

# 不同起始密度对 3 种赤潮微藻种间竞争的影响

蔡恒江<sup>1</sup>, 唐学玺<sup>1\*</sup>, 张培玉<sup>1,2</sup>, 杨 震<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学海洋生态学研究室, 山东 青岛 266003; 2. 曲阜师范大学生命科学学院, 山东 曲阜 273165)

**摘要:**通过共培养的方法,研究了不同起始密度对赤潮异弯藻和中肋骨条藻、塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻、塔玛亚历山大藻和中肋骨条藻之间种间竞争的影响。结果表明:①赤潮异弯藻对中肋骨条藻的生长有一定的抑制作用,随着初始接种时赤潮异弯藻细胞密度的提高,这种抑制作用愈加明显。②塔玛亚历山大藻和中肋骨条藻与塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻之间的种间竞争结果相类似,即起始密度比例为  $A:S(H)=1:4$  时,中肋骨条藻和赤潮异弯藻分别在竞争中占优势;当起始密度比例为  $A:S(H)=1:1$  和  $A:S(H)=4:1$ ,塔玛亚历山大藻在竞争中占优势。

**关键词:**种间竞争;起始密度;塔玛亚历山大藻;中肋骨条藻;赤潮异弯藻

**文章编号:**1000-0933(2005)06-1331-06 **中图分类号:**Q178.1,Q948 **文献标识码:**A

## The effect of initial cell density on the interspecific competition between three species of red tide microalgae

CAI Heng-Jiang<sup>1</sup>, TANG Xue-Xi<sup>1\*</sup>, ZHANG Pei-Yu<sup>1,2</sup>, YANG Zhen<sup>1</sup> (1. Marine Ecology Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. College of Life Science, Qufu Normal University, Qufu 273165, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1331~1336.

**Abstract:** Red tides is a ubiquitous and natural phenomenon caused by the excessive growth of phytoplankton. It has caused serious social problems and heavy damage to fisheries worldwide. Therefore, this has become a major environmental issue in the world. The red tide occurrence can be affected by the effects of the initial cell density on the interspecific competition between different species of red tide microalgae. However, few studies have been focused on the interspecific competition between different microalgae species.

In this paper, three red tide microalgae, *Alexandrium tamarense*, *Skeletonema costatum* and *Heterosigma akashiwo* were used. We investigated the effect of initial cell density on the interspecific competition between them by a mixed culture method. Cultures were grown at  $(19\pm1)^{\circ}\text{C}$  under a 12/12 dark/light cycle of 3000lx illumination in f/2 culture medium. Cells were counted on under the microscope after it was fixed by Lugol liquid every two days. The results showed that *H. akashiwo* inhibited the growth of *S. costatum*, and the inhibition was more obvious with the promoting of inoculation proportions of *H. akashiwo* and *S. costatum*. When the inoculation proportions of *A. tamarense* and *H. akashiwo* ( $A:H$ ) was  $1:4$ , *H. akashiwo* was in predominance in this competition. On the contrary, *A. tamarense* was in predominance when  $A:H=1:1$  and  $A:H=4:1$ . The result on the competition between *A. tamarense* and *S. costatum* was similar to that between *A. tamarense* and *H. akashiwo*.

In conclusion, our results showed that the effect of initial cell density on the interspecific competition between different species of red tide microalgae was a very important factor in red tide occurrence. Not only the consummation of nutritional sources but also the interaction could notably affect the interspecific competition. We suggested that the inhibition of *H.*

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30270258);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目(03BS120)

**收稿日期:**2004-03-26;**修订日期:**2004-09-24

**作者简介:**蔡恒江(1978~),男,辽宁鞍山人,博士生,主要从事生态毒理学研究。E-mail: River1107@163.com

\* **通讯作者** Author for correspondence. E-mail: Tangxx@ouc.edu.cn

**Foundation item:** The National Natural Science Foundation of China (No. 30270258) and Encouraging Foundation for Outstanding Youth Scientists of Shandong Province(No. 03BS120)

**Received date:**2004-03-26;**Accepted date:**2004-09-24

**Biography:**CAI Heng-Jiang, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecotoxicology. E-mail: River1107@163.com

*akashiiwo* on the growth of *S. costatum* and *A. tamarense* was due to the direct contact of cells, while the inhibition of *A. tamarense* on the growth of *S. costatum* and *H. akashiwo* was caused by the indirect contact of cells. The inhibition of *S. costatum* on the growth of *A. tamarense* and *H. akashiwo* need to be further determined.

