

· 科学论坛 ·

# 现代化海洋牧场建设与发展

——第 230 期双清论坛学术综述\*

林承刚<sup>1</sup> 杨红生<sup>1\* \*</sup>  陈 鹰<sup>2</sup> 金显仕<sup>3</sup> 陈 彬<sup>4</sup>  
李 薇<sup>5</sup> 任之光<sup>6</sup> 冷疏影<sup>5</sup> 丁德文<sup>7</sup>

1. 中国科学院 海洋研究所, 青岛 266071
2. 浙江大学 海洋学院, 舟山 316021
3. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 青岛 266071
4. 北京师范大学 环境学院, 北京 100875
5. 国家自然科学基金委员会 地球科学部, 北京 100085
6. 国家自然科学基金委员会 管理科学部, 北京 100085
7. 自然资源部 第一海洋研究所, 青岛 266061

**[摘 要]** 基于第 230 期双清论坛, 本文回顾总结了我国海洋牧场发展历程及现状, 梳理了近年来国内外取得的主要科技研究成果及发展方向、海洋牧场建设与发展亟需解决的瓶颈问题、服务于国家海洋生态文明建设的重大战略需求, 分析并初步凝练了该领域未来 5~10 年的重大关键科学问题, 探讨了前沿研究方向和国家自然科学基金资助战略。

**[关键词]** 海洋牧场; 人工生境; 增殖养护; 生态过程; 风险防控; 多学科交叉

随着人类活动和全球变化的影响不断加剧, 我国近海生境严重退化, 近一半海湾四季均出现劣四类水质。较 20 世纪 50 年代, 海草床、珊瑚礁分布面积减少 80% 以上, 产卵场和洄游通道遭到严重破坏, 造成生物多样性降低, 以致食物网结构简单化, 水产经济物种低龄化、小型化, 海底荒漠化趋势明显。

海洋牧场既能养护生物资源, 又能修复生态环境, 是实现我国近海渔业资源恢复、生态系统和谐发展与“蓝色碳汇”的重要途径。目前, 我国培育了一批海洋牧场原理研究与技术研发团队, 海洋牧场建设已从理念基础开始, 初步形成理论体系, 在此过程中不断发展其形式与内涵。海洋牧场概念和内涵可以描述为: 基于生态学原理, 充分利用自然生产力, 运用现代工程技术和管理模式, 通过生境修复和人工增殖, 在适宜海域构建的兼具环境保护、资源养护和渔业持续产出功能的生态系统。从以渔业生产为目标的传统海洋牧场, 到重视环境保护、生态修复和



**林承刚** 博士, 中国科学院海洋研究所副研究员。主要从事海洋牧场生态安全和环境保障工作, 主持相关国家自然科学基金、国家重点研发计划、中国科学院战略性新兴产业先导科技专项(A类)、中国科学院科技服务网络计划课题及子课题 5 项。发表

SCI 研究论文 20 余篇, 参与编写中文专著 4 部, 英文专著 1 部, 获授权发明专利 10 余项。相关成果获得中国科学院科技促进发展奖、海洋工程科学技术奖一等奖等省部级奖励 3 项。



**杨红生** 博士, 研究员, 博士生导师。现任中国科学院海洋研究所/烟台海岸带研究所常务副所长。长期从事养殖生态学、海参遗传育种与养殖、海洋牧场建设等研究。发表 SCI 研究论文 200 余篇, 获授权发明专利 40 余项。2009 年入选“新世纪百千万人才工程”国家级人选, 2015 年泰山学者特聘专家, 2016 年山东省智库岗位专家, 2017 年农业部海洋牧场建设专家咨询委员会副主任/委员, 2018 年“渔业科技创新领军人才”等。

收稿日期: 2020-03-09; 修回日期: 2020-05-06

\* 本文根据第 230 期“双清论坛”内容整理

\*\* 通信作者, Email: hshyang@qdio. ac. cn

资源养护,生态优先、陆海统筹、三产融合的海洋牧场雏形已初步形成,标志着我国海洋牧场建设初见成效,而真正意义上的现代化海洋牧场建设则刚刚起步,其科学发展仍面临诸多挑战<sup>[1]</sup>。

2015年至2019年间,我国已逐步创建5批共110个国家级海洋牧场示范区,随着海洋牧场产业规模日益扩大,现代化海洋牧场构建原理与技术研究滞后已经成为制约海洋牧场发展和产业升级的瓶颈,是当前最突出、最迫切的问题。因此,系统开展现代化海洋牧场构建原理创新与技术攻关,是保障我国海洋牧场产业可持续发展的重中之重。

2019年3月31日至4月1日,国家自然科学基金委员会地球科学部、生命科学部、管理科学部、信息科学部、工程与材料科学部和政策局共同主办了主题为“现代化海洋牧场建设与发展”的第230期双清论坛,来自国内30余所高校和科研院所的40余位专家学者应邀参加了本期论坛。与会专家围绕海洋牧场建设与发展研究多学科交叉发展现状与趋势、未来主要研究方向和科学问题等方面进行了热烈研讨和碰撞,凝聚共识并提出国家自然科学基金在相关领域的资助战略。

