

## 微绿球藻、隐藻、颤藻的种间竞争关系

王少沛<sup>1,2</sup>, 李卓佳<sup>1</sup>, 曹煜成<sup>1</sup>, 陈素文<sup>1</sup>, 杨莺莺<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 广东海洋大学, 广东 湛江 524000)

**摘要:** 采用陈海水配制的无机培养液, 添加营养盐的无机培养液和对虾养殖池水3种培养液, 分别对微绿球藻 (*Nannochloropsis oculata*)、隐藻 (*Cryptomonas erosa*) 和颤藻 (*Oscillatoria* sp.) 进行单培养和混合培养, 探讨3种微藻的增殖规律和相互关系。观测各处理组微藻的生长状况, 并以Lotka-Volterra的双种竞争模型为基础, 计算3种微藻在生长拐点后各取样点的竞争抑制参数。结果显示, 在各处理组中, 实验前期微绿球藻和隐藻对颤藻的生长都具有一定的促进作用, 颤藻在混合培养组中的生物量大于单培养组, 而微绿球藻和隐藻的最大生物量均出现在其单培养组。在各组生长拐点后, 微绿球藻对颤藻的影响较小, 隐藻对颤藻的抑制作用明显, 各取样点隐藻对颤藻的竞争参数远大于微绿球藻对颤藻的竞争参数 ( $P < 0.05$ ); 颤藻对微绿球藻有较小的抑制作用, 而对隐藻的抑制作用明显, 各取样点颤藻对隐藻的竞争参数均为各组的最大值。实验结果表明, 3种微藻按竞争力从大到小依次为颤藻、隐藻、微绿球藻。颤藻对隐藻和微绿球藻有较强的抑制作用, 而微绿球藻和隐藻之间的竞争抑制作用较弱, 能够达到“共存”状态。[中国水产科学, 2009, 16(5): 765-772]

**关键词:** 微绿球藻; 隐藻; 颤藻; 共培养; 种间竞争

**中图分类号:** S917

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-8738-(2009)05-0765-08

微藻是养殖水体生态系统重要的组成部分, 由其相互作用而形成的相对应的藻相, 能够对水质的变化起缓冲作用。池塘的藻相是动态变化的, 引起藻相变化的因素很多, 其中, 微藻间的种间竞争作用是促使藻相变化的重要因素。不同的微藻会对营养盐、光照等生态因子进行竞争<sup>[1-2]</sup>。微藻群落就是在竞争的过程中不断演替变化的。通过研究微藻间的竞争关系, 了解池塘里浮游微藻的变化规律对水产养殖环境调控具有重要意义。国内外对微藻的种间竞争已有相关报道, Piazzì等<sup>[1]</sup>研究了2种海藻——*Caulerpa taxifolia* 和 *Caulerpa racemosa* 的种内和种间竞争, 发现在细胞密度较低情况下, 2种微藻的相互促进作用明显, 但随着细胞密度的增大会产生相互抑制作用, *Caulerpa racemosa* 的竞争力强于 *Caulerpa taxifolia*。由于各种微藻对光照的需求不同, 所以在不同的光照条件下它们

的生长状况也不同, Huisman等<sup>[3]</sup>研究了绿藻和蓝藻对光照的竞争作用, 发现光强临界值低的微藻对光照的竞争作用较强。另外, Litchman<sup>[2]</sup>以2种蓝藻为实验对象, 研究它们在不同光照条件下的竞争和共存关系, 在稳定光源和波动光源2种条件下获得了完全不同的竞争结果。陈德辉等<sup>[4]</sup>报道了铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 和斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus* Turp.) 的共培养实验并计算了2种微藻的竞争抑制参数, 为微藻间竞争力的量化提供了参考。

水产养殖池塘的藻相和养殖效率息息相关, 但目前对养殖池藻相的研究比较少<sup>[5-6]</sup>。本实验选取对虾养殖池中常见的优势微藻——微绿球藻 (*Nannochloropsis oculata*)、隐藻 (*Cryptomonas erosa*) 和颤藻 (*Oscillatoria* sp.) 作为研究对象, 研究这3种藻在无机海水及有机物丰富的对虾养殖池排放水体中的

收稿日期: 2008-12-23; 修订日期: 2009-04-10.

基金项目: 十一五国家支撑计划项目 (2006BAD09A11, 2007BAD29B06); 南海水产研究所中央级科研院所基本科研专项 (2007ZD01); 广东省科技计划项目 (2006B20601009); 公益性行业科研专项 (nyhyzs07-042); 国家虾产业技术体系健康养殖研究室岗位专家经费.

