

文章编号: 1674 - 5566(2016)02 - 00217 - 06

提高 CO₂ 和硝氮浓度对羽毛藻生化组成和营养盐吸收的影响

崔丽香, 何文辉, 李鲜鲜, 蔡清洁, 张 奥

(上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘 要: 以羽毛藻为研究材料, 利用 CO₂ 培养箱通入不同 CO₂ 浓度的空气进行培养, 探究在高浓度 CO₂ 和高浓度硝氮条件下羽毛藻生理生化的变化。结果表明, 高浓度 CO₂ 或硝氮都能显著促进藻体的生长, 高碳高氮下藻体的相对生长率比低碳低氮组高出 63.77%。另外, 高浓度 CO₂ 会使藻体中的叶绿素、类胡萝卜素、藻红蛋白、藻蓝蛋白、可溶性蛋白和可溶性碳水化合物的含量下降, 而使硝酸还原酶活性升高, 其中明显的表现为高碳低氮组叶绿素 a 含量比低碳低氮组降低了 39.01%, 高碳高氮组比低碳高氮组降低了 49.26%, 相应类胡萝卜素高碳组分别降低了 47.62% 和 43.24%, 增加硝氮浓度能够提高藻体中色素含量, 可溶性蛋白和可溶性碳水化合物的含量; 在高浓度硝氮下, 提高 CO₂ 浓度能使硝酸盐和磷酸盐的吸收率显著升高。由此得知大气 CO₂ 浓度升高或海水富营养化会促进羽毛藻的生长, 并且这两个条件的改变会对羽毛藻在生化组成和营养盐吸收方面产生深刻的影响。

关键词: 羽毛藻; CO₂; 硝氮; 生化组成; 营养盐吸收

中图分类号: X 171 **文献标志码:** A

工业革命以来, 人类大量使用化石燃料, 砍伐森林, 大气中 CO₂ 浓度以前所未有的速度增加, 联合国气候变化委员会预计到 21 世纪末, 大气 CO₂ 浓度将加倍。这种 CO₂ 浓度的变化将会对植物产生深刻的影响, 对于陆生植物, 已经有很多广泛而深入的研究^[1-2], 但是, 水生植物, 尤其是海洋藻类与 CO₂ 浓度变化关系的研究相对较少。

氮是大型海藻生长所必需的营养元素之一, 也是引发赤潮的一个重要因素, 目前已对一些赤潮藻氮营养问题做了较多的研究^[3], 在富营养化的水体中氮元素大量增加。因此, 可以利用大型海藻对营养盐的吸收特点回收海水中过量的无机营养, 延缓并改善水域富营养化问题^[4-6]。

大型海藻作为海洋生态系统的初级生产力之一广泛分布于潮间带或潮下带, 对海洋生态系统的碳循环起着非常重要的作用^[7]。本实验研究对象羽毛藻 (*Caulerpa serrulata*) 属于绿藻门 (Chlorophycophyta)、绿藻纲 (Chlorophyceae)、管

藻目 (Siphonales)、厥藻科 (Caulerpaceae)、厥藻属 (*Caulerpa Lamouroux*)、杉叶蕨藻 (*Caulerpa taxifolia*) 的一种, 产于热带及亚热带海区, 是一种重要的大型经济绿藻, 自然分布于潮间带或低潮线下的岩石、珊瑚礁或泥沙海底上^[8], 由于羽毛藻具有极高的观赏价值和强烈的吸收氮磷的特征, 多用于海水水族中藻缸的建立。目前, 一些学者已经对杉叶蕨藻在生殖和营养价值^[9]等方面做了研究, 但是对于厥藻属中的羽毛藻在生长、生理生态和氮磷等营养盐代谢方面的研究还很少。本文探讨了羽毛藻对大气中 CO₂ 浓度升高和水中硝氮浓度增加的响应, 以期为全球环境变化背景下羽毛藻作为景观藻类培养和其对海水富营养化的生物修复作用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验所需材料羽毛藻于 2014 年 7 月采自海南省西岛附近潮间带的岩石上, 采集后置于盛有

