

利用多层薄层贴壁光生物反应器室外培养螺旋藻的研究

唐伟伟¹, 肖尧², 汪辉³, 刘天中³, 罗国强², 曾娟², 吴晓娟², 张朝晖¹

(1. 中国海洋大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003; 2. 成都通威水产科技有限公司, 四川 成都 610081; 3. 中国科学院 青岛生物能源与过程研究所, 中国科学院 生物燃料重点实验室, 山东 青岛 266101)

摘要: 设计开发一套新型多层薄层贴壁光生物反应器装置, 利用其在室外进行螺旋藻(*Spirulina* sp.)的高密度培养, 对适合螺旋藻的工业贴壁介质材料及光稀释倍数进行初步考察和评价。实验结果表明: 附着在超细纤维毛巾上的螺旋藻生物量产率(30~60 g/(m²·d))要高于附着在植绒材料上的螺旋藻生物量产率(10~40 g/(m²·d)); 在实验期间, 当光稀释倍数达到 10×时, 螺旋藻的生物量产率可达到 45~60 g/(m²·d), 明显高于 2.5×及 5×光稀释倍数下的生物量产率; 连续培养 8 d 的螺旋藻平均生物量产率达到 30.3 g/(m²·d), 且其营养成分与传统液体培养的螺旋藻营养成分一致。上述结果为该反应器的规模化应用提供支持。

关键词: 螺旋藻(*Spirulina* sp.); 贴壁培养; 光生物反应器; 生物量产率

中图分类号: Q945.1 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2017)03-0026-06

DOI: 10.11759/hyxx20160307003

螺旋藻(*Spirulina* sp.)是一类常见的丝状多细胞微藻, 其蛋白质含量高达 60%~70%^[1], 氨基酸组成平衡, 含有丰富的类胡萝卜素、矿物质元素及不饱和脂肪酸, 且含有多种生物活性物质^[2]。另外, 螺旋藻细胞壁的构成主要为蛋白质, 纤维素含量少, 极易消化吸收, 因此被认为是优良的饲料添加剂或鱼粉的潜在替代物^[3-4]。然而, 要实现螺旋藻在水产养殖中的广泛应用, 保证螺旋藻资源量以可接受的价格稳定供应是前提条件。

光能利用是室外规模培养时影响微藻生长效率的最主要的因素^[5-8]。开放式跑道池或光反应器培养是目前微藻培养比较成熟的系统, 但这两种培养方式对光能的利用率都不高。本实验室曾经构建“微藻半干贴壁培养”的单层反应器, 此种培养模式能够使单位面积的光利用效率得到大幅度提高^[9]。目前也已有相关实验证实, 单层贴壁培养单位面积藻体生物量与液体悬浮培养下的藻生物量相比持平或稍高, 如程鹏飞^[10]分别采用单层贴壁和液体悬浮法对葡萄藻(*Botryococcus braunii*)进行培养, 结果发现其生物量产率分别为 4.78g/m²/d 和 4.43g/m²/d, 表明单层贴壁培养下葡萄藻的生物产率略高于液体悬浮培养。研究表明在采用多层贴壁培养时, 微藻的生物量较单层培养有极大提高。刘金丽等^[11]采用多层插板光生物反应器培养栅藻(*Scenedesmus* sp.), 最高生物量产率达到 80.75g/m²/d, 远远高于栅藻在跑道池中的生物量产率(7~10 g/(m²·d))。Cheng 等^[12]利用插板式

阵列贴壁培养反应器对 *B.braunii* 进行贴壁培养, 结果表明在光稀释倍数为 10×的条件下, 其生物量产率与光合作用效率最高, 分别达到 49.1 g/(m²·d)和 14.9%。

基于此, 本研究设计开发了一套新型多层薄层贴壁光生物反应器的装置, 并采用此装置在室外进行螺旋藻的培养。对适合螺旋藻高密度生长的贴壁材料进行筛选, 并研究了不同光稀释倍数下螺旋藻的生物量积累情况以及连续培养下螺旋藻的生物量产率。研究结果为该反应器在螺旋藻规模培养中的推广应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 藻种与培养基

