

眼点拟微绿球藻与扁藻在不同接种比例下的竞争*

陈洁 段舜山** 李爱芬 郭羽丰 张亚楠

(暨南大学水生生态科学研究所 广州 510632)

提要 通过对眼点拟微绿球藻和扁藻进行共培养试验,结果表明,在共培养条件下,眼点拟微绿球藻和扁藻的生长速度均受到抑制,即两种藻的最大生长密度均比对照(分别单独培养)有显著降低,而且眼点拟微绿球藻降低的程度要大于扁藻。经计算两种藻的种间竞争系数可知,扁藻的种间竞争能力明显强于眼点拟微绿球藻。

关键词 眼点拟微绿球藻,扁藻,共培养,竞争

中图分类号 949.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)05-0073-04

种间竞争是生物群落中普遍存在的物种间相互产生负效应的一种作用关系。Keating 研究了蓝绿藻对硅藻生长的抑制现象^[1]。Holm 等^[2]报道了硅藻和微囊藻种间的相互作用。Hegarty 等^[3]研究了光强和氮磷比对棕囊藻和 5 种硅藻间竞争的影响。Kurwata 等^[4]研究了铵盐对绿藻和蓝藻间竞争作用的影响。Davis 等^[5]研究了海藻和海草间的竞争。Piazzi 等^[6]研究了 2 种海洋绿藻生长的竞争情况。刘世枚和黎尚豪^[7]研究了 2 种蓝藻种群间的相互作用。陈德辉和刘永定^[8]对微囊藻和栅藻共培养进行了研究并计算了竞争参数。他们的研究结果均表明不同的藻类之间存在着明显的种间竞争现象。

为了深入了解微藻的生态学特性,本文采用眼点拟微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)和扁藻(*Platymonas* sp.)进行共培养试验。*N. oculata* 是一种可用于泥蚶养殖,中国对虾、斑节对虾等育苗的海洋微藻,细胞球形或椭圆形,单细胞悬浮,黄绿色^[9]。扁藻也是一种易被鱼、虾、贝(如泥蚶)等海产珍品幼体摄食的海洋微藻,在国内外被广泛培养用作海产珍品育苗的开口饵料^[10],具鞭毛,绿色。两者都生长较快,适应广。通过将两者做共培养试验,分析其竞争机制,为合理选择饵料藻种、优化调控微藻培养模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 藻种来源

试验用眼点拟微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)和扁藻(*Platymonas* sp.)均来自暨南大学水生生态科学

研究所藻种室。通过预备试验测得,*N. oculata* 的最大环境容量为 $2\,025.833\,6 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, *Platymonas* sp. 的最大环境容量为 $254.826\,3 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。两种藻的环境容量比表明,1 个 *Platymonas* sp. 细胞约相当于 8 个 *N. oculata* 细胞个体。

1.2 培养条件

试验藻于室内 LRH-400-G II 型光照培养箱中用 150 mL 的锥形瓶培养,培养温度为 $24\,^{\circ}\text{C} \pm 1\,^{\circ}\text{C}$,光照强度为 6 000 lx 左右,光暗比为 12:12,盐度为 35,pH 为 6.5~7.0。采用 f/2 培养基。

1.3 试验处理

试验设计 5 种处理:A. 对照, *N. oculata* (以下用字母 O 表示)、*Platymonas* sp. (以下用字母 P 表示)分别单独培养;B. 两种藻共培养起始密度比 $O:P=4:1$;C. 共培养起始密度比 $O:P=1.3:1$;D. 共培养起始密度比 $O:P=1:3.3$;E. 共培养起始密度比 $O:P=1:6.7$ 。每处理设 3 个重复。

* 国家“973”计划项目 2001CB409710 号和国家自然科学基金 30270231 号资助。

第一作者:陈洁,出生于 1978 年,硕士研究生,研究方向:水污染生态学。Email:chenjie0401@sohu.com

** 通讯联系人:段舜山,博士,教授,从事环境生物学的研究。Email:tssduan@jnu.edu.cn

收稿日期:2002-11-20;修回日期:2003-02-10

1.4 测定和计算方法

细胞计数:采用血球计数板,在 OlympusCH30 型双筒显微镜下进行细胞计数。自接种的次日起为第 1 天,在每天的同一时间计数,直到藻类的数量增长小于或等于 5% 为止。取得每日(t)细胞数(N)。