作者简介: 王少沛 (1982-), 男, 硕士研究生, 从事水产养殖水体菌-藻关系研究. E-mail: happywsp2002@yahoo.com.cn

通讯作者: 李卓佳, 女, 研究员. 主要从事养殖池塘水环境修复和健康养殖技术研究. E-mail: zhuojiali609@163.com

增殖规律以及它们之间的竞争关系,为进一步研究微藻在池塘中的演替规律、调控微藻的生长、修复生态环境提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

微绿球藻(*N. oculata*)、隐藻(*C. erosa*)和颤藻(*Oscillatoria* sp.)均分离自广东省湛江市东海岛的对虾养殖池,保种于中国水产科学院南海水产研究所。

### 1.2 方法

**1.2.1 培养条件** 微藻的培养容器为500 mL锥形瓶,以恒温循环器水浴控温培养,温度为26~28℃,光照强度4 000 lx,光周期为12 L:12 D,盐度为15,每3 h摇动藻液1次,实验周期为16 d。

**1.2.2 容器及培养液的处理** 锥形瓶经120℃高温灭

菌备用。无机培养液:取陈化半年的外海海水上清液煮沸,冷却后加入NaNO<sub>3</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和柠檬酸铁,使N、P和Fe的浓度分别达到14 mg/L、2 mg/L和0.14 mg/L。

对虾养殖水培养液:从养殖池取水并用氯仿固定,测其氮、磷和COD作为本底参照,再取养殖水煮沸测氮、磷和COD,以NaNO<sub>3</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>和饵料浸出液调节至含无机氮0.63 mg/L、无机磷0.40 mg/L、COD为7.80 mg/L,与本底参照一致。

**1.2.3 实验设置** 实验分为7个组(表1)。每个实验组分别进行T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>3个处理。其中,T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>采用无机培养液,T<sub>1</sub>在培养过程不补充营养盐,T<sub>2</sub>在培养过程每3 d测定氮、磷浓度,酌情加入NaNO<sub>3</sub>和KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>,使氮、磷浓度达到初始水平;T<sub>3</sub>以对虾养殖池排出水为培养液。每个处理设3个重复。

表1 实验分组情况

Tab.1 Treatment groups of the experiment

组别 Group	种类 Species
A	微绿球藻( <i>Nannochloropsis oculata</i> )
B	隐藻( <i>Cryptomonas erosa</i> )
C	颤藻( <i>Oscillatoria</i> sp.)
D	微绿球藻+颤藻( <i>Nannochloropsis oculata</i> + <i>Oscillatoria</i> sp.)
E	隐藻+颤藻( <i>Cryptomonas erosa</i> + <i>Oscillatoria</i> sp.)
F	微绿球藻+隐藻( <i>Nannochloropsis oculata</i> + <i>Cryptomonas erosa</i> )
G	微绿球藻+隐藻+颤藻( <i>Nannochloropsis oculata</i> + <i>Cryptomonas erosa</i> + <i>Oscillatoria</i> sp.)

**1.2.4 接种** 将藻液以17 000 g离心5 min,去掉上清液;重复洗涤、离心操作1次,去除原培养液中的营养成分;用缺氮和缺磷的海水稀释至接种所需的藻细胞密度;在500 mL锥形瓶中加入接种液,使各种微藻的初始密度均为7×10<sup>4</sup> cells/mL。

**1.2.5 取样及测定** 每2天取1次藻样,以甲醛固定,用血球计数板在显微镜下计数(颤藻经过超声波破碎后计数),取得细胞数N<sub>2d</sub>。T<sub>1</sub>组每3天取1次水样测定磷的浓度。

氮、磷浓度及COD测定按海洋监测规范<sup>[7]</sup>进行测定:以靛酚蓝分光光度法测氨氮;萘乙二胺分光光度法测亚硝氮;锌-镉还原法测硝氮;磷钼蓝比色法测无机磷;碱性高锰酸钾法测定COD。

## 1.3 计算方法

以每个处理组最大的生物量(X<sub>max</sub>)作为K的估计值,利用Logistic方程的对数形式ln[(K-N)/N]=a-rt对各单培养组微藻拐点前的生长情况进行回归分析,得到方程中a和r的估计值。

对2种微藻混合培养组利用Lotka-Volterra竞争模型的差分形式计算:

$$(N_{pn}-N_{pn-1})/(t_n-t_{n-1})=r_p N_{pn-1} (K_p-N_{pn-1}-\alpha N_{qn-1})/K_p \quad (1)$$

$$(N_{qn}-N_{qn-1})/(t_n-t_{n-1})=r_q N_{qn-1} (K_q-N_{qn-1}-\beta N_{pn-1})/K_q \quad (2)$$

式中N<sub>pn</sub>和N<sub>qn</sub>为微藻p、q(p、q表示3种微藻中的2种)在t<sub>n</sub>时的密度(×10<sup>4</sup> cells/mL);N<sub>pn-1</sub>和N<sub>qn-1</sub>分别为微藻p、q在t<sub>n-1</sub>时的密度(×10<sup>4</sup> cells/mL);r<sub>p</sub>和r<sub>q</sub>为微藻p和q的增长率(由单培养经逻辑斯谛方程计

算得出);  $K_p$  和  $K_q$  为微藻 p、q 单培养时的最大环境容量;  $\alpha$  为微藻 q 对微藻 p 的竞争抑制参数;  $\beta$  为微藻 p 对微藻 q 的竞争抑制参数。

