

光谱对小球藻和等鞭金藻生长的影响

毛安君¹, 王 晶^{1*}, 林学政², 孟继武¹

1. 中国海洋大学光学光电子实验室, 山东 青岛 266100

2. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061

摘 要 采用单色 LED 光源和荧光灯从效率和速率两个角度研究了光源光谱对海生小球藻和等鞭金藻 8701 生长的影响, 结果表明, 连续光谱能够促进较高的最大生长率, 蓝光促进生长的效率较高, 两者组合能够较好地兼顾效率和速率。为了定量描述光照中的光谱参量, 引入光谱吸收系数, 根据光源发射光谱和藻体吸收谱计算海藻对光源光谱的量子吸收效率, 该系数与实验结果中相应的生长效率成正相关, 能够初步以量化形式反映光谱与其生长效率的关系。

关键词 光谱; 小球藻; 等鞭金藻; 光谱吸收系数; 单色 LED

中图分类号: Q682 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-0593(2008)05-0991-04

引 言

海洋微藻是海洋生态系统中的主要初级生产者, 营养丰富, 富含微量元素和各类生物活性物质, 生长速度快, 繁殖周期短, 是人工养殖的重点发展对象^[1]。光照是微藻生长的重要限制因子之一, 探索相关规律对推动微藻养殖技术进步有重要意义。以往研究光照对海洋微藻生长的作用, 偏重于光强和光周期的影响。光谱是光照的另一重要参量, 对于同样大小的光强, 在不同光谱的光照射下海藻的生长速率并不相同, 相关研究正在逐渐展开, 成为该领域热点之一。本文选取水产养殖中两种常用的饵料藻海生小球藻和等鞭金藻 8701 作为实验对象, 以单色发光二极管(LED, light-emitting diode)面阵光源和荧光灯照射, 研究了 5 种不同光谱的光对其生长的影响, 并对光谱参量的表征进行了量化尝试, 为研制促进海藻生长的生态光源奠定了坚实的基础。

1 实 验

1.1 光源

蓝光 LED、绿光 LED、红光 LED、荧光灯、蓝光 LED 与荧光灯组合成的组合光源等五种光源分别提供蓝光、绿光、红光、白光、白光 + 蓝光等五种不同光谱的光照。

1.2 藻种与培养

海生小球藻(*Chlorella vulgaris*)和等鞭金藻 8701(*Isoch-*

rysis galbana Parke 8701)均取自中国海洋大学水产学院藻种库。培养基采用 f/2 配方^[2], 盐度为 25‰, pH 7.5, 温度(25±1)℃, 光周期 12 h/12 h, 每日摇瓶 3 次, 每个实验组设 3 个重复。对于小球藻, 5 种光源各设置 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 等 7 个梯度光强。对于等鞭金藻, 五种光源各设置 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 等 7 个光强梯度。

1.3 测量

细胞密度测量采用血球计数法, 取一定体积的藻液, 用 Lugol's 液固定, 在显微镜下用血球计数板计数, 每个样品重复计数 4 次, 取平均值。生长速率根据细胞密度由式 $\mu = \ln N_2 - \ln N_1 / t_2 - t_1$ 计算, 其中 N_1 , N_2 分别为起始时间 t_1 、终止时间 t_2 时的细胞密度。活体吸收谱由上海光学仪器厂生产的 53WB 型紫外可见分光光度计测量。光源光谱由 Photo Research 公司生产的 PR650 光谱光度/色度计测量。光强由上海嘉定学联仪表厂生产的 JD-3 型照度计测量, 并根据不同光源的光谱通过编程计算以光合有效量子通量密度定量。

2 实验结果与讨论

2.1 不同光源下小球藻的生长

小球藻在 5 种光源下的生长情况如图 1。对于不同光谱的光照, 光强较低时, 光是生长的限制因子, 决定生长速率的大小, 光强增加, 小球藻生长速率增大, 最大生长率对应的光强称作最适光强或饱和光强, 之后生长速率随光强增加