收稿日期: 2015-02 - 27 修回日期: 2015-06-17

基金项目: 上海市科学技术委员会社会发展基金(09DZ120010C)

作者简介: 崔丽香(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为环境与大型海藻。E-mail: Leecx07@163.com

通信作者: 何文辉, E-mail: whhe@shou.edu.cn

少量海水的样品袋中,在 4 h 内用低温箱(5 ℃)空运回实验室并暂养 2 d 以适应实验条件,选择个体一致健康的藻体用作后续实验材料。暂养条件为:高压灭菌的人工海水(pH 8.2;盐度 33;NO₃-N 浓度 10 μmol/L;无机磷浓度 0.5 μmol/L;温度 24 ℃;光照强度为 150 μmol/(m²·s),光暗周期为 12 h:12 h,用充气泵 24 h 充气。

1.2 不同实验条件羽毛藻的培养

实验藻体放入装有 2 L 高压灭菌海水的三角烧瓶中,置于 CO₂ 培养箱中培养 10 d。根据 CO₂ 和氮浓度的不同分为 4 个实验处理:C₀N₀,低碳低氮;C₊N₀,高碳低氮;C₀N₊,低碳高氮;C₊N₊,高碳高氮。低碳、高碳分别代表所充过滤空气中 CO₂ 浓度为 390 μL/L 和 720 μL/L,低氮、高氮代表培养液中分别加入 NaNO₃ 使无机氮浓度为 10 μmol/L 和 500 μmol/L,高碳通过调节 CO₂ 培养箱中 CO₂ 的浓度获得,4 个处理中均加入 Na₂HPO₄ 作为营养补充,无机磷的浓度为 50 μmol/L。每个三角烧瓶中放入 4 g 藻体(湿重),每 2 天换一次培养海水,光照温度条件和暂养时候相同。培养 10 d 后对藻体进行各生理指标的测定。

1.3 实验方法

1.3.1 相对生长率的测定

测定在实验期间藻体鲜重的变化,利用公式

$$R_{gr} = \ln(W_t/W_0) \times t^{-1} \times 100 \quad (1)$$

式中:W₀ 为初始鲜重,W_t 为 t 天后的鲜重,称量前用滤纸吸干藻体表面的水分。

1.3.2 生化指标的测定

参照 JENSEN 的方法^[10]测定叶绿素 a(Chl. a)和类胡萝卜素(Car)的含量,称取 0.2 g 鲜重的藻体剪碎,使用 100% 丙酮研磨,定容到 15 mL,在 4 ℃ 的冰箱中放置 24 h,以 5 000 r/min 的速度离心 15 min 后为待测液;参照 SIEGELMAN 和 KYCIA 的方法^[11]测定藻红蛋白(PE)和藻蓝蛋白(PC)的含量,用 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液研磨 0.1 g 鲜重的藻体定容到 10 mL,离心后为待测液;可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 染料结合法;可溶性碳水化合物含量测定采用苯酚-硫酸法。

1.3.3 硝酸还原酶(NR)的测定

参照 CORZO 和 NIELL 的方法^[12],称取 0.1 g 藻体置于 10 mL 已配好的缓冲液中,充氮气 2

min 后密封,在设定为 30 ℃ 的培养箱中黑暗条件下反应 30 min,测定亚硝氮(NO₂⁻-N)的含量^[11],用每克湿重藻体每小时产生的 NO₂⁻-N 量来表示 NRA(μmol/NO₂⁻ h⁻¹ g⁻¹ FW)。

1.3.4 营养盐吸收速率的测定

一个培养周期结束后藻体经历两个光周期两个暗周期,测定培养介质中硝酸盐和无机磷的浓度,以培养前后硝酸盐和磷酸盐浓度的减少速率来表示吸收速率:

$$R_{\text{uptake}} = (N_0 - N_t) \times V \times g^{-1} \times t^{-1} \quad (1)$$