利用以上公式计算在拐点后的各取样点微藻 p、q 的竞争参数。其中, 拐点由  $t_p = (a - \ln 2) / r$  计算<sup>[4, 8-9]</sup>。

以单因素方差分析法对  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$  的竞争参数的计算结果进行分析, 确定氮、磷营养盐对微藻之间竞争作用的影响, 并分析同种处理组间微藻的生长差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 单培养和混合组中微绿球藻的生长情况

不同处理组中微绿球藻的生长情况如图 1-3 所示。微绿球藻单培养的最大生物量 ( $K$ ) 均为各处理组的最大值, 分别为  $1.33 \times 10^7$  cell/mL、 $1.10 \times 10^7$  cell/mL 和  $1.68 \times 10^7$  cell/mL。微绿球藻和颤藻混合培养时,  $T_1$  和  $T_3$  处理组的微绿球藻前期受颤藻的影响不明显, 在第 2 天和第 4 天 2 个处理组差异均不显著 ( $P > 0.05$ );  $T_2$  中, 前期微绿球藻的增长率  $r = 0.969$ , 远大于单培养组的  $r = 0.356$ , 说明混合培养前期颤藻对微绿球藻的生长有明显促进作用, 后期微藻的生长受到环境容量限制时, 微绿球藻受到颤藻的抑制, 从第 12 天起二者的混合培养组中微绿球藻数量显著低于单培养组 ( $P < 0.05$ )。在 3 种微藻混合培养组中, 微绿球藻的生长反而要好于微绿球藻和隐藻共培养组, 这是因为 3 种微藻共培养时颤藻抑制了隐藻的生长, 所以颤藻和隐藻对微绿球藻总的抑制作用相对减弱。

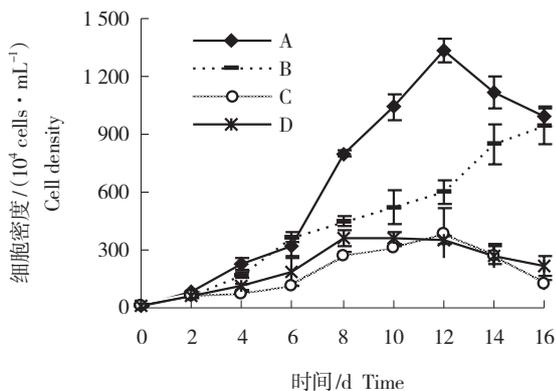


图1 无机培养液培养的各组中微绿球藻细胞密度变化  
A、B、C、D所代表含义参见表1。  
Fig. 1 Cell density of *Nannochloropsis oculatu* in inorganic culture solution  
Legends for A, B, C and D are shown in table 1.

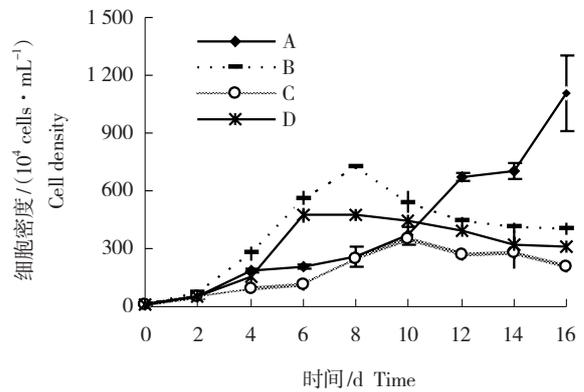


图2 补充营养盐的无机培养液培养的各组中微绿球藻细胞密度变化  
A、B、C、D所代表含义参见表1。  
Fig. 2 Cell density of *Nannochloropsis oculatu* in inorganic solution with complementary nutrition  
Legends for A, B, C and D are shown in table 1.

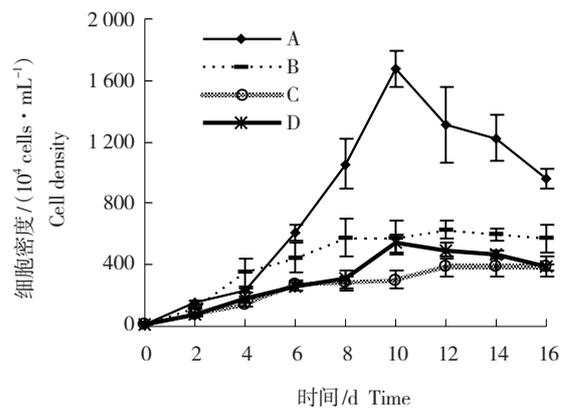


图3 对虾养殖水培养的各组中微绿球藻细胞密度变化  
A、B、C、D所代表含义参见表1。  
Fig. 3 Cell density of *Nannochloropsis oculatu* in prawn aquaculture water  
Legends for A, B, C and D are shown in table 1.