## 1 海洋牧场发展研究现状与挑战

### 1.1 发展现状分析

近年来在科学利用海洋的实践过程中,海洋牧场构建理念逐步形成。日本于1963年创立了国营的栽培渔业中心,1971年提出建设海洋牧场,注重人工鱼礁的集鱼效果,强化环境承载力与资源养护补充,将增殖放流、鱼礁建设、驯化技术等融入渔业管理体系中并加以完善。美国于1968年提出海洋牧场建设计划并于1972年开始实施,1974年建成的加利福尼亚巨藻海洋牧场,注重与游钓相结合,发展休闲渔业。

我国科学家为实现水产资源增殖,于20世纪中叶提出了“海洋农牧化”理念,包括“水即是鱼类的牧场”、“使海洋成为种植藻类和贝类的农场,养鱼、虾的牧场”等。20世纪90年代以来,针对我国近海渔业的现状和特点,在自然海区进行了人工鱼礁、藻礁建设和以幼苗放流、底播为主,以人工繁育苗种为辅的人工增殖。2006年国务院发布的《中国水生生物资源养护行动纲要》首次为海洋牧场建设和发展提供了政策依据。截至2016年,全国已投入约55.8亿元的海洋牧场建设资金,共建立200多个海洋牧场,投放鱼礁超过3000万空立方米,总涉及海域面

积2300平方千米。海洋牧场已成为海洋经济新的增长点,成为沿海地区增殖、养护海洋生物资源、修复海域生态环境、实现渔业转型升级的重要手段。

然而海洋牧场建设在全国如火如荼开展的同时,也暴露出“概念内涵不清、核心规律不详、关键技术不足、建设发展盲目”等突出问题。

一是海洋牧场建设与传统养殖概念混淆严重。为了借海洋牧场发展的“东风”,单一的近海网箱养殖、离岸深水网箱养殖及养殖工船都被认为是海洋牧场,沿海部分地区甚至将陆基工厂化养殖也认定为陆上海洋牧场。

二是海洋牧场选址与生态修复设施布放不合理问题突出。一些海洋牧场在建设初期,未做详细的地质类型、水动力分析等本底调查,只是照搬国内外模式,在海区随意投放了石块、水泥管作为人工鱼礁,结果几个月后原先投放的石块、水泥管不见踪迹,造成了大量资金的浪费和海域生态环境的破坏。

三是忽视全过程监测评估与预警预报,仍然“看天吃饭”。如北黄海的部分海区易受黄海冷水团影响,环境的剧烈变动造成生物的大量死亡,又缺乏精准的监测装备和预警手段,难以实时监测环境参数和生物状态,只能“望洋兴叹”,如若在此建设海洋牧场,则会造成重大的经济损失。

四是忽视礁体布局和气候变化对海洋牧场的生态影响。特别是夏季高温时期,部分企业未进行海域生态环境科学评估即开展以人工鱼礁为主的海洋牧场建设,由于选址不科学,将增殖礁建在局部底层缺氧区,导致极端气候条件下出现海参等增殖对象大批死亡,海洋牧场出现绝收现象,损失惨重。

### 1.2 面临科技挑战

目前,海洋牧场建设发展迅猛,但低水平同质化现象严重。一系列问题为我国海洋牧场的高质量发展提出了严峻挑战,主要原因是基础研究的前瞻布局不足、基础理论研究滞后、顶层设计的科技支撑薄弱、工程和信息技术支撑能力有限。

其一,宏观布局的基础理论支撑不足。我国近海哪些区域可以建设海洋牧场?能建多大的海洋牧场?能建什么样的海洋牧场?一系列亟待明确的问题缺乏科学依据;对我国近海的生物生产力和生态承载力认知不足,缺乏科学评估体系;亟待揭示海洋牧场建设与毗连海域的互作机制,评估海洋牧场建设对生态系统的影响。

其二,人工生境营造技术能力不强。人工生境是指通过人工干预形成生物赖以生存的生态环境,

是海洋牧场建设的关键基础。目前,海洋牧场人工生境工程技术缺乏系统性研究,人工构件投放缺乏理论依据,建设设施作用机理不明,设施—生物—环境三者之间的耦合机制不清,海草(藻)床、珊瑚礁修复缺乏有效措施,生物功能群构建缺乏科学基础等问题,严重制约着海洋牧场生态效益和高效产出。

其三,生态效应认知不明。生物资源养护是海洋牧场建设的重要内容。然而目前对海洋牧场重要经济生物的行为特征认识尚不清晰,生物之间的相互作用以及功能群构建缺乏理论支持,增殖放流对海域生物多样性和群落结构的影响不明,重要经济生物精准采捕缺乏科学标准。

