

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 III *

黄长江 董巧香

(汕头大学科技中心海洋生物室 汕头 515063)

摘要 对 1998 年 4 月 22—24 日采集于广东珠江口大规模赤潮海域之一的深圳湾的活体水样和福尔马林固定水样进行赤潮原因生物的形态分类和群落构成研究。结果发现,深圳湾赤潮水样里仍以甲藻为主,但硅藻也具相当的数量。其中,最占优种为无纹螺沟藻(*Gyrodinium instriatum*),其最高密度为 3.6×10^7 cells/L;其次是中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)的 1.6×10^7 cells/L、原甲藻(*Prorocentrum*)的 6.1×10^6 cells/L。另外,三宅裸甲藻(*Gymnodinium mikimotoi*)、叉角藻(*Ceratium furca*)和红色裸甲藻(*Gym. sanguineum*)也占有一定的数量。其中,无纹螺沟藻、哈曼褐色多沟藻(*Pheopolykrikos hartmannii*)和链状裸甲藻(*Gym. catenatum*)为我国首次记录。赤潮样品中浮游植物总数量与甲藻所占百分比成正比,而与硅藻所占比例成反比。这说明深圳湾赤潮仍属于 1998 年春珠江口大规模裸甲藻赤潮的一部分,同时标志着此次珠江口大规模赤潮已开始走向消亡,其特征就是裸甲藻占绝对优势的赤潮群落开始被硅藻和其它甲藻所取代。

关键词 甲藻,裸甲藻,赤潮,分类,珠江口

中图分类号 P949.24

黄长江等(2000a&b)的调查发现,桂山岛赤潮的原因生物共有 7 种,都属于裸甲藻类,其中最优势种为三宅裸甲藻(*Gymnodinium mikimotoi*)。深圳湾赤潮则为甲藻与硅藻的混合型赤潮,最占优种类为裸甲藻类的无纹螺沟藻(*Gyrodinium instriatum*),其次是硅藻的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)。本文将对我国首次记录的裸甲藻类无纹螺沟藻、链状裸甲藻(*Gym. catenatum*)和哈曼褐色多沟藻(*Pheopolykrikos hartmannii*)的形态分类特征进行描述。然后,对此次深圳湾赤潮生物群落构成的一些特点进行讨论。

1 材料与方 法

4 月 22—24 日在珠江口深圳湾进行赤潮生物的定量和活体采样(图略,见黄长江等,2000a&b)。活体采样用 5L 采水器采集适量表层水样,装入 25L 的塑料加仑桶后立即带回广州进行分离培养和分类研究。定量样品用 5L 采水器采集表层水 1L,加入福尔马林溶液,使福尔马林最终浓度为 4%,其后在实验室经静置沉淀,并根据样品的生物浓度浓缩处理至 50 或 100ml 后在光学显微镜下进行细胞计数和形态分类研究。

* 国家自然科学基金“九五”重大资助项目,39790110 号。黄长江,男,出生于 1957 年 11 月,博士,教授,博士生导师,E-mail:cjhuang@stu. .edu. cn

收稿日期:1999-10-12,收修改稿日期:1999-12-18

2 结果与讨论

2.1 赤潮原因生物的形态分类

2.1.1 无纹螺沟藻(*Gyrodinium instriatum* Freudenthal *et al*, 1963)(图版 I : a—h)

