

缘管浒苔对赤潮异弯藻的克生效应

许妍<sup>1</sup>, 董双林<sup>1</sup>, 于晓明<sup>1,2</sup>

(1. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 青岛 266003; 2. 威海市海洋与渔业局, 威海 264200)

摘要: 利用共存培养系统研究了缘管浒苔(*Enteromorpha linza*)新鲜组织和干粉末对赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo*)生长的克生效应。共存实验结果表明, 缘管浒苔新鲜组织和干粉末对赤潮异弯藻生长均有强烈的克生效应。同时, 研究了缘管浒苔培养水过滤液对赤潮异弯藻的克生作用。赤潮异弯藻在缘管浒苔培养水过滤液的半连续添加方式下生长受到明显的克制作用, 但在一次性培养方式下生长未受到明显的抑制作用, 说明克生物质的连续分泌是有效克制赤潮异弯藻生长的关键; 煮沸的大藻培养水过滤液对微藻的生长无抑制作用, 表明克生物质在高温下不稳定和易分解。

关键词: 缘管浒苔; 赤潮异弯藻; 克生效应

文章编号: 1000-0933(2005)10-2681-05 中图分类号: Q143, Q178, X171 文献标识码: A

The allelopathic effects of *Enteromorpha linza* on *Heterosigma akashiwo*

XU Yan<sup>1</sup>, DONG Shuang-Lin<sup>1</sup>, YU Xiao-Ming<sup>1,2</sup> (1. Mariculture Laboratory, College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Weihai Oceanic and Fishery Bureau, Weihai 264200, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2681~2685.

**Abstract:** Harmful algal blooms (HABs) of the coastal raphidophyte *Heterosigma akashiwo* have been the focus of many studies, primarily due to the devastating effects this alga has had on the aquaculture industry. *Heterosigma akashiwo* is notorious for ichthyotoxicity and widely distributed in the world. *Heterosigma akashiwo* has caused great economic loss in many countries. Allelopathy is a prevalent natural phenomenon in aquatic ecosystems and also a means of biological control of water weeds. This paper studies the allelopathic effects of the macroalga *Enteromorpha linza* on the microalga *Heterosigma akashiwo*, in order to provide some theoretical proof for biological control of harmful algae blooms.

Allelopathic effects of fresh tissue and dry powder of *Enteromorpha linza* on *Heterosigma akashiwo* were studied using coexistence culture systems. Different initial inoculation concentrations (0, 0.625, 1.25, 2.5, 5 and 10 g wet/L) of macroalga fresh tissue and (0, 0.15, 0.3, 0.6, 1.2 and 2.4 g dry/L) of macroalga dry powder were used in both coexistence culture systems. The results of the coexistence assays showed that the growth of *Heterosigma akashiwo* was strongly inhibited by fresh tissue and by dry powder of *Enteromorpha linza*. The cells of *Heterosigma akashiwo* died completely within five days at the two highest concentrations (5 and 10 g wet/L) of macroalga fresh tissue. At a threshold level of 1.2 g dry/L of dry powder of *Enteromorpha linza*, *H. akashiwo* cells were completely killed when their initial density was lower than  $1 \times 10^5$  cells/ml. The effects of the macroalga culture medium filtrate on the *Heterosigma akashiwo* were also investigated to confirm the existence of allelochemicals. The growth of *H. akashiwo* was not significantly ( $p > 0.05$ ) lowered by macroalga culture medium filtrate under initial filtrate addition. On the contrary, the growth of *H. akashiwo* was strongly inhibited by macroalga culture medium filtrate under semicontinuous filtrate addition. It was speculated that continuous addition of allelochemicals was important to effectively control the growth of *H. akashiwo*. *Heterosigma akashiwo* was not inhibited when inoculated in the boiled macroalga culture filtrate, which suggested that allelochemicals from the fresh tissue of *Enteromorpha linza* were

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展规划资助项目(G1999012011); 海洋药物教育部重点实验室(中国海洋大学)开放基金资助项目  
收稿日期: 2004-08-27; 修订日期: 2005-04-29  
作者简介: 许妍, (1978~), 女, 山东人, 硕士生, 主要从事化学生态学研究. E-mail: 929yanxu@163.com  
\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: dongsl@mail.ouc.edu.cn  
**Foundation item:** Funded by the Project under Major State Basic Research of China(No. G1999012011) and by Open Research Fund Program of Key Laboratory of Marine Drugs (Ocean University of China), Ministry of Education  
**Received date:** 2004-08-27; **Accepted date:** 2005-04-29  
**Biography:** XU Yan, Master, mainly engaged in chemical ecology. E-mail: 929yanxu@163.com

unstable and degradable at higher temperature. These assays prove that *Enteromorpha linza* has allelopathic effects on *H. akashiwo*. These results not only provide insight into the interactions between macroalgae and microalgae in coastal areas but also lead us to isolate and characterize these allelopathic substances in future.