**Key words:** interspecific competition; initial cell density; *Alexandrium tamarense*; *Skeletonema costatum*; *Heterosigma akashiwo*

赤潮是全球性的海洋生态灾害。近年来,我国近岸海域赤潮发生的频率、波及范围和危害程度呈上升趋势<sup>[1]</sup>。尤其养殖环境的恶化和富营养化水平的提高,使赤潮发生的频率显著提高。赤潮的发生对海洋生态环境、渔业资源和海水养殖业直接或间接的造成了不可估量的负面影响,成为当前污染生态学研究的热点之一。而且,近海富营养化和有害赤潮由于其全球性、多发性、复杂性和危害严重等特点,早已成为国际社会共同关注的、新出现的重大海洋环境问题中亟需研究解决的涉及全球变化的重大领域之一<sup>[2]</sup>。由于赤潮生消过程及其与物理、化学和生态学过程相互作用的复杂性,特别是对赤潮生物孢囊萌发和上浮、种群增殖和生物竞争、摄食等过程的了解尚少,因此到目前为止有关赤潮全过程及成因的定量评价资料十分贫乏,以致绝大多数赤潮原因种的种群动力学机制及其发生赤潮机理尚未被阐明<sup>[2]</sup>。研究<sup>[2,3]</sup>表明,引发赤潮发生的因素除了外因(富营养化、重金属元素、小分子刺激生长物质等)外,还有赤潮生物自身的内部因素(生长率、被捕食率、聚集性和孢囊的形成与萌发等)。其中,环境中赤潮生物的本底生物量是影响赤潮发生的关键性因素之一。本文选择3种赤潮藻种,探讨了不同起始密度对其种间生长竞争关系的影响,为阐明赤潮生物的竞争关系和赤潮发生的机制提供有价值的参考资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 藻种来源

实验所用的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo*)和塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)取自中国海洋大学微藻培养中心,三者均属赤潮藻种。

### 1.2 单养实验

将处于指数生长期的微藻藻液按照 $0.2\times10^4$ , $0.4\times10^4$ , $0.8\times10^4$ cell/ml的起始浓度接种,同时设4个平行样,3种藻的处理相同。

### 1.3 混养实验分别设置3个处理组

(1)赤潮异弯藻和中肋骨条藻 I. 赤潮异弯藻(简称H)的起始密度为 $0.2\times10^4$ cell/ml,中肋骨条藻(简称S)的起始密度为 $0.8\times10^4$ cell/ml,接种比例为H:S=1:4; II. 赤潮异弯藻和中肋骨条藻的起始密度均为 $0.4\times10^4$ cell/ml,接种比例为H:S=1:1; III. 赤潮异弯藻的起始密度为 $0.8\times10^4$ cell/ml,中肋骨条藻的起始密度为 $0.2\times10^4$ cell/ml,接种比例为H:S=4:1;每个处理组设4个平行样。

(2)塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻 I. 塔玛亚历山大藻(简称A)的起始密度为 $0.2\times10^4$ cell/ml,赤潮异弯藻(简称H)的起始密度为 $0.8\times10^4$ cell/ml,接种比例为A:H=1:4; II. 塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻的起始密度均为 $0.4\times10^4$ cell/ml,接种比例为A:H=1:1; III. 塔玛亚历山大藻的起始密度为 $0.8\times10^4$ cell/ml,赤潮异弯藻的起始密度为 $0.2\times10^4$ cell/ml,接种比例为A:H=4:1,每个处理组设4个平行样。

