

科技兴海丛书（二）

海洋生物基因与 生物工程技术

《科技兴海丛书》编辑委员会 编



海洋出版社

· 《科技兴海丛书》· (二)

海洋生物基因与生物工程技术

《科技兴海丛书》编辑委员会 编

海洋出版社

2001年·北京

《科技兴海丛书》简介

本套丛书共五册：(一)海水养殖技术，(二)海洋生物基因与生物工程技术，(三)海洋探查与资源开发技术，(四)海洋油气勘探开发技术，(五)海洋化工与海水利用技术。

各册书的内容集中反映我国 20 世纪 90 年代中后期海洋生物、海洋地质与矿产、海洋油气和海洋化工与海水开发利用学科方面，包括综合评述、基础理论研究、应用开发研究、新技术与新方法研究的最新成果。尤其是“九五”期间，我国实施科技兴海计划和海洋领域正式列入国家高技术研究发展计划(863 计划)开展的研究、研制和开发取得的高技术系列成果。

本套丛书对涉海部门从事科技管理、科学调查研究、大专院校师生和企业生产单位的广大科技工作者都具有使用参考和实用价值。

图书在版编目(CIP)数据

海洋生物基因及生物工程技术 / 《科技兴海丛书》编委会编.
北京: 海洋出版社, 2001.7
(科技兴海丛书; 2)
ISBN 7-5027-5319-2

I. 海... II. 科... III. ①海洋生物-基因-研究
②海洋生物-生物工程-研究 IV. Q178.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 050891 号

责任编辑 李 莉

责任印制 严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京大地印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 15

字数: 375 千字 印数: 1~1000 册

定价: 42.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

《科技兴海丛书》编辑委员会

主任委员：刘燕华

副主任委员：王志雄 王志学

委 员：(按姓氏笔划排序)

马连芳 王 勇 王焕新

王清印 王衍亮 石 奇

孙 洪 孙书贤 孙修勤

许启望 李 杰 李光友

李永祺 陈宣庆 张福绥

杨金森 莫 杰 徐家敏

盖广生 龚再升 蒋子凯

主 编：王志雄

执行副主编：莫 杰

序

海洋拥有地球表面 71% 的面积和 13.7 亿立方千米的海水。辽阔而深邃的海洋是一座巨大的“蓝色宝库”，她蕴藏着丰富、巨量的自然资源——包括生物资源、矿物资源、化学资源、旅游资源和空间资源。

当今人类社会正面临着资源日趋枯竭、环境日益恶化和人口不断剧增三大威胁人类生存和发展的难题，这种态势有进一步加剧的趋势。开发海洋，无疑是解决这些困境的重要途径。

我国海域已发现海洋生物 2 万余种，其中底栖植物藻类 2 000 余种，无脊椎动物约有 1.12 万种；脊椎动物 1.2 万多种，其中鱼类 2 000 余种。近海渔场面积 200 余万平方千米，可供海水养殖的浅海滩涂 133 万公顷。目前海洋渔业（捕捞和养殖）年产量达 2 800 余万吨，居世界首位。

目前，我国滨海地区已发现具有工业价值的滨海砂矿有钛铁矿、磁铁矿、独居石、锆石、磷钇矿、金红石、锡石、铬铁矿、铌钽铁矿、褐钇铌钽矿、砂金、金刚石和石英砂等 13 种。现已探明砂矿产区 90 余处，各类矿床 191 个（其中大型 35 个、中型 51 个、小型 105 个），矿点 135 个，总地质储量 16.4 亿吨。此外，还有滨海平原地下卤水和海底煤田。

我国近海陆架海域（未含南沙海域）发现了 17 个含油气沉积盆地，总面积达 114 万平方千米。经资源量评价，石油为 245.6 亿吨，天然气为 8.43 万亿立方米。至今近海海域共发现 100 余个含油气构造和近 70 个油气田，具有商业性开采价值的油气田 40 个，其中超亿吨的油田 6 个、超千亿立方米的大气田 2 个，探明石油地质储量 26 亿余吨、天然气地质储量近 4 000 亿立方米。现已投产 25 个油气田，年产量达到石油 1 800 余万吨、天然气 40 余亿立方米。

我国既是一个大陆国家，又是一个海洋国家，海岸线总长 32 674 千米，其中大陆海岸线长 18 400 千米，海岛海岸线长 14 247 千米，盐田面积 30 余万公顷，海洋空间利用前景十分广阔。我国的海洋化工业主要分布在山东、天津、河北、江苏、辽宁等地。“九五”期间，我国的海洋化工有了长足发展。在稳步发展盐及盐化工的基础上，大力发展了海洋精细化工和海洋医药；提高了海洋化工产品和海水综合利用能力；初步形成了结构合理、协调发展的海洋化工体系。

科学研究表明，丰富的海洋资源将为人类提供巨量的物质财富，广阔的海洋空间是拓展开发利用资源的新领域。20 世纪 80 年代以来，不少沿海国家将开发海洋提高到国家发展战略的高度，制定海洋科技发展规划，并采取具

体措施加快向海洋进军的步伐。开发海洋已成为全球产业进步的重要标志，海洋产业已成为国民经济新的增长点。

海洋科学与技术的成就，极大地推动着海洋产业和海洋经济的发展。不断扩大的海洋产业群，使海洋经济成为全球经济的重要组成部分。20世纪70年代初期，世界海洋产业总产值约为1200亿美元，到90年代初达到7500亿美元，末期达到15000亿美元。预计到2010年将超过3万亿美元。

