

不同地区螺旋藻室外大规模养殖的研究*

沈银武 朱家明 朱运芝 宋立荣 刘永定

(中国科学院水生生物研究所, 武汉市 430072)

摘要 在武汉、汕头和湛江进行的螺旋藻室外大规模生产过程中, 对藻种的选择, 培养基调控, 单位面积产量和产品质量进行了研究。结果表明极大螺旋藻 FACHB438 表现了较好的适应性和较稳定的生物量生产率; 钝顶螺旋藻 FACHB439 在武汉地区和湛江地区的生物量生产率略低于极大螺旋藻 FACHB438。但是在低温季节钝顶螺旋藻 HB83 在湛江地区仍能表现出一定的适应能力和生物量生产率。分析结果表明三个地区生产的螺旋藻粉产品质量相差不大。在不同地区或季节选用不同的藻种搭配是保持螺旋藻生产的连续性和稳定的生物量生产率的一项重要措施。

关键词 螺旋藻, 室外大规模养殖

螺旋藻生长繁殖速度快, 含有极丰富的营养成分和多种生理活性物质。许多研究表明它可广泛用于食品、医药、养殖动物的饲料等方面^[1]。因此螺旋藻的开发和利用当今已引起了世界许多国家和地区的高度重视^[2,3]。近年来, 我国在螺旋藻的研究和应用方面发展很快, 尤其在“七、五”期间国家立项对螺旋藻的藻种选育、大量培养、工厂化生产、采收干燥设备 and 应用等关键技术进行了攻关研究^{[1], [4,5]}, 对我国螺旋藻的生产和应用起了十分重要的作用, 从而引起了一些投资商的极大兴趣, 建立了一批螺旋藻生产和产品开发的公司和厂家^[1b]。螺旋藻是一种正在研究与开发的新型的蛋白质食物资源, 尽管国内外对它的研究与开发有着广泛的兴趣, 但对其室外大规模生产之中, 不同的螺旋藻藻种或品系对其环境与季节的适应性研究的较少。虽然螺旋藻有 50 余个种或品系, 而被广泛大规模培养应用的只有极大螺旋藻 (*Spirulina maxima* Setch. et Gardn.) 和钝顶螺旋藻 (*S. platensis* Geitl), 但这两个种又有许多品系, 在生产上所被引进或采用的品系又多不一样, 而且不同的品系在不同的地区或环境条件下表现出的适应性不同。作者报道在武汉 (113°E, 31°N, 2000m²)、广东省东部的汕头 (116°E, 24°N, 20,000m²) 和该省西部的湛江 (110.7°E, 21.4°N, 20,000m²) 地区螺旋藻大规模生产中进行的不同品系螺旋藻种养殖试验与生产的结果。

* 湖北省科委重点支持项目

1) 中国科学院水生生物研究所等, 1990年。藻类蛋白饲料工厂化生产中试。国家“七、五”科技攻关项目鉴定报告。

1997-10-09收到; 1998-05-15修回

1 材料和方法

- 1.1 藻种** 螺旋藻种有极大螺旋藻 FACHB438 (*S. maxima*), 钝顶螺旋藻 FACHB439 (*S. platensis*) 此两种本所提供; 钝顶螺旋藻 HB83 (*S. platensis*), 系作者分离保藏。
- 1.2 培养基** 武汉和湛江使用 Zarrouk 培养基^[7], NaHCO_3 减半(武汉)或减五分之三(湛江), 同时其他原料略有减少。汕头由于靠近海边, 地下水为咸水, 所用培养基根据水质分析结果参照 Zarrouk 培养基适当减少或减免部分原料。
- 1.3 水源** 武汉地区采用自来水(水源来自东湖水厂)培养; 汕头采用地下井水(井深 30m, 咸水)培养; 湛江采用地下井水(井深 80m, 淡水)培养。
- 1.4 生产主要管理技术措施** 控制培养密度(接种密度为 $\text{OD}_{660\text{nm}}$ 0.05 以上)和采收密度($\text{OD}_{660\text{nm}}$ 0.8—1.0)。采收后根据清洗时回流液被稀释的倍数或测定回流液中 N.P.K.C 等元素的含量适当补充培养原料。根据培养液养料消耗情况或培养液纯洁度更换培养液, 一般 2—3 月更换一次。控制培养液的深度(夏季 20—25cm, 秋季 15—18cm), 每天测定水位的深度定时补充所蒸发的水分。在养殖过程中, 每天定时取样进行显微镜观察, 发现病虫害和杂藻立即进行处理。在养殖过程中, 如发现鞭毛虫、原生动物、轮虫等虫害以及席藻、小球藻、硅藻等杂藻时, 采取提高 pH 值, 加硫酸铜、漂白粉、强氯精进行防治。
- 1.5 生物量测定** 试验生物量用干重表示(80°C , 2h)。大规模生产的产量按各个工厂每月生产的实际产量计算。
- 1.6 产品质量检测** 产品质量分别由农业部食品质量监督检验测试中心(武汉)和中华人民共和国卫生监督检疫站(湛江)检测。

