

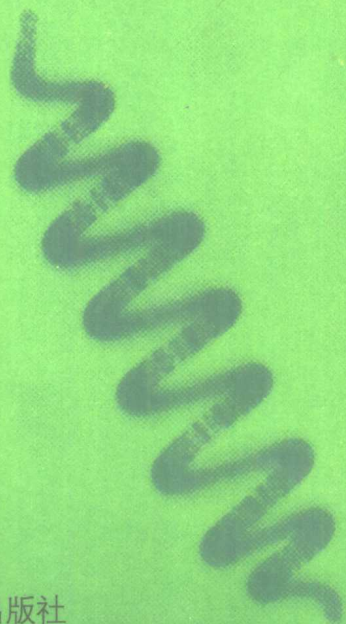
Spirulina

张学成 信式祥 李清华 陈桂新

编著

螺旋藻

最完美的功能食品



青岛海洋大学出版社

螺 旋 藻

——最完美的功能食品

张学成 信式祥
李清华 陈桂新 编著

青島海洋大学出版社
·青島·

图书在版编目(CIP)数据

螺旋藻/张学成等编著. - 青岛:青岛海洋大学出版社,
1999.12

ISBN 7-81067-116-2

I. 螺… II. 张… III. 螺旋藻属-基本知识 IV.
Q949.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 69782 号

青岛海洋大学出版社出版发行
(青岛市鱼山路 5 号 邮政编码:266003)

出版人:刘宗寅
日照市印刷厂印刷
新华书店经销

*

开本:850mm×1168mm 1/32 印张:4.625 字数:93千字

1999年12月第1版 1999年12月第1次印刷

印数:5000 定价:7.50元

◎ 序

螺旋藻(*Spirulina*)起源于三十多亿年前,具有许多古代原始藻类的特点。螺旋藻广泛分布于热带和暖温带的海洋、湖沼,特别是盐湖中,具有几十个物种。螺旋藻在我国最早的记载是1935年,我在“青岛和烟台的海藻研究”中记录了青岛产的一个物种(*S. subtilissima*)。现在进行工业化养殖的是钝顶螺旋藻(*S. platensis*)和极大螺旋藻(*S. maxima*),分别原产于非洲的乍得和北美的墨西哥。

我国的微藻养殖业可以追溯到60年代。那时,为了弥补食物的不足,在沿海各地大搞群众运动养殖小球藻,但是由于养殖分散和技术原因没有成功。70年代的对虾养殖,尤其是80年代的贝类养殖带动了微藻养殖业,因为海洋经济动物在育苗及养成阶段都需要鲜活饵料,而微藻是最好的鲜活饵料源之一。螺旋藻70年代传入我国,“七五”期间我主持了一个攻关项目,对螺旋藻进行了生理生态、品种选育、大规模养殖和应用等一系列研究。90年代以来,我国的螺旋藻养殖业发展很快,西起云南,东至山东,南到海南,北到河北,估计有上百家螺旋藻养殖场,年生产能力过千吨。十几年来,我国人民对于螺旋藻的营养及医疗价值已

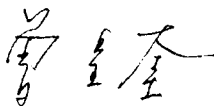
经有了一定的了解,并研制出螺旋藻药品、保健品和食品已投放市场,除了片剂、胶囊外,还生产出螺旋藻点心、螺旋藻面条、螺旋藻糖果、螺旋藻饮料等许多产品。另外,螺旋藻还是海洋经济动物和家禽家畜的良好饲料。螺旋藻养殖业是我国第一个独立的微藻养殖业,有良好的技术依托,较好的生产运行机制,以及多种产品的消费体系。虽然目前还有一些技术及市场上的问题,但我相信,随着人们对螺旋藻的进一步了解,螺旋藻养殖和加工技术的提高、完善和高值化产品的开发,以及螺旋藻市场特别是国内市场的开发,我国的螺旋藻养殖业近几年一定会有一个新的飞跃。

