

长江口中肋骨条藻赤潮发生 全过程调查报告

——浮游植物群落结构及细胞形态研究*

沈 竑 洪君超

(国家海洋局东海监测中心, 上海 200137)

提要 于1990年6月在长江口赤潮多发区定点观测到一次中肋骨条藻赤潮发生的全过程, 对中肋骨条藻赤潮发生过程中浮游植物群落结构的变动及细胞形态的变化进行研究。结果表明, (1) 中肋骨条藻赤潮发生前, 水体中甲藻数量多于硅藻; 赤潮发生后, 中肋骨条藻增殖, 逐渐成为主要优势种, 硅藻在数量上超过了甲藻; 浮游植物种类丰度指数的大小能较好地反映赤潮发生的各个阶段。(2) 赤潮发生过程中, 中肋骨条藻细胞增殖率次序为: 发展阶段 > 维持阶段 > 起始阶段。(3) 在赤潮发生的维持阶段后期和消亡阶段, 有5%—7.8%的中肋骨条藻形成休眠孢子, 一个中肋骨条藻细胞仅形成一个休眠孢子, 且同一个中肋骨条藻群体链上的所有细胞形成休眠孢子是同步的。

关键词 中肋骨条藻 浮游植物群落结构 增殖率 休眠孢子 细胞形态

迄今为止, 对赤潮发生过程中, 浮游植物群落结构变动和赤潮生物形态变化的研究甚少。1990年6月中旬, “海监47”船在长江口赤潮多发区(洪君超等, 1989)定点观测时, 观察到一次中肋骨条藻(以下简称骨条藻)赤潮发生全过程。本文报道对该过程浮游植物群落结构的变动和骨条藻细胞形态的变化, 为赤潮发生机理的研究提供科学依据。

1 样品的采集与分析

中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 采样站位见洪君超等(1994)报道。

1.1 骨条藻定量分析 采表层水样500ml, 加鲁哥氏液固定, 对骨条藻进行定量分析。

1.2 浮游植物样品的采集与分析 用浅水III型浮游生物网(网口面积为0.1m², 77μm孔径的JE 62筛绢)自水底至水表垂直拖获, 按个体计数法计数, 并采用Margalef(1958)提出的计算公式: $d = S - 1 / \log_2 N$, 计算浮游植物种丰度指数。式中, d 为种丰度指数; S 为种数; N 为藻类细胞总数。对浮游植物细胞形态的观察, 采用Olympus BH-2型显微镜, 相机型号为Olympus C-35AD-4(日本产)。

1.3 骨条藻细胞增殖率的计算 若藻类细胞按二分分裂计, 则藻类的增殖率(k)计算公式(Guillard, 1973)如下:

* 国家自然科学基金资助重大项目, 9389008号。本文承蒙上海水产大学杨和荃、虞冰如副教授的指导; 国家海洋局东海监测中心王伟斐同志参加了部分工作。均此一并致谢。

收稿日期: 1991年10月8日, 接受日期: 1993年5月20日。

$$k = \frac{\log_2 \left(\frac{N'}{N_0} \right)}{t' - t_0}$$

式中, N' , N_0 分别为 t' , t_0 时的藻类密度。

1.4 骨条藻细胞分裂相与骨条藻总数的比值(以下简称分裂相比值)计算 观察发现, 同一骨条藻链上的细胞是同步分裂的, 因此以条为计数单位, 进行分裂相比值的计算。

