



巨藻

汪哲夫 翁维源 叶冀雄编译

农业出版社

Q949.2

03

2:

07183

巨藻

汪哲夫 翁维源 叶冀雄编译

农业出版社

巨藻

汪哲夫 翁维源 叶冀雄编译

农业出版社出版 (北京朝内大街 130 号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787 × 1092 毫米 32 开本 8.5 印张 177 千字

1983 年 10 月第 1 版 1983 年 10 月北京第 1 次印刷

印数 1—1,700 册

统一书号 16144·2687 定价 1.35 元

前 言

巨藻是世界上个体最大的一种海藻，又是世界上生长速度最快的一种植物。它分布面广，单位产量高，经济价值大。可用于生产多种化工、医药产品，特别是近年来用于制取甲烷获得成功，为解决能源问题开辟了新的途径。此外，由于巨藻藻体在海底形成茂密的水下森林，这为多种鱼、虾类和鲍鱼提供了良好的栖息、繁生场所。因此，巨藻的生产和科研工作受到许多国家越来越大的重视。

我国沿海的一些地区具有繁殖巨藻的优越条件。国家水产总局黄海水产研究所接受国家水产总局的委托，于1978年秋赴墨西哥考察巨藻，把这种海藻第一次引进我国。巨藻引进的成功，将对丰富我国的海洋水产资源，发展我国的海水增、养殖事业起到重要的作用。

为了配合这次引进工作，介绍国外巨藻生产、科研工作的水平、经验和动向，我们编译了本书，所用的材料主要来自于出国考察收集的资料、几届国际海藻会议的报告和国外书刊上发表的专题论文。内容大致可分为巨藻的生物学、生长发育和环境条件的关系和增、养殖技术等三部分。涉及到巨藻的生物学、生态学、遗传学、生理学、生物化学等多种学科。本书可供海洋、水产、生物等部门的科研、生产和教学人员参考。

本书编成后，承负责巨藻引进工作的黄海水产研究所所长、研究员刘恬敬同志作了全面、仔细的审查和修改，提出了许多宝贵的意见。黄海水产研究所养殖研究室主任、副研究员索如瑛同志和其他有关同志认真校阅了许多稿件，还有的同志热情提供一些原始材料，在此一并表示感谢。

因编者水平所限，文中错误、不妥之处难免，望读者给予批评指正。

目 录

第一章 概论	1
第二章 巨藻的生物学	11
一、孢子体的生长和死亡	11
二、孢子发生的研究	30
三、孢子生产速率	38
四、幼孢子体的附着过程和早期发育	47
五、配子体在培养中的营养需要和性成熟	60
六、游孢子、配子体和早期孢子体的研究	64
七、巨藻在天然基质和人工基质上的附着	75
八、生长和繁殖	91
第三章 生长发育与环境条件的关系	102
一、美国南加利福尼亚巨藻藻场的生态学	102
二、沉积物对配子体发育的影响	109
三、水的透明度对藻体生长的影响	120
四、幼孢子体阶段和配子体阶段对光照的要求	129
五、光的测定值	142
六、水温和其他因子对藻体生长的影响	143
七、巨藻与鱼类的关系	157
八、巨藻在水面形成冠盖的机制	160
第四章 增、养殖技术	162
一、美国自墨西哥湾引进巨藻	162
二、将耐高温巨藻自墨西哥引至美国圣奥勒弗雷附近	165
三、幼孢子体的培养和分苗技术的研究	171

四、培养幼苗所需的痕量物质及其分散下海技术	182
五、巨藻分布数量的测定	194
六、大规模培养巨藻幼苗, 增殖自然资源	197
七、大规模增殖巨藻	204
八、巨藻藻场的恢复和发展	221
第五章 其他	232
一、巨藻类的属间杂交	232
二、巨藻体内碳 ¹⁴ 的转移	250
三、巨藻的生理学和生物化学	260
主要参考文献	263
地名索引	266

第一章 概 论

一般所称“巨藻”多指 *Macrocystis pyrifera*。在自然分类系统上，系属于褐藻门 (Phaeophyta)、昆布目 (Laminariales)、巨藻科 (Lessoniaceae) 的巨藻属 (*Macrocystis*)。目前的生物学研究主要集中于 *Macrocystis pyrifera*，其次是 *M. angustifolia* 和 *M. integrifolia*。

巨藻是世界上个体最大的一种海藻，又是世界上生长速度最快的一种植物。成藻体长可达 70—80 米，最长达 100 多米，重量可达 180 公斤。幼藻日生长速度可达 60 厘米，一年可长 50 米。这种海藻可全年生长，每隔 3—4 个月收割一次，勿需再行种植，生活期长达 12 年之久。