螺旋藻受到青睐的根本原因是它的营养价值以及医疗功能。螺旋藻蛋白质的含量很高,可达到 60% ~ 70%,而且组成合理,富含 8 种人体必需的氨基酸,还富含维生素、不饱和脂肪酸、多糖、微量元素等,一个物种含有如此丰富和全面的营养物质,在整个生物界是非常难得的。而且食用安全,有很高的消化吸收率。螺旋藻还有许多医疗功能,如提高人体免疫力、抵抗辐射损伤、维持放疗化疗过程中白血球水平的稳定、降低血脂、以及提高肠道有益菌群的数量等方面有明显的功能。螺旋藻不仅是良好的单细胞蛋白源,而且是重要的保健品和药品的重要来源。

很高兴看到我的学生、青岛海洋大学张学成教授等写的这本《螺旋藻》小册子。这本书从微藻写起,介绍了螺旋藻的生物学特性、大规模培养、生化组成和营养功能、螺旋藻的医用价值以及螺旋藻在饲料中的应用及效果。从一个藻类学家的角度写螺旋藻,材料新颖而丰富,既有系统的理

论知识,又有丰富的实践内容,是一本值得一读的小册子。希望它有助于人们加深对螺旋藻的了解,有助于螺旋藻这种“人类理想的食品”的养殖、加工以及相关产业得到长足的发展。

中国科学院资深院士

Handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '王震' (Wang Zhen).

1999年12月

3

● 前 言

随着社会的进步,我国人民的健康水平越来越高,寿命越来越长,“人生七十古来稀”的说法有些过时了,应该说“人生百岁并不稀”。人们除了应有良好的生活习惯、积极参加体育锻炼、良好的医疗条件和生活环境之外,从食物中得到全面和平衡的营养是保持健康的重要保障。人体所需最重要的营养要素是蛋白质、碳水化合物、脂质、维生素和微量元素,另外还要考虑水分含量、纤维素的含量以及食物的热量。如果营养不全面或不平衡,就会影响我们的健康,因此我们希望用少量的功能食品或保健食品弥补营养的不足。

螺旋藻是众多营养品中的佼佼者。螺旋藻的蛋白质含量为 60%~70%,氨基酸组成非常合理,富含 8 种人体必需的氨基酸;螺旋藻含有丰富的螺旋藻多糖,它特有的医用功能越来越受到重视;螺旋藻也含有丰富的脂质,而且 γ -亚麻酸的含量特别丰富;螺旋藻的维生素种类全,数量多,如维生素 B₁₂是目前所有生物中含量最高的物种;另外,螺旋藻还含有多种对人体有利的微量元素。螺旋藻的医用功能也越来越得到证实,特别是在提高肌体免疫力、降脂调压

和升高白血球等方面的疗效已经得到普遍的认可。对于老年人、儿童、病后康复者以及工作繁重的管理人员和脑力、体力工作者都是理想的保健品。另外,螺旋藻还是海洋经济动物养殖中不可缺少的饵料或饵料添加剂。

螺旋藻的基础研究和应用研究是目前生物学的热点之一,文献多,进展快。由于我们知识结构的局限性,或文献收集不全面,因此难免有错误或不周之处,恳请读者提出宝贵意见。

张学成

1999年12月于青岛海洋大学

目 录

● 螺旋藻的生物学特性	(1)
◎ 从微藻说起	(2)
◎ 螺旋藻的发现	(9)
◎ 螺旋藻的分类地位	(11)
◎ 螺旋藻的形态结构	(12)
◎ 螺旋藻的实验室培养	(17)
◎ 螺旋藻的营养生理	(27)
● 螺旋藻的大规模养殖	(36)
◎ 螺旋藻大规模养殖概况	(36)
◎ 螺旋藻大规模养殖的支持条件	(39)
◎ 螺旋藻大规模养殖的技术条件	(44)
◎ 螺旋藻大规模养殖展望	(51)
● 螺旋藻的营养价值	(54)
◎ 螺旋藻的蛋白质	(55)
◎ 螺旋藻的维生素	(61)
◎ 螺旋藻的不饱和脂肪酸	(69)
◎ 螺旋藻的多糖	(74)

