

光照、温度和 pH 对雨生红球藻光合特性的影响

王 铭 李 涛 李爱芬 徐 宁 张成武

(暨南大学水生生物研究中心, 广州 510632)

摘要:采用测定光合放氧速率和荧光动力学的方法, 研究分析了光照强度、温度和 pH 对雨生红球藻 *Haematococcus pluvialis* CG-11 绿色游动细胞阶段光合作用特性的影响。结果表明, *H. pluvialis* CG-11 光合作用的饱和光强为 $109.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 最大光合放氧速率为 $75.9 \mu\text{mol O}_2/\text{mg Chla} \cdot \text{h}$; 适宜的生长温度范围在 25—30 之间, 温度在 25 时光合速率最大; pH 在 7.5—8.0 范围内, 光合效率较高, 在 pH 为 7.5 时放氧速率最大, 为 $75.5 \mu\text{mol O}_2/\text{mg Chla} \cdot \text{h}$ 。在实验 pH 条件下, *H. pluvialis* CG-11 叶绿素荧光动力学参数呈现出相似的趋势, 在 6.0—7.5 范围内, F_v/F_m 、 F_v/F_0 、 Φ_{PS} 和 ETR 值随 pH 升高而增大, pH 为 7.5 时达到最大值, pH 超过 7.5 时, F_v/F_m 和 F_v/F_0 值明显下降, 而 Φ_{PS} 和 ETR 的下降趋势不明显。

关键词:雨生红球藻; 光照强度; 温度; pH; 叶绿素荧光; 光合放氧速率

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2009)03-0400-06

雨生红球藻 (*Haematococcus pluvialis*) 是一种淡水单细胞绿藻, 隶属绿藻门、团藻目、红球藻科、红球藻属。该藻的生长分为明显的绿色游动细胞和红色不动孢子两个阶段, 当遇到环境条件胁迫时, 红色孢子内大量积累虾青素, 含量可高达细胞干重的 6.0% 以上^[1], 是生产天然虾青素的理想材料。

光照、温度和 pH 是影响藻类生长繁殖和积累次生代谢物质的重要环境因子。研究表明, 不同品系 *H. pluvialis* 适宜生长的光照、温度和 pH 不尽相同。You, et al. 报道适合 *H. pluvialis* 生长的光照范围为 $80\text{—}120 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, $170 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 的光强则有利于虾青素的积累^[2], Christoph, et al. 的研究表明光照强度低于 $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 时有利于 *H. pluvialis* 的生长^[3], 而 Lu, et al. 的研究结果是 *H. pluvialis* 的饱和光强为 $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ^[4], 与 Boussiba, et al. 报道的 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 光强接近^[5]。刘建国等对三株 *H. pluvialis* 的光合和呼吸速率进行了比较研究, 结果表明其饱和光强均超过 $260 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 其中饱和光强最高达到了 $360 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ^[6]。研究报道, *H. pluvialis* 的适宜生长温度为 25—30^[4, 6—8]。有关 *H. pluvialis* 最适 pH 的研究, 张宝玉和 R. Sarada, et al. 报道中性或偏

碱性的环境适合藻生长^[9, 10]。*H. pluvialis* 作为光合自养生物, 细胞的光合作用生理亦受到环境因子的影响。目前, 国内外对于 *H. pluvialis* 的研究多集中在环境条件对虾青素的诱导与积累^[11—13]方面, 很少涉及藻细胞内部光合作用机理研究。深入研究环境因子对 *H. pluvialis* 光合速率和叶绿素荧光动力学等的影响, 对于了解其光合作用的内部机理和选育优良藻株都具有实际意义^[14, 15]。

本实验室前期对不同 *H. pluvialis* 藻株及其适宜生长的培养基进行了筛选, 结果表明, *H. pluvialis* CG-11 在 BBM 培养基中生长良好, 细胞密度最高^[16, 17]。本实验采用 *H. pluvialis* CG-11 为材料, 研究不同光照、温度和 pH 条件对其绿色游动细胞阶段光合速率和叶绿素荧光等的影响, 探讨 *H. pluvialis* 的光合生理特性, 以求探索适宜的培养条件, 获得 *H. pluvialis* 的最大生物量, 为生产实践提供理论依据与参考。