式中:N₀ 为实验前培养介质中硝酸盐或磷酸盐的浓度(μmol/L),N_t 为 t 小时后硝酸盐或磷酸盐的浓度(μmol/L),V 为三角烧瓶中海水的体积(L),g 为实验时称取的藻体的鲜重(g)。

1.4 数据处理

所有测定结果表示为平均数 ± 标准差(n ≥ 3),全部数据用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 进行处理,采用 One-Way ANOVA 对实验结果进行方差分析,以 P < 0.05 作为差异的显著水平。

2 结果

2.1 生长

如图 1 所示,C₀N₀ 处理条件下的羽毛藻相对生长率最低,C₊N₊ 处理下的相对生长率最高,他们分别与其他 2 组存在显著性差异(P < 0.05),这说明升高大气 CO₂ 浓度或者增加海水中硝氮浓度都会促进羽毛藻的生长。

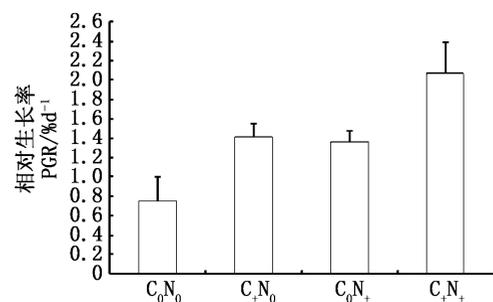


图 1 不同 C、N 条件对羽毛藻的相对生长率的影响
Fig. 1 Effects of different C and N growth treatments on the growth of *Caulerpa serrulata*

2.2 生化指标的测定

由图 2 可以看出,在 NO₃⁻ 浓度一样的条件下培养的羽毛藻,高 CO₂ 浓度培养的藻体,Chl. a、Car、PE 和 PC 这 4 种色素含量均小于低 CO₂ 浓

度培养时藻体的含量;在 CO₂ 浓度一样的条件下培养的羽毛藻在 NO₃⁻ 浓度高时 4 种色素含量较高。

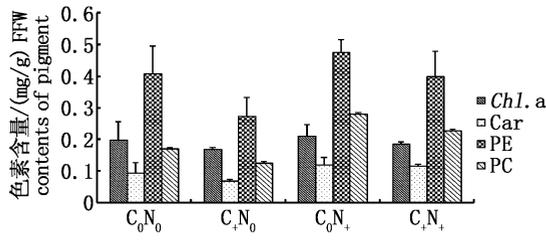


图 2 不同 C、N 条件对羽毛藻 Chl. a、Car、PE 和 PC 含量的影响

Fig.2 Effects of different C and N treatments on the contents of Chl. a, Car, PE and PC in *Caulerpa serrulata*

由此可知,高浓度 NO₃⁻ 可以提高羽毛藻藻体中 4 种色素的含量,而高浓度 CO₂ 会降低它们在藻体中的含量。

如图 3 所示,NO₃⁻ 浓度一样的条件下,高 CO₂ 浓度下培养的羽毛藻可溶性蛋白的含量都低于正常 CO₂ 浓度下藻体的含量(P < 0.05); CO₂ 浓度相同的条件下硝氮浓度增加会提高羽毛藻中可溶性蛋白的含量(P < 0.05)。

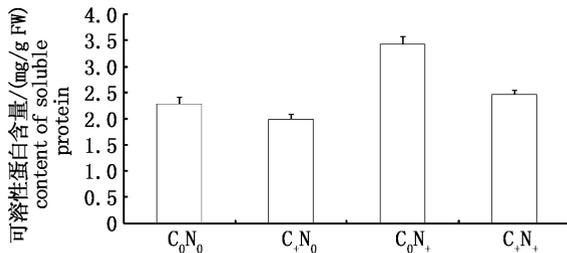


图 3 不同 C、N 条件对羽毛藻可溶性蛋白含量的影响

Fig.3 Effects of different C and N treatments on the contents of soluble protein in *Caulerpa serrulata*

由图 4 可以看出,在低 CO₂ 浓度时提高硝氮浓度会增加可溶性碳水化合物的含量,在相同的硝氮浓度下,提高 CO₂ 浓度会降低羽毛藻藻体中可溶性碳水化合物的含量。