(3)塔玛亚历山大藻和中肋骨条藻 I. 塔玛亚历山大藻(简称A)的起始密度为 $0.2\times10^4$ cell/ml,中肋骨条藻(简称S)的起始密度为 $0.8\times10^4$ cell/ml,接种比例为A:S=1:4; II. 塔玛亚历山大藻和中肋骨条藻的起始密度均为 $0.4\times10^4$ cell/ml,接种比例为A:S=1:1; III. 塔玛亚历山大藻的起始密度为 $0.8\times10^4$ cell/ml,中肋骨条藻的起始密度为 $0.2\times10^4$ cell/ml,接种比例为A:S=4:1,每个处理组设4个平行样。

### 1.4 培养方法和条件

培养液采用f/2营养盐配方,取指数生长期的微藻藻液接种在100ml培养液中。培养温度 $19\pm1$ ℃,光照强度3000lx,光暗周期12h:12h。用于微藻培养的250ml三角瓶预先用1mol/L的盐酸浸泡24h,灭菌海水冲洗干净后待用。

### 1.5 细胞密度的计算

培养过程中定时摇动培养物,每隔4h摇动1次,每隔2d取1ml藻液,用Lugol碘液固定,血球计数板计数并计算细胞密度。每个样品计数3次,取其平均值。

## 2 结果

### 2.1 单养条件下3种赤潮藻的生长

在不同起始密度下,3种藻的生长曲线见图1、图2和图3。结果显示,无论是赤潮异弯藻、中肋骨条藻还是塔玛亚历山大藻,起始密度不同直接导致藻细胞的生长情况有所差异。比较三者生长情况,发现3种藻细胞的生长情况表现出类似的规律性。首先,随着接种密度的提高,3种藻细胞进入指数生长期的时间都相应地提前;其次,随着接种密度的提高,3种藻细胞进入静止

期的时间同样都相应地提前;再者,随着接种密度的提高,3 种藻细胞生长和繁殖所达到的最大细胞密度均相应地降低。

2.2 赤潮异弯藻和中肋骨条藻种群间的竞争关系

图 4 反映了混养条件下 2 种赤潮藻种群竞争生长的状况。在处理 I 中,赤潮异弯藻从培养的第 8 天起进入指数生长期,在第 22 天时细胞密度达到  $84.12\times 10^4\text{cell/ml}$ ,随后种群生长进入静止期,在第 26 天时种群数量达到最大值  $87.33\times 10^4\text{cell/ml}$ 。中肋骨条藻从培养的第 6 天进入指数生长期,在第 18 天时细胞密度达到  $47.11\times 10^4\text{cell/ml}$ ,随后进入静止期,在第 22 天时种群密度达到最大值  $49.20\times 10^4\text{cell/ml}$ 。与单养时比较,赤潮异弯藻对中肋骨条藻的生长显示出一定的抑制作用,中肋骨条藻的种群最大密度是单养时( $58.94\times 10^4\text{cell/ml}$ )的 83.0%;而赤潮异弯藻的最大种群密度是单养时( $99.51\times 10^4\text{cell/ml}$ )的 87.7%。所以,赤潮异弯藻虽然在与中肋骨条藻的竞争中获胜,但其生长同样受到了中肋骨条藻的抑制。