1 材料与方法

1.1 试验藻种与培养基 雨生红球藻由暨南大学水生生物研究所藻种室提供。所有试验均使用 BBM 培养基。

收稿日期: 2008-06-16; 修订日期: 2009-01-16

基金项目: 珠海市科技重大项目 (PB20041018) 资助

作者简介: 王铭 (1982—), 男, 汉族, 山东潍坊人; 硕士; 主要从事微藻生物技术及生理生化方面的研究。E-mail: firefoxming@hotmail.com

通讯作者: 李爱芬, E-mail: tiger@jnu.edu.cn

1.2 培养方法与试验设计 以 BBM培养基作为基础培养基,于光照培养箱内培养。培养温度为 $(24 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,光照强度为 $90 \mu\text{mol photons/m}^2 \cdot \text{s}$,光周期为 12 L/12 D。培养至指数生长末期的 *H. pluvialis* CG-11绿色游动细胞,4000 r/min离心 3 min去上清,收集藻泥。

1.2.1 不同光照强度条件设置 取对数生长期的藻泥,用新鲜 BBM培养基将其 OD调为 0.5左右。使用 NaOH和 HCl将藻液的 pH调为 7.5 ± 0.05 ,在温度为 25°C ,分别测定光强为 0、30、90、150、240、320、450 $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ 的条件下光合放氧速率。重复实验 3次。

1.2.2 不同温度条件设置 所用藻泥及其处理同 1.2.1,使用 NaOH和 HCl将藻液的 pH调为 7.5 ± 0.05 ,在光强为 $150 \mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ 时,分别测定温度为 15、20、25、30、35 $^\circ\text{C}$ 的条件下光合放氧速率。重复实验 3次。

1.2.3 不同 pH条件设置 所用藻泥及其处理同 1.2.1,取 6只灭菌的 100 mL的三角瓶,将 *H. pluvialis* CG-11藻液分别倒入三角瓶中,每瓶加入 80 mL的藻液,用 NaOH和 HCl将两组的 pH调为 6.0、7.0、7.5、8.0、9.0、10.0,置于光照培养箱中 24 h。放置的过程中,pH会有所变化,每隔 6 h用 NaOH和 HCl溶液调节藻液的 pH。在光强为 $150 \mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$,温度为 25°C 条件时,分别测定各个 pH梯度藻液的光合放氧速率。重复实验 3次。

取上述不同 pH梯度培养的藻液分别测定荧光动力学参数和 77 K低温荧光光谱。

1.3 光合放氧速率的测定 将 1.2中各处理条件下的藻液,以 Clark型氧电极(Hansatech Oxygraph液相氧电极,英国)测量藻的光合放氧速率,反应体系温度由超级恒温水浴控制。根据 Henley的方法^[18]以方程 $P = P_m \tanh(\alpha I/P_m) + R_d$ 对实验数据进行非线性参数估计,并绘制 $P-I$ 曲线。其中叶绿素 *a*的测定方法参见按 Jeffrey的方法(90%的丙酮)^[19],公式为 $\text{Chla} = 11.93\text{OD}_{664} - 1.93\text{OD}_{647}$ 。

1.4 叶绿素荧光动力学参数的测定 采用脉冲调制荧光仪(PAM 101, 103)(WALZ, Germany)进行叶绿素荧光各个参数的测定。测量前将微藻样品暗适应 10 min。叶绿素荧光参数(各参数定义参见文献[14]) F_0 、 F_m 、 Φ_{PS} 和 ETR 可在荧光仪上直接读出, F_v/F_m 、 F_v/F_0 则分别由公式 $(F_m - F_0)/F_m$ 、 $(F_m - F_0)/F_0$ 计算出,其中 F_0 (基础荧光)用弱测量光($1.0 \mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$)测量可得,用饱和脉

冲($2000 \mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$,持续时间为 0.8 s)激发可得 F_m (最大荧光)。

