

doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2013.05.021

徐军田,高坤山. CO₂ 升高和阳光紫外辐射对坛紫菜生长和光合特性的耦合效应[J]. 海洋学报, 2013, 35(5):184-190.

Xu Juntian, Gao Kunshan. Co-effects of CO₂ and solar UVR on the growth and photosynthetic performance of the economic red macroalga *Porphyra haitanensis*[J]. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese), 2013, 35(5):184-190.

CO₂ 升高和阳光紫外辐射对坛紫菜生长和光合特性的耦合效应

徐军田^{1,2},高坤山^{2*}

(1. 淮海工学院 海洋学院,江苏 连云港 222005; 2. 厦门大学 近海海洋环境科学国家重点实验室,福建厦门 361005)

摘要: 大气 CO₂ 持续升高,导致溶入海水中的 CO₂ 增多,海水表层的 H⁺ 浓度增加,从而引起海洋酸化。为了探讨近岸定生大型海藻对环境变化的响应,本文选择经济海藻坛紫菜为实验材料,研究海洋酸化与紫外辐射对藻体生长以及光合特性的影响。实验分两个 CO₂ 处理,分别为正常空气水平(390 ppmv)和高 CO₂ 水平(800 ppmv); 三种辐射处理,分别为全波长辐射(PAB)、滤除紫外线 B(PA)和仅接受可见光处理(PAR)。研究表明,CO₂ 培养下的坛紫菜,在仅有可见光(P)或者同时有紫外线 A(PA)存在的情况下,显著促进藻体的生长;但在全波长辐射处理下(PAB),这种作用不明显。高 CO₂ 降低了藻体在 P 和 PA 处理下的光合作用速率,但对 PAB 处理作用不显著。高 CO₂ 处理下的藻体,UV-B 显著降低了全波长辐射下藻体紫外吸收物质的含量,但在正常 CO₂ 水平下,紫外辐射的作用不显著。这表明高 CO₂ 导致的生长优势被紫外辐射的负面效应所抵消,在全球变化的过程中,紫外辐射的进一步加强在海洋酸化的背景下甚至有可能降低坛紫菜的产量。

关键词: 坛紫菜; 太阳紫外辐射; CO₂; 生长; 光合作用

中图分类号: Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2013)04-0184-07

1 引言

大气 CO₂ 浓度的持续升高,导致海洋溶入 CO₂ 的量也在不断增加,从而导致海水 pH 值下降,引起海洋酸化^[1]。海洋酸化对全球海洋生态系统的影响已经得到了广泛的关注,但研究的焦点主要集中于占海洋初级生产力 90% 以上的浮游植物类群以及远离人类活动影响的远洋区域^[2-3]。但是对于近海海域,尽管 pH 变化幅度比较大,但由于海洋酸化与低氧区及生物呼吸作用的耦合效应,其酸化速度比大洋海域的还要快^[4]。

定生于近海海域的大型海藻对海洋酸化的响应近几年来得到了一定的关注,这在褐藻巨藻和羊栖菜^[5-6]、绿藻硬石莼^[7]以及红藻无柄珊瑚藻和龙须菜^[8-9]中得到体现。但大多数实验是在实验室恒定的光强下得到的,忽略了光强的日变动和紫外线的作用。虽然由于《蒙特利尔议定书》的签订,平流层臭氧层的破坏得到了有效的抑制;但是研究表明,在 21 世纪气候变化将改变大气循环,增加高空和低层大气中的臭氧流量,并改变低层大气中的臭氧分布,这种不同地域紫外辐射的减少或者增加会对地球表面的生物产生很大的影响^[10]。而最新的研究发现,北极上

