

1997年底中国东南沿海大规模赤潮原因 生物的形态分类与生态学特征*

黄长江 董巧香 郑磊

(暨南大学水生生物研究所 广州 510632)

摘要 1997年11月底和12月19—25日对同年11月中旬至12月底发生于广东饶平县柘林湾及南澳岛周围海域的大规模赤潮的生物学、生态学及其危害进行了调查。研究表明,此次赤潮的原因生物是棕囊藻 *Phaeocystis pouchetii*。这种赤潮生物在其生活史中有游泳单细胞和群体胶质囊2个生活阶段。游泳单细胞为球形或卵圆形,大小为6.0—7.2 μm ,有2根不等长的鞭毛和1根定鞭丝。群体胶质囊为球形或近球形,直径为110 μm —2.6cm。直径在150 μm 以下的小胶质囊呈略似实心的球体,细胞分布不均,大小只有3.1—5.2 μm ;当直径大于200 μm 后,胶质囊已呈中空状,细胞均匀地分布在胶质囊表面,细胞大小增至6.2—7.4 μm ,群体胶质囊细胞内的2个杯状叶绿体沿着细胞周壁相向嵌合。在赤潮高峰期,棕囊藻胶质囊遍布柘林湾,湾外的赤潮带达十数公里长,细胞密度最高为 $2.5 \times 10^8 \text{ cells / L}$,占浮游植物总细胞数的99.7%。此次赤潮的诱因主要是受1997—1998年度史上最强的厄尔尼诺现象的影响,导致我国东南沿海冬季气候反常,气温升高,东南风频吹。

关键词 棕囊藻 有害赤潮 中国东南沿海 生物学 生态学

学科分类号 Q949.26

1997年11月中旬至12月底在北起福建泉州湾南至广东汕尾的数千平方公里的近海与内湾水域发生了一起中国有史以来规模最大、持续时间最长、危害最严重的赤潮。作者于11月底和12月19—25日两次到赤潮重灾区广东饶平县柘林湾及南澳岛周围水域,就此次赤潮原因生物的形态分类及其生态学特征展开调查与研究。本文报告有关调查的结果,并就赤潮原因生物的一些生物学与生态学研究的最新进展进行深入的讨论。

1 材料与方法

1997年11月底到饶平县柘林湾调查网箱养殖业的受害情况和定性采样,以确认赤潮原因生物。12月19—25日到南澳岛对柘林湾和南澳岛东南水域(图1)进行赤潮的生态学定量调查,调查内容包括赤潮生物和浮游植物的构成与密度、水温、盐度、溶解氧含量(DO)、气象、海况等。调查站位共有8站,S1(水深4m)、S2(水深10m)、S3(水深2—3m)和S4(水深6—7m)从20—24日每隔2d采样1次,共采样3次;S5(水深8m)、S6(水深>10m)、S7(水深>12m)和S8(水深>18m)在调查期间只采样1次。