2.3 硝酸还原酶活性

如图 5 所示相同硝氮浓度下提高 CO₂ 浓度能够提高硝酸还原酶活性(P < 0.05),而相同

CO₂ 浓度条件下提高硝氮浓度反而会降低硝酸还原酶活性(P < 0.05)。

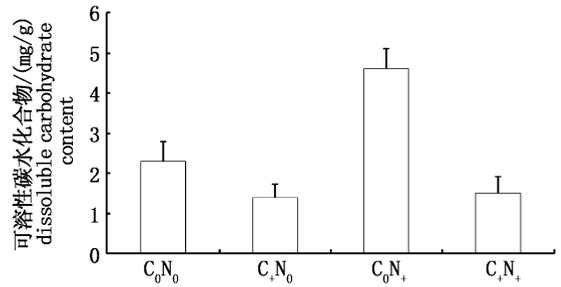


图 4 不同 C、N 条件对羽毛藻可溶性碳水化合物的影响

Fig.4 Effects of different C and N treatments on content of carbohydrate in *Caulerpa serrulata*

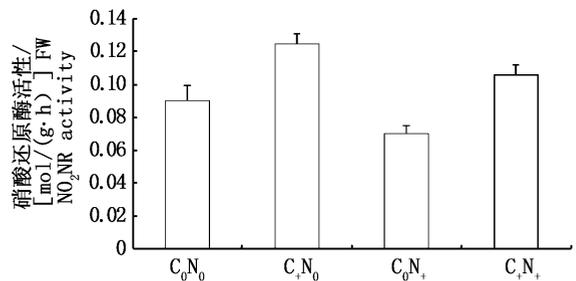


图 5 不同 C、N 条件对羽毛藻的硝酸还原酶活性的影响

Fig.5 Effects of different C and N treatments on Nitrate reductase (NR) activity in *Caulerpa serrulata*

2.4 营养盐吸收速率的测定

由图 6 可知,提高硝氮浓度能显著提高羽毛藻对 N 和 P 的吸收速率(P < 0.01),低硝氮浓度下增加 CO₂ 浓度能提高藻体对 N 和 P 的吸收速率(P < 0.05),高硝氮浓度下增加 CO₂ 浓度能提高藻体对 N 的吸收速率(P < 0.05),但并没有显著提高对 P 的吸收速率(P > 0.05)。

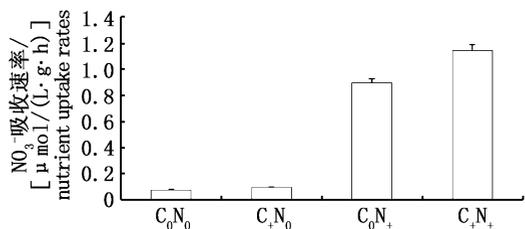


图 6 不同 C、N 条件对羽毛藻 NO₃⁻ 吸收的影响

Fig.6 Effects of different C and N conditions on NO₃⁻ uptake rates in *Caulerpa serrulata*

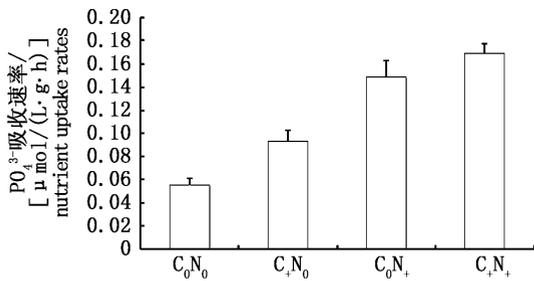


图7 不同 C、N 条件下培养对羽毛藻 PO₄³⁻ 吸收的影响

Fig. 7 Effects of different C and N growth treatments on PO₄³⁻ uptake rate in *Coulerpa serrulata*