◎ 螺旋藻的微量元素	(83)
◎ 螺旋藻的医用价值	(90)
◎ 螺旋藻的安全性和高消化吸收率	(91)
◎ 螺旋藻的急性毒性实验	(92)
◎ 螺旋藻的长期毒性实验	(93)
◎ 螺旋藻的药效学实验	(98)
◎ 螺旋藻对肠道益生菌群增殖的促进作用	(102)
◎ 螺旋藻的抗疲劳作用	(106)
◎ 螺旋藻的医用价值	(110)
◎ 螺旋藻护肤化妆品的研制	(121)
◎ 螺旋藻的饲料价值	(122)
◎ 对虾饲料	(123)
◎ 扇贝饲料	(125)
◎ 鲍鱼饲料	(126)
◎ 鱼饲料	(126)
◎ 河蟹饲料	(129)
◎ 鸡饲料	(130)
◎ 附录	(133)
◎ 螺旋藻质量标准	(133)
◎ 参考文献	(135)

● 螺旋藻的生物学特性

得到充足的食物是人类生存的第一需要,即“民以食为天”。随着社会的发展和水平的提高,人们不但要吃饱更要吃好,希望食物起到保健的作用,这就是“药补不如食补”和“药食同源”。一种微型的螺旋状的蓝藻——螺旋藻成为可食性单细胞生物的佼佼者。因为螺旋藻富含蛋白质、维生素、不饱和脂肪酸、多糖和矿物质,具有全面的营养价值和多种医疗功能,越来越受到藻类学界、营养学界和医学界的青睐。螺旋藻在70年代传入我国,80年代进行了系统的研究,90年代开始工业化养殖。现在螺旋藻的养殖和加工已经形成了一个巨大的产业,螺旋藻产品已经进入了我们的生活。但是,与传统的保健品相比,人们对螺旋藻的了解是很肤浅的。本书对螺旋藻的生物学知识、培养、营养价值和医学价值等方面进行全面的介绍,目的是使对螺旋藻有兴趣的朋友们和使用螺旋藻产品的人们对螺旋藻有全面的认识。

○ 螺旋藻的生物学特性

◎ 从微藻说起

21 世纪是海洋的世纪。世界海洋总面积约为 3.6 亿 km^2 , 占地球总面积的 70.8%。在漫长的农业社会里, 人类对海洋的利用只是兴渔盐之利, 行舟楫之便。从 18 世纪中叶进入工业社会以来, 人类对海洋的利用逐渐加强。进入 20 世纪, 除传统产业(渔业、海运和盐业)外, 一批新兴产业(海洋油气业、海水养殖业、滨海旅游业、海水综合利用和海洋化学工业等)也在崛起。世界海洋产业的总产值得一直在迅速增长, 1980 年为 3 400 亿美元, 1990 年为 6 700 亿美元, 2000 年可望超过 15 000 亿美元。海洋经济已成为世界经济不可忽视的重要组成部分。但是与陆地资源相比, 海洋仍是一个未被开发的处女地。例如这庞大的水面为人类提供的食物比陆地要少得多。提到水产品, 意味着鱼虾贝藻, 而这里的“藻”一般指的是大型藻, 对于地球上最重要的光合生物类群——微藻(microalgae)的重要性往往缺乏足够的认识。微藻细胞的大小从几微米到几十微米, 有的微藻是单细胞, 有的微藻是由多细胞构成的群体。从分类地位上讲, 微藻包括蓝绿藻、部分绿藻和红藻、硅藻、金藻、甲藻、裸藻、隐藻等。其中蓝绿藻属于原核生物, 其余是真核生物。藻类中除褐藻门以外, 各门类中都有微藻的存在。据记载, 到目前为止所记载的微藻约为 22 000~26 000 种。微藻可以生活在淡水及海水中, 也可以生活在土壤、岩石及空气中, 甚至于在某些极端环境(如

