



中国工程院咨询研究项目

环境友好型 水产养殖发展战略： 新思路、新任务、新途径

唐启升 主编

 科学出版社

中国工程院咨询研究项目

环境友好型水产养殖发展战略： 新思路、新任务、新途径

唐启升 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是中国工程院多项水产养殖咨询研究课题成果的总结,重点阐述了“环境友好型水产养殖发展战略:新思路、新任务、新途径”。共分四章:总论,以“高效、优质、生态、健康、安全”可持续发展目标为核心,介绍了环境友好型水产养殖发展战略及其对策建议;“十三五”环境友好型水产养殖发展对策,通过对发展现状与问题的系统分析,提出了“十三五”重点任务及应对建议,此外,还对育种、病害、生态养殖、营养与饲料、设施与深水平台、加工与质量安全、高新技术、环境评估等8个分支领域的发展战略进行专题研究;环境友好型海水养殖发展新途径,论述了海洋牧场、海水养殖新方式和海水养殖新空间的发展战略,提出了相应的政策建议和重点研发计划专项;环境友好型水产养殖发展典型案例,介绍了两个有显著特点并值得推广和发展的环境友好型水产养殖新生产模式实例:桑沟湾多营养层次综合养殖和稻渔综合种养。

本书可供渔业管理部门、科技和教育部门、生产企业及社会其他各界人士阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境友好型水产养殖发展战略:新思路、新任务、新途径 / 唐启升主编.
—北京:科学出版社, 2017.3
ISBN 978-7-03-051815-6

I. ①环... II. ①唐... III. ①水产养殖业—生态养殖—发展战略—研究—中国 IV. ①S9

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第031093号

责任编辑:李秀伟 岳漫宇 高璐佳 / 责任校对:何艳萍
责任印制:肖 兴 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京新华印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2017年3月第一次印刷 印张:29 1/2

字数:452 000

定价:238.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《环境友好型水产养殖发展战略：
新思路、新任务、新途径》编辑委员会

主 编 唐启升

副主编 桂建芳 麦康森

编 委 (以姓氏笔画为序)

王清印 方 辉 方建光 包振民

庄志猛 刘 慧 刘家寿 李钟杰

杨宁生 张文韬 张国范 陈 勇

陈松林 陈家长 贾晓平 徐 皓

高中祺 黄 捷 曾令兵 解绶启

翟毓秀 薛长湖

PREFACE 前言

2002年世界水产养殖大会在北京召开，会议科学指导委员会为大会确定的标题是：“中国——水产养殖之乡（China, the home of aquaculture）”，这不仅是因为中国水产养殖有悠久的历史，同时也是因为自1986年中国确定了“以养为主”的渔业发展方针后，水产养殖业得到快速发展，取得了举世瞩目的成就。之后十几年，中国水产养殖业持续健康发展，支撑产业发展的知识体系、技术体系逐渐形成。2015年，中国水产养殖产量达4938万t，占渔业总产量比例从1950年的约8%（约8万t）、1985年的45%（363万t）增至74%，占世界水产养殖产量的比例持续保持在60%以上，成为“世界水产养殖业对人类水产品消费的贡献超过野生水产品捕捞业”[引自联合国粮食与农业组织（FAO）2016年报告《世界渔业及水产养殖报告》]最重要的决定因素。由于中国较早地认识到水产养殖将在现代渔业发展中发挥重要作用，经过实践和创新，水产养殖发展对中国乃至世界的贡献表现在多个方面：它不仅在解决吃鱼难、保障市场供应、增加农民收入、提高农产品出口竞争力、优化国民膳食结构和保障食品安全等方面做出了重大贡献，同时在当今减排CO₂、缓解水域富营养化等方面也发挥着重要作用；它不仅为中国渔业转方式调结构做出重大贡献，同时也促进了世界渔业发展方式的重大转变。因此，进一步推动水产养殖业持续发展，有助于深化渔业增长方式转变和结构调整，促进绿色低碳新兴产业的发展，为保障国家食品安全做出新贡献。

