

蓝藻培养体系中光强衰减的研究

康瑞娟¹ 蔡昭铃¹ 施定基²

(1. 中国科学院过程工程研究所; 生化工程国家重点实验室, 北京 100080;

2. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

STUDIES ON THE LIGHT INTENSITY ATTENUATION IN CYANOBACTERIAL CULTURES

KANG Rui-juan¹, CAI Zhao-ling¹ and SHI Ding-ji²

(1. State Key Lab. Biochem. Eng., Inst. Process Eng., The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080;

2. Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

关键词: 光衰减; 鱼腥藻 7120; 聚球藻 7002

Key words: Light intensity attenuation; *Anabaena* sp. PCC7120; *Synechococcus* sp. PCC 7002

中图分类号: Q949.22 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2002)03-0310-04

蓝藻又名蓝细菌, 是一类原核的光合生物。光强是影响蓝藻细胞生长的重要环境因子之一。一般认为光在藻液中的衰减符合 Lambert-Beer 定律, 该定律基于以下假设而成立, 即(1)光的传播方向在培养液中不发生改变,(2)入射光是单色的,(3)因固体颗粒产生的散射与吸收相比是可以忽略的。但是, 在较高的藻细胞密度下, 由于存在多种散射和选择性吸收效应, 该定律的前提条件得不到完全满足, 因此许多研究者提出了各种修正公式试图解决这一问题^[1-3]。但在上述的这些研究中, 所考察的影响光衰减的因素均局限于细胞密度和培养液浓度, 都没有考虑藻细胞的大小对光强衰减的影响。本文以两种不同形态的蓝藻-丝状体的鱼腥藻 7120 和单细胞的聚球藻 7002 培养体系为对象, 研究了光强在两种藻液中的变化规律。

1 材料与方法

1.1 材料 鱼腥藻 (*Anabaena* sp. PCC 7120)、聚球藻 (*Synechococcus* sp. PCC7002) 由中国科学院植物所提供。试剂均为市售分析纯或化学纯商品。

1.2 方法 蓝藻培养基: 加氮(以 NaNO_3 为氮源)的 BG-11 培养基培养鱼腥藻^[4], 培养基 A 培养聚球藻^[5]。蓝藻的培养在 15L 气升式光生物反应器中进行, 反应器直径为 182mm, 高 1000mm, 提升管直径为 131mm, 高 600mm。以周边均布的日光灯为光源, 工作体积为 13L, 初始光强为 $92 \sim 360 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,

收稿日期: 2001-04-30; 修訂日期: 2001-06-12

基金项目: 海洋“863”转基因工程海洋藻的构建。(项目编号: 819-06-03) 资助

作者简介: 康瑞娟, (1965-), 女, 山东省茌平县人; 助研(在职博士生); 研究方向: 生化工程

鱼腥藻和聚球藻的培养温度分别为28℃和35℃。

光衰减的测量:将光反应器中不同培养时间取得的藻液放置在一个直径为58mm的杯状玻璃容器中,以日光灯为光源、用FGH-1型光合有效辐射计测量光通过不同浓度的藻液时的衰减情况,藻液的深度分别为1、2、3、4cm。入射光的初始光强为 $80\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

1.3 测试仪器 分光光度计(上海光学仪器厂生产),FGH-1型光合有效辐射计(北京师范大学光电仪器厂)。

2 结果与讨论

2.1 光强在鱼腥藻和聚球藻培养液中的衰减

在鱼腥藻和聚球藻培养液中,以 $80\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 入射光强,分别测量不同细胞浓度(以 OD_{750} 表示)和不同藻液厚度即光程距离对光的衰减的影响,结果见图1。

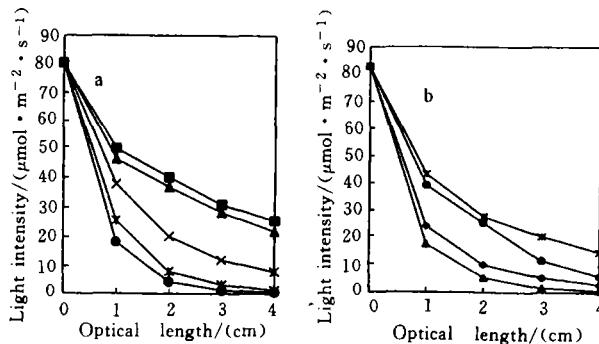


图1 细胞密度和光路长度对光强衰减的影响,(a) 鱼腥藻,(b) 聚球藻

Fig.1 The effect of cell density and optical length on light intensity attenuation in
(a) *Anabaena* SP. PCC 7120 (■ 0.328; ▲ 0.424; × 0.708; ▨ 1.32; ● 1.606)
(b) *Synechococcus* sp. PCC7002 (■ 0.558; ◆ 0.835; ● 1.25; ▲ 1.59)