**Key words:** *Enteromorpha linza*; *Heterosigma akashiwo*; allelopathic effects

赤潮 (red tides) 是国际社会共同关注、急需研究解决的海洋环境问题之一<sup>[1,2]</sup>。针胞藻 (raphidophyte) 赤潮异弯藻 (*heterosigma akashiwo*) 是一种典型的鱼毒性 (ichthyotoxin) 有害赤潮藻种, 在我国大连湾曾发生过赤潮<sup>[3,4]</sup>, 在青岛胶州湾和广东沿海也发现了该藻的分布<sup>[5,6]</sup>。这种赤潮藻除了对鱼类具有毒性作用外, 近来发现也对贝类、桡足类等其他海洋生物的生命活动有影响<sup>[7,8]</sup>。该藻给海水养殖业造成的经济损失每年超过百万美元<sup>[9,10]</sup>。因此, 为保护我国海水养殖业和渔业资源, 探索经济有效的防治赤潮的原理和技术具有一定的科学、经济、生态意义。

目前赤潮的防治主要采取化学方法<sup>[11]</sup>, 这种方法虽可迅速有效地控制赤潮, 但所施用的化学药剂给海洋带来新的污染, 因此越来越多的人把目光投向了生物防治技术。近些年来, 相生相克 (allelopathy) 这种生物防治有害藻华的方法, 引起人们的充分关注<sup>[12]</sup>。利用水生生物分泌克生物质来抑制有害藻华藻生长, 多见于淡水生态系统<sup>[13,14]</sup>, 而近几十年来也出现了关于大型海藻对海洋浮游微藻的克生作用的报道<sup>[15,16]</sup>。如 Jin 等报道了孔石莼 (*Ulva pertusa*) 对赤潮异弯藻 (*Heterosigma akashiwo*) 和亚历山大藻 (*Alexandrium tamarense*) 有很强的克生作用<sup>[15]</sup>。缘管浒苔 (*Enteromorpha linza*) 也是广泛分布于中国沿海的大型绿藻, 为验证大型绿藻对赤潮异弯藻克生作用的普遍性, 本文在室内培养条件下研究了缘管浒苔对赤潮异弯藻的克生效应。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验所用的大型海藻缘管浒苔 (*Enteromorpha linza*) 采于山东青岛市沿海。将采集的样品, 去除杂藻后, 用蒸馏水仔细洗去泥沙和其他附着物, 灭菌后用滤纸吸干表面水分, 备用。赤潮异弯藻 (*Heterosigma akashiwo*) 无菌株是由中国海洋大学微藻研究室提供。赤潮异弯藻在  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光照和 12 : 12 h 光暗循环条件下, 在 f/2 培养液中培养。实验用的海水为天然海水经过脱脂棉和 300 目的筛绢过滤、煮沸, 冷却后的海水 pH 值和盐度分别调节至 8.5 和 30。

### 1.2 实验设计

**1.2.1 缘管浒苔新鲜组织对赤潮异弯藻的抑制作用** 取生长状况良好处于指数增长期的赤潮异弯藻, 与不同密度的缘管浒苔新鲜组织同时接种, 共培养于含有 40 ml f/2 培养液的 100 ml 锥形瓶里, 并用卡片纸覆盖瓶口。赤潮异弯藻接种密度为  $1 \times 10^5$  cells/ml, 大藻新鲜组织的密度梯度为 0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, 10 g wet/L, 以检验与大藻新鲜组织接种密度相关的抑制效应。微藻单独培养为空白对照。实验在光照培养箱内进行, 其他培养条件与上述一致。

