

中国海水养殖科技进展

多营养层次的 海水综合养殖

王清印 主编

DUO YINGYANG CENGCI DE
HAISHUI ZONGHE YANGZHI

 海洋出版社

中国海水养殖科技进展

多营养层次的海水综合养殖

王清印 主编

海洋出版社

2011年·北京

内 容 简 介

本书是在2010年11月4—6日由中国水产学会海水养殖分会和山东省海洋与渔业厅共同主办,山东省海洋水产研究所承办,山东省海水养殖研究所、山东省淡水养殖研究所、山东东方海洋科技股份有限公司、山东升索渔用饲料研究中心协办,在山东省烟台市召开的“2010年全国海水养殖学术研讨会”上发表的200余篇论文报告的基础上,经过筛选编辑而成。

全书共分七章。第一章 综述;第二章 遗传、育种及基础生物学;第三章 生殖调控与苗种培育;第四章 健康养殖技术与模式;第五章 营养、代谢与消化生理;第六章 疾病预防、控制与免疫;第七章 养殖生态与环境。

本书可供高等院校、科研院所以及从事水产养殖工作的科技人员和管理工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

多营养层次的海水综合养殖/王清印主编.

—北京:海洋出版社,2011.10

ISBN 978-7-5027-8105-7

I. ①多… II. ①王… III. ①海水养殖-文集

IV. ①S967-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第185584号

责任编辑:方 菁

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

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

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2011年10月第1版 2011年10月第1次印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:39

字数:900千字 定价:98.00元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

编委会名单

主 编：王清印

副主编：张利民 吴灶和 吴常文 常亚青 方建光 刘世禄

编 委：(以姓氏笔画为序)

丁兆坤	丁晓明	马 甦	方建光	王清印	王 波
王文琪	王长海	王印庚	王志成	王志勇	王勇强
王爱民	王德强	包振民	刘世禄	刘克奉	刘海金
刘雅丹	孙 忠	孙喜模	庄 平	朱永安	江世贵
吴灶和	吴常文	张志勇	张国范	张振奎	李文姬
李长青	杨建敏	陈 丹	陈 刚	胡超群	赵玉山
赵春龙	徐 皓	常亚青	曹杰英	阎斌伦	曾志南
董双林	蔡生力				

目次

第一章 综述	(1)
第一节 世界水产养殖发展现状与趋势	(1)
第二节 海洋环境生物修复技术研究与应用新进展	(7)
第三节 低碳、生态、高效海水养殖模式探讨	(12)
第四节 加强水产品质量安全管理体系建设的思考 and 对策	(15)
第五节 微藻制备生物柴油的研究进展	(19)
第六节 加快深水网箱养殖行业现代企业建设的理论研究	(25)
第七节 微生态制剂的功能与应用技术	(30)
第八节 三疣梭子蟹种质资源研究现状及展望	(32)
第九节 世界牡蛎养殖概况与福建牡蛎养殖业分析	(37)
第十节 ISO22000 及 HACCP 原理在条斑紫菜一次加工中的初步应用	(45)
第十一节 大黄酸的研究现状与在水产养殖中的应用展望	(50)
第十二节 砷与食品安全及其对黄、渤海主要经济贝类的影响研究进展	(54)
第二章 遗传、育种及基础生物学	(61)
第一节 凡纳滨对虾的良种培育	(61)
第二节 大菱鲆高产、抗逆品种的人工培育	(65)
第三节 星斑川鲷远缘杂交的初步研究	(73)
第四节 坛紫菜耐高温品系的筛选和特性分析	(77)
第五节 三倍体杂交鲍卵子与盘鲍日本群体精子受精直接产生三倍体的研究	(86)
第六节 凡纳滨对虾 <i>AMY</i> 基因多态性与生长性状的相关分析	(89)
第七节 <i>CHH</i> 、 <i>VTG</i> 和 <i>TM</i> 基因在凡纳滨对虾肌肉组织中的表达差异研究	(97)
第八节 日本囊对虾三个野生群体遗传多样性的 SSR 分析	(104)
第九节 大菱鲆色素基因 <i>MC1R</i> 的表达研究	(111)
第十节 刺参血淋巴细胞的初步研究	(117)
第十一节 中华绒螯蟹两种看家基因的克隆与序列分析	(122)
第十二节 三疣梭子蟹快速生长品系核心种质有效群体含量	(130)
第十三节 利用 16S rRNA 和 <i>COI</i> 基因序列对三疣梭子蟹不同群体遗传特征的	