* 国家自然科学基金资助项目,39790110号。黄长江,男,出生于1957年11月,教授,博士生导师,E-mail:thcj@jnu.edu.cn

收稿日期:1998-08-08,收修改稿日期:1999-05-15

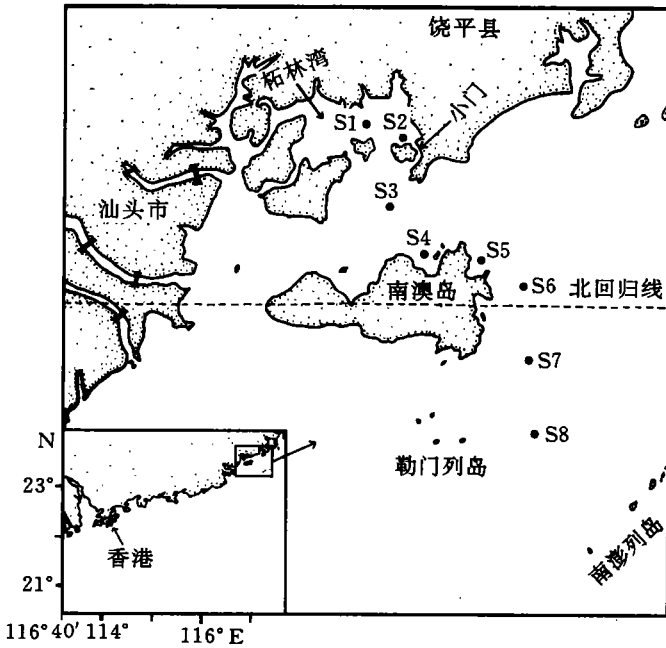


图1 广东饶平县柘林湾和南澳岛周围海域调查站位图

Fig.1 Sampling stations in the Zhelin Bay and around Nanao Island, Guangdong

此次赤潮原因生物系一种由单细胞构成的棕色群体胶质囊 (colony), 直径可达 2cm 以上。为了尽可能地使胶质囊保持完好, 以便精确测量其直径, 赤潮生物的定量采样用 2.5L 采水器。20 日和 22 日因表、底两层胶质囊的密度相差不大, 分别于表、底层各采水 2.5L 混合放入 5L 的塑料加仑桶, 作为水柱的平均生物量。24 日表、底层的胶质囊密度相差悬殊, 则于各站表、底层分别采水 5L。水样采集后, 用黑布包实放入密封船舱带回实验室, 立即在玻璃容器中按直径 > 15、10—15、5—10、2—5、< 2mm 5 个等级对肉眼可以分辨的胶质囊进行测量与计数。肉眼无法分辨的小胶质囊和其它浮游植物则用加入福尔马林溶液的 1L 定量水样, 在实验室经静置沉淀浓缩处理至 20ml 后在显微镜下进行细胞计数。单个胶质囊的细胞数按胶质囊单位面积的细胞个数乘以胶质囊的表面积计算而得 (Verity *et al.*, 1988a)。

其余各种理化因子的调查都按国家海洋局的海洋监测规范进行 (国家海洋局, 1991)。

2 结果与讨论

2.1 赤潮生物的形态特征与种类界定

1997 年 11—12 月发生于中国东南沿海水域的赤潮原因生物是一种具游泳单细胞和群体胶质囊两种生活形态的浮游藻类, 胶质囊直径最小的只有 110 μ m, 最大的可达 2.6cm, 由几千乃至数万个单细胞所构成 (图版 I、II)。胶质囊由小到大, 其外观颜色从浅绿色、深绿色、浅棕色直至咖啡色。当胶质囊上的细胞死亡或溢出后, 胶质囊变成白色, 直径也有所增大 (图版 II: c)。

直径小于 150 μ m 的小胶质囊的囊壁厚实, 似实心的球体 (图版 I: a), 单位囊壁的细胞密度较大 (2.5×10^4 cells / mm²), 往往几个一簇, 并相互重叠, 细胞大小为 3.1—5.2 μ m (图版 I: b)。从胶质囊的大小和细胞的大小与分布等来看, 此类小胶质囊的细胞似乎处于旺盛的生长与分裂期, 这也许与胶质囊从小到大的生长过程相符。

直径在 150—200 μ m 左右的胶质囊虽已呈中空囊状 (图版 I: c、d), 但囊壁仍然较厚, 细胞分布可深入囊内, 显微镜下仍呈不均匀分布, 细胞大小为 5.2—6.2 μ m。当直径继续增大

后(图版 I: f, g), 胶质囊即呈典型的中空囊状, 细胞相对均匀地分布在胶质囊的表面, 大小为 6.2—7.4 μm , 单位囊壁的细胞密度平均只有 $5.6 \times 10^3 \text{ cells / mm}^2$, (图版 I: e)。此后, 尽管胶质囊直径能继续增大至 2cm 以上, 但单位囊壁的细胞密度却保持相对稳定。直径大于 1mm 的大胶质囊的囊壁上常见到细胞溢出后留下的空隙(图版 I: h)。健康成熟的胶质囊上的细胞外观略呈棱角, 细胞内的 2 个杯状叶绿体沿着细胞周壁相向嵌合(图 I: e)。

除了胶质囊, 该赤潮藻还有游泳单细胞的生活形态(图版 I: h)。游泳单细胞为球形或卵圆形, 细胞大小为 6.0—7.2 μm , 与群体细胞大致相同。在细胞一端有 2 根鞭毛, 鞭毛长度可达细胞大小的 2 倍以上。在 2 根鞭毛之间可见到 1 根比鞭毛短的定鞭丝(haptonema)。可惜作者未能得到该定鞭丝的清晰照片, 一者可能现场所用显微镜不是相差显微镜(福代康夫等, 1990); 其次, 固定后的标本极易褪色和变形, 在显微镜下虽可辨认, 但难以得到清晰相片。

根据该赤潮藻在其生活史中有游泳单细胞和群体的胶质囊两种生活形态, 游泳单细胞有 2 根鞭毛和 1 根定鞭丝, 细胞大小在 6.0—7.2 μm 之间, 群体细胞有 2 个杯状色素体, 胶质囊可长至 2cm 等主要特征, 可以确认本次赤潮的原因生物在分类上属于定鞭金藻纲 Haptophyceae 的普策底棕囊藻 *Phaeocystis pouchetii* (Hariot) Lagerheim (Moestrup *et al*, 1995; Davidson *et al*, 1992; 福代康夫等, 1990; Verity *et al*, 1988b), 该属在海生种类只有 2 个基本的模式种, 1 种为 *P. scrobiculata* Moestrup, 只有游泳单细胞形态; 另 1 种就是本文所描述的 *P. pouchetii*。

