

夜光藻的营养动力学*

周成旭 吴玉霖 邹景忠

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 从饵料、外界营养条件和离子变动的角度研究了夜光藻的营养动力学。结果表明,夜光藻与其饵料之间存在类似米氏方程的定量关系,外界离子变动可以影响夜光藻的生理活动,并提出了夜光藻赤潮形成的生化聚集机制。

关键词 夜光藻 营养 赤潮

夜光藻 *Noctiluca scintillans* (Macartney) 是一种完全异养的重要赤潮种类(陈汉辉等,1991,高山晴义,1977)。这种异养特性使其种群自然年变动及赤潮形成与外界饵料之间密切相关,可至今缺乏有关的野外调查和室内实验资料。其他研究表明(Nawata, et al., 1983; Nawata, et al., 1986; Metivier, 1986),外界营养条件如细胞周围微环境势必影响其生理活动,外界离子变化影响夜光藻的触手活动和捕食,这种环境条件的大范围持续作用会导致整个种群变动。

本文报道了室内培养夜光藻在不同饵料密度和不同营养条件下的生长状况,并提出了夜光藻赤潮形成的生化聚集机制。

1 材料和方法

1.1 夜光藻 采自青岛湾小青岛旅游码头,以 III 型浮游生物网拖网,在解剖镜下分离纯种。

1.2 饵料 扁藻 (*Platymonas* sp.) 被证明是最有利于夜光藻生长的饵料,因此选扁藻为饵料。

1.3 实验条件 温度: 18℃ 恒温; 光照: 2 300 lx, L:D = 12:12; 盐度: 32 ± 1, 每两天对夜光藻计数一次。

1.4 实验方法

1.4.1 不同扁藻密度下的夜光藻生长测定 在 200ml 消毒海水中接种夜光藻 200 个,共 6 组,每组加入扁藻使水体中的扁藻密度分别为: I. 1×10^3 ; II. 5×10^3 ; III. 1×10^4 ; IV. 1.5×10^4 ; V. 2×10^4 ; VI. 1×10^5 (cell/ml)。实验期间不再添加扁藻,在上述实验条件下培养 10d。

1.4.2 在同一饵料密度下,接种入不同夜光藻量的生长测定 扁藻密度设定为 5.5×10^4 cell/ml,实验分 5 组,各组夜光藻初接种数为每 200ml 消毒海水 200, 400, 600, 800, 1 000 个,实验中不再添加饵料,在上述条件下进行培养。

1.4.3 不同营养条件下的夜光藻生长测定 实验分加富 (E,B) 和不加富 (N,A) 组,

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2259 号。国家自然科学基金资助, 9389008 号。

收稿日期: 1993 年 7 月 22 日,接受日期: 1993 年 11 月 29 日。

加富组为在水体中加入 10ml *f/2* 单细胞藻培养液。在 200ml 水体中接种夜光藻 200 个, 扁藻密度 $0.31 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。E,N 组内加扁藻; A,B 组内不加扁藻。实验同期记录水体中扁藻的变化。

1.4.4 夜光藻的复壮测定 对夜光藻首次进行长期室内培养, 对夜光藻出现衰落情况进行加富培养使之恢复。衰退中的夜光藻表现为活动力低, 细胞泛白, 部分个体触手脱落, 细胞沉底, 不能捕食。复壮采用 *f/2* 培养液加富, 将一半水体换成 *f/2* 培养液, 同时也适量加入扁藻。

2 实验结果

2.1 不同扁藻密度下夜光藻的生长结果 当饵料密度不同时夜光藻的生长明显不同(图 1)。在实验的饵料密度范围内, 饵料密度越大, 夜光藻生长越明显。夜光藻生长率和饵料密度的关系为: 扁藻密度增加, 夜光藻的生长率也增加, 但并不呈直线相关(图 2)。夜光藻的生长率计算为: $R_t = (N_t - N_{t-1}) / (N_{t-1} \times \text{计数间隔天数})$, N 为夜光藻数量; t 为计数天数。