收稿日期: 2006-11-19, 修订日期: 2007-03-02

基金项目: 山东省攻关项目(2005GG1107001)资助

作者简介: 毛安君, 1982 年生, 中国海洋大学光学光电子实验室硕士研究生

*通讯联系人 e-mail: wjing@ouc.edu.cn

而减小。蓝光 LED 饱和光强为 $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 低于其他光源。绿光 LED 饱和光强最高, 达到 $180 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从最大生长率上看, 组合光源和荧光灯的照射能够获得更大的最大生长率, μ 值分别达到 0.461 2 和 0.487 4。LED 光源中, 蓝光 LED 能够促进较快的生长。在低于饱和光强情

况下(即光强是生长的限制因子时), 对于同等强度的光照, 生长速率的大小顺序是: 蓝光 LED > 组合光源 > 荧光灯 > 红光 LED > 绿光 LED, 反映了不同光谱对小球藻的生长效率不同。

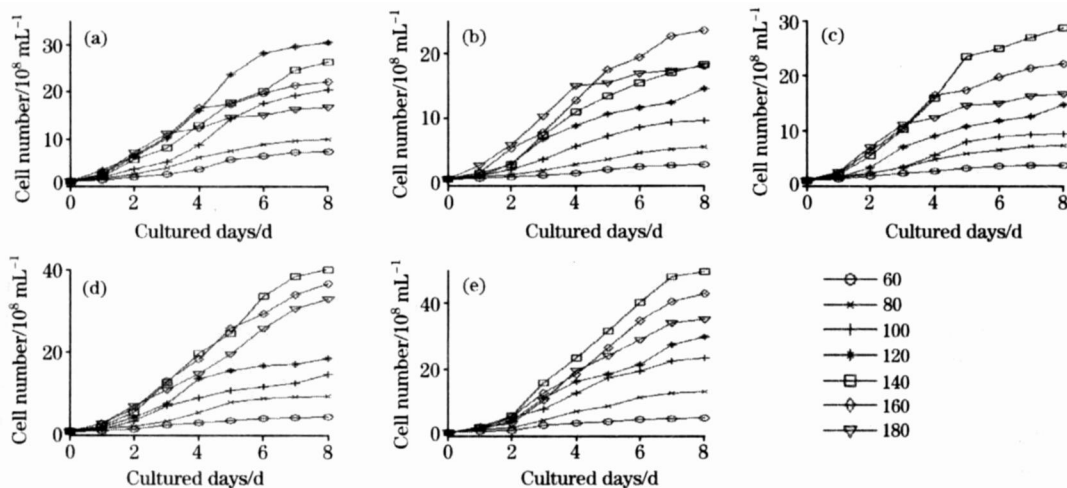


Fig 1 The growth curves of chlorella under light sources of different spectra

(a): Blue LED; (b): Green LED; (c): Red LED; (d): Fluorescent lamp; (e): Composite illuminant

2.2 不同光源下等鞭金藻的生长

等鞭金藻在 5 种光源下的生长情况如图 2。对于等鞭金藻, 蓝光 LED 饱和光强同样小于其他光源, 为 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 绿光 LED、荧光灯、组合光源饱和光强均在 $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 红光 LED 为 $140 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

同小球藻的情况一样, 荧光灯和组合光源有较大的最大生长率, 分别为 0.402 6 和 0.421 8。低于饱和光强时, 各光源生长速率的顺序是: 蓝光 LED > 组合光源 > 荧光灯 > 绿光 LED > 红光 LED, 与小球藻的情况相比, 绿光 LED 的生长效率高