P. pouchetii 最早是由 Hariot 在 Pouchet(1892, 引自 Davidson *et al*, 1992) 发现并定名为 *Tetraspora poucheti* sp. nov. 的。后来 Lagerheim(1893, 引自 Davidson *et al*, 1992) 建立了 *Phaeocystis* 属, 并把本种归入该属。但直至 1983 年, Voss(引自 Davidson *et al*, 1992) 才根据国际植物学命名法规, 将其正式命名为 *P. pouchetii* (Hariot) Lagerheim。棕囊藻是一种全球分布的有害赤潮藻, 其群体胶质囊形态和细胞的形态与排列方式存在着显著的地理差异, 历史上曾有学者从 *P. pouchetii* 中细分出 *P. globosa* Scherffel、*P. sphaeroides* Buttner、*P. amoeboidea* Buttner、*P. giraudyi* (Derb. *et Sol.*)、*P. antarctica* Karsten 和 *P. brucei* Mangin 6 个种(Davidson *et al*, 1992)。不过, 多数学者(Fryxell *et al*, 1988; Sournia, 1988; Davidson *et al*, 1992) 至今仍认为 *P. pouchetii* 的分类界限仍然不能确定, 还是按照 Parke 等(1971) 的意见将所有这些都归为 *P. pouchetii* “sensu lato”。Moestrup 等(1995) 在联合国教科文组织政府间海洋工作委员会(UNESCO / IOC) 的有害海洋微藻指南中, 根据 Medlin 等(1994) 的研究结果, 基于群体胶质囊的形态、地理分布、生长水温和 18S 小单位核糖体 RNA 的异同, 将 *P. pouchetii* 分为 *P. pouchetii*、*P. antarctic* 和 *P. globosa* 3 种。根据该文描述, *P. globosa* 的胶质囊成球形或近球形, 群体细胞均匀地散布在胶质囊的表面, 胶质囊能长至 8—9mm, 最佳生长水温为 16 $^{\circ}\text{C}$, 忍受水温范围在 -0.6—22 $^{\circ}\text{C}$, *P. pouchetii* 和 *P. antarctic* 的最佳生长水温和忍受水温范围则分别为 8 $^{\circ}\text{C}$ 、-2—14 $^{\circ}\text{C}$ 和 4.5 $^{\circ}\text{C}$ 、-2—14 $^{\circ}\text{C}$ 。此外, *P. pouchetii* 的胶质囊只能长到 2mm, 其小胶质囊为球形, 但当直径超过 0.3mm 时, 则成为分叶形, 群体细胞常 4 个一簇构成方形。

从此次赤潮发生时的水温在 17—20 $^{\circ}\text{C}$ 、胶质囊为球形、直径可达 2cm 以上、细胞相对

均匀地分布于胶质囊表面等特征来看,其赤潮生物属于 *P. globosa* 的可能性居大。但由于 *Phaeocystis* 的种间界定目前尚无定论,为了慎重起见,暂将其定为 *P. pouchetii* 较为妥切。Verity 等(1988a)报道,美国罗得岛(Rhode Island)的纳拉甘西特湾(Narragansett Bay)的 *P. pouchetii* 胶质囊能长至 2cm,常见胶质囊的细胞聚集在囊的一极,而相反一极则成空泡状,在本研究的样品中也见到这类胶质囊。

2.2 赤潮发生的过程、规模与危害

此次赤潮发生于 1997 年 11 月中旬,顶盛期为 11 月底至 12 月初,从 12 月中旬开始,随着气温的下降与东北风的增强而逐渐消失,整个过程历时近 2 个月。赤潮发生区域北起福建省泉州湾,南至广东省汕尾,波及面积达几千平方公里。在赤潮生物聚集形成的赤潮带,海水呈深咖啡色(图版 II: a),水中密密麻麻地布满了棕囊藻的胶质囊(图版 II: b、c、d),当地渔民将这种棕色的胶质囊形象地称为“赤丸”。棕囊藻的赤潮带可长达十几公里,水体手感粘稠,气味腥臭难闻,水面上可见许多白色的泡沫(图版 II: b),这与国外有关棕囊藻赤潮的报道一致(Davidson *et al*, 1992; Riegman *et al*, 1990; Eberlein *et al*, 1985)。