本实验所用螺旋藻来自中国海洋大学藻种保藏中心, 所用培养基为 Zarrouk 培养基。

1.2 反应器设计

本实验所用反应器为多层薄层贴壁光生物反应器, 反应器长 1 m, 宽 0.3 m, 高 0.3 m, 整个装置置于 0.3 m 高的支架上。为了能够更好的吸收太阳光能,

收稿日期: 2016-07-13; 修回日期: 2016-09-22

基金项目: 企业合作项目(TW2014D009)

[Foundation: enterprise cooperation project (TW2014D009)]

作者简介: 唐伟伟(1990-), 女, 硕士研究生, 主要从事微藻生理学方面的研究, 电话: 0532-80662737, E-mail:970094210@qq.com; 汪辉, 通信作者, E-mail:wanghai@qibebt.ac.cn

该装置的底部和四周全部采用玻璃制成,顶部敞开便于实验操作。如图 1 所示,贴壁材料上方布有直径为 5 mm 的塑料通水管,每隔 2 cm 设有一个滴水口,培养基可经此口流至贴壁材料表层。反应器底部开有直径为 1 cm 的一个小孔,流经材料表层的培养基在此汇集流入置于小孔下层的盛有培养基的塑料桶中,而后经水泵运输至材料上端的通水管中,形成培养基的循环。该装置具有较高的光稀释能力,根据稀释倍数 $=2h/d$ (h 为高度、 d 为悬挂的贴壁材料之间的距离),可根据光照强度将强光进行不同倍数的稀释,使之不会产生较强的光抑制现象。

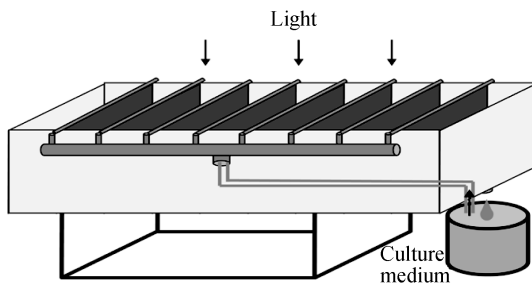


图 1 新型多层薄层贴壁光生物反应器结构图

Fig.1 Diagram of a photobioreactor attached with thin multilayers

1.3 螺旋藻的接种及培养条件

实验于 2015 年 6 月至 2015 年 8 月在青岛室外进行,温度约为 19~31℃。

利用传统悬浮培养获得足量的处于对数生长期的螺旋藻藻液,适当浓缩藻液,将浓缩后的藻液按照 10 g/m² 的接种量仔细倾倒在多层薄层贴壁光生物反应器内事先悬挂好的贴壁材料上,尽量使藻液能够均匀附着在贴壁材料表层。将 10 L Zarrouk 培养基经水泵输入至贴壁培养材料上端的通水管中,培养基流速以不冲刷下螺旋藻藻细胞为准。

1.4 不同贴壁材料对螺旋藻生长的影响

实验室以往研究表明微藻细胞在超细纤维毛巾和植绒材料上的粘附性能较好,因此本实验选用这两种材料做为测试材料。根据 10× 的光稀释倍数计算好贴壁材料之间的间距,分别将超细纤维毛巾及植绒材料悬挂好。采用如 1.3 所示的方式将螺旋藻细胞接种至材料上,通入培养基正常培养 1~3 d,使藻细胞能够均匀的附着在贴壁材料上。然后采用轻刮方式,将材料表层的螺旋藻细胞刮下而只留表面一层作为下批次培养的种子液,待螺旋藻细胞生长 1 d 后,再将其刮下且也只留表面一层做为下批次培养的种子液,