1.5 低温荧光光谱测定 采用 F-4500荧光分光光度计,在液氮温度(77 K)下,测定 *H. pluvialis* CG-11在不同 pH生长条件下的低温荧光光谱,狭缝宽度 2 nm,扫描速度 240 nm/min,激发波长为 436 nm。

1.6 数据处理与分析 实验数据采用 Origin 7.5 软件进行光合方程拟合和参数估计。

2 结果

2.1 光照强度对 *H. pluvialis* CG-11光合放氧速率的影响

H. pluvialis CG-11的光合放氧速率随光照强度的变化的 $P-I$ 曲线(图 1)。通过对光合曲线的拟合,得出在光照强度为 0—100 $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ 范围内, *H. pluvialis* CG-11的光合放氧速率呈现出递增趋势,通过参数计算可知,光照强度为 $109.1 \mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ 时, *H. pluvialis* CG-11达到光照饱和强度,此后随着光照强度的增加,光合放氧速率曾现出稳定态势;光合放氧速率最大值为 $75.9 \mu\text{mol O}_2/\text{mg Chla} \cdot \text{h}$ 。

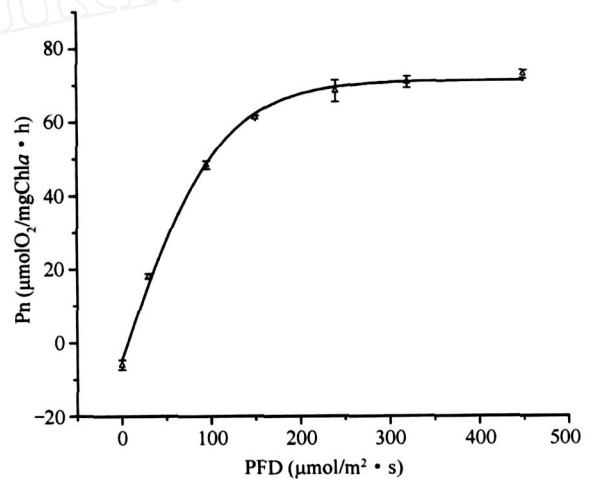


图 1 *H. pluvialis* CG-11光合放氧速率随光照强度变化的 $P-I$ 曲线

Fig. 1 Photosynthesis rate of *H. pluvialis* CG-11 of $P-I$ curves for the photon flux density (PFD)

2.2 温度对 *H. pluvialis* CG-11光合放氧速率的影响

H. pluvialis CG-11的光合放氧速率随温度的变化(图 2)。随着温度的变化,在 15—25 $^\circ\text{C}$ 范围内,光合放氧速率迅速升高,当温度达到 25°C 时,光合放氧速率出现最大值,为 $55.1 \mu\text{mol O}_2/\text{mg Chla} \cdot \text{h}$,在 25—30 $^\circ\text{C}$ 范围内,光合放氧速率表现出一个稳定值,随后出现下降趋势。

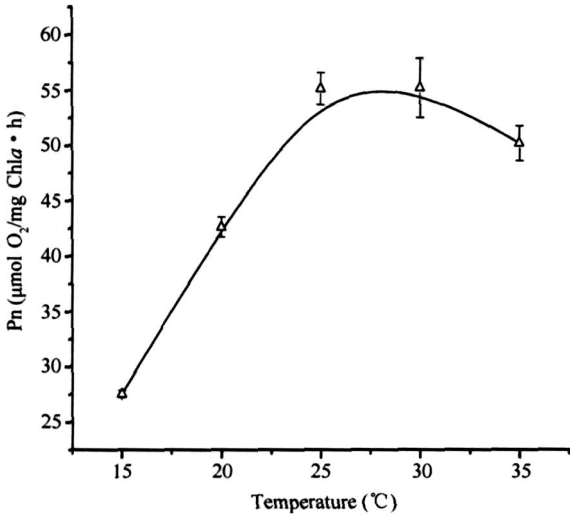


图 2 *H. pluvialis* CG-11 光合放氧速率随温度变化的曲线
Fig. 2 Photosynthesis rate of *H. pluvialis* CG-11 of curves for the temperature

