

螺旋藻

——养殖原理·技术·应用

胡鸿钧 郑 怡 陈启发 编著

中国农业出版社

内 容 提 要

本书系统论述了螺旋藻的基本特性、营养价值、研究概况及工厂化生产技术。全书共分6章：螺旋藻的生物学和生理学特性、螺旋藻的营养和经济价值、国内外螺旋藻的研究及开发利用、螺旋藻的生产技术、国外螺旋藻的生产概况及市场需求和螺旋藻产业化发展趋势。

本书可供高等院校相关专业的师生和科研人员参考，也可作为螺旋藻生产企业技术管理人员及生产者参考书和进修培训教材。

前 言

我国螺旋藻产业的兴起和发展比国外约晚 20 年，近 10 年来，伴随经济体制转型发展尤速，但也走过了一段曲折的道路。据说最兴旺的时期有大大小小螺旋藻工厂近百家，后由于种种原因，现在坚持下来继续生产的到底有多少，目前还没有正确的统计。螺旋藻粉售价也由最先每吨 15 万~20 万元降到每吨 6 万~8 万元，甚至更低。造成我国螺旋藻产业这种大起大落的状况，原因虽然很多，但其中一个很重要的原因是我国螺旋藻工厂化生产的工艺技术水平参差不齐，造成产品总体质量相对较低，即使有一定生产技术水平的工厂，由于其他原因产品质量也不稳定。螺旋藻无论作为人类的优良保健食品，还是作为生物饵料和饲料添加剂，或者作为精细化工的原料，甚至有朝一日通过遗传工程技术改造获得新的螺旋藻品系，生产某些对人类更有价值的产品，如药物等，都有广泛的应用市场前景。

螺旋藻产业在一些发达国家仍在稳步发展，国外年

产量超过1 000吨。我国“十五”计划将巩固和加强农业基础地位。要通过积极调整农业和农村经济结构，……增加农业的后续效益，努力拓宽农民增收领域。……加快发展畜牧水产业。而且我国加入世贸组织(WTO)后，螺旋藻产业和其他产业一样面临着良好的发展机遇和严峻的挑战。

为了迅速提高我国螺旋藻工厂化生产的工艺水平，我们编写本书的初衷是希望较全面地介绍国外发达国家的先进技术和经验，以及有关螺旋藻研究开发的概况，适当地结合我国的情况，为我国螺旋藻工厂技术人员、管理人员等提供较系统的基本资料。本书共六章，第一、三章由郑怡编写；第二章由陈启发编写；第四、五、六章由胡鸿钧编写。

本书兼顾普及与提高，但由于我们对国内的螺旋藻工厂生产情况了解有限，书中不可能有更多针对性，同时国外螺旋藻研究特别是分子遗传学研究进展很快，本书也没有深入论述，望读者谅解，不当和错误之处亦望不吝指正。

编 者

2002年3月

目 录

前 言

第一章 螺旋藻的生物学和生理学

特性 1

第一节 螺旋藻经济价值的发现及其

开发意义 1

一、螺旋藻经济价值的发现 1

二、开发螺旋藻的意义 3

第二节 螺旋藻的生物学特性 4

一、螺旋藻的分类地位 4

二、螺旋藻的形态结构和繁殖 5

第三节 螺旋藻的生理学特性 9

一、螺旋藻的生长条件 9

二、培养条件对螺旋藻生长及生化组成的
影响 11

三、螺旋藻的室内培养方法 13

四、螺旋藻品质分析及生化成分的提取	19
五、螺旋藻的海水驯化	21
第四节 螺旋藻分子生物学	22
主要参考资料	25
第二章 螺旋藻的营养和经济价值	26
第一节 营养价值	27
一、三大营养素的成分组成	27
二、粗蛋白质含量堪称各种食物之冠	28
三、蛋白质的营养价值高	28
四、必需氨基酸的构成符合人体需要	29
五、脂质组成独特	30
六、碳水化合物富含多糖	31
七、维生素和矿物质组成丰富多样	32
第二节 可持续高产的蛋白质宝库	34
第三节 螺旋藻的营养保健功效	39
一、营养保健的理论信息	40
二、一般营养保健功效	43
三、防治几种常见病的功效	47
四、防护辐射	55
第四节 螺旋藻的饲用价值	56
一、同位素示踪验证，螺旋藻是优质水产 饲料添加剂	56