连续操作 3 d,测试螺旋藻每天的生物量产率。

1.5 不同光稀释倍数下螺旋藻的生物量产率

选用最适贴壁材料,根据 2.5×、5×和 10× 的稀释倍数来计算间距并悬挂好材料,接种、培养以及测试方法如 1.4 所示。

1.6 螺旋藻在新型多层薄层光生物反应器中的连续高密度培养

根据上述试验结果,选用最适贴壁材料以及最佳光稀释倍数。螺旋藻的接种方法如 1.3 所述一致。将接种完毕的螺旋藻培养 1~3 d 后,同样采取轻刮方式,将材料表层的螺旋藻细胞刮下而只留表面一层做为下批次培养的种子液。连续培养 8 d 后,将每天所收集的藻细胞进行称重并计算其产率。

1.7 生物量测定及生物量产率计算

将刮取收获的螺旋藻藻泥稀释至特定体积,取其中一定体积的藻液抽滤至事先称重过的醋酸纤维素膜(W_0),并用 3 倍体积的去离子水冲洗 3 次,以去掉附着在细胞表面的盐分,105℃ 烘干至恒重后再次称重 W_1 ,则生物量干重的计算方法^[13]为

$$W_D = (W_1 - W_0) / V \quad (1)$$

生物量产率的计算方法如下,第 n 天的生物量为 W_n ,初始接种量为 W_0 ,那么第 n 天的生物量产率为

$$P_n = (W_n - W_0) / n \quad (2)$$

1.8 营养成分分析

称取螺旋藻干粉 0.5 g,加入蒸馏水,冰浴中研磨 0.5 h,冻融 3 次,定容至 250 mL,4℃ 冷藏过夜,采用考马斯亮蓝法^[14]测定螺旋藻的蛋白含量。取一定体积的藻液,离心获得藻细胞,冻融 3 次,离心后收集冻融的上清液,采用苯酚-硫酸^[15]法测定样品提中多糖含量。称取螺旋藻干粉 0.05 g,在研磨过程中,加入一定量氯仿-甲醇(1/2, v/v)进行油脂的提取,振荡过夜后,加入一定量的三氯甲烷和蒸馏水,离心分层,氮吹有机相,称重测量油脂含量^[16]。

1.9 统计分析

使用 spss10.0 对实验组与对照组做 t 检验,当 $P < 0.05$ 时认为两者存在显著差异。图中数据为 3 次重复的平均值±标准差。

2 结果

2.1 螺旋藻在不同贴壁材料上的生物量产率

为了保证其他培养条件(培养基流速、光照、温

度)的一致性, 本研究将要试验用的的两种贴壁材料悬挂在同一个反应器内。试验期间反应器外部的光照强度由图 2 列出, 其中 6 月 24 日和 25 日是晴天, 光照比较充足, 6 月 26 日多云转阴, 光照强度比较弱。

光照强度的变化直接体现在螺旋藻的生物量产率上。如图 3 所示, 6 月 24 日与 25 日(晴天), 接种在超细纤维毛巾上的螺旋藻的占地产率能够达到 60~70 g/(m²·d), 接种在植绒上的螺旋藻占地产率约为 40 g/(m²·d); 6 月 26 日(多云转阴)接种在超细纤维毛巾上的螺旋藻占地产率约为 30 g/(m²·d), 而接种在植绒上的螺旋藻占地产率仅为 12 g/(m²·d)。从结果中可知螺旋藻在超细纤维毛巾上的生物量产率比在植绒上的生物量产率要高, 因此在以后的实验中作者采用超细纤维毛巾做为反应器的贴壁材料。