其四,风险防控管理水平不高。风险防控与综合管理是海洋牧场高质量发展的重要保障。全球气候变化和人类活动影响下海洋牧场的生态灾害时有发生,生态风险的信息化预警与精准预报支撑能力不足;海洋牧场环境资源高精度实时监测系统与设备研发针对性不强,无法实现真正意义上的“可视、可测、可报”;综合管理模式和机制亟待创新和完善。

因此,面向国家海洋生态文明建设的重大战略需求以及海洋牧场持续健康发展的产业迫切需求,通过多学科交叉与融合,实施海洋牧场原理认知和重大技术突破,形成系统的现代化海洋牧场理论和技术创新体系,支撑并引导现代化海洋牧场发展,具有重要的科学价值和战略意义。

## 2 海洋牧场研究主要进展和成就

### 2.1 海洋牧场生态过程与资源环境效应

(1) 海洋牧场结构、功能与过程。海洋牧场在提高初级生产力、加速能量流动和物质循环、提升水域生态系统功能方面发挥了重要作用。生态系统结构和功能一直是国际海洋领域的研究热点,涉及了物种间的营养结构、食物关系、物质的循环和能量的流动过程等。我国在大海洋生态系统及近海主要渔业水域取得了一系列创新成果,提出了“简化食物网”和“全程食物网”的概念,为海洋生态系统食物网营养动力学的研究提供了新思路。目前,涉及的研究方法有胃含物分析、稳定同位素比率法、生物标志化合物分析法、Ecopath 模型等,其中同位素法在水生生态系统食物网结构、物质循环和能量流动中得到广泛应用。近年来,基于高通量测序技术解析构建营养关系的研究发展迅速,逐渐成为食物网研究的新模式。在生源要素迁移、转化过程的研究方面,主要通过同位素标记、调查和水动力模型进行,如利用

IsoSource 模型估算各类初级生产者对生物的食物组成贡献,进一步解析生态系统食物网结构。在生态系统能量流动方面,Ecopath 模型可定量描述能量在生态系统生物组成之间的能量流动,评价生态系统成熟状况,以往主要应用在较封闭的生态系统中,现已广泛应用于全球各大水域生态的研究。如研究了亚得里亚海北部和中部小型水层鱼类及微食物环在该水域生态系统中的作用、加泰罗尼亚的南海水层食物网与底层食物网的耦合以及有机碎屑产生的作用<sup>[2]</sup>、西班牙北部的坎塔布连海各水层与底栖食物网之间的关系等<sup>[3]</sup>。

我国针对海洋牧场生态系统结构和功能的研究尚处于初级阶段。近年来,以生物地球化学循环角度为切入点,开展了主要经济动物摄食、代谢生理活动对碳、氮、磷等生源要素关键生物地球化学过程的驱动作用和机理研究,建立了虾夷扇贝、长牡蛎、菲律宾蛤仔等养殖生物的个体生长模型,从个体、群落、生态系统水平上初步构建了生源要素收支模型。与此同时,研究了人工鱼礁区生物的种群和群落结构,包括浮游植物、附着生物、底栖和游泳动物等;探讨了建礁前后的变化,包括种群生长、群落演替、多样性和丰富度等。国内多位学者也利用 Ecopath 模型对嵊泗人工鱼礁海区、长江口及毗邻水域、枸杞海藻场、荣成俚岛人工鱼礁区和獐子岛人工鱼礁海域等生态系统的结构和功能变化进行了讨论,并评估了不同生态系统的能量流动及稳定性<sup>[4-13]</sup>。

随着海洋牧场建设的不断发展,必须强化海洋牧场结构和功能及其对近海生态系统影响的认知,从而支撑我国海洋牧场的科学有序发展。

(2) 海洋牧场资源增殖与养护效果。生物资源增殖养护和回捕利用是海洋牧场的关键问题,海洋牧场建设诸多环节均为此服务。资源增殖在改善渔业资源种群结构和质量以及促进近海渔业的可持续发展方面发挥着极其重要的作用,产生了明显的效果<sup>[14]</sup>。日本、美国等发达国家渔业也大力开展资源增殖的研究工作,其放流、标记、追踪监测以及回捕评估等技术居领先地位;对资源增殖种类的亲鱼遗传管理、苗种质量控制和苗种野性驯化都有较为严格的要求。如资源增殖种类苗种繁育过程中人为对亲本有意或无意的选择,包括人工授精都会导致快速的进化,而当这些人工培育群体被释放到环境中后,会造成本土群体基因库的丢失,进而对本土适应性造成严重威胁。通过对约 70 个资源增殖种类相关研究分析显示(主要包括 31.7% 的鲑鳟鱼类、