藻体为单细胞,游泳生活。细胞外形和个体大小变化较大,有的似顶底两端平坦的梭形,有的似顶端纯圆的五角形,更多的是呈上小下大的倒卵形。细胞长 21—50 μm ,宽 15—36 μm ($n=50$),长宽比例为 1.1—1.7,平均为 1.3。个体较小的细胞顶端平坦,上锥侧面向内略为凹陷,整个上锥部似一座顶部平坦的山峰。细胞背腹略为偏平,由于横沟沟缘向外隆起,使横沟以下部分的腹面观呈内凹状,特别是上锥部似平顶山峰的细胞更为明显。横沟窄而深,始于细胞中央略上方,左旋一周至细胞右侧向下急弯并延伸至横沟始端的左侧,使得纵沟在下锥的部分弯曲如 S 形。横沟始末位移约为细胞长度的 1/3—1/2。纵沟比横沟宽,明显侵入上锥部,向下弯曲直达细胞底部。细胞底端因纵沟影响,呈左右对称的 V 形,但部分个体较大的细胞此特征并不明显。横鞭毛起于横沟与纵沟的会合处,绕细胞一周。纵鞭毛起于横鞭毛下方,向细胞后方伸出,其伸出细胞的部分等于或略长于细胞长度。核大,卵圆形,位于上锥部。色素体黄褐色,小而多,遍布细胞四周。

本种因形状和色素体颜色的原故,在光学显微镜下游动时就像一颗比较短圆的黄铜色的子弹向前旋转推进,但顶底两端色泽较为灰暗。在光学显微镜下,本种死后立即溶化成荷包蛋状,一个近白色的大核极为清晰,黄褐色的色素体散布于核的四周。用福尔马林固定后,细胞形似大饼,卵圆形的核清晰可辨,个别细胞的横沟和纵沟仍可辨认。

本种最先为 Freudenthal 等(1963)在纽约长岛水域分离和命名。由于其细胞不具条纹和鞘脊而被认为有别于 *Gyr. fissum*,但这两种在外形上仍很相似(福代康夫等,1990)。其次,本种在外形上与 Kimball 等(1965)培养的 *Gym. mirabile* 也有相似之处,但两种细胞的大小和横沟始末位移仍有比较明显的差别。从细胞、横沟、纵沟、核和色素体的形态特征及大小来看,本种与 Freudenthal 等(1963)和福代康夫等(1990)所描述的 *Gyr. instriatum* 极为相似,但福代康夫等(1990)所描述的 *Gyr. instriatum* (细胞长 40—65 μm ,宽 20—33 μm)比本种略为瘦长,而 Freudenthal 等(1963)所描述的 *Gyr. instriatum* (细胞长 28.6—65.6 μm ,宽 22.9—45.7 μm)的细胞长宽比例与本种十分接近,只是本种个体略小。

在深圳湾赤潮生物样品中,没有发现本种的孢囊。据福代康夫等(1990),本种的孢囊呈椭圆或卵圆形,长 29—50 μm ,宽 20—27 μm ,四周常有胶着物,发芽孔为穴状,位于孢囊一极。

本种在美国、欧洲、日本等都有分布,常见于温带和热带河口、浅海水域(Steidinger *et al*, 1996),是日本沿岸水域的重要赤潮原因生物(福代康夫等,1990),在中国为新记录。在此次深圳湾赤潮生物群落里,本种为最优势种,最高密度达到 3.6×10^7 cells/L。

目前尚无关于本种毒素的报道,但从赤潮发生水域有贝类大量死亡的现象来看,本种产毒的可能性较大。

2.1.2 哈曼褐色多沟藻(*Pheopolykrikos hartmannii* Zimmermann, 1930)(图版 I : i—k)

藻体通常是 2 个细胞构成的群体。群体顶端较为平坦,底端则为纯圆锥状,近中央接合部为最宽处。群体两细胞的大小相等,接合部可见浅沟。细胞的横沟始于中央或略前

处,左旋终止于细胞中央处。横沟始末位移为横沟宽的2倍以上,末端止于始端的左侧。纵沟始于近前端,细直向下,到群体近后端处慢慢变宽。群体长约 $60\mu\text{m}$,宽约 $40\mu\text{m}$,横切面为圆形。随着群体的生长,小细胞分离成2个游泳单细胞,单细胞经过生长又分裂成2细胞的群体。群体的细胞数只有2个,未见4细胞或8细胞的群体。细胞有多个黄褐色的色素体,2个核分别位于各自细胞的中央。