二、水产育苗优质高效饵料	59
三、安全高效的养鳗饲料添加剂	62
四、观赏鱼和鸡的优质饲料添加剂	66
主要参考资料	68

第三章 国内外螺旋藻的研究及开发

利用	71
第一节 我国螺旋藻的生产开发现状	71
一、我国螺旋藻的早期研究	71
二、我国螺旋藻产业的形成和发展	72
三、螺旋藻不同品系在我国不同地区 生长情况	74
第二节 利用废水、废弃物养殖 螺旋藻	76
一、废水、废弃物养殖螺旋藻的意义	76
二、国内外废水、废弃物培养螺旋藻的 研究现状	77
第三节 螺旋藻的生物活性物质	80
一、藻胆蛋白	81
二、多糖	83
三、不饱和脂肪酸	86
第四节 优良藻种和品系的培育	87
一、螺旋藻养殖新藻种的开发	87

二、螺旋藻优良品系的培育	90
三、富集微量元素新品系藻种选育	94
第五节 海水螺旋藻的研究和开发	97
第六节 螺旋藻的养殖方式	98
一、开放式藻池	98
二、封闭式光生物反应器	101
主要参考资料	112

第四章 螺旋藻的生产技术

115

第一节 螺旋藻养殖场的选址与设计	116
一、选址	116
二、设计	117
第二节 螺旋藻的养殖	122
一、藻种培养室	123
二、培养液的配制	124
三、藻种池	127
四、大池培养	128
五、大池培养管理	128
第三节 螺旋藻的采收和干燥技术	131
一、采收技术	131
二、干燥技术	133
第四节 螺旋藻的保藏	135

主要参考资料	137
第五章 国外螺旋藻生产概况及	
市场需求	138
一、工厂化生产概况	138
二、市场需求前景	141
主要参考资料	143
第六章 螺旋藻产业化发展趋势	144
一、降低成本	144
二、选育优良品系	156
三、新产品的研制与开发	159
四、产品质量标准和企业标准	161
主要参考资料	164

第一章

螺旋藻

的生物学和生理学特性

第一节 螺旋藻经济价值的发现 及其开发意义

一、螺旋藻经济价值的发现

螺旋藻是一种古老的藻类植物，广泛分布于热带、亚热带的湖泊中，特别是盐碱湖中，至今在地球上已经生存了30多亿年。螺旋藻被充作人类食品的经济价值是20世纪40年代才在非洲被发现的。当时法国的一支科学探险队在中非乍得湖考察，惊奇地发现乍得湖沿岸的土著人用简单的方法从湖中捞取蓝绿色漂浮物作为食品，拌以辣椒和香料制成酱或直接晒干后食用。他们向Bordeaux地区的林奈学会报道了这一发现，同时将标本

寄给藻类学家 Dangeard, 经他鉴定这种蓝绿色漂浮物是一种蓝藻, 即钝顶螺旋藻 (*Spirulina platensis*)。当地土著人以它为主食, 个个体格强壮, 极少生病。可惜当时的发现并未引起人们的注意。25年后(1965年), 法国探险队再次来到非洲, 重新发现乍得湖及其他湖泊中大量的螺旋藻。这时正值世界面临人口的急剧增长, 粮食和食品极度短缺。因此, 这次发现一经报道就立即引起藻类学家、营养学家、企业家以及政府官员的高度重视。正当人们探讨这一重要发现的时候, 大洋彼岸的墨西哥也传来振奋人心的消息, 在墨西哥城郊的 Sosa Texcoco 湖也曾盛产螺旋藻, 但不是钝顶螺旋藻而是极大螺旋藻。墨西哥人并未把它作为食品。但据记载, 早在几个世纪前螺旋藻就是乍得湖和 Texcoco 湖沿岸土著人的天然食物。16世纪西班牙的殖民者到达墨西哥时, 就见到印第安人大量食用这种“螺旋藻糊”。