实验设 4 个重复, 共进行 8d, 每天定时采样 1 ml, 用 Lugol's 试剂固定, 并用血球计数板在 Olympus 光学显微镜下计数微藻细胞数量的变化。用 ANOVA 来统计分析数据 ( $p < 0.05$ )。取样之后往每个培养瓶中加入 1 ml 的 40 倍 f/2 营养液母液以补充营养。实验采用无菌操作。除了特别说明, 以下实验的各处理条件和培养条件均跟本实验一致。

**1.2.2 缘管浒苔干粉末对赤潮异弯藻的抑制效应** 实验培养条件与上述一致。缘管浒苔新鲜组织在室温下完全干燥 5d, 用研钵研磨成粉末。缘管浒苔干粉末的接种浓度 0, 0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.4 g dry/L。本实验研究了与大藻干粉末浓度相关的克生效应。以微藻单独培养为空白对照。实验设 4 个重复, 共进行 8d。用 ANOVA 来统计分析数据 ( $p < 0.05$ )。

#### 1.2.3 缘管浒苔培养水过滤液对赤潮异弯藻的克生作用

(1) 一次性培养法 将浓度为 50g wet/L 的大藻在 f/2 培养液中培养 3d 后, 移去大藻组织, 然后将培养液经高温灭菌过的滤膜 (Whatman GF/C, catNo 1822 025) 过滤。将过滤之后所得的大藻过滤液用 40 倍 f/2 营养液重新加富, 微藻立即接种于大藻过滤液中, 作为处理组。赤潮异弯藻接种密度为  $1.8 \times 10^5$  cells/ml。对照组为实验用的海水配制的营养液, 营养水平、接藻量与处理组一致。实验设 4 个重复, 共进行 8d。用 SPSS (Independent-Samples *T* Test) 来统计分析数据 ( $p < 0.05$ )。

(2) 半连续培养法 按照上面的方法将微藻接种于大藻培养水的过滤液中。每天将每个培养瓶中的 40 ml 培养液移出 10 ml, 然后加入 10 ml 营养重新加富的大藻培养水过滤液以保持培养液体积的恒定。作为对照, 以 f/2 培养液代替重新加富的大藻培养水过滤液。以验证克生物质的存在。实验设 4 个重复, 共进行 8d。用 SPSS (Independent-Samples *T* Test) 来统计分析数据 ( $p < 0.05$ )。

(3) 煮沸的大藻培养水对微藻的影响 赤潮异弯藻接种密度为  $1.8 \times 10^5$  cells/ml, 将微藻分别接种于经过煮沸, 并用灭菌过的滤膜 (Whatman GF/C, catNo 1822 025) 过滤的大藻培养液和 f/2 培养液中, 以后者培养的微藻为对照, 研究克生物质的稳定性。实验设 4 个重复, 共进行 8d。用 SPSS (Independent-Samples *T* Test) 来统计分析数据 ( $p < 0.05$ )。

2 结果

2.1 缘管浒苔新鲜组织对赤潮异弯藻的抑制作用

微藻在与不同密度的缘管浒苔新鲜组织共存时的生长情况见表 1。由表 1 可知:在实验末,与对照组相比所有密度的缘管浒苔新鲜组织对赤潮异弯藻的生长均有显著的抑制作用( $p<0.05$ ),尤其是在浓度为 5 和 10 g wet/L 时,赤潮异弯藻细胞在 5 d 内完全死亡;缘管浒苔新鲜组织密度为 2.5 g wet/L 时,赤潮异弯藻细胞不能正常生长繁殖,在第 7 天即被完全致死;当缘管浒苔新鲜组织密度为 1.25 g wet/L 时,赤潮异弯藻种群密度逐日降低,至实验末为  $0.4\times 10^4$  cells/ml,比对照组低 99.5%。只有对照组的赤潮异弯藻种群密度呈递增式增长,但微藻与密度为 1.25、2.5、5、10 g wet/L 的大藻共存时呈递减式生长,而与 0.625 g wet/L 大藻共存时生长趋势平缓。以上这些数据显示,要抑制赤潮异弯藻的增殖,缘管浒苔新鲜组织密度须达 1.0 g wet/L。

