

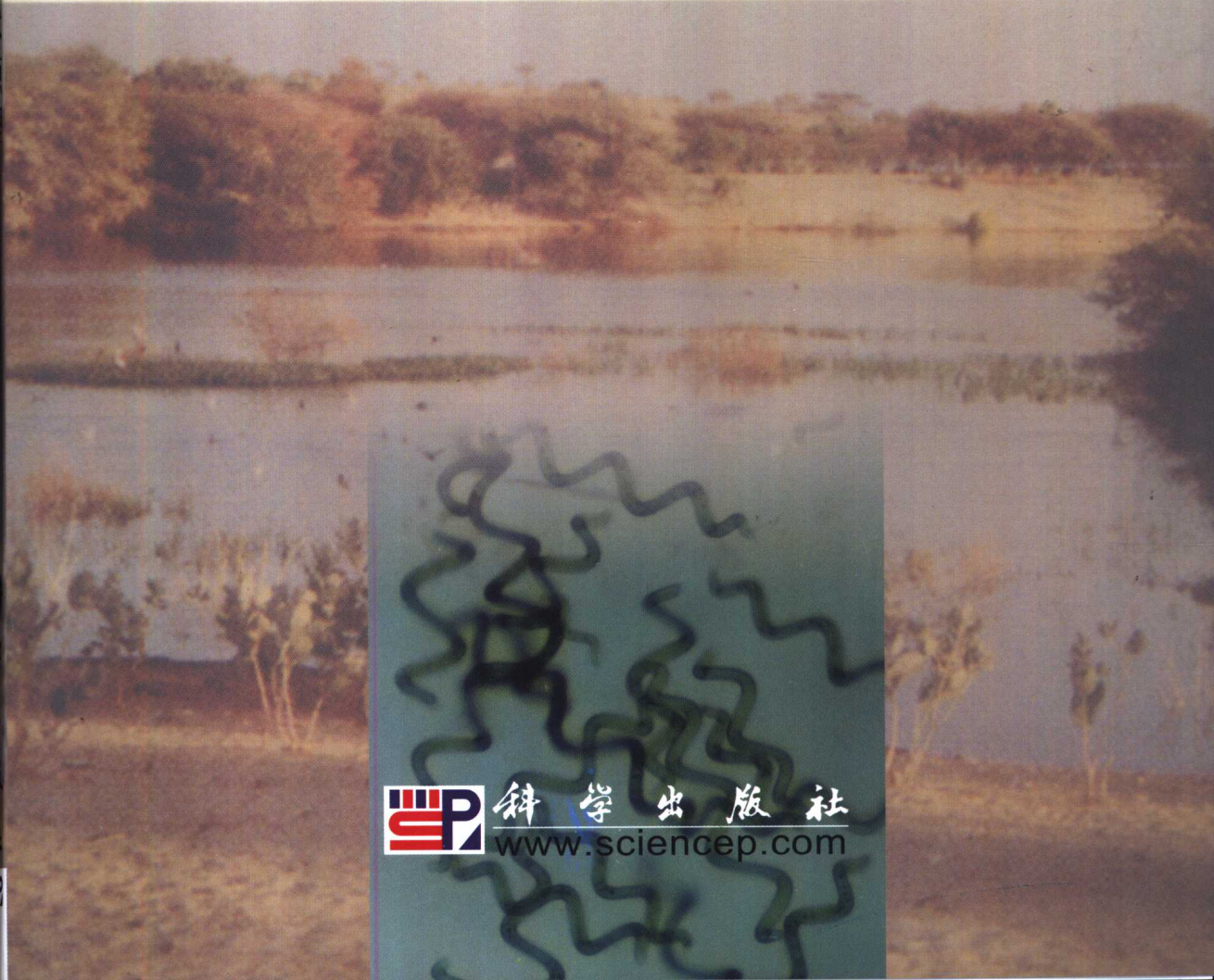


螺旋藻

生物学及生物技术原理

胡鸿钧 编著

生 ■ 命 ■ 科 ■ 学 ■ 专 ■ 论



科学出版社

www.sciencep.com

螺旋藻生物学及生物技术原理

胡鸿钧 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是一部有关螺旋藻的专著。作者根据近 10 多年来国内外的研究成果和实践经验,从理论和应用两方面全面、系统地论述了螺旋藻的生物学、生物技术原理及生产技术。本书分十章:螺旋藻(节旋藻)作为人类食品的发现、科研和产业化概况;形态、生长繁殖、生活史及分类;分布及生态生理学特征;中国螺旋藻(节旋藻)的分布、生态特征及营养成分特点;细胞显微及超微结构;生理学特性;生物化学、营养成分;遗传学;生物技术原理;大规模养殖方法和技术。