微绿球藻生长拐点后颤藻和隐藻对微绿球藻的竞争参数如表 2 所示。 $T_2$  中的颤藻对微绿球藻的竞争参数的平均值大于  $T_1$ , 即添加氮磷营养盐后更有利于颤藻的生长, 也就是说颤藻吸收氮磷等无机营养盐的能力大于微绿球藻。而  $T_3$  中的颤藻的竞争参数远大于  $T_1$  和  $T_2$  ( $P < 0.05$ ), 且微绿球藻的生长拐点比  $T_1$  和  $T_2$  提前, 这表明对虾养殖水中营养资源较少, 而颤藻的相对竞争力更强。 $T_1$  中隐藻对微绿球藻的竞争参数大于  $T_2$ , 这是由于微绿球藻在营养盐丰富的条件下增殖迅速的特性所决定的。 $T_3$  中隐藻的竞争参数大于  $T_1$  ( $P < 0.05$ ), 这表明对虾养殖水较有利于隐藻的生长。

表2 微绿球藻的生长拐点后颤藻和隐藻对微绿球藻的竞争参数

Tab.2 Competitive parameters of *Oscillatoria* sp. and *Cryptomonas erosa* to *Nannochloropsis oculata* after its growth inflection point

处理组 Group		培养时间/d Culture time						
		4	6	8	10	12	14	16
颤藻对微绿球藻 <i>Oscillatoria</i> sp. vs <i>N. oculata</i>	T <sub>1</sub>	/	/	/	11.24	5.02	0.02	2.50
	T <sub>2</sub>	/	/	-1.56	20.00	10.25	8.72	7.45
	T <sub>3</sub>	/	47.76	34.62	50.00	33.77	36.26	30.94
隐藻对微绿球藻 <i>Cryptomonas erosa</i> vs <i>N. oculata</i>	T <sub>1</sub>	/	9.37	-8.75	11.29	5.60	8.08	6.94
	T <sub>2</sub>	/	10.65	-10.73	0.81	7.15	3.84	4.92
	T <sub>3</sub>	6.79	2.69	7.54	8.45	6.69	9.67	10.53

注: T<sub>1</sub>采用无机培养液培养; T<sub>2</sub>采用添加N、P的无机培养液培养; T<sub>3</sub>采用对虾养殖池排出水培养。

Note: T<sub>1</sub> is culture with inorganic seawater; T<sub>2</sub> is culture with inorganic seawater supplemented with nitrogen and phosphorus; T<sub>3</sub> is culture with prawn aquaculture water.

## 2.2 单培养和混合组中隐藻的生长情况

不同处理中隐藻的生长情况如图4-6所示。隐藻单培养的最大生物量( $K$ )均为各处理组的最大值,分别为 $4.69 \times 10^6$  cell/mL、 $5.23 \times 10^6$  cell/mL和 $3.92 \times 10^6$  cell/mL。隐藻和颤藻混合培养时,颤藻对隐藻表现出强烈的抑制作用,隐藻的生长拐点出现较早,特别是T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>中的隐藻在培养初期就受到明显抑制,整个培养过程中各取样点差异均显著( $P < 0.05$ )。在隐藻和微绿球藻混合培养组中,T<sub>1</sub>的隐藻增长率 $r = 0.301$ ,明显低于隐藻单培养的 $r = 0.805$ ,可以看出隐藻在培养前期就受到微绿球藻的抑制,同样T<sub>3</sub>的隐藻增长率 $r = 0.126$ ,也低于单培养的 $r = 0.326$ ,但隐藻和微绿球藻的生物量的比值T<sub>3</sub>高于T<sub>1</sub>。可见,隐藻比微绿球藻更易适应有机物丰富的养殖水。但微绿球藻的存在也有利于隐藻的生长,3种藻类混合培养组中隐藻的生物量在3个处理中均高于隐藏+颤藻混合培养组( $P < 0.05$ ),说明微绿球藻对颤藻抑制隐藻的作用起到了缓冲作用。

隐藻的生长拐点后颤藻和微绿球藻对隐藻的竞争参数如表3所示。T<sub>2</sub>中颤藻对隐藻的竞争力大于T<sub>1</sub>( $P < 0.05$ ),这与颤藻对微绿球藻的作用类似,也说明在营养盐丰富的环境中颤藻比隐藻具有更强的竞争力。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>中微绿球藻对隐藻的竞争参数无显著差异( $P > 0.05$ )。由此可见,隐藻和微绿球藻混合培养时,营养因素对微绿球藻的相对竞争力影响不大。

## 2.3 单培养和混合组中颤藻的生长情况

不同处理组中颤藻的生长情况如图7-9所示。

颤藻和隐藻混合培养组中颤藻的最大生物量( $K$ )为各处理组中的最大值,分别为 $2.66 \times 10^6$  cell/mL、 $1.81 \times 10^6$  cell/mL和 $5.9 \times 10^5$  cell/mL。颤藻和隐藻混合培养组中,培养前期隐藻对颤藻具有促进作用,特别是T<sub>3</sub>中,颤藻的增长率 $r = 0.519$ ,高于单培养中颤藻的增长率 $r = 0.242$ ,第4天至第12天2组生物量差异显著( $P < 0.05$ ); T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>中,在颤藻生长拐点后隐藻对颤藻的竞争参数为负值,说明拐点后隐藻对颤藻仍具有促进作用;而T<sub>3</sub>中,拐点后颤藻的生长受到抑制,颜色由蓝色逐渐变为黄色,并大量结块。微绿球藻对颤藻的影响较小,在第6、10、11、14天颤藻单培养组和颤藻+微绿球藻混合培养组间颤藻的增长率无显著差异( $P > 0.05$ )。