15.8%的比目鱼类、14.9%的鲷科鱼类),增殖放流导致了放流群体遗传多样性水平及放流群体适应性的下降,包括存活率、主动寻找庇护场所、竞争性、繁殖成功率等各项指标。这种降低不仅表现在少数几个位点等位基因频率水平(尤其是会导致野生群体应对环境变化水平降低的稀有等位基因的丢失),还有全基因组水平的降低。研究结果均未表明增殖群体在遗传水平的改变导致了其环境适应性方面有所增加<sup>[15-17]</sup>。极端情况下,大规模缺乏合理规划的增殖放流会导致群体资源的崩溃,比如美国加利福尼亚的银大马哈鱼由于大规模增殖放流导致野生群体基因同质化,一定程度上导致了其对环境变化适应性的降低,这被认为是导致群体资源崩溃的主要原因之一<sup>[18, 19]</sup>。由此可见,发达国家针对资源增殖工作所做的研究主要集中在生态安全和综合效果评估方面。

我国渔业资源增殖的研究工作有近30年的历史,但有关资源增殖的基础研究和相关技术仍然明显滞后,成熟的渔业资源增殖技术体系尚未形成。基于营养层次水平的渔业资源增殖模式,放流增殖物种或外来物种的监测和评估技术,放流群体所带来的生态影响、生态系统稳定性影响和遗传学影响、渔业资源增殖与效果评价技术体系等方面,尚未开展深入的科学研究。

## 2.2 海洋牧场人工生境工程与信息技术

(1) 海洋牧场人工生境工程技术。海洋牧场人工生境是针对牧场区域荒漠化加剧,根据海域流场、环境特征以及生物构成等情况,营造环境与生物协调发展的生息场。人工生境的内涵包含生境营造、生境修复和生境优化三个部分,其主要研究内容包括基于生态系统理论的人工鱼礁建造、上升流营造,海藻场、海草床、珊瑚礁修复,生境结构功能优化等。

目前,生境营造工程措施主要依靠人工鱼礁实现。人工鱼礁是通过人为在海中设置构造物,改善海域生态环境,为海洋生物创造良好栖息环境,提供繁殖、生长、索饵和庇敌场所,以实现保护环境、增殖资源和提高渔获量。目前世界上众多濒海国家都在各自沿海投放了人工鱼礁,进行近海海洋生物栖息地和渔场的修复。不同国家、地区有着不同的发展模式,取得了不少成功的经验,也总结了一些失败的教训。我国在20世纪70年代开展试验性研究,广东、海南、广西、辽宁、山东、浙江、福建等地建设人工鱼礁试点,投放人工鱼礁<sup>[20]</sup>。

多项研究表明,人工鱼礁能增加附近鱼群的种

类和数量,尤其是当其被设置在远离自然礁的区域或者被设置在贫瘠广阔的沙质区域时<sup>[21]</sup>。可见,人工鱼礁作为一种增加渔业资源的方式,是海洋牧场建设中不可缺少的一环。但人工鱼礁的投放需要进行合理的选址,选址不当将导致人工鱼礁的功能和作用失效,进而妨碍海洋的其他正当用途<sup>[22]</sup>。而失效后的人工鱼礁会改变鱼礁投放海域的水动力学特性,形成复杂多变的水文状况,可能会对海洋生物的生存与栖息产生不利影响,破坏原本脆弱的海洋生态环境。但现阶段,我国部分地区所投放的人工鱼礁,存在工程措施比较单一,鱼礁设计、材料、成礁机理、施工工艺等方面缺乏科学依据等问题,影响到了鱼礁建设的整体效果。

事实证明,不是任何海域都适合鱼礁建设。因此,建设海洋牧场生境需要一整套措施,如人工上升流和人工下降流等。在人工上升流技术研究方面,日本处于世界领先水平。日本学者率先提出采用大型海洋平台解决方案,利用水泵抽水实现海底营养盐的提升,并将其称之为“拓海(TAKUMI)”工程<sup>[23-25]</sup>;2010年,日本水产综合研究所的中山哲严等人提出可在海底堆砌砂石以形成一个有坡度的沙丘<sup>[26, 27]</sup>,从而改变水平流动的洋流流向,使其产生垂直方向分速度,形成人工上升流的新思路。日本鹿儿岛大学 Nagamatsu 等人还将V型结构用于人工上升流营造<sup>[22]</sup>。首先通过橡胶或者网幕阻挡海流的水平流动,使海流向固定方向集中,之后将V型结构体布置在目标位置,从而使被阻挡的海流上升以形成人工上升流。挪威采取了气泡幕举升法,使用气泵将气体向较深海水中注入以带动水流上涌形成人工上升流。