本种孢囊为茶褐色、直径约 $40\mu\text{m}$ 的球体,球体表面密生着刺状突起。胞内有色素体、核和1—2个的赤色粒。发芽孔为直线形的开口,约占壳面的 $1/3$ 周。

从群体的形状、颜色和小细胞数,本种与斯氏多沟藻 *Polykrikos schwartzii* (黄长江等,2000)和 *Pol. kofoidii* 容易区分,但和 *Phe. barnegatensis* (Martin,1929)可能是同物异名(Steidinger *et al.*,1996)。

本种在美洲、欧洲和亚洲都有分布,为温带和热带水域的常见种。在日本西南沿海为常见种,但数量并不占优。在我国,本种的营养细胞为首次记录,而孢囊则常见于广东沿海及内湾的海底表层堆积物中(齐雨藻等,1996)。在此次深圳湾赤潮样品中该种的营养细胞和孢囊同时存在,但种群密度很低。

目前尚无任何关于本种毒素的研究报道。

2.1.3 链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum* Graham,1943)(图版 I :1)

藻体为游泳单细胞和链状群体两种。此次赤潮样品中未见游泳单细胞。据福代康夫等(1990)的描述,游泳单细胞为长卵圆形,长 $48—65\mu\text{m}$,宽 $30—43\mu\text{m}$ 。上锥呈顶端略平的圆锥形,明显比下锥小。侧面观顶端略为倾斜,背部向外凸出。下锥底部因纵沟而略为凹陷。横沟深,始末位移为横沟宽的2—3倍。纵沟始于细胞近顶端处,向下直达底端,在横沟始末两端处略呈S形走向。上锥沟始于纵沟前端,绕顶端一周后消失于始端近处。细胞表面有小的起伏和纵向条线。椭圆形的核位于细胞中央。色素体小,呈黄褐色密布于细胞内。常见脂肪粒和淀粉粒等同化产物。

链状群体的细胞数一般在16个以下,最长可达64个。细胞的下锥显著内凹,与下面细胞的上锥嵌合而成链状。各细胞的长度随群体细胞数的增加而相应缩短。长链细胞的横沟始末位移也相对较窄。链状群体的第一细胞的上锥部和最后一个细胞的下锥部的形态与福代康夫等(1990)所描述的游泳单细胞的相应部位并无多大差别。裸甲藻属形成链状群体的种类极少,除本种以外,已知的还有 *Gym. uberriumum*,但后者是淡水种。

本种孢囊的形态比较特别,为直径 $35—55\mu\text{m}$ 的球形。其表面可见微小的网纹,以及与游泳细胞的横沟、纵沟、上锥沟和鞭毛孔相对应的结构痕迹。

本种主要分布于北美、欧洲、澳大利亚和日本,是发生麻痹性贝毒的原因生物之一(福代康夫等,1990)。齐雨藻等(1996)报道,在与深圳湾邻近的大鹏湾和大亚湾发现本种的孢囊,但未发现其营养细胞。1986年12月福建东山发生过裸甲藻赤潮,造成136人中毒,1人死亡的重大事件,其元凶被疑为本种(齐雨藻等,1989)。可见,本种是珠江口海域和我国东南沿海的潜在有毒赤潮原因种。

2.2 赤潮生物群落

深圳湾赤潮明显为多原因种赤潮,这是此次珠江口大规模赤潮的特点之一(黄长江等,2000a&b)。在一生物密度最大(5.5×10^7 cells/L)的赤潮带表层水样中,最占优种无纹