$$\text{分裂相比值} = \frac{\text{有分裂相的骨条藻数(条)}}{\text{骨条藻总条数}} \times 100\%$$

2 结果与讨论

2.1 赤潮发生过程中浮游植物群落结构和种丰度指数的变化 本次骨条藻赤潮可初分为4个阶段, 即起始阶段—发展阶段—维持阶段—消亡阶段¹⁾。观察结果表明, 在骨条藻赤潮发生的前一天, 水体中甲藻数量比硅藻多。甲藻的主要种为, 夜光藻 (*Noctiluca scintillans*)、三角角藻 (*Ceratium tripos*)、梭角藻 (*Ceratium fusus*); 其它甲藻如具尾翅甲藻 (*Dinophysis caudata*)、倒卵形翅甲藻 (*Dinophysis fortii*)、多甲藻 (*Peridinium* sp.) 等也有一定的量。硅藻主要种为, 骨条藻、尖刺菱形藻 (*Nitzschia pungens*)、星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus asteromphalus*); 布氏双尾藻 (*Ditylum brightwellii*) 琼氏圆筛藻 (*Coscinodiscus jonesianus*)、苏氏圆筛藻 (*Coscinodiscus thorii*)、中心圆筛藻 (*Coscinodiscus centralis*)、中华台形藻 (*Biddulphia sinensis*) 等硅藻, 也占了一定的比例。赤潮发生的起始阶段, 由于环境条件适合骨条藻的生长繁殖, 骨条藻开始增殖, 逐渐成为主要优势种, 群落结构也随之发生变化, 硅藻数量超过甲藻。在赤潮发生的发展和维持阶段, 由于骨条藻大量增殖的结果, 导致它在数量上占绝对优势(占总数的 99.99%); 而夜光藻、三角角藻和梭角藻等甲藻, 已很难观察到了。在赤潮消亡阶段, 由于营养盐状况和环境条件已成为骨条藻生长繁殖的限制因子, 水体中骨条藻数量迅速下降, 其它硅藻种类开始增多, 如布氏双尾藻、佛氏海毛藻 (*Thalassiothrix frauenfeldii*)、琼氏圆筛藻、中华台形藻、蛇目圆筛藻 (*Coscinodiscus argus*)、线形圆筛藻 (*Coscinodiscus lineatus*)、具槽直链藻

(*Melasira sulcata*)、长菱形藻 (*Nitzschia longissima*)、地中海指管藻 (*Dactyliosolen mediterraneus*), 硅藻在总数上仍大于甲藻; 而此时, 夜光藻数量还是很少, 但梭角藻、三角角藻、具尾翅甲藻等数量却有所上升。

从图 1 可知, 赤潮发生的前一天, 浮游植物种的丰度指数较高 (3.25)。随着赤潮的发生, 骨条藻数量的增加, 丰度指数逐渐减小。在发展阶段后期, 丰度指数小于 1, 最小为 0.45。赤潮发生后, 骨条藻数

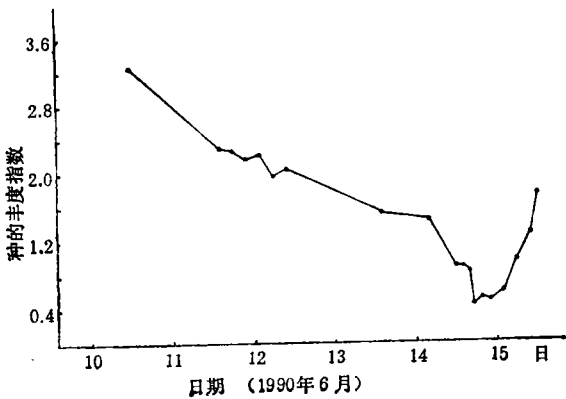


图 1 浮游植物种丰度指数的变化
Fig. 1 Variances of the species diversity index of phytoplankton

1) 沈斌、洪君超、张开富, 中肋骨条藻赤潮发生过程中微量营养盐要素 Fe, Mn 作用的探讨。(待发表)

量迅速下降,其它藻类随之增多,丰度指数逐步回升。因此,可以说浮游植物种的丰度指数大小能反映赤潮发生的各个阶段。

2.2 表层水中骨条藻的增殖率 从表 1 可见,赤潮发生的发展阶段,骨条藻的增殖率最高;维持阶段次之;起始阶段最低。这表明:(1)在赤潮发生的起始阶段,骨条藻形成赤潮的物质基础已经具备,藻细胞开始增殖。增殖率低的原因可能是骨条藻在快速繁殖前要经历一段适应过程,但该适应期很短,如这次骨条藻赤潮起始阶段只有 4h。(2)骨条藻经过了起始阶段后,对环境已经适应,因而在发展阶段繁殖极快,增殖率高达 0.183h^{-1} (即 4.4d^{-1})。在短短不到两天的时间里,使海水由蓝褐变土黄,直至暗褐色。(3)在赤潮发生的维持阶段,骨条藻增殖率有所下降,可能是由于环境条件的适宜程度已不如发展阶段,尤其到维持阶段后期,环境“质量”下降,营养盐即将消耗殆尽,在此时的浮游植物样品中,还发现骨条藻的休眠孢子。说明从维持阶段后期开始,营养盐状况和环境条件已成为骨条藻生长繁殖的限制因子。