最大环境容量 K 和竞争抑制参数的计算:取细胞密度达到最大值之前的数据,以逻辑斯谛方程拟合藻类的增长过程。利用逻辑斯谛方程的积分式: $N_t = K / (1 + e^{(a-r \times t)})$ [11] 为模型公式,用统计软件 SPSS10.0 进行非线性回归分析,获得 K 、 a 和 r 的估计值。利用 Lotka-Volterra 的竞争模型的差分形式 [12,13]:

$$\frac{N_{On} - N_{On-1}}{t_n - t_{n-1}} = r_O N_O \left(\frac{K_O - N_{On-1} - \alpha N_{Pn-1}}{K_O} \right) \quad (1)$$

$$\frac{N_{Pn} - N_{Pn-1}}{t_n - t_{n-1}} = r_P N_P \left(\frac{K_P - N_{Pn-1} - \beta N_{On-1}}{K_P} \right) \quad (2)$$

式中, N_{On} 、 N_{Pn} 分别为共培养中 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 在时间 t_n 时的细胞数量(为计算方便,此处用细胞数目的对数值); N_{On-1} 、 N_{Pn-1} 分别为共培养中 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 在时间 t_{n-1} 时的细胞数量值; r_O 、 r_P 分别为 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 的增长率; K_O 、 K_P 分别为 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 的最大环境容量; α 、 β 分别为共培养中 *Platymonas* sp. 对 *N. oculata* 和 *N. oculata* 对 *Platymonas* sp. 竞争抑制参数。应用上述公式计算共培养藻类增长曲线在拐点 $t = a / r$ 以后的每一单位时间的所有的竞争抑制参数,取其平均值作为该种藻的竞争抑制参数的估计值 [14]。

2 结果与讨论

2.1 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 分别单独培养

通过将 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 各自进行单种培养,从生长曲线(图 1A)可以看出,在渐趋稳定后, *N. oculata* 的细胞数要大大超过 *Platymonas* sp.。从 *N. oculata* 的增长回归方程: $N_t = 2\,025.833\,6 / (1 + e^{3.1403 - 0.4763 \times t})$ ($R^2 = 0.96712$) 可知,最大环境容量为 $2025.8336 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。 *Platymonas* sp. 在单种培养时的增长回归方程: $N_t = 254.826\,3 / (1 + e^{3.2756 - 0.2423 \times t})$ ($R^2 = 0.97302$),其最大环境容量为 $254.8263 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

