

# 水产生态养殖与新养殖模式发展战略研究

方建光<sup>1</sup>, 李钟杰<sup>2</sup>, 蒋增杰<sup>1</sup>, 王齐东<sup>2</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东青岛 266071; 2. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

**摘要:** 发展可持续的水产养殖对于保障水产品供给、改善膳食结构、促进农民增收等方面具有重要意义。本文系统阐述了水产生态养殖与新养殖模式发展战略研究的意义, 分析了国内外水产养殖业的发展现状, 结合国内外水产生态养殖与新养殖模式发展的经验以及我国面临的主要问题, 提出了我国水产养殖业高效、可持续发展的关键技术和对策建议。

**关键词:** 水产养殖; 环境友好; 养殖模式

**中图分类号:** S96 **文献标识码:** A

## Development Strategy for Ecological Aquaculture and New Mode of Aquacultural Farming

Fang Jianguang<sup>1</sup>, Li Zhongjie<sup>2</sup>, Jiang Zengjie<sup>1</sup>, Wang Qidong<sup>2</sup>

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, Shandong, China; 2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The sustainable development of aquaculture is important for ensuring a steady supply of aquacultural goods, which will in turn improve the food structure and increase farmers' income. This paper summarizes the implications of research on the development strategy for ecological aquaculture and a new mode of aquacultural farming and analyzes the current state of aquaculture development. It also provides a comparative analysis from international perspectives on the aforementioned subjects and the main challenge China faces at present. This paper concludes by presenting a summary of key technologies and recommendations for high efficiency and sustainable development of China's aquacultural farming industry.

**Key words:** aquaculture; environmentally friendly; aquaculture mode

### 一、前言

随着海洋与内陆水域渔业资源的枯竭, 水产捕捞量逐年下降, 发展水产养殖成为解决动物蛋白质短缺的重要途径之一。根据联合国粮食及农业组织统计, 2014 年全球可供食用的水产品总量为

$1.643 \times 10^8$  t, 其中  $7.43 \times 10^7$  t 来自于水产养殖业<sup>[1]</sup>。世界银行、联合国粮食及农业组织和国际粮食政策研究所发表的《2030 年渔业展望: 渔业及水产养殖业前景》预测, 到 2030 年, 直接供人类食用的水产品供应量中将有超过 60% 来自水产养殖业。然而, 进入 21 世纪, 传统的水产养殖业面临

收稿日期: 2016-04-27; 修回日期: 2016-05-16

作者简介: 方建光, 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 研究员, 研究方向为海水健康养殖模式与技术研究; E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn

基金项目: 中国工程院重点咨询项目“水产养殖业十三五规划战略研究”(2014-XZ-19-3)

本刊网址: www.enginsci.cn

着水域环境恶化, 养殖设施陈旧, 养殖病害频发, 水产品质量安全隐患增多, 水产养殖发展与资源、环境的矛盾不断加剧等突出矛盾和挑战, 这些问题已成为水产养殖业健康持续发展的巨大障碍<sup>[2]</sup>。在这样的背景下, 改造提升传统的水产养殖业, 大力发展绿色、环保、节能、循环的环境友好型生态养殖模式, 对于实现人与自然和谐共处、保障水产养殖产业的健康、高效、可持续发展具有重要的现实意义。