以夜光藻的生长率和扁藻密度的倒数作图可见其明显的直线相关,(图 3), 拟合直线方程 $y = 0.148x + 0.0139$, 相关系数 $r = 0.960$ 。根据 Mathews (1990) 的理论, 夜光藻的生长率(v)和扁藻密度($[s]$)之间存在类似米氏方程关系:

$$v = \frac{V_{\max} \cdot [s]}{K_m + [s]}$$

式中, K_m 为米氏常数; V_{\max} 为最大生长率。

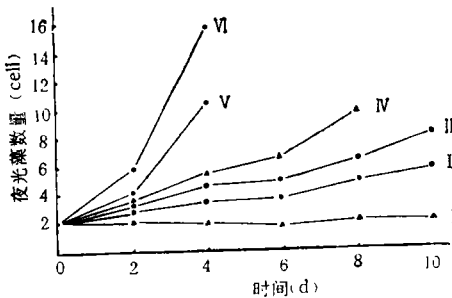


图 1 不同扁藻密度下夜光藻的数量变化
Fig. 1 Growth of *Noctiluca scintillans* at different densities of *Platymonas* sp.

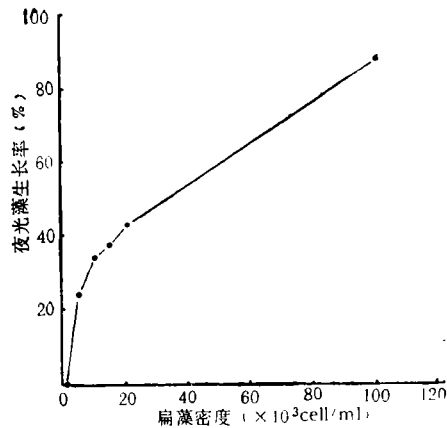


图 2 不同扁藻密度下夜光藻的生长率
Fig. 2 Growth rates of *Noctiluca scintillans* at different densities of *Platymonas* sp.

2.2 在同一饵料密度下, 接种人不同夜光藻数量的生长结果 实验结果如图 4。在扁藻密度相同的情况下, 不同初接种量的夜光藻生长率和生长变化趋势是相近的。图 4 中的夜光藻初生长率相似, 平均为 20.70%。随着生长, 扁藻消耗, 夜光藻的变化趋势也相似, 可见饵料密度对夜光藻生长率起一定的决定作用。

2.3 不同营养条件下的夜光藻生长结果 在有饵料的情况下(E,N 组), 加富组(E)夜

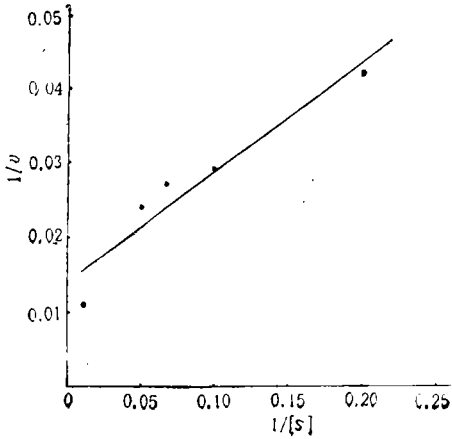


图 3 夜光藻生长率倒数与扁藻密度倒数关系图

Fig. 3 Lineweaver-Burk Plot ($1/v-1/[S]$) showing Michaelis-Menton kinetic relationship between growth rates of *Noctiluca scintillans* and densities of *Platymonas* sp.

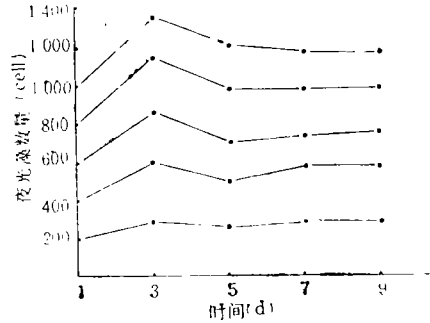


图 4 不同夜光藻初始密度的夜光藻数量变化

Fig. 4 Growth of *Noctiluca scintillans* at different initial densities

光藻的生长明显大于不加富组;没有饵料时(A,B组),营养盐的加入对生长没有影响,而只有当加富的B组中第4天再接入扁藻后夜光藻又表现出明显的生长,而且其生长率也增加(表1)。

表 1 不同营养条件下的夜光藻生长(个)

Tab. 1 Growth of *Noctiluca scintillans* at different nutritional conditions

组别	1	2	3	4	5	6	7
E组	200	197	215	291(35%)	425(46%)	713(67%)	1150(61%)
N组	200	202	249	295(18%)	344(16%)	406(18%)	535(31%)
A组	200	178	142	134	116	118	110
B组	200	171	140	126	150(19%)	211(41%)	370(75%)