为了推动水产养殖业可持续发展和现代化建设，自2009年以来，中国工程院先后启动实施了“中国水产养殖业可持续发展战略研究”（2009~2013年，称养殖Ⅰ期）、“水产养殖业‘十三五’规划战略研究”（2014~2016年，称养殖Ⅱ期）、“现代海水养殖新技术、新方式和新空间发展战略研究”（2015~2016年）及“水产健康养殖发展战略研究”（2016~2017年）（后两项称养殖Ⅲ期）等多项重大、重点咨询研究课题。通过这些研究，形成了一些新的理念和思路，特别是养殖Ⅰ期研究，认识到中国特色的水产养殖既具有重要的食物供给功能，又有显著的生态服务功能（含文化服务），提出绿色低碳的“碳汇渔业”发展新理念和“高效、优质、生态、健康、安全”的可持续发展目标，提出建设环境友好型水产养殖业和建设资源养护型捕捞业的发展新模式。养殖Ⅱ期和Ⅲ期研究则针对建设小康社会决胜时期的需求和渔业提质量增效益的新目标，重点研究“十三五”水产

养殖发展的重点任务和工程建设,探讨发展的新途径,提出了若干相关的建议。

本书是上述多视角、多层次战略研究系列成果的总结,重点阐述“环境友好型水产养殖发展战略:新思路、新任务、新途径”。其中,第一章总论,在简要总结中国水产养殖业快速发展的主要经验的基础上,论述进一步发展水产养殖业的战略意义,提出以“高效、优质、生态、健康、安全”可持续发展目标为核心的环境友好型水产养殖发展战略及相应的对策建议。第二章“十三五”环境友好型水产养殖发展对策,通过对发展现状及特点、问题与挑战(政策层面、技术层面和管理层面)的全面系统分析,提出了三个方面的应对建议,主要包括:①大力发展和推广生态系统水平的水产养殖、渔农复合种养系统、盐碱水域养殖和利用、海洋牧场建设和生态修复等养殖新技术、新模式;②大力发展冷链物流以保障水产品优质供应的核心环节,提升物联网等智能化管理技术;③强化水产养殖管理和科技创新,包括建立生态系统水平的水产养殖管理体系、设立水产生物育种基础及抗病分子育种重大专项、推广优质健康安全的水产养殖饲料、加快提升筏式等传统养殖模式的工程化机械化水平、大力发展工程化养殖和深蓝渔业、建立全面的水产品质量安全管控机制、加强水产养殖中抗生素的监测评估与治理和实施水产养殖污染物减排增效工程等。另外,还对水产遗传育种与种业、水产病害防治与健康养殖、水产生态养殖与新养殖模式、水产养殖动物营养与饲料工程、水产养殖设施装备与深水养殖平台、水产养殖产品精制加工与质量安全、水产生物技术和物联网技术、水产养殖环境评估与治理等8个分支领域进行专题研究,重点介绍各分支领域的国内外发展现状与存在问题、“十三五”时期的发展战略与关键技术、重点科研计划项目与重大工程建设项目建议及政策建议等。第三章环境友好型海水养殖发展新途径,主要包括:现代海洋牧场发展战略、现代海水养殖新方式发展战略和现代海水养殖新空间发展战略等方面,通过对战略需求、国内外现状与问题、发展目标与关键技术的研究分析,提出相应的发展战略、保障措施与政策建议,建议设置现代海洋牧场关键技术与示范区建设、环境友好型的综合养殖模式构建与示范、深远海渔业生产新模式及养殖能源供给与物流网络平台技术研发与应用等国家重点研发计划专项。第四章环境友好型水产养殖发展典型案例,深入剖析了桑沟湾多营养层次综合养殖和稻渔综合种养两个实例的发展历程、关键技术和实施效果,它们的共同特点是理论基础扎实、应用技术成熟、生态经济社会效益显著,是值得推广和发展的环境友好型水产养殖新生产模式和技术。