收稿日期:2012-08-07;修订日期:2013-04-25。

基金项目:国家自然科学基金(41106093;41120164007);国家 973 计划项目(2009CB421207);江苏省“青蓝工程”人才基金。

作者简介:徐军田(1979—),男,山东省临沂市人,副教授,博士,主要从事海洋藻类光生物学的研究。E-mail: xjtlx@126.com

* 通信作者:高坤山,教授,博士,从事藻类环境生理学研究。E-mail: ksgao@xmu.edu.cn

空也出现了和原来南极相似的臭氧空洞^[11]。因此考虑紫外线的作用能够更为真实的反映未来大型海藻对海洋酸化的响应。

坛紫菜是我国南方重要的栽培经济藻类之一,研究其生理特性在未来海洋酸化过程中的变化具有重要的意义。本文通过研究坛紫菜对海洋酸化和紫外辐射的结合效应,全面估测未来的主要气候变化对其产量及其他生理特性的影响。

2 实验材料和方法

2.1 实验材料

实验材料坛紫菜(*Porphyra haitanensis*)采自于广东汕头南澳岛深澳湾,在3 h内运回实验室,用过滤海水清洗藻体表面后,挑选大小适宜的健康藻体,在培养箱内暂养,暂养条件为20℃和200 μmol/(m²·s)(光周期为L12 h:D12 h)。2 d后,用于室外生长实验。

2.2 实验设置

在2007年11月8日到21日进行室外培养,从预培养的藻体中挑选出色泽紫红鲜亮,大小适中的紫菜片,用剪刀剪成约1 cm²的小片,每个石英管(一端开口,直径为59 mm,长度为400 mm)中放入0.5 g藻体,培养海水为过滤消毒的自然海水(盐度为31)。每隔一天换水一次,为防止紫菜在生长的过程中营养盐受到限制,海水中加入一定量的N,P(60 μmol/dm³ NO₃⁻, 8 μmol/dm³的PO₄³⁻),并且预先充入各自水平的CO₂的气体,使海水中的CO₂浓度和培养条件下的达到平衡。温度通过野外型控温仪(CAP-3000, Rikakikai, 东京, 日本)维持在(20±1)℃。

不同的辐射处理是通过在石英管外面包裹不同的滤膜,使藻体接受不同的阳光辐射处理,分别为:(1)P处理,通过Ultraplan 395滤膜(UV Opak, Dige-fra, Munich, Germany),滤掉全部紫外辐射,使藻体只接受可见光(PAR, 400~700 nm)。(2)PA处理,包裹Folex320滤膜(Montagefolie, No. 10155099, Folex, Dreieich, Germany),滤掉UV-B(280~315 nm),使藻体接受PAR和紫外线A(UV-A, 320~400 nm);(3)PAB处理,包裹Ultraplan 295滤膜(UV Opak, Dige-fra, Munich, Germany),藻体接受全波段阳光辐射,并且和P、PA处理的可见光水平基本维持在相同的水平。

培养过程中CO₂设定为两个水平,分别为空气水平(390 ppmv)(LC)和约2倍空气水平(800 ppmv)

(HC)。高CO₂是由室内的CO₂培养箱通过气泵运送到实验地点,然后分流到高CO₂处理的每个石英管;而正常空气水平的CO₂则是通过室外的气泵把空气泵入到石英管内。所有处理的通气流速设为300 mL/min。

2.3 阳光辐射测定

利用光谱辐射仪(ELDONET Terrestrial Spectro-radiometer, 德国产)连续监测太阳辐射的PAR、UV-A和UV-B,每秒钟测定一次,每分钟记录一次,通过积分可以得到一天内的日太阳辐射总量(Daily dose)^[12]。

2.4 生长的测定

生长速率通过鲜重的变化获得,按照以下公式求得其相对增长率(relative growth rate, RGR): $RGR = 100 \times (\ln N_t - \ln N_0) / t$ 其中 N_t 为第 t d的鲜重, N_0 为初始鲜重。

2.5 紫外吸收物质(UVAC)含量的测定

生长实验结束后,取0.2 g的藻体放置于10 mL的甲醇中,4℃的冰箱内过夜处理,后用紫外分光光度计(UV 530, Beckman counter, USA)测定其在250~750 nm波段的光吸收。根据UVAC吸收峰(334 nm)的峰高H与藻体鲜重的比来相对表示UVAC的含量^[13]。