人工下降流是指科学地投放海底结构物,引发海洋中自上向下的水体流动,将上层富氧海水带入底层,增加底层水体的溶解氧含量,以保护底栖生物,诱集和增殖各类海洋生物。国外不断加大、加快对人工下降流技术的研究和应用<sup>[28, 29]</sup>。目前,美国、日本、瑞典和挪威等海洋强国都开展了相关研究,取得了一系列重要的理论和应用成果。如日本东京大学研制的大型海水密度流发生装置(Density Current Generator, DCG),使用汽/柴油发电机供能,用水泵同时形成人工上升流和人工下降流,并使之充分混合后在温跃层上方水平排出。近十年的试验结果表明,该装置使Gokasyo海湾的赤潮和低氧现象得到了明显的改善,其中有害藻华基本消失,低氧水体面积减少了60%<sup>[30, 31]</sup>。DCG技术在日本近

海、海湾、河口等处得到多次应用,取得了良好的环境效益和社会效益。瑞典政府在 By Fjord 峡湾(平均水深 51 米,水体底部长期低氧)建立了大规模生态工程,利用风力和电力将表层海水泵入 35 米深度的底层低氧水体。两年的实验研究结果表明,单个下降流装置可使近 7 平方千米低氧水体的平均溶解氧(DO)含量从 0 mg/L 增加到 3.7 mg/L,该海域水体中的  $\text{NH}_4$ 、P、 $\text{H}_2\text{S}$  含量大幅度下降,底层水体生物丰度显著提升。

现阶段,我国海洋牧场人工生境技术水平与国际先进水平相比还存在较大差距,尚处于初期探索阶段,人工生境技术发展面临诸多技术瓶颈。例如,生境营造工程措施单一、作用机理不明、人工构件投放缺乏理论依据,海藻、海草场(床)修复与建设缺乏有效措施,牧场生物功能群构建缺乏科学基础等问题,严重制约着海洋牧场高质量建设与科学有序发展。

(2) 海洋牧场监测预警信息技术。目前,我国海洋牧场监测预警方面的信息技术体系尚不能保障海洋牧场产业的快速健康发展。我国在海洋牧场生态环境和渔业资源的原位在线监测、三维立体在线监测、水动力—生态耦合、灾害预警等方面的基础理论和技术装备相对薄弱,信息化水平低下,严重制约了海洋牧场实时在线监测体系和预警预报系统的发展<sup>[32]</sup>。一方面导致海洋牧场仍处于生态环境质量不可见、不可知,牧场经济物种资源不可统计和不可控的状态,灾害不可预警;而另一方面使得海洋牧场的大力发展缺乏有效监督,存在一定的盲目性,并导致巨大的生态压力和经济损失风险。

当前国内海洋牧场常用的监测手段主要是船基大面观测。无人机监测、无人船监测、平台式在线监测、海底有缆在线监测等新的监测技术和手段也开始得到广泛应用。例如 2016 年,无人机遥感监测和平台式在线监测被应用到海洋牧场周边近海绿藻和海域海水溶解氧和温度的监测中。海底有缆在线监测是发展较早、也是目前应用最为广泛的一种在线监测方式。与平台式在线监测系统不同,海底有缆在线监测系统主要由水下监测平台、双向通讯系统和陆上终端控制系统等三部分组成<sup>[33]</sup>。海底有缆在线监测具有高度稳定性和可扩展性,已被广泛应用于山东省海洋牧场海洋生态环境的业务化监测中。为了保障海洋牧场海域的生态环境安全,山东省“海洋牧场观测网”建设项目于 2015 年正式启动。山东省海底有缆在线监测系统已布放在 20 多个海

洋牧场之中,组成了海洋牧场监测网络,初步实现了海洋牧场的“可视”“可测”和“可报”。

相对于海洋要素的监测,国内外海洋牧场在渔业资源统计和监控方面均发展较早,相关技术亦较为成熟<sup>[34]</sup>。渔业资源统计和监控方法大致上可以分为人工监测和传感器监测等。人工进行渔业资源的统计和监控是国内外海洋牧场最早采用的方法。而随着海洋科学技术的发展,海洋牧场渔业资源统计和监控也进入第二个阶段,即传感器监测阶段。如利用多波束回声探测仪研究台湾岛周边海域人工鱼礁的空间分布情况,从而统计和监测渔业资源<sup>[35]</sup>;研发了一种双频识别声呐,可以识别目标并进行追踪,从而给出鱼的数量、大小、平均移动速度和方向等信息,在一定程度上提高了渔业资源监测评估的水平<sup>[36]</sup>;研发了鱼类资源水下立体摄像分析方法,制作了配套装置和分析软件,并将其应用于人工鱼礁区重要鱼类资源的生物量、种群密度及其他生物学指标等监测分析中<sup>[37]</sup>;利用计算机视觉与深度学习相结合,提出了一种基于 YOLO (You Only Look Once) 算法的端到端(End-to-End)鱼群检测方法<sup>[38]</sup>,只需直接输入鱼群原始材料,可直接得到可用的结果,而不用去关心中间的产物。

