

内置组合转子新型管式光生物反应器 及微藻光暗周期研究

贾雨川, 阎 华, 关昌峰*, 杨卫民, 何立臣, 杨优生, 杨忠民

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

摘要:针对传统管式光生物反应器中存在的附壁现象、光衰减现象以及光暗循环频率低等问题, 设计了内置组合转子新型管式光生物反应器。以小球藻为培养对象, BG11 为培养基, 以光密度作为检测指标, 比较了新型管式光生物反应器和锥形瓶静态培养对于微藻生长的影响。同时也分别比较了在不同光暗循环周期下 ($L:D=18:6$ 和 $L:D=24:1$), 新型管式光生物反应器和锥形瓶静态培养对于微藻生长的影响。结果表明, 在扩大培养 10 倍之后, 光暗周期为 $L:D=18:6$ 的对照组最终 OD 值、比生长速率均要大于 $L:D=24:1$ 的对照组, 其中新型反应器中最终 OD 值高出 17.1%, 比生长速率高出 0.66%, 锥形瓶中最终 OD 值高出 13.63%, 比生长速率高出 6.67%。

关键词:光生物反应器; 小球藻; 组合转子; 光暗周期

中图分类号:TK6

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2017)09-0168-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.09.039

A new type of tubular photobioreactor with built-in combined rotor and microalgae light-dark cycle research

JIA Yu-chuan, YAN Hua, GUAN Chang-feng*, YANG Wei-min, HE Li-chen, YANG You-sheng, YANG Zhong-min

(College of Mechanical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: A new type of tubular photobioreactor with built-in combined rotors is designed for solving the problems of tube wall adhesion, light attenuation and low frequency of light-dark circulation in traditional tubular photobioreactor. The effects of the new tubular photobioreactor and Erlenmeyer flask on the growth of microalgae in static culture are compared by using chlorella as culture object, BG11 as culture medium and the optical density as detection index. Under different light-dark cycles ($L:D=18:6$ and $L:D=24:1$) respectively, the effects of the new tubular photobioreactor and Erlenmeyer flask on the growth of microalgae in static culture are also compared and analyzed. The results make down that after expanding 10 times of the culture, both the final OD value and specific growth rate of the control group with $L:D=18:6$ light-dark period are higher than that of $L:D=24:1$ light-dark period group. Of which, the final OD value and the specific growth rate in the new tubular photobioreactor are 17.1% and 0.66% higher than those in the control group, and in Erlenmeyer flask the final OD value and the specific growth rate are separately higher 13.63% and 6.67% than that in the control group.

Key words: photobioreactor; chlorella; combined rotor; light-dark cycles

能源是人类社会生存与发展的重要物质基础, 能源不足已经成为制约经济社会发展的瓶颈。我国经济已实现飞速增长, 工业化水平不断提高, 然而经济发展与资源、能源、环境约束之间的矛盾也日益凸显^[1]。微藻作为生物质燃料来源具有节能减排的突出优势, 对微藻规模化培养成为了近些年研究的热点^[2]。光生物反应器是实现微藻高密度培养的重要装置^[3], 目前, 多采用敞开式和封闭式培养^[4], 后者细胞生物量最高已达到 25 g/L 以上^[5], 成为今后的发展方向^[6]; 管式光生物反应器具有光照比表面积大、易于监控培养参数以及易于连续化生产等优点, 成为应用较为广泛的反应器类型^[7]。

利用管式光生物反应器培养微藻, 微藻会逐渐附着在管壁上, 导致光合作用的效率降低、光暗循环

频率降低, Molina 等^[8]研究发现, 藻液光暗循环频率大约为 1 Hz 时, 最适合藻液生长。传统管式光生物反应器多为轴向流动, 径向流动较少, 光暗循环周期远低于 1 Hz。针对以上问题, 本文中介绍的新型管式光生物反应器中加入了组合转子, 在加大管内藻液径向流动的同时, 有效减少了微藻附壁现象的产生。

1 组合转子管式光生物反应器

新型组合转子管式光生物结构如图 1 所示, 主要由储液室、泵、组合转子(如图 2 所示)以及固定件构成。随着藻液的流动, 带动转子运转, 进而增大管内径向扰动, 一方面提高藻液光暗循环周期, 另一方面减小附壁现象的产生。

收稿日期: 2017-03-06; 修回日期: 2017-06-29

作者简介: 贾雨川(1992-), 男, 硕士生; 关昌峰(1957-), 男, 硕士, 研究员, 研究方向为化工机械传热传质、光生物反应器, 通讯联系人, 010-64441571, gcfc@mail.buct.edu.cn。

