两种涡鞭毛藻的周日垂直迁移特性研究*

周名江

(中国科学院海洋研究所,青岛 266071)

M. Elbrächter

(Biologische Anstalt Helgoland, Germany 2282 List/sylt)

提要 Alexandrium lusitanicum 于 1987 年采自葡萄牙沿海, Y-100 于 1989 年采自 德国湾。 在暗室中用一根柱长 150 cm、内径 3.4 cm 的玻璃柱对两种涡鞭毛藻的垂直迁移特 性进行研究。结果表明,两种藻均进行有规律的周日垂直迁移,且均在光照开始前 2h 开始 向上迁移,光照结束前 3h 开始向下迁移。A. lusitanicum 向上迁移速度约为 240 μm/s 向下约 为 850 μm/s; Y-100 向上迁移速度约为 280 μm/s,向下约为 1 400 μm/s,二者都属能够高速 迁移的藻类。Y-100 呈很规则的周日阶段性分裂现象,分裂频率高峰出现在光照前 1h 左右。 这两种涡鞭毛藻的周日垂直迁移特性有利于它们更多地获取光能和营养盐从而在其他条件也 合适时迅速增殖并聚集在水体表层而引起赤潮。

关键词 赤潮 涡鞭毛藻 垂直迁移

绝大多数的"有害赤潮"(Harmful Algal Blooms)是由涡鞭毛藻引起的。很多涡鞭 毛藻与其他浮游藻的一个重要区别在于它们具有周日垂直迁移特性(Olsson et al.,1991; Watanaba et al., 1983; Blasco, 1978; Staker et al., 1980)。这种特性有利于涡鞭毛藻 更多地获取光能(在水体表层)以及营养盐(在水体底层),从而快速增殖并聚集在水体表 层引起"赤潮"。*Alexandrium lusitanicum*和Y-100是两种引人注目的涡鞭毛藻。前 者在欧洲西部沿海形成赤潮,后者近几年在德国湾形成过著名的"绿色"赤潮。本文报告 这两种重要赤潮生物的周日垂直迁移特性及其原因,并探索其细胞周日阶段分裂现象。

1 材料与方法

Alexandrium lusitanicum 于 1987 年采自葡萄牙沿海,Y-100 于 1989 年夏从德国 湾分离得到。实验前,都分别培养在 F/2 液中,待处于对数生长期时分别引入实验水 柱。引入前以新鲜 F/2 培养液稀释,使水柱中这两种藻的细胞密度分别在 250cell/ml 左 右。然后按 L:D = 12:12 控制光照,待适应 24—48h 后开始实验。实验及预实验中的 海水盐度(S) 均为 30,温度控制在 18.0±0.5℃, F/2 培养液的 pH 调在 7.5 左右。

垂直迁移实验在设置于暗室中的一根玻璃柱中进行(柱长 150cm,内径 3.4 cm),光 源由一支冷灯(cooling lamp)提供,以免在光照射处引起水体温升,波长为 440-680

^{*} 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2261 号。 国家自然科学基金资助,9389008 号。 收稿日期: 1993 年 9 月 23 日,接受日期: 1993 年 11 月 27 日。

25 卷

nm,光强为 200μE/(m²•s)(水柱表面)。将灯置于柱上方使光线直射水柱时,在柱壁横向几乎测不到光照[光强<0.5μE/(m²•s)]。将灯置于柱侧壁离水柱表层 30cm 处,水平照射时,仅在该区上下 5cm 水柱中形成光照区,在此上方、下方及水柱表层都几乎测不到 光照[光强 ≪ 0.5μE/(m²•s)]。

实验中,定时按表层、离表层 5cm、离表层 70cm 以及离底部 0.7cm 4 种标记深度,用 不同细玻璃管从水体中虹吸出藻液或从底部放出藻液。以鲁哥液(Lugo)固定藻液,按 Sournia (1978) 方法在一个 25 ml 计数框中在倒置显微镜下计数。将双核细胞单独计 数,计算出分裂频率 (Olsson, 1991; Weiler et al., 1979)。