本书可作为高等院校和科研院所生物学、藻类学、生物技术、微藻生物技术等专业师生教学及科研的参考书,也可作为螺旋藻相关企业微藻养殖技术人员和技术管理人员的工具书。

图书在版编目(CIP)数据

螺旋藻生物学及生物技术原理/胡鸿钧编著. —北京:科学出版社,2003.10
ISBN 7-03-011378-0

I. 螺… II. 胡… III. 生物技术-应用-螺旋藻属-藻类养殖
IV. Q949.22:S968.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 031864 号

责任编辑:莫结胜 乐俊河/责任校对:宋玲玲

责任印制:刘士平/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 10 月 第 一 版 开本: B5(720×1000)

2003 年 10 月 第一次印刷 印张: 12 1/4 插页:1

印数: 1—3 000

字数: 228 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

鴻鈞先生撰寫《螺旋藻
生物學及生物技術原理》一書，
旨在提高螺旋藻科研水平，發
展螺旋藻新興產業。我希望這
部學術著作的出版發行，能促
進螺旋藻開發研究的普及與深
化，為國家興業，為人民造福。

楊偉

二〇〇二年十一月

序

胡鸿钧研究员长期从事藻类学研究,文革前主要研究淡水藻类的形态分类和演化。1985年胡鸿钧研究员积极响应科技工作面向经济建设主战场的号召,带领他的学生开展他过去并不熟悉的螺旋藻的培养研究,在短短的1~2年内走出实验室到生产第一线进行生产性实验。当时他们选择的实验基地远离武汉数千里,交通不便,从武汉到实验基地需乘火车(那时从武汉到昆明还没有飞机)到达昆明,再乘长途汽车马不停蹄要走四天半。实验基地条件简陋,气候干热,饮的是湖边碱性水,吃的是辣椒和泡菜,就在这种十分艰苦的工作、生活条件下坚持了4年多,在云南省科委的大力支持下,与云南省永胜县科委紧密合作,共同完成了由武汉植物所负责、以上两单位共同承担的国家“七五”攻关项目和原国家科委的重点课题。从优良藻种选育、培养条件的研究,到工厂化中试全套技术都获得较好的结果。

胡鸿钧研究员一贯主张建立和发展我国螺旋藻产业,除了吸收和借鉴国外成功经验和技术外,还根据我国的国情,充分利用丰富的光热等自然资源,研制适合我国国情的生产工艺。10多年来,不论在什么条件下,他始终锲而不舍地艰苦探索,为我国螺旋藻产业的建立和发展做出了开拓性的贡献,取得了一系列重大成果。在他和他的学生们的共同努力下,建立了我国最大的螺旋藻品系库,申请了7项专利,5项已经授权,仅在螺旋藻研究领域就获得国家科技进步奖三等奖一项,中国科学院科技进步奖二等奖一项,还获得云南省科技成果转化特别奖。尤其可喜的是,两年前,他和他的学生及同事李夜光经过广泛调查,成功分离了2株产DHA的螺旋藻新品系,为我国螺旋藻产业提供了新的优质藻种。

国内外大量实验证明,螺旋藻的确是营养丰富的优良保健品。对某些疾病也有很好的辅助治疗的作用。在国外特别是日本、美国、德国等发达国家,已经成为许多人常食的保健品。近年来东南亚、南美等许多国家和地区成为螺旋藻新的生产地和销售市场。我国是最大的发展中国家,随着人民生活水平和自我保健意识的增强,相信对保健品需求将会更多。螺旋藻的保健功能和辅助治疗某些疾病的试验还在不断深入,应用领域将会进一步扩大,在我国一定会有广阔市场。胡鸿钧研究员的这本书比较全面系统地论述了螺旋藻生物学和生物技术原理的许多关键问题,既有理论的阐述,又有生产技术的讨论,对我国工厂化生产中关键问题的解决提出了一些有价值的意见,相信这本书的出版将会推动我国螺旋藻科研工作,在提高工厂化生产水平方面起到积极的作用。