期望本书能够为政府部门的科学决策及科研、教学、生产等相关部门提供借鉴,并为实现我国水产养殖现代化发展发挥积极作用。本书是课题组数十位院士、专家集体智慧的结晶,在此向他们表示衷心的感谢。由于时间所限,不当之处在所难免,敬请批评指正。

编者

2016年10月

CONTENTS

目录

- 第一章 总论 / 1
 - 一、水产养殖业快速发展的主要经验 / 2
 - 二、进一步发展水产养殖业的战略意义 / 5
 - 三、环境友好型水产养殖业发展战略 / 7
 - 四、对策建议 / 9
 - 参考文献 / 11

- 第二章 “十三五”环境友好型水产养殖发展对策 / 13
 - 第一节 环境友好型水产养殖现状、问题与应对建议 / 14
 - 一、发展现状及特点 / 14
 - 二、问题与挑战 / 21
 - 三、应对建议 / 28
 - 参考文献 / 33
 - 第二节 水产遗传育种与种业 / 35
 - 一、国内发展现状 / 36
 - 二、国际发展趋势 / 44
 - 三、存在的主要问题与原因分析 / 48
 - 四、“十三五”发展目标 / 50

五、重点科研计划项目与重大工程建设项目建议 /	50
六、保障措施与对策建议 /	55
参考文献 /	56
第三节 水产病害防治与健康养殖 /	60
一、国内发展现状 /	60
二、存在的主要问题与原因分析 /	63
三、国外发展现状 /	68
四、发展战略与关键技术 /	72
五、重点科研计划项目与重大工程建设项目建议 /	80
六、保障措施与对策建议 /	91
参考文献 /	93
第四节 水产生态养殖与新养殖模式 /	96
一、国内发展现状 /	96
二、国外发展现状 /	106
三、存在的主要问题与原因分析 /	109
四、发展战略与关键技术 /	111
五、保障措施与对策建议 /	114
六、重大工程建设与研究专项建议 /	115
参考文献 /	122
第五节 水产养殖动物营养与饲料工程 /	124
一、国内发展现状 /	124
二、存在的主要问题与原因分析 /	130
三、国外发展现状 /	133
四、发展战略和任务 /	138
五、工程专项建议 /	139

