

静止和充气培养条件下光强对龙须菜光合生理效应的影响

韩婷婷, 方建光*, 张继红, 蒋增杰, 汪文俊, 姜 绪, 毛玉泽

(中国水产科学研究院黄海水产研究所,农业部海洋渔业可持续发展重点实验室,山东 青岛 266071)

摘要:为研究充气和光强变化对大型海藻生长的影响,选择了常见的经济海藻龙须菜为实验材料,将静止和充气培养的藻体暴露在 $50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (低光)、 $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (中光) 和 $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (高光) 下,测定其生长、光合作用以及光合色素含量。结果表明,中光处理的龙须菜相对生长速率最大,光强过低或者过高均会抑制其生长。充气促进低光、中光和高光处理藻体的生长,相对生长速率分别提高 26.85%、31.82% 和 40.56%。充气可使低光处理的藻体光合作用速率和光合效率分别提高 8.14% 和 4.26%,可使高光处理的藻体呼吸作用速率降低 20.70%、Yield 升高 44.16%。这些结果说明,低光对生长的影响主要是由于藻体光合作用受到光限制,而高光对生长的影响是因为藻体呼吸作用增强。充气可以缓解因为光线不足或者高光损伤而对龙须菜生长造成的负面影响。

关键词:龙须菜; 充气; 光强; 光合作用

中图分类号: S 968.4

文献标志码: A

自然海水中无机碳浓度高达 2.2 mmol/L ,但远不能满足高密度养殖大型海藻最大生长对碳的需求^[1-2],如当无机碳浓度达到 3.5 mmol/L 时,海带对无机碳的利用速率达到最大^[2]。同时,Zou 等^[3]研究认为,在养殖密度大、水体流动缓慢的海区,大型海藻可能因为水体 pH 升高导致无机碳浓度降低,从而抑制藻体的光合作用和生长。已有的研究表明,向微藻培养水体中充气能够使水体处于流动状态,可提供更多的 CO_2 到培养水体中,促使细胞表面周围的营养和气体迅速更新和交换,有利于藻细胞的生长和繁殖,因此,充气是补充水体中无机碳消耗,提高微藻产量的重要方式之一^[4-6]。除此之外,在微藻培养和生产过程中,通过搅拌或者充气还能减少紫外辐射对藻体光合机制的伤害^[4]。而目前,关于大型海藻的充气培养研究较少。

龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 属于红藻门 (Rhodophyta), 杉藻目 (Gigartinales), 江蓐科 (Gracilariaceae), 江蓐属的大型海藻,生长快、琼胶含量高、能适应较高温度,具有很高的经济价值和

生态修复作用,在中国沿海被大规模地养殖^[7]。大型海藻主要生长于潮间带,通常随着潮汐的变化,光强变化较大。当藻类暴露在高光强下,大型海藻表现出明显的光抑制或者不可逆的光损伤^[8-11]。同时,在海上养殖龙须菜的过程中,随着海藻生物量的不断增加,海藻的养殖筏架逐渐下沉,导致不同深度生长的藻体所接受的光照强度以及光质组成都有所不同,对藻体的生长会造成较大的影响^[12]。为了探讨光强对龙须菜的影响,本实验在静止与充气两种培养条件下研究光强对龙须菜的生长和光合作用的影响,为指导海藻养殖及改善、调节海水养殖区的水质有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验用龙须菜取自荣成桑沟湾 ($37^{\circ}10' \text{N}$, $122^{\circ}34' \text{E}$),选取生长良好的藻体,冷藏运回实验室。反复清洗,去除可见附着物,在过滤的自然海水中暂养半个月,暂养水温 (20 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, pH 8.1,

收稿日期:2013-04-30 修回日期:2013-09-30

资助项目:国家重点基础研究发展计划(2011CB409805);“十二五”国家科技支撑计划(2011BAD13B06,2011BAD13B02);国家自然科学基金项目(41276172)

通信作者:方建光,E-mail:fangjg@ysfri.ac.cn

盐度 32, 光强 $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光周期 12 L:12 D, 充气 24 h, 每天换水 1 次。