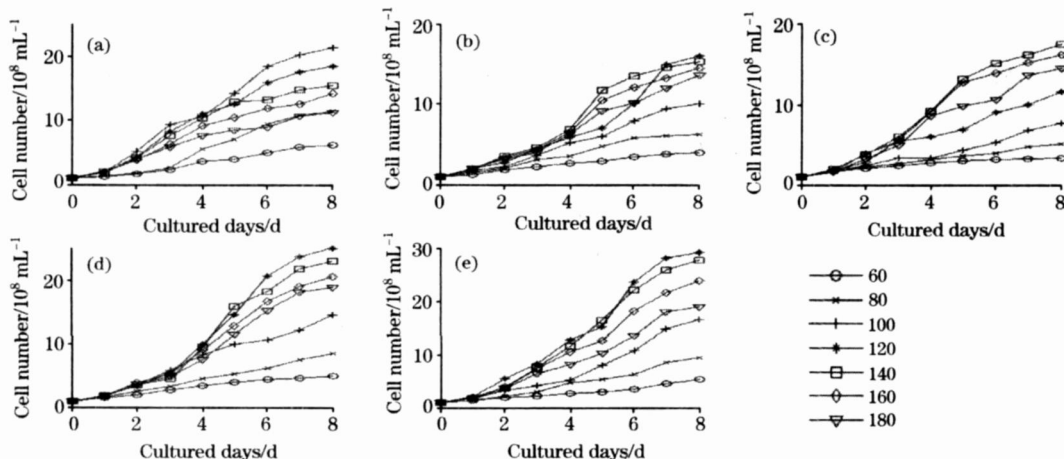


Fig 2 The growth curves of isochrysis under light sources of different spectra

(a): Blue LED; (b): Green LED; (c): Red LED; (d): Fluorescent lamp; (e): Composite illuminant

光合作用为海藻生长提供动力, 是影响生长速率的决定性因素。不同微藻由于光合色素的多样性, 光照下的生长情况也具有生理多样性。Dring^[3]在对小球藻、栅藻的研究中发现在相同强度的几种光质下, 细胞增殖率通常在蓝光下较高。王伟^[4]对中华盒形藻的实验表明, 白光下的日增殖率最大, 蓝光次之。吴垠^[5]等的研究表明盐藻在红光或白光下, 叉鞭金藻在蓝光或红光下生长较快。以上实验结果定性描述

光谱, 不利于发现光谱作用的普遍规律。由于藻体吸收谱能够总体反映光合色素不同导致的生理多样性, 因此可从照射光光谱和藻体吸收谱的关系入手理解不同光谱对海藻的生长效率之间的差异。

2.3 光源光谱和藻体吸收谱的关系及其对光谱生长效率的影响

小球藻和等鞭金藻的活体吸收谱如图 3 所示。小球藻在

470 和 681 nm 处有两个吸收峰, 在 550 ~ 650 nm 范围内吸收较弱。等鞭金藻在 450 ~ 500 nm 范围内有较大的吸收, 另外 670 nm 处有较小的吸收峰。在 550 ~ 650 nm 范围内同样吸收较弱。

实验使用的五种光源的发光光谱如图 4 所示。蓝绿红

LED 具有带状光谱, 发射峰分别位于 464, 564, 660 nm, 光谱半宽约为 30 nm。荧光灯是基于三基色原理的线状连续光谱。组合光源在荧光灯光谱基础上增添了 464 nm 附近的光能。