生长拐点后微绿球藻和隐藻对颤藻的竞争参数如表4所示。各处理组中微绿球藻对颤藻的竞争力较小,且T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>中其竞争参数差异不显著( $P > 0.05$ )。T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>中隐藻对颤藻的竞争参数为负,这说明拐点后隐藻对颤藻还具有一定的促进作用。T<sub>3</sub>中隐藻对颤藻的竞争参数值较大,说明颤藻的生长受到抑制。

## 3 讨论

微藻在生长过程中会受到空间、营养盐、光照等环境因子的制约,当各种环境因子不能满足微藻的需要时,就会延缓其增殖。微藻生长的拐点是其生长速度变慢的时间点,也是生长抑制的起始点。从各混合培养组微藻在拐点后各节点的竞争抑制参数看,颤藻的竞争力大于微绿球藻和隐藻,隐藻的竞争力大于微

表3 隐藻的生长拐点后颤藻和微绿球藻对隐藻的竞争参数

Tab.3 Competitive parameters of *Oscillatoria* sp. and *Nannochloropsis oculata* to *Cryptomonas erosa* after its growth reflection point

处理组 Group		培养时间/d Culture time						
		4	6	8	10	12	14	16
颤藻对隐藻 <i>Oscillatoria</i> sp. vs <i>C. erosa</i>	T <sub>1</sub>	/	/	/	13.66	5.02	4.40	2.31
	T <sub>2</sub>	/	/	33.93	15.36	6.42	6.66	5.41
	T <sub>3</sub>	48.73	25.07	13.48	8.96	6.83	11.99	24.16
微绿球藻对隐藻 <i>Nannochloropsis oculata</i> vs <i>C. erosa</i>	T <sub>1</sub>	/	4.77	3.29	0.74	0.48	0.11	1.43
	T <sub>2</sub>	/	1.72	1.35	0.72	0.72	0.17	1.39
	T <sub>3</sub>	-0.72	0.02	1.12	0.96	0.97	0.77	0.70

注: T<sub>1</sub>采用无机培养液培养; T<sub>2</sub>采用添加N、P的无机培养液培养; T<sub>3</sub>采用对虾养殖池排出水培养.

Note: T<sub>1</sub> is culture with inorganic seawater; T<sub>2</sub> is culture with inorganic seawater supplemented with nitrogen and phosphor; T<sub>3</sub> is culture with prawn aquaculture water.

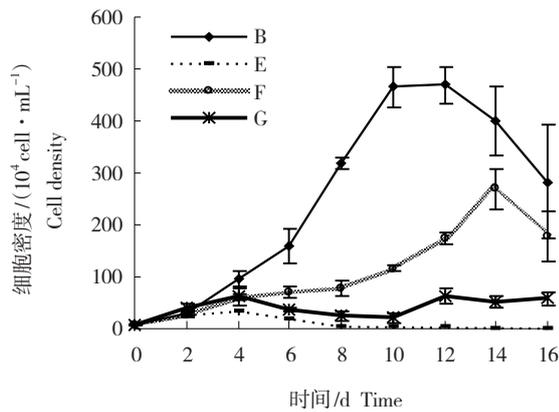


图4 无机培养液培养的各組中隐藻细胞密度变化  
B、E、F、G所代表含义参见表1.

Fig. 4 Cell density of *Cryptomonas erosa* in inorganic culture solution  
Legends for B, E, F and G are shown in table 1.

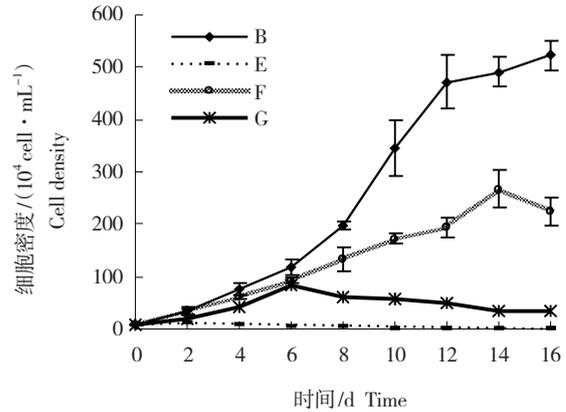


图5 补充营养盐培养的各組中隐藻细胞密度变化  
B、E、F、G所代表含义参见表1.

Fig. 5 Cell density of *Cryptomonas erosa* in the solution of complementary nutrition  
Legends for B, E, F and G are shown in table 1.