螺沟藻的密度占总细胞数的 64% (3.6×10^7 cells/L); 其次是中肋骨条藻的 27.8% (1.6×10^7 cells/L)、原甲藻(海洋原甲藻 *P. micans* 和三角棘原甲藻 *P. triestinum*) 的 6.1% (3.4×10^6 cells/L) 和叉角藻的 1.9% (1.0×10^6 cells/L); 另外, 还有红色裸甲藻、链状裸甲藻和哈曼褐色多沟藻; 种类数为 8 种。其中甲藻 7 种, 硅藻 1 种。在赤潮发生区(赤潮带以外) 采集的其它样品中, 还出现桂山岛赤潮的原因生物三宅裸甲藻、斯氏多沟藻 (*Polykrikos schwartzii*)、灰白下沟藻 (*Katodinium glaucum*) 和螺沟藻 98 型 (*Gyrodinium* sp. type-98) 等。其中, 三宅裸甲藻的最高密度达到了 1.1×10^6 cells/L, 虽少于桂山岛赤潮的 7.6×10^6 cells/L (黄长江等, 2000a), 但也具相当数量。

在深圳湾赤潮水样中找到了几乎所有桂山岛赤潮的主要优势种, 尤其是最优势种三宅裸甲藻在个别样品中的密度仍高达 10^6 cells/L 数量级。同样, 三宅裸甲藻和红色裸甲藻等也出现在 3 月底至 4 月初的香港赤潮生物样品中 (Anderson, 1998)。深圳湾赤潮、桂山岛赤潮及香港赤潮, 无论是赤潮生物的组成, 还是爆发的地点 (图略, 见黄长江等 2000a&b) 与背景 (Anderson, 1998; Dong *et al.*, in press¹⁾) 等都极为相似, 只是爆发时间存在着先后而已。因此不能简单地因时间上存在的先后次序 (香港赤潮为 3 月底到 4 月初, 桂山岛为 4 月中旬, 深圳湾为 4 月下旬) 而将其分割开来, 更不能由此而断定桂山岛赤潮是香港赤潮影响所致, 或深圳湾赤潮就是桂山岛赤潮影响所致。事实上, 香港、桂山岛和深圳湾赤潮及几乎同时发生的大鹏湾与阳江赤潮等一系列赤潮共同构成了 1998 年春季珠江口大规模裸甲藻赤潮, 其成因与 3 个月前在我国东南沿海爆发的大规模棕囊藻赤潮是一样的 (黄长江等, 1999), 即与 1997—1998 年历史上最强的厄尔尼诺现象影响所致¹⁾。

至于珠江口大规模赤潮中不同海域的赤潮高峰在时间上的先后顺序, 可能与海流导致赤潮扩散有关, 也可能与裸甲藻种间存在的最适生长条件的微小差异有关, 否则又如何解释香港、桂山岛、深圳湾三地赤潮的生物群落组成虽然大同小异, 但最优势原因种都不一样这个事实呢?

硅藻类中肋骨条藻在深圳湾赤潮水样中的大量出现, 说明深圳湾赤潮已表现出此次珠江口大规模裸甲藻赤潮即将终结的特征。从图 1 可以看出, 深圳湾赤潮生物样品中浮游植物总密度与甲藻所占比例成正比, 而与硅藻所占比例则成反比。这一方面印证了此次珠江口大规模赤潮属于甲藻赤潮; 另一方面则体现了在赤潮消亡过程中, 由正常硅藻群落取代甲藻赤潮群落的现象。在正

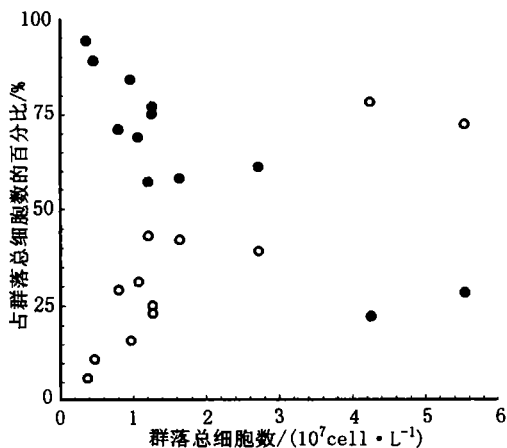


图 1 深圳湾赤潮样品中甲藻(○)与硅藻(●)在浮游植物总细胞数中所占百分比

Fig. 1 Percentages of dinoflagellate (○) and diatom (●) in the total phytoplankton densities of the red tide samples from Shenzhen Bay

