南海大鹏湾海洋褐胞藻赤潮及其成因*

齐雨藻 洪 英 吕颂辉 楚建华

张家平 朱从举 李雅琴 (暨南大学水生生物研究所,)广州 510632)

梁 松 李锦荣

(国家海洋局南海分局,广州 510300)

提要 于 1991 年 3 月 20-21 日在大鹏湾首次发生海洋褐胞藻赤潮。对此分析了赤潮 发生前后海洋环境因素的变化及其与赤潮的关系;以风速、气压、盐度、温度、磷酸盐、硝酸盐、 铵盐、铁离子等 8 项指标为基础,改变参数组合,对采自 1991 年 3-5 月特定站位(S₀)的各样 方进行聚类分析和比较。结果表明,在盐度为 31-32 和水温为 20℃ 的适宜条件下,铁离子和 风速是形成本次赤潮的主要环境要素;大量营养盐尤其是硝酸盐浓度的增加,是本次赤潮形成 的基础。

关键词 赤潮 海洋褐胞藻 大鹏湾 模糊聚类 铁风速

我国南海大鹏湾盐田水域首次发生海洋褐胞藻(*Chattonella marina* Hara et Chihara)赤潮(齐雨藻等,1991)。此次赤潮持续约 36h。其范围约为 12 万 m²,主要分布在 盐田镇外至盐田港 4km 沿岸的 5-30m 水域内,细胞密度最高达 1.4 × 10⁷cell/L。赤潮 发生时,海水呈锈褐色,海面上有死鱼出现。本文旨在根据赤潮发生前后环境因素的变



Fig. 1 Map of sampling stations in Dapeng Bay

化,探讨本次赤潮发生的成因。

 采样时间、地点、方法与数据处 理

1.1 采样时间与地点 采样始于1990年3月。迄今为止,于每年3-6月的赤潮多发期,每3天进行一次包括海况、气象、水文、理化因子及浮游动植物等项目的采样调查;赤潮发生时,生物及理化样品每2h采集1次。6月以后至翌年2月,每月采样2次。在1991年3月赤潮发生时,为密集采样期。采样

^{*} 国家自然科学基金资助,9389008 号。 收稿日期: 1991 年 8 月 7 日,接受日期: 1993 年 11 月 30 日。

站位见图 1。

2 期

1.2 方法 使用容量为 2.5L 的采水器(中国科学院水生生物研究所制)采集浮游 植物的定量水样,经沉淀浓缩后,用 0.1ml 的计数框在显微镜下镜检计数,最后换算为每升细胞数 (cell/L)表示。以挖泥器采集底泥,经筛绢(孔径为 80μm 及 20μm)分级过滤,收集 80-20μm 的颗粒,镜检鉴定孢囊。

由国家海洋局南海分局海洋环境监测中心以常规方法分析水温、气压、风速、风向、盐 度、溶解氧、磷酸盐、硝酸盐、铵盐、硅酸盐、铁离子等各种理化因子。

1.3 数据处理 采用模糊聚类(郎奎健等,1987)对 1991 年 3—5 月 S₀站位的各次水样的理化参数及当时的水文气象资料进行分析。聚类图中的一个样本指一个航次的一类指标。本数据块有 32 个样本,样方编号与采样日期的对应关系见表 1。 其中 3 月 13 日为 6 号样;赤潮发生前一天,即 3 月 19 日为 7 号样; 8 号样是赤潮发生时的 3 月 20 日; 9 号 样为赤潮消散时的 3 月 22 日。 选定的环境参数包括气 压 (hPa)、风 速 (m/s)、水 温 (℃)、盐度、铁离子 (μ g/L)、磷酸盐 (μ g/L)、硝酸盐 (μ g/L)和铵盐 (μ g/L)等 8 项。 在分析中还参考了 Nakamura 等有关褐胞藻生长潜力模型的 *GP* (海水的 生长 潜 力) (Shigeru et al., 1978),以之表示海水营养盐的综合水平,公式为:

$$GP = 1.4 \times \frac{S_{PO_4}}{0.1 + S_{PO_4}} \times \frac{S_{NO_3} + S_{NH_4}}{1.0 + (S_{NO_3} + S_{NH_4})}$$