表 1 与不同接种密度的大藻新鲜组织共存 8 d 的赤潮异弯藻细胞密度

Table 1 The densities of <i>H. akashiwo</i> coexisting with different inoculation density of macroalga fresh tissue during eight days								
大藻新鲜组织的接种 密度(g wet/L) Inoculation density of Macroalga fresh tissue	赤潮异弯藻细胞密度 The densities of <i>H. akashiwo</i> ( $10^4$ cells/ml)							
	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d
0	16.1±0.3 <sup>a</sup>	21.8±0.3 <sup>a</sup>	26.2±0.8 <sup>a</sup>	38±2.0 <sup>a</sup>	43±2.1 <sup>a</sup>	51.4±1.6 <sup>a</sup>	65.8±0.7 <sup>a</sup>	84.4±2.1 <sup>a</sup>
0.625	15.1±0.7 <sup>a</sup>	15.2±0.3 <sup>b</sup>	14.5±0.6 <sup>b</sup>	18.5±1.2 <sup>b</sup>	13.9±0.7 <sup>b</sup>	15.4±1.5 <sup>b</sup>	14.8±0.8 <sup>b</sup>	15.1±1.1 <sup>b</sup>
1.25	12.4±0.3 <sup>b</sup>	11.2±0.6 <sup>c</sup>	10.3±0.8 <sup>c</sup>	8.3±0.5 <sup>c</sup>	5.0±0.3 <sup>c</sup>	2.5±0.1 <sup>c</sup>	1.6±0.1 <sup>c</sup>	0.4±0.1 <sup>c</sup>
2.5	9.8±0.4 <sup>c</sup>	7.7±0.5 <sup>d</sup>	5.1±0.5 <sup>d</sup>	1.8±0.3 <sup>d</sup>	0.4±0.1 <sup>d</sup>	0.1±0.1 <sup>c</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>
5	7.5±0.3 <sup>d</sup>	3.3±0.2 <sup>e</sup>	1.3±0.0 <sup>e</sup>	0.2±0.1 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>
10	4.3±0.3 <sup>e</sup>	1.6±0.2 <sup>f</sup>	0.3±0.1 <sup>e</sup>	0.1±0.1 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>

表中的数值为平均值±标准误,同列有不同字母表示经 ANOVA 分析后差异显著( $p<0.05$ ) The data in the table indicates means±SE ( $n=4$ );Means in the same column followed by different letters are significantly different by ANOVA analyse ( $p<0.05$ );下同 the same below

2.2 缘管浒苔干粉末对赤潮异弯藻的抑制效应

微藻在与不同浓度的缘管浒苔干粉末共存时的生长情况见表 2。表 2 表明,在相对高浓度(1.2, 2.4 g dry/L)的干粉末作用下,赤潮异弯藻细胞不能正常生长繁殖,在 3 d 内完全死亡;而浓度为 0.6 g dry/L 的干粉末对赤潮异弯藻生长的抑制效应在 4 d 后减弱,微藻的生长逐渐恢复;相对较低浓度(0.15, 0.3 g dry/L)的干粉末对赤潮异弯藻的增殖虽然有显著的抑制效应(与对照组相比,ANOVA,  $p<0.05$ ),但赤潮异弯藻种群密度还是逐日增殖,至实验末,微藻种群密度分别为  $97.1\times 10^5$  cells/ml、 $95.4\times 10^5$  cells/ml。

表 2 与不同浓度的大藻干粉末共存 8 d 的赤潮异弯藻细胞密度

Table 2 The densities of <i>H. akashiwo</i> coexisting with different concentration of macroalga dry powder during eight days								
大藻干粉末的 浓度(g dry/L) Concentration of macro alga dry powder	赤潮异弯藻细胞密度 the densities of <i>H. akashiwo</i> ( $10^4$ cells/ml)							
	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d
0	16.2±0.7 <sup>a</sup>	26.5±0.6 <sup>a</sup>	32.5±0.1 <sup>a</sup>	45.7±1.4 <sup>a</sup>	64.1±1.1 <sup>a</sup>	82.0±1.1 <sup>a</sup>	97.6±3.5 <sup>a</sup>	104.3±1.3 <sup>a</sup>
0.15	13.6±0.2 <sup>b</sup>	18.9±1.4 <sup>b</sup>	29.6±0.8 <sup>b</sup>	42.7±1.0 <sup>b</sup>	61.3±2.0 <sup>a</sup>	72.3±1.3 <sup>b</sup>	88.7±0.5 <sup>b</sup>	97.1±0.8 <sup>b</sup>
0.3	9.0±0.2 <sup>c</sup>	15.8±0.8 <sup>c</sup>	26.7±1.3 <sup>c</sup>	38.8±0.9 <sup>c</sup>	56.8±2.2 <sup>b</sup>	66.5±1.7 <sup>c</sup>	81.6±1.6 <sup>c</sup>	95.4±2.1 <sup>b</sup>
0.6	2.2±0.2 <sup>d</sup>	1.2±0.1 <sup>d</sup>	1.3±0.2 <sup>d</sup>	2.2±0.2 <sup>d</sup>	5.7±0.2 <sup>c</sup>	10.6±0.5 <sup>d</sup>	18.3±0.5 <sup>d</sup>	29.6±1.3 <sup>c</sup>
1.2	0.2±0.1 <sup>e</sup>	0.1±0.1 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>d</sup>
2.4	0.0 <sup>e</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>d</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>d</sup>