改革开放以来，我国海洋资源的开发利用以迅猛的速度向前发展，传统海洋产业规模扩大，新兴海洋产业已经崛起，20世纪80年代以年平均17%的速度增长；90年代以年平均20%的速度递增。70年代末海洋经济在国民经济中所占比重不到1%，80年代末提高到1.7%。1995年又增到4%，1998年海洋产业的总产值达到3350亿元。2000年达到5%以上，海洋产业的总产值达到近4000亿元；预计2010年将达到8%~10%，海洋产业总产值将达到14000亿元，使我国进入世界海洋开发的前5名，成为海洋经济强国。

中国是一个海洋大国，科技兴海将促进海洋可持续开发利用，发展海洋经济作为跨世纪的国家发展战略，从海洋中获取更多的资源、能源、食物、水资源及其他资源，对保证我国的经济和社会发展，具有重要的现实意义和深远的战略意义。

为了贯彻科教兴国和可持续发展的战略，依靠科技进步，发展经济新的增长点，推动海洋经济的快速发展，提高海洋对国民经济的贡献水平。1997年，国家科委、国家计委、国家海洋局、农业部和国家轻工业总局制定了《“九五”和2010年全国科技兴海实施纲要》。

“科技兴海”是一项涉及科研、开发、推广、生产、管理等领域多层次、多环节的社会化系统工程。为了配合科技兴海战略的实施，促进科学技术尽快转化为生产力，加快我国海洋产业化的步伐；为了更好地为各级管理部门、科研单位、生产企业和有关高等院校提供信息和服务。科技兴海丛书编辑委员会组织编辑了本套《科技兴海丛书》（包括：海水养殖技术、海洋生物基因及生物工程技术、海洋探查与资源开发技术、海洋油气勘探开发技术、海洋化工与海水利用技术）。我相信，这套丛书的出版，定将为推动我国科技兴海的发展发挥一定的作用。

科学技术部部长

徐冠华
2001年6月20日

目 次

序	徐冠华 (I)
· 综 述 ·	
海洋生物学的研究及发展设想	相建海 (1)
海洋微藻应用研究现状与我国海洋微藻研究开发战略	麦康森 孙世春等 (6)
对我国未来海洋药物研究与开发的几点认识	管华诗 (17)
海洋天然产物的发展历史回顾与我国海洋药物的发展策略	严小军 (22)
海洋生态学研究进展与发展趋势	焦念志 (27)
未来海藻学发展前景的探讨	作小南 (38)
软体动物血细胞及体液免疫研究进展	翟玉梅 于秀云等 (46)
有毒赤潮藻种 <i>Pfiesteria piscicida</i> 的研究进展	颜 天 周名江等 (49)
发展我国海洋生物技术的几点设想	张士瑾 (54)
· 基础研究 ·	
海洋生物酶研究进展与展望	马延和 (57)
建立疾病相关基因药物筛选模型高效筛选海洋生物活性产物	许东晖 许实波 (64)
海洋生物中的天然硫酸多糖	薛长湖 李兆杰等 (73)
从海洋微生物资源中发现、筛选新药	李越中 (77)
微藻基因工程及微藻产品高值化	张学成 (85)
蛋白酶解生物活性肽的研究进展及海洋生物活性肽的开发思路	张玉忠 (89)
壳寡糖的制备、分离提取及生物活性研究	杜显光 张铭俊等 (94)
中国对虾血细胞凝集素的性能研究	牟海津 江晓路等 (102)
皱纹盘鲍血细胞活性氧产生的研究	张 峰 李光友等 (106)
· 开发应用研究 ·	
海洋微生物开发应用展望	杨 丰 (110)
DNA 标记技术在海洋生物种质资源开发保护中的应用	刘 萍 孔 杰 (113)
鱼类胚胎干细胞研究进展及应用前景展望	陈松林 Hong Yunhan 等 (119)
转基因蓝藻的研究现状及开发前景	章 军 (129)
壳低聚糖研究的现状和应用前景	郑连英 (133)
中国对虾杆状病毒 PCR 扩增产物的 DNA 序列测定及分析	汪 岷 马洪明等 (137)

应用双抗夹心 ELISA 法检测皱纹盘鲍致病病原——创伤弧菌的研究.....	王崇明 杨冰等 (141)
.....	
中国对虾黄海沿岸群亲本及子一代 RAPD 分析	刘萍 孔杰等 (145)
六种海产虾类基因组 DNA 多态性的 RAPD 标记研究	宋林生 相建海等 (153)
· 高新技术研究开发 ·	
最新生物技术在海洋生物工程领域的应用前景	黄健 (157)
海洋生物技术产业化的关键技术之一——海洋生化工程	李元广 李光友等 (162)
海洋生物技术的新热点——蓝细菌及其基因工程	罗娜 宁叶等 (174)
海洋微藻高值化技术发展的现状、趋势和战略	施定基 彭国宏等 (182)
海洋微藻的大容量培养与生物活性物质开发技术	宁修仁 胡锡钢等 (190)
用细胞工程技术发展我国的紫菜养殖	戴继勋 (195)
从海洋低等生物中分离提取免疫抑制剂	傅德贤 魏海鹰等 (198)
海洋生物活性多糖高效提取 - 分离 - 纯化耦合制备技术	赵兵 伍志春等 (202)
海洋生物材料与组织工程	张秀芳 (211)
对虾皮下及造血组织坏死杆状病毒单克隆抗体的 ELISA 快速检测	
.....	史成银 黄健等 (215)
用于 PCR 检测对虾皮下及造血组织坏死杆状病毒(HHNBV)的一种快速提取 DNA 方法	王旭 史成银等 (218)
海洋活性物质研究与开发系列软件工具	丛威 刘天中等 (222)
用海洋生物分子生态毒理学指标监测海洋污染	徐立红 (226)
论海洋生物技术与海洋生物工程	王玮 (230)
编后语 · 致谢	(232)