1.2 实验设计

实验材料放在 3 L 锥形烧瓶中(装有 2.5 L 过滤灭菌的自然海水), 于 GXZ 智能型光照培养箱(宁波江南制造厂, 中国)中培养, 培养密度为每升海水 1 g 藻体(湿重), 每天换 1 次海水(无机氮, DIN 浓度 $32 \mu\text{mol}/\text{L}$, 无机磷, DIP 浓度 $2 \mu\text{mol}/\text{L}$), 保证藻体生长过程中营养盐的供应, 培养中温盐等条件与暂养时的一致。光强设为 50、100 和 $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 各 3 个重复。同时每个光强再设置静止与充气培养各 1 组, 充气速率为 $300 \text{ mL}/\text{min}$ 。培养 10 d 后, 测定龙须菜的相对生长速率、光合作用、叶绿素荧光参数有效光化学效率(Yield)、叶绿素 *a*(Chl. *a*) 和类胡萝卜素(Car)含量等生理指标。

1.3 测定方法

生长的测定 相对生长率(relative growth rate, RGR)通过测定实验初始时藻体的湿重(W_0)和结束时藻体的湿重(W_t), 利用公式 $\text{RGR} (\%/d) = \text{Ln}(W_t/W_0)/t \times 100$ 计算 RGR, 其中 t 为培养时间, 单位为 d。

光合作用的测定 在龙须菜培养 10 d 之后, 采用氧电极法(Hansatech, 英国)测定龙须菜的光合放氧与呼吸耗氧速率。通过 Julabo 恒温箱(德国)水浴控制温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 。光源为卤钨灯, 光照强度用光量子计(Li-250A, 美国)测定。反应光强为 $0 \sim 800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 每次反应所用龙须菜为 0.03 g (干重, FW)左右, 反应液为 2 mL 的过滤灭菌海水(pH 8.1)。藻体的光合作用—光响应曲线($P-I$ 曲线)通过公式 $P_n = P_{\text{max}} \times \tanh(\alpha \times I/P_{\text{max}}) + R_d$ 拟合得出(采用 Origin 7.5 分析软件), 式中 P_n 为净光合作用速率, I 为光强度, P_{max} 为最大光合作用速率, R_d 为呼吸作用速率, α 为光合效率。光饱和点 I_k 的计算公式为 $I_k = P_{\text{max}}/\alpha$ 。每条 $P-I$ 曲线的测定时间为 30 min 左右。

叶绿素荧光的测定 取培养 10 d 后的龙须菜用水下叶绿素荧光仪 DIVING-PAM(WALZ, 德国)和数据采集软件 Wincontrol 测定藻体光系统 II(PSII)的 Yield。用 $0.3 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的调制光测得初始荧光值 F'_i , 再用饱和脉冲 $6000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 持续时间为 0.8 s 激发得最大荧光值 F'_m 。将所得参数代入以下方程计算 PSII 的 Yield:

$$\text{Yield} = (F'_m - F'_i)/F'_m$$

光合色素含量的测定 藻体处理 10 d 后, 称取洗净擦干的藻体 0.25 g , 剪碎后放入研钵中, 加入少量石英砂和碳酸钙粉末及 3 mL 的 80% 丙酮, 冰浴匀浆, 暗处静置 30 min, 然后将提取液过滤到 25 mL 的棕色容量瓶中定容。将色素提取液摇匀后, 测定 663、646、510 和 480 nm 下的吸光度, 以 80% 的丙酮作为空白对照。Chl. *a* 和 Car 含量计算公式如下^[13-14]:

$$\text{Chl. } a (\text{mg}/\text{g}) = 12.21 \times A_{663} - 2.81 \times A_{646}$$

$$\text{Car} (\text{mg}/\text{g}) = 7.60 \times (A_{480} - 1.49 \times A_{510})$$

统计与分析 实验数据采用 SPSS 13.0 统计软件进行数据处理及统计分析。用 One-Way ANOVA 或者 T -test 分析差异的显著水平(P), 设置显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 龙须菜的生长

在 3 种光强条件下, 充气培养对龙须菜藻体的相对生长速率具有显著地促进作用($P < 0.05$)。无论是静止还是充气处理, 中光培养的藻体相对生长率显著高于低光培养的藻体($P < 0.05$); 在静止条件下, 与中光相比, 高光处理显著抑制藻体的相对生长率($P < 0.05$), 而在充气条件下, 高光与中光之间差异不显著($P > 0.05$)(图 1)。