2.3 pH对 *H. pluvialis* CG-11 光合特性的影响

pH对光合放氧速率的影响 *H. pluvialis* CG-11 的光合放氧速率随 pH 的变化 (图 3)。在 pH 为 6.0—8.0 范围内, 光合放氧速率呈现快速增加的趋势, 当 pH 值在 7.5 时, 光合放氧速率出现最大值,

为 $75.5 \mu\text{mol O}_2 / \text{mg Chl a} \cdot \text{h}$, 随着 pH 的继续增加, 光合放氧速率呈现快速递减趋势, 在 pH 6.0 时, 光合放氧速率数值最小, 为 $46.6 \mu\text{mol O}_2 / \text{mg Chl a} \cdot \text{h}$ 。

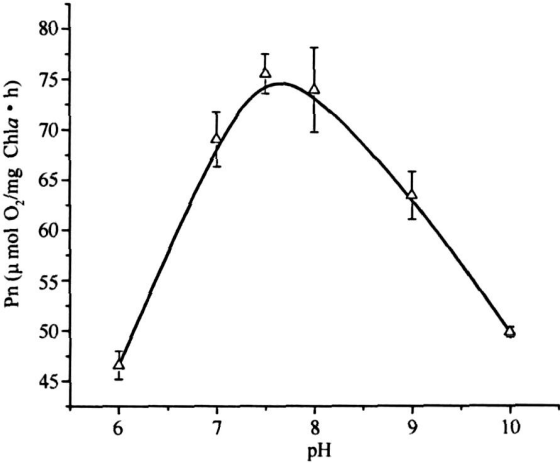


图 3 *H. pluvialis* CG-11 光合放氧速率随 pH 变化的曲线
Fig. 3 Photosynthesis rate of *H. pluvialis* CG-11 of curves for the pH

pH对 *H. pluvialis* CG-11 叶绿素荧光动力学参数的影响 在不同 pH 条件下测得的叶绿素荧光动力学参数 (图 4)。从图中可以看出, 随着 pH 的