2.2 *N. oculata* 与 *Platymonas* sp. 共培养

共培养条件下,在处理 B 的相对接种密度比为

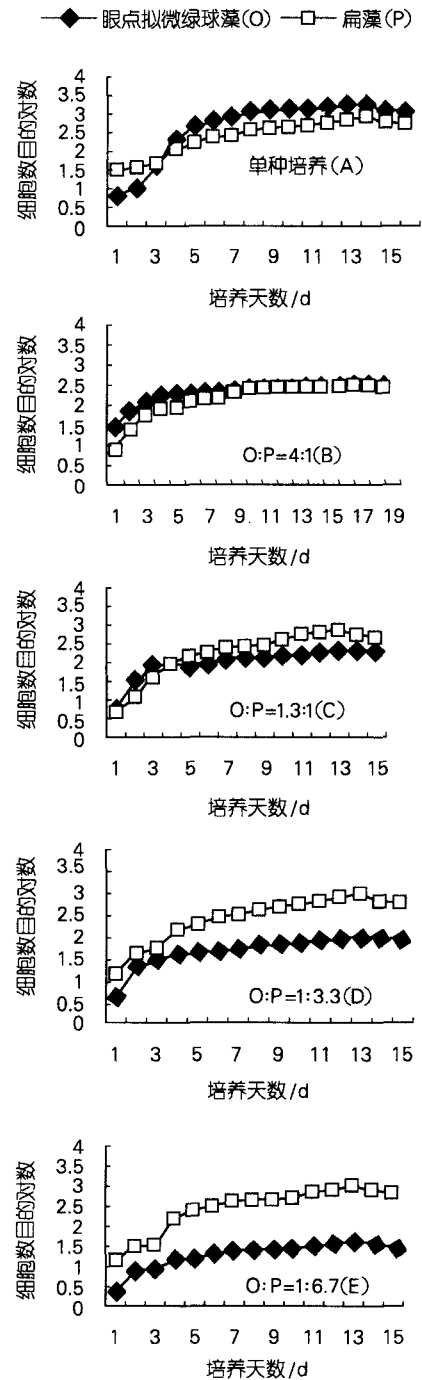


图 1 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 在不同处理下的生长曲线
Fig. 1 The growth curves of *N. oculata* and *Platymonas* sp. under different treatments

为直观起见,本文所有的图均已将 *Platymonas* sp. 以 1:8 的比例换算为 *N. oculata* 的细胞数

4:1 时, *N. oculata* 的回归方程为 $N_t = 365.8479 / (1 + e^{1.3241 - 0.2761 \times t})$ ($R^2 = 0.95856$), 最大分密度为 $365.8479 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, 为对照的 18%; *Platymonas* sp. 的回归方程为: $N_t = 39.6528 / (1 + e^{2.5081 - 0.4079 \times t})$ ($R^2 = 0.98104$), 最大分密度是 $39.6528 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, 仅有对照的 16%。同时可以看出, *Platymonas* sp. 虽然相对接种密度只占 1/4, 但是最终密度几乎等同于 *N. oculata* (图 1B)。

处理 C 中两种藻的相对接种比例为 1.3:1 时, *N. oculata* 的回归方程为 $N_t = 344.5761 / (1 + e^{1.8367 - 0.2361 \times t})$ ($R^2 = 0.91130$), 最大分密度为 $344.5761 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, 为对照的 17%; *Platymonas* sp. 的方程为 $N_t = 200.9250 / (1 + e^{3.6033 - 0.3255 \times t})$ ($R^2 = 0.98294$), 最大分密度为 $200.9250 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, 占对照的 78%。本处理中, *Platymonas* sp. 的接种比例稍低于 *N. oculata*, 但在指数生长期它的密度就超过了 *N. oculata*, 并持续占据主导地位(图 1C)。

处理 D 中两种藻的相对接种比例为 1:3.3 时, *N. oculata* 的回归方程为 $N_t = 124.4895 / (1 + e^{1.7912 - 0.2409 \times t})$ ($R^2 = 0.95538$), 最大分密度为 $124.4895 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, 占对照的 6%; *Platymonas* sp. 回归方程为 $N_t = 210.1752 / (1 + e^{3.5622 - 0.2905 \times t})$ ($R^2 = 0.98650$), 最大分密度为 $210.1752 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, 占对照的 82%(图 1D)。

处理 E 中两种藻的相对接种比例为 1:6.7, *N. oculata* 回归方程为: $N_t = 44.1912 / (1 + e^{1.7636 - 0.2872 \times t})$ ($R^2 = 0.94924$), 最大分密度为 $44.1912 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, 只有对照的 2%; *Platymonas* sp. 回归方程为: $N_t = 223.2481 / (1 + e^{3.0967 - 0.2709 \times t})$ ($R^2 = 0.95514$), 最大分密度为 $223.2481 \times 10^4 \text{ cell} \cdot \text{mL}^{-1}$, 为对照的 87%(图 1E)。处理 D 和 E 的接种比例均是 *Platymonas* sp. 占优势, 而且这一优势持续到试验结束。

通过计算不同处理中两种藻细胞数的总密度(图 2), 在共培养条件下藻细胞总密度均没有超出两种藻分别培养时的水平(A1 和 A2)。在 B 处理中 *N. oculata* 占优势的情况下, 藻细胞总密度比对照显著降低, 只有对照的 33.6%。在 E 处理中 *Platymonas* sp. 占绝对优势的情况下, 藻细胞总密度接近对照, 占对照的 89.7%。C 处理和 D 处理的藻细胞总密度分别为对照的 95.8% 和 88.6%。