海洋要素的观测和渔业资源的统计与监控可以让管理者对海洋牧场过去和当前的状况有较好的认识和把握。随着海洋牧场的高速发展,对海洋牧场水动力和生态环境进行业务化预报、对特定海洋灾害进行较为准确的预警就显得尤为重要。国外学者建立了波罗的海北部 19 个河口低氧的多元回归分析统计模型<sup>[39]</sup>。除统计预警预报外,目前较为常用的是基于水动力模型和生态模型的数值预报,基于 ROMS (Regional Ocean Modeling System) — 生态耦合模型较好地再现了墨西哥湾低氧的形成过程,并在此基础上,探讨确定了墨西哥湾北部低氧区的可预报性<sup>[40]</sup>。相对而言,国内还未有针对海洋牧场海域海洋灾害的数值预报预警系统。

由于监测与预警体系建设的不足,我国海洋牧场的信息化水平总体不高。目前值得借鉴的是山东省海洋牧场在信息化建设方面的研究和实践。自 2015 年启动建设海洋牧场观测网,山东省一直致力于海洋牧场的信息化建设,提出海洋牧场“四个一”建设标准,即海洋牧场陆域配套建设“一厅(展示厅)”“一室(监控室)”“一院(研究院)”和“一馆(体验馆)”,提升海洋牧场建设的可见性和可控性。建立了海洋牧场观测网数据中心,业务内容涵盖海洋牧

场观测网数据的采集、处理、展示以及海洋灾害的预警报等多方面,为海洋牧场健康发展提供了技术支撑、决策依据和服务保障。

综上所述,未来必须深化原位及三维立体在线监测、水动力—生态耦合和预警预报等方面的基础理论和新方法与新技术的研究,构建海洋牧场立体监测网络和预警预报系统,加强海洋牧场信息系统建设,为保障海洋牧场生态环境安全、实现可持续发展提供坚实的支撑。

### 2.3 海洋牧场总体布局与综合管理的理论基础

(1) 海洋牧场总体布局。海洋牧场承载力评估是海洋牧场布局规划的前提,也是现代化海洋牧场建设的核心内容之一。有效评估海洋牧场生物承载力,是从全局角度统筹规划我国现代海洋牧场建设的需要<sup>[41, 42]</sup>,是实现我国现代海洋牧场可持续发展的保障<sup>[32]</sup>。可以为确定合理的建设规模,选择合适建设方法提供数据指导,如基于生物承载力选择合适的海洋牧场生物增殖种类、确定合理的生物资源投放流量与投放规模,进而达到精准增殖生物资源的效果<sup>[43]</sup>;其次,有效评估海洋牧场生物承载力,也是开展海洋牧场可持续经营管理活动的必要条件。如生物承载力是海洋牧场生物生产力的重要指数,依据生物承载力确定最大可持续捕捞量,可以用以指导海洋牧场开展可持续捕捞活动,实现对海洋牧场渔业资源的可持续利用<sup>[32, 44]</sup>,达到区域内多个海洋牧场建设经济效益和生态效益最大化的效果。

对于海洋生态系统生物承载力的研究,在世界范围内已经开展了多年。其研究方法从最开始的用经验法判断评估生物承载力,逐渐发展为利用生物个体生长的能量收支模型对生物承载力进行评估,最后发展到从生态系统水平出发,基于生态系统方法评估生物承载力的阶段。如利用 Logistic 模型对浙江嵊泗人工鱼礁区鱼类生物功能群和大型无脊椎动物生物功能群承载力的评估<sup>[45]</sup>;利用能量收支的方法,对阿拉斯加威廉王子湾对太平洋鲑鱼的生物承载力的评估<sup>[46]</sup>;以及利用经验研究法,对切萨皮克湾蓝蟹(*Callinectes sapidus*)育幼场中蓝蟹的生物承载力进行了评估<sup>[43]</sup>。在诸多承载力评估模型中, Ecopath 模型被推荐为评估海洋牧场生物承载力的合适方法之一<sup>[47]</sup>,被广泛运用于对大洋、近岸海湾与潟湖、池塘等生态系统中生物承载力的评估<sup>[48-51]</sup>,是对海洋牧场生物承载力进行评估的主要方法,如对海洋牧场人工鱼礁区刺参(*Apostichopus japonicus*)、皱纹盘鲍(*Haliotis discus hanai*)、虾夷

扇贝(*Patinopecten yessoensis*)、日本蟳(*Charybdis japonica*)、脉红螺(*Rapana venosa*)等生物承载力进行了评估<sup>[32, 52, 53]</sup>。

但目前基于 Ecopath 模型评估海洋牧场生物承载力的研究中,均未考虑海洋牧场作为相对开放的水域生态系统,其与相邻水域生态系统之间的连通性更好,不仅是单纯的水交换,还包括生物之间的迁徙、移动等。因此需要与物理海洋学学科相交叉,计算水交换对海洋牧场系统的物质能量补充量,更加准确评估海洋牧场生物承载力,以期为海洋牧场总体布局提供理论参考。