垂直迁移实验结束后,关闭光源,但仍连续几天在原光照期取样,观察在无光情况下 是否仍有垂直迁移运动。

Y-100 进行正常垂直迁移 3d 后,在光照期到来前 2h, 事先将光源由水柱顶部移至离 水柱表层 30cm 的水柱侧壁处,并提前 2h 开启光源,观察 Y-100 的垂直迁移规律。 2 结果

2.1 藻的周日垂直迁移 两种藻均能有规律地在水柱中进行周日垂直迁移(图 1)。试验结果表明, *A. lusitanicum* 细胞在光照开始前 2h, 以 240 μm/s 速度向上迁移, 约经





?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4h,即在水柱表面形成云雾状的细胞密集区,其密度可达 1 200 cell/ml。光照结束前 3 h, A. lusitanicum 细胞即以 850μm/s 速度开始向下迁移,光照结束后 1h 发现细胞已大部 密集在水柱底层,其密度可达 3 000cell/ml。Y-100 在光照开始前 2h 以 280μm/s 速度 向上迁移,约经 4h 在水柱表层形成细胞密度区,其密度高达 30 000 cell/ml。光照结束前 3h, Y-100 细胞以 1 400μm/s 速度开始向下迁移;光照结束 1h 后,细胞已密集在水柱 底层,细胞密度可达 5 000cell/ml。

2.2 藻的周日阶段性分裂 Y-100 呈明显的周日阶级性分裂(图 2)。它的分裂高峰(13%-17%)出现在光照前 1h 左右,也即细胞开始由水柱底层向上迁移过程之中,在这期间进行分裂的细胞数约占 1 d 内分裂细胞总数的 70%。分裂细胞主要集中在底层与表层。Y-100 在光照期及黑暗期的其他时间内的分裂频率很低(<3%),分裂细胞仅占 1 d 内分裂细胞总数的 30%。Y-100 细胞分裂的这种特性与其他作者(Olsson et al., 1991; Weiler et al., 1979)的观察结果非常一致。



Fig. 2 Phased division of Y-100

3 讨论与结语

3.1 涡鞭毛藻进行周日垂直迁移的原因 关于这种迁移的原因有很多解释,最易接受的是趋光说 (phototaxis)。此外还有趋重力说 (gravitaxis)或趋地说 (geotaxis)、压力说 (barotaxis)、细胞节律说 (cellular periodicity) 以及趋磁说 (magnetotaxis)等,至今尚无统一的看法 (Eppley, 1968; Blasco, 1978; Olsson, 1991; Levandowsky, 1987)。本研究发现,在正常的周日垂直迁移 3d 后,在一个新光照期到来 2h 前,事先将光源由水柱顶部移至距水柱表层 30cm 的侧壁,并提前 2h 开启光源,在距水柱表层 30cm 处形成一个光照区 (水柱的侧壁光照结果见表 1)。结果表明,藻细胞仍按原迁移规律在原光照开始前 2h 向上运动,穿过侧壁光照区,不作停留而仍聚集在并无光照的水柱表层;另外,在垂直迁移实验结束后,关闭光源,但仍每天在原光照期取样,结果发现无论是 A. lusitanicum 还是 Y-100 都会继续进行垂直迁移达 5-7d 之久 (但迁移活动逐渐衰

离表层距离 (cm)	光强 [μE/(m²·s)]
0	0
5	0
10	0.
15	<0.05
20	0.2
25	1.0
30')	200
35	0.5
45	0
÷	
150	0