## 二、水产生态养殖与新养殖模式国内外发展现状

### (一) 淡水养殖

#### 1. 国际淡水生态养殖与新养殖模式发展现状

##### (1) 基于生态系统水平的水产养殖管理

联合国粮食及农业组织对基于生态系统水平的水产养殖进行了定义: 一种强调生态系统完整性、协调性和多方参与生态系统管理, 促进水产养殖可持续发展的运行方式<sup>[3]</sup>, 其最根本的目的是整合部门和政府在资源管理方面的工作, 建立管理机制, 有效地在水产养殖所涉及生态系统中活动的各部门以及政府各级之间进行协调, 以实现水产养殖部门在环境、经济和社会等方面的可持续发展。为实现水产养殖全方位的可持续发展, 需从养殖场、流域和全球尺度水平上采取管理措施。在以色列, 集约化池塘养殖产生的废水被用作半集约化养殖池塘的“肥料”, 以资源化利用养殖废水中的营养物质。在匈牙利, 长期采用“渔农轮作”以资源化利用池塘底泥中的营养物质。在孟加拉国、越南、日本和中国等国家, “稻渔综合种养”技术在被大规模应用, 取得了良好的经济、社会与生态效益。在德国和美国, “鱼菜共生”技术的产业化研发进展迅速, 并取得了一定的产业化应用。在巴西, 环境容量和承载力模型被应用于大型水库中网箱养殖罗非鱼的养殖容量估算与区域规划。英国和爱尔兰已开始采用水产养殖管理框架, 包括区域管理协议和本地水产养殖协调管理系统, 这些体系可确保水产养殖在收获、休耕和疾病治疗方面的协调管理。

##### (2) 环境友好型健康养殖模式与技术

淡水养殖业比较先进的发达国家有日本、美国、欧盟成员国等, 这些国家经济实力较强, 科学

技术发达, 大量的工业化管理技术应用于水产养殖业, 对水环境保护方面的要求非常苛刻, 建立了较完善的养殖对环境影响的评估体系和养殖废水排放标准, 有些国家甚至制定了相关法律。这些国家普遍发展集约化养殖, 在集约化养殖相关的环保饲料、投喂技术、复合种养、水质调控、养殖工程、养殖设施和水处理技术等方面已有较高的水平。

在健康养殖技术及健康养殖管理方面比较有代表性的是美国的淡水鲟鱼养殖。对鱼类的养殖生物学、生态环境基础理论的研究比较深入系统, 养殖设施先进, 而且操作机械化程度很高, 单位水体产量及质量都很高, 并有明确的卫生标准, 此外, 制定了一系列法规和健康管理办法, 如控制养殖规模、建立疫病防疫体系等。

#### 2. 我国淡水生态养殖与新养殖模式发展现状

我国是世界上最早开展淡水养殖的国家, 拥有两千多年的养殖历史, 积累了非常丰富的实践经验。经过 30 多年的快速发展, 我国淡水养殖产量对世界淡水养殖产量的贡献率从 1980 年的 38.5% 上升到 2013 年的 63.9%, 位居世界首位<sup>[4]</sup>。2014 年, 我国淡水养殖产量为  $2.93576 \times 10^7$  t, 其中, 鱼类产量为  $2.60297 \times 10^7$  t, 虾、蟹等甲壳类产量为  $2.5597 \times 10^7$  t, 贝类产量为  $2.512 \times 10^5$  t, 藻类产量为 8 500 t, 其他类产量为  $5.085 \times 10^5$  t。从养殖品种来看, 草食性、滤食性和杂食性的淡水养殖品种仍占主导地位, 约占淡水养殖总产量的 85%。

从养殖模式上看, 我国所有的天然水域和人工水体, 如池塘、湖泊、水库、江河和稻田等均可用作水产养殖<sup>[4]</sup>。总体上, 池塘养殖仍处于主导地位, 多种养殖方式共同发展, 且形成了各自的特色。全国池塘养殖面积保持小幅度增长趋势, 养殖品种仍以大宗淡水鱼类为主 (占 67% 以上), 多类型混养模式 (同池搭养不同食性的非主养鱼、虾和蟹等种类产量比例约占 20% 或更多) 仍占主导, 名优鱼类养殖产量所占比例也不断提高。全国湖泊和水库养殖面积约占全国淡水养殖面积的 50%, 贡献了约 20% 的淡水养殖总产量, 其中绝大多数水产品符合有机绿色水产品标准, 大水域渔业正在逐步转型为以生态环境保护和天然饵料生物利用为目标的生态渔业, 其核心是基于多种土著经济种类资源养护和增殖的生态学管理, 对我国有机绿色水产品的可持续生产有重要意义。稻田养殖是我国历史悠久