1) Dong Q X, Huang C. Relationship between meteorological factors and two large-scale blooms occurred in Southeast Coast of China. J Plankton Res, in press

常情况下,华南沿海水域的浮游植物春季高峰应以硅藻为主,而甲藻的高峰一般是在硅藻高峰期后的初夏(5—6月)。所以,在春季当甲藻尤其是异养种类占多数的裸甲藻时,在群落中的数量比例占居主导地位时,应被视为是因某些环境因子异常导致浮游植物群落的时间演替出现反常,如果这种反常没有得到及时的修正,其继续发展的结果必然是赤潮的发生。因为只有通过赤潮的爆发,才能使海域所积累的能量(如富营养化)得到释放,并获得修正。

Dong 等的研究发现¹⁾,1998年3—4月间珠江口流域的气温比往年高出3—5摄氏度,天气闷热,日照较强,吹南风的天数明显增多,相当于往年珠江口流域的初夏天气。因而,使本应在初夏季节出现的甲藻数量高峰提前到来,那时因海区中的营养盐尚未被硅藻消耗掉,而且硅藻高峰尚未形成,来自于硅藻的营养竞争明显较弱,从而为赤潮生物的高密度繁殖提供了物质上的基础。同时,初春季节作为赤潮生物摄食者的浮游动物数量较少,这可能也是造成该次赤潮规模如此之大,周期如此之长的原因这一。

3 结论

1998年春季发生于我国南海珠江口海域的大规模赤潮发生于3月中旬,终结于4月底。这次大规模赤潮覆盖了珠江口及其两侧的广阔水域,但整个水域的不同区域的赤潮高峰期在时间顺序上有所差异,而且赤潮生物虽同属裸甲藻,但不同赤潮重灾区的赤潮最优种并不一样。在这次大规模裸甲藻赤潮中,作者从桂山岛和深圳的赤潮样品中共发现了10种裸甲藻。其中,5种为我国首次记录,1种可能为新种。在一次赤潮中找到如此多种的裸甲藻,这在我国赤潮研究史上是从未见过的,这说明像广东这样经济发展比较迅速的沿海地区,近岸水域环境恶化趋势明显。虽然从能量(如营养盐)的积累、释放、再积累、再释放的规律而言,这样大规模赤潮的发生将在短时间内使受灾区的环境压力暂时得到缓和,也就是说这样的大规模赤潮不太可能年年都发生。但是,如果不采取有效措施防止海洋污染的进一步加剧,今后在全球气候变化的旋涡中,赤潮的发生规模可能会越来越大,危害也会越来越深,许多前所未见,闻所未闻的稀奇赤潮随时都有可能发生。

致谢 本文标本系由国家海洋局南海分局监测中心提供,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 齐雨藻,钱锋,郑磊,1996. 中国东南沿海赤潮的生理生态学研究. 见:朱明远,李瑞香,王飞主编. 中国赤潮研究 SCOR-IOC 赤潮工作组中国委员会第二次论文选. 青岛:青岛出版社,6—15
- 黄长江,董巧香,郑磊,1999. 1997年底中国东南沿海棕囊藻赤潮的生物学与生态学特征. 海洋与湖沼,30(6): 581—590
- 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
- 福代康夫,高野秀昭,千原光雄等,1990. 日本の赤潮生物(写真と解说). 东京:内田老鹤圃,1—407
- Anderson D, 1998. Study of red tide monitoring and management in Hong Kong. Literature review and background

脚注同第4页

information-technical report, 1:134

Freudenthal H D, Lee J J, 1963. *Glenodinium halli* n. sp. and *Gyrodinium instriatum* n. sp., dinoflagellates from New York waters. J Protozool, 10(2):180—185