式中, *S*_{PO4}, *S*_{NO3}, *S*_{NH4} 依次为 PO4-P, NO3-N 及 NH4-N 的浓度;1.4,0.1,1.0 分别为 褐胞藻的最大生长率、磷及氮的吸收常数。

所有样本根据 8 项环境参数聚类后,从中剔除单个和一组因子进行聚类,检查相似聚 类图是否变动。若图形变动,说明剔除的因子对相似聚类图的结构起关键作用,因而表示

样本编号	采样日期 (月・日)	样本编号	采样日期 (月·日) 4.15	
1	3.1	17		
2	3.4	18	4.18	
3	3.7	19	4.21	
4	3.10	20	4.24	
5	3.13	21	4.27	
6	3.16	22	4.30	
7	3.19	23	5.3	
8	3.20	24	5.6	
9	3.22	25	5.9	
10	3.25	26	5.12	
11	3.28	27	5.15	
12	4.1	28	5.18	
13	4.3	29	5.21	
14	4.6	30	5.24	
15	4.9	31	5.27	
16	4.12	32	5.30	

表 1 1991 年大鹏湾褐胞藻赤潮期间采样日期与样本编号的对应 Tab. 1 The sampling date corresponding with the number in dendrogram

可用以分析本次褐胞藻赤潮发生的环境要素。

2 结果

2.1 环境要素对大鹏湾褐胞藻赤潮形成的影响 海洋褐胞藻赤潮发生于大鹏 湾 西 北 部的盐田海域 S₀ 站位一带。 比较赤潮发生前后和赤潮发生时的海水理化和气象资料 的 结果(表 2) 表明,赤潮发生时 (3 月 20 日)海水盐度由此前的平均 32.16 降至 31.38; 水温 由平均 18.8℃ 升至 20.0℃; 风速则从 1.35m/s 减低至 0.80 m/s; 各类营养盐浓度均有所 增加。时间间隔加密的风速变化分析表明, EES 向的风速由 3 月 18 日上午 8 时开始减 慢,至 21 日下午 13 时开始有所增加。显示出风速与海洋褐胞藻的生物量成正比,但稍有 滞后,即风对褐胞藻种群起了聚集作用,先是聚集了褐胞藻的细胞,而后使其滞留于一处。

表 2 大鹏湾 S。站 1991 年褐胞藻赤潮发生前后的环境参数值

Tab. 2 Values of Environmental parameters measured before, during and after the red tide of *Chattonella marina* at station S_a, in Dapeng Bay in 1991

日期 (月・日)	盐度	温度 (℃)	磷酸盐	硝酸盐 (µg	────────────────────────────────────	铁离子	风速 (m/s)
1.5-3.151)	32.24	18.84	10.41	11.11	7.05	3.33	1.35
3.20	31.38	20.00	15.70	38.10	24.60	6.20	0.80
3.21	31.53	20.00	16.10	19.80	54.20	14.00	0.60
3.22-5.30'	32.30	23.78	6.99	13.82	86.87	6.05	1.18

1) 该段日期数据为平均值。

2.2 环境组合及模糊聚类相似图的分析结果 在样本数为 15±3 的人水平进行截 取, 比较 8 项环境参数(图 2)与剔除某些指标的样本聚类图。结果表明,盐度和温度的剔除 基本不改变图形;若以 GP 代表大量营养盐的综合指标,则缺乏 GP 的聚类图形有所变 动,其中硝酸盐的影响较为明显。当以样本聚为 12 类时的人水平截取,6-9 号样归为一 类;在样本数为 21 时的人水平截取,6-9 号样仍各自归为一类。铵盐和磷酸盐尽管改变



了聚类图形,但 6—9 号样的聚类结果仅稍有变动;铁元素及气象指标的剔除则较大幅度 地改变了图形结构。铁元素的剔除,使得 7—9 号样归为一类(图 3);而气象指标的忽略 使得 7—9 号样本分别与其它样本归为一类,这里改变图形的主要贡献指标 为风速(图 4)。以上结果表明,风速和铁元素作为环境要素对本次赤潮起着决定性作用;温度和盐度 起着维持一个背景环境的作用,它们的值分别约为 20℃和 31.38,环境要素就是在这种背 景环境的基础上发挥其功能。而营养盐,特别是硝酸盐对本次赤潮起着基础的作用。





