

文章编号: 0253-2239(2010)04-1101-05

LED 光谱对纤细角毛藻和亚心形扁藻生长的影响

苗洪利 周晓光 刘逢学 李跃鹏 梅浩 王晶

(中国海洋大学信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要 选取有着较高经济价值的纤细角毛藻以及亚心形扁藻为实验对象, 在光照恒温培养箱中用红、绿、蓝、白 LED 集成不同光谱成分的光源与传统荧光灯进行对照培养实验。通过对比生长速率表明, 与荧光灯光源相比光谱集成 LED 光源更有效地促进微藻的生长。说明 LED 集成光源作为微藻生长照明光源有其明显的优势。

关键词 生物光学; 纤细角毛藻; 亚心形扁藻; 光谱集成; LED

中图分类号 Q682 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20103004.1101

Application of the Spectrum of LED on Growth of *Chaetoceros Gracilis* and *Platymonas Subcordiformis*

Miao Hongli Zhou Xiaoguang Liu Fengxue Li Yuepeng Mei Hao Wang Jing

(Institute of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China)

Abstract Two kinds of marine microalgae, *chaetoceros gracilis* and *platymonas subcordiformis* which have high economic value as research object, are selected to do the culture experiment in incubator with light red, green, blue, white-LED spectrum of different combinations compareing with the traditional fluorescent. By comparing the growth rate with the fluorescent light, it's showed that LED light source spectral composition is more effectively to promote the growth of microalgae. The obvious advantages of LED as light source of microalgae are indicated.

Key words biotechnology; *chaetoceros gracilis*; *platymonas subcordiformis*; spectral combination; LED

1 引 言

光照是影响微藻生长的重要因素之一。光照对微藻的生长、繁殖藻体颜色、细胞形态及胞外多糖的积聚都有重要的影响^[1~3]。因此,光的照射对微藻生长的影响是一项新兴、引人注目的交叉综合学科,已引起国内外许多学者的极大兴趣^[4~6]。研究工作集中在:荧光灯白光照射强度、周期对不同藻类生长的影响的差异性^[7,8];采用荧光灯通过滤光片获得单色光的方法,定性研究光谱成分对微藻生长以及其它生物学过程的影响^[9]。关于不同波长的单色光照射对微藻生长影响的定量研究工作才刚刚起步,特别是单色光源的利用技术非常匮乏,更未见多种单色 LED 集成光源在促进微藻生长中的应用研究。本文在自制的 LED 光照培养箱中,设计各种成分光谱集成 LED 光源为微藻生长提供光照环境,研究

LED 集成光源对微藻生长速率的影响。

2 实 验

2.1 材 料 和 方 法

2.1.1 藻 种

选取纤细角毛藻(*Chaetoceros gracilis*)和亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)作为实验对象,藻种取自中国海洋大学水产学院藻种库。

2.1.2 培养方法

海水过滤后煮沸消毒,冷却后配置营养液,培养液使用 $f/2$ 营养盐配方。盐度(海水中溶质质量与海水质量的比值)为 2.5%,PH 值为 7.5,温度 25.5 ± 0.5 °C,光暗周期 18:6,光强控制在 $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,此光强小于微藻的饱和光强。每日摇瓶三次,每个实验组设置 3 个重复样品,测量结果取平均以减小误差。

收稿日期: 2009-08-19; 收到修改稿日期: 2009-10-13

基金项目: 青岛市科技局(07-2-3-15-jch)资助课题。

作者简介: 苗洪利(1964—),男,副教授,主要从事半导体照明方面的研究。E-mail: oumhl@ouc.edu.cn

2.1.3 装置与测试仪器

在同一恒温培养箱中,上半部采用自行研制的多色 LED 集成光源作为实验组,下半部采用荧光灯光源作为对照组。上下两部分用遮光板分隔。光源的光谱和光强均由 PR650 光度色度仪测量。

2.1.4 测量方法

细胞密度测量采用血球计数法,将藻液加在血球计数板上,在显微镜下计数,每个样品重复计数两次,取平均。生长速率为^[10,11]

$$\mu = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{t_2 - t_1}, \quad (1)$$