2.6 光合作用的测定

光合放氧的测定采用YSI Model 5300型氧电极(美国),通过LKB超级恒温箱(英国)水浴控制温度为20℃。光合反应介质为过滤消毒的天然海水(pH值为8.2,盐度31)。光源为卤钨灯,所用坛紫菜藻量为0.05 g(FW),反应介质体积为8 mL,光强强度为600 μmol/(m²·s)(饱和光强)。

2.7 PAM荧光参数的测定:

用便携式荧光仪(PAM-Water-EDF, Walz, Efeltrich, Germany)测定坛紫菜的荧光参数,将坛紫菜藻体暗适应15 min后测定其最大光化学效率(F_v/F_m), $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$,其中 F_0 为基础荧光,是使用0.3 μmol/(m²·s)的调制红光测得的荧光值,而 F_m 是给予约6 000 μmol/(m²·s)的饱和脉冲后,测得暗适应样品的最大荧光值。藻体的相对电子传递速率($rETR$),是通过以下方程计算求得的: $rETR = \Delta F/F_m' \times PFD$,其中 $\Delta F/F_m'$ 为测定光适应样品PS II的有效光化学效率^[14], PFD 为测定时的光强强度。而光合参数计算公式为: $rETR = rETR_{max} \times \tanh(\alpha I/rETR_{max})$,式中 $rETR_{max}$ 为最大相对电子传递速率, α

为光能利用效率, I 是即时光强。

2.8 统计与分析

试验数据采用 two-way ANOVA (turkey) 或 T-test 分析, 设显著水平为 $p < 0.05$ 。实验中所有的处理都设为 3 个重复。不同的字母代表不同辐射处理间有显著性差异 ($p < 0.05$)。

3 结果

通过光强的日平均变化图可以看出实验期间的天气基本为晴天, 其在中午时刻的平均最大光强为 186 W/m^2 (图 1a)。实验期间日累积辐射量的最大值分别为 PAR: 4.39 MJ/m^2 , UV-A: 0.69 MJ/m^2 和 UV-B: 0.018 MJ/m^2 ; 而最低值分别为 PAR: 2.13 MJ/m^2 , UV-A: 0.33 MJ/m^2 和 UV-B: 0.008 MJ/m^2 。实验期间的平均日辐射量分别为 PAR: 3.74 MJ/m^2 , UV-A: 0.58 MJ/m^2 和 UV-B: 0.015 MJ/m^2 (图 1b)。

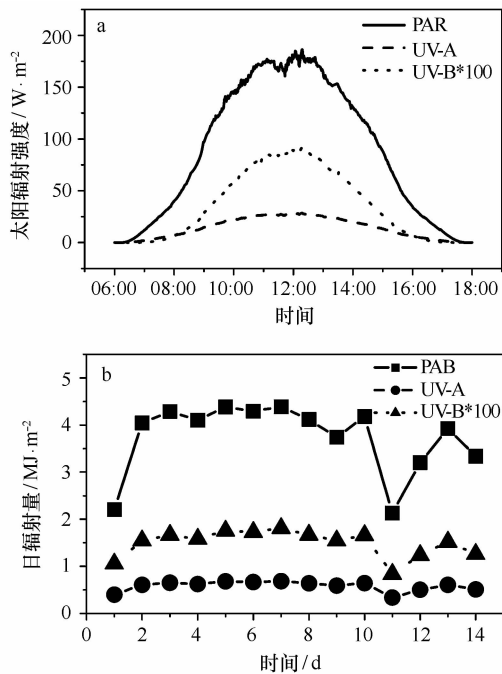


图1 坛紫菜生长实验期间不同光质平均光强的日变化(a)和日累积辐射量的变化(b)