2 结果

2.1 不同地区藻种的适应性的选择

2.1.1 钝顶螺旋藻与极大螺旋藻的生长比较 在武汉比较了钝顶螺旋藻 FACHB439 与极大螺旋藻 FACHB438 的生长速度, 结果表明在开放的循环式跑道培养池(1000m^2)中连续培养时, 极大螺旋藻的生长速率高于钝顶螺旋藻(图 1)。在覆盖薄膜的循环式跑道培养池

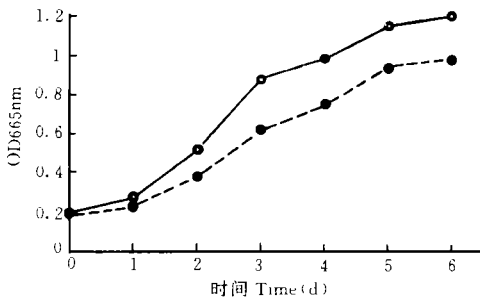


图1 极大螺旋藻与钝顶螺旋藻生长速度的比较
Fig.1 The growth rate of *S. maxima* FACHB438(—○—)
and *S. platensis* FACHB 439(—●—)

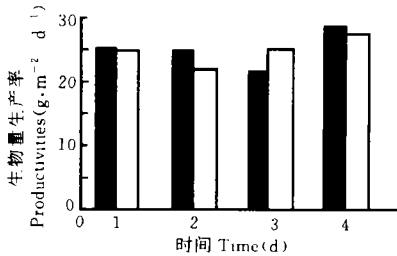


图2 极大螺旋藻与钝顶螺旋藻生物量生产率的比较
Fig.2 productivities of *S. maxima* FACHB438 (■)
and *S. platensis* FACHB 439 (□)

(50m²)中连续培养时,采收浓度控制在 OD660 1.0 以上,采收后浓度控制在 OD660 0.5 左右时,极大螺旋藻和钝顶螺旋藻的生物量生产率相差不大,极大螺旋藻略高于钝顶螺旋藻(图 2)。

2.1.2 三株螺旋藻在湛江地区的比较 在湛江比较了极大螺旋藻 FACHB438、钝顶螺旋藻 FACHB439 和钝顶螺旋藻 HB83 的生长速度,结果表明极大螺旋藻 FACHB438 生长速度最快,其次是钝顶螺旋藻 HB83,钝顶螺旋藻 FACHB439 较慢(图 3)。全年生产观察结果表明在 4—11 月极大螺旋藻 FACHB438、钝顶螺旋藻 FACHB439 和钝顶螺旋藻 HB83 都能生长。其中以极大螺旋藻 FACHB438 生长最快,其次是钝顶螺旋藻 HB83,钝顶螺旋藻 FACHB439 生长较慢。在此季节有效生长日的平均生物量分别为 9.1g · m⁻² d⁻¹, 6.8g · m⁻² d⁻¹ 和 4.9g · m⁻² d⁻¹;采收率分别为 80%, 75% 和 65%。在温度较低的季节(12 月—次年 3 月)钝顶螺旋藻 HB83 仍能生长,生物量为 3—4g · m⁻² d⁻¹,而极大螺旋藻 FACHB438 和钝顶螺旋藻 FACHB439 则生长缓慢或停滞生长。据此,在不同季节采用不同藻种或品系对螺旋藻的大规模生产是很重要的。

2.1.3 极大螺旋藻在汕头地区的适应性 根据在湛江(粤西)地区的研究结果与在汕头(粤东)地区的生产季节(3—12 月)相结合进行培养,选择极大螺旋藻 FACHB438 用于生产,结果表明在此季节极大螺旋藻 FACHB438 都能较好的生长,其中 5—11 月份产量都在 8g · m⁻² d⁻¹,尤以 8 月份产量最高为 11.4g · m⁻² d⁻¹(表 1)。

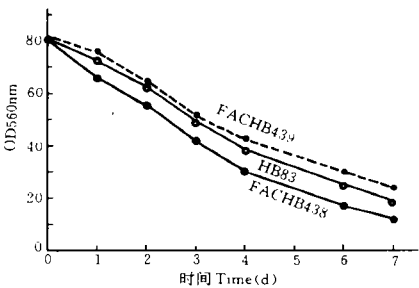


图3 三株螺旋藻在湛江的比较
Fig.3 Comparison of 3 strains of *Spirulina* in Zhanjiang, China.