六、保障措施与对策建议 / 144

参考文献 / 157

第六节 水产养殖设施装备与深水养殖平台 / 161

一、国内发展现状 / 161

二、存在的主要问题与原因分析 / 172

三、国外发展现状 / 177

四、发展战略与关键技术 / 183

五、重点科研计划项目与重大工程建设项目建议 / 188

六、保障措施与对策建议 / 192

参考文献 / 194

第七节 水产养殖产品精制加工与质量安全 / 197

一、国内发展现状 / 198

二、存在的主要问题与原因分析 / 206

三、国外发展现状 / 213

四、发展战略与关键技术 / 218

五、重点科研计划项目与重大工程建设项目建议 / 221

六、保障措施与对策建议 / 224

参考文献 / 225

第八节 水产生物技术和物联网技术 / 228

一、国内发展现状 / 229

二、存在的主要问题与原因分析 / 238

三、国外发展现状 / 243

四、发展战略与关键技术 / 248

五、重点科研计划项目与重大工程建设项目建议 / 252

六、保障措施与对策建议 / 254

参考文献 / 257

第九节 水产养殖环境评估与治理 / 268

一、国内发展现状 / 268

二、存在的主要问题与原因分析 / 282

三、国外发展现状 / 287

四、发展战略与关键技术 / 292

五、保障措施与对策建议 / 298

六、重点科研计划项目与重大工程建设项目建议 / 300

参考文献 / 303

第三章 环境友好型海水养殖发展新途径 / 311

第一节 现代海洋牧场发展战略 / 312

一、我国现代海洋牧场构建技术发展的战略需求 / 312

二、我国现代海洋牧场发展的现状 / 314

三、世界现代海洋牧场发展现状与趋势 / 326

四、我国现代海洋牧场建设存在的主要问题与原因分析 / 333

五、我国现代海洋牧场发展战略与关键技术 / 335

六、我国现代海洋牧场建设的保障措施与政策建议 / 338

七、重大工程研究专项建议 / 339

参考文献 / 342

第二节 现代海水养殖新方式发展战略 / 343

一、我国现代海水养殖新方式科技发展的战略需求 / 343

二、我国现代海水养殖新方式科技发展的现状 / 345

三、国外现代海水养殖新方式发展现状与趋势 / 357

四、现代海水养殖新方式存在的主要问题与原因分析 / 364

- 五、我国现代海水养殖新方式发展战略与关键技术 / 368
- 六、现代海水养殖新方式发展的保障措施与政策建议 / 371
- 七、重大科技研发专项建议 / 375

参考文献 / 377

第三节 现代海水养殖新空间发展战略 / 380

- 一、我国深远海养殖发展的战略意义 / 380
- 二、我国深远海养殖科技发展的现状 / 381
- 三、国外深远海养殖发展的现状与趋势 / 384
- 四、我国深远海养殖存在的主要问题与原因分析 / 392
- 五、我国深远海养殖发展战略与关键技术 / 395
- 六、我国深远海养殖发展的保障措施与政策建议 / 401
- 七、重大科技研发专项建议 / 402

参考文献 / 408

第四章 环境友好型水产养殖发展典型案例 / 411

第一节 桑沟湾多营养层次综合养殖 / 412

- 一、桑沟湾海水养殖发展历程 / 412
- 二、多营养层次综合养殖的科学依据 / 416
- 三、桑沟湾典型多营养层次综合养殖模式 / 425
- 四、桑沟湾养殖生态系统服务功能 / 430
- 五、存在的问题与建议 / 434

参考文献 / 436

第二节 稻渔综合种养 / 439

- 一、发展背景及简史 / 439
- 二、稻渔综合种养的理论基础 / 441

三、稻渔综合种养的必要条件 /	442
四、稻渔综合种养的发展现状 /	444
五、稻渔综合种养的管理 /	448
六、稻渔综合种养的生态效应 /	451
七、稻渔综合种养的经济效益和社会效益 /	454
八、问题与建议 /	457
参考文献 /	459

环境友好型水产养殖发展战略：新思路、新任务、新途径

第一章 总 论^①

^①本章根据《环境友好型水产养殖业发展战略》^[1]编写，执笔人唐启升



改革开放以来，中国水产养殖业快速发展，取得了举世瞩目的成就，养殖产量从1950年不足10万t、1985年的363万t增至2015年的4938万t^[2]，在渔业结构中的比例从8%、45%增至74%，近30年产量翻了近4番，成为世界第一水产养殖大国（占世界产量2/3）。水产养殖作为中国大农业发展最快的产业之一，不仅在解决吃鱼难、保障市场供应、增加农民收入、提高农产品出口竞争力、优化国民膳食结构和保障食物安全等方面做出了重大贡献，同时在促进渔业增长方式的转变、减排CO₂、缓解水域富营养化等方面也发挥着重要作用。因此，进一步推动环境友好型水产养殖业发展，有助于深化渔业增长方式转变和结构调整，促进绿色低碳新兴产业的发展，为保障国家食物安全做出新贡献。