螺旋藻在一些地区长期作为人类食品的发现, 证实了食用它对人体是安全的。同时也引起了科学家对其进行研究的极大兴趣。1952年, 华盛顿的卡内基研究所 (Carnegie Institute of Washington Buriew) 发表了《藻类培养从实验室到中间工厂》一书, 总结了第二次世界大战前后所进行一定规模培养小球藻等微藻的情况。随后在法国展开了对螺旋藻生态分布、生理特性以及营养

成分分析等一系列研究。在较短的时间内藻类学家基本弄清了自然条件下螺旋藻的生长繁殖规律及生态特性，通过研究证实了螺旋藻是一种喜温（30~35℃）、耐碱（pH9~11）的浮游植物。尤其令人兴奋的是，大量营养成分分析结果表明了螺旋藻蛋白质含量高、营养丰富，并具有高消化和高吸收率等独特性质。1966年法国巴斯德研究所的C.Zarrouk完成了他的博士论文《螺旋藻的培养研究》，提出了查氏培养基。这种培养基营养全面，十分适合螺旋藻生长，至今仍然被广泛应用，并为螺旋藻的大规模培养奠定了基础。1967年法国石油研究所发表了《食品藻类新类型》，全面介绍了螺旋藻的营养价值、培养方法、收获和干燥技术。世界著名毒理、病毒学家German Chamorro博士花费两年半时间完成了螺旋藻系统毒理学的研究报告，证明了螺旋藻对实验动物不产生毒性效应。所有上述的这些研究成果都为开发利用螺旋藻提供了可靠的科学依据。

二、开发螺旋藻的意义

自然界的绿色植物宝库里蕴藏着巨大的蛋白质资源。科学实验证明，某些微型藻类蛋白质含量高，超过传统的农作物和牛肉、鸡蛋等动物蛋白。因此，大力开发微型藻类蛋白质，将有助于解决世界粮食不足、改善

人类营养结构的问题。从 20 世纪 50 年代至 60 年代，植物学家首先选中的植物蛋白资源是微型绿藻类——小球藻 (*Chlorella*)。众多的生物学家跻身于小球藻的研究和开发，在世界范围内也曾引发了养殖小球藻的热潮。目前在俄罗斯、美国、日本以及德国等国家仍然有工厂化生产小球藻。但由于小球藻的生物学和生理学一些特性，给小球藻的生产，尤其是采收技术带来困难，生产成本较高，阻碍了小球藻养殖业的进一步发展。60 年代末、70 年代初，随着螺旋藻营养价值的发现以及藻类学家对其生长、生理特性的充分了解，人们开始把开发微型藻类蛋白的目标转向了螺旋藻。由于螺旋藻较小球藻个体大、生长迅速、培养及采收容易，使螺旋藻产业走上了稳步发展的道路。随着植物学家、营养学家对螺旋藻研究的深入，螺旋藻不仅可以作为营养食品，而且由于含有许多重要的生物活性物质如多糖、不饱和脂肪酸、藻蓝素等，使螺旋藻在医药、保健等领域也有广泛的应用价值。