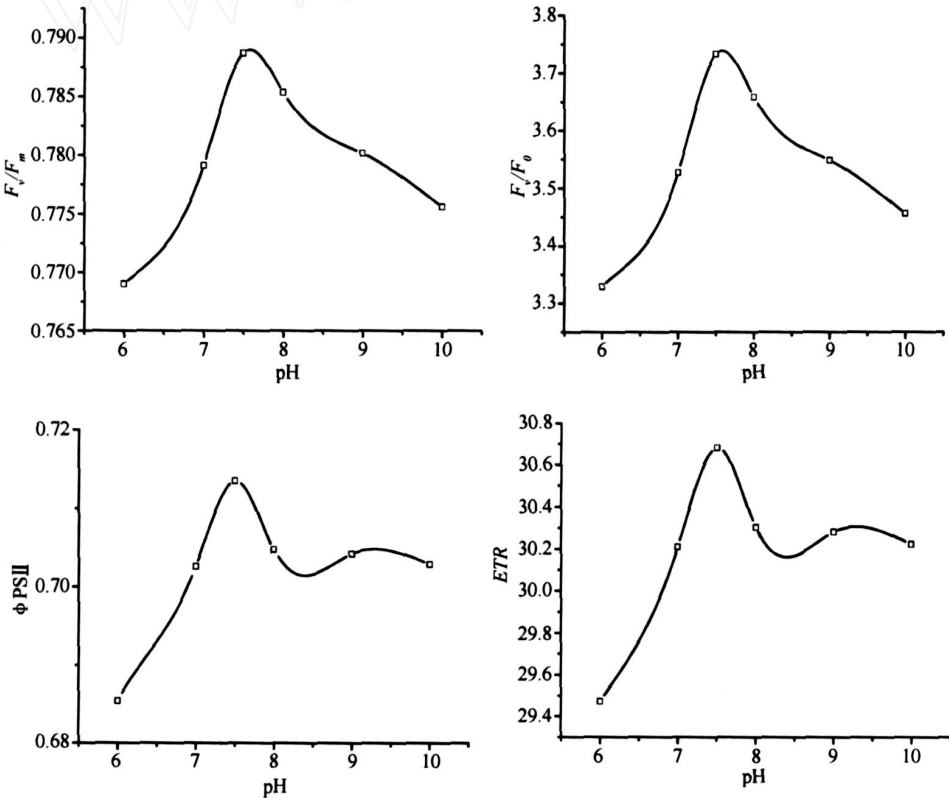


图 4 pH对 *H. pluvialis* CG-11 叶绿素荧光动力学参数的影响
Fig. 4 Effects of pH on the Chlorophyll fluorescence parameters of *H. pluvialis* CG-11

升高, *H. pluvialis* CG-11 叶绿素荧光动力学参数 F_v/F_m 、 F_v/F_0 、 ΦPS 和 ETR 均呈现出相似的趋势, 在 pH 为 6.0—7.5 的区间内, 叶绿素荧光动力学参数数值都迅速升高, 当 pH 为 7.5 时达到最大值, 随着 pH 的继续升高, 各参数均呈现下降趋势。其中 F_v/F_m 、 F_v/F_0 在 pH 继续升高时, 一直表现为下降趋势, 而 ΦPS 、 ETR 在 pH 达到 8.0 之后, 下降趋势不明显。

pH 对 *H. pluvialis* CG-11 77K 低温荧光光谱的影响 用叶绿素 *a* 的 436 nm 作激发光, 测得 *H. pluvialis* CG-11 的荧光发射光谱 (图 5)。从图中可以看出, *H. pluvialis* CG-11 在不同 pH 条件下都有三个明显的荧光发射峰, 分别位于 682 nm、693 nm 和 711 nm。其中 pH 为 7.5 的条件下, *H. pluvialis* CG-11 的相对荧光值最高, 在 pH 为 6.0 时的相对荧光值最低。

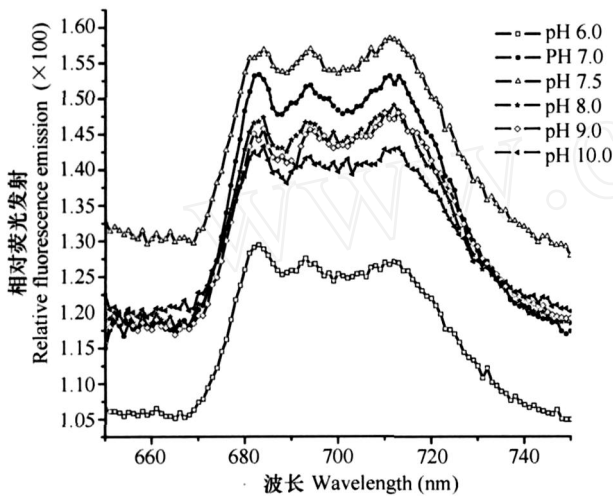


图 5 *H. pluvialis* CG-11 在不同 pH 生长条件下荧光发射光谱 (激发波长 436 nm)

Fig. 5 Fluorescence emission spectra of *H. pluvialis* CG-11 in different pH (excitation wavelength 436 nm)

3 讨论

光合作用是绿色植物最基本的生理生态特征, 藻类作为低等植物, 它的光合特性更加多样化。光照强度、温度、pH 是直接影响微藻生长的因子, 研究光照强度、温度、pH 对 *H. pluvialis* 光合作用的影响, 对于了解 *H. pluvialis* 的光合特性, 进而优化 *H. pluvialis* 的培养条件, 具有一定的指导价值^[9,15]。