1990年我曾代表中国科学院生物科学与技术局主持了程海螺旋藻中试基地的验收会,参观了中试基地。有报道说,如今的程海螺旋藻生产基地已经成为我国

最大的螺旋藻生产厂。我既为胡鸿钧及其同事的辛勤劳动取得的丰硕成果感到由衷的高兴,更期盼着我国螺旋藻产业健康的发展,是为序。

钱迎倩*

2002年12月3日

* 著名植物细胞学家,教授,中国科学院原生物科学与技术局局长。

前 言

10 多年前,螺旋藻在我国市场上尚未出现,如今在许多城市不少商店有多种螺旋藻产品出售,其作为一种保健品已被不少人接受。我国螺旋藻产业的建立和发展经历了一段曲折的过程;鼎盛时期螺旋藻工厂有几十家之多,培养池面积近 100 万平方米,年生产能力超过千吨。由于种种原因从 1996 年开始走下坡,产量锐减,到现在坚持生产的不过七八家。2002 年全国总产量约为 300 吨。而国外螺旋藻市场却一直在稳步发展,主要是由于大量深入研究证明它确是一种优良的保健品,被世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)推荐为 21 世纪人类优良食品资源。随着研究工作的不断深入和生产技术的逐步提高,螺旋藻作为人类优良保健品被越来越多的人所认识,它含有的许多特殊成分,如藻蓝蛋白具有增强免疫力等多种生理功能,这种成分在地球上千千万物种中只在蓝藻、红藻和隐藻等极少数类群细胞中存在,而现在能大规模生产的只有螺旋藻,而且含量最高;螺旋藻还含有丰富的不饱和脂肪酸,它是维持人体健康所必需的重要营养物质,其中 γ 亚麻酸的含量是已知生物中含量最高的,可以毫不夸张地说,在众多保健品中螺旋藻算得上“全能冠军”。国内外大量试验还证明螺旋藻对一些疾病具有预防和辅助治疗的功效。

我国螺旋藻科研是从国外引进藻种开始的。工厂化生产的藻种虽是从引进的藻种经筛选培育的新品系,而原种仍是从不同国家通过不同渠道引进的。20 世纪 90 年代末期和 21 世纪初,在我国北方发现了钝顶螺旋藻的新品系,这些新品系不仅能在较低温度条件下生长,温度适应的范围也较宽,可以在适宜的温带地区生长,扩大了工厂化的地区。而且我们还发现有的品系,不仅 γ 亚麻酸含量高,还含有丰富的二十二碳六烯酸(22: ω 6)——俗称“脑黄金”,这在国内外还是首次发现。“脑黄金”具有预防和辅助治疗心血管疾病、调节中枢神经系统和视觉系统等功能。在我国北方发现钝顶螺旋藻新品系是近 30 年来螺旋藻研究工作的重大突破,必将对国内外的螺旋藻产业产生积极的影响。

作者自 1985 年始从事螺旋藻研究,迄今已 18 年。五六年前就打算写一本有关螺旋藻生物学及生物技术方面的书,但由于琐务庞杂,时写时辍,加上新文献资料不断发表,终未能完稿。去年 8 月科学出版社约稿,促使我决心在旧稿基础上补充新资料完成撰写本书的夙愿。

本书较全面、系统地归纳、梳理了几十年来国内外螺旋藻的研究成果、生产技术的发展及著名螺旋藻工厂生产实践经验,提出了我国螺旋藻生产中存在的主要技术问题,以期促进生产技术水平的提高。同时,微藻生物技术这一新兴领域蓬勃

发展,亟需较系统的资料。特别是本书第九、十两章,不仅对螺旋藻规模生产有指导意义,也可作为其他微藻工厂化生产的参考。原定于去年 11 月交稿,由于新资料太多,有些章节几乎是重写的,多费了不少时间,更不幸的是,我所实验大楼全面装修,我们被挤在一间办公室工作,正当全稿打印完成准备排版时,3 台计算机的主机被盗,少数打印稿存入软盘算是万幸。手稿虽在,重打费时费力,罗立明、李红丽、苗凤萍、孙晓梅几位学生在繁忙的学习、科研工作之余,加班加点打印,还校正文稿中的遗漏和错误;李修岭同志协助查印部分资料;李夜光研究员完成了本书绝大部分照片的翻拍工作。李小龙同学负责全书的排版工作;远在美国的欧阳叶新博士帮助收集、查找最新文献,为本书增加不少新资料。实际上他们都是本书的助编人员。