Graham H W, 1943. *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California. Trans Amer Microsc Soc, 62(3):258—262

Kimball J F, Wood E J F, 1965. A dinoflagellate with characters of *Gymnodinium* and *Gyrodinium*. J, Protozool, 12(4): 577—580

Martin G W, 1929. Dinoflagellates from marine and brackish waters of New Jersey. Univ Iowa Stud Nat Hist, 12(9):12—19

Steidinger K A, Tangen K, 1996. Dinoflagellates. In: Tomas C R ed. Identifying marine diatoms and dinoflagellates. San Diego: Academic Press, 387—584

Zimmerman w, 1930. Neue und bekannte Kleinalgen von Neapel I—V. Zeitsch. Botanik, 23:434—438

TAXONOMIC AND BIOLOGICAL STUDIES ON ORGANISMS CAUSING A LARGE SCALE RED TIDE IN ZHUJIANG RIVER ESTUARY IN SPRING, 1998 Ⅲ

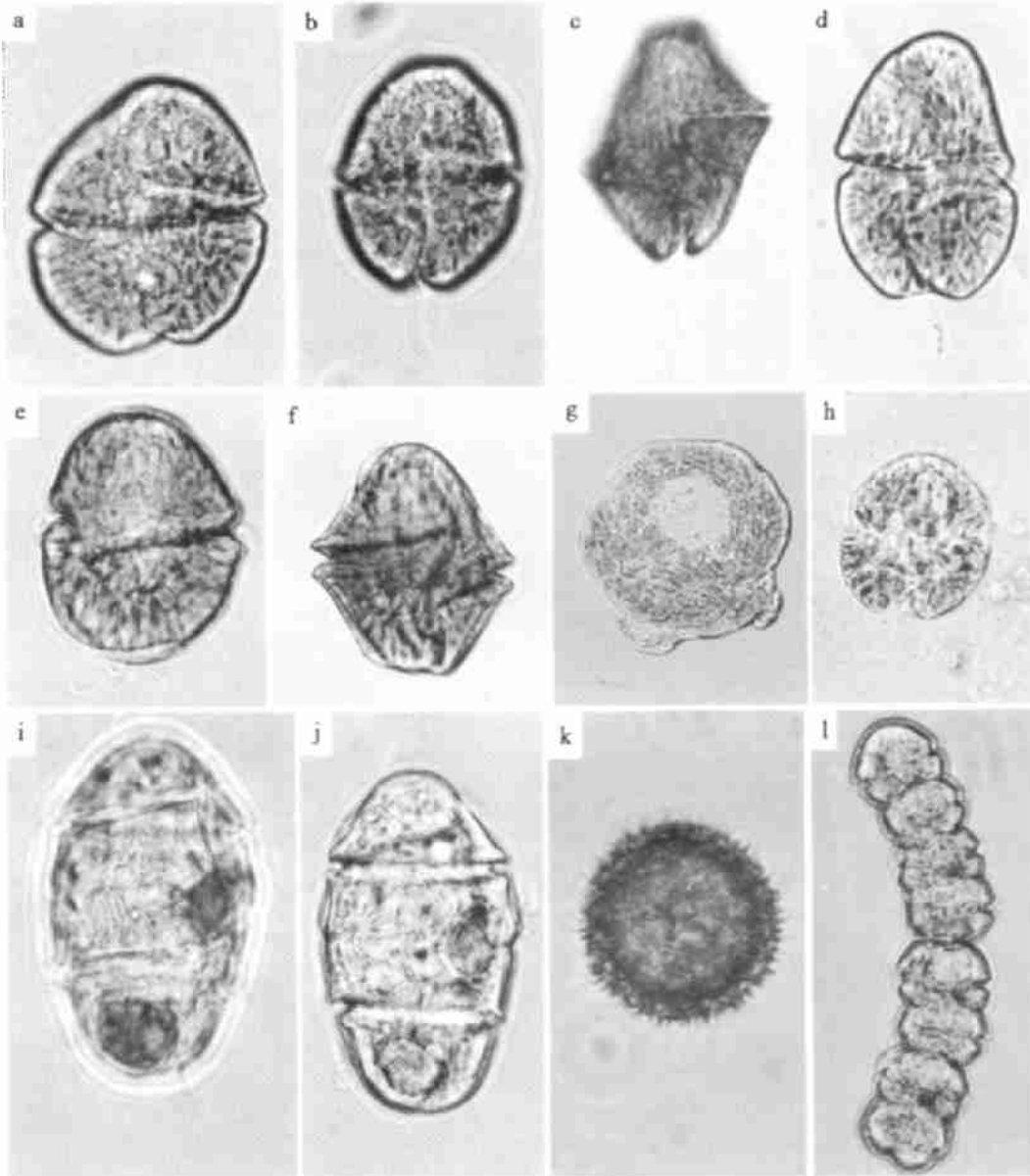
HUANG Chang-Jiang, DONG Qiao-Xiang

(Marine Biology Laboratory of Science Center, Shantou University, Shantou, 515063)

Abstract A large scale of harmful algal bloom occurred in Zhujiang River Estuary on South China Sea Coast From March to April in 1998, and made a great economic loss on the local fish farming. In the last two papers, we described the morphological and biological features of the seven causative organisms, which all belonged to unarmored dinoflagellates, sampled from the most hit area—a tanked fish farm near Guishan Island located on the west side of Zhujiang River Estuary, China, on April 15th 1998, when the bloom was on its peak. In the preset article, the morphological descriptions of three unarmored dinoflagellates *Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee, *Pheopolykrikis hartmannii* (Zimmermann) Matsuoka et Fukuyo and *Gymnodinium catenatum* Graham (sampled from Shenzhen Bay of Zhujiang River Estuary on April 24th 1998, when the bloom was going to its end) are described.