表中括号内为生长率, $R_t = (N_t - N_{t-1})/N_t \times$ 培养计数间隔天数。式中, R_t 为生长率; N 为夜光藻数量; t 为计数第次数。

从同期夜光藻培养水体中扁藻饵料的变化(表2)看出, E_p 和 N_p 都明显低于 P_e 和 P_n , 说明夜光藻对扁藻有明显的捕食行为,其捕食效率于第6天显著增加,与表1中第6天夜光藻生长率显著增加相对应,说明夜光藻生长与饵料具有密切关系。

捕食效率: 加富条件下: $R_e = (P_e - E_p)/P_e$; 不加富条件下: $R_n = (P_n - N_p)/P_n$ 。

2.4 夜光藻的复壮结果 对长期培养的夜光藻出现衰落时的个体进行复壮, 结果显示: 衰退个体可以恢复正常,触手重又长出,细胞恢复无色透明,并开始繁殖。对其个体

表 2 不同营养条件下扁藻的生长结果 ($\times 10^4$ cell/ml)Tab. 2 Growth of *Platymonas* sp. at different nutritional conditions

不同扁藻密度	1	2	3	4	5	6	7
E_p	0.31	<1.00	1.00	2.30	2.00	1.25	2.75
N_p	0.31	<1.00	<1.00	1.00	1.20	1.12	1.75
P_e	0.31	1.50	2.50	2.00	2.75	4.90	4.20
P_n	0.31	<1.00	<1.00	1.00	1.50	2.00	2.40
R_e					28%	74%	35%
R_n					20%	44%	27%

E_p . 加 $f/2$ 的夜光藻培养水体中扁藻密度; N_p . 不加 $f/2$ 夜光藻水体中扁藻密度; P_e . 加 $f/2$ 的扁藻培养水体中的扁藻密度; P_n . 不加 $f/2$ 扁藻水体中扁藻密度。

大小测量的结果(表 3)表明,夜光藻个体有一定的生长,但其数量有下降,这归因于部分严重衰落的个体无法再恢复其正常生活状态而死亡。

表 3 夜光藻的个体生长结果

Tab. 3 Individual growth of *Noctiluca scintillans*

日期 (月·日)	夜光藻个数	平均大小 (mm)
8.24	16	0.70
8.25	16	0.74
8.26	12	0.76
8.27	11	0.85

在夜光藻长期培养水体中,可观察到偶然发生的夜光藻红色聚集,密度达 30cell/ml 左右,此时除盐度变化较大外(38S),其它条件均较稳定。该密度在以前的水体中也曾达到,但并未出现聚集,说明一定密度的夜光藻聚集需要有一定的生理生化机制。

3 结语与讨论

3.1 饵料和夜光藻种群生长的关系 夜光藻的异养机制决定了它的数量变动与外界饵料之间必然存在一定的关系,由上述实验结果来看,外界饵料密度决定着夜光藻的生长率,两者之间表现了密切的定量相关关系。这种关系类似米氏方程,即酶反应中的反应速度与底物浓度之间的定量相关。方程中的最大生长率 V_{max} (71.94%)表明了一种环境容量对夜光藻所造成的压力,不变量 K_m (10.65)表明夜光藻与饵料之间具有一种代谢上的生化反应恒量。由图 4 结果看到,饵料密度一定时,夜光藻的变化趋势相似,说明饵料密度确实决定着夜光藻的生长率。若外界饵料密度及其它环境因子保持相对恒定,那么夜光藻势必以一定的速度增长,就可能预测达到赤潮密度的时间。上述不变量 K_m 对不同饵料存在差异,通过大量工作可找到不同 K_m 值作为一个有效参数,对于象夜光藻这样一个完全异养的种类,研究它与其它生物的种间关系的动态变化将比单纯的调查其数量动态更有意义。

3.2 外界营养条件与夜光藻种群生长的关系 从加富实验看出,加富条件使饵料密度增加进而使夜光藻生长率明显大于不加富组;而无饵料的 A, B 两组则表现下降。这说明

夜光藻生长明显需要饵料,外界营养条件可通过使饵料增加而促进夜光藻的生长。

从对长期培养而衰退的夜光藻进行加富培养而使其得到恢复的实验看出,水体加富不仅能改善饵料状态,对夜光藻的生理活动也有一定的调节作用,能改善夜光藻的生活环境而使夜光藻的生活状态得以恢复。Nawata 等(1983),Metivier(1986)报道,外界离子条件对夜光藻细胞自身有一定的作用。外界营养条件的改变则势必会影响到夜光藻细胞生理活动及代谢和种群生长。