原国家科委中国农村技术开发中心李定梅副主任为我国螺旋藻产业的建立和发展倾注了大量的心血,特别是对我国第一个中试基地建设的大力支持和对中国科学院武汉植物研究所螺旋藻的科研工作给予的热情帮助和支持,作者在此深表谢意。

本书有幸请中国科学院原生物科学与技术局局长钱迎倩教授作序,他是我国第一个螺旋藻工厂化中试验收的主持人之一,又是我国螺旋藻工厂化中试建成的见证人。作者至今仍感谢老局长对螺旋藻科研、产业化的关心和大力支持。

本书还有幸请著名文学家杨绛先生题词。杨先生和钱钟书先生一样一生淡泊明志,潜心著述,为本书题词恐怕是例外之举,在此,作者对杨先生深表诚挚谢意。

国内外有关螺旋藻的文献资料浩如烟海,本书取舍未必精当,错讹之处在所难免,希望专家、学者和读者不吝指正。

胡鸿钧

2003 年 2 月 8 日识于武昌磨山

目 录

序

前言

第一章 螺旋藻(节旋藻)作为人类食品的发现、科研和产业化概况·····	1
第一节 发展简史·····	1
第二节 早期研究·····	2
第三节 工厂化生产的兴起与发展·····	3
第四节 目前国外螺旋藻生产和市场概况·····	4
第五节 国内螺旋藻科研生产概况·····	6
第二章 形态、生长繁殖、生活史及分类·····	9
第一节 藻体形态及其变异·····	9
第二节 生长繁殖和生活史·····	12
第三节 分类学问题·····	13
一、钝顶螺旋藻·····	13
二、盖氏螺旋藻·····	13
三、极大螺旋藻·····	15
第三章 分布及生态生理学特征·····	21
第一节 分布·····	21
第二节 湖水的化学性质·····	26
第三节 湖水化学性质与浮游植物组成的相关性·····	26
第四章 中国螺旋藻(节旋藻)的分布、生态特征、分类及营养成分特点·····	34
第一节 钝顶螺旋藻和极大螺旋藻的一般分布情况·····	34
第二节 盐碱湖泊螺旋藻的发现·····	34
第三节 我国盐碱湖螺旋藻的分类及种名·····	36
第四节 武植 SP(NS)2001 品系与钝顶螺旋藻生态生理特征的比较·····	37
第五节 武植 SP(NS)2001 品系营养成分·····	38
第五章 细胞显微及超微结构·····	40
第一节 细胞显微结构·····	40
第二节 细胞的超微结构·····	40
一、鞘和细胞壁·····	41
二、蓝藻素颗粒·····	42
三、多葡聚糖颗粒·····	43
四、柱状体·····	43

五、羧化体	44
六、气囊	44
七、光合作用片层和藻胆体	46
八、间体	47
九、其他内含物	47
第三节 温度、光强及硝酸盐浓度对细胞超微结构的影响	47
一、对蓝藻素颗粒的影响	48
二、对多葡聚糖颗粒的影响	49
三、对柱状体的影响	50
四、对羧化体的影响	51
五、对间体的影响	52
第六章 生理学特性	55
第一节 CO ₂ 的吸收及碳代谢	55
第二节 光合色素组成、能量传递	63
一、光合色素组成	63
二、电子传递和光合磷酸化	67
第三节 对营养液中盐含量的反应	69
一、盐度对生长的影响	69
二、盐度对光合作用和呼吸作用的影响	70
第四节 光照和温度对螺旋藻的影响	72
一、光照对生长的影响	73
二、光照对光合作用的影响	73
三、光质的影响	74
四、关于光暗周期	76
五、温度的影响	77
第七章 生物化学、营养成分	81
第一节 生物化学	81
一、四吡咯家族化合物	81
(一) 叶绿素	81
(二) 藻蓝素	83
二、类胡萝卜素	84
三、延长因子	85
四、几种重要的酶类	85
(一) 亚硝酸还原酶	85
(二) 铁氧还蛋白亚硫酸还原酶	87
(三) 细胞色素	87