比较分析	(136)
第十四节 三疣梭子蟹多态性微卫星 DNA 标记的筛选及评价	(145)
第十五节 三疣梭子蟹 5 个野生群体的遗传多样性分析	(152)
第十六节 微卫星 DNA 标记技术用于三疣梭子蟹家系构建系谱认证	(162)
第十七节 栉孔扇贝、虾夷扇贝 DNA 胞嘧啶甲基化的 MSAP 分析	(170)
第十八节 贻贝配子细胞表面糖基的定位研究	(176)
第十九节 合浦珠母贝幼体生长性状的遗传力及其相关性分析	(181)
第二十节 曼氏无针乌贼 ISSR 体系优化及养殖群体遗传多样性分析	(189)
第二十一节 长蛸 ISSR-PCR 优化反应体系的建立	(196)
第二十二节 基于线粒体 DNA 12S rRNA 和 <i>COIII</i> 基因序列研究中国沿海七个长蛸野生群体的遗传多样性	(204)
第二十三节 中国北部沿海短蛸 4 个自然群体 mtDNA <i>COI</i> 基因部分序列分析	(219)
第二十四节 金乌贼精子的超微结构	(226)
第二十五节 金乌贼染色体核型分析	(232)
第三章 生殖调控与苗种培育	(238)
第一节 野生与养殖褐牙鲷亲鱼营养学分析与繁殖力的研究	(238)
第二节 豹纹鳃棘鲈仔、稚、幼鱼的形态观察	(243)
第三节 不同因素对企鹅珍珠贝插核育株的影响	(249)
第四节 生物絮团对海参早期胚胎发育影响研究	(253)
第五节 大黄鱼(♀)与黄姑鱼(♂)人工杂交子代胚胎发育研究	(256)
第六节 工厂化养殖条件下鞍带石斑鱼育苗技术初步研究	(261)
第七节 海蜇四触手螅状体两种发育过程的研究	(268)
第八节 低氧胁迫对真鲷(♀)×黑鲷(♂)杂交 F ₁ 体内酶活力的影响	(272)
第九节 星斑川鲷自交 F ₁ 和杂交 F ₁ 免疫相关酶的初步分析	(277)
第十节 温度和光照等因子对条纹斑竹鲨胚胎发育的影响	(280)
第四章 健康养殖技术与模式	(285)
第一节 点带石斑鱼不同养殖方式试验	(285)
第二节 三门青蟹虾蟹贝混养模式介绍及养殖效益分析	(289)
第三节 鼠尾藻人工栽培技术研究	(292)
第四节 脆江蓠池塘栽培技术研究	(298)
第五节 微藻的异养培养及其在水产养殖中的应用	(306)

第六节	竖立薄膜袋培养产能海洋微藻的研究	(310)
第七节	不同培养条件下金藻细胞生长速率及有机物质含量变化研究	(315)
第八节	体质量、盐度、温度和 pH 值对东方白虾的耗氧率和窒息点的影响	(320)
第九节	黄河三角洲地区海蜇池塘养殖模式	(327)
第五章	营养、代谢与消化生理	(334)
第一节	维生素 E 和硒的协同作用及其机理	(334)
第二节	饲料中添加锌对星斑川鲷幼鱼生长和体成分的影响	(342)
第三节	胆碱对星斑川鲷幼鱼生长、肌肉 IMP 含量、血清生化及免疫指标的影响	(348)
第四节	不同贮藏条件下星斑川鲷肌肉肌苷酸含量变化规律研究	(357)
第五节	饥饿对褐菖鲉代谢水平的影响	(362)
第六节	长蛸肌肉营养成分分析及评价	(367)
第七节	野生坛紫菜主要品质性状分析	(374)
第八节	坛紫菜叶状体营养细胞与生殖细胞叶绿素荧光特性比较	(379)
第九节	羊栖菜对氮、磷吸收速率的初步研究	(382)
第十节	6 种大型海藻对氮磷营养盐吸收效果的研究	(388)
第十一节	不同温度、光照和硝氮浓度对龙须菜无机磷吸收的影响	(395)
第六章	疾病预防、控制与免疫	(402)
第一节	HPV 的研究进展	(402)
第二节	缺氧胁迫与贝类免疫	(408)
第三节	栉孔扇贝急性病毒性坏死症的研究进展与预防策略	(414)
第四节	核酸分子生物学技术在对虾病毒检测中的应用	(418)
第五节	养殖刺参溃疡病研究进展	(423)
第六节	黄芩甙对中国对虾非特异性免疫相关酶活的影响	(428)
第七节	感染白斑综合征病毒的斑节对虾免疫酶变化特征	(437)
第八节	人工感染河流弧菌后牙鲆血清抗菌物质的研究	(443)
第九节	条石鲷工厂化养殖存在的问题及病害防治	(450)
第十节	福建省养殖拟穴青蟹呼肠孤病毒病的初步研究	(456)
第十一节	羊栖菜栽培敌害生物调查及其防治	(469)
第十二节	海带配子体克隆中一株镰刀菌的分离鉴定	(476)
第十三节	哈维氏弧菌 TS-628 菌株鞭毛蛋白、外膜蛋白及脂多糖抗原性研究	(480)

第十四节	4 株鳖源致病性嗜水气单胞菌的表型、分子鉴定及其毒力基因检测 ...	(485)
第十五节	雷丸和茶树菇深层发酵液对水产病原菌的抑菌活性分析	(495)
第七章	养殖生态与环境	(502)
第一节	东营市浅海滩涂经济贝类资源修复	(502)
第二节	兴化湾环境质量评价与健康养殖	(511)
第三节	不同人工参礁对刺参聚集行为的影响	(518)
第四节	湛江港海域天然养殖区牡蛎重金属污染状况	(524)
第五节	水温对圆斑星鲽养殖生态的影响	(529)
第六节	臭氧对条石鲷幼鱼鳃组织结构和抗氧化系统的影响	(537)
第七节	温度对羊栖菜生长的影响	(544)
第八节	干燥和模拟酸雨胁迫对条斑紫菜光合特性的影响	(551)
第九节	不同光照对角毛藻的生长速度及内部结构的影响	(557)
第十节	2008 年黄河入海口潮间带大型底栖动物群落组成及其多样性研究	(564)
第十一节	环境因子对条石鲷生长的影响	(573)
第十二节	中华原钩虾幼体孵化及生长对温度和盐度变化的响应	(581)
第十三节	短期低温条件对海蜇横裂生殖的影响	(588)
第十四节	渗透压对光合细菌生长速率的影响	(594)
第十五节	东极网箱养殖对水环境的影响	(598)
第十六节	池塘生态综合养殖结构的调查分析	(602)
第十七节	封闭式生物反应器中牟氏角毛藻培养条件的优化	(610)