巨藻是冷水性种类，主要分布于美洲太平洋沿岸，自阿拉斯加开始，经加拿大、美国而至墨西哥。据报道，澳大利亚、新西兰、秘鲁、智利、南非等地也有分布。在南加利福尼亚，大陆架坡度和缓，周围有掩护性岛屿，可防止巨大风暴潮的侵袭，特别是海区内存在着上升冷水流，把海洋深处为巨藻生长发育所需之营养盐源源不断地带至表层水中，为形成目前存在的大面积巨藻藻场提供了优越条件。

巨藻个体大、生长快、产量也高。以每公顷种 1,000 株为例，年产量鲜重可达 750—1,200 吨 (折合每亩产量为 50—80 吨)。相当于每年每公顷将 400 兆焦耳的太阳能转变成化学能，太阳能的转换效率达 2%。有的资料介绍，巨藻的收获

量随季节而异。以每平方米计算，冬季为5—8公斤，春、夏季为34—35公斤。一株占水面100平方米的巨藻，夏季一次即可收割3吨多。

巨藻是一种具有明显世代交替（无性世代和有性世代）的多年生海藻。通常在藻场上见到的大型成藻属于无性的孢子体世代。孢子体成熟时，在藻体基部的孢子叶上产生孢子囊群，放散游孢子。游孢子附着后，萌发成雌、雄配子体，它们成熟后分别排放卵和精子。卵和精子结合产生合子，再分裂形成幼孢子体（图1）。放散孢子后，整个叶柄衰亡，最后从藻体上脱落。从游孢子的形成到卵和精子的排放，是有性的配子体世代。在巨藻的生活史中，配子体阶段不到一个月时间即告结束，而长成庞大的成熟孢子体，则需要相当长的时间（它们在海洋中的生活周期约为12—14个月）。

成藻藻体主要由固着器、主柄、分枝和叶片四大部分组成。固着器直径可达100厘米，固着于20—45米水深的海底。主柄上有多达100个左右的细长分枝，直径约0.6—1.9厘米，长度15—60米，有韧性，可弯曲。分枝上有侧生的叶片，长度为34—102厘米，宽6.5—17厘米。每个叶片有一叶柄，其中央为一个直径2—3厘米，长5—7厘米的气囊。叶间距离0.7—50厘米，愈接近水面距离愈小。分枝伸展至海面后，由于具有气囊而漂浮水上（图2）。在巨藻生长繁茂的藻场，大片水面被其叶片覆盖，有的竟达几百平方公里以上。

巨藻由于生活的海区条件不同，在外部形态上也有所差异。美国南加利福尼亚巨藻和墨西哥龟湾巨藻的主柄在早期阶段就有显著差别，前者的长度不超过2英寸，后者则有几英寸长。墨西哥艾伦地那和圣托马斯两地的巨藻可能也属于

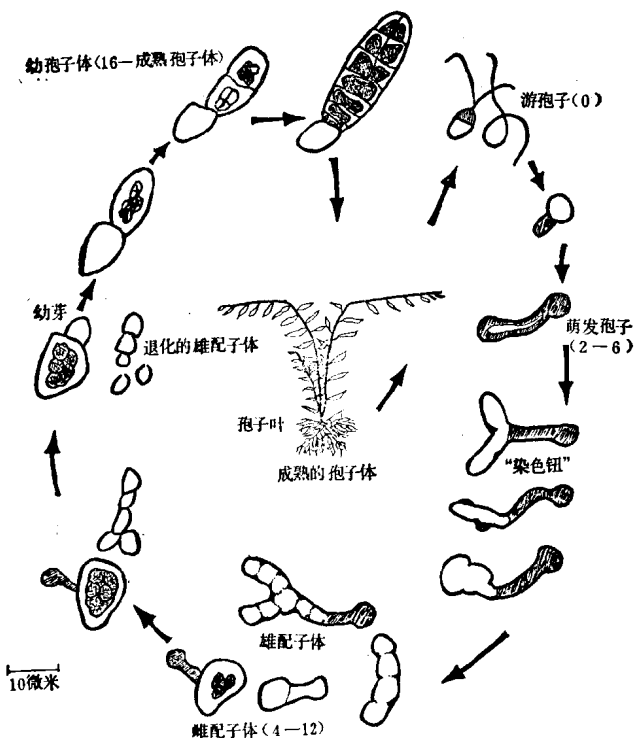


图1 1963年夏季在流动海水中观察巨藻生活史中的微观阶段
注：圆括号中的数字为各发育期所需天数。

两个生态型，一个的主柄较长，圆柱形，深褐色；另一个的主柄较短，扁圆形，紫茄色。两者叶间的距离也有差别。在巨藻引进我国后，随着环境条件的变化，在个体大小和形态特征上也将有所不同。