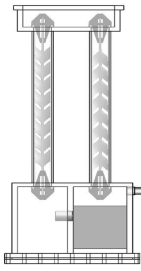


图1 新型组合转子管式光生物反应器

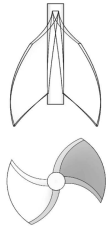


图2 两叶片转子

1.1 实验材料、设备

通过对 *Chlorella vulgaris* 的培养,以光密度和比生长速率作为检测指标,对比了新型管式光生物反应器和锥形瓶静态培养的培养效果,同时也比较了在不同光照时间培养下,微藻的生长情况。

1.2 培养藻种以及培养基

实验采用普通小球藻 (*Chlorella vulgaris*),使用 BG11 培养基培养。

1.3 培养方式

初始藻种平均 OD 值为 0.974 25,细胞干重为 0.002 1 g/mL,培养温度为 $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,采用 LED 光源,光照强度为 $(5\ 500 \pm 500)$ Lux,光暗周期为 $L:D=18:6$ 或 $L:D=24:1$,不进行外部通气,另外为消除偶然性,每组独立进行 3 次。

1.4 微藻光密度、比生长速率测量和计算

实验采用分光光度计测量微藻光密度,当 OD 值大于 0.8 后,进行稀释 3 倍后再进行测量。

比生长速率计算公式如下:

$$\mu = (\ln N_2 - \ln N_1) / (T_2 - T_1)$$

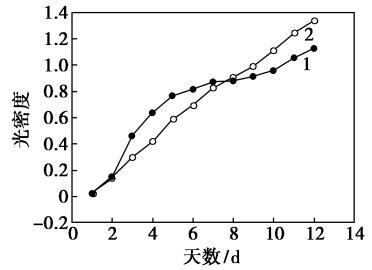
式中, μ 为比生长速率, d^{-1} ; N_2 为特定培养时间 T_2 的光密度值,无量纲; N_1 为特定培养时间 T_1 的光密度值,无量纲; T_2 为对应的培养时间, d ; T_1 为对应的培养时间, d 。

2 分析与讨论

2.1 微藻在不同生长装置下的生长情况

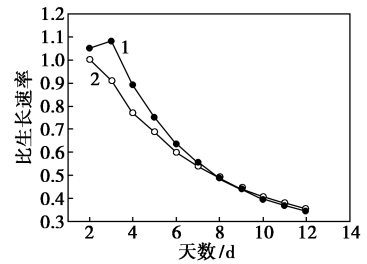
每日光照时间为 18 h, 2 L 新型管式光生物反应器和 200 mL 锥形瓶培养的微藻 OD 值、比生长速率变化分别如图 3、图 4 所示。由图 3、图 4 可知,反应器最终 OD 值为 1.123, 平均比生长速率为 0.302, 锥

形瓶最终 OD 值为 1.334, 平均比生长速率为 0.322。



光密度: 1—18 h 装置; 2—18 h 培养瓶

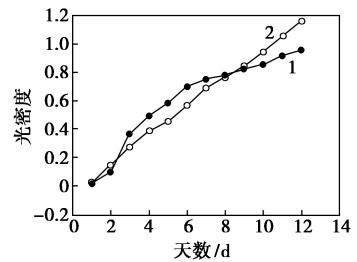
图3 18 h 光照光密度变化



比生长速率: 1—18 h 装置; 2—18 h 培养瓶

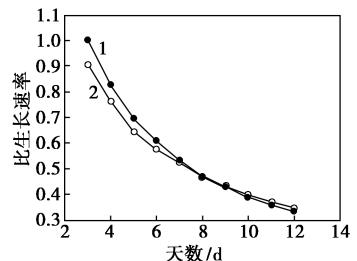
图4 18 h 光照比生长速率变化

每日光照时间为 24 h, 利用 2 L 新型管式光生物反应器和 200 mL 锥形瓶培养的微藻生长光密度、比生长速率变化分别如图 5、图 6 所示。由图 5、图 6 可知, 反应器最终 OD 值为 0.959, 最终比生长速率为 0.304, 锥形瓶最终 OD 值为 1.173, 最终比生长速率为 0.298。



光密度: 1—24 h 装置; 2—24 h 培养瓶

图5 24 h 光照光密度变化



比生长速率: 1—24 h 装置; 2—24 h 培养瓶

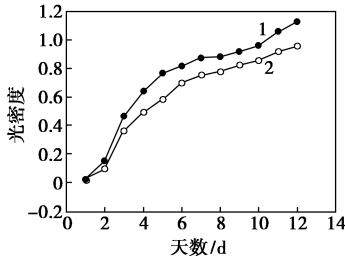
图6 24 h 光照比生长速率变化

由实验表明, 相对于锥形瓶静态培养, 在新型管式光生物反应器中扩大 10 倍培养小球藻, 光密度和

比生长速率均有略微降低,根据其他学者的实验表明,在扩大培养之后,很难达到先前的光密度和单位体积产率。

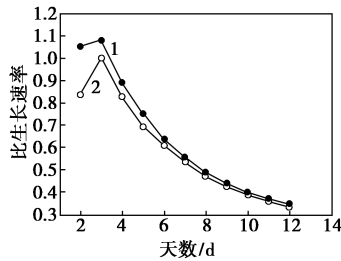
2.2 微藻在不同光照时间下的生长情况

在锥形瓶中培养小球藻,如图 7、图 8 所示,当 $L:D=24:1$ 时,最终 OD 值为 1.174,最终比生长速率为 0.3。当 $L:D=18:6$ 时,最终 OD 值为 1.334,最终比生长速率为 0.32。相对于每天 24 h 光照,每天 18 h 光照实验组最终 OD 值提高 13.63%,最终比生长速率提高 6.67%。