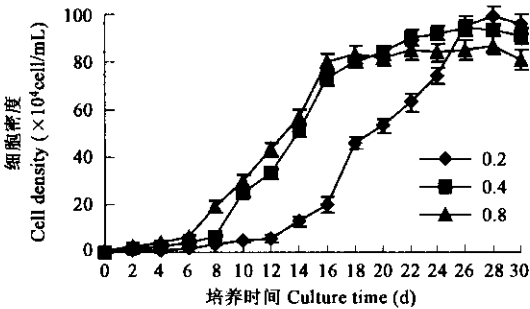


图 1 不同起始密度下赤潮异弯藻的生长曲线

Fig. 1 The growth curves of *H. akashiwo* under different initial cell density

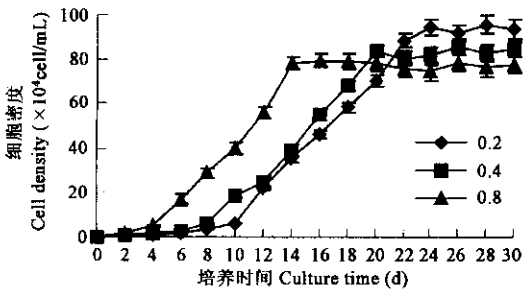


图 2 不同起始密度下亚历山大藻的生长曲线

Fig. 2 The growth curved of *A. tamarensis* under different initial cell density

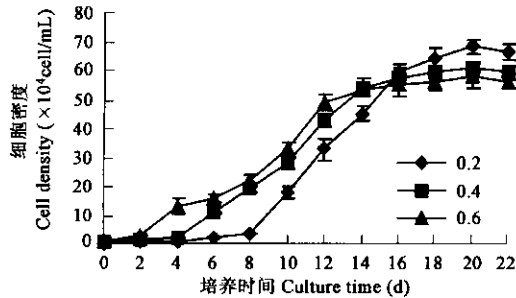


图 3 不同起始密度下中肋骨条藻的生长曲线

Fig. 3 The growth curves of *S. costatum* under different initial cell density

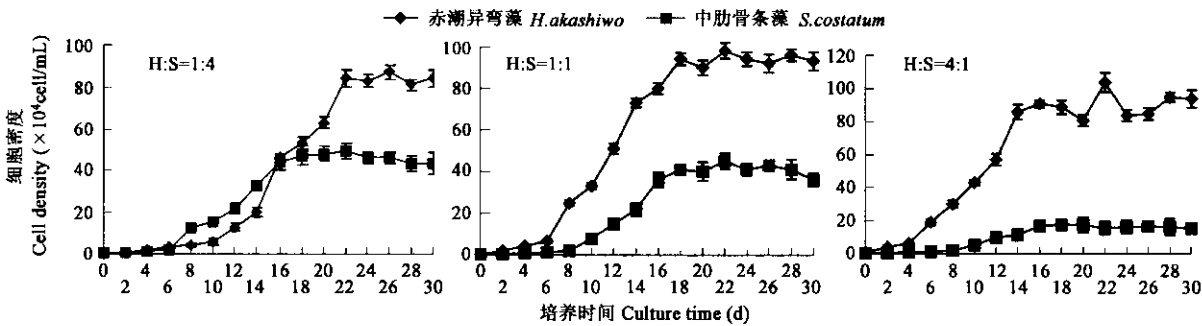


图 4 不同起始密度对赤潮异弯藻和中肋骨条藻种群竞争的影响

Fig. 4 Effects of different inoculative proportions on the competition between *H. akashiwo* and *S. costatum* populations

在处理 II 中,赤潮异弯藻从培养的第 6 天起进入指数生长期,在第 18 天细胞密度达到  $94.34\times 10^4\text{cell/ml}$ ,随后种群生长进入静止期,在第 22 天时种群数量达到最大值  $98.93\times 10^4\text{cell/ml}$ 。中肋骨条藻从培养的第 8 天进入指数生长期,在第 18 天时细胞密度达到  $41.21\times 10^4\text{cell/ml}$ ,随后进入静止期,第 22 天时种群密度达到最大值  $45.14\times 10^4\text{cell/ml}$ 。与单养时比较,赤潮异弯藻对中肋骨条藻的生长有明显的抑制作用,中肋骨条藻的种群最大密度是单养时( $61.54\times 10^4\text{cell/ml}$ )的 73.4%;而中肋骨条藻对赤潮异弯藻的生长没有抑制作用,赤潮异弯藻的最大种群密度比单养时( $94.35\times 10^4\text{cell/ml}$ )略有提高。

在处理 III 中,赤潮异弯藻迅速(从培养的第 4 天起)进入指数生长期,在第 14 天时细胞密度达到  $86.39\times 10^4\text{cell/ml}$ ,随后种群生长进入静止期,在第 22 天时种群数量达到最大值  $104.12\times 10^4\text{cell/ml}$ 。中肋骨条藻种群增长缓慢,没有出现明显的指数生