的一种养殖模式，近些年来其模式不断优化创新，养殖品种从鲤科鱼类向河蟹、克氏原螯虾、中华鳖等名优水产组合转变，养殖方式从“轮作”发展到“共作”，养殖效益和生态效益显著提高（见图1）。

按照单位面积生产水面的投入品量（如鱼苗、饲料、鱼药、电力等外源物质）划分，各种水体的养殖模式可以分为超高密度养殖、集约化养殖、半集约化养殖和粗放型养殖。超高密度养殖是集约化养殖的高级阶段，主要应用于循环或流水系统及网箱系统养殖，其过程大量运用现代渔业设施、饲料、水质净化、增氧调温、自动投饵等先进技术，实现养殖全程的高效控制，取得了较高的经济效益。集约化养殖主要应用于精养池塘系统，运用现代科技和先进的装置设施，利用鱼类的集群行为习性，对养鱼过程的主要环境因子如水流、水质、溶氧、水温、光照、饲料等进行人工或半人工调控，以改善鱼类高密度养殖条件，达到高产出、高效益的目的。半集约化养殖主要是运用投粗饲料或施肥提高鱼产量的一种过渡养

殖方式，没有对水质进行严格调控，主要在一些养殖技术或经济较为落后的地区开展。

混养是我国淡水池塘养殖最广泛和最成功的实例，不同食性鱼类混养能够充分利用池塘生态系统中的饵料资源。近些年来，市场需求等因素对池塘混养品种选择的影响越来越大，混养池塘中名特优品种所占比例在逐年增加，甚至尝试混养一些新品种，如在中华鳖养殖池塘中，混养一定密度的黄颡鱼（价格较稳定），能显著降低因中华鳖价格大幅波动带来的风险。

## （二）海水养殖

### 1. 国际海水生态养殖与新养殖模式发展现状

#### （1）多营养层次综合养殖模式与技术

多营养层次综合养殖模式是近年提出的一种健康可持续发展的海水养殖理念<sup>[5]</sup>，由不同营养级生物（如投饵类动物、滤食性贝类、大型藻类和沉积食性动物等）组成的综合养殖系统，系统中一些生物排泄到水体中的废物成为另一些生物功能群的营