3 讨论

大型海藻的生长是一个与外界环境相关的复杂生理生化过程,不同种类的海藻对高浓度 CO₂ 的反应也不同。以往研究表明,高浓度 CO₂ 能促进石莼属中的 *Ulva rifida*^[14-15]、条斑紫菜 (*Porphyra yezoensis*)^[16]、两种江蓠属海藻 (*Gracilaria* sp. 和 *G. chilensis*)^[17] 以及酵母状节藻 (*Lomentaira articulata*)^[18] 等大型海藻的生长,其中一些海藻能够利用 HCO₃⁻ 作为碳源进行光合固碳作用,当 CO₂ 浓度增高时能够提高水体中的无机碳浓度,减少自然海水中碳限制这一现象,从而促进大型海藻的生长,另一些海藻不能利用 HCO₃⁻ 进行固碳作用,但高浓度 CO₂ 能通过提高水体中的 CO₂/O₂ 比值来促进固碳,降低光呼吸,从而也能提高海藻的生长。本研究中高浓度 CO₂ 能提高羽毛藻的生长速率,这可能是因为羽毛藻能直接利用周围海水中的 HCO₃⁻ 作为其无机碳源,藻体内存在 CCM 浓缩机制,提高实验时 CO₂ 浓度相应提高了培养水体中 HCO₃⁻ 的浓度,由此也就显著地促进了羽毛藻的固碳作用,促进了羽毛藻的生长。但也有报道高 CO₂ 浓度对江蓠属的 *Gracilaria gaditana*^[19] 等海藻生长没有影响,对紫菜属中 *Porphyra linearis*^[20] 的生长起抑制作用,这可能是由于 CO₂ 浓度增加使培养水体的 pH 值下降,海水酸化对海藻的生长起到了抑制作用,另外不同的 CO₂ 浓度会导致水体中无机碳浓度不同,对海藻的影响也有所差距,这就体现在高浓度 CO₂ 会抑制某些海藻的生长,因此高浓度 CO₂ 对大型海藻生长的影响机制有待进一步研究。

大型海藻在生长过程中要大量吸收 N、P 等

营养物质,为其生理活动及细胞组织结构的组成提供原材料。海水中可供海藻利用的无机氮源主要分为硝态氮和氨态氮。硝酸盐是大型海藻重要的无机氮源,被大型海藻吸收后用于合成自身的蛋白质、氨基酸、各种色素和藻红蛋白等有机物。本研究中增加培养水体中的硝氮后无论 CO₂ 条件如何都会使羽毛藻的生长明显加快。无机氮是大型海藻生长的营养物质基础,自然生长下海藻通常处于氮限制的状态。实验中当硝氮浓度增加时为藻体提供了外部生长信号,调动海藻有关生长控制基因的合成表达,从而使藻体利用外部营养盐进行生长的生理活动底物浓度增高,增加了同化作用,进而促进海藻的生长。另外本实验发现当 CO₂ 和硝氮浓度同时增加时,羽毛藻的生长速率并不是二者分别单独增加时的加倍。其原因可能是在硝氮限制的条件下,CO₂ 浓度的增加对 Rubisco (1, 5-二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酶)并没有明显的抑制作用,而在硝氮供应充足情况下,CO₂ 浓度的增加减少了 Rubisco 的合成,从而一定程度上降低了碳的同化。

本研究中,CO₂ 浓度增加会降低藻体的 *Chl. a*、Car、PE、PC 和可溶性蛋白含量,硝氮浓度增加却会提高它们在藻体中的含量,即 C₀N₊ 处理中含量最高,C₊N₀ 中最低,这与江蓠属的 *Gracilaria gaditana*^[21] 研究结果一致。大型海藻藻体内的氮库主要分为无机氮库、蛋白性氮库和非蛋白性氮库如叶绿素等组成,一般而言大型海藻在自然海水处于氮缺乏的状态,当硝氮浓度增加时能为藻体中各种蛋白的合成提供营养,这样会导致以氮为底物的氮代谢得到加强,并为藻体储存多余的氮源^[22],所以在高硝氮浓度下培养的羽毛藻藻体中各种色素和可溶性蛋白含量均得到增加。