图 2 显示, 当 *N. oculata* 的分密度过高时, 藻细胞总密度显著低于对照, 似乎表明 *N. oculata* 的竞争力

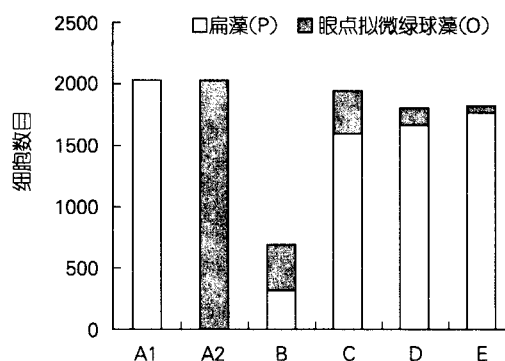


图 2 不同处理的藻细胞数总密度

Fig. 2 Density of the algal cell under different treatments

或资源利用率不及 *Platymonas* sp.。在处理 C 中, 虽然 *N. oculata* 的初始接种密度高于 *Platymonas* sp. 30%, 但随着培养时间的延长, *Platymonas* sp. 比例逐步占据主导地位, 而且藻细胞总密度几乎与对照相等 (95.8%)。如果在生产上以 *Platymonas* sp. 为主要需求时, 适当加大 *Platymonas* sp. 的共培养比例, 不至于造成总藻产量的明显下降。但若以 *N. oculata* 为主要需求时, 最好采取单独培养的方式。

2.3 竞争力大小

以单种培养中拟合获得的 K 值、 r 值和共培养中拐点后的 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 的细胞数代入公式(1)、(2), 计算各自的竞争抑制参数 α 、 β 。在共培养条件下, 处理 B 中 *Platymonas* sp. 对 *N. oculata* 的竞争抑制参数 (α) 的平均值是 32.16, *N. oculata* 对 *Platymonas* sp. 的竞争抑制参数 (β) 的平均值是 0.56。处理 C 中, α 的平均值是 23.77, β 的平均值是 1.16。处理 D 中, α 的平均值是 24.08, β 的平均值是 4.79。处理 E 中, α 的平均值是 25.71, β 的平均值是 10.14。显而易见, 在四个共培养处理中, *Platymonas* sp. 的种间竞争力皆大于 *N. oculata*。

2.4 种群瞬时增长率

种群的瞬时增长率 r , 是描述种群在无限环境中呈几何级数式增长的瞬时增长能力^[8]。分别计算各处理中两种藻的 r 值, 得出结果如图 3。*N. oculata* 在单独培养时具有较高的 r 值, 共培养时 r 值则较低, 说明其种内及种间竞争力均比较弱。*Platymonas* sp. 却恰恰相反, 在单独培养时 r 值较低, 共培养时 r 值相

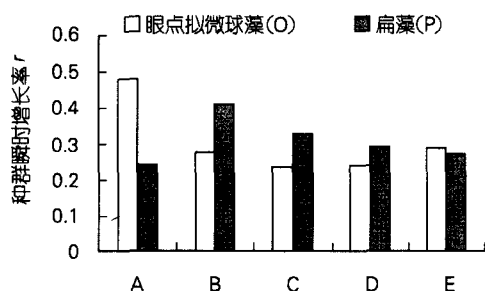


图3 *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 在不同接种比例下的瞬时增长率

Fig. 3 The growth rate of *N. oculata* and *Platymonas* sp. with different inoculative proportion

对较高,说明 *Platymonas* sp. 不仅种间竞争力较强,而且种内竞争更加激烈。

关于 *Platymonas* sp. 具有较强竞争力的原因,也许是因为扁藻 *Platymonas* sp. 具鞭毛,能运动,在资源的利用方面具有主动性。同时,在藻细胞生长数目增多后,由于藻体悬浮彼此遮光,藻细胞光照量不足,这时 *Platymonas* sp. 可能具有主动趋光的能力,这是 *N. oculata* 所不具备的。