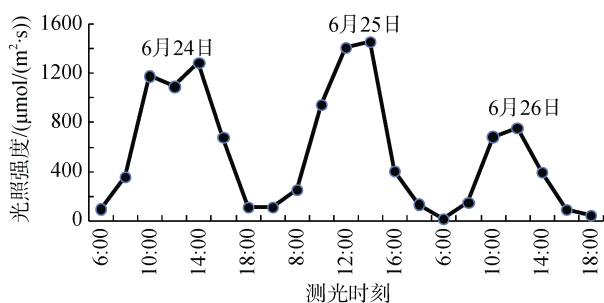


图 2 试验时间青岛室外光照强度变化

Fig.2 Outdoor light intensities in Qingdao during the experimental period

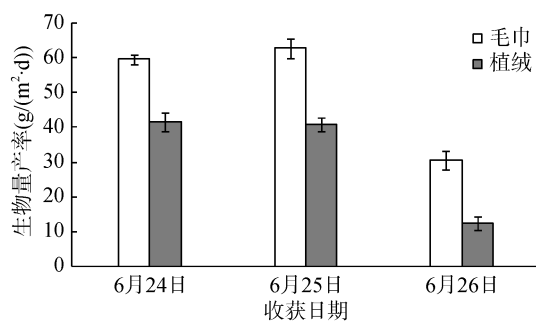


图 3 不同贴壁介质上螺旋藻的生物量产率

Fig. 3 Biomass productivities of *Spirulina* sp. attached on different substrates

2.2 不同光稀释倍数下螺旋藻的生物量产率

图 4 所示的是测试不同光稀释倍数下螺旋藻生物量产率试验期间青岛室外光照强度变化情况, 由图中可知, 试验期间每日光照强度之前变化不大。7 月 7 日至 7 月 10 日的试验结果如图 5 所示, 随着稀释倍数的增加, 螺旋藻的生物量产率也逐渐增加。当

稀释倍数为 2.5×, 生物量产率约为 30~40 g/(m²·d); 当稀释倍数为 5×时, 螺旋藻生物量产率为 35~50 g/(m²·d); 当光稀释倍数达到 10×时, 螺旋藻的生物量产率可达到 45~60 g/(m²·d)。这说明一定空间内, 总体接种量越大, 即光稀释倍数越高, 培养期间增加的藻的绝对生物量也会越多。

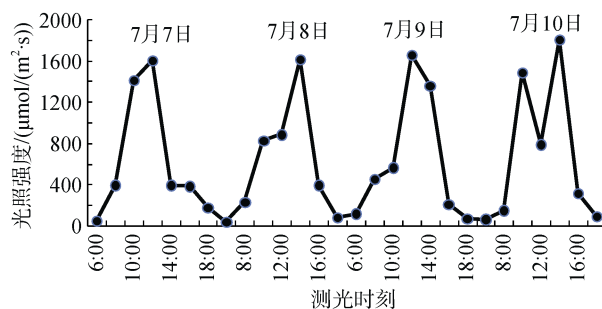


图 4 试验期间青岛室外光照强度变化

Fig.4 Outdoor light intensities in Qingdao during the experimental period

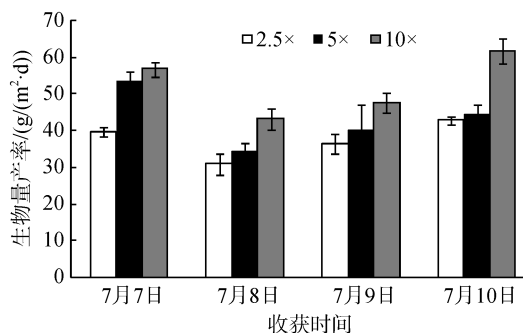


图 5 不同光稀释倍数下螺旋藻的生物量产率

Fig.5 Biomass productivities of *Spirulina* sp. exposed to different light dilution rates

2.3 不同培养时间下黄丝藻的生物量产率

根据 10×的光稀释倍数事先悬挂好超细纤维毛巾, 随后将液体悬浮培养的螺旋藻细胞适当浓缩后按照约 10g/m²的接种密度接种至其表层, 培养 1~3 d 后, 将表层藻细胞轻刮下, 然后将螺旋藻细胞连续培养 8 d。培养期间每天取样, 测试不同培养时间下的螺旋藻生物量及生物量产率。