The dominant causative organism of the bloom was identified to be *Gyr. instriatum* with the highest density of 3.6×10^7 cells/L, followed by *Skeletonema costatum* (1.6×10^7 cells/L), *Prorocentrum* (6.1×10^6 cells/L), *Gym. mikimotoi* (1.1×10^6 cells/L) and *Ceratium furca*. The red tide organisms also included *Gym. sanguineum*, *Polykrikos schwartzii*, *P. hartmannii* and *Gym. catenatum*. Apparently, the bloom occurred in Shenzhen Bay was the same as that in Guishan Island, for almost all of the dominant causative organisms of Guishan Island bloom were found in the Shenzhen Bay bloom. However, diatom *S. costatum* was the second dominant in Shenzhen Bay bloom, indicating that the unarmored dinoflagellate bloom occurred in Zhujiang River Estuary would end. The percentages of diatom increased while the total densities of the bloom samples decreased, showing that the normal diatom community was replacing the unarmored dinoflagellate community when the bloom was going to its end.

Key words Dinoflagellate, Unarmored dinoflagellate, Red tide, Taxonomy, Zhujiang River Estuary



图版 I 无纹螺沟藻、哈曼褐色多沟藻和链状裸甲藻的光学显微镜照片

Plate I Photomicrographs of *Gyrodinium instriatum*, *Pheopolykrikos hartmannii* and *Gymmodinium catenatum*

a—h. 无纹螺沟藻(*Gyr. instriatum*): a & b. 腹面($\times 200$, 活体); c. 右侧腹面($\times 200$, 活体); d. 背面($\times 200$, 活体); e. 左侧面($\times 200$, 活体); f. 背面($\times 200$, 活体); g. 光学显微镜下死亡溶化的个体($\times 200$); h. 福尔马林固定的标本($\times 200$). i—k. 哈曼褐色多沟藻(*P. hartmannii*): i & j. 右侧背面($\times 200$, 活体); k. 孢囊($\times 200$). l. 链状裸甲藻(*Gym. catenatum*)的 8 细胞群体($\times 200$, 活体)