温泉及高盐水域)中也有微藻的存在,可见微藻具有很丰富的生物多样性。微藻除了作为初级生产力的重要组成部分,以及在生态学中的意义之外,有的可以直接作为人类的保健食品,或用来作为养殖动物的饵料;有的可用来提取特有的生物活性物质、油脂、多糖、精细化工产品或生产氧气;微藻还可以用来改善土壤条件,控制富营养化,处理污水等。当然,微藻也有它们的负面效应,如有些种类大量繁殖会形成赤潮,有些种类产生毒素,造成危害等。我们把微藻的主要门类及其特点列于表 1,以期对微藻的主要特点以及多样性有一个概括的认识,这有助于读者了解螺旋藻的生物学特性。

表 1 藻类的主要门类及其主要特点

藻类门类	大型藻或微藻	色素	细胞储藏物	细胞壁组成
蓝藻门 (Cyanophyta)	微藻	叶绿素 a, 藻胆蛋白, 类胡萝卜素, 叶黄素	蓝藻颗粒, 多聚葡萄糖	二氨基庚二酸, 葡糖胺
绿藻门 (Chlorophyta)	大型藻及微藻	叶绿素 a, b, 类胡萝卜素, 叶黄素	淀粉颗粒, 油滴	纤维素, 羟脯氨酸糖苷, 木糖和甘露聚糖
褐藻门 (Phaeophyta)	大型藻	叶绿素 a, c ₁ , c ₂ , 类胡萝卜素, 褐藻素, 叶黄素	海带多糖, 甘露醇	纤维素, 褐藻酸, 墨角藻素

续表 1 藻类的主要门类及其主要特点

藻类门类	大型藻或微藻	色素	细胞储藏物	细胞壁组成
红藻门 (Rhodophyta)	大型藻及 微藻	叶绿素 a, 藻胆蛋白, 类胡萝卜 素, 叶黄素	红藻淀粉	纤维素, 木糖, 硫 化多糖
硅藻门 (Bacillariophyta)	微藻	叶绿素 a, c ₁ , c ₂ , 类胡 萝卜素, 褐 藻素, 叶黄 素	海带多 糖, 蛋白 核, 油滴	二氧化 硅, 果胶 酸
金藻门 (Chrysophyta)	微藻	叶绿素 a, c ₁ , c ₂ , 类胡 萝卜素, 褐 藻素, 叶黄 素	金藻多 糖, 蛋白 核, 油滴	纤维素, 硅, 碳酸 钙, 甲壳 胺, 粘 性 物质
甲藻门 (Pyrrophyta)	微藻	叶绿素 a, 藻胆蛋白, 类胡萝卜 素	淀粉颗 粒, 油滴	纤维素, 粘性物质
隐藻门 (Cryptophyta)	微藻	叶绿素 a, 叶绿素 c, 类胡萝卜 素	淀粉颗粒	无细胞壁
裸藻门 (Euglenophyta)	微藻	叶绿素 a, 叶绿素 b	裸藻淀 粉, 油滴	无细胞壁

我国从 50 年代末就开始进行大型海藻的工业化养殖, 并陆续在大型海藻(海带、紫菜、裙带菜)的研究、养殖、加工和高值化产品的生产和开发方面取得了举世瞩目的成就。1979 年, 我国著名藻类学家曾呈奎院士提出了“海洋农牧

化”(Farming and Ranching of the Sea)的设想。此后,不但大型海洋藻类的研究和生产持续发展,微藻的发展也令人刮目相看,尤其是从90年代初开始的螺旋藻、小球藻和杜氏藻的工业化养殖及在食品、医药、饲料等方面的应用,已成为现代微藻生物技术的热点。随着海洋微藻研究和开发的不断深化,人们的认识已经开始从对某一种微藻的研究和应用发展到全面的、多层次的、综合性的开发,提出藻类农业(Algoculture)的概念。藻类农业是以藻类资源研究、开发、生产、加工为中心,集种植业、养殖业、食品工业、饲料工业、医药工业、肥料工业、能源工业等产业结构为一体的全生态系统农业。

尽管微藻养殖中还有一些问题有待改进,但是,微藻养殖近20年来已受到广泛的重视,得到了长足的发展,主要有以下几方面的原因:

首先,微藻能为人类高效地提供优质蛋白质。地球生产粮食的能力是有限的,但是人口的增长速度却越来越快。能源的匮乏,环境的污染,向人类提供足够的粮食成为我们这个星球越来越大的负担。“民以食为天”。为人类提供充足的粮食是生物学家、农学家的首要任务,也是保持社会安定和持续发展的首要条件。在人类食物中,最重要的是蛋白质。微藻是高效大规模生产单细胞蛋白(single cell protein, SCP)的理想对象。这是由于微藻生产蛋白质的效率比农作物高(表2)。螺旋藻的光合效率为43%,而一般农作物的光合效率只有30%,说明螺旋藻具有高效利用太阳能的巨大潜力。另外,螺旋藻的年产量,尤其是蛋白质的年

产量远高于其他农作物,比蛋白含量高的大豆高出 6 倍以上。随着人口的增长,陆地上可耕地资源的负增长,给世界农业的发展带来难以克服的困难。实现江河湖海农牧化,利用水面生产高质量的蛋白质,这将是 21 世纪农业的一大特点。

表 2 螺旋藻、小球藻与农作物的年产量及蛋白质年产量

	总产量(吨/公顷)	蛋白质产量(吨/公顷)
螺旋藻	15	9
小球藻	15	7.5
大豆	4.5	1.5
水稻	7.5	0.7
小麦	6	0.6
玉米	7.5	1

6

第二,微藻生产对资源的消耗低。如螺旋藻生产对土地资源和水资源的消耗,分别为大豆的 $1/32 \sim 1/16$ 及 $1/4$,玉米的 $1/44 \sim 1/22$ 及 $1/4$,牛肉的 $1/389 \sim 1/193$ 及 $1/42$; 能量消耗低,生产 1kg 大豆所需的能量能生产 3kg 螺旋藻。

第三,农业生产本身也有可能带来环境问题,如农药和除草剂的使用,特别是不适当的使用可能污染环境。但是,在微藻养殖系统中,农药和除草剂用量极少甚至不用。微藻能大量吸收 CO_2 并放出 O_2 。我们知道,近些年来气候异常,给我们生存的地球带来严重的危害,最主要的原因是大气中 CO_2 含量过高,如果利用水面大规模养殖藻类,不但可以生产高质量单细胞蛋白,而且可以有效地利用水生植物的光合作用降低大气中二氧化碳的浓度。因此是保护

气候正常,保证人类社会持续发展的有效手段。在微藻的光合作用中,除将无机碳转化为有机碳之外,还将水中的氮、磷等同化为自身的生活物质。因此,微藻可能在解决水域的富营养化问题,废水处理,消除水中有害离子等方面起重要的作用。还可以利用畜牧业或某些工业的废水来生产微藻,变废为宝。还有在封闭的生态环境中,如在一个宇宙飞行器中,选择一种生物来吸收飞行员排出的二氧化碳,同时放出飞行员所需要的氧气,微藻,特别是螺旋藻,应当是首选对象。

第四,最重要的是微藻的不可取代性。螺旋藻的蛋白质含量高达60%~70%,富含8种人体必需氨基酸,氨基酸的组成与FAO标准非常接近,富含维生素、微量元素及螺旋藻多糖,易被人体消化吸收,食用安全,无任何毒副作用,它的营养价值和医用价值是令人瞩目的。小球藻的工业化养殖业没有螺旋藻那样普及,但是在我国台湾省发展很快。小球藻也是一种重要的健康食品,含有丰富的蛋白质、叶绿素、维生素及微量元素(表3),还有小球藻特有的小球藻生长因子。进行工业化养殖的还有杜氏藻(*Dunaliella*),杜氏藻主要用来提取胡萝卜素,在适宜的条件下,它的胡萝卜素含量可达藻体干重的4%~6%。微藻给人类提供了全价的营养,这在生物界中是不多见的。

第五,微藻还是海洋经济动物的重要饵料。在海洋经济贝类的养殖中,微藻是幼贝和亲贝不可缺少的饵料;甲壳类及鱼类的工业化养殖中,微藻不但是幼虫阶段的重要饵料,而且也可以用来作为浮游动物(如轮虫、卤虫等)的食