3 讨论与结论

3.1 大鹏湾海洋褐胞藻赤潮与温度、盐度的关系 本次赤潮发生时,水温为 20℃,盐度 由此前平均 32.24 降至 31.38。日本中部的 5 个湾褐胞藻赤潮发生频繁,在发生时,水温 范围是 13-20℃,高峰时水温为 19-20℃。当盐度从 21.6 增加到 34.8 时,细胞数明显 增加 (Okaichi et al., 1987)。但在濑户内海及播磨滩,这种赤潮暴发时,温度为 25℃, 盐度从 31 降至 25-30 (Nalamura et al., 1987)。结合本研究说明,虽然海洋褐胞藻在 形成赤潮时在各地的温、盐度不同,但均有一个适宜的生长范围。不同地域的种群是否有 不同的最适值还有待证实。

3.2 大鹏湾褐胞藻赤潮与营养盐的关系 大鹏湾此次褐胞藻赤潮发生前后,对水化因素的分析表明,营养盐特别是氮、磷的增加,是本次赤潮发生的基础,铁离子则是决定因子。1983年6月21-22日,日本濑户内海、播磨滩的海洋褐胞藻赤潮发生时,PO₄-P及NO₃-NO₂-N浓度增高,其细胞数与 PO₄-P, PON 和 Fe-EDTA 浓度呈显著正相关(Nalamura et al., 1987)。在 Iwasaki 的报告(1987)中指出,大量营养盐的增加为藻类的繁殖创造了条件,但只有当 Fe-EDTA 充足时,氦、磷对海洋褐胞藻的生长才起作用。大鹏湾本次赤潮随铁离子浓度而变化,铁离子是改变相似聚类图形的主要因子。这说明,在温度、盐度适宜,营养盐满足的条件下,铁离子浓度的增加促进了大鹏湾褐胞藻的迅速繁殖。另外,褐胞藻对铁的吸收速率高,这在与其它藻类生长繁殖竞争中占有优势,如与微型原甲藻(Prorocentrum minimum)相比,两者的铁吸收常数(Ks)相差无几(27.8:27.0),但前者比后者的最大吸收速率高出近10倍(87.7:8.26)(Iwasaki, 1987),故当铁离子浓度增加时,褐胞藻能优先利用。由此可见,铁离子是褐胞藻赤潮形成的决定性因素之一。

3.3 大鹏湾褐胞藻赤潮与风速的关系 细胞的集聚是大鹏湾褐胞藻赤潮形成的一个 重要过程。 盐田站位于大鹏湾西北角,在1991年赤潮发生前后,主导风是与之相对的 EES 风向;赤潮将发生时,风速的减弱又使得细胞易于滞留聚集,在本文的分析结果中,表 现出风速对相似聚类图结构的显著影响,并且褐胞藻的细胞数与风速有相拟合但滞后的 变化趋势。这说明,风速为本次赤潮发生的重要环境要素之一。这与 Yoshida 等(1982) 对鹿儿岛湾内海洋褐胞藻赤潮是由流场和风速共同作用的结果,有相同之处。

3.4 大鹏湾褐胞藻赤潮与孢囊的关系 为追踪褐胞藻赤潮的成因,于赤潮发生的第二 年(1992年)对大鹏湾底泥进行调查,结果表明,大鹏湾底泥中有褐胞藻孢囊的分布。 Honjo(1987)关于褐胞藻体眠细胞(又称为孢囊)的研究表明,褐胞藻越冬体眠孢囊在 引发濑户内海的赤潮中起了重要作用。11℃或更低的温度是孢囊获得萌发能力(即成熟) 的必须条件,15-18℃是孢囊成熟的阈值。 其萌发的最适温度是20-25℃(Imai et al.,1987)。大鹏湾1-2月底深层的平均水温为18.4℃,3月10-19日平均水温为 20℃。这说明,大鹏湾具备孢囊成熟和萌发的适宜条件。经过低温诱导而成熟的孢囊可 能起到本次赤潮种源的作用。但这些孢囊是外源性的还是内源性的,还有待进一步研究。