硝酸还原酶是海藻氮代谢中的关键酶之一,它可以将硝酸根还原成亚硝酸根,在亚硝酸还原酶的作用下将亚硝酸根转化成铵离子,硝酸还原酶是一种诱导酶,会强烈地受到培养水体中硝酸盐浓度的影响,MERCADO 等^[23] 发现 CO₂ 浓度增加会使紫菜 (*Porphyra leucosticta*) 的硝酸还原酶活性增加,本研究在硝氮加富情况下硝酸还原酶活性也得到加强。在硝氮供应充足的情况下 CO₂ 浓度增加促进了羽毛藻对 N、P 营养盐的吸收,这与石莼属的 *Ulva lactuca*^[24]、褐藻 *Hizikia fusiforme*^[25] 和红藻 *Gracilaria chilensis*^[17] 的研究结

果一致,硝酸还原酶浓度的变化会受到细胞内硝酸盐浓度的刺激,二者变化趋势相同。

硝氮浓度增加大大促进了羽毛藻对 N、P 营养盐的吸收速率,硝酸还原酶浓度的变化会受到细胞内硝酸盐浓度的刺激,二者变化趋势相同,大型海藻对于营养盐的吸收是一个主动运输的过程,培养水体硝酸盐浓度增高,即底物浓度增加,藻体对营养盐的吸收率也就相应增大。本研究得出高浓度营养盐下培养的羽毛藻比自然海水中具有更高的氮磷吸收率。藻体在高浓度 CO₂ 培养下具有更高的固碳作用,能为海藻主动吸收营养盐的过程提供更多的能量,从而促进营养盐的吸收,但是对于氮和磷吸收效率的提高程度不同,可能因为吸收氮和磷都需要能量,二者有竞争关系,因此大型海藻对营养盐的吸收利用机制还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] MAKINO A, MAE T. Photosynthesis and plant growth at elevated levels of CO₂ [J]. *Plant and Cell Physiology*, 1999, 40 (10): 999 - 1006.
- [2] DRAKE B J, GONZÁLEZ-MELER M A, LONG S P. More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO₂ [J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1997, 48(1): 609 - 639.
- [3] 张清春, 于仁诚, 周名江, 等. 不同氮源对微小亚历山大藻生长和毒素产生的影响[J]. *海洋学报*, 2005, 27(6): 138 - 145.
ZHANG Q C, YU R C, ZHOU M J, et al. Effects of four nitrogen substrates on growth and toxin production of *Alexandrium minutum* (Dinophyceae) [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 27(6): 138 - 145.
- [4] NEORI A, COHEN I, GORDIN H. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. II. Growth rate, yield and C:N ratio[J]. *Botanica Marina*, 1991, 34(6): 483 - 489.
- [5] YANG Y F, FEI X G. Prospects for bioremediation of cultivation of large-sized seaweed in eutrophic mariculture areas[J]. *Periodical of Ocean University of Qingdao*, 2003, 33(1): 53 - 57.
- [6] FEI X G. Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation[J]. *Hydrobiologia*, 2004, 512(1/3): 145 - 151.
- [7] GAO K S, MCKINGLEY K R. Use of macroalgae for marine biomass production and CO₂ remediation: A review [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1994, 6(1): 45 - 60.
- [8] 李伟新. 海藻学概论[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
LI W X. Introduction to Seaweed[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1982.
- [9] 赵素芬, 孙会强, 王丹, 等. 湛江海区 8 种常见海藻营养成分分析[J]. *广东海洋大学学报*, 2008, 28(6): 30 - 34.
ZHAO S F, SUN H Q, WANG D, et al. Nutrient components analysis of eight kinds of seaweeds in Zhanjiang sea area[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2008, 28(6): 30 - 34.
- [10] JENSEN A. Chlorophylls and carotenoids[M]//HELLEBUST J A, CRAIGIE J S. *Handbook of Phycological Methods, Physiological and Biochemical Methods*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978: 61 - 69.
- [11] SIEGELMAN H W, KYCIA J H. Algal biliproteins[M]//HELLEBUST J A, CRAIGIE J S. *Handbook of Phycological Methods, Physiological and Biochemical Methods*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978: 71 - 79.
- [12] CORZO A, NIELL F X. Determination of nitrate reductase activity in *Ulva rigida* C. Agardh by the in situ method[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1991, 146(2): 181 - 191.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.4 - 2007 海洋调查规范第 4 部分: 海水化学要素调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.4—2007 Specifications for oceanographic survey-part 4: Survey of chemical parameters in sea water[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [14] GORDILLO F J L, NIELL F X, FIGUEROA F L. Non-photosynthetic enhancement of growth by high CO₂ level in the nitrophilic seaweed *Ulva rigida* C. Agardh (Chlorophyta) [J]. *Planta*, 2001, 213(1): 64 - 70.