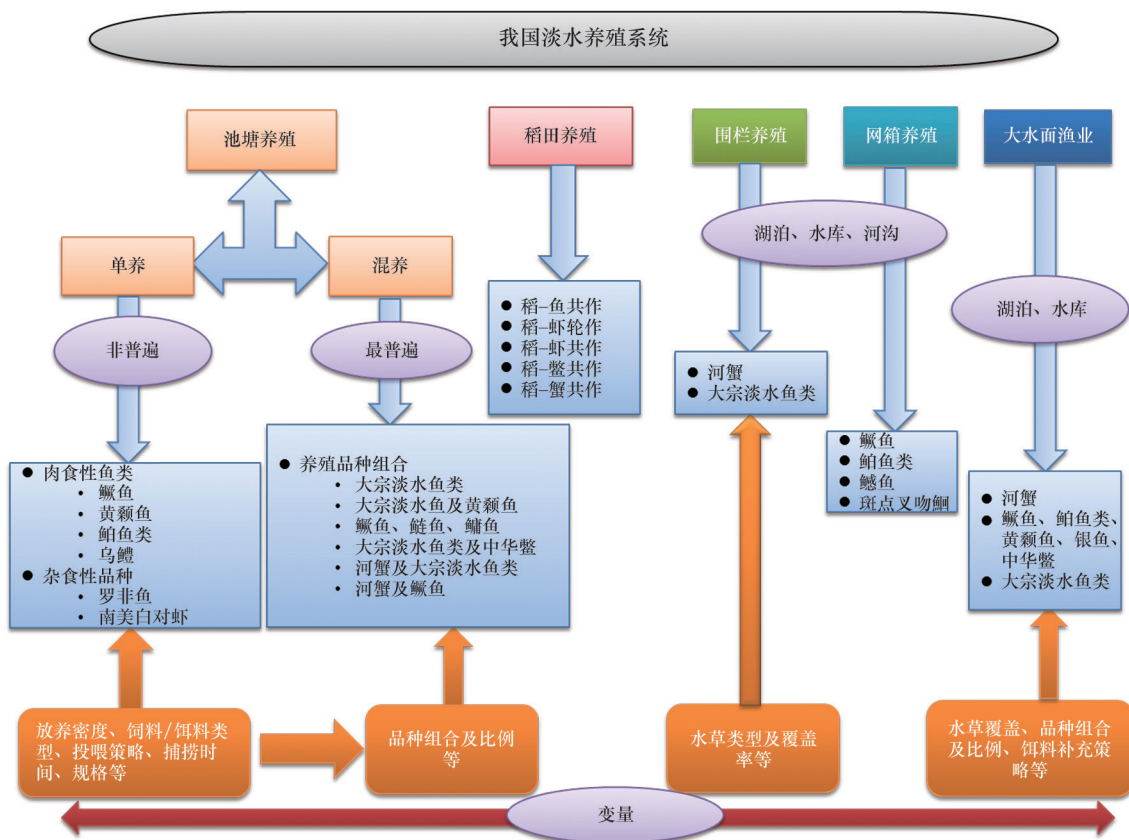


图1 我国淡水养殖系统简图<sup>[4]</sup>  
注：蓝色方框内仅是例子，不代表全部的养殖品种。

养物质来源,从而达到养殖系统中营养物质的高效循环利用,提高食物产出效率,控制养殖水域富营养化的环境友好型生态高效养殖的目的。多营养层次综合养殖实现了养殖系统中营养物质在不同营养级生物间的传递、再循环,降低了环境压力。以色列、澳大利亚和南非等国在陆基集约化多营养层次综合养殖模式与技术方面的研发进展较快,并广泛应用于产业<sup>[6]</sup>。如南非、澳大利亚的鲍陆基循环水养殖系统中,引入石莼吸收鲍养殖过程排泄的氨和氮,降低养殖对环境的负面效应,同时石莼又可作为鲍的饵料,实现了养殖与环境的双赢。加拿大已经构建了鱼贝藻多营养层次综合养殖模式,但由于养殖规模所限,尚未达到产业化水平。而挪威、新西兰等国家,为了解决各自国家单品种养殖对环境的污染问题,正在尝试构建适合自己国家的多营养层次综合养殖模式。近年来,多营养层次综合养殖模式已成为国际上研讨的热点,大型国际会议纷纷将多营养层次综合养殖列为专题研讨。多营养层次综合养殖理念是生态养殖的核心,也是健康养殖的基础,是世界水产养殖业的发展趋势。

### (2) 深水养殖技术

目前,开放水域的深水养殖技术正受到人们越来越多的关注,很多国家已经开展了离岸养殖的相关工作。2005年美国国会通过了国家深水养殖法令(National Offshore Aquaculture Act of 2005),成为世界上第一个为深水海域进行海水养殖立法的国家,充分说明了开展深水养殖的重要性。2000年墨西哥成立了墨西哥海湾离岸养殖协会,目的是发展社会和环境可接受的离岸水产养殖。由于近岸养殖易受人类活动,特别是陆源污染的影响,海水养殖与生态环境问题、食品安全问题的关系日益密切。因此,除了研究推广多营养层次综合养殖模式与技术外,发展离岸深水养殖技术已成为国际公认的海水养殖新方向与趋势。目前国际上深水养殖技术的研发主要聚焦于鱼类网箱和养鱼平台方面<sup>[7]</sup>,关于深水抗风浪筏式生态养殖技术研究则很少。