表 1 赤潮发生各阶段表层水体中骨条藻的增殖率 (1990 年 6 月)

Tab. 1 The proliferating rate of *Skeletonema costatum* in surface layer water during all stages of red tide (1990.6)

赤潮各阶段 (时间)	起始阶段 11 日 14:00— 18:00	发展阶段 11 日 18:00— 14 日 12:00	维持阶段 14 日 12:00— 15 日 02:00	消亡阶段 15 日 02:00— 18:00	平均 11 日 14:00— 15 日 02:00
增殖率 (h^{-1})	0.080	0.183	0.152	—	0.173

2.3 骨条藻分裂相比值的探讨 正常的骨条藻细胞为圆柱形,壳面圆而鼓起,细胞间隙比细胞本身还长。色素体通常为 2 个。正在分裂的骨条藻细胞特征为:细胞拉长,色素体由 2 个分裂成 4 个,分成 2 组(每组 2 个)移向细胞的两端。

由图 2 可见,在赤潮发生的起始阶段至维持阶段前期,分裂相比值均大于 50% (除 6 月 14 日 14:00 外),最高达 95%;说明分裂速度极快,这与上述增殖率情况是一致的。在维持阶段后期和消亡阶段,分裂相比值小,均小于 20%;这可能由于骨条藻大量繁殖后,消耗了水体中极大部分的营养盐(包括微量营养要素,如 Fe, Mn),且使环境状况恶化,不适合骨条藻的生长繁殖所引起的。

同一骨条藻链上的细胞是同步分裂的,且不同的骨条藻链分裂也几乎同步,因此

图 2 中出现 6 月 14 日 14:00 这一特殊现象(分裂相比值小于 20%);这可能是由于骨条藻在该时刚好进行完一次分裂,也就是说在两次分裂之间(采样时间间隔是 2h 而骨条

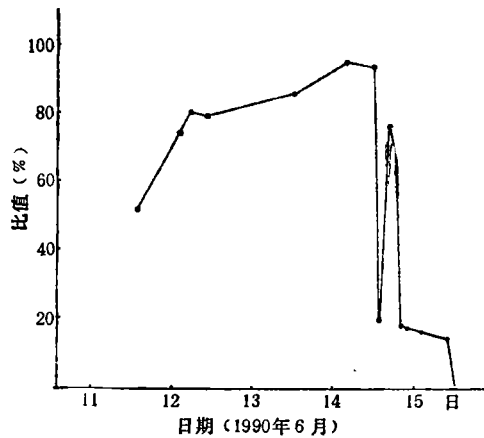


图 2 骨条藻分裂相比值的变化

Fig. 2 Variances of the ratio of *Skeletonema costatum* proliferating phase

藻在赤潮发生过程中,约 5.8h 分裂一次)。

由此可见,骨条藻细胞增殖率的高低取决于细胞分裂相比值的大小,而分裂相比值的大小又取决于水体营养状况和环境条件。

2.4 骨条藻的休眠孢子 (Resting spore) 用显微镜观察浮游植物样品时,在赤潮发生的维持阶段后期和消亡阶段的一些样品中,发现有一部分骨条藻细胞形成了休眠孢子(见图版 I,箭头)。特点是:每一骨条藻细胞仅形成一个休眠孢子,并且同一条骨条藻链上的所有细胞几乎同时形成休眠孢子。后一点与角毛硅藻仅在同一链上相邻的两个细胞同时形成休眠孢子有所不同(朱树屏等,1957)。浮游植物样品中休眠孢子占骨条藻总数的(5%—7.8%)。