(四) ATP 酶	88
(五) D-核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶	89
(六) 氢酶	89
第二节 营养成分	91
一、国外螺旋藻营养成分比较	93
(一) Earthris Farms 公司螺旋藻的化学和物理性质	93
(二) 与墨西哥 Sosa Texcoco 公司 ^[16] 的产品的区别	93
二、营养成分含量的变化	94
三、营养评价	97
第八章 遗传学	109
第一节 诱变、突变体分离及其特性	109
第二节 螺旋藻基因克隆和性状的特征	116
一、谷氨酰胺合成酶	116
二、丝氨酸酯酶	117
三、 β -异丙基苹果酸脱氢酶	117
四、乙酰羟酸合成酶	117
五、32 kDa 类囊体膜蛋白和藻蓝素基因	118
六、核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶	118
七、核糖体蛋白和延长因子的基因	118
八、去饱和基因	121
第九章 生物技术原理	125
第一节 最大限度地提高产量	126
一、光照限制	126
二、温度影响	129
三、光、温相互作用的影响	130
四、高氧浓度的影响	131
五、不同品系的影响	132
六、保持单藻培养	133
七、提高单位面积产量的技术措施	135
第二节 保持和提高产品质量	139
一、建立严格的制度,实行科学管理	139
二、提高干燥技术水平	140
三、合理的包装和储存	140
第三节 降低生产成本	141
第四节 优良藻种选育	142
一、育种的理论基础	143

(一) 遗传变异性的来源	143
(二) 表现型与基因型的关系	144
(三) 品系的定义和稳定性	145
二、品系选育方法和技术	145
三、筛选方法	150
(一) 单丝筛选	150
(二) 单细胞筛选	150
(三) 品系形状测定	153
(四) 筛选标准	153
(五) 藻种保存	154
第十章 大规模养殖方式和技术	157
第一节 开放式大规模养殖	157
一、室外跑道式培养池养殖	157
二、国外利用废水培养实验	160
三、国内利用废水培养实验	162
(一) 沼气池废液培养螺旋藻	162
(二) 利用煮茧废水培养钝顶螺旋藻	163
第二节 封闭式培养	163
一、管道式	163
二、平板式	170
(一) 直立泡柱平板式室外培养钝顶螺旋藻	171
(二) 平板式光生物反应器倾斜的影响	172
(三) 板式光生物反应器的设计	173
第三节 半封闭的温室式	176
索引	178
图版一	
图版二	

第一章 螺旋藻(节旋藻)作为人类食品的发现、 科研和产业化概况

第一节 发展简史

现在作为人类食品的 2 种螺旋藻早在 100 多年前就被藻类学者以当时新的物种在学术刊物上发表了。但螺旋藻食品的发现却有一段不寻常的经历。人类食用螺旋藻始于何时,现在已经难以考证。1940 年法国药物学家 Creach 到非洲探险时,惊奇地发现乍得湖沿岸土著人捞取乍得湖面的蓝绿色漂浮物,在湖岸沙滩上晒干称之为“Dihe”,拌以辣椒和香料制成酱,自己食用或在集市上出售。Creach 向 Boxdeaux 地区的林奈学会报告了这一发现。同时将标本寄给藻类学家 Dangeard。Dangeard 转请 Rich 鉴定。鉴定证明“Dihe”的主要成分是一种螺旋形丝状蓝藻(blue green alga),种名为钝顶螺旋藻(*Spirulina platensis*)^[1]。可惜这次发现时运不济,被淹没在世界大战的隆隆炮声之中。25 年之后,也就是 1964 ~ 1965 年,比利时探险队再次来到非洲,穿过撒哈拉大沙漠在乍得湖及其邻近地区其他盐碱湖泊再次发现螺旋藻水华^[2]。这次发现正值学者们为世界人口的急剧增长、粮食短缺而忧虑。因此一经报道,就立即引起藻类学者、营养学家、企业家、政府官员的高度重视。有趣的是,正当人们议论这一发现的意义时,大洋彼岸的墨西哥也传来振奋人心的消息,原来墨西哥城郊的 Sosa Texcoco 湖也曾盛产过螺旋藻,不过所产的物种不同于乍得湖,这个湖产的是极大螺旋藻(*S. maxima*),尽管这时的墨西哥人已经不把它