$n=4, p<0.05$

2.3 缘管浒苔培养水过滤液对赤潮异弯藻的灭杀作用

2.3.1 一次性培养法 在大藻培养水过滤液一次性添加方式下,大藻培养水过滤液对微藻生长的影响及统计分析结果见图 1。图 1 表明,大藻培养水过滤液在一次性培养方式下,微藻的生长仅在第 1 天被显著的抑制( $p<0.05$ ),在后 7d 实验中,都没有显著的抑制作用( $p>0.05$ )。在整个实验过程中,对照组和处理组微藻的密度一直呈递增式生长。

2.3.2 半连续培养法 在大藻培养水过滤液半连续添加方式下,大藻培养水过滤液对微藻生长的影响及统计分析结果见图 2。图 2 表明,整个实验过程中,赤潮异弯藻的生长一直受到显著的抑制作用( $p<0.05$ )。在半连续培养方式下,处理组赤潮异

弯藻一直处于稳定的递减式生长,在实验末藻密度比对照组低 73%。

**2.3.3 煮沸的大藻培养水对微藻的影响** 赤潮异弯藻培养于煮沸的大藻培养水过滤液的生长情况见图 3。由图 3 可知,在本实验中,跟对照组相比,培养于煮沸的大藻培养过滤液的赤潮异弯藻的生长未受到抑制作用( $p > 0.05$ )。

### 3 讨论

植物之间的相互作用包括资源竞争和相生相克两个方面。前者是指对营养盐和光等资源竞争,后者是植物之间通过向环境释放一些化学物质而对其他种群产生影响<sup>[17]</sup>。然而,在自然条件下要研究水域生物之间的相生相克作用对于研究者来说是非常困难的,因为象一些营养、光照竞争等因子能掩盖植物之间的相生相克作用<sup>[18]</sup>。本文所设计的实验采用可控制环境条件下实验室内的研究方法,排除了光照、营养盐等资源竞争以及细菌微生物的作用等因素,研究了缘管浒苔对赤潮异弯藻克生效应。

大藻培养水过滤液实验的结果表明,在一次性大藻培养水过滤液添加方式下,微藻的生长没有受到明显的抑制作用,当采用了半连续添加方式,微藻的生长受到显著的抑制,此现象与 Nakai 等报道的大型水生植物 *Myriophyllum spicatum* 克制蓝藻生长的实验相似<sup>[13]</sup>。此现象说明缘管浒苔新鲜组织向培养液中释放的克生物质量很少,在一次性添加方式下大部分赤潮异弯藻细胞存活,而克生物质的连续分泌是克制赤潮异弯藻生长的关键。同时,微藻接种于煮沸的大藻培养水过滤液中其生长并没有受到抑制作用,说明克生物质在高温下不稳定和易分解。

缘管浒苔新鲜组织和干粉末对赤潮异弯藻的生长有显著的抑制作用,并且在相对高浓度下抑制作用较强,甚至杀死全部赤潮异弯藻细胞。这种现象表明克生作用存在着浓度效应,浓度达一定阈值才出现明显的克生作用,在阈值之上浓度越高克生作用越显著。当赤潮异弯藻细胞初始密度低于  $1 \times 10^5$  cells/ml 时,1.2 g dry/L 的缘管浒苔干粉末是在短期内能杀死全部赤潮异弯藻细胞的域值。干粉末中的全部克生物质可作为一次脉冲添加到微藻的培养液中,即干粉末中克生物质的添加方式是一次性的。由此,缘管浒苔干粉末在相对高浓度下,所有赤潮异弯藻细胞在短时间内被干粉末中一次性添加的大量克生物质杀死;而在较低浓度时一些赤潮异弯藻细胞仍然存活,并且在实验后期能被大藻粉末中所释放的大量营养物质促进使其生物量显著增长。