肉眼可见的棕囊藻胶质囊都是空心的,里面充满了液体,只能在水中随波逐流。1997 年 11—12 月,中国东南沿海地区气候反常,虽已是秋冬季节,气温仍高达 25℃ 以上,沿海一带在东北季风盛行的季节却东南风频吹,致使 *P. pouchetii* 大量发生,并在风海流的作用下,向位于西北侧的东南沿海内湾水域大量聚集,导致赤潮大规模暴发。在 11 月底的调查中,赤潮重灾区柘林湾的养殖户反映:在 *P. pouchetii* 胶质囊聚集带漂来数 10 分钟后,网箱养殖的鱼就开始死亡,翌日即全部死亡(图版 II: f)。据渔户反映,柘林湾近 3 000 网箱养殖户在这次赤潮灾害中遭灭顶之灾的约有 600 户,每户经济损失在 10—50 万元之间,平均为 30 万元左右,经济损失总计在 1 亿元以上(图版 II: g)。

棕囊藻赤潮是如何使鱼致死的,至今尚无定论(Davidson *et al*, 1992)。Tangen(引自 Moestrup *et al*, 1995)认为,1992 年 *P. pouchetii* 赤潮造成挪威养殖鲑鱼(Salmon)大量死亡的原因是直接毒杀,但人们至今尚未从棕囊藻中分离出有毒成分(Moestrup *et al*, 1995)。柘林湾养殖户认为网箱养殖鱼大量致死的原因可能是缺氧,因为鱼鳃上有明显的出血现象(图版 II: e)。棕囊藻赤潮的一个很重要的特征是其胶质囊能向外释放可溶性有机碳,并由此在水面形成泡沫(Eberlein *et al*, 1985; Lancelot *et al*, 1987),而 Armonies(1989)认为这种泡沫可使海洋生物窒息而死。

2.3 南澳岛周围海域棕囊藻赤潮的生态学特征

如材料与方法中所述,作者对直径在 1mm 以上的肉眼可以鉴别的大胶质囊进行现场活体的直径测量和计数;直径在 1mm 以下的小胶质囊和游泳单细胞因数量较少,需借助显微镜用固定的浓缩水样对其进行测量和计数。但棕囊藻胶质囊不易固定保存,回广州后大多胶质囊已经解体,无法进行精确的大小测量与计数。为此,本文只能提供直径在 1mm 以上的大胶质囊的现场实测数据。根据对个别保存较好的水样的分析结果,直径在 1mm 以下的小胶质囊的数目不会超过大胶质囊的。由于每个小胶质囊所含的细胞数比大胶质囊的少得多,因而对种群总细胞数的定量描述的影响不大。为了便于分析与叙述,以下将大胶质囊的细胞总数看成是此次赤潮原因生物棕囊藻的总细胞数。

1997 年 12 月 20 日,调查水域东南风为 3 级左右,表层水温为 17.0—17.6℃,盐度为

31.0—33.0, DO 为 7.9—9.0mg / L。棕囊藻胶质囊的数目以 S3 站的 (282colonies / L) 为最多, S4 站的 (25colonies / L) 为最少。但直径大于 0.5cm 的巨型胶质囊在柘林湾内较多, 尤其是小门附近水域 (S2 站) 为最多, 表面水体可见直径大于 1cm 的巨型胶质囊密密麻麻, 由湾内向外逐渐减少, 在不是主航道也非西北侧的内湾水域的 S4、S5 两站则看不到大型胶质囊 (表 1)。由此可见, 风海流和潮流对棕囊藻胶质囊的分布和聚集具有决定性的影响。棕囊藻总细胞数以柘林湾和 S3 站最大, 达到 10^7 cells / L 数量级, 比其余各站大约 1 个数量级。

22 日, 东北风为 6—7 级, 表层水温为 18.0—18.5℃。由于风浪太大, 无法测量盐度和溶解氧。柘林湾中央表层水体的巨型胶质囊明显减少, 而东南隅 S2 站的胶质囊反见增加, 0.5cm 的胶质囊数量从 20 日的 21colonies / L 增至 89colonies / L, 总细胞数达到 10^8 cells / L 数量级。S3 站的大型胶质囊也明显增加, 尤其是表面水体的大型胶质囊达到 18colonies / L, 与 20 日柘林湾内的 S2 站相差无几 (表 1)。这种大型胶质囊向东南方

表1 广东柘林湾和南澳岛东南水域 *Phaeocystis* 5种不同直径(mm)的胶质囊数目 (胶质囊/L)与总细胞数 (10^4 cell/L)

Tab.1 Population abundances and five scales of colonies of *Phaeocystis* in the Zhelin Bay and Southeast Waters of Nanao Island, Guangdong