第一章 综 述

第一节 世界水产养殖发展现状与趋势

20 世纪 50 年代世界渔业产量结构是海洋捕捞占 87.7%, 内陆捕捞占 9.3%。淡水养殖占 1.0%, 水产养殖仅占 3%。新中国成立初期, 生产力低下, 百废待兴。从 1950 年到 1952 年的三年恢复时期, 国家曾两次召开全国水产工作会议, 发布《关于渔业生产指示》, 扶持渔业生产。水产品产量从 1949 年的 52.4 万吨增加到 1952 年的 186.8 万吨。捕捞产量占 92%, 养殖产量仅占 8%。其中海水养殖占 1%, 淡水养殖占 7%。

到了 1980 年后, 世界渔业资源逐步衰退, 捕捞产量下降。水产养殖业得到重视, 海洋捕捞占 86.5%, 内陆捕捞占 6.8%。水产养殖产量由 3% 提高到 6.7%。

到了 2006 年, 随着中国水产养殖业的快速发展, 世界渔业结构发生了很大变化。世界水产养殖产量占世界总产量的比例跃升到 22.5%, 捕捞占 77.5%。

一、发展现状

世界现代渔业的发展, 大体可以分为以下几个阶段。

(一) 初步发展阶段

从 20 世纪初到第二次世界大战爆发以前, 世界渔业由于工业落后, 船舶、网具以及捕捞技术和生产技术十分落后, 世界渔业年产量一直维持在 1 700 万吨以下。这是世界渔业的初步发展阶段。由于蒸汽机的应用以及航海技术的进步, 20 世纪初世界海洋捕鱼业得到发展, 到第二次世界大战爆发前, 世界渔获量已从 1900 年的 350 万吨增加到 1 800 万吨。但是因第二次世界大战爆发, 世界渔业的发展受到很大挫折, 渔业资源基本处于未开发阶段。水产养殖产量不足为 1%。

(二) 恢复发展阶段

第二次世界大战后至 20 世纪 60 年代初, 这是世界渔业的恢复发展阶段。第二次世界大战期间, 许多沿海国家的渔船遭到不同程度的破坏, 渔业生产能力不高, 海洋中的渔业资源得以休养生息, 为后来渔业的发展奠定了基础。第二次世界大战结束后, 主要沿海国家积极在本国沿岸近海水域进行捕捞作业, 到 1950 年, 世界渔业产量恢复到战前最高水平, 达到 2 110 万吨。20 世纪 50—60 年代是世界海洋捕捞发展的重要时期, 各沿海国家大力建造和购买渔船, 开展对捕捞对象行动的研究, 改进渔具渔法, 作业范围逐渐扩大。1960 年世界渔业产量猛增至 4 020 万吨, 比 1950 年翻了一番。这一时期, 苏联制定了海洋渔业基本建设规划, 1956 年以后, 将其渔业投资的 80% 用于造船、建港及船舶修理。到 1961 年, 苏联已拥有 3 500 艘大中型拖网渔船和冷藏渔船, 成为世界上最庞大的

渔船队,作业范围扩大到大西洋北部和太平洋西北部。渔业产量逐年提高,1950年为163万吨,到1960年达305万吨。在这一阶段中,世界淡水渔业产量也从1950年的240万吨,增加到1960年的560万吨。

从世界水产品产量结构来看,20世纪50年代世界渔业产量结构是海洋捕捞占87.7%,内陆捕捞占9.3%。水产养殖仅占3%。淡水养殖占1.0%,海水养殖占1.6%。

(三)快速发展阶段

20世纪60至70年代初是世界渔业快速发展阶段。随着世界工业水平的不断提高和科学技术的进步,渔船向大型化、高马力发展,海洋捕捞技术逐渐实现现代化,使海洋渔业的生产范围不断扩大,捕捞活动迅速向外海和远洋扩展,新渔场不断被开发。据统计,到1969年世界海洋渔业产量已从50年代末的3000万吨,增加到5400万吨,10年内世界渔业总产量增长了近70%。

在这一阶段中,日本由于科技和工业水平的迅速提高,许多科技成果应用于海洋渔业生产,从而有力促进了海洋渔业的现代化。1955—1965年期间,日本的海洋渔业以外海渔业为主,1965年以后,远洋渔业的比重逐年增加。到1973年,其远洋渔业产量高达400万吨,占该年总产量1009.3万吨的40%,居各种海洋渔业产量之首。与此同时,外海渔业产量也有所增加,唯独其沿岸渔业,产量徘徊在180万~200万吨之间。同时,苏联渔船数量不断增加,1971年苏联已拥有100t级以上的捕捞渔船3108艘,运输加工船455艘,总吨位达490万吨,占世界100吨位以上渔船总数的50%以上。80%以上的渔船都安装了冷藏设备,60%的渔船备有加工设备。这个时期苏联已组成了5个船队,遍布世界各大海域。远洋渔业产量从1966年的200万吨,迅速增加到1972年的390万吨,占该年水产品总产量970.9万吨的40%以上,占海洋渔业总产量的56%以上。20世纪60年代出现了网箱养鱼和工业化养鱼,60年代中期,配合饲料及我国的家鱼人工繁殖技术开始在世界普及,有力地促进了淡水养殖业的发展。淡水渔业产量也从1960年的560万吨,增加到1971年的638万吨。

(四)徘徊、缓慢发展阶段

20世纪70—80年代初,是世界渔业徘徊、缓慢发展阶段。20世纪70年代以后,世界渔业年产量虽然不断增加,但增长速度明显下降。1970年世界渔业产量6558万吨,直到1978年才超过7000万吨,1980年为7209万吨,10年只增加了9%。造成这一状况的重要原因:一是自20世纪60年代以来,由于世界海洋渔业发展迅速,世界海洋渔业捕捞能力逐渐接近于渔业自然资源的再生能力,从而导致世界海洋渔业自然资源衰退;二是进入70年代以后,许多沿海国家为维护本国权益,发展本国渔业经济,纷纷宣布实施200海里经济区或渔区,对在其200海里水域内作业的外国渔船不仅征收高额税金,而且还限制捕捞数量。因此,200海里的海洋新体制严重地制约了日本、苏联等主要远洋渔业国家的远洋渔业产量;三是世界性的能源危机,燃料价格的不断上涨也限制了世界海洋渔业的进一步发展。

由此,世界渔业的发展出现了新的变化,海洋渔业进入了保护、增殖和合理利用资源的新时代。海水增殖业是20世纪70年代才普遍兴起的利用海洋生物资源的产业。海洋增殖

业是指用人工措施放流苗种或人工栽培、科学管理、收获以及对海洋环境改造保护,使水产资源再生产类似于农业的一种渔业方式。这种方式的出现和发展,是海洋渔业史上的一次重大变革。

20 世纪 70 年代中期,渔业发展发生了两大变化:一是积极改进船型,发展节能型渔船和适用于在近海、沿岸作业的中、小型渔船(300~500 吨级);二是发展用于远洋渔业的综合船队,包括调查船、捕捞船、加工船和运输船,进行综合作业。渔船高度机械化和自动化。20 世纪 70 年代内陆渔业产量从 1970 年的 609 万吨,增加到 1980 年的 767 万吨。由于科学技术不断地相互渗透,养殖业出现了“强化养殖”,单产大幅度提高,苗种生产逐渐走上专业化和集约化。稻田养鱼在亚洲、欧洲、西非和美国均有发展。特别是淡水虾(罗氏沼虾)的养殖,在 70 年代引起世界范围的重视,逐渐形成了专业化的养虾业,马来西亚居世界之首。

20 世纪 80 年代以来,是世界渔业稳定发展,世界水产品产量明显上升阶段。1980 年世界渔获量为 7 213 万吨,1986 年上升到 9 146 万吨,7 年间渔获量增加了 27%,海洋渔业产量增加了 24.6%,淡水渔业产量增加了 44.9%。

淡水养殖业的迅速发展是目前世界渔业的重要特征,它已成为与农业综合企业相类似的行业,其对发展经济的重要作用,已日益为人类所认识。无论是发达国家还是发展中国家,都在积极规划和投资,发展淡水养殖业。淡水养殖产量由 20 世纪 60 年代末的 300 万吨,增加到目前的约 800 万吨,其中 80% 来自亚洲,我国约占世界总产量的 1/3。

20 世纪 80 年代,在淡水养殖中,世界兴起“养鳗热”,我国台湾省和日本养鳗业尤其发达。意大利、美国、以色列、埃及、匈牙利、新西兰也在从事试验性养殖和生产。国外在致力于改善饲料配方和改进制作技术的同时,加强了合理投饵技术的研究,以提高饲料利用率。先进国家的配合饲料已多样化、系列化和标准化。在海水养殖中,形成了世界性的“养虾热”。据 FAO 统计,1975 年世界养殖虾产量只有 15 663 吨,占世界养殖总产量的 0.25%;1980 年发展到 71 245 吨,占 0.82%;1983 年增至 123 445 吨,占世界养殖总产量的 1.21%,其中对虾产量最高,但是由于 90 年代虾病暴发使产量锐减。近年来,随着凡纳滨对虾等养殖种类的兴起,养殖产量有所提高,2007 年世界养殖虾产量达 327.572 6 万吨(FAO),其中凡纳滨对虾产量为 280 万吨。

养殖产量的增加和在总产量中所占比重的提高是目前渔业发展的重要特征。1975 年世界养殖产量 610 万吨,占总产量 6 649 万吨的 9.2%,1980 年为 800 万吨,占 11.1%;1983 年为 1 021 万吨,占 13.2%;1985 年增加到 1 243 万吨,占 14.6%。

20 世纪 80 年代以来,海洋渔业产量增长速度虽然稍慢于淡水渔获量增长速度,但也逐年增加。由于世界各国和地区不断增加对中上层鱼类的开发,狭鳕、远东沙丁鱼、毛鳞鱼、大西洋鲱的产量大幅度增加。此外,80 年代以来,主要渔业国加紧了对南极磷虾开发的步伐,1986 年南极磷虾的渔获量增加到 44.6 万吨。20 世纪 80 年代后和 90 年代初,世界渔业资源逐步衰退,捕捞产量下降。水产养殖业得到重视,海洋捕捞占 86.5%,内陆捕捞占 6.8%。水产养殖产量由 3%,提高到 6.7%。近年来,世界海水养殖产量在海产品总产量的比例在稳步增加,捕捞产量稳中有降。

(五) 平稳发展阶段

20 世纪 90 年代中期至今,世界渔业发展趋势明显减慢。在 90 年代初,世界捕捞渔业产量略有增加,海洋捕捞渔业仍占世界捕捞渔业产量的 90% 以上,其余来自内陆水域。世界水产养殖产量却在不断上升,世界水产养殖产量约占世界渔业总产量的 20%,占食用水产品总量的 26%。其中,淡水养殖产量约占总养殖产量的 2/3。当时,世界人口每年以 8 700 万人的速度增加,而耕地则从 1961 年的人均 0.44 公顷降到 0.26 公顷。“人增地减粮食紧”已成为一个全球性的严峻问题。人类已经开始认识到,对海洋和内陆水域的合理开发利用,是拓展人类生存与发展空间的必然趋势。

1995 年联合国粮农组织(FAO)在罗马召开的各国渔业部长级会议和在日本京都召开的“渔业对粮食安全保障的持续贡献国际会议”上,都特别强调了发展渔业对保障世界粮食安全的重要作用。20 世纪 90 年代始,全世界 17 个重点渔区中已有 13 个渔区处于鱼群枯竭或产量急剧下降状态。随着全球性经济快速发展和沿海、沿江人口的增加,水域污染问题日益突出、养殖生态系统功能退化。1995 年 3 月联合国粮农组织召开了各国渔业部长会议,8 月份联合国组织又召开了渔业会议,这两个会议都强调了保护海洋渔业资源和生态环境的重要性。特别是,根据联合国 1994 年 11 月 16 日实施的《联合国海洋法公约》有关规定而制定的《国际负责任渔业行为准则》,进一步明确了国际间海洋捕捞业的责任,提出了为保护渔业资源和生态环境,要使用安全捕捞技术,改进渔具选择性,做到负责任捕捞。一些区域性渔业组织在其管辖水域中也制定了相应的捕捞规定,严格限制破坏资源的渔具。

进入 21 世纪初,世界水产养殖业得到高度重视,根据联合国粮农组织的统计,世界渔业产量突破 1 亿吨,海洋渔业提供了全球 20% 的动物蛋白,2006 年,世界海洋渔业总产量达到 1.4 亿吨,产量基本稳定。2006 年以来,随着中国水产养殖业的快速发展,世界渔业结构发生了很大变化。世界水产养殖产量占世界总产量(9 799 万吨,不包括中国)的比例跃升到 22.5%,捕捞占 77.5%。大大高于 1950 年水平。中国海水养殖产量约占世界产量的 70% 图 1-1 至图 1-4 和表 1-1。

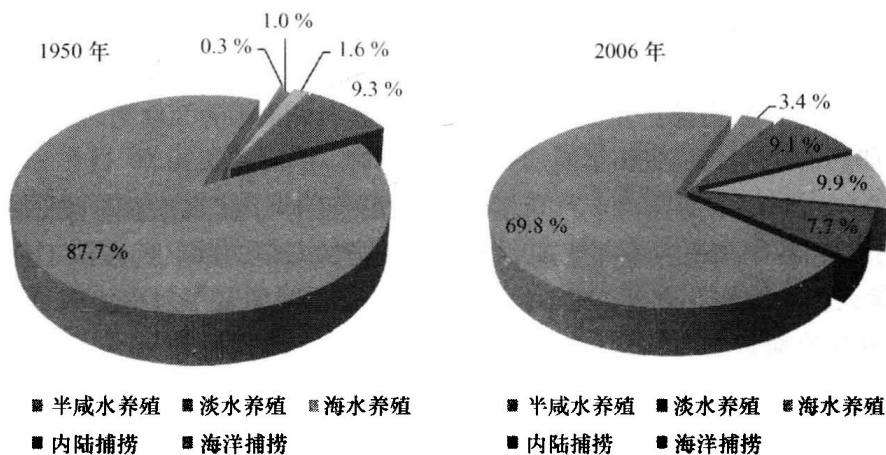


图 1-1 世界渔业结构变化图(渔业产量不包括中国)

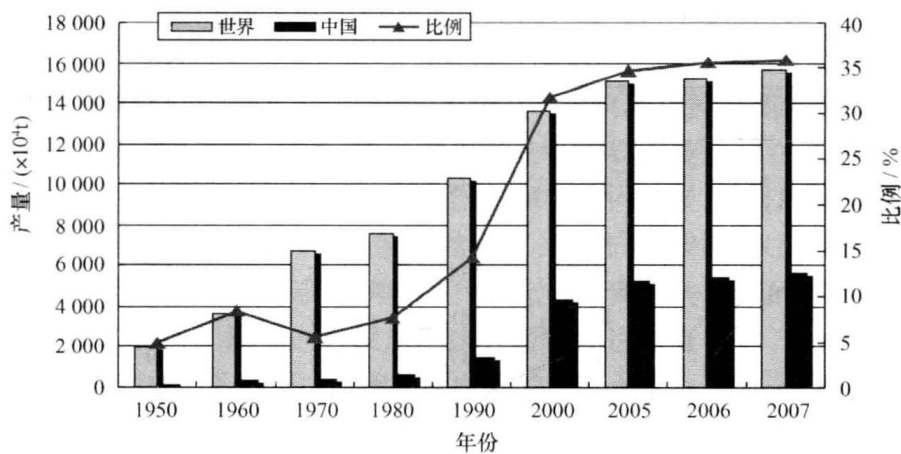


图 1-2 世界和中国水产品历年产量情况

数据来源: fishstate plus, 表中数据为养殖和捕捞的合计数, 数据截止到 2007 年.

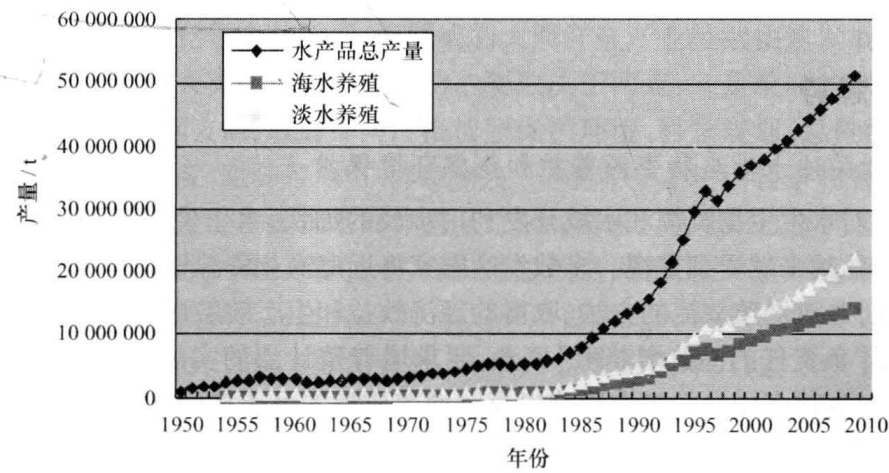


图 1-3 1950—2009 年全国水产品产量趋势图

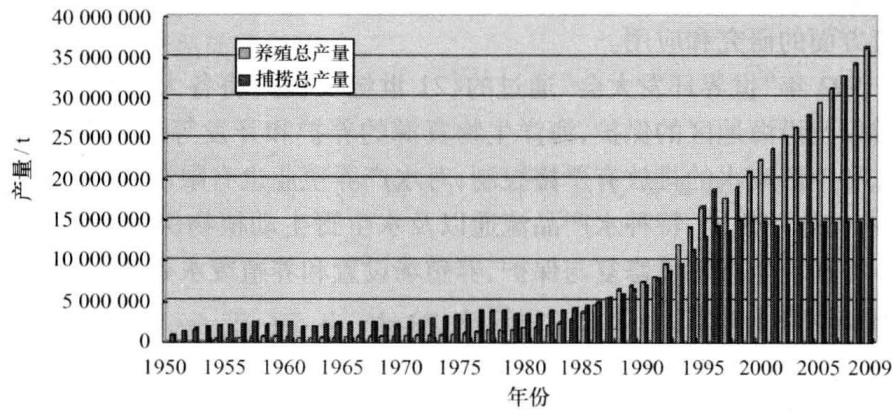


图 1-4 1950—2009 年全国水产养殖与捕捞总产量变化趋势

表 1-1 世界渔业总产量和水产养殖产量统计 × 10⁶ t

年份	2002	2003	2004	2005	2006
内陆					
内陆捕捞	8.7	9.0	8.9	9.7	10.1
内陆水产养殖	24.0	25.5	27.8	29.6	31.6
内陆产量合计					
海洋	32.7	34.4	36.7	39.3	41.7
海洋捕捞	84.5	81.5	85.7	84.5	81.9
海水养殖	16.4	17.2	18.1	18.9	20.1
海洋水产品产量合计	100.9	98.7	103.8	103.4	102.0
世界捕捞产量合计	93.2	90.5	94.6	94.2	92.0
世界水产养殖合计	40.4	42.7	45.9	48.5	51.7
世界渔业总产量合计	133.6	133.2	140.5	142.7	143.6

注:不包括水生植物。

二、发展趋势

(一)更加关注水生生物资源养护和生态环境保护

随着人类对水生生物资源和水域开发利用步伐的加快,水生生物资源养护和水域生态环境的保护问题越来越受到重视。多数发达国家将近海渔业资源增殖作为渔业资源养护的一项重要措施,并对增殖放流的方法、取得的经济效益和生态效益进行评估。联合国粮农组织专门提出了“负责任的渔业增养殖”概念,要求增养殖计划的实施,必须依据海域的资源状况和环境,对生物多样性的潜在影响以及对增殖放流的可能替代方案进行评估,以实施负责任的渔业资源增殖。在浅海滩涂开发利用中,重视环境效益和生态效益,要求在开发利用之前,必须对环境容纳量、最大允许放流量、放流种群在生态系统中的作用以及养殖自身污染、生态入侵可能造成的危害等因素分别进行论证。鉴于大水面养殖和水环境质量之间存在相互影响、相互制约的复杂关系,一些发达国家非常重视水库湖沼学和水利工程对环境的影响及其对策方面的研究和应用。

另外,在 1992 年“世界环发大会”通过的《21 世纪议程》,将各大洋和各海域,包括封闭和半封闭海域以及沿海地区的保护,海洋生物资源的养护和开发等列为重要议题。发达国家不仅对工业和生活废水的排放有严格控制,对水产养殖业也有限制,制定了养殖业废水排放标准、渔用药物使用规定、特种水产品流通以及水生野生动植物保护等要求,形成了一系列法律体系。在渔场生态环境修复与保护、养殖场设置和养殖废水处理、减少污染物的扩散或积累等方面都取得了实效。

(二)不断研发推广高效集约式水产养殖技术

高效的集约式养殖技术,如深水抗风浪网箱养鱼、工厂化养鱼等蓬勃兴起,而且技术日臻成熟、品种不断增加、领域不断拓展、范围不断扩大,成为现代水产养殖业发展的方向。在海水网箱养殖方面,日本最先兴起,以养殖高价值的鱼类为主,并能够利用网箱完成亲鱼产

卵、苗种培育、商品鱼养殖以及饵料培养等一系列生产过程,同时将网箱养鱼向外海发展。近十多年来,挪威、芬兰、法国、德国等致力于大型海洋工程结构型网箱以及养殖工程船的研制。网箱样式多、材料轻、抗老化、安装方便,采用自动投饵和监控管理装置,能承受波高 12 米的巨浪。同时,太阳能、风能、波能、潮汐能和声光电诱导等技术均在网箱养鱼中得到应用。目前,网箱养殖系统正在向抗风浪、自动化、外海型方向发展,具有广阔前景。

工厂化养殖是利用现代工业技术与装备建立的一种陆地集约化水产养殖方式。具有养殖密度高、不受季节限制、节水省地、环境可控的特点,得到一些国家的重视,并从政策、立法、财政等方面予以支持,积极推进其发展。这方面较发达的有日本、美国、丹麦、挪威、德国、英国等国家。较为成功的有英国汉德斯顿电站的温流水养鱼系统、德国的生物包过滤系统、挪威的大西洋鲑工厂化育苗系统和美国阿里桑纳白对虾良种场等。目前,工厂化养殖的主要方式是封闭式循环水养鱼,养殖品种多样化,主要是优质鱼虾和贝类等品种。

(三) 将现代科技和管理理念引入水产养殖业

挪威的大西洋鲑养殖管理是这方面较具代表性的案例。大西洋鲑养殖遍布欧洲、北美和澳洲等许多国家,产业竞争十分激烈,而挪威的大西洋鲑产业持续快速发展,多年稳居世界前列,成为挪威的第二大支柱产业。其成功主要取决于两点:一是政府的严格管理;二是完善的技术体系。在管理方面:政府部门严格按照保护环境、科学规划、总量控制等原则和理念,实施养殖许可证制度,对养殖地点、养殖密度、养殖者专业培训背景和管理经验、养殖运营中病害传播、污染风险等都提出了具体甚至苛刻的要求。在全球建立完善的营销网络,通过政府资助不断拓展国际市场。在技术方面,通过改造网箱,使养殖环境得到改善,网箱由大型向超大型发展,网箱周长由过去的 50 米发展到目前 120 米;实现种质与饲料标准化。选育出了生长快、抗逆性好、抗病力强的良种,并成为养殖的主体,目前 80% 的产量来源于一个优良品种的支撑,饲料配方也不断改进和完善,使饲料的营养更加平衡;饵料投喂精准化,可通过计算机操纵,精确地定时定量定点自动投喂,并根据鱼的生长、食欲及水温、气候变化、残饵多少,通过声呐、电视摄像及残饵收集系统,自动校正投喂数量,还可自动记录每日投喂时间、地点及数量;积极研制和推广应用疫苗,4 种常见病疫苗已广泛应用于生产,并可以混合注射,一次注射可终身免疫,疫苗的普遍采用,不但控制了疾病,减少了抗菌素使用量,还从根本上保证了产品质量的安全。

刘世禄 王建坤

(中国水产科学研究院 黄海水产研究所,青岛 266071)

第二节 海洋环境生物修复技术研究与应用新进展

一、生物技术的基本概念

生物修复(bioremediation)是利用生物的生命代谢活动减少存在于环境中有毒有害物质

的浓度或使其完全无害化,从而使污染了的环境能够部分或者完全恢复到原始状态的过程^[1]。

根据生物修复的污染物种类,它可分为有机污染生物修复、重金属污染的生物修复和放射性物质的生物修复等。生物修复技术,指一切以利用生物为主体的环境污染的治理技术。对海洋生态环境而言,它包括利用藻类、动物(鱼虾贝等)和微生物吸收、降解、转化沉积环境和水体中的污染物,使污染物的浓度降低到符合功能的水平,或将有毒有害的污染物转化为无害的物质,也包括将污染物稳定化,以减少其向周边环境的扩散。值得指出的是:生物修复的概念在很长的一段时间内的内涵是:在没有人类干预的情况下,自然及人工产生的污染物都能天然降解。这一自然降解过程,就是通过微生物、酶、某些化学物质及大气的联合作用去除毒素的。生物技术,通过选择、浓缩、驯化微生物来进攻、去除一些以碳氢化合物为骨架的毒素,降解这些物质的时间就由原先的几十年缩到短短的几个星期,大大加快这一自然净化过程^[2]。

二、生物修复技术发展的萌芽阶段

关于生物修复的研究进展已有很多学者对其进行了综述报道^[3-5],但报道的研究进展时段主要集中在 2005 年的前 20 年间。但从这些报道中,可以比较清楚地看出,生物修复技术研究与应用发展的脉络。生物修复技术是 20 世纪 80 年代以来出现和发展的清除和治理环境污染的生物工程技术。在该技术的萌芽阶段,主要应用于环境中石油烃污染的治理,并取得成功。由于生物修复技术具有费用低、应用范围广、不会形成二次污染或导致污染物转移以及可以最大限度地降低污染物浓度等优点,因此该技术被不断扩大应用于环境中其他污染类型的治理。世界各国,如欧洲的德国、丹麦、荷兰,亚洲的中国、日本、印度尼西亚、泰国等对生物修复技术非常重视,在生物修复技术研究与应用方面均取得了重要成果和显著的效果。以欧洲为例,从事该项技术的研究机构和商业公司大约有近百个,他们的研究证明,微生物是自然界生态系统中的分解者,它可使进入环境的污染物不断地降解,最终转化为 CO_2 、 H_2O 等无机物,使污染的环境得以净化,利用微生物分解有毒有害物质的生物修复技术是治理大面积污染区域的一种有价值的方法。美国国家环保局、国防部、能源部都积极推进生物修复技术的研究和应用。美国的一些州,如新泽西州、威斯康星州规定将生物修复技术列为净化受储油罐泄漏污染土壤治理的方法之一。美国能源部制定了 20 世纪 90 年代土壤和地下水的生物修复计划,并组织了一个由联邦政府、学术和实业界人员组成的“生物修复行动委员会”(Bioremediation Action Committee)来负责生物修复技术的研究和具体应用。生物修复技术最成功的案例是 Jon E. Llidstrom 等在 1990 年夏到 1991 年应用投加营养和高效降解菌对阿拉斯加 Exxon Valdez 王子海湾由于油轮泄漏造成的污染进行的处理,取得非常明显的效果,使得近百千米海岸的环境质量得到明显改善。亚洲各国对生物修复技术的研究与应用主要体现在,利用微生物制剂调节养殖水体质量^[6-8],利用筛选菌株降解消除养殖池底泥中有机污染物^[9-10],利用分离到可抑制病原的菌株进行疾病防治和促进养殖生物生长^[11]。

三、生物修复技术研究与应用新进展

进入 21 世纪,生物修复技术得到快速的发展,应用领域得到了进一步的拓展,应用理念

得到进一步的深化,所取得的效果更加明显,特别是在海洋环境修复中发挥了其他修复技术无法代替的作用。其中生物修复发展的一个重要特点是:更多地从生态学观点出发,采用生态学原理分析养殖生态系统的结构与功能,通过筛选和优化适合养殖水体特定生态条件下大型藻类、鱼、虾、贝等,建立耦合的新型海水养殖生态系统模式,以有效地吸收、利用养殖环境中多余的氮、磷等营养物质,从而减轻养殖废水对环境的影响,降低养殖系统的病害发生率,并提高养殖系统的经济输出。同时大型藻类、贝类等生物可以固碳、产生氧气、调节水体的 pH 值,达到对养殖环境的生物修复和生态调控作用,获得经济效益与环境效益的统一。欧盟启动了有关富营养化和大型海藻的 EUMAC 研究计划,研究水域从波罗的海到地中海的欧洲沿岸海区,其目的旨在了解海藻在海区富营养化过程中的响应和作用^[12-14]。Krom 等^[15]比较了海水网箱养殖、浮游植物调节和大型海藻调节三种不同养殖系统中氮的流向,发现鱼产量相近的情况下,浮游植物调节的养殖系统中,在浮游植物生物量较高时,70% 的氮以颗粒态的形式存在于水体中,浮游植物量很少时,氮的存在形式与网箱养殖系统相似,主要是以颗粒氮和溶解态氮的形式存在,而养殖海藻的系统中大部分的氮可以通过鱼体和藻体的收获输出。何培民等^[16]指出,每 1 000 t 紫菜可从海洋中除去 50 ~ 60 t 氮和 10 t 磷,每 1 000 t 海带可除去 30 ~ 40 t 氮和 3 t 磷,每 1 000 t 江蓠可除去 50 ~ 60 t 氮和 3 t 磷,每 1 000 t 浒苔可除去 45 t 氮和 5.5 t 磷。何培民等^[16]实测结果也表明,广东省珠海桂山岛附近海域网箱养殖区生长的江蓠、海带、石莼、羽藻和草叶马尾藻中 TN 的平均含量范围为 4.076% ~ 5.460%。徐永健等^[17]研究表明,在有脉冲氮、磷输入时,菊花江蓠的生长速率大大增加,而介质中营养盐快速下降,在低密度系统中,含氮营养盐去除率大于 50%;在高密度系统中含氮营养盐几乎完全被去除;对磷的去除率也能达到 40% 左右。

随着养殖产业的不断发展,养殖自身污染受到了普遍关注和重视。为了控制和减少养殖对环境的影响,近年来提出了“零排放”、“清洁养殖”、“碳汇渔业”、“循环经济”等新理念,进而推动了生物修复技术进步与广泛应用,如在工厂化循环水养殖和养殖废水无害化处理方面采用了大量的生物修复方法与技术。傅雪军等^[18-19]对工厂化循环水养殖系统中的自然微生物生物挂膜过程及其处理效率进行了较系统的研究,构建的生物滤池对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、COD 及 SS 的平均去除率分别为 58.13%、12.66%、10.47%、25.36% 和 30.30%。林更铭等^[20]利用海水工厂化养殖排出的废水养殖双齿围沙蚕、菲律宾蛤仔、长牡蛎和细基江蓠等,结果表明:双齿围沙蚕耐污染能力最强;细基江蓠和双齿围沙蚕具有较强的净化水质能力。养殖废水经 7 d 处理后, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、COD 和底质有机物分别下降至处理前的 11.20%、23.69%、27.50%、14.6%、3.2% 和 0.32%,且沙蚕和江蓠平均日生长率分别为 2.30 mg/(g·d) 和 80 mg/(g·d),该方法不但能净化水质,还能实现养殖废水的循环利用。曲克明等^[21]研究了常见大型藻类对氮、磷营养盐的去除效果和贝类对悬浮颗粒物的去除效果,结果表明,石莼和海带在同样的实验条件下吸附氮、磷营养盐的效果明显高于鼠尾藻和马尾藻。密度 2 g/L 的石莼和 7.52 g/L 的海带是较好的养殖密度。牡蛎具有较高的去除悬浮颗粒物的效率,可以在 24 h 内除去养殖废水中 93% 的悬浮颗粒物。John 等^[22]研究表明,人工湿地对海水养殖废水中 SS、TP、N、BOD₅ 和 COD 等都有很好的去除效果。崔正国在参与实施“十一五”国家科技支撑计划项目“工程化养殖高校生产体系构建技术与开发”中,对海水人工湿地构建与对