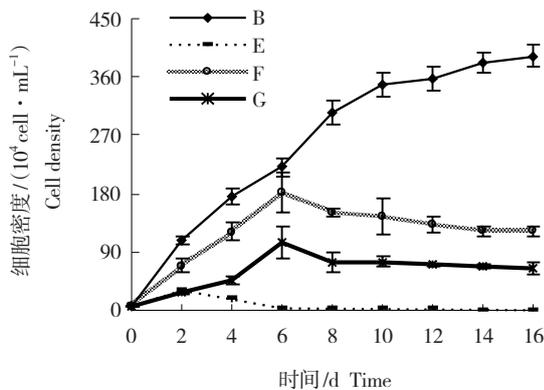


图6 对虾养殖水培养的各組中隐藻细胞密度变化  
B、E、F、G所代表含义参见表1.

Fig. 6 Cell density of *Cryptomonas erosa* in the prawn aquaculture water  
Legends for B, E, F and G are shown in table 1.

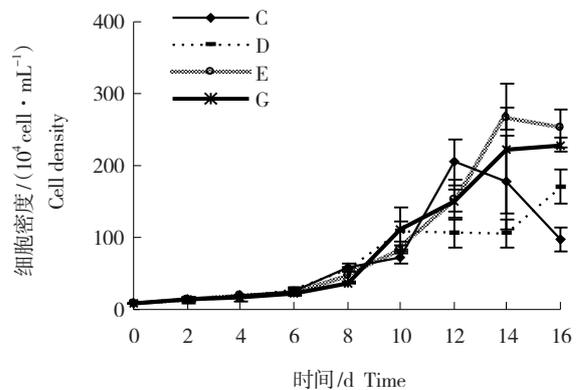


图7 无机培养液培养的各組中颤藻细胞密度变化  
C、D、E、G所代表含义参见表1.

Fig. 7 Cell density of *Oscillatoria* sp. in inorganic culture solution  
Legends for C, D, E and G are shown in table 1.

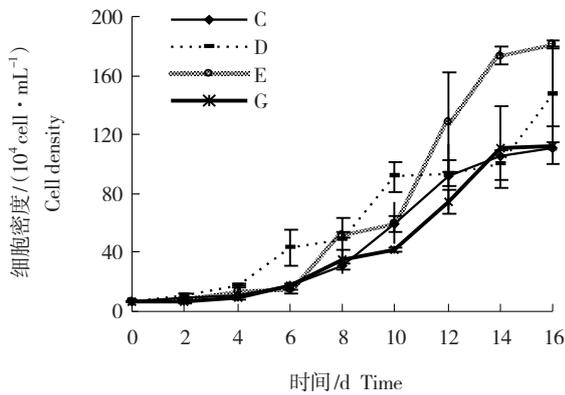


图8 补充营养盐培养的各组中颤藻细胞密度变化  
C、D、E、G所代表含义参见表1.

Fig. 8 Cell density of *Oscillatoria* sp. on the solution of complementary nutrition  
Legends for C, D, E and G are shown in table 1.

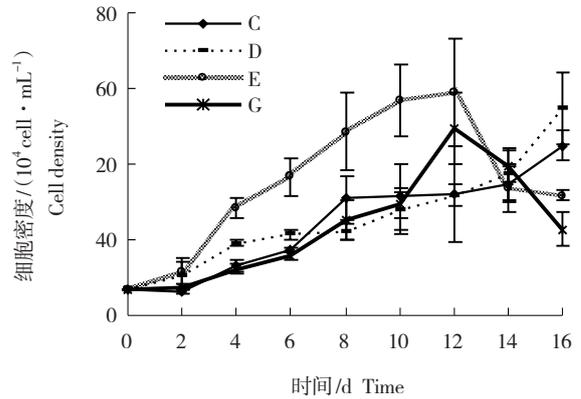


图9 对虾养殖水培养的各组中颤藻细胞密度变化  
C、D、E、G所代表含义参见表1.

Fig. 9 Cell density of *Oscillatoria* sp. in the prawn aquaculture water  
Legends for C, D, E and G are shown in table 1.

表4 颤藻的生长拐点后微绿球藻和隐藻对颤藻的竞争参数

Tab.4 Competitive parameters of *Nannochloropsis oculata* and *Cryptomonas erosa* to *Oscillatoria* sp.

处理组 Group		培养时间/d Culture time						
		4	6	8	10	12	14	16
微绿球藻对颤藻 <i>Nannochloropsis oculata</i> vs <i>Oscillatoria</i> sp.	T <sub>1</sub>	/	/	/	-0.61	0.21	0.17	-0.24
	T <sub>2</sub>	/		0.08	-0.15	0.02	0.01	-0.25
	T <sub>3</sub>	/	0.03	0.05	-0.01	0.00	-0.01	-0.09
隐藻对颤藻 <i>Cryptomonas erosa</i> vs <i>Oscillatoria</i> sp.	T <sub>1</sub>	/	/	/	-33.90	-134.19	-143.06	-41.97
	T <sub>2</sub>	/	/	-102.11	11.36	-132.84	-66.89	-114.27
	T <sub>3</sub>	-4.19	-1.12	-8.52	-9.31	-6.47	19.22	28.28

注: T<sub>1</sub>采用无机培养液培养; T<sub>2</sub>采用添加N、P的无机培养液培养; T<sub>3</sub>采用对虾养殖池排出水培养.