日期 (月.日)	胶质囊直径	站 位						
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
12.20	>15	1	1	0.4	0	0	0	0
	>10—15	1	5	0.4	0	0	0	0
	>5—10	12	15	1.2	0	0	0.2	0.2
	>2—5	64	48	130	12	17	20	21
	≤2	80	40	150	13	21	22	29
总细胞数		37	46	38	3.7	4.5	5.3	5.8

日期 (月.日)	胶质囊直径	站 位					
		S1	S2	S3 ¹⁾	S3 ²⁾	S4	赤潮带
12.22	>15	0	4	0	0	0	25
	>10—15	0	5	0	0	0	29
	>5—10	12	80	18	5	5	20
	>2—5	40	130	48	74	14	30
	≤2	36	100	64	96	21	20
总细胞数		22	146	30	24	8.7	247

日期 (月.日)	胶质囊直径	站 位							
		S1 _s	S1 _b	S2 _s	S2 _b	S3 _s	S3 _b	S8 _s	S8 _b
12.24	>15	0	6	0.5	2	0	0	0	0
	>10—15	0	26	1	4.5	0	1	3	0
	>5—10	4	90	12	36	24	4	6	12
	>2—5	8	240	28	40	44	24	26	28
	≤2	8	220	20	40	60	52	40	32
总细胞数		5.9	252	24	69	35	14	21	19

1) s为表层, 离水面0.5m; 2) b为底层, 离海底1m

向的迁移显然是东北风作用的结果。当天中午在小门外侧测得的1条赤潮带,其直径大于1cm的巨型胶质囊竟达54colonies/L,总细胞数达到 2.5×10^8 cells/L,为赤潮细胞密度所能达到的最高量级(饭冢昭二,1985)。难怪各国学者将*P. pouchetii*赤潮称为baccy juice、weedy water和stinking water等(Davidson *et al*,1992)。

24日,上午东北风为4—5级,表层水温17.5—18.2℃,盐度为31.5—32.5,DO为8.5—8.9mg/L。赤潮开始消散,柘林湾内表层水体已很难见到巨型胶质囊,但底层无论是胶质囊的数目还是细胞密度都远远高过表层,其中S1站底层的胶质囊竟达到创纪录的582colonies/L,细胞密度也比22日小门外的赤潮带略高(表1)。由于胶质囊在风海流作用下不断向外海水域迁移,S3站表层水体的大型胶质囊比22日的又有所增加,最外的S8站的胶质囊数目和细胞密度都比20日S6和S7站的有显著增加,而且出现巨型胶质囊(表1)。

*P. poucheti*是一种全球广布的赤潮藻,以两极、寒带和温带为主要分布和赤潮发生水域(Davidson *et al*, 1992; Verity *et al*, 1988a)。不过,近年来随着全球气候异常和水域富营养化的加剧,其分布范围与赤潮发生记录不断向热带水域扩展(Al-Hassan *et al*, 1990; Hallegraeff, 1983; Atkinson *et al*, 1978; Margalef, 1978)。Al-Hassan等(1990)报道在科威特湾也发生过棕囊藻赤潮,并认为在夏季的内湾水域发生这种赤潮是源于工业排废和生活排污引起的富营养化。据当地渔民介绍,每年深秋11月以后,在南澎列岛周围都可见到棕囊藻的胶质囊,但数目一般不大,而且冬季盛行的东北季风也使胶质囊难以侵入到如柘林湾这样的内湾水域。1997年秋,由于历史上最强的厄尔尼诺现象引起的全球气候异常也影响到了中国的东南沿海,进入11、12月份后该地区气温异常偏高,在东北季风的季节里却东南风频吹,使得棕囊藻胶质囊在风海流作用下向内湾水域聚集,最终导致赤潮的大规模发生。渔民把这种反常气候称为“冬走春令”。据说1994年也有过这种反常气候造成“赤丸”进入柘林湾的事件,只是数目没有如此之多而已。

从12月20—24日各调查站位胶质囊,尤其是大胶质囊的数目变化来看,12月22日开始的东北风是这次棕囊藻赤潮终结的开始。调查结果表明,棕囊藻胶质囊在表面风海流的作用下,于22日开始由柘林湾中央水域经湾东南隅小门向外飘移。到了24日,柘林湾内表层水体已很难见到大型胶质囊了;湾中央底层胶质囊数量虽然大量增加,但破损的居多,分析其原因可能是:1)破损胶质囊的浮力可能降低,以致容易下沉;2)恶劣海况使水深较浅的内湾水变浊,胶质囊表面粘上大量泥沙而下沉;3)恶劣海况下的水中悬浮物体易向湾中央堆积。El-Sayed等(1983)报道在垂直海流的作用下*P. poucheti*胶质囊可从表层分布到150m深。