长期和静止期,在第 18 天时种群密度最大,仅为  $17.66 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。与单养时比较,赤潮异弯藻显著抑制了中肋骨条藻种群的生长和繁殖,中肋骨条藻的种群最大密度是单养时( $68.55 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的 25.8%;而中肋骨条藻对赤潮异弯藻的生长没有抑制作用,赤潮异弯藻的最大种群密度比单养时( $85.74 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )提高显著。

比较处理 I、处理 II 和处理 III 的结果不难发现,在 3 种不同的接种比例下,赤潮异弯藻的生长始终占优势,且随着起始密度的提高,其种群竞争生长的优势越加明显,对中肋骨条藻生长的抑制作用愈加显著。而中肋骨条藻仅在较高的起始密度(处理 I)下才表现出了对赤潮异弯藻生长的抑制作用,其它 2 种处理(处理 II 和处理 III)对赤潮异弯藻的生长均无影响。

### 2.3 塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻种群间的竞争关系

图 5 反映了混养条件下塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻种群竞争生长的状况。在处理 I 中,塔玛亚历山大藻的生长缓慢,没有出现明显的指数生长期和静止期。在培养的第 20 天,种群密度达到最大值  $19.43 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。赤潮异弯藻从培养的第 4 天进入指数生长期,第 20 天时细胞密度达到  $89.47 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后进入静止期,第 24 天时种群密度达到最大值  $94.22 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。与单养时比较,赤潮异弯藻对塔玛亚历山大藻的生长显示出明显的抑制作用,塔玛亚历山大藻的种群最大密度是单养时( $95.57 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的 20.3%;而赤潮异弯藻的生长没有受到塔玛亚历山大藻的抑制,赤潮异弯藻的最大种群密度与单养时( $85.74 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )相比有较大幅度的提高。

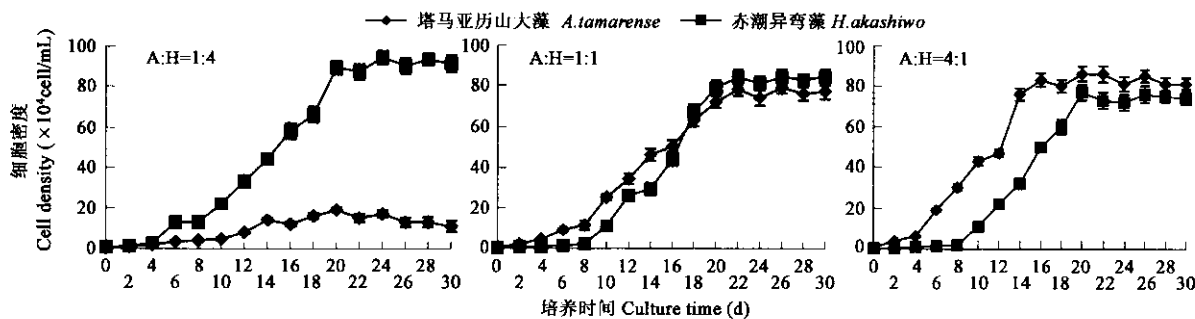


图 5 不同起始密度对塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻种群竞争的影响

Fig. 5 Effects of different inoculative proportions on the competition between *A. tamarensis* and *H. akashiwo* populations

在处理 II 中,塔玛亚历山大藻从培养的第 6 天起进入指数生长期,在第 22 天细胞密度达到  $78.42 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后种群生长进入静止期,在第 26 天时种群数量达到最大值  $79.93 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。赤潮异弯藻从培养的第 8 天进入指数生长期,在第 20 天时细胞密度达到  $79.06 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后进入静止期,在第 22 天时种群密度达到最大值  $84.04 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。与单养时比较,塔玛亚历山大藻对赤潮异弯藻的生长有明显的抑制作用,赤潮异弯藻的种群最大密度是单养时( $94.35 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的 89.1%;而赤潮异弯藻对塔玛亚历山大藻的生长同样有一定的抑制作用,塔玛亚历山大藻的种群最大密度是单养时( $85.46 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的 93.5%。但是 2 种藻相比,塔玛亚历山大藻在竞争中占有一定的优势。