不同处理的坛紫菜经过 14 d 的不同处理后, 其相对生长速率表现为不同的变化趋势。在高 CO_2 培养下的藻体, 在仅有可见光或者同时有紫外线 A 存在的情况下, 显著促进藻体的生长 ($p < 0.05$), 但在全波长辐射处理下, 这种作用不明显 ($p > 0.05$)。在正常 CO_2 培养下的藻体, UV-A 对藻体的生长速率没有

显著的影响, 但 UV-B 显著降低藻体的生长速率。而高 CO_2 培养下的藻体, 3 种光辐射处理间都有显著性差异 ($p < 0.05$), 其中 UV-A 明显促进了藻体的生长, 而 UV-B 仍然表现为负面效应。对坛紫菜的生长速率来说, 紫外辐射和 CO_2 之间存在明显的交互作用 ($p < 0.05$)。

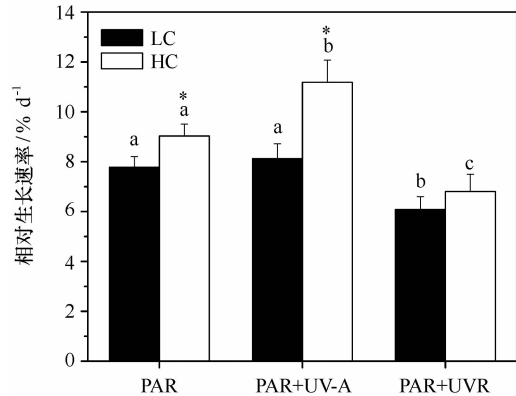


图2 不同光辐射处理与不同 CO_2 水平培养下坛紫菜相对生长速率(RGR)的变化

在 P 和 PA 辐射处理下, 高 CO_2 显著降低藻体的净光合作用速率 ($p < 0.05$), 但在全辐射处理下, 这种作用不显著 ($p > 0.05$)。在正常 CO_2 水平下, 3 种辐射处理间有显著差异 ($p < 0.05$)。UV-A 明显促进藻体的光合作用速率, 但 UV-B 表现为明显的抑制作用。而在高 CO_2 处理下, UV-A 明显降低藻体的光合作用速率, 但 UV-B 的作用不显著。紫外辐射和 CO_2 之间存在明显的交互作用 ($p < 0.05$)。

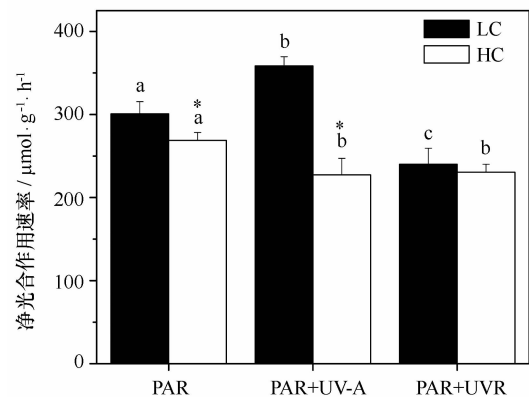


图3 不同光辐射处理与不同 CO_2 水平培养下坛紫菜最大光合作用速率的变化

经过 14 d 的处理后, 高 CO_2 显著增加了坛紫菜藻体 PSII 的最大光化学效率 (F_v/F_m) ($p < 0.05$), 而 UV-B 无论在高 CO_2 还是正常 CO_2 水平下, 都显著降

低藻体的 F_v/F_m ,但 UV-A 对此没有显著的影响 ($p > 0.05$)(图 4)。紫外辐射和 CO₂ 之间交互作用不显著 ($p > 0.05$)。