### (3) 陆基工厂化养殖

国外的陆基工厂化养殖业比较先进的有日本、欧洲和美国等,这些国家或地区经济实力较强,科学技术发达,材料设备先进,与陆基工厂化养殖有关的基础研究,如养殖对象的营养生理、新品种开发、防病技术、水处理技术等已有较高的水平。发

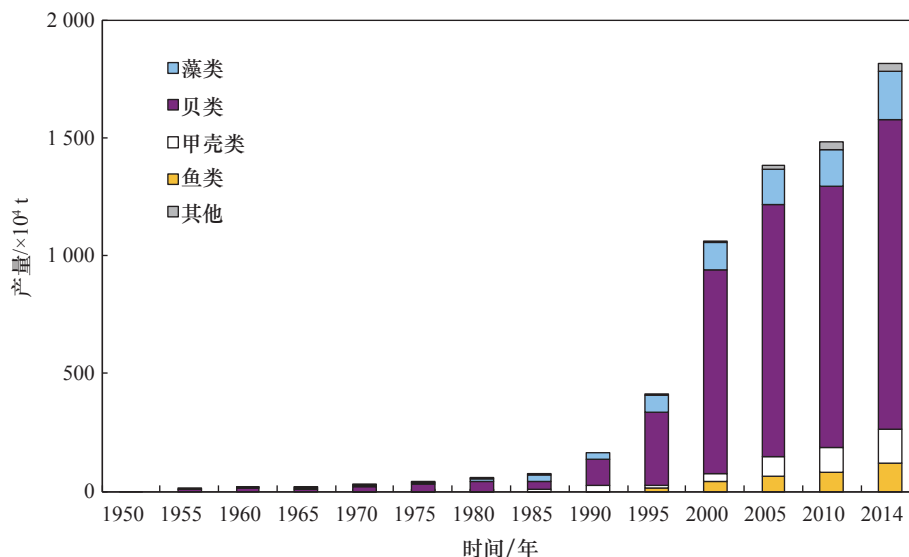
达国家十分重视陆基工厂化养殖中水质调控的自动化研究与应用,美国、挪威在高密度养殖系统中,程序控制技术研究与应用在世界上处于领先水平。此外,海水封闭循环水养殖理论与技术也是欧盟建议的重要研究领域之一,近年来,封闭循环水养殖技术进步较快,并在西方一些国家实现产业化,从研究、设计、制造、安装、调试以及产品的产前和产后服务,形成了一个新的知识产业。

### 2. 我国海水生态养殖与新养殖模式发展现状

我国大陆海岸线18 000多千米,-50 m等深线以内的海洋成为海水养殖的主要水域。1950年,我国的海水养殖产量为10 000 t,牡蛎是唯一的养殖种类。1970年以前,贝类和藻类是我国的主要养殖种类。1970年后,鱼虾类养殖开始发展。20世纪90年代以后,我国的海水养殖进入了多种类快速发展阶段(见图2)。2014年,我国海水养殖产量为 $1.812\ 65 \times 10^7$  t,其中:贝类为 $1.316\ 55 \times 10^7$  t,藻类为 $2.004\ 6 \times 10^6$  t,甲壳类为 $1.433\ 8 \times 10^6$  t,鱼类为 $1.189\ 7 \times 10^6$  t,其他类为 $3.329 \times 10^5$  t<sup>[8]</sup>。在养殖方式上,经过多年的发展,我国目前已经形成海水池塘养殖、浅海与滩涂养殖、深水筏式养殖、深水抗风浪网箱养殖、集约化工厂化养殖等多种海水养殖模式和适宜于不同养殖水域的技术体系同步推行。