试验期间的光照强度变化如图 6 所示, 可知试验期间每日的光照强度大不相同, 势必造成螺旋藻每日的生物量产率的差异。由图 7 可知, 试验期间, 螺旋藻的生物量在持续增加, 但其每天生物量产率却不一样, 最低时约 23 g/m²/d, 最高时可达 70 g/m²/d。培养 8 d 的螺旋藻的平均占地生物量产率约 30 g/m²/d, 高于已报道的各种传统式开放跑道池和各种相对封闭式光生物反应器^[17-18]。

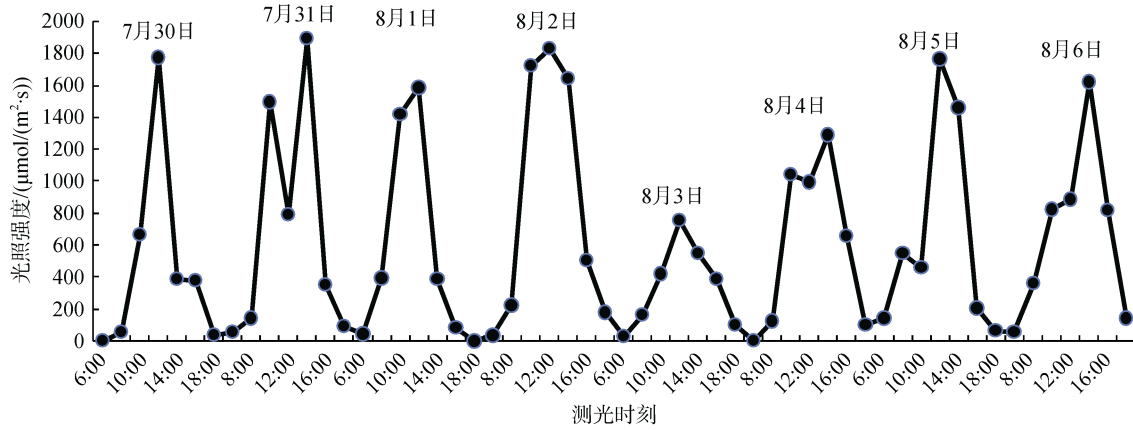


图 6 试验期间青岛室外光照强度变化

Fig.6 Outdoor light intensities in Qingdao during the experimental period

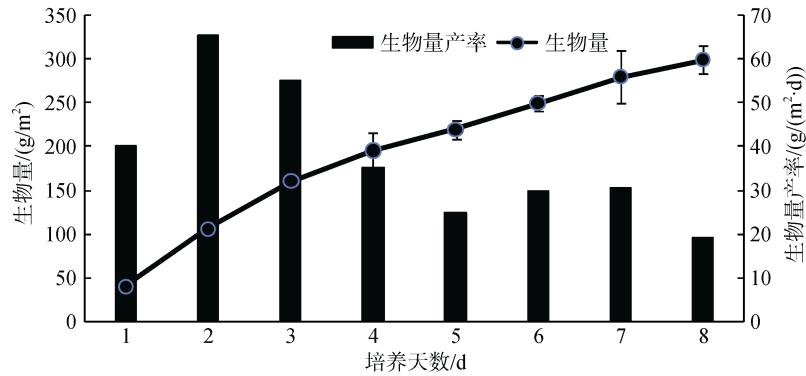


图 7 螺旋藻连续培养 8 天的生物量及生物量产率变化

Fig.7 Biomass and biomass productivities of *Spirulina* sp. cultivated for 8 days

2.4 不同培养时间下螺旋藻的营养成分

表 1 所示的是在连续培养 8 d 内, 不同培养时间下取样的螺旋藻的营养成分比较。由表中可以看出, 不同培养时间下螺旋藻的蛋白质含量随培养时间的增加总体上呈现递增趋势。培养 1 d 的螺旋藻蛋白质含量占干重比例为 46.93%, 而最高的为 53.4%。而螺旋藻总脂和多糖的含量变化不大, 分别占细胞干重的约 9%和 10%左右。根据报道, 柱状光生物反应器内液体培养的螺旋藻的蛋白含量约占干重的 51%^[19], 因此在该反应器下以半干贴壁培养方式培养出来的螺旋藻的营养成分与液体培养的营养成分是一样的。