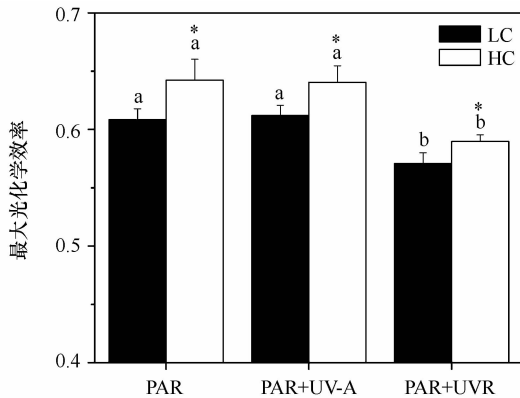


图 4 不同光辐射处理与不同 CO₂ 水平培养下坛紫菜 PSII 最大光化学效率的变化

坛紫菜在经过 14 d 的处理后,其相对电子传递速率随着光强强度的变化呈现不同的趋势。结果表明,在正常 CO₂ 水平下,UV-A 显著促进藻体的最大电子传递速率和光合效率,而 UV-B 则表现为明显的负面效应 ($p < 0.05$);对于光饱和参数 I_k 来说,

紫外线没有显著的影响 ($p > 0.05$)。在高 CO₂ 水平下,UV-A 显著促进藻体的最大电子传递速率 ($p < 0.05$),但对于光合效率来说,这种作用不明显 ($p > 0.05$);而 UV-B 同时显著降低藻体的最大电子传递速率和光合效率 ($p < 0.05$)。光饱和参数 I_k 则表现为和最大电子传递速率一样的变化趋势。在 P 和 PA 辐射处理下,高 CO₂ 显著降低藻体的最大电子传递速率和 I_k ,但对光合效率却是明显的促进作用 ($p < 0.05$)。而在 PAB 处理下,CO₂ 的作用不显著 ($p > 0.05$)。

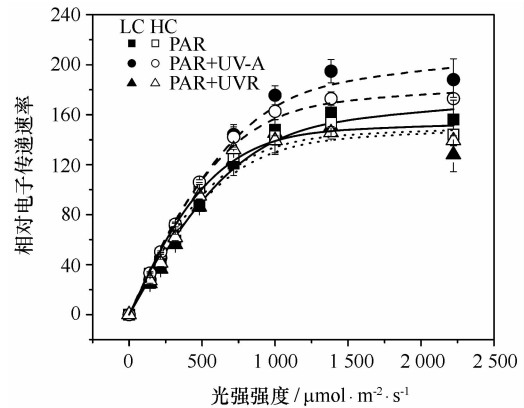


图 5 不同光辐射处理与不同 CO₂ 水平培养下坛紫菜相对电子传递速率随光强的变化

表 1 不同光辐射处理与不同 CO₂ 水平培养下坛紫菜叶绿素荧光参数的变化

	$rETR_{max}$	α	I_k
P-L	166.0 ± 15.9 ^a	0.21 ± 0.01 ^a	793.4 ± 117.0 ^a
PA-L	200.2 ± 11.7 ^b	0.25 ± 0.01 ^b	810.7 ± 79.4 ^a
PAB-L	146.6 ± 9.9 ^a	0.22 ± 0.01 ^a	678.4 ± 48.7 ^a
P-H	151.4 ± 10.7 ^a	0.25 ± 0.00 ^{a*}	603.2 ± 40.5 ^{a*}
PA-H	178.1 ± 4.9 ^{b*}	0.26 ± 0.00 ^{a*}	695.4 ± 8.3 ^{b*}
PAB-H	147.9 ± 2.1 ^a	0.23 ± 0.01 ^b	634.1 ± 19.2 ^a

注:a,b表示辐射处理间的显著性差异 ($p < 0.05$);*表示高 CO₂ 处理下的藻体与正常空气 CO₂ 处理有显著性差异。

坛紫菜经过 14 d 的不同处理后,其体内的紫外吸收物质(UVAC)表现为不同的变化趋势。在正常 CO₂ 培养下的藻体,其含量在不同辐射处理间没有显著性差异 ($p > 0.05$)。但在高 CO₂ 的情况下,全波长辐射处理显著降低坛紫菜的 UVAC 含量。对于不同的辐射处理,高 CO₂ 都明显降低藻体 UVAC 的含量 ($p < 0.05$)。紫外辐射和 CO₂ 之间存在明显的交互作用 ($p < 0.05$)。