许多研究(Foster *et al*,1983; Lancelot *et al*,1987; Cadée,1991)表明,*P. poucheti*赤潮发生次数变频、规模扩大、持续时间延长是人类活动造成水域富营养化的产物。中国东南沿海地区近年经济持续高速增长,近海水域污染不断加剧,导致有害赤潮频繁发生(Huang *et al*,1997)。此次棕囊藻赤潮在中国东南的近岸水域大规模发生的根本原因无疑也是海洋富营养化带来的结果。棕囊藻赤潮的原发地被认为是外海水域(福代康夫等,1990; Davidson *et al*, 1992),但中国东南沿海的这次大规模赤潮清楚表明,在风海流的作用下,这种赤潮胶质囊能大量进入内湾水域,并对增殖殖渔业产生毁灭性的打击。同时,

只要其它理化条件适宜,内湾丰富的营养盐应能使 *P. pouchetii* 进一步增殖或构成赤潮长时间发生的物质基础(Riegman *et al*, 1990; Veldhuis *et al*, 1986a), 否则, 很难想像在寒温带水域其峰值一般只能持续数天的棕囊藻赤潮(Rogers *et al*, 1990), 在柘林湾竟能维持 40d 之久。但是, Weisse 等(1986)和 Veldhuis 等(1987)认为 *Phaeocystis* 胶质囊可以贮存 N 和 P, 使其在生长和维持存活的过程中能忍受低 N、P 条件, 因而, 内湾丰富的营养盐对此次棕囊藻赤潮长时间维持的贡献到底有多大? 也许是今后外海性赤潮研究面临的一个共同问题。

在此次调查中, *P. poucheti* 种群细胞数占浮游植物群落总数的 97.3%—99.7%, 是典型的单一原因种赤潮。Veldhuis 等(1986)报道 *Phaeocystis* 于寒、温带在其高峰期可占浮游植物总生物量的 90% 以上, Lutter 等(1989)认为甚至能达年初级生产量的 65%。*P. poucheti* 所具有的世界广布和数量绝对占优的生存竞争优势, 不仅使其在全球水域初级生产力和生态群落中占有极为重要的地位, 而且在全球环境剧变导致海洋生态群落结构衰退和生物多样性下降的今日, 极易演化成一种全球性的有害赤潮藻(Davidson *et al*, 1992; Lancelot *et al*, 1987)。

另外, 这种棕囊藻胶质囊含有大量类似粘多糖的有机物, 其衰败遗留下来的大量营养盐将改变原有生态系的能流与物流, 使赤潮发生水域的生物群落构造受到长时间的影响(Davidson *et al*, 1992)。国家海洋局南海分局在赤潮消亡过程中, 于柘林湾小门附近码头测得表层水体的化学耗氧量(COD), 从 1997 年 12 月 27 日的 0.66mg / L 上升到 30 日的 1.90mg / L, 再到 1 月 2—6 日的平均 2.90mg / L, 最大达到 3.18mg / L, 即使是内湾码头, 在冬季大于 3.0mg / L 的 COD 也是很高的。*P. pouchetii* 死亡后产生的大量二甲基硫化物(dimethylsulfide)是全球大气流通量的主要组成部分及酸雨的重要影响因素之一(Davidson *et al*, 1992)。

3 结论

因为现场条件设备所限和样品难以长时间固定保存, 此次未能观察到由 *Phaeocystis* 游泳单细胞向外射出的细系带和其中心的星形几何结构(福代康夫等, 1990; Davidson *et al*, 1992)和直径小于 100 μ m 的小胶质囊(福代康夫等, 1990; Verity *et al*, 1988b), 但从其具游泳单细胞和群体胶质囊两种生活形态、胶质囊和细胞的大小、形态、构造以及赤潮带的颜色、泡沫等来看, 可以确定发生于中国东南沿海的这次赤潮是 *P. pouchetii* 赤潮。它的大规模发生是海洋富营养化不断加剧和全球气候异常、厄尔尼诺猖獗的结果, 单此次赤潮就使我国广东和福建沿海的增殖渔业蒙受上亿元的经济损失。

P. pouchetii 是一种全球分布的有害赤潮藻, 但因其个体微小(游泳单细胞)、生活史复杂、地理差异显著、培养困难等诸多因素, 人们对它的种类界定、生活史、生理特征、生态功能、赤潮危害及与生物和非生物环境因素之间的关系的认识还非常贫乏, 对游泳单细胞演变成群体胶质囊的过程更是一无所知(Davidson *et al*, 1992; Verity *et al*, 1988b; Weisse *et al*, 1986)。同时, 随着海洋污染的加剧与全球气候的进一步恶化, 可以有充分的理由相信, 今后 *P. pouchetii* 赤潮对中国海洋环境与渔业的危害可能会愈演愈烈。