巨藻生长的适宜水温在 23°C 以下，但有的生态型可耐较

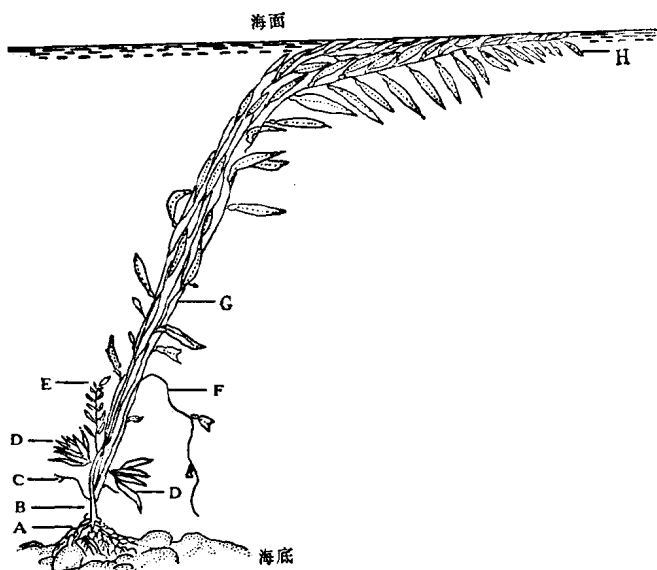


图 2 成熟巨藻

A. 固着器 B. 主柄 C. 老叶片残茬 D. 孢子叶 (生殖叶片)
E. 幼叶片 F. 衰老叶片 G. 叶柄束 H. 成熟叶片的顶片,
可产生新叶片

高温度。Clendenning 发现墨西哥龟湾附近巨藻在 $25-30^{\circ}\text{C}$ 时光合作用最强，而美国南加利福尼亚巨藻的最高适温范围则为 $20-25^{\circ}\text{C}$ ，温度过高就会出现病害。North 发现，凡在黑烂病发病的藻场内，都存在着高温的危害。为了解决这方面的问题，美国于 1972 年开始进行引进工作，经过多次反复，最后将耐高温的墨西哥龟湾巨藻引进到圣奥勒弗雷附近，并用引进的品种培育幼苗进行分散养殖。

美国太平洋岸是巨藻的大面积分布区之一，藻场面积甚

为辽阔。在整个加利福尼亚沿岸都有分布，一直延伸到墨西哥的下加利福尼亚。后因海况变化和敌害生物的危害等原因，藻场面积缩小，产量剧减（有的藻场面积最大时约有 260 平方公里，后来只剩下 $1/2-3/4$ 大小）。美国在五十年代末期，开始制订了庞大的“巨藻藻场改进计划”（Kelp Habitat Improvement Project），开展了大规模的调查研究工作，以期恢复原有藻场，发展巨藻的增、养殖事业。目前已在藻场上建立起监测制度，通过空中侦察和潜水调查及时掌握可能出现的任何衰亡迹象，如果发现藻场内的幼藻补充量不足，就采取人工措施加以补充。

美国曾多次进行过移植巨藻的试验，认为在移植整株大型巨藻时，可采用拖曳方法，拖速为 3 节。需要将移植的巨藻放在船甲板上或容器中，长途运输时，应使藻体充分展开，以免被本身重量压坏。藻体上应加盖遮蔽物，防止日晒，途中还应不时喷洒冷却海水。

为了避免海胆掠食移植的巨藻，可将固着器安放在离海底约 1 英尺距离的浮子上暂养，等消除敌害底栖生物后，再移植于海底岩礁或其他基质上。移植单株巨藻会吸引鱼类前来掠食，可用网片或稀布做成保护套罩在周围。一般来说，移植单株巨藻不易大量繁殖，最好在几英亩的区域内移植大群幼体。

准备用于移植的巨藻应在与计划移植区水深相同的藻场采集，否则在移植后如果安放过深，气囊会有爆破的危险；如果安放过浅，又会影响生长。如果藻体上的柄原来未受损伤，则在移植时将固着器切断或将其从海底撬起，都不影响移植。但在移植时所用绳索不能触碰主柄或基部的叉状分枝。