一、水产养殖业快速发展的主要经验

（一）“以养为主”的正确发展方针，推动水产养殖业快速发展

20世纪50年代后期，中国渔业管理部门出现了“养捕之争”的讨论；1958年，根据党的八大二次会议“两条腿走路”精神，提出“养捕并举”指导思想，使“养捕之争”暂时告一段落。事实上，这是世界上首次将水产养殖放在与渔业捕捞同等重要地位上，中国人开始意识到单靠渔业捕捞不能满足对水产品的需求，需要发展新的生产方式。经历过“文化大革命”，我国市场供应严重不足，城乡居民“吃鱼难”的问题十分突出。1978年10月，《人民日报》发表社论《千方百计解决吃鱼问题》，之后两年间中央主要领导同志在报刊和文件上专门对水产问题做了20多次批示，要求各地、各有关部门积极支持渔业生产，努力把水产事业搞上去。1980年4月，邓小平同志在《关于编制长期规划的意见》中谈到，“渔业，有个方针问题。究竟是以发展捕捞为主，还是以发展养殖为主呢？看起来应该以养殖为主，把各种水面包括水塘都利用起来”。1985年，中共中央、国务院发出《关于放宽政策、加速发展水产业的指示》，明确了养殖生产可以承包到户和放开价格、实行市场调节等重大政策。1986年，《中华人民共和国渔业法》颁布实施，确立了“以养殖为主”的渔业发展方针^[3]。这些重要方针政策的出台和实施，极大地推动了中国水产养殖业的快速发展。

(二) 科学技术进步,促进水产养殖业跨越式发展

以水产育种为例,发展前期每10年一次的水产养殖育种突破,或有5次“养殖浪潮”之称的海带、“四大家鱼”、扇贝、对虾/河蟹育苗技术突破和鳗鱼养殖技术的成功,大大促进了水产养殖发展;20世纪90年代以来,特别是近10年,新品种培育成果显著,如1996~2015年农业部公告的水产新品种为168个(包括25个引进种、5个引进品种),其中:1996~2005年为61个(包括23个引进种,4个引进品种),2006~2015年为107个(包括2个引进种,1个引进品种)^[4],这些新品种的培育成功和广泛应用,促进了养殖多样化发展,也使产业发展踏上新的台阶。

进入21世纪,围绕提高渔业产业科技含量这一主题,我国集中力量对生产发展中的主要技术问题开展攻关,在水产育种、病害防治与安全渔药、水产养殖技术与设施、水产饲料与水产品加工、渔业资源养护与合理利用等诸多领域取得了一系列的重大突破。2015年,我国渔业科技进步贡献率已达到58%,取得大农业各行业中最好成绩,极大促进了水产健康养殖和渔业多功能发展。

(三) 中国特色的养殖结构,确保水产养殖业持续发展

中国水产养殖业之所以能够发展得这么快,还有一个不能忽视的原因,也是构成中国特色水产养殖的重要因素,即相当一部分养殖种类在养殖过程中不需要投放饵料。如图1-1所示,发展早期(如1985年)中国水产养殖几乎不投饵,进入发展稳定期的中国水产养殖业仍保持较高的不投饵率,远远高于世界平均水平,如2014年中国水产养殖不投饵率为53.8%^[5]。产生这样结果的直接原因是中国水产养殖的主要种类以低营养层次的滤食性、草食性、自养性及杂食性种类为主,养殖中利用天然水域饵料或营养物质,可以不投饵或少投饵。对于发展生产来说,不投饵或少投饵意味着生产成本低、投入少,便于产业快速、规模化发展;意味着养殖种类位于较低营养层次,具有食物转换效率高和产出量大的特性;意味着养殖中较少使用鱼粉,减少对野生渔业资源的压力,制约养殖业自身的不健康发展。

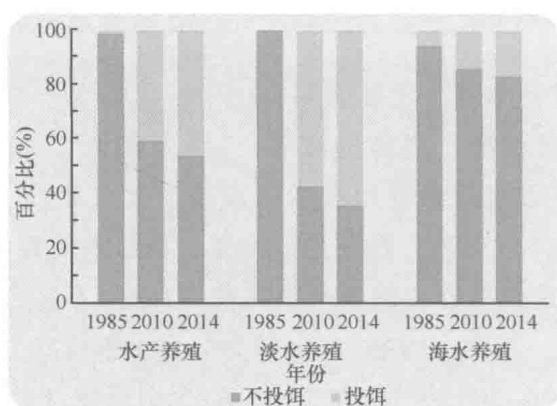


图 1-1 中国水产养殖种类投饵与不投饵养殖产量比例(数据取自文献[5])