4 讨论

坛紫菜在不同光辐射处理下对高 CO₂ 的响应不同,除全波长辐射外,高 CO₂ 能够显著促进藻体的生长,这在一些研究中也得到相同的现象^[7,9,15]。大气 CO₂ 持续升高,溶入海水使其碳酸盐系统发生明显的变化,增加的 HCO₃⁻ 和 CO₂ 使坛紫菜能够获得更多的碳源,虽然坛紫菜拥有很强的 HCO₃⁻ 利用能力^[16],但是 CO₂ 的增加可以有效的节省利用 HCO₃⁻ 作为碳

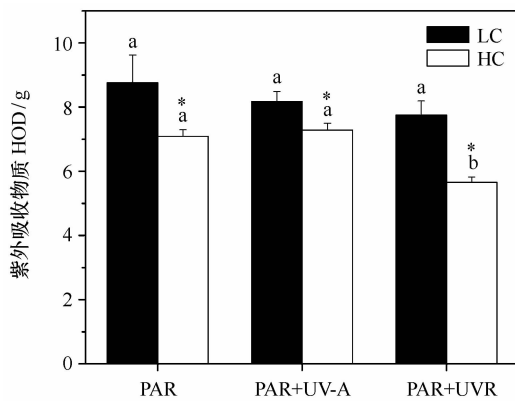


图6 不同光辐射处理与不同 CO₂ 水平培养下坛紫菜紫外吸收物质(UVAC)的变化

源的能量,从而促进生长。长期适应高 CO₂ 的坛紫菜其无机碳浓缩能力下降(CCM下调,对 CO₂ 的亲合力下降),因此在较高 pH 值下的最大光合作用能力由于碳源获取不足而显著下降,但其光系统 II 的最大光化学效率却显著增加,其最大电子传递速率未受到明显的影响,在低光下的光合效率也明显增加,光饱和参数显著下降(见表 1),这样在一天之内除中午高光强下,藻体的生长有可能受到抑制,其他光强较弱的时段,高 CO₂ 生长下的坛紫菜会有更强的生长能力。

UV-A 在高 CO₂ 处理下藻体中体现为明显的正面效应,这在龙须菜和墨角藻的幼体阶段也有相似的研究发现^[9,17]。但是在正常 CO₂ 水平下,这种作用不明显,这有可能是在高 CO₂ 水平下,UV-A 的正面效应由于碳源的充分供应而呈现协同效应。在 UV-B 也存在的情况下,坛紫菜的生长受到明显的抑制,这种作用在高 CO₂ 水平下更为显著。通过图 1 我们可以看出,实验期间基本为晴天,高剂量的 UV-B 使藻体的光系统受到一定程度的损伤^[18],导致其光系统 II

的最大光化学效率和电子传递速率都显著下降,从而降低藻体的生长^[19-20]。UV-B 在高 CO₂ 存在的情况下明显的降低了紫外吸收物质的含量,紫外吸收物质能够有效的保护藻体免受紫外辐射的损伤^[21-22],在藻类的生长过程中起到重要的作用^[23]。这种降低在很大程度上影响了藻体的生长吸收速率;由于在正常 CO₂ 水平下,UV-B 对藻体的紫外物质含量没有明显的影响,这导致在全波长辐射下,坛紫菜的生长在高 CO₂ 的情况下受到紫外辐射的影响更大,从而使高 CO₂ 对生长的正面效应不明显。并且在 UV-B 存在的情况下,高 CO₂ 培养下的坛紫菜低光下光能利用效率和光饱和参数与正常 CO₂ 水平下培养的藻体相比都没有显著变化,这也在一定程度上导致了全波长辐射下高 CO₂ 对坛紫菜生长的正面效应不明显。坛紫菜对高 CO₂ 和紫外辐射的响应与另一种经济藻类龙须菜不同^[9],这一方面有可能是物种之间的差异,而另一方面和它们在形态结构以及藻体在近岸海域的分布深度有关,并且它们生长季节不同,这导致藻体接受的阳光日变化有明显的不同。