相生相克是水域生态系统中一种普遍的自然现象<sup>[15]</sup>。本研究以实验证明了缘管浒苔对赤潮异弯藻的生长有显著的克生作用。这不仅丰富了大型海藻与微藻间相互作用的认识,也为今后分离、鉴定、提取这些克生物质奠定了基础。有些自然海域,以缘管浒苔为代表的大型海藻亦开始泛滥,形成大型海藻的水华<sup>[20]</sup>。本文结果显示,在缘管浒苔密度达 1.0 g wet/L 时,能完全抑制赤潮异弯藻的增殖。因此可以变害为利,充分利用缘管浒苔对赤潮异弯藻生长的克生作用开展赤潮的生物防治工作。

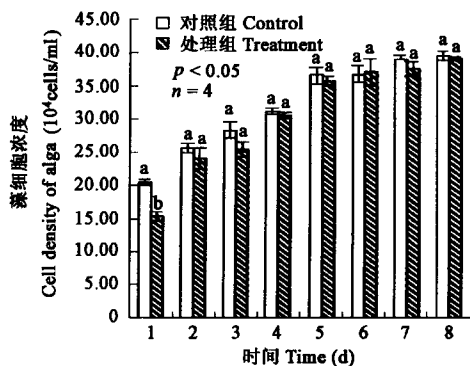


图 1 大藻培养水过滤液一次性添加方式的赤潮异弯藻细胞密度  
Fig. 1 Cell density of *H. akashiwo* under initial culture medium filtrate addition of *E. linza*

条形符号代表平均值的标准误,在同组内标有不同的字母表示差异显著( $p < 0.05$ ) Bars represent SE of means ( $n = 4$ ), followed by different letters in the same group are significantly different ( $p < 0.05$ ); 下同 the same below

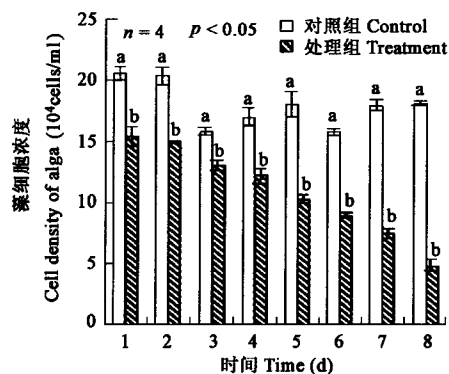


图 2 大藻培养水过滤液半连续添加方式的赤潮异弯藻细胞密度  
Fig. 2 Cell density of *H. akashiwo* under semi-continuous culture medium filtrate addition of *E. linza*

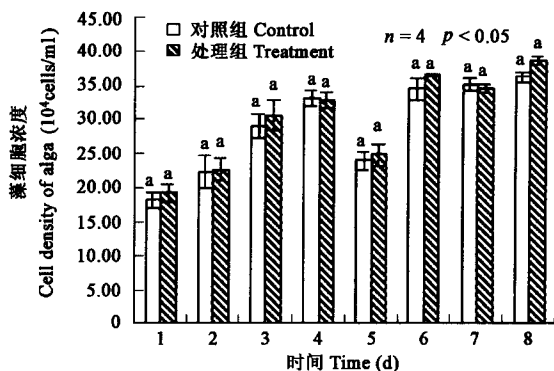


图 3 培养于煮沸的大藻培养水过滤液的赤潮异弯藻细胞密度  
Fig. 3 Cell densities of *H. akashiwo* in the boiled macroalga culture medium filtrate

References:

[ 1 ] Anderson D M. Turning back the harmful red tide. *Nature*, 1997, **388**: 513~ 514.

[ 2 ] Wu Y L, Zhou C X, Zhang Y S, *et al.* Evolution and causes of formation of *Gymnodinium Sanguineum* bloom in Yantai Sishili Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, **32**(2):159~167.

[ 3 ] Guo Y J. Studies on *Heterosigma akashiwo* (Hada) Hada in the Dalian Bight, Liaoning, China. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1994, **25**(2) : 211~215.