新的研究表明^[5]，中国特色的水产养殖结构的显著特点是种类繁多、优势种显著且多样性丰富、营养层次多、营养级低、生态效率高、生物量产出多，主要依据包括：①养殖种类296个、品种143个，养殖种类及品种合计达439个。种类组成区域差异明显，淡水养殖鱼类占绝对优势，如2014年养殖产量排名前6的是草鱼、鲢、鳙、鲤、鲫和罗非鱼，合计产量占淡水养殖产量的69.6%，其次为甲壳类、其他类、贝类及藻类；而海水养殖则以贝藻类为主，如2014年牡蛎、蛤、扇贝、海带、贻贝和蛭6个种（类）的养殖产量占海水养殖产量的71.3%，其次为甲壳类、鱼类及其他类。②养殖种类多样性特征显著，与世界其他主要水产养殖国家相比，独为一支，具较高的多样性、丰富度和均匀度，发展态势良好。③由于养殖方式从天然养殖向投饵养殖转变，不投饵率呈明显下降趋势，从1995年的90.5%降至2014年的53.8%（淡水35.7%，海水83.0%），但与世界平均水平相比，仍保持较高的水准。④与世界相比，营养级低且较稳定。由于配合饲料的广泛使用及其鱼粉鱼油使用量减少，近年营养级略有下降，从2005年较高的2.32降至2014年的2.25（淡水2.35，海水2.10）。营养级金字塔由4级构成，以营养级2为主，近年占70%，表明其生态系统有较多的生物量产出。形成这个特色的原因很多：①历史传统和发展需求的原因，如淡水的主养种类“青、草、鲢、鳙”四大家鱼，养殖历史悠久，除青鱼外，其他三种为滤食性或草食性养殖种类；再如为了解决吃鱼难而迅速发展起来的海水贝类和藻类养殖，或是直接滤食水体中的浮游植物，或是通过光合作用利用水体中的

营养物质。这些养殖种类的共同特点是营养级低、产出量高,养殖中技术要求相对较低,易于产业快速、规模化发展。②饮食习惯和文化的原因,同欧美人偏爱鱼片、日本人偏爱生鱼和鱼糜不同,中国人更偏爱鲜活鱼虾,喜欢舌尖上的快乐,品尝各种各样的养殖产品,有时还喜新厌旧,这些偏爱明显影响了养殖种类选择、生产结构及数量产出,促使养殖种类的多样化发展。通过长期的发展,实践证明这样的水产养殖结构特点是有效、合理的,符合现代发展的需求。预计在一个较长的时期里这种中国特色的水产养殖结构不会发生根本的改变,从而使中国水产养殖相对稳定,变化较小,有利于可持续发展。上述研究也表明,中国水产养殖是一个典型的“资源节约、环境友好”的产业,如养殖种类营养级低就会对“资源”有较小的要求,而相当一部分养殖不需投饵就意味着对“环境”产生较小的压力。

二、进一步发展水产养殖业的战略意义

(一) 深化渔业增长方式转变和结构调整,带动渔业新一轮的发展

在21世纪初前后,有国外专家称“现渔业是不可持续的”^[6,7],此后还断言“水产养殖产业不是应对全球野生捕捞渔业衰退问题的一种解决办法”^[8]。然而,中国水产养殖的经验经过时间的考验,为世界提供了可复制的样板。几十年来,中国水产养殖业的健康发展不仅为全球水产品总产量的持续增长提供了重要保证,同时也为促进世界渔业生产方式和结构的改变做出重大贡献。中国水产养殖业的发展及成功已获得国际同行的认可和重视^[9,10]。

因此,水产养殖业作为渔业增长的新方式和新动力,必将带动现代渔业新一轮的发展。

(二) 生产更多更好的优质蛋白,保障国家食物安全

水产养殖是世界上最有效率的食物生产技术之一,如鱼虾养殖饵料投入与产出比值为1~1.2,而畜禽类养殖饲料投入与产出比值为2.5~7.0,再加上有一半多水产养殖不需要投放饵料,其生产效率就更高了。所以,这种特有的低投入、高效率的特性,必然会使水产养殖在未来食物供给中发挥不可或缺的作用。