

CO₂ 加富培养对鼠尾藻克制赤潮异弯藻效果的影响

侯 迎¹, 周 斌¹, 唐学玺¹, 张永生²

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院生态学研究室, 山东 青岛 266003; 2. 中国海监荣成市大队, 山东 荣成 264300)

摘要: 采用实验生态学的方法, 研究了大型海藻鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*)对赤潮微藻中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)的克生效应及其对 CO₂ 加富的响应变化。结果表明, 正常培养的鼠尾藻新鲜组织、干粉末和水溶性抽提液能够导致中肋骨条藻的细胞密度显著降低 ($P < 0.05$), CO₂ 加富培养的鼠尾藻新鲜组织、干粉末和水溶性抽提液能够更加明显地抑制中肋骨条藻种群生长 ($P < 0.01$)。实验结果证实鼠尾藻对中肋骨条藻具有克生效应, 而 CO₂ 加富培养引起了鼠尾藻对中肋骨条藻克生效应的变化, 使其对中肋骨条藻生长的抑制作用显著加强。正常培养的鼠尾藻培养水过滤液能够显著抑制中肋骨条藻的生长 ($P < 0.05$), 而 CO₂ 加富培养的鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻的生长没有表现出明显的影响 ($P > 0.05$), 因此推测 CO₂ 加富培养可能改变了鼠尾藻对中肋骨条藻克生作用的方式, 作用方式由分泌克生物质转变为细胞直接接触传递。

关键词: 鼠尾藻(*Sargassum thunbergii*); 中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*); 克生效应; CO₂ 加富

中图分类号: Q178.1+11 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)01-0023-06

长期以来大气 CO₂ 的浓度一直处于变化之中, 已经从工业革命前的 280 μmol/mol 迅速增加到 350 μmol/mol, 其增加速度越来越快, 到 20 世纪末已达到 1~1.5 μmol/(mol·a)^[1]。据预测, 到 21 世纪中叶, CO₂ 浓度可能倍增至 700 μmol/mol, 由此造成的温室效应可能使气温上升 1.5~4.5 °C^[2-4], 全球 CO₂ 浓度升高对生态系统中的绿色植物将产生直接的影响, 进而使生物从生态系统、群落、种群、个体、细胞以及分子各个层次水平上发生变化。

随着赤潮发生频率的增加与危害程度的加深, 寻找切实可行且不会对海洋生态系统固有结构产生负面影响的赤潮防治措施正成为赤潮研究的热点。在此背景下, 利用海洋环境中的生物因子进行赤潮的防控逐渐成为赤潮研究的重要内容之一, 其中利用大型海藻与微藻间的克生作用来预防和控制赤潮已经越来越引起人们的重视^[5]。国内外的诸多研究已经指出, 大型海藻可以通过克生作用抑制赤潮微藻的种群生长^[6-9]。近十几年来, 大型海藻与微藻对 CO₂ 加富的响应研究已有陆续报道^[10-14], 但是迄今为止, 有关大型海藻与赤潮微藻间的相互作用对 CO₂ 加富的响应研究还未见报道。研究大型海藻与微藻克生作用对 CO₂ 加富的响应变化和机制对于揭示 CO₂ 加富对海洋生态系统的影响和阐明大型海藻预

防和控制赤潮发生的作用有着重要意义。本文研究了鼠尾藻对中肋骨条藻的克生效应及其对 CO₂ 加富的响应变化, 以期阐明鼠尾藻对中肋骨条藻的克生效应机制及其对全球气候变化的响应提供有价值的参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

天然海水采自青岛鲁迅公园, 经脱脂棉和 300 目筛绢过滤后高压蒸汽灭菌, 用微孔滤膜 (Whatman, 0.22 μm 孔径) 过滤除去颗粒物, 将 pH 和盐度分别调至 8.5 和 30 备用。

中肋骨条藻无菌株由中国海洋大学微藻研究室提供。无菌培养于 f/2 培养液 (Guillard, 1962) 中, 温度为 20 ± 1 °C, 光强为 70 μmol/(m²·s), 光暗比为 12 h: 12 h。微藻培养瓶每天定时晃动 4 次, 以防止其附

收稿日期: 2011-12-01; 修回日期: 2012-02-11

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金新教师类资助课题 (2011013220025); 高等学校基本科研业务费青年教师科研专项基金 (201213007)