沿岸性的一些浮游硅藻种,当细胞经过很活泼的分裂时,在水中的数量会达到很多。在这种情况下产生的休眠孢子,可能是由于水中营养盐类的缺乏,因而出现了休止的适应(郑重等,1984;金德祥等,1965)。此外,水温太高或太低、光照不足等不良环境也会产生休眠孢子。朱树屏等(1957)认为,藻类细胞内含物浓缩于细胞的中央或一端,并从原生质中分泌厚壳,包在细胞内含物的外面,形成一个圆形或椭圆形的休眠孢子。待环境条件适宜时,休眠孢子则以萌芽的方式再生长发育起来。这是沿岸性硅藻在多变的环境中生活的一种适应。

在骨条藻赤潮发生的维持阶段后期和消亡阶段,由于藻类细胞数量大,营养盐含量已降到较低水平,不能满足藻类细胞生长繁殖,且有一部分藻细胞开始分解,这可以从上述骨条藻增殖率和分裂相比值得到证明;另外又加上骤降暴雨,在此不良环境下,骨条藻通过产生休眠孢子的方式来渡过恶劣环境,是对环境的一种适应。

骨条藻形成休眠孢子这一现象,意味着骨条藻赤潮的发生可能与它的休眠孢子有关。一旦当环境条件适宜,休眠孢子大量萌发,加上藻类的迅猛繁殖共同的作用,就有可能短时间内引发赤潮,使得海水易色。因此,在今后的海上调查时,应注意骨条藻休眠孢子的分布,并在室内对骨条藻休眠孢子萌发的最适条件作进一步的研究,以便于弄清骨条藻赤潮发生的机理。

参 考 文 献

- 朱树屏、郭玉洁,1957,烟台、威海鲈鱼渔场及其附近海区角毛藻属的研究 I. 分类的研究,海洋与湖沼, 1(1): 27—94。
- 金德祥、陈金环、黄凯歌编著,1965,中国海洋浮游硅藻类,上海科学技术出版社(上海),13—16。
- 郑重、李少青、许振祖编著,1984,海洋浮游生物学,海洋出版社(北京),65—67。
- 洪君超、黄秀清、蒋晓山等,1994,长江口中肋骨条藻赤潮发生全过程调查报告 I 营养盐状况,海洋与湖沼,25(2): 179—184。
- 洪君超、黄秀清、徐韧等,1989,长江口外及邻近海区赤潮多发的分析与探讨,暨南大学学报(赤潮研究专刊), 1939: 40—51。
- Guillard, R.L., 1973, Culture methods and growth measurement, *In Handbook of Phycological Methods and Growth Measurements*, ed. by Stein, Cambridge University Press (Cambridge), 448pp.
- Margalef, R., 1958, Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton, *In Perspectives in Marine Biology*, ed. by Buzzati-Traverso, Univ. of California Press (California), pp. 323—325.

INVESTIGATION REPORT ON THE *SKELETONEMA COSTATUM* RED TIDE IN CHANGJIANG RIVER ESTUARY

—STUDY ON THE PHYTOPLANKTON COMMUNITY COMPOSITION AND CELL MORPHOLOGY

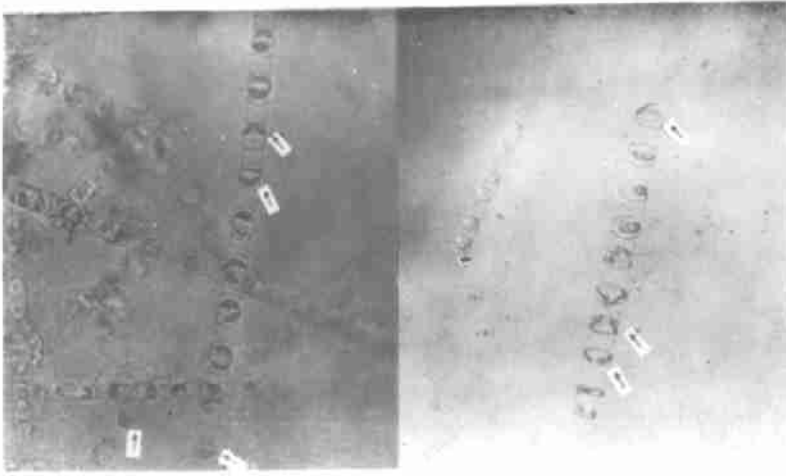
Shen Hong, Hong Junchao

(East China Sea Monitoring Center, SOA, Shanghai 200137)