- [15] GORDILLO F J L, FIGUEROA F L, NIELL F X. Photon- and carbon-use efficiency in *Ulva rigida* at different CO₂ and N levels[J]. *Planta*, 2003, 218(2): 315 - 322.
- [16] GAO K S, ARUGA Y, ASADA K, et al. Enhanced growth of the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda in high CO₂ concentration [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1991, 3 (4): 355 - 362.
- [17] 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.
- [18] KUBLER J E, JOHNSTON A M, RAVEN J A. The effects of reduced and elevated CO₂ and O₂ on the seaweed *Lomentaria articulata* [J]. *Plant, Cell & Environment*, 1999, 22(10): 1303 - 1310
- [19] 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.
- [20] ISRAEL A, KATZ S, DUBINSKY Z, et al. Photosynthetic inorganic carbon utilization and growth of *Porphyra linearis* (Rhodophyta) [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1999, 11(5): 447–453.
- [21] 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 nitrogen level [J]. *European Journal of Phycology*, 1999, 34(5): 497–504.
- [22] KURSAR T A, ALBERTE R S. Photosynthetic unit organization in a red alga: Relationships between light-harvesting pigments and reaction centers [J]. *Plant physiology*, 1983, 72(2): 409–414.
- [23] MERCADO J M, JAVIER F, GORDILIO L, et al. Effects of different levels of CO₂ on photosynthesis and cell components of the red alga *Porphyra leucosticta* [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1999, 11(5): 455–461.
- [24] 邹定辉, 高坤山, 阮祚禧. 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.
- ZOU D H, GAO K S, RUAN Z X. Effects of elevated CO₂ concentration on photosynthesis and nutrients uptake of *Ulva lactuca* [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2001, 31(6): 877–882.
- [25] ZOU D H. Effects of elevated atmospheric CO₂ on growth, photosynthesis and nitrogen metabolism in the economic brown seaweed, *Hizikia fusiforme* (Sargassaceae, Phaeophyta) [J]. *Aquaculture*, 2005, 250(3/4): 726–735.

Effects of increased atmospheric CO₂ and N supply on biochemical compositions and nutrient uptake in *Caulerpa serrulata*

CUI Lixiang, HE Wenhui, LI Xianxian, CAI Qingjie, ZHANG Ao
(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The seaweed, *Caulerpa serrulata* were incubated to investigate the effects of increased atmospheric CO₂ and N supply in seawater on the seaweed. Results indicate that either increased atmospheric CO₂ or N supply can enhance the relative growth rate. The relative growth rate of C₊N₊ was higher than that of C₀N₀ group by 63.77%. In addition, increased CO₂ decreased the contents of pigments, soluble protein and carbohydrates, and the contents of chlorophyll a in C₊N₀ was 39.01% lower than that in C₀N₀ group. C₊N₊ group was lower than those of C₀N₊ group by 49.26%, and corresponding Car in high carbon group decreased by 47.62% and 43.24%. Increased atmospheric CO₂ reinforces the activity of nitrate reductase under the conditions of both enriched and unenriched N supply, and high N supply stimulates the uptake of N and P.

Key words: *Caulerpa serrulata*; CO₂; nitrate; biochemical composition; nutrient uptake