光密度:1—18 h 装置;2—24 h 装置

图 7 装置小球藻光密度变化

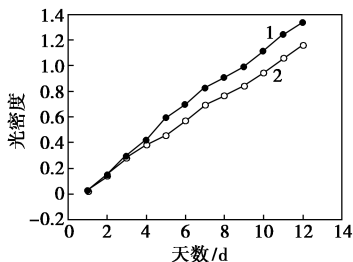


比生长速率:1—18 h 装置;2—24 h 装置

图 8 装置微藻比生长速率变化

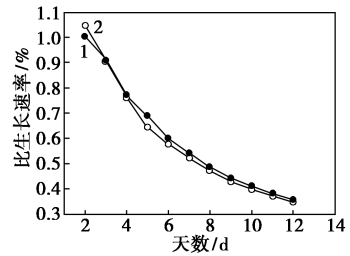
在相同新型管式光生物反应器中培养小球藻,如图 9、图 10 所示,当 $L:D=24:1$ 时,最终 OD 值为 0.959,最终比生长速率为 0.304。当 $L:D=18:6$ 时,最终 OD 值为 1.123,最终比生长速率为 0.302。相对于每天 24 h 光照,每天 18 h 光照实验组最终 OD 值高 17.1%,最终比生长速率高 0.66%。

由实验结果可知,微藻的生长情况受到光暗周期的影响,相对于全天 24 h 光照,每天 18 h 光照、6 h 黑暗的培养方式更有益于微藻的生长。



光密度:1—18 h 培养瓶;2—24 h 培养瓶

图 9 培养瓶小球藻光密度变化



比生长速率:1—18 h 培养瓶;2—24 h 培养瓶

图 10 培养瓶小球藻比生长速率变化

3 实验结果分析

(1) 由于转子的转动促进 CO_2 气体的溶解,新型管式光生物反应器在微藻培养的初期无论是 OD 值还是比生长速率都要高于锥形瓶培养,这点在微藻的快速培养方面有着重要的研究意义。

(2) 新型管式光生物反应器由于加入了组合转子,加强管内径向流动,从而达到了提高光暗循环周期以及减少微藻附壁的效果,提高了光照利用效率。

(3) 由于微藻光合作用存在光反应阶段和暗反应阶段,因此在锥形瓶中静态培养微藻,相对于每天 24 h 光照,每天 18 h 光照实验组在最终 OD 值提高 13.63%,最终比生长速率提高 6.67%。在新型管式光生物反应器中培养微藻,相对于每天 24 h 光照,每天 18 h 光照实验组最终 OD 值高 17.1%,最终比生长速率高 0.66%。由此可见光照周期为 18:6 时,相对于 24:1 时更有助于微藻的生长。

参考文献

- [1] 于双行.日本的节能降耗经验对我国的启示与对策建议[D].保定:河北大学,2009.
- [2] Rengel A.Promising technologies for biodiesel production from algae growth systems[J].European Ifsa Symposium, 2008, 6(8): 683-686.
- [3] 李永富,孟范平.光照对光生物反应器中微藻高密度光自养培养的影响[J].中国生物工程杂志,2013, 33: 103-110.
- [4] Miyake J, Wakayama T, Schnackenberg J, et al. Simulation of the daily sunlight illumination pattern for bacterial photo-hydrogen production[J].Journal of Bioscience & Bioengineering, 1999, 88(6): 659-663.
- [5] Molina Grima E, García Camacho F, Ja S P, et al. Outdoor chemostat culture of phaeodactylum tricornutum UTEX 640 in a tubular photobioreactor for the production of eicosapentaenoic acid[J].Biotechnology & Applied Biochemistry, 1994, 20(2): 279-290.
- [6] Fan L, Vonshak A, Boussiba S. Effect of temperature and irradiance on growth of haematococcus pluvialis (Chlorophyceae) [J]. Journal of Phycology, 1994, 30(5): 829-833.
- [7] Ugwu C U, Aoyagi H, Uchiyama H. Photobioreactors for mass cultivation of algae [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(10): 4021-4028.
- [8] Molina E, Fernández F G A, Camacho F G, et al. Scale-up of tubular photobioreactors[J]. Journal of Applied Phycology, 2000, 12(3): 355-368. ■