在处理 III 中,塔玛亚历山大藻迅速(从培养的第 4 天起)进入指数生长期,在第 16 天时细胞密度达到  $83.64 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后种群生长进入静止期,在第 20 天时种群密度达到最大值  $86.65 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。赤潮异弯藻在培养的第 8 天进入指数生长期,第 20 天时进入静止期,种群最大密度是  $77.43 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。与单养时比较,塔玛亚历山大藻显著抑制了赤潮异弯藻种群的生长和繁殖,赤潮异弯藻的种群最大密度是单养时( $99.51 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的 77.8%;而赤潮异弯藻对塔玛亚历山大藻的生长没有抑制作用,塔玛亚历山大藻的最大种群密度比单养时( $78.38 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )提高显著。

比较处理 I、处理 II 和处理 III 的结果不难发现,在处理 I (A:H=1:4)中,赤潮异弯藻在竞争占明显的优势,在处理 II (A:H=1:1)和处理 III (A:H=4:1)中,塔玛亚历山大藻在竞争中占优势。

### 2.4 塔玛亚历山大藻和中肋骨条藻种群间的竞争关系

在不同起始密度混养下,塔玛亚历山大藻和中肋骨条藻种群之间的竞争结果与塔玛亚历山大藻和赤潮异弯藻种群竞争类似(图 6)。在处理 I 中,塔玛亚历山大藻从培养的第 4 天进入指数生长期,在第 18 天时细胞密度达到  $77.74 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后进入静止期,第 24 天时种群密度达到最大值  $80.57 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。中肋骨条藻从培养的第 6 天进入指数生长期,在第 16 天时细胞密度达到  $50.63 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后进入静止期,第 28 天时种群密度达到最大值  $53.18 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。与单养时比较,中肋骨条藻对塔玛亚历山大藻的生长显示出明显抑制作用,塔玛亚历山大藻的种群最大密度是单养时( $95.57 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的 84.3%;塔玛亚历山大藻对中肋骨条藻的生长同样有抑制作用,中肋骨条藻的最大种群密度是单养时( $58.94 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的 90.2%。但 2 种藻相比,中肋骨条藻在与塔玛亚历山大藻的竞争中占优势。

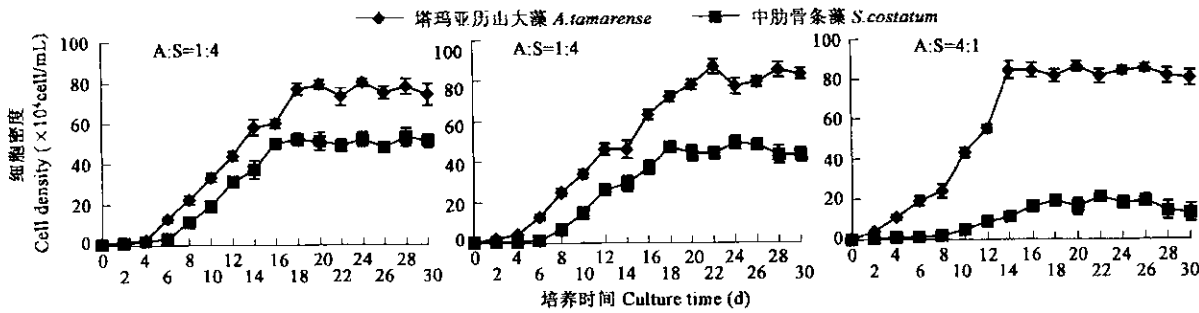


图 6 不同起始密度对塔玛亚历山大藻和中肋骨条藻种群竞争的影响

Fig. 6 Effects of different inoculative proportions on the competition between *A. tamarense* and *S. costatum* populations

在处理Ⅱ中,塔玛亚历山大藻从培养的第4天起进入指数生长期,在第22天细胞密度达到 $87.47 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后种群生长进入静止期,在第22天时种群数量达到最大值 $87.47 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。中肋骨条藻从培养的第6天进入指数生长期,在第18天时细胞密度达到 $47.18 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后进入静止期,第24天时种群密度达到最大值 $49.03 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。与单养时比较,塔玛亚历山大藻对中肋骨条藻的生长有明显的抑制作用,中肋骨条藻的种群最大密度是单养时( $61.54 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的79.7%;而塔玛亚历山大藻的生长没有受到中肋骨条藻的抑制,塔玛亚历山大藻的种群最大密度与单养时( $85.46 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )比较略有提高。