从图1可以看出,在两种不同形态的藻液中,光强衰减的变化规律是相似的。随着藻细胞密度和光程距离的增加,光强迅速下降。培养初期,细胞密度小,光衰减程度低,而培养后期,随着藻细胞密度的增加,藻细胞的阻光作用增强,光衰减严重,光透射距离缩短。

2.2 光强在两种藻培养体系中的衰减规律

上述实验结果可以用下式表示: $\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\alpha \cdot L$ (1)

$$\alpha = a + b\text{OD}_{750} \quad (2)$$

其中 I_0 为初始入射光强($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), I 为一定光程距离上的光强($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), L 为光程距离(cm), OD_{750} 为以消光度表示的藻细胞密度, a , b 为常数, α 为光衰减系数。

对实验数据进行回归分析,得到以下结果:

$$\text{对鱼腥藻 7120 } \alpha = 0.0131 + 0.987\text{OD}_{750} \quad (3)$$

$$\text{对聚球藻 7002 } \alpha = -0.0239 + 0.0777\text{OD}_{750} \quad (4)$$

代入(1)式,即可得到光强衰减的经验公式,在鱼腥藻7120培养体系中:

$$I = I_0 \exp[-(0.0131 + 0.987\text{OD}_{750}) \cdot L] \quad (5)$$

在聚球藻7002培养体系中

$$I = I_0 \exp[-(-0.0239 + 0.0777\text{OD}_{750}) \cdot L] \quad (6)$$

由(5)、(6)计算的不同距离和藻细胞密度下 I 值与实测值比较,结果见图2。

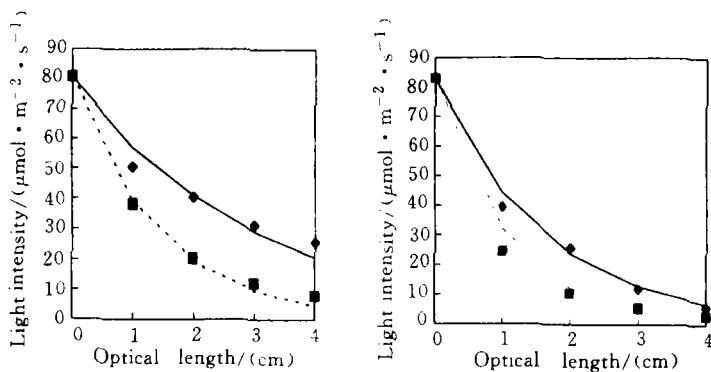


图 2 鱼腥藻 7120 和聚球藻 7002 培养液中光强的公式计算值与实测值的比较

Fig.2 Comparison of calculated values with measured values of light intensity in
 (a) *Anabaena* sp. PCC 7120 culture (◆ 0.328exp.; ■ 0.708exp.; — 0.328cal.; ····· 0.708cal.)
 (b) *Synechococcus* sp. PCC 7002 culture (◆ 0.835exp.; ■ 1.25exp.; — 0.835cal.; ····· 1.25cal.)

从图 2 中可以看出,计算值与实测值能够较好地吻合,说明上述光衰减的关联式能够较好地描述光强在两种藻培养体系中沿光程及藻细胞密度的变化情况。

2.3 藻细胞形态和大小对光强衰减的影响

根据以上所得的公式可以计算出当藻细胞密度和光程距离相同时,两种藻液中的光强值。入射光强设为 $184 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 两种蓝藻培养体系的藻细胞密度以消光度(OD_{750})表示均为 0.5 和 1.25, 计算所得两种培养体系中光强衰减的比较见图 3。