Note: T<sub>1</sub> is culture with inorganic seawater; T<sub>2</sub> is culture with inorganic seawater supplemented with nitrogen and phosphor; T<sub>3</sub> is culture with prawn aquaculture water.

绿球藻。但由于微绿球藻增殖速度较快,所以微绿球藻和隐藻混合培养时微绿球藻首先占优势;到培养的中后期,由于营养盐和生长空间等的限制,隐藻的竞争力强于微绿球藻,约为微绿球藻竞争力的4倍,所以微绿球藻和隐藻的生物量之比逐渐变小,微绿球藻的优势逐渐被隐藻取代。也有研究表明,在一定的条件下,不同微藻能够达到稳定的共存状态<sup>[10]</sup>,这与本实验中微绿球藻和颤藻共培养时的生长规律相似。培养过程中,隐藻受到颤藻的抑制作用,特别是在隐藻和颤藻混合培养组中,隐藻的密度一直很低,但3种微藻混合培养组中隐藻的密度大于隐藻和颤藻混合培养组中隐藻的密度,这说明微绿球藻的存在缓和了颤藻对隐

藻的抑制作用;同时,也说明颤藻对隐藻的抑制作用并非通过营养盐、光照、空间等资源性竞争产生,而是通过其胞外分泌产物或其他生理因素产生的。在培养前期,微绿球藻混合组和隐藻混和组中的颤藻生物量大于颤藻单培养的生物量,这表明,在微绿球藻、隐藻存在的条件下颤藻更易于生长,可见,其他微藻的存在可能也是颤藻暴发的原因之一。

从T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>中3种微藻生长的状况看,补充氮磷营养盐能够延长各微藻的生长期,使最大生物量(K)增大,但对T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>各微藻在拐点后的竞争抑制参数进行单因素方差分析,发现其差异均不显著(P>0.05),这说明无机氮、无机磷营养因子对3种微藻的竞争抑制作

用影响较小<sup>[11]</sup>。Kuwata等<sup>[12]</sup>报道了铵的供给率对微囊藻和四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)之间竞争作用的影响,发现铵的限制及接种量差异影响了2种微藻的竞争过程,但并不能改变其竞争结果,这与本实验结果相符。 $T_3$ 与 $T_2$ 培养液的主要差别是: $T_3$ 采用对虾养殖池排放水,有机物丰富,但氮、磷营养盐含量较低; $T_2$ 采用陈化半年的海水加氮磷营养盐,有机物很少,氮磷营养盐丰富。即 $T_3$ 模拟了对虾养殖水中的营养条件,在此处理组中,颤藻受到隐藻的强烈抑制,隐藻对颤藻的竞争能力显著强于在 $T_2$ 中的竞争能力( $P<0.05$ ),由此可以看出,隐藻比颤藻更容易适应这种养殖水环境。

实验进行过程中,随着培养时间的延长,由于培养液中营养耗尽、光照不足、二氧化碳供应不足、酸碱度改变等原因,各种微藻的竞争能力也发生了变化,表现为竞争抑制参数的改变,培养后期颤藻对微绿球藻和隐藻的抑制作用有所减弱。而陈德辉等<sup>[4]</sup>发现,微藻间的竞争抑制参数趋近于一个值,与本实验研究结果有些差别。笔者分析认为,因其微藻培养时间短,还未到达藻细胞密度下降期,所以竞争抑制参数变化不大。

#### 参考文献:

[1] Piazzini L, Ceccherelli G. Effects of competition between two introduced *Caulerpa* [J]. Mar Ecol Progr Ser, 2002, 225 (11): 189–195.

- [2] Litchman E. Competition and coexistence of phytoplankton under fluctuating light: experiments with two cyanobacteria [J]. Aquatic Microb Ecol, 2003, 31 (3): 241–248.
- [3] Huisman J, Jonker R R, Zonneveld C, et al. Competition for light between Phytoplankton Species: experimental tests of mechanistic theory [J]. Ecology, 1999, 80 (1): 211–222.
- [4] 陈德辉, 刘永定, 袁峻峰, 等. 微囊藻和栅藻共培养实验及其竞争参数的计算 [J]. 生态学报, 1999, 19 (6): 908–913.
- [5] 曹煜成, 李卓佳, 杨莺莺, 等. 浮游微藻生态调控技术在对虾养殖应用中的研究进展 [J]. 南方水产, 2007, 3 (4): 70–73.
- [6] 张振华, 韩士群, 严少华, 等. 虾池接种小球藻对浮游生物及水化学环境的影响 [J]. 水产科技情报, 2000, 27 (2): 67–72.
- [7] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范 (GB17378. 4–1998) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [8] 董云伟, 董双林, 刘相义. 不同起始浓度对塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻种群竞争的影响 [J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34 (6): 964–968.
- [9] 郭羽丰, 段舜山, 陈洁, 等. 绿色巴夫藻和四列藻种间竞争机制研究 [J]. 生态学杂志, 2002, 21 (6): 11–14.
- [10] Stomp M, Huisman J, Voros L, et al. Colourful coexistence of red and green picocyanobacteria in lakes and seas [J]. Ecol Lett, 2007, 10: 290–298.
- [11] 朱小明, 沈国英. 几种浮游单细胞藻类磷代谢的初步研究 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1996, 35 (4): 619–624.
- [12] Kuwata A, Miyazaki T. Effects of ammonium supply rates on competition between *Microcystis novacekii* (Cyanobacteria) and *Scenedesmus quadricauda* (Chlorophyta): simulation study [J]. Ecol Model, 2000, 135 (1): 81–87.