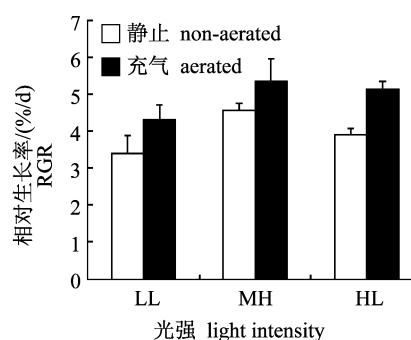


图 1 静止和充气两种方式以及 3 种光强水平 [LL: $50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ML: $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, HL: $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 培养下龙须菜相对生长率的变化

误差数值线表示三个重复的标准差, 下同

Fig. 1 Changes in the relative growth rate (RGR) of *G. lemaneiformis* in aerated and non-aerated cultures under three light intensities [LL: $50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ML: $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, HL: $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

Error bars represent standard errors of three replicates, the same as the following

2.2 龙须菜的光合作用特性

在静止和充气培养下,随着光强的增大,藻体的 P_{\max} 和 α 逐渐升高,低光处理藻体的 P_{\max} 和 α 显著低于中光和高光处理的藻体 ($P < 0.05$),而中光

与高光处理之间差异不显著 ($P > 0.05$)。在中光和高光条件下,充气培养藻体的 P_{\max} 显著高于静止培养下的藻体 ($P < 0.05$),而充气对低光下藻体光合作用没有显著影响 ($P > 0.05$) (表 1)。

表 1 在不同的培养条件下龙须菜对光照响应曲线 ($P-I$ 曲线) 的参数
Tab.1 Parameters for the photosynthetic responses to irradiance ($P-I$ curves) of *G. lemaneiformis* grown under different conditions

		$P_{\max}/$ [$\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$]	$\alpha/$ [$\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})/\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	$R_d/$ [$\mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{h})$]	$I_k/$ [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
静止 non-aerated	LL	68.8 ± 4.2	0.47 ± 0.06	-20.1 ± 3.7	146.1 ± 7.5
	ML	77.6 ± 1.8	0.56 ± 0.03	-19.7 ± 1.6	138.8 ± 8.9
	HL	88.9 ± 3.6	0.58 ± 0.05	-25.6 ± 3.2	152.8 ± 12.5
充气 aerated	LL	74.4 ± 5.7	0.49 ± 0.08	-17.1 ± 5.0	150.4 ± 11.8
	ML	90.2 ± 3.4	0.61 ± 0.03	-15.7 ± 1.6	147.8 ± 10.0
	HL	96.4 ± 0.9	0.63 ± 0.01	-20.3 ± 0.8	152.4 ± 7.6

在 3 种光强条件下,充气培养可显著增加藻体的 P/R (光合作用与呼吸作用比值) ($P < 0.05$)。在充气培养下,中光处理藻体的 P/R 显著高于低光和高光下的藻体 ($P < 0.05$),而在静止培养下,光强对藻体的 P/R 影响不显著 ($P > 0.05$) (图 2)。

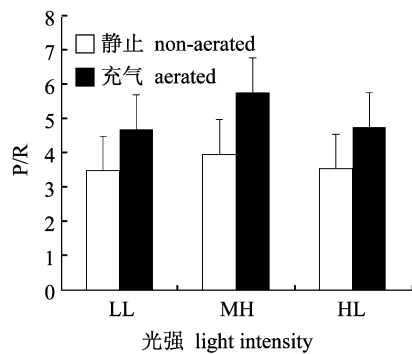


图 2 静止和充气两种方式以及 3 种光强水平 [LL:50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ML:100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, HL:200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 培养下龙须菜光合作用与呼吸作用比值的变化
Fig.2 Changes in photosynthesis and respiration ratio (P/R) of *G. lemaneiformis* in aerated and non-aerated cultures under three light intensities [LL:50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ML:100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, HL:200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

