mg/L)	COD <sub>Mn</sub> (mg/L)
5	表	25.2	8.04	31.417	未检出	5.96	未检出	1.36
	底	24.0	8.18	31.493	0.052	5.44	0.009	4.48
6	表	26.3	8.21	31.371	0.004	5.84	0.008	2.56
	底	25.6	7.80	31.173	0.054	0.98	0.019	2.72
7	表	25.8	7.90	30.868	0.010	4.96	0.006	3.04
	底	25.4	7.93	30.914	0.037	0.48	0.012	3.80
8	表	26.0	8.23	30.630	0.014	7.52	0.009	4.72
	底	25.8	8.23	30.703	0.477	8.88	0.011	3.84
9	表	26.0	8.53	30.566	0.054	14.2	0.005	3.96
	底	25.4	7.91	30.879	0.054	6.04	0.008	3.12
10	表	25.6	8.51	30.868	0.076	12.6	0.005	4.12
	底	25.7	8.40	30.594	0.064	11.6	0.006	5.92
11	表	25.0	8.54	30.825	0.074	11.6	0.007	4.76
	底	24.8	8.39	30.793	0.031	9.08	0.004	4.96

### 3 赤潮的成因分析

赤潮的发生受到各种环境条件的影响和制约,其中富营养化的物质基础和适宜的气象和海流条件起着至关重要的作用。

#### 3.1 该海域富营养化的物质基础

赤潮藻的生长和繁殖依赖于各种营养物质的供应。这些营养物质包括基本营养元素

氮、磷、硅等;微量元素铁、钴、锰等和有机促生长物质(维生素 B<sub>12</sub>、各种氨基酸等)。四十里湾海域营养物质的来源主要是陆源污染物的输入和海洋水产养殖自身污染。

**3.1.1 陆源污染物** 汇入四十里湾的陆源污染物主要包括工业废水、生活污水和耕地、森林等农业排水。其中工业废水主要是通过小鱼鸟河、辛安河、逛荡河、马家河和烟台大学入海口入海。生活污水主要是经小鱼鸟河和烟台大学入海口入海。四十里湾附近有耕地 7755hm<sup>2</sup>, 山地、森林 155hm<sup>2</sup>。三类污水年入海量中, 包含有 COD 为 5810t, 总氮为 1910t, 总磷为 150t(表 5)。

表 5 每年排入四十里湾的陆源污染物

Tab. 5 Amount of land-source pollution let in the Sishili Bay each year

项目	耕地和山地森林	生活污水	工业废水	合计
COD <sub>Cr</sub> (t/a)		3480	2330	5810
总氮(t/a)	868	849	195	1912
总磷(t/a)	11.3	137	2.08	150.38

**3.1.2 养殖自身污染** 人工养殖的滤食性贝类对海域造成的自身污染已开始受到重视。贝类养殖所排出的粪便和假粪的数量很大(表 6)。据 Kusuki(1977)报道, 在日本广岛湾筏式养殖的长牡蛎(*Gassostrea gigas*)一台筏(165m<sup>2</sup>)年总排粪量高达 19.3t(干重)。扇贝的排粪量要比牡蛎高些, 据李元山等(1996)报道, 栉孔扇贝(*Chalmyx farreri*)每个个体每天平均排粪量为 179mg(干重)。以通常每公顷养殖栉孔扇贝 1.5 × 10<sup>6</sup> 只计算, 则每公顷每年向水体排放 97.95t(干重)粪量。四十里湾计有扇贝养殖面积 800hm<sup>2</sup>, 依照以上计算, 年总排粪量高达 7.84 万 t(干重), 其中氮含量为 340t。此外, 扇贝还能以排尿形式向水体排入溶解态的氮(Yang *et al.*, 1998), 栉孔扇贝通过排尿形成以氨氮为主要形式的溶解态氮约占由排粪产生的颗粒氮的 18.2%<sup>1)</sup>, 由此计算得出每年四十里湾由养殖扇贝排尿产生的氮约为 62t。湾内还养殖有 400hm<sup>2</sup> 贻贝, 每公顷约有 2.4 × 10<sup>6</sup> 个, 若以每个每天排粪 135mg 计算, 则估计年总排粪量为 4.7 万 t。