致谢 汕头大学南澳临海实验站的林伟雄高级工程师和蔡发盛副教授为本研究提供实

实验室和研究设备,并给予生活上的热情帮助;章群、王艳和张冬鹏等同志协助采样,谨志谢忱。

参 考 文 献

- 国家海洋局,1991. 海洋监测规范. 北京:海洋出版社,209—281
- 饭冢昭二,1985. The results of a survey of maximum densities in cell number of phytoplankton in coastal waters of Japan. 日本プランクトン学会报,32(1):67—72
- 福代康夫,高野秀昭,千原光雄等,1990. 日本の赤潮生物(写真と解説),1—407
- Al-Hasan R H, Ali A M, Radwan S S, 1990. Lipids, and their constituent fatty acids of *Phaeocystis* sp. from the Arabian Gulf. Mar Biol, 105:9—14
- Armonies W, 1989. Occurrence of meiofauna in *Phaeocystis* seafoam. Mar Ecol Prog Ser, 53:305—309
- Atkinson L P, Paffenhofer G A, Dunstan W M, 1978. The chemical and biological effect of a Gulf Stream intrusion off St. Augustine, Florida. Bull Mar Sci, 28:667—669
- Cadée G C, 1991. Long-term changes in phytoplankton in marine coastal waters. J Phycol, 27:12
- Davidson A T, Marchant H J, 1992. The biology and ecology of *Phaeocystis* (Prymnesiophyceae). Progr Phycol Res, 8:1—45
- Eberlein K, Leal M T, Hammer K D *et al*, 1985. Dissolved organic substances during a *Phaeocystis pouchetii* bloom in the German Bight (North Sea). Mar Biol, 89:311—316
- El-Sayed S Z, Biggs D C, Holm-Hansen O, 1983. Phytoplankton standing crop, primary productivity, and near surface nitrogenous nutrient fields in the Ross Sea, Antarctica. Deep-Sea Res, 30:871—886
- Foster P, Voltolina D, Spencer C P *et al*, 1983. A seasonal study of the distribution of surface state variables in Liverpool Bay. J Exp Mar Biol Ecol, 73:151—165
- Fryxell G A, Kendrick G A, 1988. Austral spring microalgae across the Weddell Sea ice edge: spatial relationships found along a northward transect during AMERIEZ 83. Deep-Sea Res, 35:1—20
- Hallegraeff G M, 1983. Scale-bearing and loricate nanoplankton from the East Australian current. Bot Mar, 26:493—515
- Huang C, Qi Y, 1997. The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. J Plankton Res, 19(3):303—318
- Lancelot C, Billen G, Sourmia A *et al*, 1987. *Phaeocystis* blooms and nutrient enrichment in the continental coastal zones of the North Sea. Ambio, 16:38—46
- Lutter S, Taasen J P, Hopkins C C E *et al*, 1989. Phytoplankton dynamics and sedimentation processes during spring and summer in Balsfjord, Northern Norway. Polar Biol, 10:113—124
- Margalef R, 1978. The phytoplankton communities in upwelling areas. The example of NW Africa. Oecologia Aquatica, 3:97—132
- Medlin L K, Lange M, Baumann M E M, 1994. Genetic differentiation among three colonyforming species of *Phaeocystis*: further evidence for the phylogeny of the Prymnesiophyta. Phycologia, 33(3):199—212
- Moestrup Q, Thomsen H, 1995. Taxonomy of toxic Haptophytes (Prymnesiophytes). In: Manual on Harmful Marine Microalgae ed. Hallegraeff G. M. *et al*. UNESCO, France, 319—338
- Parke M, Green J C, Manton I, 1971. Observations on the fine structure of the zooids of the genus *Phaeocystis* (Haptophyceae). J Mar Biol Ass U K, 51:927—941
- Riegman R, Colijn F, Malschaert J F P *et al*, 1990. Assessment of growth rate limiting nutrients in the North Sea by the use of nutrient-uptake kinetics. Neth J Sea Res, 26:52—60
- Rogers S I, Lockwood S J, 1990. Observations on coastal fish fauna during a spring bloom of *Phaeocystis pouchetii* in the eastern Irish Sea. J Mar Biol Ass U K, 70:249—253
- Sourmia A, 1988. *Phaeocystis* (Prymnesiophyceae): How many species? Nova Hedwigia, 47:211—217