2.3 龙须菜的有效光化学效率

在静止和充气培养条件下,高光处理的藻体 Yield 显著低于低光和中光下的藻体 ($P < 0.05$),

而低光与中光之间差异不显著 ($P > 0.05$)。充气培养对藻体 Yield 影响不显著 ($P > 0.05$) (图 3)。

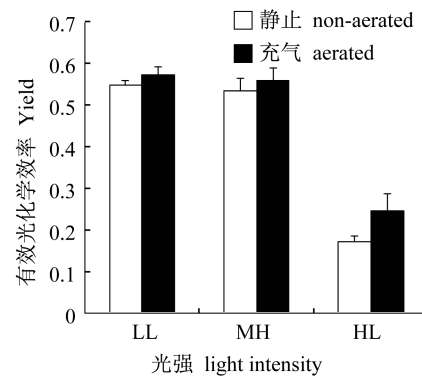


图 3 静止和充气培养方式以及 3 种光强水平 [LL:50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ML:100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, HL:200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 培养下龙须菜 Yield 的变化
Fig.3 Changes in the effective quantum efficiency (Yield) of *G. lemaneiformis* in aerated and non-aerated cultures under three light intensities [LL:50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ML:100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, HL:200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

2.4 龙须菜的光合色素

随着光强的增大,藻体的 Chl. *a* 和 Car 含量逐渐降低,高光处理藻体的 Chl. *a* 含量显著低于低光下的藻体 ($P < 0.05$)。充气与否对藻体的 Chl. *a* 和 Car 含量影响不显著 ($P > 0.05$) (图 4)。

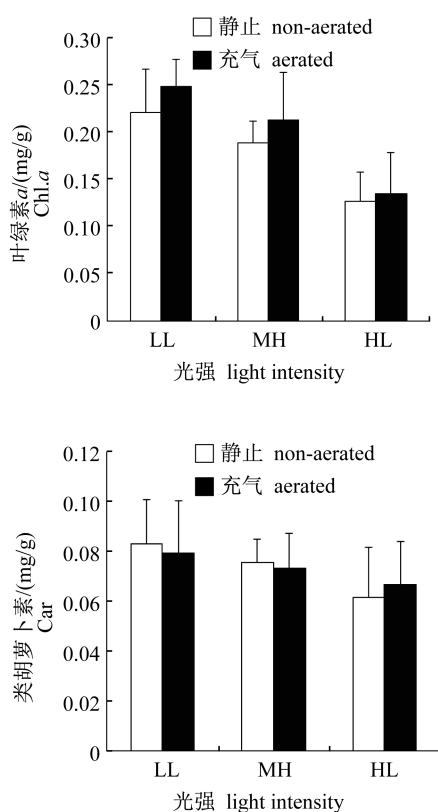


图4 静止和充气培养方式以及3种光强水平 [LL:50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ML:100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, HL:200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 培养下龙须菜光合色素含量的变化

Fig. 4 Changes in the photosynthetic pigments of *G. lemaneiformis* in aerated and non-aerated cultures under three light intensities [LL:50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, ML:100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, HL:200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

3 讨论

生长是细胞内一系列生理生化参数变化的综合表现。海藻生长需从周围环境中吸收无机碳进行光合作用,海水中的溶解无机碳(DIC)浓度约为2.2 mmol/L,主要以 HCO_3^- 和 CO_2 形式存在 (>90%)。藻类的光合生长使其培养介质中DIC被消耗,pH上升,导致水体中 HCO_3^- 和 CO_2 含量非常低^[15],这会限制许多水生藻类和浮游植物的最大量生长和光合作用能力^[16-17]。本实验发现,充气对龙须菜的生长和光合作用具有促进作用。与静止相比,充气能使龙须菜的相对生长率增大26.85%~40.56%。这主要是因为藻体光合作用消耗水体中大量的无机碳,产生大量的氧积累在水体中,水体pH升高,藻细胞内 CO_2/O_2 比例减小,导致藻体的光呼吸增强,光合作用效率

降低^[4]。充气可加强水—气界面间的气体交换,促进空气中 CO_2 进入藻体培养水体中,及时补充水体中 HCO_3^- 和 CO_2 含量,水体pH降至正常水平,藻体能有效利用水体中主要无机碳源 HCO_3^- ,提高藻体光合作用能力,抑制光呼吸作用,减少能量的消耗^[18],对自生长的藻类制造有机物起到了一定的促进作用,促使干物质积累增加^[19]。还有一种可能就是充气下,藻体表面周围的营养盐交换加快,受光面积均匀,为藻体光合作用提供有利的条件,从而促进藻体的生长。同时这也反馈性地对光系统II的化学活性产生作用^[4]。在本实验中,静止培养的藻体有效光化学效率低于充气培养的藻体,可能是由于静止培养下藻体吸收的光子供给光系统II反应中心的效率降低,即藻类因不能得到充足的营养,吸收的光能不能全部用于光合作用,导致光合作用速率降低。

