

热带地区钝顶螺旋藻的大量培养*

吴伯堂 林坚士 向文洲

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

曾呈奎

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 于1989年6月—1990年6月, 运用开放式半连续培养的方法在海南省三亚市鹿回头海滩建113m²养殖池, 进行海水螺旋藻大量培养试验研究。结果表明: ①海水螺旋藻藻种SCS品系(1984年引进非洲乍得湖 *Spirulina platensis* 经分离选育, 驯化为海水螺旋藻藻种SCS品系)适宜在热带地区进行大量培养; ②用海水培养螺旋藻不需调pH值; ③循环使用培养液可以节约肥料和药品, 是降低成本的途径之一; ④海南省海岸线长, 南部气温高, 日照充足, 在那里生产海水螺旋藻产量高[12.01g/(m²·d)], 质量好(粗蛋白含量67.28%)。以上几点说明海南省南部滩涂可以大规模生产海水螺旋藻。

关键词 海水螺旋藻 大量培养

螺旋藻作为食品已有几百年历史, 早在1940年法国藻类学家Dangeard已有过报道^[1]。以后, Climert等(1967年)作了开拓性研究^[2]。由于该藻富有营养, 便于采收, 因而许多国家和地区, 纷纷开展大规模培养试验和商品性生产。但由于成本太高, 不易广泛推广, 国内外的藻类学者都在寻求降低生产螺旋藻成本的新途径。

本文作者试图通过海水螺旋藻大面积培养研究, 探讨大规模培养试验和商品性生产的新途径^[3,4]。以促进螺旋藻事业的发展, 提高产量和质量, 并同时降低生产成本^[11]。

一、材料和方法

1. 试验环境

于1989年6月6日—1990年6月15日, 在海南岛三亚市鹿回头中国科学院南海海洋生物实验站进行室外海水螺旋藻大量培养。该地区年平均气温为25.5℃, 海区年平均水温为26.7℃, 表层海水温度略高于气温; 年降水量为1254.7mm, 蒸发量大于降水量, 且降水量多集中于每年5—10月间的台风季节; 海水盐度在32—34之间; 全年太阳总辐射量为5511.7mJ/m², 全年日照总时数为2514.30h。

2. 材料

试验使用藻种(*Spirulina platensis*)于1984年引进, 来源于非洲乍得湖, 经分离选择单一藻体培育成单一株系, 并与来源于墨西哥索沙·台克斯库湖原种分离的四个株

* 国家“七五”课题, 75-05-03-02号。

接受日期: 1991年11月1日。

系 (SW₁, SW₂, SW₃, SW₄) 进行了生长特别是对海水适应等的研究对比, 确认为优势后而被选为试验藻种的^[9, 11]。

3. 方法

(1) 扩种过程 三角烧瓶 (250ml, 500ml, 1000ml 等) → 糖果缸 (5000ml, 10000ml 等) → 水族箱 (100L) → 9m² 的旧露天单胞藻池 (3.6t) → 18m² 的旧露天单胞藻池 (7.2t) → 113m² 的露天培养池 (34.0t)。

整个培养过程中均用自然光, 温和附近的天然海水。海水须经沙滤, 采用南海 II 号配方配制培养液, 每次收获后的滤液仍送回原培养池中继续使用, 因此全年不必全部更换新鲜培养液。1989 年 6 月 6 日—12 月 31 日, 累计蒸发掉的海水 132.6t, 由各月自然降水补充 64.2t, 不足部分再添加培养液 45.8t, 以节省抽水能源和避免由于排出而浪费掉滤液中的营养物质。

(2) 培养液 包括保种和其他各级培养均采用南海 II 号配方, 均不必调整 pH 值。

(3) 生长速度的测定 用上海产 581G 光电比色计或干重法测定。

(4) 产品采收和分析 使用市售白色棉布或白色的确凉做成一定规格的布袋, 然后用抽水量为 3—5t/h 的潜水泵将待收的藻液喷入袋内, 经过重力作用滤去水液即成浓厚的藻泥。其后将之分别舀入 250 目尼龙筛绢袋内, 先用含有一定量的盐酸水溶液冲洗掉藻泥中的无机盐; 后用清洁淡水冲洗, 挤干, 将藻泥铺平在塑料布或木板上 (约 2—3mm 厚) 并置于阳光下晒 5—6h, 于 70—75℃ 烘箱烘干。用凯氏法测定粗蛋白, 换算因子为 6.25; 用苯酚比色法测定总糖, 仪器为 722 型分光光度计; 用紫外吸收法测定核酸, 仪器为 751 型分光光度计; 用自动氨基酸分析仪测定氨基酸; 用等离子体吸收光谱仪测定微量有毒金属的含量; 用 801 型数字 pH-MV 计测定 pH 值。

二、结果与讨论

1. 生长速度

于 1989 年 6 月 6 日开始开放式培养试验。6 月 6 日—12 月 31 日, 连续生产螺旋藻 208 天, 共收干藻粉 136.30kg, 平均单产只有 6.6g/(m²·d)(表 1)。1990 年 3 月 12 日—6 月 15 日连续培养 96 天, 共收干藻粉 130.25kg, 平均单产 12.01g/(m²·d), 各月份的收藻总量和单产见表 1。由此可见, 1990 年 3 月 12 日—6 月 15 日大量培养藻的生长速度比 1989 年的快, 是何原因造成这种差别, 从 1989 年海南的气候情况看, 温度、辐射强度以及晴雨天数不是造成产量较低的主要因素(表 2), 因为虽然各月间的气温和光照存在着差异, 各月的产量也随之反映出差异, 但各月的产量相差不大。并且每年的 3 月—11 月份的平均气温和总辐射量, 都是在螺旋藻的生长条件最佳范围内^[5]。所不同的是, 1990 年 3 月开始的大量培养改进了培养深度及其他技术环节, 故而各月份干藻粉的产量则有大幅度的提高。由此可见, 水深是影响螺旋藻产量重要原因之一。

2. 干藻粉成份分析

对螺旋藻粗蛋白、总糖、核酸、氨基酸、微量有毒金属含量进行分析, 结果表明(表 3、表 4), 各月的粗蛋白平均含量为 61.15%, 最高达 68.31%; 总糖平均含量为 11.72%; 核酸

含量为 3.79%; 氨基酸总量为 62.86%; 微量有毒金属含量 ($\times 10^{-6}$), 铜为 2.50, 铅为 0.43, 镉为 0.46, 砷为 0.08。从分析结果可以看出, 螺旋藻蛋白含量与总糖含量表现出负相关关系, 这有待于进一步研究。

表 1 海水螺旋藻 SCS 大量培养水深、水温和干粉产量

Tab. 1 Culture depth, temperature and yield on the mass cultivation of *S. platensis* strain SCS in seawater

日期 (年 月)	平均水深 (cm/d)	平均水温 ($^{\circ}\text{C}$)	生产天数	产量 (kg)	平均单产 [g/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$)]
1989					
6	20.90	32.35	25	14.20	5.03
7	17.90	31.86	30	29.10	8.58
8	17.90	31.92	31	22.10	6.55
9	22.00	28.85	30	12.60	3.72
10	21.00	26.56	31	15.19	4.34
11	11.50	24.33	30	22.50	6.64
12	14.50	21.70	31	20.62 ¹	6.65
1990					
3	10.00	27.50	20	26.25	11.62
4	12.00	30.12	30	36.45	10.75
5	14.50	30.57	31	42.30	12.08
6	16.00	31.90	15	25.26	14.90

表 2 海水螺旋藻 SCS 大量培养气象资料

Tab. 2 Weather reports in Luhuitou area of Hainan Island on the mass culture of *S. platensis* strain SCS in seawater

日期(年 月)	平均气温($^{\circ}\text{C}$)	总辐射强度 (mJ)	晴天天数	阴雨天数
1989				
6	28.86	570	18	7
7	28.83	535	21	9
8	28.13	470	21	10
9	27.65	470	21	9
10	26.18	430	21	10
11	24.30	386	19	11
12	21.80	330	23	8
1990				
3	24.5	360	19	1
4	25.8	410	26	4
5	28.20	455	27	4
6	28.83	250 (15 天)	15	0

3. pH 值

在海水培养螺旋藻过程中, pH 值不是一个限制因子。1989 年 6 月 6 日—12 月 30 日, 收获干藻粉 136.30kg, 平均单产只有 6.6g/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$), 平均培养水深 18.0cm; 1990

表 3 海水螺旋藻 SCS 的化学成分^{a)}Tab. 3 The chemical component of dry powder of *S. platensis* strain SCS in seawater

化学成分 (克/100 克干物质)	本项试验样品	本组罗岗 试验样品 ^{b)}	印度中央食品 所产品 ^[10]	江西农业科 学院产品 ^{c)}	福建水产研 究所产品 ^[9]
粗蛋白(%)	67.28—68.31 (1989.7—8)	61.00—63.52 (1986.7—8)	58.50	53.67	58.22
粗脂肪(%)	0.81		6.50	3.83	4.62
粗纤维(%)	3.44	5.12	5.00	4.12	4.07
灰份(%)	6.40		9.00	24.44	
水份(%)	4.50	5.00	6.50	7.20	
总糖(%)	10.19—13.32				0.78
核酸(%)	3.97				
叶绿素 a (%)	0.54	0.64	0.16		
类胡萝卜素(%)	0.17	0.18	0.17		
C-藻蓝蛋白(%)	4.15				
异藻蓝蛋白(%)	1.57				
藻胆蛋白总量(%)	5.72				

a) 空格表示未检或未见报道。b) 缪坚人等,1985,盐藻—螺旋藻开发利用与生物技术资料汇编,1—170。c) 吴伯堂等 1986,螺旋藻养殖技术报告。

表 4 海水螺旋藻 SCS 氨基酸含量(%)

Tab. 4 Amino acid content of dry powder of *S. platensis* strain SCS in seawater

氨基酸	含 量	氨基酸	含 量
门冬氨酸	6.437	甲硫氨酸	1.289
苏氨酸	2.845	异亮氨酸	3.832
丝氨酸	2.188	亮氨酸	5.902
谷氨酸	8.999	酪氨酸	1.974
脯氨酸	2.766	苯丙氨酸	3.031
甘氨酸	3.799	赖氨酸	3.057
丙氨酸	4.918	组氨酸	1.013
胱氨酸	1.317	粗氨酸	4.665
缬氨酸	4.747	色氨酸	未检
氨基酸总量(%)		62.86%	

表 5 海水螺旋藻干粉中有毒重金属元素和细菌数

Tab. 5 Content of poisonous heavy metal and bacteriological examination on the dry powder of *S. platensis*

类 别	测定结果
铜	2.50×10^{-6}
铅	4.30×10^{-7}
镉	4.60×10^{-7}
砷	$< 8.0 \times 10^{-8}$
细菌总数	9.9×10^2 个/g(干粉)
大肠杆菌菌数	< 30 个/100g(干粉)

年3月12日—6月15日收藻粉130.26kg, 平均单产12.01g/(m²·d), 平均培养水深13.2cm, 两次培养都采用半连续培养。根据试验统计, 在1989年6月6日—12月30日整个连续生产过程中, 由于蒸发作用散失了132.6t培养液, 根据蒸发量逐日累计补充了64.3t培养液, 又因收藻不慎等原因漏掉19t藻液, 即损失了19.0t培养液, 若扣除这一部分, 实际上添加了45.3t培养液。然而两次连续培养的pH值却始终保持在10.0左右。最多不会超过10.5。由此看来, 海水自身就是一种良好的缓冲液。而pH值在使用淡水培养螺旋藻过程中却是一个重要的限制因子。在淡水中, 螺旋藻不断生长便不断利用培养液中的CO₂, pH值也随之不断上升, 升到一定程度时, 轻则影响螺旋藻生长或停止生长, 重则使培养液发黄, 丝状体解体, 以致培养完全失败。

4. 产品质量

表3和表4表明, 蛋白质含量、纯度(在95%以上)和品质等符合高档饲料添加剂标准^[7,8]; 灰分和粗脂肪等含量均远远低于后三者报道的结果; 有毒重金属元素和细菌数等(见表5)也远远低于国家规定的直接入口的食品或添加剂中的含量标准^[9]。以上内容说明海水螺旋藻干粉质量是高的。

5. 成本降低情况

用海水生产螺旋藻成本约比淡水的低1/3, 其理由如下:

- (1) 海水约含有84种微量元素, 有的微量元素是螺旋藻生长所需的, 如钙、镁等。使用海水培养螺旋藻大大简化了培养配方。
- (2) 海水螺旋藻所需碳源(NaHCO₃)、氮源比淡水的少。
- (3) 利用沿海滩涂荒地生产, 节约了良田。

参 考 文 献

- [1] 林惠民, 1991, 盐泽螺旋藻与其他螺旋藻的比较研究, 水生生物学报, 15(1): 27—34。
- [2] 文秋娥等, 1985, 食品从业人员卫生手册。福建科学技术出版社, 174—184。
- [3] 吴伯堂等, 1988, 钝顶螺旋藻海水驯化的初步研究, 海洋与湖沼, 19(2): 197—200。
- [4] 吴伯堂, 1988, 热带冬季室外钝顶螺旋藻的生长研究, 热带海洋研究, 2: 124—127。
- [5] 何连金, 1988, 螺旋藻的培养方法和应用效果的初步研究, 福建水产, 2: 16—23。
- [6] Climert, G. and Giddey, C. 1967, Amino acid Composition and nutritive value of the alga *Spirulina maxima*, *J. Sci. Food Agric.*, 18: 497—501.
- [7] Devi, M. A. et al., 1981, Studies on the proteins of mass-cultivated blue-green alga (*Spirulina platensis*), *J. Agric. Food Chem.*, 29: 522—525.
- [8] Devi, M. A. and Venkaraman, L. V., 1984, Functional properties of protein products of mass cultivated blue-green alga *Spirulina platensis*. *J. Food Sci.*, 49(1): 24—27.
- [9] Materassi, et al., 1984, *Spirulina* culture in sea water, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 19(6): 384—386.
- [10] Narasimha, D. L., et al., 1982, Nutritional quality of blue-green alga *Spirulina platensis* Geilert, *J. Sci. Food Agri.*, 33: 456—460.
- [11] Vonshak, A. and Richmond, A., 1988, Mass production of the blue-green alga *Spirulina*: an overview, *Biomass.*, 15: 233—247.

STUDIES ON THE MASS CULTIVATION OF *SPIRULINA PLATENSIS* IN TROPICAL HAINAN ISLAND

Wu Botang, Lin Jianshi, Xiang Wenzhou

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica, Guangzhou 510301)

Zeng Chengkui (C. K. Tseng)

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071)

ABSTRACT

Results of experiments carried out in the Luhuitou beach area in Hainan Province from June 6, 1989 to June 15, 1990 on the use of the semi-continuous method in the mass cultivation of *Spirulina platensis* strain SCS in an open 113 m² cement pond show that: 1) the average monthly temperature and total solar irradiance density conditions from March to November in Sanya, Hainan Province are optimal for the growth of *Spirulina platensis* strain SCS and resulted in an average dry-product yield of 12.01 g/(m²·d) (dw). 2) Buffering of culture medium was not necessary when sea water was used in culturing *Spirulina*. In the entire process of open, continuous culture, the culture medium was recycled and the pH was always maintained around 10.0, at most, not higher than 10.5, so pH was not a controlling factor. 3) Compared with the use of Zarrouk nutrient culture medium prepared from fresh water, the use of sea water, simplified culture medium and the recycling of culture media gave more economical results in terms of reduced cost of *Spirulina* dry powder production because sea water itself contained carbonate and nitrogen nutrients as well as trace elements necessary for the growth of the algae. 4) Seawater-cultured *Spirulina* dry powder has a very high protein content, as high as 68.31% (amino acid content, 62.86%), low fat content, low ash content (6.4%), and very low harmful trace element content and is therefore ideal as health food ingredient, food additives, animal feed, etc. The results of this study provide good scientific basis for the commercial sea water mass culture of *Spirulina*.

Key words Mass cultivation, *Spirulina platensis*.