美国曾于 1971—1972 年报道过，在塑料环上培育巨藻幼体并将塑料环移植海底的技术。这一技术尽管取得成功，在比较费时费事。后来试验在岩礁海底“种植”巨藻孢子叶、孢子和配子体，效果不佳。但使用培育出的幼孢子体进行下海分散试验，却取得良好效果。因此，后来多采用幼孢子体作为增殖巨藻的苗种。

North 及其同事在实验室内大规模地以巨藻游孢子培育出幼孢子体。使游孢子附着于固体基质（载玻片、有机玻璃条、玻璃纤维布或尼龙绳）上，置于流动海水中给予连续光照。配子体在 10—20 天内性成熟，再经过 5—20 天即发育成幼孢子体。这时即可从基质上仔细地刮下，下海分散。但据 North 估计，幼孢子体下海分散后，成活率极低，一般需要 10 万个幼孢子体才能长成 1 株成藻。因此必须通过人工育苗大量培育出幼孢子体来，才能解决巨藻的人工增殖问题。美国在进行大规模高密度育苗方面已获成功，在每平方厘米基质上可育出 10^5 — 10^6 个幼孢子体。因此，下海分苗后成活率低的问题并不成为在海洋中增殖巨藻的严重障碍。

为了保护水下的巨藻苗场，除采用以旧渔网网片覆盖的方法以防草食性鱼类的掠食外，还可用石灰清场，或由潜水员在水下敲碎海胆的胆壳等方法以清除敌害生物。海獭可大量捕食海胆，已观察到在有大量海獭栖息的海区，巨藻的生长极为繁茂。国外为此进行了海獭摄食习性的研究，还进行了海胆生态学、生理学、海胆幼虫和海胆补充量等方面的调查研究。

巨藻多分布在有上升冷水流的富营养海区，为了创造这种环境，美国在巨藻养殖试验场配备了以波浪为动力的水泵，将底层丰富的营养盐输送至表层，以促进巨藻的生长发育，

这一措施称为“人造上升流系统”。

巨藻虽固着于较深水层，但其叶片则漂浮于水面，因此易于在船上采用机械化方式收割。美国实行机械化收割巨藻已有几十年历史。一般是在海洋机动驳船上安装大型刀片，在水下约1米处割断藻体，由于割下部分具有气囊而仍然继续漂浮海面，随着收割船向前推进，即通过传送带输入船舱。墨西哥、智利、澳大利亚塔斯马尼亚和加拿大不列颠哥伦比亚等地区，也使用这种新型机动收割船。按时收割巨藻，可以调节和控制群体的叶片分布，有利于阳光透射到水下的藻体上，从而促进光合作用而刺激幼枝的生长。新的叶片很快就长至表层，于是又可进行另一次以3—4个月为一周期的收割。实践证明，合理地及时收割巨藻，有助于获得较高的持续产量。

巨藻具有重要的经济价值。它含有蛋白质9.2%和多种维生素、矿物质，每百克干重含热量14.9大卡，可作食品添加剂，家禽、家畜饲料，养鱼饵料等。国外用作生产褐藻胶的主要原料。还可用于提取甘露醇、碘、钾和生产塑料、纤维板、肥料等。在巨藻繁生的海区形成大片海底“森林”，这是鲚鱼、鲱鱼、鳕鱼、沙丁鱼、金枪鱼等多种经济鱼类和鲍鱼的良好繁生、栖息场所，对渔业的发展有重要意义。近年来，国外在巨藻的综合利用上又有了新的进展，即把巨藻磨碎，经细菌分解后产生天然煤气的主要成分——甲烷，作为一种代替石油或煤炭的新能源（图3）。