第二节 螺旋藻的生物学特性

一、螺旋藻的分类地位

螺旋藻在分类上属于植物界、蓝藻门 (Cyanophyta)、颤藻目 (Oscillatoriales)、颤藻科 (Oscillatoriaceae)、



螺旋藻属 (*Spirulina*)^{*}。目前全世界已知螺旋藻有 30 余种, 多数为淡水种类, 仅有 4 种分布在海洋或咸水中。在各种不同的生态环境, 如土壤表面、沙漠、沼泽地、盐碱湖、潮间带的水坑、亚北极水体、热带泻湖及温泉等地都可能有螺旋藻生长。在地理位置上, 螺旋藻主要分布在南纬 35° 和北纬 35° 的亚洲、非洲及南北美洲的碱性水体中。尽管螺旋藻有几十种, 但目前国内外人工养殖和工厂化生产的螺旋藻只有极大螺旋藻 (*Spirulina maxima* Setch. et Gardn.) 和钝顶螺旋藻 (*S. platensis* Geitl.) 两种。它们原产于中美洲和非洲的碱性湖泊中。螺旋藻在中国最早的记录是曾呈奎 1935 年在《青岛和烟台的海藻研究》中记载了采自青岛的 *Spirulina subtilissima*。

二、螺旋藻的形态结构和繁殖

螺旋藻是一种多细胞的原核藻类。细胞中没有真正的核和叶绿体。藻丝呈螺旋形 (图 1-1), 但有时也呈直线形。螺旋形的形态在不同的种类及不同环境下有所变化, 主要是螺旋参数 (螺距及螺旋直径) 的改变 (图 1-2)。钝顶螺旋藻蓝绿色, 多细胞型, 细胞近方形, 细

* Komarek 主张螺旋藻分成两个属, 即螺旋藻属和节旋藻属 (*Arthrospira*)。钝顶螺旋藻和极大螺旋藻拉丁文学名分别改为: *Arthrospira platensis* 和 *A. maxima*, 而盐泽螺旋藻属名不变。

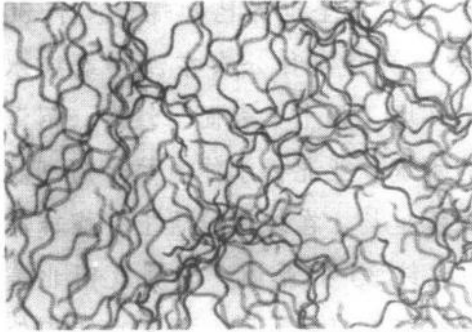


图 1-1 显微镜下的螺旋藻形态

胞宽 6~8 微米，长 2~6 微米，螺旋疏松弯曲，螺旋宽 26~36 微米，螺间距 43~57 微米。藻丝长 200~500 微米，末端不尖细或略尖细，末端细胞宽圆形，横壁略收缢。横壁处无颗粒。极大螺旋藻灰绿色，细胞宽 7~9 微米，长小于宽，螺间距 70~80 微米，顶端微尖，横壁略收缢，横壁两边有颗粒。在固体培养基中，螺旋