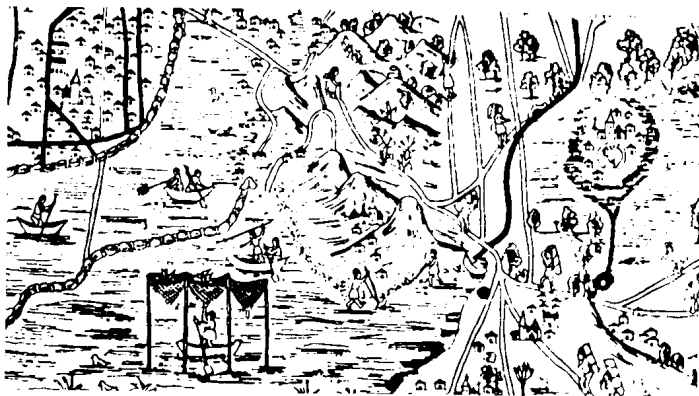


图 1-1 在墨西哥采集极大螺旋藻^[1]

此为一幅 16 世纪未署名的西班牙地图,图中表示 Texcoco 湖螺旋藻和可能还有的其他藻类的收获情况。

作为食品了。据记载早在 16 世纪西班牙人入侵墨西哥时,在市场上就见到一种当地人称之为“Tecuitlat”(意为“石头的排泄物”)的绿色干饼出售,它是阿兹台克人(Aztec)从 Texcoco 湖中采集晒干的制品^[3]。人们还从《墨西哥百科全书》(*Enciclopedia de Mexico*)中发现了一幅 16 世纪反映阿兹台克人在湖中收获螺旋藻工艺的未署名的西班牙地图(图 1-1)。

由此可见,早在 16 世纪 Texcoco 湖沿岸的阿兹台克人就有食用螺旋藻的习惯。但是何时何种原因使他们改变了这种习惯,而任这种宝贵的蛋白质资源在该湖自生自灭,现在已经不得而知了。

第二节 早期研究

螺旋藻食品一经发现,首先在法国引起强烈的反响,展开了螺旋藻生态分布、生态生理特性以及营养成分分析等多方面的研究^[4]。在短短的 1~2 年内,基本弄清了自然条件下螺旋藻生长繁殖规律以及生态特性。首次实验证明,螺旋藻喜温(30~35℃)、耐碱(pH 值 9~11)。大量分析研究证明,螺旋藻有高蛋白、高营养、高消化吸收率等独特性质,不仅大大鼓舞了学者们开发利用的信心,还进一步增强了企业家投资的兴趣。1967 年法国石油研究所(Institut Franoais do Petrole)发表了《食品藻类新类型》(A new type of food algae)^[5]一文,第一次全面介绍了螺旋藻的营养价值、培养方法、收获干燥技术。特别应该指出的是,在这篇文章发表的前一年,即 1966 年,巴斯德研究所的 Zarrouk 完成了他的博士论文“螺旋藻的培养研究”^[6]。螺旋藻首次在实验室培养成功,为工厂化生产奠定了基础。Zarrouk 博士提供的培养基配方至今仍被广泛应用。尔后工厂化生产所使用的各种不同的培养基配方都是在“Z 氏”培养基基础上的改良,大同小异,没有根本上的不同。可以说 Zarrouk 博士的研究是螺旋藻工厂化生产的里程碑。

虽然 20 世纪 70 年代初螺旋藻就开始了大规模的工厂化养殖,但是学者对乍得湖一些盛产天然螺旋藻的湖泊沿岸居民如何采集、怎样食用螺旋藻仍抱有浓厚的兴趣。1997 年,意大利学者^[7]对乍得 Kossorom 湖区 Kanembu 部族妇女采收、食用钝顶螺旋藻(关于这个种名的变更详见第二章)的详细情况再次作了深入调查,并拍摄了许多精美的照片(见图版一 a,b,c,d,e,f 和图版二 a)。Kossorom 湖位于乍得共和国 Lac 县(Prefecture)(图 1-2),是一个苏打湖,据说在公元 9 世纪 Kanem 王朝之前,当地居民就开始以螺旋藻为食品,当地的妇女们从湖水中过滤得到的藻泥,铺在湖边的沙滩上晒干,到半干时划成十字形小块,他们称这种绿色小块为“Dihe”,将它和鱼或肉及蔬菜汁混合成酱食用。部分食品“Dihe”还运到邻近地区,甚至邻国市场上销售。Kossorom 湖年收获的螺旋藻约 40t,地区贸易额超过 10 万美元。