海洋生物学的研究及发展设想

相 建 海

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

1 海洋生物学的研究内容和发展史

海洋生物学是一门综合性交叉学科, 主要包括海洋有机体的机能、海洋生物多样性和生态学 3 个方面的内容。它是研究海洋中生命有机体的起源、分布、形态与结构、进化与演替的特征和生物生命过程的活动规律; 探索海洋生物之间和生物与其所处的海洋环境之间的相互作用、相互影响的科学。

世界海洋总面积超过 $3.61 \times 10^8 \text{km}^2$, 占地球表面积的 71%。生物门类中的 88% 生活在海洋。据估计, 海洋在不影响生态平衡的情况下, 每年可向人类提供 $30 \times 10^8 \text{t}$ 鱼、虾、贝、藻等海洋食物, 能满足 300 亿人的蛋白质需要。目前世界开发的渔业资源中, 海洋捕捞大约为 $8\,000 \times 10^4 \text{t}$, 养殖还不到 $1\,000 \times 10^4 \text{t}$, 可挖掘的潜力相当大, 更何况海洋生物作为保健、药物和功能性材料开发的经济和社会价值难于估量, 理所当然地引起人们越来越大的兴趣。

海洋生物的研究早就从人们对形形色色的海洋生物及其多式多样的分布的观察和描述时开始了。达尔文 (1809~1882 年) 作为世界海洋生物学的奠基人之一, 提出了世人熟知的“物种起源学说”, 其珊瑚礁发育理论同样影响深远。渔业学研究开始于 19 世纪初, 稍后, 海洋生态学在美国成为渔业学的同义语。1872~1876 年, 世界著名的“挑战者”号考察船进行了环球大洋探险, 其间获得并描述了 4 717 种新的海洋生物, 是人类第一次全球尺度的海洋生物学研究。

进入 20 世纪, 细胞生物学、胚胎学、生物化学等实验技术应用到海洋生物学研究中, 实验海洋生物学得到应有的重视。此间, 航海技术和潜水技术的长足发展, 使科学家能够在海上定点、定时直接观察活的生物并进行取样。60 年代至今, 海洋生物学研究进入快速发展阶段。

我国海洋生物学研究始于 20 世纪 30 年代, 但只限于个别科学家对海洋藻类和海洋动物的零星采集与分类。新中国的成立给海洋科学的发展与繁荣创造了条件, 新中国成立不久成立了中国科学院海洋研究所、黄海水产研究所等国家级研究所。童第周、曾呈奎两位教授为我国海洋生物学的发展起了奠基作用。50 年代开始, 科学家在全国范围进行了一系列海洋生物与渔业的调查, 如 1958~1962 年的全国海洋普查。实验海洋生物学也进入比较系统的研究。改革开放以来, 海洋生物学研究与国际接轨, 海洋生态学、海洋水产农牧化原理与应用研究、海洋生物多样性研究、由个体水平到细胞和分子水平的实验海洋生物学研究全面展开。全国范围的科学考察如 1981~1986 年的全国海岸带、滩涂调查, 1990~1992 年海岛调查和贯穿于其间的区域性调查 (西沙群岛、北部湾和南沙群岛等海

区的科学考察)也相继进行。中国海洋生物学研究开始从整体上走向世界,南极和南大洋考察就是标志。

2 我国海洋生物学发展面临的机遇与挑战

世纪之交,我国海洋生物学面临着发展的大好机遇。在“八五”至“九五”期间,国家加大投入,安排了涉及海洋生物学的研究项目,择其要者如下:国家重大基础研究项目攀登(B)计划“海水增殖生物优良种质与抗病力的基础研究”(1994~1999年);国家“863”海洋领域海洋生物技术主题(1997~2000年);国家“九五”攻关项目“海水资源综合开发利用关键技术的研究”和“海岸带资源环境利用关键技术研究”(1996~2000年);国家自然科学基金重大项目“渤海生态动力学与生物资源持续利用”和“中国沿海典型增殖区有害赤潮发生动力学及其防治机理研究”(1996~2000年);国家科研专项“南沙群岛及其邻近海区综合科学考察”和我国海洋经济专属区和大陆架勘测专项中有关渔业资源调查项目等。

必须看到,我国的科学研究距世界先进水平还有很大差距,主要表现在以下几方面:

(1)我国开发利用海洋生物资源的巨大需求与现有薄弱的海洋生物学基础研究形成强烈反差。比如,全国对虾养殖业的产量曾居世界第一,辉煌一时,但由于有关病害的基础研究远远滞后,面对1993年“突如其来”的严重病害,科研人员和生产人员束手无策。