综上所述,虽然在很多的研究中发现未来海洋酸化会明显增加一些大型海藻的生长,但对于坛紫菜来说,自然状态下生长的藻体(接受全波长太阳辐射处理)并没有受到明显的影响,高 CO₂ 导致的生长优势被紫外辐射的负面效应所抵消,在全球变化的过程中,紫外辐射的进一步加强甚至有可能降低坛紫菜的产量。本研究只是涉及到了坛紫菜的成体阶段,而其生活史的早期阶段对海洋酸化和紫外辐射的影响尚未考虑,由于大型藻类的幼体阶段会对紫外辐射和海洋酸化更为敏感^[24-25],因此,为了全面研究海洋酸化在未来对坛紫菜的影响,我们下一步应该考虑其整个生活史不同阶段对海洋酸化的响应。

参考文献:

- [1] Sabine C L, Feely R A, Gruber N, et al. The oceanic sink for anthropogenic CO₂[J]. Science, 2004, 305(5682): 367-371.
- [2] Schippers P, Lüring M, Scheffer M. Increase of atmospheric CO₂ promotes phytoplankton productivity[J]. Ecol Lett, 2004, 7(6): 446-451.
- [3] Iglesias-rodriguez M D, Halloran P R, Rickaby R E M, et al. Phytoplankton calcification in a high-CO₂ world[J]. Science, 2008, 320(5874): 336-340.
- [4] Cai W J, Hu X, Huang W J, et al. Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication[J]. Nat Geosci, 2011, 4(4): 766-770.
- [5] Roleda M Y, Morris J N, McGraw C M, et al. Ocean acidification and seaweed reproduction: increased CO₂ ameliorates the negative effect of lowered pH on meiospore germination in the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyceae)[J]. Global Change Biol, 2012, 18(3): 854-864.
- [6] Zou D H. Effects of elevated atmospheric CO₂ on growth, photosynthesis and nitrogen metabolism in the economic brown seaweed, *Hizikia fusiformis*