表 6 几种滤食性贝类和附着生物的排粪量

Tab. 6 Feces excretion rate of main filtering shellfish and attached organisms

种类	排泄粪量	养殖海域
紫贻贝 <i>Mytilus edulis</i>	1870—3080mg(100g•d)	丹麦
加州贻贝 <i>M. californianus</i>	7.5—281mg(ind•d)	南加里福尼亚
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	38—220mg(ind•d)	日本广岛
栉孔扇贝 <i>Chalmyx farreri</i>	136—228mg(ind•d)	山东莱州湾
柄海鞘 <i>Styela plicata</i>	25—183mg(ind•d)	日本广岛
玻璃海鞘 <i>Ciona intestinalis</i>	13—31mg(ind•d)	日本广岛

由于筏式养殖架及扇贝笼等提供了附着基, 引来大量附着生物, 主要附着生物有柄海鞘(*Styela plicata*)、玻璃海鞘(*Ciona intestinalis*)、贻贝(*Mytilus edulis*)和牡蛎

1) 孙耀, 王俊, 张波等, 1999. 栉孔扇贝排泄对养殖环境压力及其与温度和体长的关系. 全国第六届海洋环境与水环境学术研讨会论文摘要集, 92

(*Crassostrea* sp.) 依据现场调查的附着生物及相关资料(土屋 诚, 1986), 估算四十里湾海域春季附着生物的排粪量为 1233.4t, 夏季为 14275.4t, 秋季为 8588.2t, 三个季度合计约为 2.41 万 t(冬季未调查, 未估计在内)。

另外, 海域周围还养殖有 970hm<sup>2</sup> 的对虾, 据烟台市环境监测站所提供的资料, 虾池每年向海湾排放大量的养殖废水, 其中包括 COD1450t, 氮 70t。

综上所述, 四十里湾由于海产养殖而排入水中的生物粪便量合计为 14.98 万 t(干重), 合计排入水域的氮总量为 776t。此外每年死亡的养殖生物所产生的有机质污染物亦不容忽视。近两年来四十里湾扇贝死亡率均在 50% 左右。海产养殖自身污染的一个重要特点是造成大量生物性沉积。大量排泄物和死亡个体堆积在海底, 不断分解, 在高温、大风等异常环境条件下, 加速矿化并进入水体, 造成海域的富营养化, 为赤潮生物的生长繁殖及赤潮发生提供丰厚的物质基础。而且, 大面积的人工水产养殖导致养殖水域食物链趋向简单化, 生物多样性降低, 生态系统进行自我调节和抵御外界扰动的能力减弱, 容易暴发赤潮。

历史上, 山东沿海很少发生赤潮, 但近 10 年来, 海产养殖区及邻近水域赤潮时有发生, 例如, 1989 年夏天, 莱州湾发生特大面积的赤潮, 损失超亿元, 莱州湾沿岸大规模的对虾养殖废水入海是促成该赤潮发生的重要原因之一。1995 年 10 月上旬, 龙口至莱州市金城镇近海扇贝养殖区发生绵延数十公里的大规模赤潮, 赤潮生物为叉状角藻 *Ceratium furca* 和夜光藻 *Noctiluca scintillans*。1999 年 4 月中旬, 蓬莱港东北方向与长岛之间水域发现面积约为 1100m × 20m 的桔红色赤潮带。山东沿海的赤潮有越演越烈的严重发展趋势。近年来四十里湾海域赤潮亦频频发生。这些现象说明, 海产养殖海域水环境的变化已经成为暴发赤潮的一个重要原因。