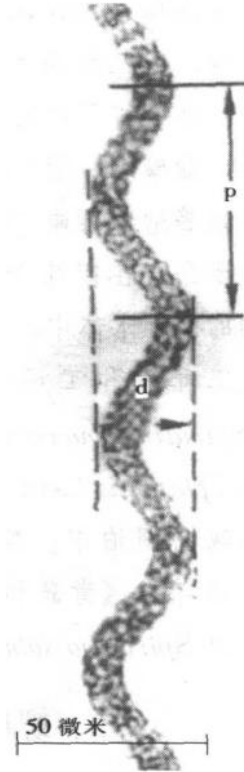


图 1-2 螺旋藻藻丝形态

d. 螺旋宽 p. 螺间距

藻的藻丝由于肽聚糖层的脱水作用，导致细胞僵硬变化，其形态常失去螺旋形，变为直线形藻丝。

通过螺旋的电镜扫描，可以清楚地观察到藻丝细胞之间的横隔壁（图 1-3）。螺旋藻的超微结构显示，细胞壁可能有 4 层结构（图 1-4）：最外层是呈平行线状排

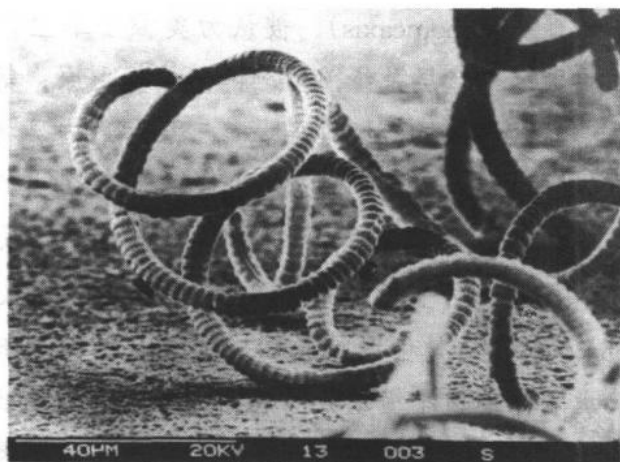


图 1-3 螺旋藻藻丝电镜扫描

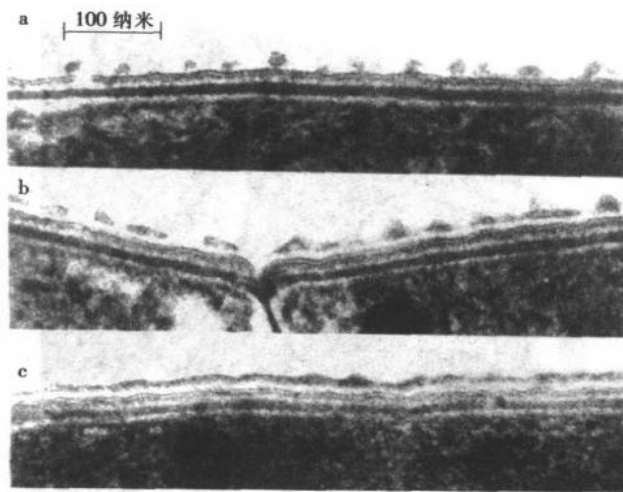


图 1-4 钝顶螺旋藻在不同温度下培养时
细胞壁和鞘的结构

a. 在 16.5°C 时的结构 b. 在 25.0°C 时的结构 c. 在 37.0°C 时的结构

列的藻丝轴 (trichomeaxis), 被认为类似于革兰氏阴性细菌细胞壁; 第二层是绕藻丝轴的纤维蛋白原; 第三层是肽聚糖层; 最内层为纤维层。第三层和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 (图 1-5)。类囊体是由两层膜构成的囊状结构。细胞分裂时, 类囊体被新生横壁分隔成两部分, 分别分配到两个子细胞中。藻蓝蛋白的高分子凝聚物——藻胆体吸附于类囊体上 (图 1-6)。

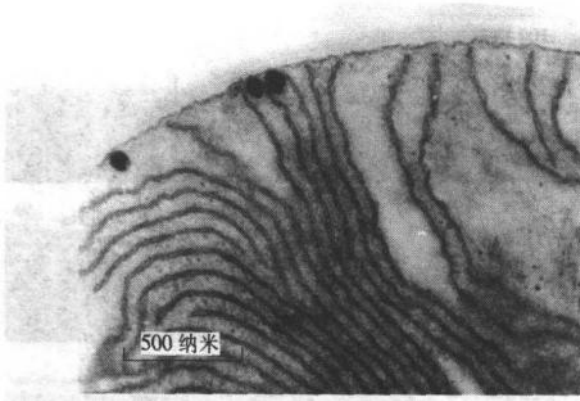


图 1-5 螺旋藻细胞中类囊体片层

螺旋藻的繁殖方式很简单。一条成熟的藻丝, 可以断裂产生一些短的片段。每一小片段从母体 (藻丝) 上分离下来, 形成新的藻丝。