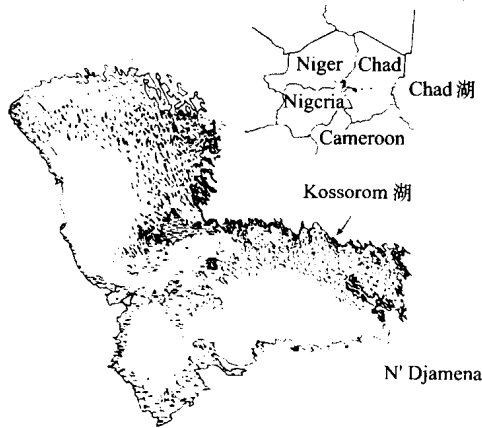


图 1-2 乍得湖北边和东边湖岸分成无数小的湖湾
小沙丘间是入水处。箭头所指为 Kossorom 湖。

第三节 工厂化生产的兴起与发展

1. 墨西哥

世界上第一座螺旋藻工厂由 Sosa Texcoco 公司兴建。Sosa Texcoco 湖是个苏打湖,位于墨西哥城近郊。Sosa Texcoco 公司原是一个生产小苏打的公司,成立于 1936 年,该公司以该湖的沉积物为原料生产小苏打。这个湖无论水质还是当地气候条件都适于螺旋藻生长。1967 年法国石油研究所与 Sosa Texcoco 公司合作,研究利用提取小苏打后的废水生产螺旋藻的可行性。几年的研究证明,这种半天然的螺旋藻工厂化生产方式是可行的。20 世纪 70 年代初开始工厂化设计施工,1973 年建成投产。投产的第一年生产干藻粉 150t,随后的几年间年产量猛增到 500t。为解决增加生产而出现的工程技术问题以及螺旋藻的毒理学实验,该公司投资 500 万美元,到 1985 年该厂的培养面积达到 900 hm²,日产量约 2t,年产值占生产小苏打收入的 1/3。但是到 1989 年产品质量一直提不高(该厂采取日光晒干技术等),出口量大幅度降低,以后该公司的年产量维持在 300t 左右。1994 年由于劳资纠纷,工人罢工停止生产,到 1997 年上半年才开始恢复生产。

2. 日本

大日本墨水化学公司(DIC)后来居上。1977 年该公司在泰国曼谷成立独立的子公司——Siam Algae 有限责任公司(SAC),1978 年投产。当时的年产量不过 40 ~ 50t,以后逐年扩大,1987 年产量达 107t。其中食品级 70t,饲料级 37t,90%的产品出口日本,10%饲料级产品内销,主要做对虾饲料的精料。1983 年大日本墨水化学公司又在美国加利福尼亚州南部的 Calipatria 建立 Earthrise Farms 螺旋藻公司,1988 年

前该公司的年产量保持在 90t 左右,1989 年扩大生产规模,目前的年产量达到 110t。1987 年美国 Cyanotech 公司得到 Cyanamid 公司的资金赞助,在夏威夷一荒岛上兴建了另一个螺旋藻工厂,年产量约 60t。目前这两家公司的生产技术和产品质量都远远超过墨西哥,成为世界上最重要的螺旋藻企业。这两家公司的年产量一直稳定在 250t 左右。

3. 我国台湾

20 世纪 80 年代先后建成 4 家公司,年总产量最高时达 300t。企业家乐于在台湾建厂,一方面由于有适合于螺旋藻生长的优越的自然条件,另一方面也由于在台湾有生产小球藻的传统,积累了工厂化生产微藻的经验。到现在台湾的 Tuny Hai Chlorella Industries 公司在生产螺旋藻的同时还生产小球藻,约 60% 的螺旋藻出口,内销的一部分作为保健食品,还有一部分作为对虾育苗、成虾饵料和其他海珍品、观赏鱼类、鸟类的饲料添加剂。