表1 极大螺旋藻FACHB 438在汕头地区的生长情况				
Tab.1 Productivities of <i>S. maxima</i> FACHB 438 in Shantou, China				
月 份	有效生长日	总产量	日平均产量	生物量生产率
(Months)	Effective growing days	Total yield	Average yield	Productivities
		(kg)	(kg/d)	(g · m ⁻² d ⁻¹)
3	10	680	68	6.8*
4	18	2480	138	6.9
5	21	3330	159	8.0
6	23	4330	188	9.4
7	29	4700	162	8.1
8	23	5250	228	11.4
9	28	4900	175	8.8
10	13	2420	186	9.3
11	26	4350	167	8.4
12	18	2120	118	5.9
合计(Total)	209	43830	167	8.35

* 3月份养殖面积为10 000m²。

2.2 不同地区螺旋藻室外大规模养殖结果

根据武汉地区的试验结果,极大螺旋藻 FACHB 438 和钝顶螺旋藻 FACHB 439 相差不大,在 5—10 月份的大规模养殖中,分别采用这两种藻进行生产,生物量生产率平均

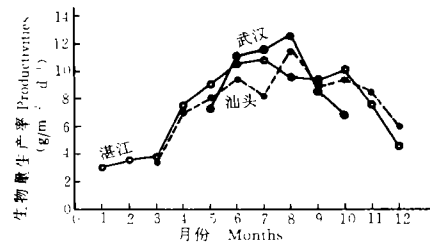


图4 不同地区螺旋藻室外大规模养殖的生物量生产率
Fig.4 Productivities of *Spirulina* in outdoor large-scale production in different areas.

为 $10\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 其中 8 月份最高(图 4)。在湛江地区于 4—11 月采用极大螺旋藻 FACHB438 和 10 月至次年 3 月采用钝顶螺旋藻 HB83 生产,获得了较好的生物量生产率。20,000 m^2 养殖面积的产量 1—3 月为 2t / 月, 4—9 月为 5t / 月, 10—12 月为 3t / 月, 全年总产量为 45t。按 365d 计算, 平均生物量生产率为 $6.16\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。在汕头地区选用极大螺旋藻 FACHB 438 进行生产, 平均生物量生产率为 $8.35\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

2.3 不同地区螺旋藻产品质量的比较

3 个地区大规模生产的螺旋藻粉的蛋白质含量均在 63% 以上,粗脂肪、脂肪酸、矿物质、水分等的含量相差不大。叶绿素 a 和类胡萝卜素的含量武汉地区略高于汕头和湛江地区。重金属及微生物学指标等三个地区基本相近(表 2)。

表2 不同地区螺旋藻粉质量检测结果
Tab.2 The quality results of Spirulina powder in different areas

项 目 Contents	武 汉 Wuhan	汕 头 Shantou	湛 江 Zhanjiang
蛋白质 Protein(%)	63.9	63.2	63.4
水分 Moisture(%)	5.4	7.5	5.7
灰分 Ash(%)	6.0	6.5	5.0
粗脂肪 Total lipids(%)	4.3		5.0
叶绿素 a Chlorophyll.a(mg/ kg)	870	820	760
类胡萝卜素 Carotenoids(mg/ kg)	312	286	268
砷 As(mg/ kg)	0.18	0.13	0.20
铅 Pb(mg/ kg)	1.25	0.19	1.70
汞 Hg(mg/ kg)	0.01	0.01	0.01
镉 Cd(mg/ kg)	0.02	0.02	0.02
铜 Cu(mg/ kg)	5.8	1.2	1.3
细菌总数 Bacteria count (个/ g)	680	400	550
大肠菌群 Coliforms	< 30/ 100g	< 30/ 100g	< 30/ 100g
致病菌 Pathogenic bacteria	未检出	未检出	未检出

3 讨论

螺旋藻是一种营养极其丰富的藻类,它吸引人们最大兴趣的开发利用原因之一是蛋白质含量高。尽管在世界范围内对其大量培养和工厂化生产进行了较深入的研究,但在

室外大规模养殖中,受季节、气候和环境因子的影响,对如何保持稳定的生长,提高生物量生长率仍是值得进一步深入研究的内容之一。目前,国内外工业化生产中广泛采用的藻种是极大螺旋藻和钝顶螺旋藻。由于藻类的特征差异,同一个藻种或品系在不同的地区或在同一地区,因季节和环境条件的不同,也能表现出不同反应。在武汉地区极大螺旋藻 FACHB 438 的生长速度与钝顶螺旋藻 FACHB 439 相差不大;在粤西地区极大螺旋藻 FACHB 438 的生长速度高于钝顶螺旋藻 FACHB 439。同时在该地区钝顶螺旋藻 HB 83 的生长速度也高于钝顶螺旋藻 FACHB 439。这表明钝顶螺旋藻 FACHB 439 在粤西地区的适应性不及极大螺旋藻 FACHB 438 和钝顶螺旋藻 HB 83。此结果则说明在不同的地区或不同的季节选用不同的藻种搭配进行生产是一项保持螺旋藻稳定的生物量生产率和提高产量的重要措施。

在螺旋藻大规模生产中要找到一个适应性强或适宜范围较广的品种或品系是较困难的,极大螺旋藻 FACHB 438 在武汉,粤东、粤西地区都能保持较好的适应性和较高的生物量生产率。不仅如此,利用该品系在其他地区(深圳、海口等)都表现出了较好的适应性和较高的生物量生产率。此外,该品系还具有个体大,便于采收等优点。因此作者认为极大螺旋藻 FACHB 438 在大规模的工业化养殖中是一个十分优良的品系。

钝顶螺旋藻 HB 83 在粤西地区虽然在高温季节的生长速度不及极大螺旋藻 FACHB 438 快,但是,在温度较低的季节仍能保持生长,且具有一定的生物量生产率,尽管产量不如高温或较高温季节的高,但利用该品系在华南地区进行大规模生产,能保持在低温季节不停产,既节省了第二年早春温度略升高需要逐步扩种或扩大面积的时间,又保持了一定的生物量生产率,这种方式应视为螺旋藻大规模生产中的一项重要措施。

参 考 文 献

- [1] 沈银武,刘永定. 螺旋藻的医疗保健作用. 中国保健食品,1997,2: 25—27
- [2] Nakamura, H. The mass production of *Spirulina* a helical Blue-green algae as a new food: A report from the *Spirulina* development committee of Japan. Publish by Microalgae International Union 10 Airlie Gardens, London w. 8. England. 1970.
- [3] Soeder C J. The scope of microalgae for food and feed, in: Algae Biomass, Shelef G & Soeder C J (eds). Amsterdam: Elsier / North-Holland Biomedical Press. 1980, 9—20
- [4] 林惠民. 盐泽螺旋藻与其他螺旋藻的比较研究. 水生生物学报,1991,15(1): 27—34
- [5] 吴伯堂等. 热带地区钝顶螺旋藻的大量培养. 海洋与湖沼,1992,23(6): 663—668
- [6] 李定梅. 螺旋藻——全球人类最理想的食物. 中国农业科技出版社,1995.
- [7] Zarrouk, C. Contribution a l'etude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthese de *Spirulina maxima*. Thesis, University of aris (France) 1966.

OUTDOOR LARGE-SCALE CULTIVATION OF *SPIRULINA* SPP. IN DIFFERENT AREAS

Shen Yinwu, Zhu Jiaming, Zhu Yunzhi, Song Lirong and Liu Yongding

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

Abstract Studies carried out on the selection of species and strains, adjustment of culture medium and productivity and quality control of products in outdoor large-scale cultivation of *Spirulina* spp. in Wuhan (31° N, 113° E; 2000m²), Shantou (Eastern Guangdong, 24° N, 116° E; 20,000m²), and Zhanjiang (Western Guangdong, 21.4° N, 110.7° E; 20,000m²). *Spirulina maxima* FACHB 438 was found with good adaptability with stable biomass. *S. platensis* FACHB 439 had relatively lower yield than that *S. maxima* FACHB 438 in Wuhan and Zhanjiang. In lower temperature season (December–March), *S. platensis* HB 83 still exhibited some adaptability and maintained a certain biomass of yield. There was no obvious difference in the quality of *Spirulina* products from the three areas. It is suggested that it is an efficient procedure to use different *Spirulina* strains in different areas or seasons for continuous culture and stable productivity.

Key words *Spirulina*, Outdoor large-scale cultivation