光强也是影响海藻生长和光合作用的主要因素。海藻光合作用速率的大小在一定程度上反映了其生长速率的大小^[20]。该实验结果表明,高光下龙须菜的最大光合作用速率比中光下的高7%左右,但其相对生长速率却比中光下的低9%,这可能是因为在高光下生长的龙须菜具有较高的呼吸作用速率和较低的P/R值,使得藻体的代谢水平升高,在一定程度上损耗了光合作用所积累的干物质,导致其生长速率降低。同时,Chl. a和Car含量随着光强的增加而降低,这种光合色素与光强呈负相关在藻类中普遍存在^[21-22];而且高光下生长的龙须菜具有最大的光饱和点,中光下龙须菜的光饱和点最小,这与藻体在自然条件下的生长情况相对应。已有研究表明,为适应光强胁迫,红藻已逐渐进化出相关保护机制以免自身受到高光损伤^[23-24]。在本实验结果中,高光处理导致龙须菜藻体发生光抑制,其Yield值和光合色素含量显著低于其他的光强处理组,表明高光造成PSII的部分失活,可能会抑制光合碳代谢的电子供应和光合作用的进行。而这种藻体光合活性的下调作用实际上是藻体的一种保护性调节机制,藻体通过这种机制以散发过量的激发能量,降低量子产量,以保护藻体的光合器官^[25]。相对于高光下生长的龙须菜,中光下生长的藻体具有低的光饱和点和高的P/R值,说明藻体能在弱光环境中进行高效的光合作用。这些实验结果均表明龙须菜具有低光适应性,这与其他红藻的研究结

果较一致^[23-24]。而当光强过低时,光合作用受限于光照强度导致龙须菜的生长和光合作用速率均降低。

综上所述,在充气 and 光强 $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下,龙须菜藻体不发生光抑制,具有最高的生长速率和光合作用能力。此外,低光对龙须菜生长的影响主要是由于光合作用速率的下降,而高光对生长的影响主要是因为呼吸作用速率升高引起的。在龙须菜的养殖生产中,随着龙须菜的生长,藻类的养殖筏架由于藻类生物量的增加而下沉,选择风浪大促进海—气 CO_2 交换海区养殖海藻,可以缓解因为光线不足或者高光损伤对龙须菜生长造成的负面影响。

参考文献:

- [1] Surif M B, Raven J A. Exogenous inorganic carbon sources for photosynthesis in seawater by members of the *Fucales* and the *Laminariales* (Phaeophyta): ecological and taxonomic implications [J]. *Oecologia*, 1989, 78(1): 97-105.
- [2] 岳国峰,王金霞,王建飞,等. 海带幼孢子体的光合碳利用[J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(6): 647-652.
- [3] Zou D H, Xia J R, Yang Y F. Photosynthetic use of exogenous inorganic carbon in the agarophyte *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) [J]. *Aquaculture*, 2004, 237(1): 421-431.
- [4] 吴红艳,高坤山,渡边辉夫. 静止和充气培养条件下短期紫外辐射对钝顶螺旋藻光化学效率的影响[J]. *水生生物学报*, 2005, 29(6): 673-677.
- [5] 滕怀丽,黄旭雄,周洪琪,等. 充气方式对盐藻生长,细胞营养成分及氮磷营养盐利用的影响[J]. *水产学报*, 2010, 34(6): 942-948.
- [6] 王艳,王小冬,李韶山. 充气和搅动对球形棕囊藻生长及囊体形成的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(12): 3368-3374.
- [7] 汤坤贤,游秀萍,林亚森,等. 龙须菜对富营养化海水的生物修复[J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 3044-3051.
- [8] Hanelt D, Huppertz K, Nultsch W. Photoinhibition of photosynthesis and its recovery in red algae [J]. *Botanica Acta*, 1992, 105(4): 278-284.
- [9] Hanelt D, Melchersmann B, Wiencke C, et al. Effects of high light stress on photosynthesis of polar macroalgae in relation to depth distribution [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, 149(1): 255-266.
- [10] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics [J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1991, 42: 313-349.
- [11] Figueroa F L, Martínez B, Israel A, et al. Acclimation of Red Sea macroalgae to solar radiation: photosynthesis and thallus absorptance [J]. *Aquatic Biology*, 2009, 7(1-2): 159-172.
- [12] Xu J T, Gao K S. Growth, pigments, UV-absorbing compounds and agar yield of the economic red seaweed *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) grown at different depths in the coastal waters of the South China Sea [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2008, 20(5): 681-686.
- [13] Wellbum A R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution [J]. *Journal of Plant Physiology*, 1994, 144(3): 307-313.
- [14] 王丽梅,李世国,柴雨,等. 鼠尾藻幼苗的室内培养及有性生殖同步化[J]. *水产学报*, 2011, 35(3): 395-404.
- [15] Liu Y, Liu Z H, Zhang J L, et al. Experimental study on the utilization of DIC by *Oocystis solitaria* Witt and its influence on the precipitation of calcium carbonate in karst and non-karst waters [J]. *Carbonates and Evaporites*, 2010, 25(1): 21-26.
- [16] Ghoshal D, Husic H D, Goyal A. Dissolved inorganic carbon concentration mechanism in *Chlamydomonas moewusii* [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2002, 40(4): 209-305.
- [17] 罗通,李维一. CO_2 、 NaHCO_3 对螺旋藻光合放氧和pH值影响的研究[J]. *四川师范大学学报*, 1999, 22(5): 607-611.
- [18] Zou D H. Effects of elevated atmospheric CO_2 on growth, photosynthesis and nitrogen metabolism in the economic brown seaweed, *Hizikia fusiforme* (Sargassaceae, Phaeophyta) [J]. *Aquaculture*, 2005, 250(3-4): 726-735.
- [19] 邱保胜,刘其芳. 雨生红球藻 (*Haematococcus pluvialis*-6B) 培养条件研究[J]. *华中师范大学学报*, 1999, 33(1): 112-118.
- [20] 刘树霞,徐军田,蒋栋成. 温度对经济红藻龙须菜生长及光合作用的影响[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(33): 16322-16324.
- [21] 刘静雯,董双林. 光照和温度对细基江蓠繁枝变型的生长及生化组成影响[J]. *青岛海洋大学学报*, 2001, 31(3): 332-338.