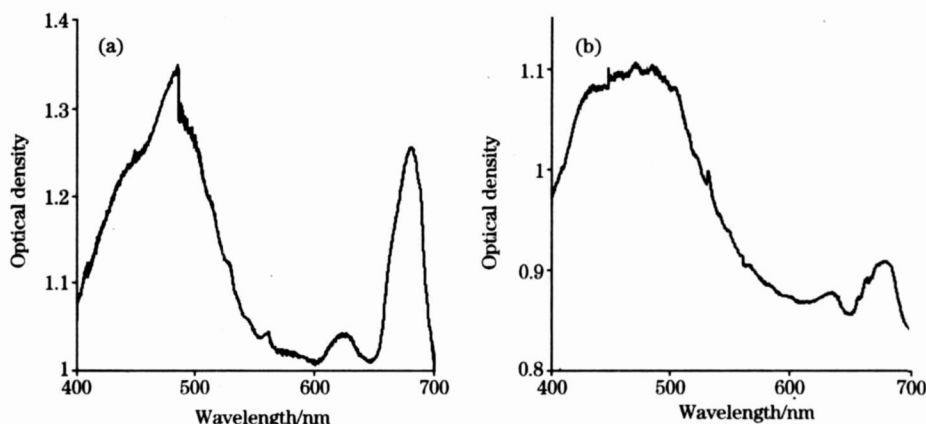


Fig. 3 Absorption spectra of chlorella and isochrysis

(a); Chlorella; (b); Isochrysis

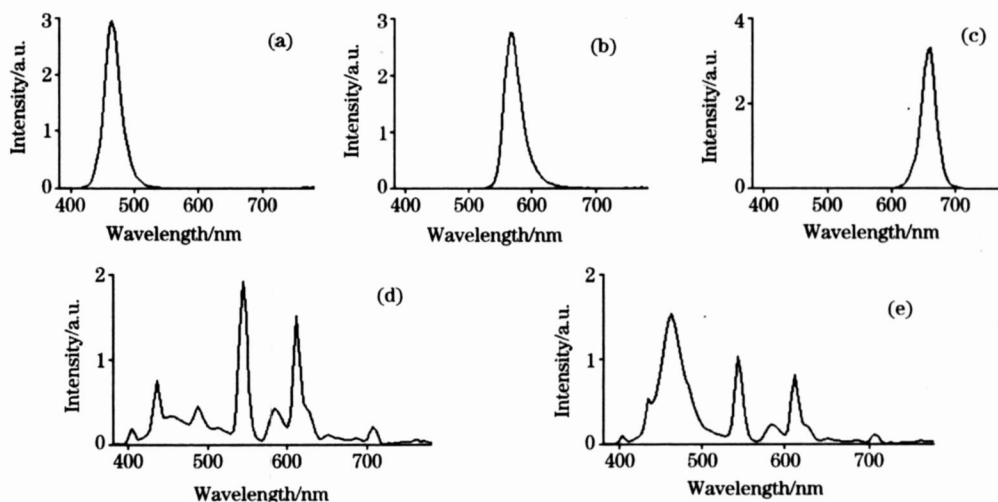


Fig. 4 Relative power density spectra of light sources

(a); Blue LED; (b); Green LED; (c); Red LED; (d); Fluorescent lamp; (e); Compose illuminant

光能吸收是光照促进生长的第一步, 海藻对光谱光能的吸收效率能在一定程度上反映该光谱的生长效率。活体吸收谱表征了海藻对单色光的吸收效率, 在此基础上, 引入光谱吸收系数 A_η , 用于描述光源光谱和海藻吸收谱之间的匹配关系, 表征海藻对整个光源光谱的量子吸收效率。因光以量子形式参与光合反应, 光强须以量子通量密度度量^[6], 相应的吸收系数也采用量子度量形式。

设相对光谱功率密度为 $\Phi(\lambda)$ 的光照射吸收谱为 $OD(\lambda)$ (Optical Density) 的藻液, 入射光强为 I_0 , 透射光强为 I_T , 则吸收光强为 $I_A = I_0 - I_T$, 定义

$$A_\eta = \frac{I_A}{I_0} = \frac{\sum_{400}^{700} I_A(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{380}^{780} I_0(\lambda) \Delta\lambda} \quad (1)$$

光源发光波长范围为 380 ~ 780 nm, 光合有效辐射范围为 400 ~ 700 nm^[6]; 因测量结果总是给出离散数据, 各式直接取和形式; $\Delta\lambda$ 为测量结果的波长间隔。

将 $\Phi(\lambda)$ 转换为相对量子通量谱密度, 并结合分光光度计测量 $OD(\lambda)$ 的原理 Lambert-Beer 定律^[7], 得

$$A_\eta = \frac{\sum_{400}^{700} \Phi(\lambda) [1 - 10^{-OD(\lambda)}] \Delta\lambda}{\sum_{380}^{780} \Phi(\lambda) \Delta\lambda} \quad (2)$$