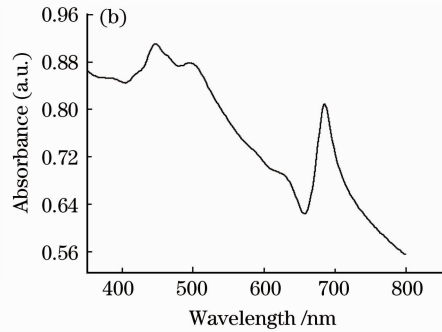
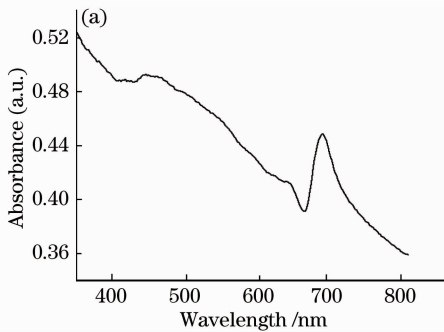


图 1 两种微藻的吸收谱。(a)纤细角毛藻的活体吸收谱;(b)亚心形扁藻的活体吸收谱

Fig. 1 Spectrum of microalgae. (a) chaetoceros gracilis; (b) platymonas subcordiformis

从图 1(a)中可以看到纤细角毛藻有 440 nm 和 680 nm 两个峰值。从图 1(b)中也可以看出亚心形扁藻的吸收谱也有两个峰值 440 nm 和 680 nm,对比两种微藻的吸收谱线,可发现 440 nm 峰值附近处,亚心形扁藻的吸收峰要比纤细角毛藻要尖锐,而在 680 nm 峰值处亚心形扁藻的吸收强度要大于纤

式中 N_2, N_1 分别为 t_2, t_1 起止时间的细胞密度。

2.2 光源的设计

根据微藻的光生物物理原理,微藻的光合作用要求光源的峰值波长与微藻的吸收谱的峰值相对应,提高照明光源的光谱与微藻吸收峰相符合的波长部分所占比例,从而提高光谱利用率。同时,由于光形态建成原理的存在,微藻需要一些微弱但是必须的波长成分对其生长进行调节,需要较宽的光谱。因此,实验中光源的设计要参照微藻的吸收谱以及光生物物理原理。图 1 是两种微藻的吸收谱。

细角毛藻。吸收谱的差别将使两种微藻对相同的光源产生不同的响应。

根据微藻的吸收谱,考虑到光谱成分的全面性及 LED 的特性,本实验采用以中心波长分别为 437 nm 的蓝光 LED(B),527 nm 的绿光 LED(G),657 nm 的红光 LED(R)以及(450 nm+540 nm)的白光 LED