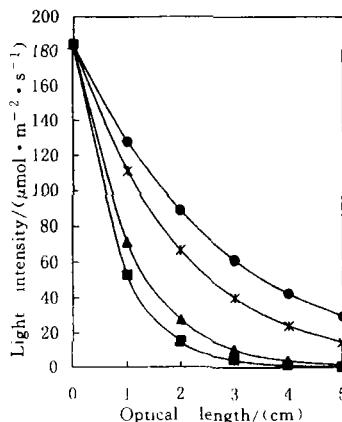


图 3 光强在鱼腥藻 7120 和聚球藻 7002 培养体系中的衰减的比较

Fig.3 Comparison of light intensity in *Anabaena* sp. PCC 7120 and *Synechococcus* sp. PCC 7002 cultures ($H = \text{OD}_{750} = 1.25$, $L = \text{OD}_{750} = 0.5$)
 (■ H7120; ▲ H7002; * L7120; ● L7002)

从图 3 可以看出,由于丝状体鱼腥藻 7120 细胞的体积比单细胞的聚球藻 7002 大得多,对于相同藻细胞浓度,相同的入射光强在鱼腥藻培养液中的衰减要比在聚球藻液中快得多,表明藻细胞的大小对光强衰减有显著影响,藻细胞体积大,则光在其中的衰减快,在培养过程中达到相同的细胞密度所需的光强就越高。通常像蓝藻这类的光自养生物在光强未达到光饱和点时,藻细胞的生长速率与光强成正比。在光生物反应器中,相同的光照培养条件下,鱼腥藻 7120 的细胞增殖速度和最终细胞密度都比聚球藻

7002 低(待发表),反映了尽管这两种藻光合作用强度基本相似,由于光衰减程度不同而使培养结果出现较大差异。

刘晶璘^[6]曾提出了藻细胞大小对光强的衰减有很大的影响,为微藻培养过程中光衰减的研究提出了新的思路。他研究了藻体大小与比消光系数的关系,并推导了藻体大小和平均光强的关系,得到了入射光强度相同时藻体颗粒半径越大,可能达到的极限生长密度就越大的结论。这与本文的结论不同,首先可能是由于其比较的对象为螺旋藻和集胞藻 6803,在相同的光强条件下,由于螺旋藻的光合作用强度比集胞藻大得多,因此,螺旋藻的生长速度较快,而集胞藻 6803 则生长很慢,这主要与藻细胞本身的遗传和生理特性,尤其是光合作用的机制和特征有关^[7]。其次,藻细胞颗粒半径的确影响光强的衰减,然而光强只是影响藻细胞生长的环境因子之一,除此之外,还应考虑其他环境因子和藻细胞本身生物学特性对生长的影响。

2.4 结论

通过对鱼腥藻 7120 和聚球藻 7002 培养体系中光强的衰减规律的研究,得到了在两种藻液中光强随藻细胞密度和光程距离变化的数学关联式,在鱼腥藻 7120 中为 $I = I_0 \exp[-(0.0131 + 0.987 \text{OD}_{750})L]$,在聚球藻 7002 中为 $I = I_0 \exp[-(-0.0239 + 0.0777 \text{OD}_{750})L]$ 。依据上述公式计算相同入射光强在两种藻液中的不同变化,并比较反应器中藻细胞培养结果,发现光强的衰减不仅与细胞密度和光程距离有关,而且还取决于藻细胞体积和形态。对于丝状体鱼腥藻和单细胞聚球藻来说,藻细胞体积越大,光在其中的衰减越快,达到相同的细胞密度所需要的光强就越高。

参考文献:

- [1] Cornet J F, Dussap C G, Gros J B. Conversion of radiant light energy in photobioreactors [J]. *AIChE J.*, 1994, **40**: 1055—1066
- [2] Cornet J F, Dussap C G, Gros J B. A simplified monodimensional approach for modeling coupling between radiant light transfer and growth kinetics in photobioreactors [J]. *Chem. Eng. Sci.*, 1995, **50**: 1489—1500
- [3] Rabe A E, Benoit A. Mean light intensity a useful concept in correlating growth rates of dense cultures of microalgae [J]. *Biotechnol. Bioeng.*, 1962, **4**: 377—390
- [4] Castenholz R W. Culturing Methods for Cyanobacteria. In: [M] *Methods in Enzymology*, New York: Academic Press, 1998, **167**: 63—93
- [5] Stevens SE Jr, Patterson COP, Myers J. The production of hydrogen peroxide by blue-green algae: a survey, [J]. *J. Phycol.*, 1973, **9**: 427—430
- [6] 刘晶璘. 光生物反应器光现象的理论研究[D]. 博士论文, 华东理工大学, 1998
- [7] 施定基. 满江红(*Azolla*)光合作用特性的研究[J]. 植物生理学报, 1981, **7**(2): 113—120