表1 水柱侧壁光照强度分布 Tab.1 Light intensities along the experimental tube

1) 光源置于此深度。

减,以至消失)。由此可以看到,至少这两种涡鞭毛藻进行周日垂直迁移的原因不能仅仅 用趋光说来解释。但到底应如何解释,还有待于深入研究。

3.2 涡鞭毛藻迁移运动的速度 有很多人对涡鞭毛藻运动速度作过估计(表 2),但很 多只是在显微镜下观察得到的"游泳"速度,并不一定能真实反映涡鞭毛藻的垂直迁移速 度。由于涡鞭毛藻的垂直迁移是在光照开始前(黑暗中)即开始向上运动,而且向上迁移 时细胞呈分散状态,未形成密集藻群,所以其向上迁移的速度较难正确地直接用肉眼估 算。鉴于向上迁移密集在水柱表层的藻总数与经水柱中段通过的藻的总数是 基本 相 等 的。所以,本研究中按下式计算藻向上迁移的平均速度 (*V*,cm/h);

$$V = \frac{d_{top} \cdot A_{top} \cdot h}{d_{mid} \cdot A_{mid} \cdot t}$$

式中, d_{toP} , d_{mid} 分别为藻到达水柱表层后的密度及水柱中段藻向上迁移阶段增加的密度 (cell/ml); A_{toP} , A_{mid} 分别为表层水柱与中段水柱截面积,由于二者相等,为此可以 在式中消去; h 为表层藻密集区的厚度 (cm); t 为藻向上迁移通过中段所需时间。由本 式计算得到 A. lusitanicum 向上迁移速度为 88cm/h 或 240 µm/s; Y-100 向上迁移速 度为 100cm/h 或 280µm/s。由于这两种藻的向下迁移在光照结束前 3h 即开始,而且向 下迁移时,原在表层密集成群的细胞还会以群集的细胞团向下运动,所以可以较方便地 直接用肉眼来估计它们的下移速度。所得结果, A. lusitanicum,约为 306 cm/h 或 850 µm/s; Y-100,约为 500cm/h 或 1 400µm/s。

由本研究可以看到,这两种藻向下迁移的速度比向上迁移要快得多;Y-100 迁移速 度要快于 A. lusitanicum,与其他藻的运动速度相比(表 2)这两种藻都属于能够"高速" 迁移的种类。

3.3 涡鞭毛藻周日垂直迁移的生物学意义 涡鞭毛藻的周日垂直迁移特性使得它们 比其他浮游藻在获得光能、营养盐方面更具优势,从而在其他条件也合适时,很有可能迅 速增殖并聚集在水体表层而引起赤潮 (Olsson et al., 1991)。所以,在进行赤潮研究,尤

衣 4	儿种两鞭毛藻的运动迷皮	

—————————————————————————————————————	速度 (cm/h) 引用文献
Prorocentrum micans	1748 Kamykowski, 1981
Ceratium tripos	20-90 Peters, 1929
C. fusus	23-90 Peters, 1929
Pr. micans	36—90 Kamykowski, 1986
Gonyaulax polyedra	36—108 Kamykowski, 1986
C. furca & C. fusus	50—100 Hasle, 1950
C. furca(chain)	60 Peters, 1929
C. hirundinella	70—100 Heaney et al., 1981
Gyrodinium sp.	72-88 Throndsen, 1973
Protoperidinium pentagonum	72-110 Peters, 1929
C. furca	80 Peters, 1929
Gy. sp.	100 Hand et al., 1965
Gonyaulax polyedra & Cachonina niei	100 Eppley et al., 1968
Gymnodinium sanguineum	110 Cullen et al., 1981
Dinophysis acuta	180 Peters, 1929
Gonyaulax polygramma	180 Kamykowski, 1980
Prosoperidinium cf. quinquecorne	540 Horstmann, 1980
Alexandrium lusitanicum	88(向上)
	306(向下) (木文
Y-100	100(向上)
	500(向下)