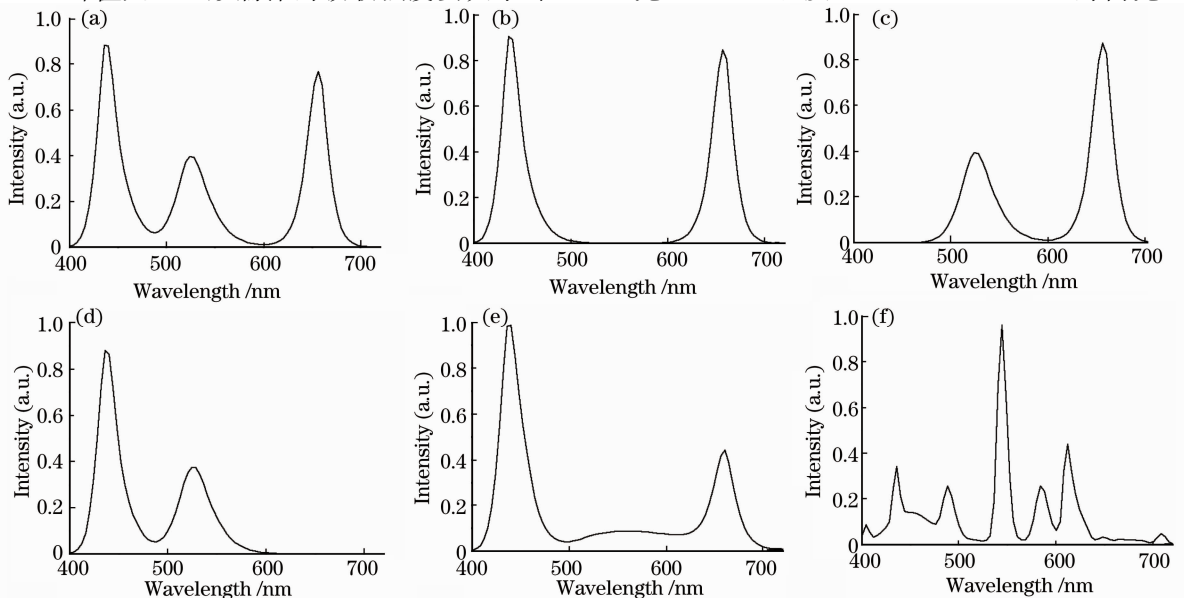


图 2 六种光源光谱分布。(a)RGB;(b)RB;(c)RG;(d)GB;(e)RWB;(f)FL

Fig. 2 Spectrum of six kinds of illuminants. (a) RGB; (b) RB; (c) RG; (d) GB; (e) RWB; (f) FL

(W)作为基础照明单元设计集成照明光源,并采用单片机控制光源的光强、周期。把此系统安装在培养箱中,在相同温度、光强和光周期条件下,对几种波长的LED光源进行组合,构成 RGB 光源、RG 光源、RB 光源、GB 光源、RWB 光源与荧光灯 FL 光源进行微藻生长的对比实验。所设计的光源光谱如图 2 所示。

3 实验结果与讨论

3.1 不同光源环境下纤细角毛藻的生长

在各种光源提供的光照环境下,完成了纤细角毛藻生长实验。其生长曲线如图 3 所示。从图 3 可以看到,在培养的前 3 天里,各种光源对纤细角毛藻生长的作用相差不大,到了第 4 天,RGB 光源的作用优势突显,在后期,微藻生长相差较大,表明了不同光谱对微藻生长作用的差异。

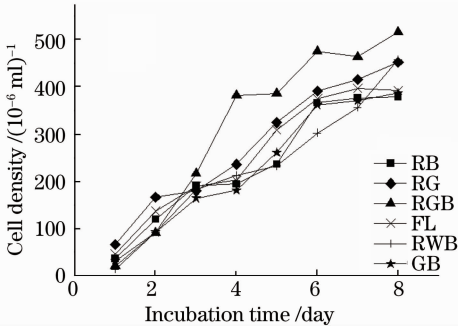


图 3 纤细角毛藻生长曲线

Fig. 3 Growth curve of *Chaetoceros gracilis*

由于培养中控制光源的光强小于纤细角毛藻的饱和光强,所以,光谱是影响微藻生长的主要因素。依据(1)式计算各种光源下纤细角毛藻生长速率,结果如表 1 所示。纤细角毛藻生长速率排序为

RGB 光源 > GB 光源 > RWB 光源 > RB 光源 > FL 光源 > RG 光源。

表 1 不同光源下纤细角毛藻的生长速率

Table 1 Growth rate of *Chaetoceros gracilis* in different illuminants

Illuminants	Growth rate /d ⁻¹
RGB	0.4360
RG	0.2389
RB	0.2911
FL	0.2655
RWB	0.3119
GB	0.4004

3.2 不同光源下亚心形扁藻的生长

在各种光源提供的光照条件下,亚心形扁藻生长曲线如图 4 所示。由图可见,亚心形扁藻生长差

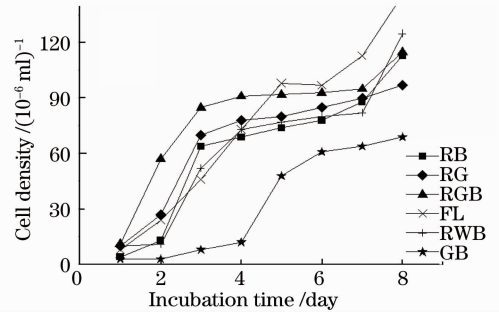


图 4 亚心形扁藻生长曲线

Fig. 4 Growth curve of *Platymonas subcordiformis*

异在第 2 天就比较显著,前 3 天生长较快,后期生长相对较慢。

用同样办法计算了亚心形扁藻的生长速率,如表 2 所示。其生长速率排序为 RB 光源 > GB 光源 > FL 光源 > RWB 光源 > RGB 光源 > RG 光源。