3 结论

(1) *N. oculata* 和 *Platymonas* sp. 在共培养的条件下,表现出种间的相互抑制效应,两种藻的最大分密度都比对照下降。在相对接种密度占绝对优势的条件下,*N. oculata* 的最大细胞分密度仅占对照的 18%,而 *Platymonas* sp. 可达到对照的 87%。

(2) 4 种共培养处理中 *Platymonas* sp. 的竞争抑制参数 α 值在 23.77~32.16 之间,而 *N. oculata* 的竞争参数 β 仅为 0.56~10.14。同时,*Platymonas* sp. 在共培养中的种群瞬时增长率均大于对照的,而 *N. oculata* 恰好相反。这些均表明 *Platymonas* sp. 的种间竞争能力显著强于 *N. oculata*。

参考文献

- 1 Keating K I. Blue-green algal inhibition of diatom growth: Transition from mesotrophic to eutrophic community

structure. Science, 1978, 199(3): 971-973

- 2 Holm N P. Role of nutrient limitation and competition in controlling the population *Asterionella formosa* and *Microcystis aeruginosa* Kütz in semicontinuous culture. Limnology and Oceanograph, 1981, 26: 672-684
- 3 Hegarty S G, Villareal T A. Effects of light level and N:P supply ratio on the competition between *Phaeocystis* cf. *pouchetii* (Hariot) Lagerheim (Prymnesiophyceae) and five diatom species. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1998, 226(2): 241-258
- 4 Kuwata A, Miyazaki T. Effects of ammonium supply rates on competition between *Microcystis novacekii* (Cyanobacteria) and *Scenedesmus quadricauda* (Chlorophyta): simulation study. Ecological Modelling, 2000, 135(1): 81-87
- 5 Davis B C, Fourqurean J W. Competition between the tropical alga, *Halimeda incrassata*, and the seagrass, *Thalassia testudinum*. Aquatic Botany, 2001, 71(3): 217-232
- 6 Piazzali L Comparative study of the growth of the two co-occurring introduced green algae *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* along the Tuscan coast (Italy, western Mediterranean). Cryptogamie Ilogologie, 2001, 22(4): 459-466
- 7 刘世枚,黎尚豪.两种蓝藻种群间的相互作用.植物学报,1991,33:110-117
- 8 陈德辉,刘永定.微囊藻和栅藻共培养实验及其竞争参数的计算.生态学报,1999,19(6):908-913
- 9 陈洁,蒋霞敏,段舜山.眼点拟微绿球藻生长的生态因子分析.生态科学,2002,21(1):50-52
- 10 张华军,潘双叶,李元广. NaHCO_3 在亚心形扁藻培养中的作用.浙江海洋学院学报(自然科学版),2001,20(3):202-204
- 11 刘建康.高级水生生物学.北京:科学出版社,1999.63-72
- 12 尚玉昌,蔡晓明,等.普通生态学.北京:北京大学出版社,1992.108-117
- 13 孙儒泳,李博.普通生态学.北京:高等教育出版社,1993.106-108
- 14 孙儒泳.动物生态学原理.北京:北京师范大学出版社,1987.216

(下转封三)

COMPETITION BETWEEN *Nannochloropsis oculata* AND *Platymonas* sp. UNDER DIFFERENT INOCULATIVE PROPORTION

CHEN Jie DUAN Shun-Shan LI Ai-Fen GUO Yu-Feng ZHANG Ya-Nan
(*Institute of Aquatic Ecoscience, Jinan University, Guangzhou, 510632*)

Received: Nov., 20, 2002

Key Words: *Nannochloropsis oculata*, *Platymonas* sp., Co-culture, Competition

Abstract

Experiments of co-culture with *Nannochloropsis oculata* and *Platymonas* sp. were carried out, and the results showed a transparent phenomenon of interspecific bating between them under the condition of co-culture. In the co-culture, maximum densities of the two specieses were affected, with a greater influence on *Nannochloropsis oculata* than on *Platymonas* sp. through comparing with those from the pure culture of the two species. Each of the interspecific competitive parameters of one species to the other was calculated, the results showed *Platymonas* sp. possessed a more interspecific competitive capacity.

(本文编辑:张培新)