## Interspecific competition among *Nannochloropsis* sp., *Cryptomonas erosa* and *Oscillatoria* sp.

WANG Shao-pei<sup>1,2</sup>, LI Zhuo-jia<sup>1</sup>, CAO Yu-cheng<sup>1</sup>, CHEN Su-wen<sup>1</sup>, YANG Ying-ying<sup>1</sup>

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2 Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524000, China)

**Abstract:** *Nannochloropsis oculata*, *Cryptomonas erosa* and *Oscillatoria* sp. have been cultured in culture solutions which are inorganic aging seawater, aging seawater supplemented with nitrogen and phosphor and the effluent water of shrimp pond. Their multiplication rhythms and interrelationship are studied in single and mixed culture. Competition parameters of three microalgae are calculated with the Lotka-Volterra mode. The results show that in each groups, *Nannochloropsis* sp. and *C. erosa* can promote the growth of *Oscillatoria* sp. during the initial stages. Compared with the single culture groups, the biomass of *Oscillatoria* sp. was larger in mixed culture groups. However, that of *N. oculata* and *C. erosa* were the highest in single culture group. After the reflection point, *N. oculata* had little effect on *Oscillatoria* sp., and *C. erosa* inhibited the growth of *Oscillatoria* sp. obviously. The competitive parameters of *C. erosa* to *Oscillatoria* sp. is much higher than that of *N. oculata* to *Oscillatoria* sp. at each corresponding time ( $P < 0.05$ ). *Oscillatoria* sp. has little inhibitory effect on *N. oculata*, while it has significant inhibitory effect on *C. erosa*, and their competitive parameters to *C. erosa* are all the maximum value among all the treatment groups at each corresponding time. It is indicated that the competitiveness of these microalgae from high to low are *Oscillatoria* sp., *C. erosa* and *N. oculata*; *Oscillatoria* sp. has significant influence on *N. oculata* and *C. erosa*; *N. oculata* and *C. erosa* have little inhibitory effect on each other, so they can coexist. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (5): 765-772]

**Key words:** *Nannochloropsis oculata*; *Cryptomonas erosa*; *Oscillatoria* sp.; mixed culture; competition

**Corresponding author:** LI Zhuo-jia. E-mail: zhuojiali609@163.com

## 2010年《水产科学》征订启事

《水产科学》杂志是由辽宁省水产学会主办的水产科技期刊,辽宁省一级期刊,1982年创刊,国内外发行。中国标准连续出版物号:ISSN 1003-1111 CN 21-1110/S。是中文水产、渔业类核心期刊和全国农业系统优秀期刊之一。现已被美国《化学文摘》、《剑桥科学文摘》,俄罗斯《文摘杂志》,英国《动物学记录》、《食品科技文摘》、《国际农业与生物科学研究中心》、波兰《哥白尼索引》、日本的《日本学术振兴会》、中国科学引文(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库、《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网和万方数字化期刊群、中文科技期刊数据库、中文科技期刊精品数据库、台湾华艺数据库、中国生物学数据库收录。杂志主要刊载渔业资源、海淡水捕捞、水产养殖与增殖、水产生物病害及防治、水产饲料与营养、水产品保鲜与加工综合利用及水产基础科学等方面研究的新进展、新技术、新方法等。设有研究与应用、综述与专论栏目。读者对象为水产科技工作者,大中专院校水产、生物、环保等专业师生,渔业行政、事业和企业单位有关管理和技术人员及广大知识渔民。

本刊为月刊, A4开本, 64页, 每月25日出版, 定价5.00元/期, 全年60.00元。邮发代号8-164。订阅者请到邮局订阅, 也可直接汇款至本刊编辑部订阅, 还可通过银行信汇订阅。开户行: 工商银行大连星海支行, 账号: 3400202309008900681, 户名: 辽宁省海洋水产科学研究院, 请注明订阅《水产科学》。

地址: 大连市沙河口区黑石礁街50号辽宁省海洋水产科学研究院《水产科学》编辑部

邮编: 116023 电话: (0411) 84679512 传真: (0411) 84671027 E-mail: shchkbjb@yahoo.com.cn