作者简介: 侯迎(1982-), 女, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事海洋生态学研究, E-mail: houying@ouc.edu.cn, 电话: 13864807205; 唐学玺, 通信作者, E-mail: tangxx@ouc.edu.cn

壁生长。

大型海藻鼠尾藻采集于青岛太平角(36°02'59"N, 120°21'16"E), 将采集的鲜活海藻去除杂藻, 用蒸馏水洗去泥沙及其他附着物, 用混合抗生素对藻体组织表面作灭菌处理, 再用灭菌海水漂洗 3~4 次。置于海水培养液(NaNO₃-N 100 μmol/L, NaH₂PO₄-P 7 μmol/L)中培养, 其他培养条件同前。

1.2 鼠尾藻的 CO₂ 加富处理

取一定量的鼠尾藻置于 5 000 mL 锥形瓶中进行 CO₂ 加富培养(培养条件如 1.1 所述)。在培养过程中采用 CO₂ 注入系统(由青岛合利气体工业中心提供), 持续通入 CO₂ 浓度为 5 000 μl/L 的压缩气体(CO₂ 浓度约为大气的 2 倍), 气体流量通过流量计(LZB-3, 青岛华仪仪表厂)控制在 300 mL/min。连续培养 96 h 后用于后续实验。

1.3 鼠尾藻新鲜组织对中肋骨条藻生长的影响

取生长状况良好、处于指数增长期的中肋骨条藻与鼠尾藻的新鲜组织同时接种共培养于 100 mL 三角烧瓶(含 40 mL f/2 培养液)。调节中肋骨条藻的起始细胞密度为 18×10⁴ 个/mL, 鼠尾藻新鲜组织的含量为 5 g/L(湿质量)。实验分为两组, 一组加入正常培养的鼠尾藻新鲜组织(正常新鲜组织组), 另一组加入 CO₂ 加富培养的鼠尾藻新鲜组织(加富新鲜组织组)。实验以单独培养于 f/2 培养液中的中肋骨条藻为对照组。每个处理设置 3 个平行样, 共进行 10 d, 每天向每个培养瓶中补充 f/2 营养盐以消除可能产生的营养盐限制。每个培养瓶每隔 2 d 定时采样 1 mL, Lugol's 液固定, 显微镜(Olympus CX31)下血球计数板计数。

1.4 鼠尾藻干粉末对中肋骨条藻生长的影响

将处于指数增长期的中肋骨条藻接种于含有鼠尾藻干粉末的培养液中, 培养于 100 mL 三角烧瓶里(含 40 mL f/2 培养液)。新鲜的鼠尾藻藻体在室温下完全干燥 5 d, 然后用研钵研磨成粉末。鼠尾藻干粉末的初始加入量为 1.2 g/L, 中肋骨条藻的起始细胞密度为 18×10⁴ 个/mL。实验分为二组, 一组加入正常培养的鼠尾藻干粉末(正常干粉末组), 另一组加入 CO₂ 加富培养的鼠尾藻干粉末(加富干粉末组)。其他实验条件与步骤如 1.3 所述。

1.5 鼠尾藻水溶性抽提液对中肋骨条藻生长的影响

取鼠尾藻新鲜组织 8 g, 加少许蒸馏水研磨成浆, 用灭菌海水离心 3 次, 得上清液 80 mL, 以此液为母液, 用 f/2 培养液稀释得到浓度为 16 g/L 水溶性抽提液培养液, 将中肋骨条藻(起始细胞密度为 18×10⁴ 个/mL)立即接种于水溶性抽提液中。实验分为二组, 一组使用正常培养的鼠尾藻水溶性抽提液(正常水抽提液组), 另一组使用 CO₂ 加富培养的鼠尾藻水溶性抽提液组(加富水抽提液组)。其他实验条件与步骤如 1.3 所述。

1.6 鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻生长的影响

将浓度为 80 g/L 的鼠尾藻新鲜组织在 f/2 培养液中培养 3 d 后, 移去新鲜组织, 培养液用经过高温灭菌的滤膜(Whatman GF/C, 0.22 μm 孔径)过滤, 以消除滤液中的细菌, 并用 f/2 营养液重新加富。中肋骨条藻(起始细胞密度为 18×10⁴ 个/mL)立即接种于鼠尾藻过滤液中。实验分为二组, 一组加入正常培养的鼠尾藻过滤液(正常培养水过滤液组), 另一组加入 CO₂ 加富培养的鼠尾藻过滤液(加富培养水过滤液组)。其他实验条件与步骤如 1.3 所述。