### 3.2 适宜的水文气象条件

赤潮藻的快速增殖不仅需要丰富的营养物质基础, 适宜的物理环境条件亦是不可或缺的。促成本次四十里湾海域赤潮的物理因素主要有以下几个方面。

(1) 8 月 8 日和 22 日全省有 2 次大的大风降雨过程, 引起了水体扰动、促进水体垂直混合, 使海底丰富的营养盐类进入水层, 可供赤潮藻快速增殖的需求。水体的扰动亦有利于埋藏在海底沉积物中的赤潮生物孢囊(赤潮种子)进入水层并萌发, 同水体中原有的该赤潮藻一道快速增殖, 成为形成赤潮的重要生物因素。

(2) 上述风雨过后, 天气连续晴朗、阳光充足、水体稳定性高, 水温较常年同期偏高, 夏季的表层水温在常年为 23.3—24.7℃, 而本次赤潮期间达到 25.0—26.5℃, 并有骤然升温现象。温度的升高亦加大了栉孔扇贝的排泄率(Yang *et al.*, 1998)。这些条件有利于赤潮生物的增殖和聚集。红色裸甲藻有较强的抗紫外辐射能力。Neale 等(1998)研究发现, 该种赤潮生物在高光照条件下比在低光照条件下, 其体内抗紫外辐射物质有机胺类 MAAs(Mycosporine-like amino acids)能增加 14 倍之多, 所以能比其它藻类更适应高光照的环境, 大量增殖形成赤潮。

(3) 四十里湾海域大量养殖扇贝的吊笼和吊养的贻贝明显阻碍了海流的正常流动, 现场调查结果表明, 扇贝养殖区内流速仅为 10cm/s 左右, 而养殖区间的航道上为 15—34cm/s(表 7)。山东沿岸潮流流速为 30—150cm/s, 一般为 50—90cm/s。此外, 养马岛东

西连堤的建造亦影响了同邻近水域的水交换。潮流不畅大大降低了海域的自净和自我调节能力,容易出现有机污染物在海底堆积和水体的富营养化。同时,水体的相对稳定有利于赤潮生物的聚集。可以说,因筏式养殖削弱海域潮流的畅通是造成养殖区赤潮频发的一个重要原因。

表 7 扇贝吊笼养殖对潮流流速的影响

Tab 7 Effects of caged scallops on tidal current velocity

海区位置	流速 (cm/s)	海区位置	流速 (cm/s)
金沟寨扇贝养殖区	11—18	崆峒岛东部扇贝养殖区	4—12
崆峒岛南部扇贝养殖区	5—11	扇贝养殖区之间航道	15—34