巨藻含有谷氨酸等18种氨基酸，还含有一些食物营养中的微量元素，国外曾用以治疗贫血产妇，疗效甚佳（表1）。

巨藻在工业、食品、医药方面的经济价值引起了许多国

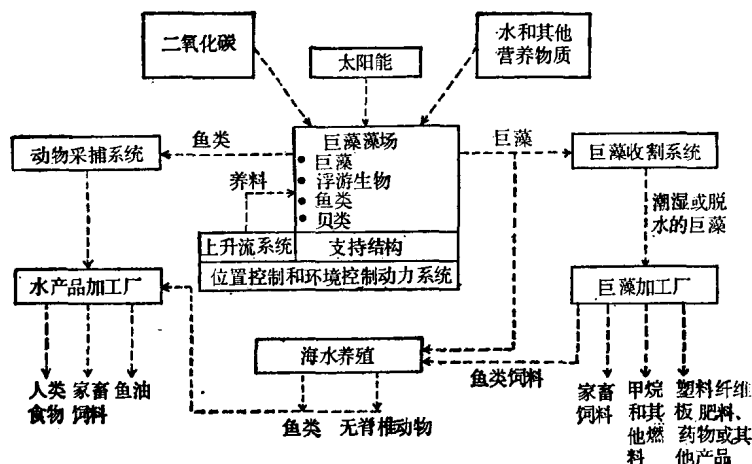


图3 美国海军水下中心巨藻藻场安排示意图（摘自“Ocean Age”, 1977年5月号）

家的重视。1977 年在美国加利福尼亚圣巴巴拉市召开的第九次国际海藻会议上，曾把巨藻的增殖问题作为一个重要课题进行讨论。据法刊《国家海洋开发中心简讯》1979 年第 12 期报道，法、美两国在制定的海洋科学合作计划中，就包括有“海洋热能和海洋生物转换能量的生产，主要是从巨藻中生产甲烷”这一内容。

美国已经设计建造了一个巨大的“巨藻繁殖场”，系泊于加利福尼亚近海水下 60 英尺处，以便大量养成巨藻后，用以生产甲烷。这是美国重要的国家计划——“利用生物物质产生能源”的一个组成部分。生物物质中包括有机垃圾、家畜粪肥以至海藻在内的一切物质，所有这些物质都可通过细菌作用分解为燃料。

联邦能源官员称，生物转化法为一种重要的产生能源的

表1 巨藻 (*Macrocystis pyrifera*) 的氨基酸含量

氨基酸	每100克蛋白质的氨基酸	氨基酸含量占藻体干重
	残基 (克)	的百分率 (%)
丙氨酸	14.77	2.13
鸟氨酸	14.63	2.11
谷氨酸	13.73	1.98
天冬氨酸	10.06	1.45
缬氨酸	7.35	1.06
白氨酸	6.17	0.89
甘氨酸	5.27	0.76
苯基丙氨酸	4.37	0.63
苏氨酸	4.37	0.63
赖氨酸	4.16	0.60
异白氨酸	3.81	0.55
丝氨酸	3.54	0.51
精氨酸	2.50	0.36
酪氨酸	2.50	0.36
组氨酸	1.46	0.21
蛋氨酸	1.32	0.19
半胱氨酸/胱氨酸	痕量	痕量
脯氨酸	痕量	痕量
NH ₂	痕量	痕量
合计	100.01	14.42

注：藻体干重中扣去水分 12.8%。

(摘自: "Botanica Marina" **XX**(3), JULY, 1976)

新方法，优点是，不论采用何种原始材料，其生产过程都不会造成环境污染。

美国还在制订一项称为“海洋食物和能量农牧场计划”的巨藻养殖方案。计划到 1985—1990 年，在大西洋或太平洋建立 4 万公顷的海洋农牧场，生产食物、燃料、肥料、塑料或其他产品。据估计，如果以光合作用的太阳能转化效率为

2%计算,用面积相当于美国陆地面积的5%的地方培养藻类,生产出的甲烷就可满足美国全国对可燃气的需要。“海洋食物和能量农牧场计划”的主要目的之一,就是为了养殖巨藻,生产甲烷。

第二章 巨藻的生物学

一、孢子体的生长和死亡

巨藻是一种独特的藻类：它的个体大小和在形态学及解剖学上的特点都和大多数藻类不一样，从而吸引着人们将其与陆生植物加以比较。巨藻在经济上的重要地位导致了对其进行解剖学、生活史、生长率和生态学的研究，但对生理学的研究做得很少。

现在已知巨藻属有三个种 (Womersley, 1954)，但据报道, 关于 *M. angustifolia* 生理学方面的资料还未发现。多数资料是研究 *M. pyrifera*，目前的研究工作主要集中于 *M. integrifolia*，但也包括 *M. pyrifera*。

巨藻藻体各部分的名称，过去一直比较复杂和混乱。此处所用名称大部分根据 North (1971a) 所用，为了便于理解，现分别汇总列于图 4 和图 7。

顶端分生组织 (apical meristem)：这是在柄端的居间分生组织，位于柄和顶端弯刀叶的连接处。

叶片 (blade)：由一个扁平的带状叶片和一个气囊组成。

冠盖 (canopy)：原指巨藻藻体漂浮于水面部分，而陆生植物生态学家则用于指植物体整个气生部分。本书为了清楚区别不同概念，将巨藻位于水面部分称为“表冠”(surface