H. pluvialis 的生长与虾青素积累的最适光强不同, 其绿色细胞阶段的光合作用饱和光强较虾青素

积累的红细胞阶段低。本实验的结果表明, 采用 *P-I* 曲线拟合得到的 *H. pluvialis* CG-11 绿色细胞阶段的饱和光强为 $109.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 与 Lu 和 Boussiba 报道的结果相近^[4,5], 而与刘建国的研究结果存在较大差异^[6]。因为 *H. pluvialis* 不同品系藻株之间存在生理特异性, 并且随着生长阶段的不同而表现出对光需求的差异性, 所以采用 *P-I* 曲线拟合得到的结果更接近于其真实情况。*H. pluvialis* CG-11 温度实验研究结果显示, 在 25—30 的区间, 净光合速率呈现出稳定值, 反映了在此温度区间内, 本株藻具有良好的生长状态。此结果与刘建国、苗凤萍等的研究结论相似^[6,7]。

H. pluvialis 是一种淡水藻类, 其对 pH 的缓冲能力较弱。张宝玉等的研究结果表明, *H. pluvialis* 的生长适合于中性或者偏碱性的环境^[9]; Sarada R, et al. 研究表明, pH 7.0—8.0 之间时, *H. pluvialis* 的生物量、叶绿素及类胡萝卜素的含量均较高^[10]。从本实验中得到的结果分析, 在 pH 7.5—8.0 的区间, *H. pluvialis* CG-11 这株藻的光合作用表现强烈, 净光合速率达到最高值, 此后随着 pH 的继续升高, 光合速率快速下降, 这是由于光合作用对 pH 的变化极为敏感, 一旦超过其适宜的 pH 范围, 藻的光合速率将大幅下降^[20]。低温荧光光谱和叶绿素荧光动力学参数的结果, 均表现出与 pH 对于 *H. pluvialis* CG-11 光合速率相类似的影响。叶绿素荧光动力学参数能够反映植物光合生理的多种状态, 其中 F_v/F_m 、 F_v/F_0 、 ΦPS 和 ETR 参数主要表现了光合系统 (PS) 的生理状态^[14,21]。在 pH 为 6.0 时 (图 4), 由于低 pH 环境对 PS 的生理状态的抑制作用, 表现为荧光动力学的各个参数相对值最低; 当 pH 值超过 7.5 后, F_v/F_m 、 F_v/F_0 下降的趋势要比 ΦPS 和 ETR 明显, 表明较高 pH 条件下, 对于 PS 最大量子产量的影响要高于对 PS 光化学转化的有效量子产量的影响。*H. pluvialis* CG-11 的低温荧光激发光谱 (436 nm) 特征峰出现于 682 nm、693 nm 和 711 nm 处^[22]。在 77 K 低温荧光光谱 (图 5) 显示的 682 nm、693 nm 荧光峰, 来源于 *H. pluvialis* CG-11 PS 的内周天线, 710 nm 附近的荧光峰, 来自 PS。随着 pH 的改变, 对 *H. pluvialis* CG-11 光系统能量传递产生了影响, 光谱中相对峰值的高低变化, 显示了能量传递的多寡, 其中在 pH 6.0 时, 特征峰峰值明显减弱, 证明低 pH 对于 *H. pluvialis* CG-11 的 PS、PS 影响显著, 可能引起蛋白色素复合物的降解。叶绿素荧光动力学参数与低温荧光光谱的

研究结果均表明,在 pH 为 7.5 时, *H. pluvialis* CG-11 的生理状态与光合作用表现为最佳。通过对上述结果的分析显示, *H. pluvialis* CG-11 所适宜的最佳 pH 范围仅在 7.0—8.0 之间,对于环境 pH 的适应能力并不强,这是因为除去环境 pH 本身对藻细胞生长造成的影响之外,对于淡水藻类而言,环境 pH 的变化对于其吸收利用无机碳的形式和方式具有重要影响,而这些影响又直接体现在对 *H. pluvialis* 光合活性的改变上(相关 pH 与无机碳的利用实验结果另文报道)。

上述结果表明, *H. pluvialis* CG-11 的光饱和强度为 $109.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 光合作用适宜的温度范围为 25—30, 生长适宜的 pH 范围为 7.5—8.0。

参考文献:

- [1] Borowitzka M A, Huisman J M, Osborn A. Culture of the astaxanthin-producing green alga *Haematococcus lacustris* (): effects of nutrients on growth and cell type [J]. *J. Appl. Phycol*, 1991, 3: 295—304
- [2] You C J, Chul W C, Yeoung S Y. Combined effects of light intensity and acetate concentration on the growth of unicellular microalga *Haematococcus pluvialis* [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2006, 39: 490—495
- [3] Christoph H, Kay G, Marco X, et al. Effect of cultivation parameters on growth and pigment biosynthesis in flagellated cells of *Haematococcus pluvialis* [J]. *J. Appl. Phycol*, 2001, 13: 79—87
- [4] Lu Fan, Vonshak A, Boussiba S. Effect of temperature and irradiance on growth of *Haematococcus pluvialis* (Chlorophyceae) [J]. *J. Phycol*, 1994, 30: 829—833
- [5] Boussiba S, Lu F, Vonshak A. Enhancement and determination of astaxanthin accumulation in green alga *Haematococcus pluvialis* [J]. *Methods Enzymol*, 1992, 213: 386—391
- [6] Liu J G, Zhang J P. Photosynthetic and respiration rate of *Haematococcus pluvialis* [J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2000, 31(5): 490—495 [刘建国, 张京浦. 雨生红球藻光合作用和呼吸速率研究. 海洋与湖沼, 2000, 31(5): 490—495]
- [7] Miao F P, Li Y G, Geng Y H. The Effects of temperature on the biomass and the astaxanthin output of *Haematococcus pluvialis* [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, 23(1): 73—76 [苗凤萍, 李夜光, 耿亚红. 温度对雨生红球藻 (*Haematococcus pluvialis*) 生物量和虾青素产量的影响. 武汉植物学研究, 2005, 23(1): 73—76]
- [8] Zhang J P, Liu J G. Photosynthetic rate of *Haematococcus pluvialis* cultured in different nutrient [J]. *Industrial Microbiology*, 1997, 27(4): 14—17 [张京浦, 刘建国. 营养盐对雨生红球藻光合作用影响的研究. 工业微生物, 1997, 27(4): 14—17]
- [9] Zhang B Y, Li Y G, Li Z K, et al. Effects of temperature, light intensity and pH on photosynthesis and growth rate of *Haematococcus pluvialis* [J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2003, 34(5): 558—565 [张宝玉, 李夜光, 李中奎, 等. 温度、光照强度和 pH 对雨生红球藻光合作用和生长速率的影响. 海洋与湖沼, 2003, 34(5): 558—565]
- [10] R. Sarada, Usha T, G A. Ravishankar. Influence of stress on astaxanthin production in *Haematococcus pluvialis* grown under different culture conditions [J]. *Process Biochem.*, 2002, 37: 623—627
- [11] Bing W, Aliza Z, Achin T. Astaxanthin accumulation in *Haematococcus pluvialis* (Chlorophyceae) as an active photoprotective process under high irradiance [J]. *J. Phycol*, 2003, 39: 1116—1124
- [12] Orosa M, Franqueira D, Cid A. Analysis and enhancement of astaxanthin accumulation in *Haematococcus pluvialis* [J]. *Bioresour. Technology*, 2005, 96: 373—378
- [13] Dong Q L, Xing X Y, Zhao X M. Effect of light intensity on astaxanthin synthesis in *Haematococcus pluvialis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(3): 445—447 [董庆霖, 邢向英, 赵学明. 光照强度对雨生红球藻合成虾青素的影响. 水生生物学报, 2007, 31(3): 445—447]
- [14] Han B P, Han Z G, Fu X. Algal photosynthesis: mechanisms and models [M]. Beijing: Science Press, 2003 [韩博平, 韩志国, 付翔. 藻类光合作用机理与模型. 北京: 科学出版社. 2003]
- [15] Xu D Q. Photosynthetic efficiency [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2002 [许大全. 光合作用效率. 上海: 上海科学技术出版社. 2002]
- [16] Liu J H, Li A F. Comparative studies on the growth of *Haematococcus pluvialis* in different culture medium [J]. *Ecological Science*, 2006, 25(2): 113—115 [刘健晖, 李爱芬. 雨生红球藻在不同培养基的生长比较. 生态科学, 2006, 25(2): 113—115]
- [17] Dong Y T, Li F S, Li A F, et al. Studies on temperature, illumination and pH of green vegetative cell of *Haematococcus pluvialis* CG-11 [J]. *Ecological Science*, 2007, 26(2): 131—136 [董祎婷, 李福生, 李爱芬, 等. 温度光照 pH 对雨生血球藻 CG-11 绿色营养细胞生长的影响. 生态科学, 2007, 26(2): 131—136]
- [18] Henley W J. Measurement and interpretation of photosynthetic light-response curves in alga in the context of photoinhibition and diel changes [J]. *J. Phycol*, 1993, 29: 729—739
- [19] Jeffrey S W, Humphrey G F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton [J]. *Biochem. Physiol. Pflanz*, 1975, 167: 191—194
- [20] Deng G, Li Y G, Hu H J, et al. Effects of temperature, light and pH on photosynthesis, and of light-dark cycle on growth rate and biomass of *Scrippsiella trochoidea* and *Alexandrium tamarense* [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2004, 22(2): 129—135 [邓光, 李夜光, 胡鸿钧, 等. 温度、光照和 pH 值对锥状斯氏藻和塔玛亚历山大藻光合作用的影响及光暗周期