综上所述,作者认为,大鹏湾海洋褐胞藻赤潮发生的成因可以总结为:成熟的孢囊在 适宜的温度(~20℃)下萌发,当温度、盐度(32—31)条件适宜,营养盐充足,尤其是铁离子 浓度适度增加,促进了海洋褐胞藻的迅速繁殖,并由于与发生地相对方向风速的减弱,加 速了细胞的集聚,从而形成 1991 年春季海洋褐胞藻赤潮。

参考文献

齐雨藻等,1991,中国赤潮生物新纪录种---海洋褐胞藻,暨南大学学报,12(3): 92-95。

郎奎健、唐守正,1987, IBMPC 系列程序集——数理统计划经营管理,中国林业出版社(北京),447。

- Honjo Tsuneo, 1987, Growth potential of Chattonella marina (Raphidophyceae) collected in Golasho Bay, Central Japan, Bull. Plankton Soc. Japan, 34(2): 119-124.
- Imai Ichiro, Katsuhiko Ioth and Masteru Anraku, 1987, Dormance and maturation in the cysts of Chattonella spp. (Raphidophyceae), red tide flagellates in the land sea of Japan, In Red Tide: Biology, Environmental Science and Toxicology, ed. by Okaichi Tomotoshi et al., Elsevier (New York), pp. 289-292.
- Iwasaki Hideo, 1987, Recent progress of red tide studies in Japan: an overview, *In* Red Tide: Biology, Environmental Science and Toxicology, ed. by Okaichi Tomotoshi et al., Elsevier (New York), pp. 3–9.
- Nalamura Yasuo, Jun Talashima and Watanabe, M., 1987, Chemical environments for red tide of *Chastonella antiqua, In* Red Tide: Biology, Environmental Science and Toxicology, ed. by Okaichi Tomotoshi et al., Elsevier (New York), pp. 249-252.
- Okaichi Tomotoshi et al., 1987, The role of iron in the outbreaks of Chassonella marina (Raphidophyceae) collected in Golasho Bay, Central Japan, Bull. Plankton Soc. Japan, 34(2): 119-124.
- Shigeru Montani et al., 1978, Occurrence and biomass estimation of Chastonella marina red tides in Harima Nada, the Seto Inland Sea, Japan, Ibid, pp. 196-200.
- Yoshida Yoichi and Latsumi Numata, 1982, Accumulation of Chassonella ansiqua raised by tidal current, Bull. Jap. Soc. Sci. Fisheries, 48(9): 1271-1275.

OUTBREAK OF CHATTONELLA MARINA RED TIDE AND ITS RELATIONS TO ECOLOGICAL PARAME-TERS IN DAPENG BAY, SOUTH CHINA SEA

Qi Yuzao, Hong Ying, Lü Songhui, Chu Jianhua, Zhang Jiaping, Zhu Congju, Li Yaqin (Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632)

> Liang Song, Li Jinrong (South China Sea Branch, SOA, Guangzhou 510300)

ABSTRACT

A Chattonella marina Hara et Chihara red tide occurred in March 20-21, 1991 in Dapeng Bay, South China Sea. Its Maximum cell density reached 1.4×10^7 cells/ L. A dynamic fuzzy cluster dendrogram of samples based on eight ecological parameters (temperature, salinity, iron, atmospheric pressure, wind velocity, phosphate, nitrate and ammonia) was used to analyse the variation of environmental factors measured before, during and after the red tide outbreak. The relationship between the red tide and environmental factors is discussed. The research showed that concentration of nitrate, phosphate, ammonium and iron increased just before the red tide outbreak, and that temperature and salinity were ca. 20° C and 31.38S respectively at the start of the red tide outbreak. Deletion of wind velocity and iron changed the cluster dendrogram obviously. It is concluded that: when temperature and salinity were optimum, iron and wind velocity were the decisive factors for the initiation of red tide. The increase of macronutrients, specifilly nitrate, also played a principal role in this red tide.

Key words Red tide Chattonella marina Dapeng Bay Fuzzy cluster Iron Wind velocity