(2) 海洋牧场综合管理。随着我国海洋牧场建设理念不断的更新、规模不断的扩大、技术要求不断的提高,牧场的风险防控、效益评估与相关政策支撑建设仍有很大缺口。

海洋牧场的风险防控是获取海洋牧场高效益及构建对应政策体系的基础,及时高效的风险防控是牧场养殖产物健康生长的保障,也是不断完善管理决策方法以应对潜在及突发风险的根本。风险防控需全面准确评估海洋牧场面临的生态风险,包括确定针对牧场的各类风险来源、风险危害度、不同物种及生境的脆弱性和随时间推移及空间变化的不确定性。目前,国内外关于生态风险评估的模型开发和评估技术日趋成熟,已从单一因子、静态的风险评估,发展到多因子系统化累积性风险评估<sup>[54]</sup>,包括全息神经网络模型、神经网络模型、贝叶斯网络模型等<sup>[55]</sup>,但鲜有关注生态系统内部的相互作用和风险传递机制。并且,海洋生态系统由于其海水介质的流动性、生态系统监测和数据采集的高成本和高难度,一直以来都滞后于陆地生态系统,专门针对海洋牧场风险评估方法和技术手段的研发更是少有。

随着海洋牧场建设规模不断扩大,监测手段不断提高,可获取的海洋牧场监测信息包括海洋生物、海洋理化性质、海洋经济等数据量级越来越大,开展海洋牧场生态风险防控理论与技术研究已具备现实的可能性。海洋牧场属于海洋中典型的人工和自然复合生态系统,在基于已有的陆地生态系统风险评估经验和海洋牧场的复合生境下,如何从系统生态学视角解构生态风险在复合生态系统中的传导机制与累积放大效应是牧场风险防控需要解决的关键问题。急需建立基于信息网络的全局生态风险评估模型,兼容多种风险源和多种风险受体的共同评估与预测,以揭示牧场复合生态系统生态风险传递机制,并找出关键风险可控因子,不断完善及构建各部门

及各管理人员高效率、易协调、及时性的管理决策流程,为牧场风险最小化管理提供科学支撑。

效益评估是检验海洋牧场的重要手段,不仅是对风险防控的绩效评价,也是及时调整并不断完善海洋牧场管理手段及政策的关键,对于海洋牧场的规模更新、技术升级、健康可持续性非常重要。海洋牧场作为直接创造海洋经济的新增长点同时也是海洋生态修复的新手段,其效益涉及多个方面。以往的海洋经济效益评估往往着重于渔业产量、劳动力创造、经济增比等社会经济价值,而海洋生态效益评估研究多关注于不同生态系统中生态系统服务静态价值,主要的评估方法包括生态系统服务理论模型、生态足迹模型和能值模型,鲜有综合考虑经济效益、社会效益和生态效益,即需要应用投入产出分析方法来综合评估海洋牧场全生命周期的经济、社会和生态效益。投入产出分析(Input-Output Analysis, IOA)由 Leontief 提出后不断完善,从用于单一的生产经济系统,到应用于复合的自然经济系统,将自然资本纳入到传统生产函数中,增加环境维度<sup>[56]</sup>,可较好地反映生态环境系统中投入产出及综合经济生态效益,可形成对海洋牧场全方位效益的全面动态分析及评估。

在海洋牧场法律法规建设、规划设计和评估监管体系建设方面,国家部委和地方层面均已着手开展相关工作,并出台了部分规范、规划和标准,包括《国家级海洋牧场示范区管理工作规范(试行)》《国家级海洋牧场示范区建设规划(2017—2025)》《全国海洋牧场建设规划(2016—2025)》《山东省海洋牧场观测网管理暂行办法》等。然而有很大一部分的政策文件尚处于试行或规划阶段,十分有必要进行相关政策情景模拟分析,进一步完善相关政策制定,尽早地达到高效及时的风险防控及效益增值。情景模拟是西方政策分析过程的重要工具,2018 年诺贝尔经济学奖获得者 William D. Nordhaus 的主要贡献就是创立了综合分析模型(Integrated Assessment Model, IAM),建立经济与气候之间的相互作用定量关系,可用于测试例如碳税等相关气候政策干预经济的后果<sup>[57]</sup>。该模型一直应用于联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)气候变化政策建议情景模拟,可将不同维度的因子转化整合为同一维度相互关联模型,且可对潜在的不确定性进行预估。我国政策情景模拟基本没有应用于海洋相关的政策制定,因此基于综合分析模型开展海洋牧场不同政策

力度、规划情景下的模拟研究,并结合现实经验不断探索和完善各类情景管理策略,可为海洋牧场未来的政策制定提供科学依据,最终形成我国成熟、完备、高效、有序的海洋牧场管理体系。