我国的海水池塘养殖真正起步于20世纪70年代初,最初用于虾蟹类养殖。近年来池塘虾、鱼、贝、参多营养层次综合养殖模式由于环境友好、生态高效的特点得到了迅速发展。同时,针对高密度池塘养殖水质富营养化和养殖自身污染等问题,开发了新型增氧机、生物滤器、微生物制剂等,缓解了池塘养殖富营养化和自身污染问题;这些技术的应用为池塘生态养殖发展奠定了基础。

工厂化养殖以鱼类养殖为主,是20世纪中期首先在淡水养殖领域发展起来的高密度集约化养殖生产方式,是我国水产养殖领域中装备应用水平最高的生产方式之一。20世纪90年代,以大菱鲆、牙鲆等海水工厂化养殖为代表的海水工厂化养殖在北方地区得到了广泛应用,促进了工厂化养殖的进步。虽然我国工厂化养殖取得了长足的发展,但与先进国家技术密集型的封闭式循环流水养鱼相比,在设施设备、技术工艺、单位产量和经济效益等方面尚存在非常大的差距。近年来,浙江省海洋水产

图2 1950—2014年我国海水养殖主要种类的产量变化<sup>[9]</sup>

养殖研究所研发了陆基生态高效循环水养殖模式与技术，该系统以养殖种类生态位互补理论为基础，利用不同营养级的养殖品种建立多营养层次生态循环养殖模式，达到高效、生态、安全、节能减排的目的，这将是我国池塘和工厂化生态养殖的新的发展方向。

我国的滩涂养殖方式大部分为护养，养殖种类主要是贝类，种类繁多，是我国海水养殖的主要生产方式。与其他养殖方式相比，滩涂养殖生物多样性最高，属于传统养殖方式。近年来，为了提高产量，有的养殖者采用苗种补充的方式，从外地购进苗种，播放在滩涂上进行护养。这种养殖方式虽然提高了养殖产量和效益，但生态风险也相应增加，如病害的传播、外地物种对土著物种的影响等，值得关注。江苏开展的滩涂贝类与紫菜立体养殖模式，山东荣成海草床多营养层次综合养殖，经济和生态效益显著，开辟了滩涂生态高效养殖的新途径，值得推广。

我国的浅海养殖在20世纪90年代以前，因受养殖器材和技术的限制，主要在港湾内发展。20世纪90年代以后，随着抗风浪养殖器材的应用和养殖技术的提升，海上养殖逐渐拓展至湾外，并逐步向深水区发展。如黄海北部的虾夷扇贝底播养殖，山东半岛的浮筏养殖等，已经拓展至50 m水深。港湾内养殖方式多样化，多营养层次综合养殖较为普及。深水区养殖方式大部分以单品种养殖为主，特别是深水区，主要是大型海藻。近年来开发构建

的贝-藻综合养殖、鱼-贝-藻、鱼-贝-藻-参等多营养层次综合养殖模式，因其经济和生态效益显著，正在由港湾向深水区推广。

### 三、水产养殖业发展面临的主要问题

#### (一) 水产养殖集约化和机械化程度亟待提高

我国现阶段水产养殖以零星分散的小农经济体制为主，集约化养殖较少。以家庭联产责任制为主的生产经营形式，使得健康生态养殖标准组织生产和统一管理的难度较大，加大了发展健康生态养殖的难度。目前我国的水产养殖业仍然是一个劳动密集型产业，水产养殖劳动力紧缺已经成为制约水产养殖可持续发展的关键因素，水产养殖标准化、机械化和自动化程度亟待加强。

#### (二) 水产养殖发展与资源、环境的矛盾不断加剧

我国水产养殖的快速发展是以消耗大量资源为代价取得的，粗放式养殖生产导致的生态失衡和环境恶化等问题已日益显现，各种养殖水域周边的陆源污染、工程建设、自身污染等对养殖水域的环境影响不断增大，养殖和工业用地之间的矛盾逐渐凸显。