在处理Ⅲ中,塔玛亚历山大藻迅速(从培养的第2天起)进入指数生长期,在第14天细胞密度达到 $84.56 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ ,随后种群生长进入静止期,在第20天时种群密度达到最大值 $86.85 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。中肋骨条藻的生长缓慢,没有出现明显的指数生长期和静止期,在第22天时种群密度最大,仅为 $21.26 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ 。与单养时比较,塔玛亚历山大藻显著抑制了中肋骨条藻种群的生长和繁殖,中肋骨条藻的种群最大密度是单养时( $68.55 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )的31.0%;而塔玛亚历山大藻的生长没有受到中肋骨条藻的抑制作用,塔玛亚历山大藻的最大种群密度比单养时( $78.38 \times 10^4 \text{ cell/ml}$ )提高显著。

比较处理Ⅰ、处理Ⅱ和处理Ⅲ的结果不难发现,在处理Ⅰ(A:H=1:4)中,中肋骨条藻在竞争中占明显的优势,在处理Ⅱ(A:H=1:1)和处理Ⅲ(A:H=4:1)中,塔玛亚历山大藻在竞争中占优势。

3 讨论

3.1 3种赤潮藻种群之间竞争关系发生变化的原因分析

混养实验的结果表明,接种比例的不同会直接导致赤潮藻种群之间竞争关系的变化。对于赤潮发生过程中种群间的竞争作用有两种不同的观点。一种观点认为,赤潮发生过程中营养盐的大量消耗引起种群竞争关系的改变,优势种随之发生更迭<sup>[4,5]</sup>;而另一种观点认为,引起种群竞争关系发生改变的主要原因是赤潮微藻的克生作用<sup>[6,7]</sup>。生物群落的平衡受到与其有关的各种物理、化学及生物因素的影响。种群之间的相互作用对群落的平衡有一定的调节作用。通过藻类胞外活性物质的相互影响,可以直接实现藻类与其它生物类群之间、藻类不同种群之间的相互作用,从而影响藻类群落的组成、演替和平衡<sup>[8,9]</sup>。Fogg和Hellebust首次研究发现,海洋藻类在生长过程中会不断向周围环境中释放多种代谢产物,如碳水化合物、氨基酸、酶、脂类、维生素、有机磷酸、毒素、挥发性物质以及抑制和促进因子等<sup>[10]</sup>。因此,引起3种赤潮藻的种群竞争关系发生变化的原因除了营养盐的消耗外,克生作用对二者的竞争结果同样起着重要的作用。

3.2 3种赤潮藻种群之间克生作用的方式和途径

种群之间克生作用和相互竞争一般通过两种方式 and 途径进行:其一是细胞的直接接触抑制,其二是通过分泌次生物质来完成对其它种群的抑制作用。Uchida等<sup>[11]</sup>在研究*Heterocapsa circularisquama*和*Gymnodinium mikimotoi*之间的竞争作用时指出,*H. circularisquama*对*G. mikimotoi*的抑制作用主要是通过细胞的直接接触完成的,而*G. mikimotoi*对*H. circularisquama*的抑制作用既可通过细胞的直接接触又可通过分泌次生物质来完成。对*Heterosigma akashiwo*的深入研究<sup>[12]</sup>表明,*H. akashiwo*对其它种群的抑制作用采取的是细胞的直接接触抑制,而且接触抑制作用的部位位于*H. akashiwo*细胞的细胞表面。所以推测,本文中赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo*)对中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)和塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)生长的抑制作用很可能是通过其细胞表面的直接接触抑制作用完成的。对塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)的研究表明,其藻细胞和去藻的过滤液都有一定的毒性作用<sup>[12]</sup>。由此可以推测,对塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)对中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)和赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo*)生长的抑制作用是通过细胞的直接接触抑制和分泌有毒的次生物质两种方式完成的。而中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)对赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo*)和塔

玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)生长的抑制作用是通过细胞的直接接触抑制还是分泌次生物质有待于进一步的研究。

References:

[ 1 ] Zhou M J, Zhu M Y, Zhang J. Status of harmful algal blooms and related research activities in China. *Chinese Bulletin of Life Sciences*, 2001,**13**(2):54~59.