- forme* (Sargassaceae, Phaeophyta)[J]. *Aquaculture*, 2005, 250(3/4): 726–735.
- [7] 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.
- [8] Gao K, Zheng Y. Combined effects of ocean acidification and solar UV radiation on photosynthesis, growth, pigmentation and calcification of the coralline alga *Corallina sessilis* (Rhodophyta)[J]. *Global Change Biol*, 2010, 16(8): 2388–2398.
- [9] 徐军田, 高坤山. CO₂ 和阳光紫外辐射对经济红藻龙须菜的影响[J]. *海洋学报*, 2010(5), 32: 144–151.
- [10] Hegglin M I, Theodore T G. Large climate-induced changes in ultraviolet index and stratosphere-to-troposphere ozone flux[J]. *Nat Geosci*, 2009, 2(9): 687–691.
- [11] Manney G L, Santee M L, Rex M, et al. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011[J]. *Nature*, 2011, 478(7370): 469–475.
- [12] Häder D P, Lebert M, Marangoni R. ELDONET-European light dosimeter network hardware and software[J]. *J Photochem Photobiol B: Biol*, 1999, 52: 51–58.
- [13] Helbling E W, Barbieri e S, Sinha P, et al. Dynamics of potentially protective compounds in Rhodophyta species from Patagonia (Argentina) exposed to solar radiation[J]. *J Photochem Photobiol B: Biol*, 2004, 75(1–2): 63–71.
- [14] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, 990(1): 87–92.
- [15] Gao K, Aruga Y, Asada K. Influence of enhanced CO₂ on growth and photosynthesis of the red algae *Gracilaria sp.* and *G. chilensis*[J]. *J Appl Phycol*, 1993, 5(6): 563–571.
- [16] Zou D, Gao K. Photosynthetic bicarbonate utilization in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta)[J]. *Chinese Sci Bull*, 2002, 47(19): 1629–1633.
- [17] Henry B E, Van Alstyne K L. Effects of UV radiation on growth and phlorotannins in *Fucus gardneri* (Phaeophyceae) juveniles and embryos[J]. *J Phycol*, 2004, 40(3): 527–533.
- [18] Sass L, Spetea C, Máté Z, et al. Repair of UV-B-induced damage of photosystem II via de novo synthesis of the D1 and D2 reaction centre subunits in *Synechocystis sp. PCC 6803*[J]. *Photosynth Res*, 1997, 54(1): 55–62.
- [19] Michler T, Aguilera J, Hanelt D, et al. Long-term effects of ultraviolet radiation on growth and photosynthetic performance of polar and cold-temperate macroalgae[J]. *Mar Biol*, 2002, 140(6), 1117–1127.
- [20] Gao K, Xu J. Effects of solar UV radiation on diurnal photosynthetic performance and growth of *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta)[J]. *Eur J Phycol*, 2008, 43(3): 297–307.
- [21] Karsten U, Franklin L A, Lüning K, et al. Natural ultraviolet radiation and photosynthetically active radiation induce formation of mycosporine-like amino acids in the marine macroalga *Chondrus crispus* (Rhodophyta)[J]. *Planta*, 1998, 205(2): 257–262.
- [22] Hoyer K, Karsten U, Sawall T, et al. Photoprotective substances in Antarctic macroalgae and their variation with respect to depth distribution, different tissues and developmental stages[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 2001, 211(1): 117–129.
- [23] Jiang H, Gao K, Helbling E W. UV-absorbing compounds in *Porphyra haitanensis* (Rhodophyta) with special reference to effects of desiccation[J]. *Journal Of Applied Phycology*, 2008, 20(4): 387–395.
- [24] Véliz K, Edding M, Tala F, et al. Effects of ultraviolet radiation on different life cycle stages of the south Pacific kelps, *Lessonia nigrescens* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyceae)[J]. *Mar Biol*, 2006, 149(5): 1015–1024.
- [25] Jiang H, Gao K. Effects of UV radiation on the photosynthesis of conchocelis of *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta)[J]. *Phycologia*, 2008, 47(3), 241–248.

Co-effects of CO₂ and solar UVR on the growth and photosynthetic performance of the economic red macroalga *Porphyra haitanensis*

XU Juntian^{1,2}, GAO Kunshan²

(1. School of Marine Science & Technology, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China; 2. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Increasing CO₂ in the atmosphere makes the oceans take up more CO₂ from the air, and H⁺ concentration in surface seawater increase, which was known as ocean acidification. In order to find the responses of macroalgae to the environment changes, The economic macroalga *Porphyra haitanensis* was selected to study the co-effects of

solar UVR and CO₂ on the physiological performances of the thalli. The experiments set up two CO₂ levels, 390ppmv and 800ppmv, and three solar light treatments, full spectrum solar radiation (PAB), UV-B was cutting off and PAR only. Our results showed that the enhance of the growth of *Porphyra haitanensis* was found in the thalli cultured under high CO₂ condition compared with that under ambient CO₂ condition when the UV-B or UVR were cut off, but no significant difference was found in the thalli receiving full solar radiation. UV-B decreased the contents of UV-screening compounds in *Porphyra haitanensis* grown under elevated CO₂, while UV has no apparent effect on it when the thalli cultured at ambient CO₂ levels. It showed that the advantage of CO₂ in growth of *Porphyra haitanensis* was offsetted by the full spectrum solar radiation, and the production of the economic macroalga might decrease in future ocean where solar UV radiation will futher increase.

Key words: *Porphyra haitanensis*; Solar UV radiation; CO₂; growth; photosynthesis