#### (三) 新型水产生态养殖模式亟待构建

目前的养殖模式在布局和容量控制方面缺乏科学的政策调控措施与养殖规划，片面追求产量

和经济效益,品种搭配不够合理,养殖生产方式单一,对生态承载力和经济社会效益重视程度不够,养殖水域超容量开发,忽略了对水域生态环境的保护,不合理的布局也浪费了大量的海域空间资源。

#### (四) 水产生态养殖管理制度有待加强

我国的养殖管理主要通过水域使用证和养殖许可证的发放进行管理,养殖者获得两证后,可以在确权的水域从事养殖活动,但对于养殖密度、养殖种类结构和养殖布局则无任何限制。在 20 世纪 90 年代以前,这种管理方式对促进我国水产养殖业的发展发挥了重要作用。但随着养殖空间的不断拓展,养殖规模的不断扩大,单位水体养殖生物量无限制的增加,导致了养殖自身污染加剧,环境质量下降,病害频发,水产品质量越来越难以保障。

### 四、发展水产生态养殖和新养殖模式的关键技术

#### (一) 构建生态系统水平的大水域生态养殖技术体系

研究完善生态容量、养殖容量和环境容量评估技术,摸清我国主要水域的养殖潜力,以生态养殖为基础,健康养殖为核心目标,开发不同类型渔业水体的多营养层次综合增养殖新模式与生态养殖技术。重点研发基于生态系统自组织修复为主的生态渔业和水资源保护的协同技术,具体包括水产种质资源保护、土著鱼类繁殖生态环境修复与重建、生态水位调控技术、经济鱼类增殖与评价管理,以及多种类捕捞协同管理等技术,为天然渔业资源保护与增殖行动提供技术手段和产业示范。

#### (二) 构建安全高效的设施养殖工程技术体系

研发深水水域抗风浪养殖系统与配套技术,构建增养殖水域生态环境监测及灾害预警预报系统,建立完善全封闭循环水养殖系统,通过以上关键技术研究系统集成,达到节能、高效、安全的生产要求,并形成相应的生产管理技术。

#### (三) 研发浅海浮筏标准化养殖技术体系

根据不同的养殖种类和养殖方式,确定适宜于机械化作业的养殖器材与设施。根据养殖容量,统

一养殖密度,筏架宽度和长度,构建浅海浮筏标准化养殖技术体系,为实现海水养殖机械化、自动化作业打下基础。

#### (四) 构建池塘环境友好型养殖技术体系

研发区域适应性的环境友好型关键养殖技术,系统深入研究养殖生物营养动力学,开发高效低排放的饲料投喂技术体系、低成本高效率的多营养层次综合养殖系统;研发集约化养殖条件下污染控制与环境修复技术。

#### (五) 构建盐碱地生态养殖技术体系

集成与研发滨海盐碱地名优水产产业化过程中的关键技术,建立盐碱地区域名优水产养殖产业基地,打造名优水产品品牌;推广生态环境优化的生态渔业技术与模式,实现由传统渔业方式向以渔养水、以渔育地的生态渔业方式转变。

#### (六) 构建水产养殖管理与环境控制技术体系

运用“3S”技术(遥感技术——RS、地理信息系统——GIS 和全球定位系统——GPS)和养殖承载力动态模型,重点研发生态系统服务功能评估、水产养殖管理决策支持系统、水产生态养殖环境控制关键技术等,解决水产养殖与生态环境和谐发展技术难题。

### 五、发展水产生态养殖和新养殖模式的对策建议

“十三五”是确保全面建成小康社会的关键时期,是确保全面深化改革、加快经济发展的攻坚时期,也是加快水产养殖发展的战略机遇期。为了明确我国水产养殖发展的战略目标、发展思路和主要任务,促进水产养殖又快又好的发展,建议我国水产养殖主管部门在“十三五”期间应采取有效措施,加大支持力度,进一步推动和发展我国水产生态养殖技术和新养殖模式。