- Veldhuis M J W, Admiraal W, Colijn F, 1986a. Chemical and physiological changes of the phytoplankton during the spring bloom, dominated by *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae): Observation in Dutch coastal waters of the North Sea. *Neth J Sea Res*, 20:49—60
- Veldhuis M J W, Colijn F, Venekamp L A H, 1986b. The spring bloom of *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae) in Dutch coastal waters. *Neth J Sea Res*, 20:37—48
- Veldhuis M J W, Venekamp L A H, Ietswaart T, 1987. Availability of phosphorus sources for blooms of *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae) in the North Sea: impact of the River Rhine. *Neth J Sea Res*, 21:219—229
- Verity P G, Villareal T A, Smayda T J, 1988a. Ecological investigations of blooms of colonial *phaeocystis pouchetii*. I. Abundance, biochemical composition, and metabolic rates. *J Plankton Res*, 10:219—248
- Verity P G, Villareal T A, Smayda T J, 1988b. Ecological investigations of blooms of colonial *Phaeocystis pouchetii*. II. The role of life-cycle phenomena in bloom termination. *J Plankton Res*, 10:749—766
- Weisse T, Grimm N, Hickel W *et al*, 1986. Dynamics of *Phaeocystis pouchetii* blooms in the Wadden Sea of Sylt (German Bight, North Sea). *Estuar Cstl Shelf Sci*, 23:171—182

TAXONOMIC AND ECOLOGICAL STUDIES ON A LARGE SCALE *PHAEOCYSTIS POUCHETII* BLOOM IN THE SOUTHEAST COAST OF CHINA DURING LATE 1997

HUANG Chang-jiang, DONG Qiao-xiang, ZHENG Lei

(*Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou, 510632*)

Abstract A large scale harmful marine microalgal bloom occurred in the Southeast Waters of China from the middle of November to the end of December, 1997. In order to study the biology, ecology and damage of the bloom, we carried out an investigation to fish culturers at the end of November and a sampling investigation on 20—24th December, 1997, in the most hit area of the bloom—Zhelin Bay and its neighbouring open sea, Guangdong. The causative organism of the bloom was identified to be *Phaeocystis pouchetii* (Hariot) Lagerheim. It had two different stages in the life cycle, a colony and a unicellular stage. The colony was spherical in shape, and ranged from 110 μ m up to 2.6 cm in diameter. The small colony under 150 μ m looked like a solid ball. The cell distributed in the colony was not uniform, and a part of cells was deeply embedded within the gelatinous. When the colony increased to > 200 μ m, it became hollow, and the cells were distributed uniformly around the periphery of the colony. The cells of the small colony were smaller with a size of 3.1—5.2 μ m and a density of ca. 2.5×10^4 cells / mm², while the large colony increased their cell size up to 6.2—7.4 μ m with a mean density of 5.6×10^3 cells / mm². The cells of a healthy, ripe colony looked angular slightly, with two parietally located chloroplasts, but without flagella and haptonema. The unicellular stage was biflagellate, spherical or ovoidal with a size of 6.0—7.2 μ m, possessing two flagella and a haptonema. The flagellate could be up to more than twice the cell size. Haptonema was short and not clear under usual light microscope. The *P. pouchetii* bloom covered an area of more than 1 000km² from the Quanzhou Bay of Fujian in the north to

Shanwei Coast of Guangdong in the south. The bloom reached a peak from the end of November to the beginning of December, and collapsed from 22nd of December. In the present investigation, the *P. pouchetii* abundance in a convergent bloom band reached to 2.5×10^8 cells / L. The bloom was so dense that the seawater was turned oily, brown and fishy smelling, and the masses of foam appeared in the surface. That caused extensive killing of the cultured fish in the Zhelin Bay of Guangdong only. The results showed that the colonies of *P. pouchetii* could only move totally depending on the wind, and its bloom occurrence was initiated by the abnormal climate in the Southeast Coast of China this year. Owing to the globally abnormal climate and the strongest El Niño Event of all time, the temperature in the Southeast Coast has been often as high as 25°C since the beginning of late fall of 1997, and a southeast wind occurred in the season when northwest seasonal wind should be. The *P. pouchetii* colony originated in the open sea was driven into the coastal waters. Finally, a great scale of harmful bloom occurred in the bays such as the Zhelin Bay. According to the fishermen, *P. pouchetii* colony occurs around the Nanpeng Islands in the late autumn every year, but the colonies are not so numerous as one in 1997 and usually cannot enter the Zhelin Bay due to the resistance of northwest monsoon. Three years ago, the colony also entered the Zhelin Bay driven by southeast winds, but it did not make a harmful bloom because the colony was not so numerous.

Key words *Phaeocystis pouchetii* Harmful bloom The Southeast Coast of China

Biology Ecology

Subject classification number Q949.26