3.3 夜光藻赤潮时的细胞聚集机制——从细胞自身生理生化上的解释 我们在夜光藻长期培养水体中发现了红色聚集。有关夜光藻的聚集原因在野外调查中有很多解释,如风、流等引起的聚集,但从其自身生理的角度解释尚未见有报道。Balch 等(1984)认为,夜光藻赤潮的红色是缘于体内所含丰富的胡萝卜素类;Okaichi(1976)研究认为,夜光藻体内含有丰富的 $\text{NH}_3\text{-N}$; Moore(1982)在研究植物调节剂时称植物调节剂能作用于遗传机制,激发产生胡萝卜素的特殊基因,促进胡萝卜素的产生和防止其损失。值得注意的是,这些植物调节剂都含有二乙氨基类物质 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{N-}$,因此认为:由于水体中离子环境(如上述盐度的增加)变化,可能促使夜光藻的生理代谢途径发生了变化,通过某种机制使夜光藻体内丰富的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 或 NH_4^+ 向二乙氨基物质转化,从而作用于产生类胡萝卜素的特殊基因使类胡萝卜素大量产生,细胞分泌大量粘液(平时时粘性并不大)而造成夜光藻的聚集。由此看出,在没有外界水文气象等条件的室内培养中,夜光藻自身生理变化是造成夜光藻聚集的原因。因此,虽然夜光藻是完全异养的,但生活在天然水环境中的夜光藻也直接受到外界环境条件的影响和调节,由此看来,异养的夜光藻数量动态及赤潮形成受到外界营养条件和离子变动的直接作用也是可能的。

参 考 文 献

- 陈汉辉、杞桑,1991,夜光藻摄食和营养繁殖的昼夜节律,暨南大学学报,12(3): 104—107。
- 高山晴義,1977,ヤコウチュウ *Noctiluca scintillans* (Macartney) の培養とその観察,日本浮游生物学会報,24(2): 159—162。
- Balch, W. M., Haxo, F. T., 1984, Spectral properties of *Noctiluca miliaris* Suriray, a heterotrophic dinoflagellate, *J. Plankton Res.*, 6: 515—525.
- Mathews, C. K., 1990, Biochemistry, The Benjamin/Cumming Publishing Company, pp. 357—362.
- Metivier, T., 1986, Motility of the tentacle of *Noctiluca scintillans*, a highly evolved dinoflagellate 1. Ionic regulation, *Biol. Cell*, 56: 163—170.
- Moore, J. A., Dalrymple, D. L., Rodig, D. R., 1982, Experimental methods in organic chemistry, 3rd, CBS College Publishing, pp. 248.
- Nawata, T., Sibaoka, T., 1983, Experimental induction of feeding behaviour in *Noctiluca miliaris*, *Protoplasma.*, 116: 34—42.
- Nawata, T., Tomoki and Sibaoka, T., 1986, Membrane potential controlling the initiation of feeding in the marine dinoflagellate, *Noctiluca*, *Zool. Sci. (Tokyo)*, 3: 49—58.
- Okaichi, Y., 1976, Identification of ammonia as the toxic principle of red tide of *Noctiluca miliaris*, *Bull. Plankton Soc. JPN.*, 23: 25—30.

NUTRIENT DYNAMICS OF *NOCTILUCA SCINTILLANS* (MACARTNEY)*

Zhou Chengxu, Wu Yulin, Zou Jingzhong
(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

ABSTRACT

This paper, experimental work on the nutrient dynamics of *Noctiluca scintillans* from Qingdao Bay through its food, external nutrient conditions and ion conditions, showed that: Its growth rate depend to some extent on the external density of feed alga *Platymonas* sp. For a certain feed alga, there exists a highest growth rate of *N. scintillans*, the constant K_m may display the metabolical relation between *N. scintillans* and feed alga. External ion conditions, and other environmental conditions, may affect population fluctuation by affecting the metabolism pathway of *N. scintillans*. The aggregation mechanism of *N. scintillans* red tide from the biological and physiological aspects are discussed.

Key words *Noctiluca scintillans* Nutrition Red tide

* Contribution No. 2259 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.