1.7 统计分析

数据采用统计软件 Sigmaplot 8.0 及 SPSS 12.0 进行分析, 实验结果表示为平均值±标准差($n=3$), 不同处理组中肋骨条藻最终细胞密度的差异显著性通过 one-way ANOVA 进行分析, 并采用 Tukey's 检验 ($P < 0.05$) 来进行处理组间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 鼠尾藻新鲜组织对中肋骨条藻生长的影响

在 10 d 的培养过程中, 与对照组相比, 正常培养与 CO₂ 加富培养的鼠尾藻新鲜组织均导致共培养体系中中肋骨条藻细胞密度显著降低($P < 0.01$), 表明鼠尾藻新鲜组织对中肋骨条藻具有显著的抑制作用。与正常培养的鼠尾藻新鲜组织相比, CO₂ 加富培养的鼠尾藻新鲜组织对共培养体系中中肋骨条藻的细胞密度影响更加显著($P < 0.05$), 表明 CO₂ 加富培养使鼠尾藻新鲜组织对中肋骨条藻的生长抑制作用明显增强(图 1)。

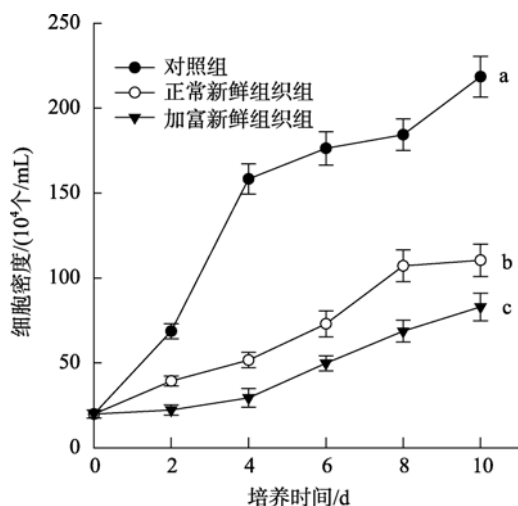


图 1 鼠尾藻新鲜组织对中肋骨条藻生长的影响

Fig. 1 Effects of fresh tissue of *S. thunbergii* on the growth of *S. costatum*

数据表示为平均值 ± 标准差 (n=3), 图中不同字母表示差异性显著 (P < 0.05)

Data are mean ± SD. Data with different letters are significantly different (P < 0.05)

2.2 鼠尾藻干粉末对中肋骨条藻生长的影响

鼠尾藻干粉末对中肋骨条藻的生长同样表现出显著的抑制作用。正常培养的鼠尾藻干粉末与 CO₂ 加富培养的鼠尾藻干粉末均导致中肋骨条藻细胞密度显著低于对照组 (P < 0.01)。与正常干粉末组比较, 加富培养干粉末组中肋骨条藻细胞密度降低更加显著 (P < 0.05), 表明 CO₂ 加富培养使鼠尾藻干粉末对中肋骨条藻的生长抑制作用明显增强 (图 2)。

2.3 鼠尾藻水溶性抽提液对中肋骨条藻生长的影响

在整个培养过程中, 正常培养与 CO₂ 加富培养的鼠尾藻水溶性抽提液均导致中肋骨条藻细胞密度明显低于对照组 (P < 0.01), 结果表明鼠尾藻水溶性抽提液对中肋骨条藻的生长具有显著抑制作用。与正常培养的鼠尾藻水溶性抽提液相比, CO₂ 加富培养的鼠尾藻抽提液对中肋骨条藻细胞密度增长的抑制更加明显 (P < 0.05), 因此 CO₂ 加富培养加强了鼠尾藻水溶性抽提液对中肋骨条藻生长的抑制作用 (图 3)。

2.4 鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻生长的影响

图 4 表示的是鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻生长的影响作用。CO₂ 加富培养的鼠尾藻培养水过

滤液对中肋骨条藻的细胞密度没有显著影响, 中肋骨条藻细胞密度与对照组相比差异不显著 (P > 0.05), 但与正常培养水过滤液组相比, 中肋骨条藻细胞密度差异显著 (P < 0.01)。结果显示正常培养的鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻的生长具有显著的抑制作用, 而 CO₂ 加富培养的鼠尾藻培养水过滤液对中肋