## 4 结语

4.1 本次烟台四十里湾赤潮的原因种为红色裸甲藻。由该赤潮生物引起的大规模赤潮在我国尚属首次记录。

4.2 因赤潮导致下层水体缺氧是造成养殖扇贝大量死亡的重要原因。

4.3 陆源污染物输入和养殖自身污染(大量排泄物和死亡个体分解等)为赤潮暴发提供丰富的营养物质基础。

4.4 大量的扇贝养殖吊笼阻碍海流正常流动,降低了海域的自净能力,并有利于赤潮生物在该海域的聚集。

## 参 考 文 献

- 李元山, 牟绍敦, 冯月琴等, 1996. 海珍品综合增养殖中的种间关系和生态容纳量的研究. 海洋湖沼通报, (1): 24—29
- 赵卫红, 焦念志, 赵增霞, 2000. 烟台四十里湾养殖水域氮的存在形态研究. 海洋与湖沼, 31(1): 53—59
- 黄长江, 董巧香, 2000a. 1998年春季珠江口海域大规模赤潮原因生物的形态分类和生物学特征 I. 海洋与湖沼, 31(2): 197—204
- 黄长江, 董巧香, 2000b. 1998年春季珠江口海域大规模赤潮原因生物的形态分类和生物学特征 II. 海洋与湖沼, 31(3): 233—238
- 土屋 诚, 1986. 海洋生态系の1次消费者物质回归の役割—底生動物における環境変革とこ次空間の構築. 海洋科学, 18(1): 11—17
- 安达六郎, 1973. 赤潮生物と赤潮富态. 水产土木, 9(1): 31—36
- Bockstahler K R, Coats D W, 1993. Grazing of the mixotrophic dinoflagellate *Gymnodinium sanguineum* on ciliate populations of Chesapeake Bay. Mar Biol, 116: 477—487
- Chu S P, 1949. Experimental studies on the environmental factors influencing the growth of phytoplankton. Cont Fish Res Inst Dept Fish Nat Univ Shangtung, 1: 37—52
- Doucette G J, Harrison P J, 1990. Some effects of iron and nitrogen stress on the red tide dinoflagellate *Gymnodinium sanguineum*. Mar Ecol Prog Ser, 62: 293—306
- Doucette G J, Harrison P J, 1991a. Aspects of iron and nitrogen nutrition in the red tide dinoflagellate *Gymnodinium sanguineum*. I. Effects of iron depletion and nitrogen source on biochemical composition. Mar Biol, 110: 165—173
- Doucette G J, Harrison P J, 1991b. Aspects of iron and nitrogen nutrition in the red tide dinoflagellate *Gymnodinium sanguineum*. II. Effects of iron depletion and nitrogen source on iron and nitrogen uptake. Mar Biol, 110: 175—182
- Fukuyo Y, Takano H, Chihara M *et al*, 1990. Red Tide Organisms in Japan—An Illustrated Taxonomic Guide. Vehida Rokakuho, 52—53
- Kim H G, Park J S, Lee S G *et al*, 1993. Illustration of planktons responsible for the blooms in Korean coastal water. Na-



tional Fisheries Research & Development Agency, Republic of Korean, 40

Kusuki Y, 1977. Fundamental studies in the deterioration of oyster growing grounds. I. Production of Fecal materials by the Japanese oyster. Bull Jpn Soc Sci Fish, 43(2): 163—166

Neale P J, Banaszak A T, Jarriel C R, 1998. Ultraviolet sunscreens in *Gymnodinium sanguineum* (Dinophyceae), Mycosporine-like Amino Acids protect against inhibition of photosynthesis. J Phycol, 34: 928—938

Sanders R W, 1991. Mixotrophic protists in marine and freshwater ecosystems. J Protozool, 38: 76—81

Yang H, Zhang T, Wang P *et al*, 1998. Effect of the temperature on oxygen consumption and ammonia N excretion of *Chlamys farreri*. Chin J Oceanol Limnol, 16(2): 167—172

## EVOLUTION AND CAUSES OF FORMATION OF *G Y M N O D I N I U M* *S A N G U I N E U M* BLOOM IN YANTAI SISHILI BAY

WU Y<sub>u</sub>-Lin, ZHOU Cheng-Xu, ZHANG Yong-Shan, PU Xin-Ming, LI Wei-Hua

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

(*The Central Environmental Monitoring Station of Yantai, Yantai, 264000*)

**Abstract** From mid-August to mid-September, a HAB event of *Gymnodinium sanguineum* bloom occurred in the aquaculture area of the Sishili Bay, Yantai. The area of the HAB is about 100km<sup>2</sup>, and the highest density of *Gymnodinium sanguineum* reached 1560 cells/ml. This bloom caused severe economic losses.

The origin of the bloom is attributed to eutrophication, which is caused mainly by land source pollution and shellfish cultivation. The faeces and the pseudofaeces excreted by scallop *Chlamys farreri* and attached organisms account to 149800 tons(dry weight) over the area, in which total N is 776 tons. The total N from terrigenous input is about 1910 tons and the total P is 150 tons. High temperature, low turbulence, and intense irradiation offered a suitable physical environment for the bloom.

**Key words** Yantai Sishili Bay, *Gymnodinium sanguineum*, Red tide causes