#### (一) 制定生态养殖发展规划,提高水产养殖发展的全局性和战略性

以市场需求为导向,以生态养殖建设为目标,以水域生物承载力为依据,以产业科技为支撑,确

立不同水产养殖区域的功能定位和发展方向，开展水产养殖发展长期规划。

## （二）加快基础设施建设，提高水产养殖综合生产能力

开展水产养殖基础设施和支持体系普查工作，全面摸清水产养殖业的基本状况，为制订养殖业发展规划，指导养殖业发展提供科学依据；针对目前养殖业较为突出的问题，继续实施标准化池塘改造财政专项，并启动浅海标准化养殖升级改造专项，稳定池塘养殖总产，提高名优水产养殖品种所占比例和水产品质量，增强浅海养殖综合生产能力，提高食品保障和安全水平。

## （三）完善生态系统水平的水产养殖管理体系

以生态系统养殖理论为基础，科学地调整养殖许可证和水域使用许可证的发放管理制度，将农业部负责发放养殖许可证、国家海洋局发放养殖水域使用证的两部门管理方式改为由一个部门统一管理。建议在两证发放前，由科研部门对申请养殖水域进行容纳量评估，政府部门根据科研机构的评估结果，在养殖许可证上明确限定申请水域的养殖种类、养殖密度和养殖方式，以便杜绝养殖者随意增加养殖密度的弊端，确保我国水产养殖可持续健康发展。

## （四）建立长期的科技投入机制，保障科技第一生产力的作用

在农业部现代农业产业技术体系、国家公益性行业（农业）专项、科技部产业技术创新联盟的基础上，进一步加大对现代渔业产业技术体系建设，增

加支持力度，扩大体系建设品种，为水产养殖产业的发展提供持续长久的科技资金的支持，保障科技对水产养殖产业发展的源动力。

### 参考文献

- [1] 联合国粮食及农业组织. 2014年世界渔业和水产养殖状况[M]. 罗马: 联合国粮食及农业组织, 2014.  
FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2014 [M]. Rome: FAO; 2014.
- [2] 唐启升, 丁晓明, 刘世禄, 等. 我国水产养殖业绿色、可持续发展保障措施与政策建议[J]. 中国渔业经济, 2014, 32(2): 1-11.  
Tang Q S, Ding X M, Liu S L, et al. Safeguard measures and policy recommendations for green and sustainable development of Chinese aquaculture [J]. Chin Fish Econ. 2014; 32(2): 1-11.
- [3] Andersen K H, Brander K, Ravn-Jonsen L. Trade-offs between objectives for ecosystem management of fisheries [J]. Ecol Appl. 2015; 25(5): 1390-1396.
- [4] Wang Q D, Cheng L, Liu J S, et al. Freshwater aquaculture in PR China: trends and prospects [J]. Rev Aquac. 2015; 7(4): 283-302.
- [5] Chopin T, Buschmann A H, Halling C, et al. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key towards sustainability [J]. J Phys. 2001; 37: 975-86.
- [6] Neori A, Chopin T, Troell M, et al. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture [J]. Aquaculture. 2004; 231(1-4): 361-391.
- [7] 郭根喜, 陶启友, 黄小华, 等. 深水网箱养殖装备技术前沿进展 [J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 44-49.  
Guo G X, Tao Q Y, Huang X H, et al. Progress on frontier of equipment technology for sea-cage aquaculture [J]. J Agr Sci Technol. 2011; 13(5): 44-49.
- [8] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴2015[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.  
Administration of fisheries and fishery, the Ministry of Agriculture. China fisheries statistical yearbook 2015 [M]. Beijing: China Agriculture Press; 2015.
- [9] FAO. FishStatJ-software for fishery statistical time series. [EB/OL]. [2016-03-20]. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>.