表 2 不同光源下亚心形扁藻的生长速率

Table 2 Growth rate of *platymonas subcordiformis* in different illuminants

Illuminants	Growth rate /d ⁻¹
RGB	0.2934
RG	0.2840
RB	0.4176
FL	0.3630
RWB	0.3157
GB	0.3972

3.3 分析讨论

光照对微藻生长的作用过程^[12,13]可以简化,如图 5 所示。

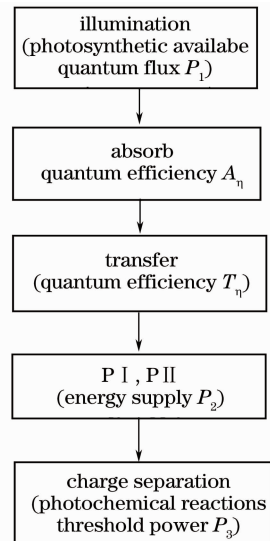


图 5 光能的吸收和传递过程

Fig. 5 Process of the absorption and transmission of luminous energy

光照对光合作用的影响有 3 个主要部分,分别为微藻吸收光的效率 A_η , 天线色素到反应中心的传递效率 T_η 以及供能功率 P_2 与阈值功率 P_3 之间的关系。其中 A_η 除了取决于微藻对不同波长光的吸收即微藻的活体吸收谱分布之外还与照射光的光谱分布 $\varphi_e(\lambda)$ 有关系;而 T_η 从当前研究结果表明,天线色素向反应中心的传递效率都在 90% 以上,所以在 400~700 nm 波长范围内可视为常数; P_2 与 P_3 之间的关系则决定了微藻的饱和光强。因此,在 $P_2 < P_3$ 即在低于饱和光强的光照条件下,微藻吸收光的

表 3 两种微藻对不同光谱组合下的光谱吸收系数 A_η

Table 3 Absorption coefficient of two kinds of microalgae in different spectrum

	RGB	RB	RG	FL	RWB	GB
<i>Chaetoceros gracilis</i>	0.90	0.81	0.78	0.85	0.87	0.88
<i>Platymonas subcordiformis</i>	0.82	0.90	0.80	0.88	0.85	0.89

可以看出,对于纤细角毛藻,吸收系数的顺序为 $RGB > GB > RWB > FL > RB > RG$, 对于亚心形扁藻,吸收系数的排序为 $RB > GB > FL > RWB > RGB > RG$ 。对比实验得到的生长曲线,可以看出吸收系数与微藻的生长速率基本是正相关的。

4 结 论

不同光谱对纤细角毛藻和亚心形扁藻的生长有显著影响,光源光谱与吸收谱的峰值点相关度越大,微藻的生长速率越大,蓝光的作用显得尤为重要。如果光源的光谱中具有吸收峰处的光谱成分越多,那么此光源对微藻生长就更具有促进作用,导致微藻具有较大的生长速率。光谱的连续程度对微藻生长也有一定影响。

不同的微藻所需的最佳匹配光谱是不同的。纤细角毛藻较理想的光谱是 RGB 集成光谱,而亚心形扁藻生长速率较大的光谱为 RB 集成光谱。可见,只要光谱匹配,LED 光源较荧光灯光源更有利于微藻的快速生长。同时 LED 光源具有节能、可自动控制和光谱集成多样化的优点。因此,在微藻培养中 LED 集成光源具有良好的应用前景。

参 考 文 献

1 Lu Lu, Su Rongguo, Hu Xupeng *et al.*. Research on phytoplankton chlorophyll fluorescence excitation spectra by Gaussian decomposition[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(8): 1115~1119
 卢 璐, 苏荣国, 胡序朋等. 高斯分解法研究浮游植物荧光激发光谱[J]. *中国激光*, 2007, **34**(8): 1115~1119
 2 Liu Qing, Zhang Xiaofang, Li Taiwu *et al.*. Effects of light on