3 讨论

随着微藻产业的兴起, 藻类光生物反应器的设计研制已成为藻类生物技术的一个重要研究内容。长期以来, 传统的跑道式开放池和封闭式光生物反应器培养所需的水分是巨大的, 超过所需的过量的水分会增加微藻培养中的能耗, 物耗, 增大投资成

表 1 不同培养时间下螺旋藻的营养成分(%)

Tab.1 Nutrients of *Spirulina* sp. harvested on different days(%)

培养时间(d)	蛋白质	总脂	多糖
1	46.93±0.65	8.13±0.49	10.41±0.18
2	48.12±0.17	8.72±0.24	10.65±0.14
3	49.6±0.32	9.03±0.19	10.47±0.07
4	50.89±0.46	8.79±0.3	11.13±0.26
5	51.65±0.25	8.66±0.18	10.95±0.06
6	53.4±1.41	9.01±0.42	11.62±0.57
7	51.32±0.07	9.37±0.35	10.84±0.11
8	52.14±0.11	9.64±0.27	11.43±0.09

本。近年来, 许多学者转变思路, 将藻细胞进行固定化培养研究。如 Johnson 等^[20]在泡沫塑料上培养小球藻; Bailiez 等^[21]将布朗葡萄藻细胞固定在海藻酸钙凝胶上进行培养; Altan Ozkan 等^[22]将葡萄藻附着在载有生物膜的水泥板上进行培养等。虽然这些研究并没有显著提高微藻的生物产率, 然而却证明微藻在湿润固体介质上培养的可能性。因此本实验室提

出了“贴壁培养法”这一概念。贴壁培养介质是微藻贴壁培养技术的关键。一方面介质影响藻细胞的生长,另一方面介质构成了反应器培养的主要成本。因此选择一种与微藻具有良好的生物相容性^[23]、耐用性、经济性和可循环使用等特征的介质材料尤其重要。Zhang 等^[19]采用单层贴壁培养模式考察微藻在4种工业材料(静电植绒、海绵泡沫、地毯纤维和超细纤维毛巾)上的生长状况。本研究在此基础上,选用其中两种工业材料(植绒和超细纤维毛巾)作为研究对象,进一步考察其中适合螺旋藻生长且经济的支撑材料,为螺旋藻贴壁培养的规模化提供可行性实验依据。需要指出的是,每一种微藻因形态、大小、细胞表面亲疏水性大不相同,因此最适合其生长的介质材料也不尽相同。

微藻的生长依赖于光照,但任何微藻的生长都需要一个合理的介于微藻补偿光强(I_c)和饱和光强(I_s)之间的光强范围^[24]。由于微藻贴壁培养不同于传统的悬浮培养,光照几乎直接照到细胞表面而很少有光的衰减。微藻单层贴壁培养下的饱和光强为 $100\sim 150\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$,但室外太阳光强可达 $400\sim 2000\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$,远高于其饱和光强。结果是一方面微藻生长受到光抑制,一方面,高于微藻饱和光强的光不能为微藻所利用,造成光能利用率低、生物质产率低。为解决强光抑制和光能利用率的问题,本文利用光强稀释的反应器设计原理,即在反应器设计中将高强度太阳光通过一定的工程技术手段稀释到微藻的补偿光强和饱和光强之间,以便让强光尽可能的为微藻所吸收利用。这种光强稀释的直接表现就是将一定入射光面积(占地面积)上的自然太阳光分散到更大的表面上,即微藻培养面积远大于入射光面积(占地面积)^[9]。基于这种原理,本文设置了3个光稀释倍数(2.5×、5×和10×)并根据此光稀释倍数调整贴壁介质之间的间距,在相同的占地面积上形成三种不同规模的微藻培养面积。本研究中可知随着稀释倍数的增加,螺旋藻的占地面积上的总体生物量产率也逐渐增加,10×的光稀释倍数下螺旋藻的生物产率最高,表明:在一定接种密度时,采用较高稀释倍数的反应器即扩大微藻的培养面积可获得较大的生物量。此结论也可用于空间一定的微藻规模化培养,低接种量时,密集放置增大培养面积可利用太阳光进行光合作用并进行生物量积累的藻细胞比例增大,导致细胞群整体对阳光的利用率高,进而表现出整体高产优势。这是微藻贴壁培养能够