- [22] 林贞贤, 宫相忠, 李大鹏. 光照和营养盐胁迫对龙须菜生长及生化组成的影响[J]. 海洋科学, 2007, 31(11): 22-26.
- [23] Häder D, Gröniger A, Hallier C, et al. Photoinhibition by visible and ultraviolet radiation in the red macroalga *Porphyra umbilicalis* grown in the laboratory [J]. Plant Ecology, 1999, 145 (2): 351-358.
- [24] 张涛, 沈宗根, 姚春燕, 等. 基于叶绿素荧光技术的紫菜光适应特征研究[J]. 海洋学报, 2011, 33(3): 140-147.
- [25] Osmond C B, Chow W S. Ecology of photosynthesis in the sun and shade; summary and prognostications [J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1988, 15 (1-2): 1-9.

Effect of light intensity on the photosynthetic responses of *Gracilaria lemaneiformis* in non-aerated and aerated cultures

HAN Tingting, FANG Jianguang*, ZHANG Jihong, JIANG Zengjie,
WANG Wenjun, JIANG Xu, MAO Yuze

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture,
Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: The economic red macroalga *Gracilaria lemaneiformis* was selected to study light intensity effects on its growth, photosynthesis, effective quantum efficiencies (Yield) and pigments contents in aerated and non-aerated cultures. Three different light intensities were as follows: $50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (low light intensity), $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (moderate light intensity), and $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (high light intensity). The results showed that the highest growth rate of *G. lemaneiformis* was observed when alga was treated with moderate light intensity, and too low or too high light intensity inhibited its growth. The relative growth rates of aerated cultured algae, under the low light intensity, moderate light intensity and high light intensity, were increased by 26.85%, 31.82% and 40.56%, respectively. In aerated culture, the photosynthetic rate and the photosynthetic efficiency of alga treated with low light intensity increased by 8.14% and 4.26%, and the respiration rate of alga under high light intensity decreased by 20.70%, and Yield increased by 44.16%. The results suggested that reduced growth was mainly due to the limited photosynthesis in case of low light intensity, or could be ascribed to the increased respiration in case of high light intensity. Aerated culture could relieve the negative effect on the growth rate of alga as a result of for low light or high light intensity.

Key words: *Gracilaria lemaneiformis*; aerated culture; light intensity; photosynthesis

Corresponding author: FANG Jianguang. E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn