

# 螺旋藻的研究和开发进展

## THE LATEST TRENDS IN RESEARCH AND PRODUCT DEVELOPMENT OF SPIRULINA

张以芳 杨志雷

(云南农业大学动物科技学院微生物室 昆明 650201)

关键词 螺旋藻, 开发

目前发现的螺旋藻约 35 种, 用于工业化生产的螺旋藻有钝顶螺旋藻(*Spirulina platensis*)和极大螺旋藻(*S. maxima*), 本文重点综述了螺旋藻的形态结构, 生物学特性, 生产开发现状及发展动态。

### 1 螺旋藻的形态学结构及生物学特性

#### 1.1 螺旋藻形态学

螺旋藻是一种多细胞型丝状微生物, 螺旋形是螺旋藻属的特性, 但是螺旋参数(螺距及螺旋直径)随品种不同而异。光学显微镜下, 钝顶螺旋藻蓝绿色、多细胞型, 细胞近方形, 细胞宽 6~8  $\mu\text{m}$ , 长 2~6  $\mu\text{m}$ , 螺旋疏松弯曲, 螺旋藻宽 26~36  $\mu\text{m}$ , 螺间距 43~57  $\mu\text{m}$ , 藻丝长 200~500  $\mu\text{m}$ , 末端不尖细或略尖细, 末端细胞宽圆形, 横壁略收缢, 横壁处无裸粒。极大螺旋藻灰绿色, 细胞宽 7~9  $\mu\text{m}$ , 长小于宽, 螺间距 70~80  $\mu\text{m}$ , 顶端微尖, 横壁不收缢, 横壁两边有裸粒。藻丝螺旋形仅在液体培养基中被保持, 在固体培养基中, 由于肽聚糖层的脱水作用, 导致细胞僵硬变化, 常失去螺旋形, 变为直线形藻丝。

#### 1.2 螺旋藻结构

钝顶螺旋藻超薄切片电镜观察显示, 细胞壁可能有 4 层结构, 最外层是呈平行线状排列的藻丝轴(Trichome axis), 被认为类似于革兰氏阴性细菌细胞壁, 第 2 层是绕藻丝轴的纤维蛋白膜, 第 3 层是肽聚糖层, 运动的藻丝膜能较好地

最内层共同形成细胞分隔膜, 隔膜可呈现部分折叠, 折叠多少似乎与藻丝间螺距成反比, 折叠越多、螺间距越小, 反之亦然。细胞质中最明显的结构就是起源于质膜的类囊体(Thylakoid), 类囊体是由多层膜片相叠而成的片状结构, 细胞分裂时, 类囊体破裂, 分散于两个子细胞中。藻青蛋白的高分子凝集物——藻胆体(Phycobilisome), 吸附于类囊体上, 被看成是采光接受天线。细胞浆中还有液泡、间体、核糖体及作为储备物的藻蓝蛋白裸粒也常被观察到。藻蓝蛋白含量随细胞年龄、培养基含氮量、培养温度、光照条件而有数量变化, 在 15~17  $^{\circ}\text{C}$  时, 藻蓝蛋白最多, 充盈细胞浆, 占据细胞体积 18%, 其他细胞器浓度则不受温度及光照影响。

#### 1.3 螺旋藻生物学特性

钝顶螺旋藻和极大螺旋藻虽在形态方面有差异, 生物学特性及营养成分则完全相同。其适宜的生长条件为: 温度 25~37  $^{\circ}\text{C}$ , 光照强度 30 000~35 000 lx, pH 8.5~10.5; 较好的培养液是 Zarrouk 氏培养基。螺旋藻光能利用率最高可达 24%, 在气温 25~35  $^{\circ}\text{C}$  条件下, 如果阳光充足, 3~5 d 即可增殖一倍。

收稿日期: 1997-11-20

## 2 国内外螺旋藻生产开发现状

1968年墨西哥开发Texcoco湖中的极大螺旋藻,建成700 m<sup>2</sup>的培养池,使其成为世界上第1个螺旋藻生产厂。1980年联合国粮农组织(FAO)正式确认螺旋藻理想的蛋白质标准和各种生理参数,并将螺旋藻誉为“21世纪人类蛋白质的来源”;1982年联合国科教文组织推荐螺旋藻为“人类明天最理想的保健食品”,并向世界各国推荐发展螺旋藻。目前,已有墨西哥、法国、乍得、日本、联邦德国、菲律宾、印度、泰国、丹麦、荷兰、意大利、秘鲁、以色列、美国及我国(包括我国台湾省)等10多个国家地区生产螺旋藻。年产100 t以上的企业有日本螺旋藻公司,泰国的大日本INK公司,我国台湾省蓝宝公司,墨西哥索沙·迪斯科克公司,意大利的乍得公司,美国Earthise公司及以色列的螺旋藻产业等<sup>[1]</sup>。

1985年,中国科学院武汉植物研究所胡鸿钧带领的课题组将钝顶螺旋藻引入云南程海湖进行培养研究;1987年驯化筛选出适于程海地区的螺旋藻新品系——*Spirulina platensis*,并研制了程海水半人工培养基ch-1号和ch-2号;1989年在程海建成国内第1个螺旋藻生产中试基地。目前,云南施普瑞、宏源、蓝宝、云海等公司已在程海湖周围建成500 000 m<sup>2</sup>生产池,年产螺旋藻干粉700~800 t,程海已成为世界最大螺旋藻生产基地<sup>[1]</sup>。

90年代初期,螺旋藻在医药和保健食品上应用发展很快,螺旋藻胶囊、藻片,以及食品、化妆品等都有加入螺旋藻或其深加工的产物,预示着螺旋藻的利用进入了一个新阶段,因而掀起了螺旋藻开发利用的又一个热潮。目前,国内螺旋藻生产企业有近100余家,估计年产螺旋藻干粉近2 000 t。

## 3 螺旋藻生产加工技术发展动态

螺旋藻生物技术自70年代创新以来,各国约95%以上是采用流水池塘式开放体系培养螺旋藻,由于不断应用新的科研成果和生产技术新工艺,生产水平不断提高,现在螺旋藻开放体系生产技术及藻粉干燥技术较为成熟。目前,螺旋藻生产技术主要集中在生物光反应器研究应用方面,加工技术主要在新品系藻种选育和螺旋藻生物活性成分提取等方面,并通过这些技术来降低生产成本和增加产品多样化形式。

### 3.1 螺旋藻光反应器研究应用

螺旋藻属于高光合效应微生物,对太阳能的利用率高达24%,这比大田粮食作物高6~8倍,但由于在开放条件下生产螺旋藻,最适生产条件无法利用计算机自动控制使培养过程最优化,藻细胞对光的利用率不高,生产浓度低,平均产率国外为14 g/m<sup>2</sup>·d,国内7 g/m<sup>2</sup>·d,使得藻体收获费用高。目前,国外螺旋藻光反应器的研究已在进行,1992年Pirt等人建立了细胞反应器(孔径1 cm)和计算机控制装置。1993

年Girseppa Torriolo等设计和建造了双层管道式生物反应器用于螺旋藻室外培养<sup>①</sup>。已设计的光反应器有各种不同的形式和特点,最普遍使用的是管道式光生物反应器,它是在一个密闭的透明管状生物反应器内借助自然光照进行工厂化生产藻类的一种生产方式。由于密封的管道系统可以与其他加工设备配套,因而整个生产过程可基本实现自动化。采用开放式培养池的产量在1.0 g/L左右,采用管道式反应器(直径2~6 cm),在105×10<sup>-3</sup> kJ/cm<sup>2</sup>·h的光照下,最好产率可达到6.3 g/L。可以预料,以高光率为主攻方向的光生物反应器,在螺旋藻大规模培养中具有巨大潜力,而成为当前发展的主要趋势<sup>[3]</sup>。

### 3.2 富集微量元素新品系藻种选育

为了适应人类的各种需要,选育的富集微量元素新品系藻种,能使某种特定的微量元素从无机态转化为有机态,而易被人体吸收利用。微量元素参与人体50%~70%的酶组分,构成机体重要的载体和电子传递系统,参与某些激素和维生素的合成,与某些原因不明的疾病关系密切。因此,提高螺旋藻中某些特定微量元素的含量对于拓宽螺旋藻的应用范围,增强特色、提高产品价值有重要意义<sup>②</sup>。例如,筛选驯化的螺旋藻有较好的富硒能力,富硒藻种生产的螺旋藻干粉有机硒含量达400~1 000 mg/kg以上。目前已有富硒藻粉上市,随着高碘、高钙、高铬、高亚麻酸新品系藻种选育成功,将会有更多产品面市。

### 3.3 螺旋藻生物活性成分(功能性产品)的提取及应用

螺旋藻的生物活性成分较复杂,目前发现较有应用价值的成分有,拟生长因子、内源性酶、藻多糖、藻蓝素、不饱和脂肪酸( $\gamma$ -亚麻酸、亚油酸)等。

3.3.1 生长因子(GFL) 1996年钱凯先等人首次从螺旋藻蛋白质中发现一种能刺激人体细胞(*in vitro*)增长的多肽,称之为拟生长因子,经鉴定,其分子量接近于胰岛素。GFL的发现对于开辟生长因子相关药物具有意义。

3.3.2 内源性酶(SOD) 在体内,氧自由基可导致DNA分子损伤、断裂、突变或癌变,蛋白质分子变性、细胞代谢紊乱、机体衰老。而SOD能碎灭氧自由基,从而保护细胞DNA和蛋白质分子,发挥抗衰老、抗癌变作用。用特殊方法诱变的螺旋藻能大幅度增强SOD合成,并可以从细胞中提取分离纯化,具有优越的产品性状<sup>[17]</sup>。

3.3.3 螺旋藻多糖(PSP) PSP是目前研究较多的热门课题<sup>[1]</sup>。从螺旋藻热水分馏物中获取的PSP为白色粉末,易溶于水,难溶于乙醚、丙酮、氯仿及高浓度乙醇中。1991年刘力生等用凝胶过滤法测得PSP分子量为12 590,用薄层层析法鉴定它由甘露糖、葡萄糖、半乳糖及葡萄糖醛酸等4种

① 螺旋藻产业发展国际研讨会论文集,1996。昆明。  
② 中国藻类学会第四届学会研讨会论文集,1995。成都。

不同单糖构成的多糖,其相对含量分别为 31.2%, 29.7%, 22.6% 和 16.5%。最近日本从螺旋藻热水分馏物中获取的一种硫酸化 PSP, 命名为 Calcium-spirulan, 证明是由鼠李糖、岩藻糖、木糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、葡萄糖醛酸、核糖、果糖、半乳糖醛酸、硫酸酯及钙离子组成的一种多糖。目前的报道均证明 PSP 具有抗病毒、抗癌作用, 可作为一种重要的药源开发。

3.3.4 藻蓝素(FMP) FMP 是存在于螺旋藻中的一种自然界罕有的天然荧光色素蛋白质, 高纯度的 FMP 是一种荧光分子探针, 它与其他配体分子结合后, 可以标记各种生物大分子, 用于生物分子试剂, 为某些疾病提供新的诊断手段。目前, 美国 Sigma 公司和法国 Boehringer Mannheim 公司已有 FMP 探针面市<sup>[2]</sup>。在日本, FMP 也广泛用于食品和化妆品的天然色素。

最近, 日本还研究从螺旋藻中提取茉莉酸(Tasmonic acid)用做植物生长调节剂<sup>[4]</sup>。提取藜型抗氧化剂(Antioxidant chenopodiales)用于皮肤美容剂及食品保存剂等<sup>[5]</sup>, 并已获得专利。

#### 参考文献

- 1 杨志红主编。施普瑞医学论文汇编。北京: 海洋出版社, 1996。1~ 242
- 2 李建宏、郇子原等。南京大学学报, 1996。32(1): 59~ 63
- 3 Giusppe. J. et al. . *Biotechnology and Bioengineering* 1993, 42: 891~ 898
- 4 Yoshihide. M. et al. . *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, 1993. JP03279346
- 5 Michael. A. et al. . *European Patent Application* 1993, EP 271133