(2)人类活动造成了海洋环境的恶化(如温室效应、臭氧空洞和海洋生物多样性的锐减),认识其规律,采取科学对策既十分复杂又需时日。

(3)与陆地生物科学相比,海洋生物学研究不仅起步晚,而且面临的任务更为艰巨。一是困难大,常言“九天揽月,五洋捉鳖”,是说深海采集生物其难度堪与登月探险相比;二是海洋中的未知领域、未知物种远比陆地上多得多;三是需要大量经费。

3 现代海洋生物学研究的走势与趋向

现代海洋生物学是海洋科学研究中的热点和难点,这是因为海洋中的生命现象较物理、化学现象更为特殊和复杂,因而更具有挑战性;加上海洋生物与人类衣食住行密切相关,因而具有特殊的重要性。目前该学科的发展特点与趋势主要有以下方面。

3.1 研究空间与时间的扩展与深化

现代海洋生物学研究的空间与时间尺度,一方面在宏观层面上扩展,另一方面朝微观中深化。宏观上,全球海洋任何一个海域,从南极到北极,从海面到大洋深处,都在开展生物学调查与研究;科学家们越来越重视全球或大尺度上中长期的海洋生物学研究。微观上,生物个体的研究已从普通个体到微小个体,如 nano-plankton (小于 $20\mu\text{m}$) 甚至到 pico-plankton (小于 $2\mu\text{m}$),生理、生化机制的研究已从整体到细胞,深化至分子水平,生态学的研究也深入到微生境、微生态。

3.2 学科的交叉与综合

学科交叉与综合已成为现代海洋生物学的重要发展趋势。科学技术的日新月异,不仅使学科的交叉成为可能,更是促进海洋生物学发展的必要前提。在海洋学层面上,海洋生物学与海洋化学、海洋地质学和物理海洋学之间加快了相互交叉与渗透;在生物学层面上,科学家对海洋生物的研究绝不再局限于单一或两三门学科上,更常常是生态学、发育

学、遗传学、生物化学、生物物理学和生物数学等多学科的交叉。现代生物技术、计算机技术、化学分析技术、遥感遥测技术以及海洋技术等海洋生物研究中得到越来越多的应用。

3.3 海上考察试验与室内实验分析相结合

海洋生物学研究起源于海上考察，而且它至今仍然是取得第一手材料与数据的重要源泉。海洋生物学假说与理论的证实最终不能离开海上考察或试验，但实验室可以保证科学家在人工控制与模拟的条件下，不受自然环境的限制，随意重复或深入进行各种各样的实验和数据分析。两者结合起来，优势互补，相得益彰。

3.4 研究的国际化，竞争与合作

海洋是人类共有的财富，要深入全面研究海洋生物学，国际合作是必要和可能的。但各国又具有特有的专属经济区，为了自身的利益，不得不在研究中进行激烈的竞争。比如在鲑鳟鱼资源的捕捞管理上，就连一向称为兄弟同盟的加拿大与美国或欧盟国家之间在谈判配额时，也要你争我吵，各自利用鲑鳟鱼种群 DNA 指纹分析图得到的科学证据，以力求多得到一些份额。在国际海洋划界中，渔场物理边界和生物特征无疑是考虑的重点因素之一。

3.5 生物资源的持续发展、环境的科学管理成为海洋生物学研究的主要目标

资源与环境是地球科学研究永恒的主题，也是海洋生物学研究的重点。面对资源短缺、环境恶化和人口爆炸的严峻挑战，人类在考虑如何更科学合理地保护、开发和利用海洋生物资源，确保它的持续发展；也在探索如何更好地监测海洋环境的变异和对海洋环境进行有效的科学管理。

4 学科发展的若干前沿和重要的国际研究项目

4.1 海洋生态学

海洋生态学研究海洋有机体与其周围环境的相互作用，以及这些相互作用对有机体的分布、丰度带来的效应。海洋生物资源与海洋环境多数问题都与海洋生态系统密切相关，生态学家从整合、系统、动态的观点来观察与分析海洋生物与海洋环境的关系。

许多国际科学组织如环境问题委员会 (SCOPE)、海洋研究科学委员会 (SCOR)、政府间海洋委员会 (IOC) 等都制定与实施了一系列与海洋生态学有关的国际性研究计划，例如生物资源补充研究、有害藻类研究等。我国积极参与了国际合作研究，同时也组织了大项目“中国沿海典型增殖区有害赤潮发生动力学及其防治机理研究” (1996~2000 年)，已取得了重要进展。

GLOBEC 的国际计划由海洋研究科学委员会和国际地质-生物圈计划 (SCOR/IGBP) 拟就，目标是：(1) 更好地多层面了解驱动海洋生态系大尺度变化的物理环境过程。(2) 确定各类具有全球海洋生态系统典型组分的大洋系统中结构与动力学之间的关系，特别注重食物链中营养动力学途径营养质量的作用和变异性。(3) 利用与适当的观测系统相连的物理、生物和化学耦合模式来确定全球变化对生物群体动态过程的影响，发展对未来的预测能力。(4) 借助确定和量化反馈机制来决定变化中的海洋生态系统如何影响整个地球系统。