ABSTRACT

Study on the variation of phytoplankton community composition and cell morphology in the *Skeletonema costatum* red tide that occurred in the Changjiang River Estuary in June, 1990 showed that: (1) the biomass of Pyrrophyta was greater than that of Bacillariophyta before the occurrence of *Skeletonema costatum* red tide, after which occurrence *Skeletonema costatum* proliferated and gradually became the dominant species, and the biomass of Bacillariophyta became greater than that of Pyrrophyta. The difference of community diversity of phytoplankton was reflected in all stages of the *Skeletonema costatum* red tide. (2) The cell proliferating rate of *Skeletonema costatum* was in the order: developing stage > sustaining stage > starting stage. (3) 5—7.8 percent of *Skeletonema costatum* cells became resting spores during the sustaining later stage and vanishing stage of red tide. A *Skeletonema costatum* cell only formed one resting spore. All cells of the *Skeletonema costatum* chain synchronously formed resting spores. As adaptation to the environment, some *Skeletonema costatum* cells transformed to resting spores during the later period of red tide when nutrition became deficient and environmental conditions worsened (rainstorm).

Key words *Skeletonema costatum* Phytoplankton community composition Proliferating rate Resting spores Cell morphology



图版 I 中肋骨条藻休眠孢子(箭头所示)

Plate I Resting spores of *Skeletonema costatum* (pointed by arrows)

(上接外文总目录)

Studies on the Phosphoenolpyruvate Carboxykinase of <i>Laminaria japonica</i>	
.....Chen Minzi, Hou Hesheng, Yao Nanyu, Xu Zhiming, Li Jianzhi (600)	
Production of Gametes and Auxospores in the Centric Diatom <i>Lauderia borealis</i> Gran ...	
..... Lin Junmin, Weng Shide (605)	
Comparative Study on Photosynthetic Property of Two Species of <i>Dunaliella</i>	
..... Peng Changlian, Lin Zhifang, Sun Guchou, Shi Dingji (611)	
The Roles of Prokaryote and Eukaryote in Marine Primary Production Processes	
..... Jiao Nianzhi, Wang Rong, Li Chaolun, Ji Peng (618)	
The Circulatory System of Oysters	
..... Li Xiaoxu, Li Fenglan, Qi Zhongyan (624)	
The Bacterial Variation in the Water Environment of Cultured Prawn Pond	
..... Guo Ping, Xu Meimei (630)	
The Role of Vegetation in Mud Coast Processes	
..... Yang Shilun, Chen Jiyu (635)	
The Coupled Ocean-Atmosphere Characteristics of Three El Niño Events	
..... Liu Qinyu, Qin Zenghao (642)	
Analysis of Some Features of Volume Transport of the Kuroshio in the East China Sea ...	
..... Tang Yuxiang, Liu Kui, Tomosi Tashiro (651)	
Current Structure Along Cross-Kuroshio Front Section in the East China Sea	
..... Wan Bangjun, Guo Binghuo, Tang Yuxiang (659)	
Calculation on Nearshore Shallow-Water Waves	
..... Wang Yunhong (664)	
Potentiodynamic Polarization Method for Evaluating Corrosiveness of Sea Bed Sediment ...	
..... Ji Mingtang, Lu Changshan, Yang Fangying, Ni Xiangyu (670)	
Research Note	
A Numerical Model of Tidal Current in Extra-Shallow Waters	
..... Zhang Cunzhi, Yang Lianwu, Dou Zhenxing (676)	
Brief Introduction of Scientist	
A Scientist of Oceanic Geology—Prof. Qin Yunshan.....Editorial department (678)	