效率 A_η 即吸收谱函数以及光照的 $\varphi_e(\lambda)$, 决定了微藻的生长速率。根据吸收系数^[10]

$$A_\eta = \frac{\sum_{400}^{700} \lambda \varphi_e(\lambda) (I_A/I_0) \Delta\lambda}{\sum_{400}^{700} \lambda \varphi_e(\lambda) \Delta\lambda}, \quad (2)$$

式中 I_A/I_0 吸收光强与入射光强的比值, $\varphi_e(\lambda)$ 为光谱相对功率分布函数。结合吸收谱与光源的相对光谱分布可以计算出各种光源照射下的光谱吸收系数 A_η , 如表 3 所示。

growth rate, chlorophyll level and cell cycle in four alga species[J]. *J. Dalian Fisheries University*, 2006, **21**(1): 24~30

刘 青, 张晓芳, 李太武等. 光照对 4 种单胞藻生长速率、叶绿素含量及细胞周期的影响[J]. *大连水产学院学报*, 2006, **21**(1): 24~30

3 O. Levy, Y. Achituv, Y. Z. Yacobi *et al.*. The impact of spectral composition and light periodicity on the activity of two antioxidant enzymes in the coral *Favia fava* [J]. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 2006, **328**: 35~46

4 S. Lefebvre, J. L. Mouget, P. Loret *et al.*. Comparison between fluorimetry and oximetry techniques to measure photosynthesis in the diatom *Skeletonema costatum* cultivated under simulated seasonal conditions [J]. *J. Photochemistry Photobiology B*, 2007, **86**(2): 131~139

5 Mao Anjun, Wang Jing, Lin Xuezheng *et al.*. Effect of spectra on growth of *Chlorella* and *Isochrysis* [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008, **28**(5): 991~994

毛安君, 王 晶, 林学政等. 光谱对小球藻和等鞭金藻生长的影响[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008, **28**(5): 991~994

6 You Chul Jeon, Chul Woong Cho, Yeoungsang Yun. Measurement of microalgal photosynthetic activity depending on light intensity and quality [J]. *Biochemical Engineering J.*, 2005, **27**: 127~131

7 S. L. Bender, B. A. Barry. Light-induced dynamics in photosystem I electron transfer [J]. *Biophysical*, 2008, **95**: 3927~3934

8 Yan Meijiao, Wang Yindong, Hu Xianjiang. Impact of illumination on *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* growth rate and chlorophyll contents [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2007, **13**(23): 27~29

严美娇, 王银东, 胡闲江. 光照对小球藻、斜生栅藻生长速率及叶绿素含量的影响[J]. *安徽农学通报*, 2007, **13**(23): 27~29

9 Shen Yinwu, Zhu Yunzhi, Liu Yongding. Effectss of different light quality on *Richelia sinica* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(3): 285~287

沈银武, 朱运芝, 刘永定. 不同光质对中华植生藻的影响[J]. *水生生物学学报*, 1999, **23**(3): 285~287

10 Mao Anjun, Wang Jing. Calculation and application of photosynthetic photon flux density [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2006, **36**(6): 151~155

毛安君, 王 晶. 光合有效量子通量密度的计算及应用[J]. 中

- 国海洋大学学报, 2006, **36**(6): 151~155
- 11 Zhao Qiaohua, Qin Boqiang. Spectral absorption characteristics of algae and discrimination of the absorption spectrum of mixed algae[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, **28**(2): 313~318
赵巧华, 秦伯强. 藻类的光谱吸收特征及其混合藻吸收系数的分离[J]. 环境科学学报, 2008, **2**(2): 313~318
- 12 Hu Xupeng, Su Rongguo, Zhang Chuansong *et al.*. Fluorescence discrimination technology for the red tide algae by spectra similarity index[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(1): 115~119
胡序朋, 苏荣国, 张传松 等. 基于光谱相似性指数的赤潮藻荧光识别技术[J]. 中国激光, 2008, **35**(1): 115~119
- 13 Zhou Wen, Cao Wenxi, Li Cai *et al.*. Spectral scattering property of phytoplankton calculated by absorption coefficient and size distribution [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1429~1433
周雯, 曹文熙, 李彩 等. 由吸收系数和粒度分布计算浮游植物的散射光谱特征[J]. 光学学报, 2008, **28**(8): 1429~1433