国家自然科学基金“九五”期间立项资助了我国自己的 GLOBEC 项目“渤海的生态

系统动力学和生物资源的持续利用研究”，将在渤海研究确定天气与人类活动如何影响沿岸生态系统，旨在预报渤海和其生物资源的变动规律。

4.2 实验海洋生物学与海洋生物技术

实验海洋生物学以目标海洋生物为材料，利用各种技术与方法，按照科学家的思路和设想，在野外天然环境或实验室模拟环境下进行试验，以求了解生物群体、个体、组织、细胞乃至分子等不同水平上的生命过程，及其本质、形式、特征和规律；或者通过实验对科学家提出的假说进行证实或证伪。

国际生物联合会（IUBS）发起的水产养殖生殖生物学计划的目标是：（1）控制生殖系统的发育、生长、分化和成熟；（2）了解和控制配子（精子或卵子）的发生、配子的生理过程、受精和胚胎早期发育过程；（3）开发和改进针对水产养殖对象的杂交、多倍化、克隆和遗传操作。

与实验海洋生物学密切相连的是海洋生物技术，它是利用海洋生物或其组分，生产有用的生物产品以及定向改良海洋生物遗传特性的综合性科学技术。当前的开发热点主要在利用细胞和基因工程等培育和选育优质、高产、抗逆的海水养殖品种；利用病害检测和防治技术以及海洋生物养殖工程实现持续健康养殖；开发海洋天然产物，用于保健、药物或制作功能产品；海洋生物环境的监测与治理。

4.3 海洋生物多样性

作为地球生命的摇篮，加上它的广阔无垠，海洋是全球生物多样性的巨大贮存库，陆生动物的门类仅为海生动物门类的1/7。我国海洋生物多样性十分丰富，有记录的近海生物物种约为2万种，鱼类就有1694种，浅海和滩涂生物资源2257种。由于地域特点，我国海洋生物多样性又具有相对的独立性和封闭性。1992年在巴西召开的联合国环境与发展大会上，世界各国共同签署了《联合国生物多样性公约》，海洋生物多样性与陆地上的生物多样性的研究一样，理所当然地受到国际大家庭的重视。生物多样性研究共分四个层次：基因多样性、物种多样性、生态系统多样性和景观多样性。

当前，国际社会对海洋和海岸带生物多样性的保护和持续利用予以了特别的关注。重大项目“生物多样性与遗传资源”研究目标：一是加强非洲、加勒比海和太平洋地区发展中国家渔业和生物多样性的管理，并进一步发展鱼类生物数据库；二是开展海岸带鱼类多样性的研究。

特别引人注目的是，科学家近年来利用现代信息技术，开发和建立了多种多样的生物数据库。

4.4 现代海洋渔业科学

海洋鱼类是人类开发利用的重要资源。世界海洋捕捞产量从20世纪50年代的 $2\,000 \times 10^4\text{t}$ 逐年上升，到80年代中期达到 $8\,000 \times 10^4\text{t}$ ，近10年来，基本处于停滞状态，在上述水平上徘徊。现代渔业科学的任务既要为提高产量、降低成本服务，更要考虑渔业资源的最大持续利用。

渔业资源的补充（recruitment）过程是鱼类再生的重要过程，它不仅由鱼类自身生物特性决定，而且与变化万千的海洋环境密切相关，补充的过程被科学家认为是最具挑战性的课题之一。

4.5 蓝色农业

曾呈奎教授率先提出了“海洋水产应适时走农牧化道路”的设想。1979年全国海水养殖产量还不到 $42 \times 10^4 \text{t}$ ，而1995年达到 $412 \times 10^4 \text{t}$ 。迅速发展起来的、产量居世界第一的我国海水养殖业，仅仅是21世纪“蓝色农业”的雏形，我国还有 $200 \times 10^4 \text{hm}^2$ 滩涂和 $150 \times 10^4 \text{hm}^2$ 以上的浅海可以“耕田牧海”，何况目前还面临良种缺乏、病害严重和养殖环境恶化三大难题。应开展基础研究，从生物个体到细胞、分子水平和宏观的生态系统不同层次去深入探讨农牧化的基本原理，了解当前海水养殖产业存在的问题和产生的原因，以及认识其规律是非常必要的。与此同时，不断研究开发和应用遗传育种、病害防治和海洋增养殖现代工程的种种关键技术，以增进人类保护资源与环境的能力和调控海洋生产力的手段，促进蓝色农业快速健康持续地向前发展。

5 发展我国海洋生物学的设想与建议

海洋生物学不仅是海洋科学的重要分支，而且是海洋经济发展的先导和重要支撑。审视国际海洋生物发展的趋势与动向，根据我国国情，特提出如下设想与建议：

(1) 国家要更加重视海洋生物学的研究与发展，加大投资力度，经过科学、民主的论证，优选出更多更好的重大科研课题，组织精兵强将予以实施；当前应优先考虑在国家重大基础理论项目中对涉及海洋生物资源的内容予以立项。

(2) 重点建设好国家海洋生物研究的基地，特别是国家海洋生物学重点实验室和研究所。

(3) 进一步强化海洋生物学的人才培养。从中学教学开始，即应有海洋生物学的基本内容；增加大学生和硕士培养数额；特别要培养一批质量高、素质好的博士和博士后高级人才，以适应已到来的海洋开发新世纪。