Tab. 2 Swimming speeds of some dinoflagellates

其是有害藻赤潮(大多由涡鞭毛藻引起)研究时,应重视并加强这些赤潮生物种的周日垂 直迁移特性的研究。

参考文献

- Blasco, D., 1978, Observations on the diel migration of marine dinoflagellates off the Baja California Coast, Mar. Biol., 46: 41-47.
- Cullen, J. and Horrigan, S. G., 1981, Effects of nitrate on the diurnal migration, carbon to nitrogen ratio, and the phtosythetic capacity of the dinoflagellate, Gymnodinium splendens. Mar. Biol., 62: 81-89.
- Eppley, R. W. et al., 1968, Some observations on the vertical migration of dinoflagellates, J. Phycol., 4: 333-340.
- Hand, W. G. et al., 1965, The effects of temperature and salinity change on swimming rate in the dinoflagellates, Gonyaulax and Gyrodinium, Biol. Bull., 128: 90-101.
- Hasle, G. R., 1950, Phototactic migration in marine dinoflagellates. Oikos, 2: 162-175.
- Heaney, S. I. and Eppley, R. W., 1981, Light, temperature and nitrogen as interacting factors affecting diel vertical migrations of dinoflagellates in culture, J. Plankton Res., 3(2): 331-344.
- Horstmann, U., 1980, Observations on the peculiar diurnal migration of a red tide dinoflagellate in tropical shallow waters, J. Phycol., 16: 481-485.
- Kamykowski, D., 1980, Subthermocline maximums of the dinoflagellate Gymnodinium simplex (Lohman) Kofoid and Swezy and Gonyaulax Polygramma Stein, Northeast Gulf Science, 4: 39-43.
- Kamykowski, D., 1981, Laboratory experiments on the diurnal vertical migration of marine dinoflagellates through temperature gradients, Mar. Biol., 62: 57-64.
- Kamykowski, D., 1986, The temperature-acclimated swimming speed of selected marine dinoflagellates, J. Plank. Res., 8(2): 275-287.
- Levandowsky, M. and Kaneta, P. J., 1987, Behaviour in dinoflagellate, In The Biology of Dinoflagel-

lates, ed., by Taylor, F. J. R., Blackwell Scientific Publications (London), pp. 360-398.

- Olsson, P. and Graneli, E., 1991, Observations on diurnal vertical migration and phased cell division for three coexisting marine dinoflagellates, J. Plank. Res., 13(6): 1 313-1 324.
- Peters, N., 1929, Uber Orts-und Geipelbewegung bei marinen Dinoflagellaten, Arch. f. Protistenk. Bd., 67: 291-321.
- Sournia, A., 1978, Phytoplankton Manual, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Paris), pp. 81-101.
- Throndsen, J., 1973, Motility in some marine nanoplankton flagellates, Norwegian J. Zoology, 21: 193-200.
- Watanaba, M. M. et al., 1983, Diurnal vertical migration and dark uptake of nitrate and phosphate of red tide flagellates, *Heterosigma akashiwo* HADA and *Chastonella antiqua* (HADA) ONO (Raphidophyceae), Jap. J. Phycol., **31:** 161-166.
- Weiler, C. S. and Karl, D. M., 1979, Diel changes in phased dividing cultures of *Ceratium furca* (Dinophyceae): nucleotide triphosphates, adenylate energy charge, cell carbon, and patterns of vertical migration, J. Phycol., 15: 384-391.

DIURNAL VERTICAL MIGRATIONS OF TWO DINOFLAGELLATES*

Zhou Mingjiang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071)

M. Elbrächter

(Biologische Anstalt Helgoland, Germany, 2282 List/sylt)

ABSTRACT

Clear patterns of diurnal vertical migration of two dinoflagellates, Alexandrium lusitanicum and Y-100 were observed using a 150cm long and 3.4cm diameter glass tube in a dark room. The results show that both algae started to move upwards with speeds of 240 μ m/s and 280 μ m/s, respectively, 2 hours before light on and began to swim downwards 3 hours before light off with speeds of 850 μ m/s and 1400 μ m/s, respectively. The growth of Y-100 showed distinctly phased division. The peak of division frequency appeared 1 hour before light on with division frequencies of 13%-17% while the division frequencies at other times were less than 3%. Vertical migration enables the algae to assimilate sun energy at the top layer and to take up nutrients at the bottom, hence to growth quickly under other suitable conditions to form red tides.

Key words Red tide Dinoflagellate Vertical migration

*Contribution No. 2261 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.