4. 印度

1980 年在印度发现另一种螺旋藻——纺锤螺旋藻 (*S. fusiformis*) 在自然界也能形成水华。经研究证明,这个种与钝顶螺旋藻一样,蛋白质含量高,营养丰富。这个种与钝顶螺旋藻一起作为印度工厂化生产和农村简易生产的藻种。虽然印度,特别是南部地区适合螺旋藻的大规模养殖,但目前工厂化生产规模不大,只有 5000 ~ 7000m²,年产量约 10t。纺锤螺旋藻后又被定为一新种——印度节旋藻 (*Arthrospira indica* Des. et Jeeji 1992)(详见第二章)。

第四节 目前国外螺旋藻生产和市场概况

如上所述,国外各螺旋藻工厂的生产情况是不同的,有的厂一直迅速稳步发展;有的开始发展很快,不久下滑,经过调整后再度走上发展的轨道。最不幸的是世界上第一座螺旋藻工厂 Sosa Texcocco 公司,由于产品质量低劣,从 1988 年开始走下坡路,后又因劳资纠纷工人罢工而停产,这种纠纷时好时坏,生产一直处于不正常状态,目前该厂年产量情况不详。此外,以色列的两个小厂也因规模小、成本高而停产。但是一些工艺水平高、生产规模大的工厂近年来保持稳步发展的势态,如美国的 Earthrise Farms 公司和 Cyanotech 公司(表 1-1)。

当今国外螺旋藻主要市场是日本、美国、西欧及南美的某些国家。日本人有吃鱼和藻的传统习惯,所以螺旋藻产品一上市就受到广泛欢迎,至今日本仍是螺旋藻销售的主要市场之一。DIC 螺旋藻片剂的商品名为“Lina Green”,藻蓝蛋白的商品名为“Lina Blue A”。据有关资料粗略估计,日本每年需要螺旋藻约 200t,其中大部分作为保健食品,部分作为饵料,还有部分提取天然蓝色素——藻蓝蛋白。

表 1-1 国外螺旋藻工厂生产面积及产量^[9]

公司名称	国家	培养面积/10 ² m ²	年产量(干重)/t	平均产量/[g/(m ² ·d)]
Sosa Texcoco	墨西哥	430 000	330	7.53
Earthris Farms	美国	75 000	143	8~9
Cyanotech	美国	33 600	110	11~12
Siam Algae Co.	泰国	2000	75	10~11
Neotech Food Co.	泰国	14 000	24	6~7
Sun Farms	日本	13 500	30	6~7
Nippon Spirulina	日本	13 500	60	不详
IMADS. L	西班牙	5000	不详	不详
Cyanotech Bio	印度	不详	10~12	不详

美国现在的产量 250t 左右,部分产品销往日本等国,同时还从墨西哥进口部分藻粉。螺旋藻在美国是舶来品,而现在已成为螺旋藻主要生产国之一。它在美国产业化的过程很值得我们重视和思考。螺旋藻第一次投放美国市场是 1979 年,从那时起到 20 世纪 80 年代后期,在美国市场上经历了大起大落的曲折过程。

1. 1979 ~ 1981 年引进时期

20 世纪 70 年代大约 10% 的美国消费者食用某些种类的健康食品,他们并不是简单继承本国的饮食文化传统,而是根据营养需求加以选择。1979 ~ 1981 年短短 3 年间,一些消费者迅速接受了这种新的藻类食品,并且创造了许多新的食用方法,如将螺旋藻与蔬菜、水果、蛋白饮料等拌和,制定新的烹调配方,甚至用来画脸谱和做香波等。

2. 1981 ~ 1983 年奇迹般发展和供应短缺时期

1981 年 6 月美国国家文摘报(*National tabloid*)扉页上一则通栏标题文章《医生们的赞扬:安全的食品丸——您将永远不会饥饿》。文章极力宣称螺旋藻是种安全的、有效的食欲抑制剂。第二天成千上万从未进过健康食品店的人拥到那里,在门外排队抢购这种新的“魔术般”的食品丸。螺旋藻风靡全美,后又通过报纸杂志、广播电视等新闻媒介广泛宣传,螺旋藻在美国作为新食品得到奇迹般的发展。要满足当时的需求浪潮几乎要上千吨的藻粉。1981 年,全世界藻粉的供应来自墨西哥和泰国,当时的年产量约 400t。而且泰国的大部分产品销往日本,墨西哥生产的 300t 中的相当部分已经与日本渔业公司签定了供货合同,实际上只有少量产品进入美国市场,致使螺旋藻在美国供不应求,严重短缺。