(4) 要特别重视与我国国民经济发展与社会进步中的重要领域中的海洋生物学研究开发和应用，它们包括：

- 水产资源持续发展与合理的开发利用；
- 健康海洋生态环境的维护与管理，特别是海湾、河口以及海岸带人口高密度居住和经济高速度发展区的生态环境；
- 与海洋生物学相关的新经济增长点与新型产业，如蓝色农业（包括蓝色保健食品加工业和蓝色药业）、远洋捕捞业和海洋环境保护产业等。

[中国海洋学会，21世纪中国海洋科学与技术展望，海洋出版社，1998，36~47]

海洋微藻应用研究现状与我国 海洋微藻研究开发战略

麦康森 孙世春 梁 英

(青岛海洋大学, 青岛 266003)

1 微藻应用研究现状

1.1 微藻饵料(饲料)的研究及应用

微藻作为水产动物的饵料, 主要是以活饵料的形式应用在海产动物的人工育苗阶段。国外在鱼类、贝类、甲壳类育苗中应用的微藻已达 40 多种。我国海洋微藻生物饵料的研究工作始于 20 世纪 50 年代, 进行了大量的微藻培养、分离、纯化研究工作, 保存了大批藻种。在青岛海洋大学、中国科学院海洋研究所等单位建立了规模不等的海洋微藻保种库, 基本保证了我国微藻研究事业的需求。迄今, 在我国已有 20 多种海洋微藻应用于海洋经济动物的苗种生产, 海水养殖中的微藻饵料体系已初步建立起来, 主要种类及其用途见表 1。

表 1 在我国被用作生物饵料的海洋微藻

(资料来源: 陈世杰, 1979; 张福绥等, 1983; 山东海洋学院, 1985; 陈淑芬等, 1985, 1987; 马志珍, 1986; 顾天青等, 1989; 周汝伦等, 1990; 王淑萍, 1992; 吴伯堂等, 1992; 王如才等, 1993; 陈明辉, 1995 等)

微藻种类	投喂对象
三角褐指藻 <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	贝类、对虾幼虫
小新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i> f. <i>minutissima</i>	贝类、对虾幼虫
牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i>	对虾、海参、双壳贝类、海胆、鲍幼虫
纤细角毛藻 <i>Chaetoceros gracilis</i>	双壳贝类、对虾、海参、海胆、鲍幼虫
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	对虾幼虫
亚心形扁藻 <i>Tetraselmis subcordiformis</i>	贝类幼虫及亲贝
塔胞藻 <i>Pyramimonas</i> sp.	贝类幼虫及亲贝
盐藻 <i>Dunaliella</i> sp.	海参
小球藻 <i>Chlorella</i> spp.	轮虫
微绿球藻 <i>Nannochloropsis oculata</i>	轮虫
球等鞭藻 <i>Isochrysis galbana</i> 3 011 株, 8 701 株	双壳贝类、对虾、海参幼虫
湛江等鞭藻 <i>Isochrysis zhanjiangensis</i>	双壳贝类、对虾、海参幼虫
绿色巴夫藻 <i>Pavlova viridis</i>	双壳贝类、对虾幼虫
异胶藻 <i>Heterogloea</i> sp.	紫贻贝、泥蚶、杂色蛤的幼虫
钝顶螺旋藻 <i>Spirulina platensis</i>	对虾幼虫
舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	鲍、蛭、刺参等的幼虫
东方弯杆藻 <i>Achnanthes orientalis</i>	鲍、蛭、刺参等的幼虫
卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp.	鲍、蛭、刺参等的幼虫

近年来,随着海水鱼类、对虾、扇贝、鲍鱼等海洋动物人工育苗技术相继攻克,海水养殖业得到了蓬勃发展,对饵料用微藻的研究开发提出了新的要求,新的课题不断被提出,主要包括以下几个主攻方向:

1.1.1 微藻的浓缩与储藏

活的微藻是许多水产动物幼体的必需饵料,微藻培养的好坏直接关系到育苗的成败。但海洋动物苗种培育季节性很强,由于受培养场地、设施、天气、成本等因素的影响,在生产季节往往不能保证鲜活微藻饵料的供应,而在1年的大部分时间(往往是适合于微藻培养的季节)微藻培养车间往往闲置不用。因此,利用非育苗季节培养微藻,浓缩、储存至育苗季节使用就称为水产养殖企业的梦想。20世纪90年代以来,这项工作已经取得了很大的进展,先后对多种浓缩方法(如普通离心、连续半连续离心、过滤、化学沉淀、渗透等)和储藏方法,如冷冻干燥、冷冻(不加保护剂或加保护剂)、冷藏(Grima等,1994)、喷雾干燥(Biedenbach等,1990)、离心后加防腐剂制成藻膏(王如才等,1993)等进行了尝试。

化学沉淀法(常用石灰水、氯化铁等)收获微藻具有快速、简单的优点,但化学药物的用量较大,不仅成本较高,而且收获过程中混入藻泥中的化学药物不易除净,难以直接用于投喂海洋动物苗种。

用普通离心机浓缩或用微孔滤膜抽滤是实验室收获微藻培养物的常规方法,但不能解决生产上大规模进行微藻收获的问题。近年开发出来的新型离心机如撇液式半连续离心机、管式连续离心机已经较好地解决了这一问题,并开始试用于生产,国产连续离心机采收能力已达 $20\text{m}^3/\text{h}$ (张学成等¹⁾)。

渗透技术在微藻收获中的应用虽然尚处于起步阶段,但已表现出很好的前景。在日本经渗透浓缩50倍的小球藻浓缩物已作为商品出售。国内官庆礼等¹⁾的试验可将小球藻浓缩至 6×10^9 细胞/mL以上。

在微藻的保藏方面,冷藏法保存取得的效果比较理想。Grima(1994)在 4°C 下保存等鞭金藻1个月后,成活率为80%,但冷冻(加保护剂)保存1个月后,成活率仅为20%。

由于鲜活微藻长期保存存在很多困难,有的学者探讨了用干燥保存的微藻作为活饵料的代用品投喂海洋动物的可行性。Biedenbach等(1990)的实验结果表明,饵料中添加75%异养培养、经喷雾干燥的*Tetraselmis suecica*代替活饵料来投喂*Penaeus vannamei*的幼虾,对幼虾的成活率、变态率和生长速度与活饵料组比较没有显著差异,但如果全部用经喷雾干燥的微藻来投喂幼虾,则幼虾的成活率和生长速度都会下降(Biedenbach等,1990)。Laing和Millican等(1992)的实验结果表明,用喷雾干燥的混合藻类(扁藻*Tetraselmis suecica*和小环藻*Cyclotella cryptica*)投喂菲律宾蛤仔,其生长速度略低于用混合鲜藻(扁藻和骨条藻*Skeletonema costatum*)投喂的生长速度。用干扁藻和鲜骨条藻混合饵料($W:W=9:1$)投喂菲律宾蛤仔,效果和投喂混合鲜饵料一样。用含30%~50%鲜骨条藻同干藻类的混合饵料投喂太平洋牡蛎和欧洲牡蛎,与混合鲜饵料一样好。中国科学院海洋研究所研制了以螺旋藻干粉为主要原料的扇贝亲贝育肥饵料——SB-A型扇贝

1) 个人交流,未发表资料。

高级营养剂。海湾扇贝亲贝育肥试验表明,用 SB-A 型饵料饲养海湾扇贝,亲贝成活率、性腺发育指数、产卵量和孵化率接近或相当于常规活微藻饵料的效果,基本上可代替活的微藻饵料(胡葵英,1989)。

用贮存的饵料来代替活饵料可解决以下问题:在整个幼虫培育期间,可保证饵料的数量和质量,而活饵料的培养则受环境条件的限制,可能导致培养的失败;可降低生产成本;可根据培养动物的需要,通过改变各种培养条件,来改善贮存饵料的生化组成,使之更适合养殖动物的需要(Biedenbach 等,1990)。

1.1.2 强化微藻饵料重要营养成分的研究与应用

在海洋动物的活饵料应用方面,人们逐渐发现饵料中某些营养因子的缺乏会导致海洋动物疾病、生长不良、甚至死亡。这种情况以饵料中的高不饱和脂肪酸特别是 EPA(二十碳五烯酸)和 DHA(二十二碳六烯酸)的缺乏或含量不足最为严重。EPA 和 DHA 在动物体内不能合成,必须从食物中摄取。当缺乏时,会导致营养不良,发育畸形,生长停滞,严重的可导致死亡。这种现象在海水鱼类育苗中尤为严重(Yongminitchai 和 Ward, 1989; Renaud 等, 1991; Reitan 等, 1994)。治疗水产动物这种营养性疾病的惟一手段是向饵料中补充不饱和脂肪酸,特别是 EPA 和 DHA。目前在贝类人工育苗中常用微藻作饵料,在鱼、虾类育苗生产中,则多用轮虫、卤虫无节幼体、桡足类和卤虫成体等作为早期培育的饵料系列。然而,由于生产条件和成本的限制,鱼、虾类育苗所用的轮虫、卤虫、桡足类等主要是用鲜酵母等来培养的,严重缺乏必需高度不饱和脂肪酸,对于这些用酵母生产的动物性饵料,必须再用富含高度不饱和脂肪酸的饵料进行强化培养。微藻不仅是这些动物性饵料生物的优质饵料,而且是 EPA、DHA 含量最丰富的生物之一。近年来海洋微藻 EPA、DHA 的研究工作有了很多进展,通过诱变、筛选出了很多易培养、且 EPA、DHA 含量丰富的藻种,如 *Isochrysis* spp. (Thompson 等, 1990; Reitan 等, 1994; Grima 等, 1995; Renaud 等, 1995), *Hymenomonas* spp. (Viso 等, 1993), *Tetraselmis* spp. (Volkman 等, 1989; Viso 等, 1993; Reitan 等, 1994; Zhukova 等, 1995), *Nannochloropsis* spp. (Renaud 等, 1991; Dunstan 等, 1993), *Heteromastix* spp. (Viso 等, 1993), *Porphyridium* spp. (Cohen 等, 1988; Viso 等, 1993) 和多数硅藻门的种类等。用这些微藻培养贝类幼虫、轮虫、卤虫、桡足类等已在商业化生产中取得了良好的效果。

1998 年以来,在海洋 863 课题的支持下,我们对青岛海洋大学等单位保存的微藻藻种 120 余株进行了比较筛选,从中筛选出包括小球藻、等鞭金藻、紫球藻、裸藻、巴甫藻、三角褐指藻在内一批富含 EPA、DHA 的海洋微藻藻种,并进行了培养基优化与生态调控研究,其 EPA/DHA 含量达到总脂的 30% 以上。

1.1.3 利用微藻作为饲料(饵料)添加剂

微藻浓缩收获技术的发展使微藻产品用作水生动物、禽、畜饲料添加剂成为可能,目前适用于这种用途的微藻尚不多,主要是小球藻和螺旋藻。

小球藻干粉或提取物添加到鱼类的食物中,可改善养殖鱼的质量。例如在 *Plecoglossus altivelis* 饵料中添加 1% 的小球藻提取物,可增强鱼对疾病的抵抗力,改善鱼肉的质量(Nakagawa 等, 1981)。用小球藻干粉或提取物对黄尾鱼进行的实验也得到了类似的结果(Mustafa 等, 1995)。某些品系的小球藻在氮缺乏或在高盐的培养液中,可变为红色或橘黄色,体内可积累大量的类胡萝卜素和虾青素,这样的小球藻可添加到养殖鱼类和双壳类

的饵料中,使其色泽更加鲜艳(Sano等,1993)。

螺旋藻不仅蛋白质含量很高,而且含有丰富的色素,特别是玉米黄素和 β -胡萝卜素含量丰富(通常为3~7g/kg, Miki, 1986)。将其添加到养殖鱼、贝、虾类的饵料中,养殖动物的体色特别鲜艳。将螺旋藻添加到养殖的黄尾鱼、大麻哈鱼和鳟鱼的饵料中,可减少死亡率,提高生长速度(Kato, 1992)。日本已利用螺旋藻作为锦鲤、金鱼、红罗非鱼、对虾、黑尾虾的增色剂(陈明耀, 1995)。将螺旋藻添加到母鸡饲料中,可增加蛋黄的颜色(Kato, 1992)。

微藻饲料添加剂的其他研究主要是围绕向饲料中添加矿物质来进行的。如 Fabregas 和 Herrero (1986) 的实验结果表明,淡水鱼类所需的一些矿物质,如 Ca、P、M、Na、K、Fe、Cu、Zn 等,可通过在其饵料中添加 33% 左右的海洋微藻来得到满足。海水鱼类(如大比目鱼)体内所需的一些矿物质,通过添加海洋微藻补充效果更明显,而且添加量要比淡水鱼类少,因为海水鱼类在摄食食物的同时,也会从周围海水中摄取相当数量的矿物质。

1.2 作为人类的食品 and 食品添加剂

早在 16 世纪,墨西哥人就从 Texcoco 湖采集螺旋藻并制成一种叫做“tecuitlatl”的饼干供当地居民食用(见 Richmond, 1986)。在西非中部乍得湖畔的 Kanem 地区 Kanembu 人也具有采集食用螺旋藻的传统,他们将从湖中采集的螺旋藻做成一种称为“dihé”的干藻饼(见 Richmond, 1986)。这两群相距 1×10^4 km 的土著居民对螺旋藻营养价值与食用价值的发现可能是没有现代科技的人类对微藻直接利用的最成功的例子。

在二战期间及战后初期,由于粮食缺乏,利用微藻代替粮食和饲料成为研究的课题。许多国家先后进行了微藻培养、营养价值分析及开发利用的研究,取得了不少成就。在我国 20 世纪 60 年代初的生活困难时期,很多单位也培养淡水小球藻作为食物补充。

然而,虽然微藻的食用历史悠久,近年的研究工作也取得了很大进展,但真正已用作人类食品的微藻并不多。

螺旋藻个体长度为 200~500 μ m,直径约为 70 μ m。其光能转化率高达 18%,光合效率达 43%(何连金, 1988)。蛋白质含量在 50% 以上,最高可达 75%。氨基酸种类齐全,特别是必需氨基酸含量较高。氨基酸平衡达到联合国粮农组织蛋白质咨询小组确定的理想的蛋白质标准(程双奇等, 1990)。螺旋藻的脂肪含量较低,纤维素也较少,容易消化。胡萝卜素、维生素 E 和维生素 C 的含量较高。含有较丰富的微量元素(程双奇等, 1990)。其所含的多糖有提高机体的免疫功能和抑制癌细胞的作用(刘力生等, 1991)。此外,螺旋藻还具有培养技术简单、产量高、采收方便等优点。其培养食用价值引起世界各国的重视。

螺旋藻的大量研究开发是从 20 世纪 60 年代开始的。自 1968 年法国石油研究所与墨西哥一家公司合作开发利用墨西哥 Texcoco 湖的天然螺旋藻资源,建立了世界上第一个螺旋藻生产工厂以来,世界上已建立了许多螺旋藻生产公司。目前世界螺旋藻年产量可达到 1 500~2 000t(左绍远, 1994)。我国对螺旋藻的研究开发起步较晚,但自“七五”被作为国家重点攻关项目以来,研究开发工作取得了丰硕成果。1989 年国家科委在云南永胜县程海湖区建立 3 000m²(年产藻粉 5t)的螺旋藻中试生产基地,随后各地相继建立了许多螺旋藻生产基地,发展非常迅速。据不完全统计,1996 年我国已有螺旋藻生产厂家 100