实现高产率的重要原因之一。

参考文献:

- [1] Costa B R, Rocha S F, Rodrigues M C K, et al. Physicochemical characteristics of *Spirulina* sp. dried in heat pump and conventional tray dryers [J]. Int J Food Sci Tech, 2015, 50(12): 2614-2620.
- [2] 张文, 吴清平, 吴军林. 螺旋藻营养保健价值及开发应用进展[J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(3): 89-92.
Zhang Wen, Wu Qingping, Wu Junlin. The nutrition health value and research progress of *Spirulina* [J]. Food Sci Biotechnol, 2013, 49(3): 89-92.
- [3] Sarker P K, Gamble M M, Kelson S, et al. Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) show high digestibility of lipid and fatty acids from marine *Schizochytrium* sp. and of protein and essential amino acids from freshwater *Spirulina* sp. feed ingredients [J]. Aquacult Nutr, 2016, 22(1): 109-119.
- [4] 谢少林, 陈平原, 吕子君, 等. 饲料中添加螺旋藻对彭泽鲫生长和肌肉营养品质的影响[J]. 水产养殖, 2015, 36(10): 26-29.
Xie Shaolin, Chen Pingyuan, Lü Zijun, et al. Effects of *Spirulina platensis* on flesh quality and growth of *Carassius auratus* [J]. Aquaculture, 2015, 36(10): 26-29.
- [5] 崔静, 张立涛, 刘建国, 等. 富油金藻与绿藻的耐受适应性比较[J]. 海洋科学, 2014, 38(3): 6-12.
Cui Jing, Zhang Litao, Liu Jianguo, et al. Comparison of the light adaptability among oil enriched chrysophyte and green algae [J]. Marine Science, 2014, 38(3): 6-12.
- [6] Masojidek J, Papacek S, Sergejevova M, et al. A closed solar photobioreactor for cultivation of *Spirulina* under supra high irradiance [J]. J Appl Phycol, 2003, 15: 239-248.
- [7] Su W W, Li J, Xu N S. State and parameter estimation of microalgae photobioreactor cultures based on local irradiance measurement [J]. J Biotechnol, 2003, 105(1-2): 165-178.
- [8] 臧正蓉, 解修俊, 赵佩佩, 等. 温度和光照对三角褐指藻的生长及岩藻黄素含量的影响[J]. 海洋科学, 2015, 39(7): 1-6.
Zeng Zhengrong, Jie Xiujun, Zhao Peipei, et al. Effect of different temperatures and light conditions on the growth and fucoxanthin content of *Phaeodactylum tricoratum* [J]. Marine Science, 2015, 39(7): 1-6.
- [9] Liu T Z, Wang J F, Hu Q, et al. Attached cultivation technology of microalgae for efficient biomass feedstock production [J]. Bioresour Technol, 2013, 127: 216-222.
- [10] 程鹏飞. 布朗葡萄藻(*Botryococcus braunii*)贴壁培养的条件研究[D]. 北京: 中国科学院大学博士学位论文, 2014.
Cheng Pengfei. Study on the attached cultivation of *Botryococcus braunii* [D]. Beijing: Doctor's Thesis of University of Chinese Academy of Sciences, 2014.
- [11] 刘金丽. 栅藻的贴壁培养及其高光效的生理生态基