其中 $\Delta\lambda$ 为两种测量结果给出的较大的波长间隔。

根据 (2) 式计算两种海藻对各光源光谱的吸收系数 A_η 见表 1。

对于小球藻光谱吸收系数大小顺序为: 蓝光 LED > 组合光源 > 荧光灯 > 红光 LED > 绿光 LED。对于等鞭金藻光谱

吸收系数大小顺为蓝光 LED > 组合光源 > 荧光灯 > 绿光 LED > 红光 LED。对比生长情况可知, 光源光谱的 A_{η} 值与其生长效率成正相关, 故 A_{η} 在一定程度上反映了光谱光能被海藻有效利用的程度。

3 结 论

对于小球藻和等鞭金藻, 照射光强较低时, 从生长效率角度看, 蓝光 LED 均有较好效果, 组合光源和荧光灯次之, 红光 LED 和绿光 LED 较差。照射光强达到饱和后, 比较各光谱对应的生长速率, 连续光谱比带状光谱能够获得更高的最大生长率。综合比较, 荧光灯与蓝光 LED 组合成的组合光源生长效果最好, 说明在连续光谱基础上增补高效带状光谱的光能是兼顾效率和速率的有效方法, 可用于指导海藻养殖

光源的设计。

Table 1 *Chlorella* 's and *isochrysis* 's absorption coefficients of spectra of the light sources

海藻	光谱吸收系数 A_{η}				
	蓝光 LED	绿光 LED	红光 LED	荧光灯	组合光源
小球藻	0.94	0.75	0.82	0.87	0.90
等鞭金藻	0.91	0.81	0.79	0.84	0.88

光谱吸收系数以正相关形式反映了光谱促进海藻生长的效率, 初步量化了光照中的光谱参量, 在促进相关研究规范化和海藻养殖中高效节能光源的选择与设计方面都有重要意义, 相关探索还需进一步进行。

参 考 文 献

- [1] NI Xue-wen(倪学文). Marine Fisheries(海洋渔业), 2005, 27(3): 251.
- [2] Smith W L. Culture of Marine Invertebrate Animals. New York: Plenum Press, 1975.
- [3] Dring M J. Ann. Rev. Plant Physiol., 1988, 39: 17.
- [4] WANG Wei(王伟). Journal of Wuhan Botanical Research(武汉植物学研究), 1999, 17(3): 197.
- [5] WU Yin, GU Li(吴垠, 谷丽). Biotechnology(生物技术), 2004, 14(3): 59.
- [6] XU Da-quan(许大全). Photosynthetic Efficiency(光合作用效率). Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers(上海: 上海科学技术出版社), 2002.
- [7] RUAN Ping, HUANG Yao-xiong, LI Dan(阮萍, 黄耀熊, 李丹). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(7): 1121.

Effect of Spectra on Growth of *Chlorella* and *Isochrysis*

MAO An-jun¹, WANG Jing^{1*}, LIN Xue-zheng², MENG Ji-wu¹

1. Optics and Optoelectronics Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2. The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China

Abstract Focusing on the speed and efficiency, the effects of different spectra on the growth of *chlorella vulgaris* and *isochrysis galbana* Parke 8701 were investigated by using monochromatic LED (light-emitting diode) and fluorescent lamp as light sources. It was concluded that continuous spectra accelerate the top-growth-rate, blue light has the best efficiency, and the combination of them can obtain a good balance of speed and efficiency. For the purpose of measuring spectra as a parameter of irradiation quantitatively, spectra-absorbability-coefficient defined as the quanta-absorbability-efficiency of spectra for algae was calculated by means of absorption spectra of algae and emission spectra of light sources. Compared with the experimental results the coefficients of different light sources have a positive correlation to their efficiency for growth, so the coefficient can be used to elementarily quantify the relation between the spectra and the efficiency for growth.

Keywords Spectra; *Chlorella*; *Isochrysis*; Spectra-absorbability-coefficient; Monochromatic LED

(Received Nov. 19, 2006; accepted Mar. 2, 2007)

* Corresponding author