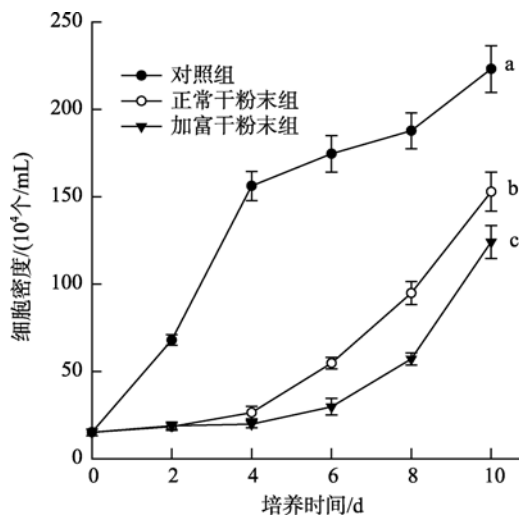


图 2 鼠尾藻干粉末对中肋骨条藻生长的影响

Fig. 2 Effects of dry powder of *S. thunbergii* on the growth of *S. costatum*

数据表示为平均值 ± 标准差 (n=3), 图中不同字母表示差异性显著 (P < 0.05)

Data are mean ± SD. Data with different letters are significantly different (P < 0.05)

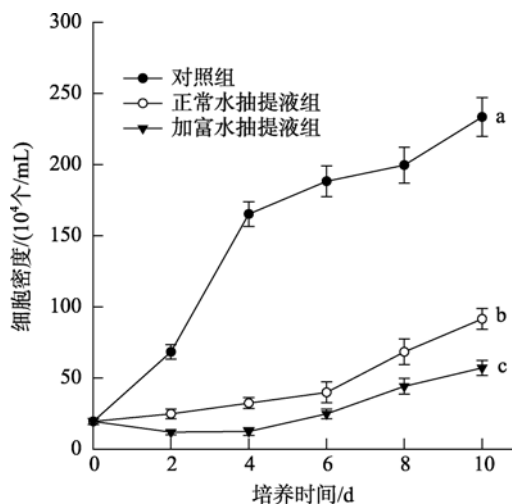


图 3 鼠尾藻水溶性抽提液对中肋骨条藻生长的影响

Fig. 3 Effects of aqueous extracts of *S. thunbergii* on the growth of *S. costatum*

数据表示为平均值 ± 标准差 (n=3), 图中不同字母表示差异性显著 (P < 0.05)

Data are mean ± SD. Data with different letters are significantly different (P < 0.05)

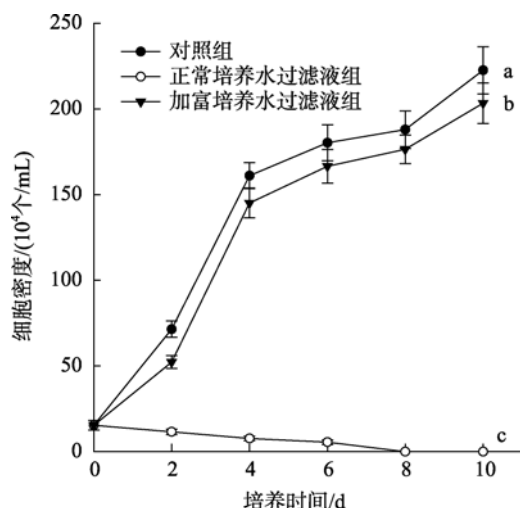


图4 鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻生长的影响

Fig. 4 Effects of the culture media filtrate of *S. thunbergii* on the growth of *S. costatum*

数据表示为平均值 ± 标准差 (n=3), 图中不同字母表示差异性显著 (P < 0.05)

Data are mean ± SD. Data with different letters are significantly different (P < 0.05)

骨条藻生长没有明显影响。因此, CO₂ 加富培养使鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻生长的作用效果发生变化, 由正常条件下的显著抑制转变为无明显影响。

综合分析表明, 鼠尾藻新鲜组织、干粉末、水溶性抽提液和培养水过滤液对中肋骨条藻生长的影响作用受到了 CO₂ 加富处理的显著影响。经 CO₂ 加富处理后, 鼠尾藻新鲜组织、干粉末和水溶性抽提液对中肋骨条藻生长的抑制作用进一步加强, 而培养水过滤液对中肋骨条藻生长的影响由显著抑制作用变化为无明显影响。因此我们推测 CO₂ 加富处理可能改变了鼠尾藻对中肋骨条藻克生效应的作用方式, 其方式由原来的分泌克生物质转变为直接接触传递。