- 础[D]. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 2013.
Liu Jinli. Attached cultivation of *Scenedesmus* sp. and its physiological and ecological basis for high photosynthetic efficiency study[D]. Qingdao: Master's Thesis of Ocean University of China, 2013.
- [12] Cheng P F, Wang J F, Liu T Z. The growth, lipid and hydrocarbon production of *Botryococcus braunii* with attached cultivation[J]. *Bioresour Technol*, 2013, 138: 95-100.
- [13] 刘金丽, 王俊峰, 刘天中, 等. 缺氮条件对栅藻油脂积累与光合作用的影响[J]. *海洋科学*, 2013, 37(7): 13-19.
Liu Jinli, Wang Junfeng, Liu Tianzhong, et al. The effects of nitrogen starvation on lipid accumulation and photosynthesis of *Scenedesmus dimorphus* [J]. *Marine Science*, 2013, 37(7): 13-19.
- [14] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis*[M], 14th ed. DC, USA, Washington, 1984, 635-678.
- [15] Dubois G, Gilles K A, Hamilton S K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. *Anal Chem*, 1956, 28(3): 350-356.
- [16] Bligh E G, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification [J]. *Can J Biochem Physiol*, 1959, 37: 911-917.
- [17] Brennan L, Owende P. Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing and extractions of biofuels and co-products[J]. *Renew Sust Energy Rev*, 2010, 14(2): 557-577.
- [18] Mata T M, Martins A A, Caetano N S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review [J]. *Renew Sust Energy Rev*, 2010, 14(1): 217-232.
- [19] Zhang L L, Chen L, Wang J F, et al. Attached cultivation for improving the biomass productivity of *Spirulina platensis*[J]. *Bioresour Technol*, 2015, 181: 136-142.
- [20] Johnson M B, Wen Z Y. Development of an attached microalgal growth system for biofuel production [J]. *Appl Microbiol Biot*, 2010, 85(3): 525-534.
- [21] Bailiez C, Largeau C, Casadevall E. Growth and Hydrocarbon Production of *Botryococcus braunii* immobilized in calcium alginate gel[J]. *Appl Microbiol Biot*, 1985, 23(2): 99-105.
- [22] Ozkana A, Kinney K, Katz L, et al. Reduction of water and energy requirement of algae cultivation using an algae biofilm photobioreactor [J]. *Bioresour Technol*, 2012, 114: 542-548.
- [23] Baier R E. Surface behavior of biomaterials: the theta surface for biocompatibility [J]. *J Mater Sci-Mater Med*, 2006, 17(11): 1057-1062.
- [24] Sharma G, Kumar M, Ali M I, et al. Impact of natural light on growth and biopigment profile of cyanobacteria *Spirulina platensis*. *J Environ Biol*, 2015, 36(6): 1389-1392.

Cultivation of *Spirulina* sp. in a photobioreactor attached with thin multilayers

TANG Wei-wei¹, XIAO Yao², WANG Hui³, LIU Tian-zhong³, LUO Guo-qiang², ZENG Juan², WU Xiao-juan², ZHANG Zhao-hui¹

(1. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Tongwei Aquatic Science and Technology Co., Ltd, Chengdu 610081, China; 3. CAS Key Laboratory of Biofuels, Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266101, China)

Received: Jul. 13, 2016

Key words: *Spirulina* sp.; attached cultivation; PBRs; biomass productivity

Abstract: A new cultivation device attached with thin multilayers was designed for the outdoor cultivation of *Spirulina* sp. This study aimed to determine a suitable substratum for attachment and the light dilution rate for *Spirulina* sp. cultivation. The results showed that the biomass productivity of *Spirulina* sp. attached onto a superfine fiber towel (30–60 g/(m²·d)) was higher than that of *Spirulina* sp. attached onto a flocking cloth (10–40 g/m²/day). In addition, the cells of *Spirulina* sp. were cultivated in a device with different light dilution rates (2.5×, 5×, and 10×), and the highest biomass productivity (45–60 g/(m²·d)) after daily harvesting was observed at the dilution rate of 10×. The average biomass productivity of *Spirulina* sp. reached approximately 30.3 g/(m²·d) on the eighth day of cultivation, and the nutrients in the cells of *Spirulina* sp. were similar to those in cells cultivated in the conventional suspended medium. Thus, the results supported the idea of improving the production scale of the reactor.

(本文编辑: 梁德海)