[ 4 ] Wang H Q. Characteristic of bloom lives in sea fields of Dalian Bight. *China Environmental Science*, 1989, **9**(2) : 1~10.

[ 5 ] Qi Y Z. *Red tides*. Guangzhou:Guangdong Science Publishing House, 1999. 16~18.

[ 6 ] Yan T, Zhou M J, Qian P Y. Growth of fish-killing red tides species Raphidophyte *Heterosigma akashiwo* . *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, **33**(2):209~214.

[ 7 ] Tester P A, Hansen P J. Interactions between toxic marine phytoplankton and metazoan and protistan grazers. In: Anderson D M, Cembella A D, Hallegraeff G M eds. *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Berlin Heidelberg, Germany:Springer Verlag, 1998. 453~474.

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

[ 9 ] Horner R A, Postel J R, Rensl J E. Noxious phytoplankton blooms and marine salmom culture in Puget sound, Washington. Pacific Coast Res. *Toxic Mar. Algae*, 1991, **135**:59~61.

[ 10 ] Yang C Z, Albright L J, Yousif A N. Oxygen-radicalmediaed effects of the toxic phytoplankonter *Heterosigma carterae* on juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Dis. Aquat. Organ.* , 1995, **23**:101~108.

[ 11 ] Yu Z M, Zou J Z, Ma X M, *et al.* The chemical means of controlling red tides. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, **24**(33) :14~318.

[ 12 ] Szczepa fiski A J. Allelopathy as a means of biological control of water weeds. *Aquatic Botany*, 1977, **3**:193~197.

[ 13 ] Nakai S, Inoue Y, *et al.* *Myriophyllum spicatum*-released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *Microcystis aeruginosa*. *Wat. Res.* , 2000, **34**:3026~3032.

[ 14 ] Manjula K, Saxena. Aqueous leachate of *Lantana camara* kills water hyacinth. *Chemical Ecology*, 2000, **26**: 2435~2447.

[ 15 ] Jin Q, Dong S L. Comparative studies on the allelopathic effects of two differient strains of *Ulva pertusa* on *Heterosigma akashiwo* and *Alexandrium tamarense*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 41~55.

[ 16 ] Jae H J, Hyung J J, *et al.* Algicidal activity of the seaweed *Corallina pilulifera* against red tide microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 2002, **12**: 37~43.

[ 17 ] Yu Z W, Sun W H, Guo K Q, *et al.* Allelppathic effects of several aquatic plants on algae. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1992, **16**(1):1~7.

[ 18 ] Keating K I. Allelopathic influence on blue-green bloom sequence in a eutrophic lake. *Science*, 1977, **196**: 885~887.

[ 19 ] Tang K X, Yuan D X, Lin S B, *et al.* Depression and affect of red tide on main water quality index by *Gracilaria tenuistipitata*. *Marine Enbironmental Science*, 2003, **22**(2) : 24~27.

[ 20 ] Van A. Are bloom-forming green algae chemically defended? *Phycology*, 2001, **37**(3) : 50~50.

[ 21 ] Marshall S M, Orr A P. Further experiments on the fertilization of a sea loch (Loch Craiglin). *Mar Biol Assoc U K*, 1949, **27**: 360~379.

参考文献:

[ 2 ] 吴玉霖,周成旭,张永山,等. 烟台四十里湾海域红色裸甲藻赤潮发展过程及其成因. *海洋与湖沼*, **32**(2):159~167.

[ 3 ] 郭玉洁. 大连湾赤潮生物——赤潮异弯藻. *海洋与湖沼*, 1994, **25**(2):165~167.

[ 4 ] 王惠卿. 大连湾海域赤潮生物特性研究. *中国环境科学*, 1989, **9**:1~10.

[ 5 ] 齐雨藻. 赤潮. 广州:广东科技出版社, 1999. 16~18.

[ 6 ] 颜天,周名江,钱培元. 赤潮异弯藻 *Heterosigma akashiwo* 的生长特性. *海洋与湖沼*, 2002, **33**(2):209~214.

[ 8 ] 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.

[ 11 ] 俞志明,邹景忠,马锡年,等. 治理赤潮的化学方法. *海洋与湖沼*, 1993, **24**(3):314~318.

[ 17 ] 俞子文,孙文浩,郭克勤等. 几种高等水生植物的克藻效应. *水生生物学报*, 1992, **16**(1): 1~7.