3 讨论

3.1 CO₂ 加富引起鼠尾藻对中肋骨条藻克生作用方式变化的原因分析

研究表明, 不同种群之间的克生作用一般通过以下三种方式来完成: 一是通过细胞的直接接触传递克生物质; 二是通过向环境中分泌克生物质来实现对其他种群的抑制作用; 三是同时存在细胞的直接接触和克生物质的分泌。Uchida 等^[15]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传递克生物质完成的。对赤潮异弯藻 (*Heterosigma akashiwo*) 的深入研究^[16]表明, 赤潮异弯藻对其他种群的抑制作用也是采取细胞的直接接触的方式。Gross^[17]的研究进一步证实, 相生相克类化合物是通过细胞间的直接接触传递至目标生物的。而 Uchida 等^[15]指出 *G. mikimotoi* 对 *H. circularisquama* 的抑制作用既可以通过细胞的直接接触又可以通过向环境中分泌克生物质的方式完成。对塔玛亚历山大藻 (*Alexandrium tamarense*) 的研究^[18]表明, 其藻细胞和去藻的过滤液都有一定的毒性作用, 说明细胞的直接接触传递与克生物质分泌这两种作用方式也共同存在于塔玛亚历山大藻对其他种群的克生效应中。

Nakai 等^[19]发现大型海藻狐尾藻 (*Myriophyllum spicatum*) 对蓝藻生长的抑制作用是通过持续向环境中分泌一种不稳定的相生相克类化合物完成的, 这与本文研究结果相一致。我们通过对鼠尾藻的研究同样发现细胞间的直接接触对于正常培养的鼠尾藻与中肋骨条藻的相互作用并不是必须的, 鼠尾藻也是主要通过向培养体系中分泌克生物质来完成对中肋骨条藻的克生作用。

Jin 等^[16]发现石莼向培养液中分泌的相生相克类化合物浓度太低, 不足以影响赤潮异弯藻的生长, 证实石莼对赤潮异弯藻生长的抑制作用主要通过细胞直接接触传递完成的。本研究中, CO₂ 加富培养的鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻的生长没有表现出明显的影响, 而其新鲜组织、干粉末和水溶性抽提液对中肋骨条藻的生长具有显著的抑制作用, 说明 CO₂ 加富培养可能改变了鼠尾藻对中肋骨条藻克生作用的方式, 由主要通过向环境中分泌克生物质的方式转变为主要通过细胞直接接触传递的方式。虽然 CO₂ 加富培养的鼠尾藻培养水过滤液对中肋骨条藻不再具有抑制作用, 但是其新鲜组织与水溶性抽提液仍然具有显著的克生作用, 说明鼠尾藻水溶性克生物质仍然存在, 但是不再向周围水体环境中分泌。同时, CO₂ 加富培养的鼠尾藻对中肋骨条藻的抑制作用增强, 说明两藻接触过程中不仅存在物理性接触抑制, 而且存在克生物质的接触性传递, 进一步表明 CO₂ 加富培养的鼠尾藻藻体表面存在克生物质。

3.2 CO₂ 加富引起鼠尾藻对中肋骨条藻克生效应变化的原因分析

实验结果表明, 与正常培养的鼠尾藻相比, CO₂

加富培养的鼠尾藻新鲜组织、干粉末和水溶性抽提液对中肋骨条藻的生长表现出了更加显著的抑制作用,说明 CO₂ 加富处理引起了鼠尾藻对中肋骨条藻克生效应的变化,使其对中肋骨条藻生长的抑制作用加强。出现这一变化的原因可能是鼠尾藻的生化过程和细胞组分对高浓度 CO₂ 作出了响应性变化。许多研究表明,高浓度 CO₂ 不但对大型海藻的生化过程产生影响,而且还能够引起海藻细胞组分的变化。高浓度 CO₂ 使得大型海藻的 C/N 比率增加^[11, 20-21],可溶性蛋白含量下降^[11-12, 20],也可使可溶性碳水化合物含量增加^[12]。Andria 等^[12]的研究还表明,无机碳增加导致江蓠 *Gracilaria gaditana* 的藻胆蛋白、可溶性蛋白及 Rubisco 等氮化合物含量下降。因此,大型海藻细胞内各种物质的组成与含量都对 CO₂ 浓度的升高做出了响应性变化。