[ 2 ] Li Y Q. In: Men L Y ed. *The protection and improvement of ecosystem environment in sea water farming*. Ji'nan: Shandong Science & Technology Press, 1999. 74~126.

[ 3 ] Huang X H, Shi D M, Zhang J P, *et al.* Study on nitrogen metabolism of *Prorocentrum Micans* with special reference to the occurrence of red tide. *Oceanologia Limnologia Sinica*, 1996,**28**(1):33~38.

[ 4 ] Gao S L. Correlation of nutrient salts and microelem ents to Huanghua red tide. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1997,**15**(2):59~63.

[ 5 ] Wang J H, Huang X H, Xu R, *et al.* Effect of phosphate enrichment and algae bloom on phytoplankton community by the ordination in mesocosm. *Marine Environmental Science*, 2001,**20**(1):32~54.

[ 6 ] Maestrini S Y, Bonin D J. Alleropathic relationship between phytoplankton species. *Can. Bull. Fish Aquat. Sci.*, 1981,**210**:323~338.

[ 7 ] Honjo T. The biology and prediction of representative red tides associated with fish kills in Japan. *Rev. Fish. Sci.*, 1994,**2**:225~253.

[ 8 ] Liu S M, Li S H. Interaction of two populations of the blue-green algae in co-culture. *Acta Botanica Sinica*, 1991,**33**(2):110~117.

[ 9 ] Bull AL, JH Slater, *Microbial Interactions and Communities*. Vol. I. London:Academic Press, 1982. 567.

[10] Fogg GE. Extracellular products of algae in freshwater. *Ergebn der Limnol*, 1971,**5**:1~25.

[11] Uchida T, Satorutoda Y, Matsuyama M. *et al.* Interactions between the red tide dinoflagellates *Heterocapsa circularisquama* and *Gymnodinium mikimotoi* in laboratory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1999,**241**:285~299.

[12] Yan T, Zhou M J, Fu M, *et al.* The preli minary study on toxicity of *Heterosigma akashiwo* and the toxicity source. *Oceanologia Limnologia Sinica*, 2003,**34**(1):50~55.

[13] Tan Z J, Yan T, Zhou M J, *et al.* The effects of *Alexandrium tamarense* on survival, growth and reproduction of *Necomysis awatschensis*. *Acta Ecologica Sinica*,2002,**22**(10):1635~1639.

参考文献:

[ 1 ] 周明江,朱明远,张经. 中国赤潮的发生趋势和研究进展. *生命科学*,2001,**13**(2):54~59.

[ 2 ] 李永祺. 海水养殖生态环境的保护与改善. 见:门丽雅主编. 济南:山东科学技术出版社,1999. 74~126.

[ 3 ] 黄晓航,史冬梅,张经浦,等. 赤潮发生机理研究:海洋原甲藻的氮营养生理特性. *海洋与湖沼*,1996,**28**(1):33~38.

[ 4 ] 高素兰. 营养盐和微量元素与黄骅赤潮的相关性. *黄渤海海洋*, 1997,**15**(2):59~63.

[ 5 ] 王金辉,黄秀清,徐韧,等. 排列法检测围隔生态实验中加磷对浮游植物结构的影响. *海洋环境科学*,2001,**20**(1):32~54.

[ 8 ] 刘世枚,黎尚豪. 两种蓝藻种群间的相互作用. *植物学报*,1991,**33**(2):110~117.

[12] 颜天,周名江,傅萌,等. 赤潮异弯藻毒性及毒性来源的初步研究. *海洋与湖沼*,2003,**34**(1):50~55.

[13] 谭志军,颜天,周名江,等. 塔玛塔玛亚历山大藻对黑褐新糠虾存活、生长以及种群繁殖的影响. *生态学报*,2002,**22**(10):1635~1639.