- 对其生长速率和生物量的影响. 武汉植物学研究, 2004, 22 (2): 129—135]
- [21] Guo J W, Wei H M. Chlorophyll a fluorescence - a powerful technique in plant biology [J/OL]. China SciencepaperOnline, 2006, http://www.paper.edu.cn/downloadpaper.php?serial_number=200607-7 [郭军伟,魏慧敏. 叶绿素荧光分析方法理论基础参数意义和其应用. 中国科技论文在线, 2006, http://www.paper.edu.cn/downloadpaper.php?serial_number=200607-7]
- [22] Wu S S, Xu N, Li A F, *et al* The study of spectrum characteristic of *Haematococcus pluvialis* [J]. *Ecological Science*, 2007, 26 (3): 215—219 [吴珊珊, 徐宁, 李爱芬, 等. 雨生红球藻 (*Haematococcus pluvialis*)的光谱特性研究. 生态科学, 2007, 26 (3): 215—219]

EFFECT OF LIGHTING, TEMPERATURE AND pH ON PHOTOSYNTHETIC CHARACTERS OF HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS CG-11

WANG Ming, LI Tao, LI Ai-Fen, XU Ning and ZHANG Cheng-Wu

(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632)

Abstract: The effects of light intensity, temperature and pH on photosynthetic characters of *Haematococcus pluvialis* CG-11 were studied by measuring photosynthetic O_2 evolution and fluorescence kinetics. The results showed that the saturation light intensity was $109.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ of *H. pluvialis* CG-11, with the maximum photosynthetic oxygen evolution rate of $75.9 \mu\text{mol } O_2 / \text{mg Chl } a \cdot \text{h}$; the range of suitable growth temperature was between 25 to 30, the maximum photosynthetic rate was obtained at 25; the photosynthetic efficiency kept quite high at the pH range of 7.5—8.0, with the maximum photosynthetic oxygen evolution rate of $75.5 \mu\text{mol } O_2 / \text{mg Chl } a \cdot \text{h}$ at pH value of 7.5. Under experimental conditions of pH, a similar tendency manifested in the chlorophyll fluorescence kinetics parameters for *H. pluvialis*, at the pH range of 7.5—8.0, the F_v / F_m , F_v / F_0 , ΦPS and ETR increased following the rising of pH, with their maximum values at pH 7.5, F_v / F_m and F_v / F_0 decreased significantly over pH 7.5, while the decreasing trend didn't change obviously in ΦPS and ETR .

Key words: *Haematococcus pluvialis*; Lighting intensity; Temperature; pH; Chlorophyll fluorescence; photosynthetic oxygen evolution rate