高浓度 CO₂ 对大型海藻生化过程的影响已有陆续报道。研究表明,高浓度 CO₂ 能够使三种石莼类海藻^[22]、细基江蓠^[11]及紫菜 *Porphyra leucosticta*^[23] 碳酸酐酶的合成受阻,活性下降,从而改变它们对无机盐的吸收和碳代谢过程。也有报道指出,高浓度 CO₂ 使得细基江蓠^[11], *G. gaditana*^[12] 及 *P. leucosticta*^[23] 的 Rubisco 含量降低,进而影响光合速率。因此,CO₂ 浓度升高不仅影响氮代谢中的许多关键酶活性,而且还通过影响氮代谢作用而间接地影响碳同化作用^[24]。不同学者的研究结论也存在一定的分歧:一方面,在高浓度 CO₂ 通气培养条件下,两种江蓠(日本江蓠和智利江蓠)^[25]与石莼^[13]的 NO₃⁻ 吸收速度增加;另一方面,高浓度 CO₂ 使得细基江蓠^[11]及 *G. gaditana*^[12]的 NO₃⁻ 吸收速率下降。综上所述,CO₂ 浓度升高使大型海藻的生化过程发生了变化,进而引起了物质合成和代谢作用的变化。本研究的结果表明,CO₂ 加富培养增强了鼠尾藻对中肋骨条藻的抑制作用,同时改变了鼠尾藻对中肋骨条藻克生效应的作用方式,其方式由原来的分泌克生物质转变为直接接触传递。

参考文献:

- [1] 喻梅高琼,高素华. 全球变化条件下植物个体的生理生态学模型[J]. 植物学报, 1997, 39(9): 811-820.
- [2] Dahlman R C. CO₂ and plants: Revisited [J]. Vegetatio, 1993, 104/105: 339-355.
- [3] Malanson G P. Comment on modeling ecological response to climatic change [J]. Climatic Change, 1993, 23(2): 95-109.
- [4] Tyree M T, Alexander J D. Plant water relations and the effects of elevated CO₂: A review and suggestions for future research [J]. Vegetatio, 1993, 104/105: 47-62.
- [5] 王悠,俞志明,宋秀贤,等. 大型海藻与赤潮微藻以及赤潮微藻之间的相互作用研究[J]. 环境科学, 2006, 27(2): 274-280.
- [6] 张庭延,陈传平,何梅,等. 几种高等水生植物的克藻效应研究[J]. 生物学杂志, 2007, 24(4): 32-36.
- [7] Wang R J, Xiao H, Wang Y, et al. Effects of three macroalgae, *Ulva linza* (Chlorophyta), *Corallina pilulifera* (Rhodophyta) and *Sargassum thunbergii* (Phaeophyta) on the growth of the red tide microalga *Prorocentrum donghaiense* under laboratory conditions [J]. Journal of Sea Research, 2007, 58(3): 189-197.
- [8] Wang Y, Yu Z M, Song X X, et al. Effects of macroalgae *Ulva pertusa* (Chlorophyta) and *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) on growth of four species of bloom-forming dinoflagellates [J]. Aquatic Botany, 2007, 86(2): 139-147.
- [9] Nan C R, Zhang H Z, Lin S Z, et al. Allelopathic effects of *Ulva lactuca* on selected species of harmful bloom-forming microalgae in laboratory cultures [J]. Aquatic Botany, 2008, 89(1): 9-15.
- [10] Gao K, Aruga Y, Asada K, et al. Enhanced growth of red alga *Porphyra yezoensis* Ueda in high CO₂ concentration [J]. Journal of Applied Phycology, 1991, 3(4): 355-362.
- [11] Garcia-Sanchez M J, Fernandez J A, Niell F X. Effect of inorganic carbon supply on the photosynthetic physiology of *Gracilaria tenuistipitata* [J]. Planta, 1994, 194(1): 55-61.
- [12] Andria J R, Vergara J J, Perez-Llorens J L. Biochemical responses and photosynthetic performance of *Gracilaria* sp. (Rhodophyta) from Cadiz, Spain, cultured under different inorganic carbon and nitrogen levels [J]. European Journal of Phycology, 1999, 34(5): 497-504.
- [13] 邹定辉,高坤山. 高 CO₂ 浓度对石莼光合作用及营养盐吸收的影响[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(6): 877-882.
- [14] 陈焯,冯婧,严小军. 3 种常见赤潮微藻间相互作用的研究[J]. 宁波大学学报, 2007, 20(3): 311-314.
- [15] Uchida T, Satorutoda Y, Matsuyama M. et al. Interactions between the red tide dinoflagellates *Heterocapsa*

- circularisquama* and *Gymnodinium mikimotoi* in laboratory [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1999, 241(2): 285-299.
- [16] Jin Q, Dong S L. Comparative studies on the allelopathic effects of two different strains of *Ulva pertusa* on *Heterosigma akashiwo* and *Alexandrium tamarense* [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, 293(1): 41-55.
- [17] Gross E M. Allelopathy in benthic and littoral areas: case studies on allelochemicals from benthic cyanobacteria and submerged macrophytes [C] // Inderjit D, Dakshini K M M, Foy C L. Principles and practices in plant ecology: Allelochemical interactions. USA, Florida: CRC, and Boca Raton, 1999: 179-199.
- [18] 谭志军, 颜天, 周名江, 等. 塔玛亚历山大藻对黑褐新糠虾存活、生长及种群繁殖的影响[J]. *生态学报*, 2002, 22(10): 1635-1639.
- [19] Nakai S, Inoue Y, Hosomi, M, et al. Growth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophytes [J]. *Water Science and Technology*, 1999, 39(8): 47-53.
- [20] Mercado J M, Javier F, Gordillo L, et al. Effects of different levels of CO₂ on photosynthesis and cell components of the red alga *Porphyra leucosticte* [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1999, 11(5): 455-461.
- [21] Kubler J E, Johnston A M, Raven J A. The effects reduced and elevated CO₂ and O₂ on the seaweed *Lomentaria articulata* [J]. *Plant Cell and Environment*, 1999, 22(10): 1303-1310.
- [22] Bjork M, Haglund K, Rammazanov Z, et al. Inducible mechanisms for HCO₃⁻ utilization and repression of photorespiration in protoplasts and thalli of three species of *Ulva* (Chlorophyta) [J]. *Journal of Phycology*, 1993, 29(2): 166-173.
- [23] Mercado J M, Niell F X, Figueroa F L. Regulation of the mechanism for HCO₃⁻ use by the inorganic carbon level in *Porphyra leucostica* Thur. in Le Jolis (Rhodophyta) [J]. *Planta*, 1997, 201(3): 319-325.
- [24] Stitt M, Krapp A. The interaction between elevated carbon dioxide and nitrogen nutrition: the physiological and molecular background [J]. *Plant Cell and Environment*, 1999, 22(6): 583-621.
- [25] Gao K, Aruga Y, Asada K, et al. Influence of enhanced CO₂ on growth and photosynthesis of the red algae *Gracilaria* sp. and *G. chilensis* [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1993, 5(6): 563-571.

Influence of CO₂ enrichment on the allelopathic effect of *Sargassum thunbergii* on *Skeletonema costatum*

HOU Ying¹, ZHOU Bin¹, TANG Xue-xi¹, ZHANG Yong-sheng²

(1. Laboratory of Ecology, College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Marine Surveillance Team of Rongcheng County, Rongcheng 264300, China)

Received: Dec., 1, 2011

Key words: *Sargassum thunbergii*; *Skeletonema costatum*; Allelopathic Effects; CO₂ enrichment

Abstract: The allelopathic effect of *Sargassum thunbergii* on *Skeletonema costatum* and its response to CO₂ enrichment were investigated by an experimental ecology method. Results showed that, under normal conditions, fresh tissue, dry power and aqueous extracts of *S. thunbergii* resulted in remarkably reductions in cell density of *S. costatum* ($P < 0.05$). In addition, the fresh tissue, dry power and aqueous extracts of *S. thunbergii*, which were cultured under CO₂ enrichment conditions, led to more significant decreases in cell density of *S. costatum* ($P < 0.01$). Under normal conditions, the culture media filtrate of *S. thunbergii* drastically inhibited the growth of *S. costatum* ($P < 0.05$), while that of *S. thunbergii* which were cultured under CO₂ enrichment conditions did not exhibit significantly inhibitive effect on *S. costatum* ($P > 0.05$). Therefore, it was speculated that the mediating mechanism of the allelopathic effect might be changed by CO₂ enrichment, from the secreted allelopathic substances to direct cell contact.

(本文编辑: 张培新)