### 3 未来 5~10 年现代化海洋牧场多学科交叉研究目标及资助重点

#### 3.1 发展目标

近年来,我国海洋牧场相关技术原理与应用实践系列研究进展显著。但不可忽视的是,由于海洋牧场涉及多学科交叉的复杂性与综合性,其基础研究与传统农业、基础工程间仍有较大差距。在近海海洋生态环境承载力理论与评估方法、海洋牧场人工生境的工程技术、海洋牧场监测预警信息技术、典型海洋牧场生态过程及其资源养护和增殖效应、海洋牧场风险防控与综合管理等方面,其科技支撑能力还相对薄弱。

未来 5~10 年,必须面向国家海洋生态文明建设的重大战略需求,针对海洋牧场建设和发展亟需解决的瓶颈问题,通过学科交叉与融合,实现海洋牧场认知创新和重大技术突破,初步形成现代化海洋牧场理论和技术创新体系,支撑现代化海洋牧场高质量建设和有序发展。

#### 3.2 资助重点

本次双清论坛与会专家经过深入研讨,凝练了 3 个海洋牧场重大关键科学问题:(1) 海洋牧场生态过程及其资源环境效应;(2) 海洋牧场人工生境工程的生态响应机制;(3) 海洋牧场生态风险耦合机理与适应性管理模式。建议未来 5~10 年海洋牧场应通过多学科交叉,着重围绕以下 5 个领域开展原创性研究。

(1) 海洋牧场与毗连海域的互动机制和承载力评估。综合评价我国近海的生产力及其变化特征,廓清我国近海适宜建设海洋牧场区域;研究海洋牧场建设对近海理化环境的影响,查明气候变化和外源输入对海洋牧场环境的影响,探明其变动特征和迁移转化规律;构建海洋牧场生态系统健康水平与生产力评估指标体系,研究生态承载力评估模型和方法,系统评估其生态承载力。

(2) 海洋牧场人工生境的工程技术促进机制。研究海洋牧场人工生境及资源生物增殖与工程技术的耦合关系,解析人工生境工程的流场效应和人工系统结构、布局等对牧场生态的作用过程,开展基于流场调控的生境营造装备、海藻(草)场和珊瑚礁生

境修复等共性关键技术研究、探索提升海域初级生产力和防治低氧灾害等的人工流场调控途径,阐明海洋牧场人工生境的工程技术促进机制。

(3) 海洋牧场生态过程及其资源养护和增殖效应。研究不同类型海洋牧场的物质基础与关键动力学过程耦合机理,解析其生源要素外部补充和内部循环机制;研究海洋牧场食物网结构及营养动力学,解析其生态系统结构及其功能实现过程;研究主要增殖种类种群动力学、行为及生理学变化特征,揭示其适应性响应机制;研发不同类型海洋牧场资源环境生态效应评估模型,评价其资源与环境生态效应。

(4) 海洋牧场在线组网监测与灾害预警。研究海洋牧场关键环境和渔业资源参量原位在线监测机理、技术方法及水下多参数信息集成通用平台技术;研究水动力、生物量和生态灾害等要素集成激光雷达、声学遥测和卫星遥感三维成像原理和方法;研究水动力—生态耦合机理及在线观测数据同化预警模型;研究不同载体跨介质信息组网及与灾害数值预警的集成机理和技术,构建信息化原型验证系统。

(5) 海洋牧场风险防控机制与综合管理体系。研究典型海洋牧场生态风险传递机制,构建风险网络化评估和预报模型,确定生态安全阈值,提出适应性风险调控途径;构建三产融合的全产业链投入产出模型,评估海洋牧场生态、社会、经济综合效益;开展政策情景模拟研究,优化综合管理模式,科学助力海洋牧场高质量安全发展。

#### 4 结 语

现代化海洋牧场能够综合实现海洋环境保护、资源养护和渔业持续产出,引起了社会各界的广泛关注。然而我国海洋牧场面临着诸多问题:建设区域与毗连海域的相互影响机制不清,海洋牧场区域环境和资源承载力评估模型亟待构建;海洋牧场生境营造工程技术单一,作用机理不明,技术基础薄弱;海洋牧场生态系统结构及其功能实现过程与机理不清,难以科学评估资源与环境效应;海洋牧场生态环境和渔业资源的高精度实时监测、灾害预警等方面的基础理论和技术装备相对薄弱;海洋牧场风险防控手段落后,安全保障能力和生态—社会—经济综合效益亟待提升等。整合各学科技术优势,包括地球科学、生命科学、管理科学、信息科学、工程与材料科学等多学科交叉是解决这些问题的必要途径。今后需进一步加强多学科交叉研究,针对现代化海洋牧场建设与发展的重大问题,以及未来5~

10年海洋牧场多学科交叉研究目标及资助重点,推动海洋牧场基础研究和科技创新,促进海洋牧场产业发展,以期为我国海洋渔业升级转型、海洋生态环境保护提供参考。

**致谢** 感谢为第230期双清论坛“现代化海洋牧场建设与发展”作出贡献的40余位专家学者,以及相关部门领导和会议志愿者(未能一一列举)!尤其感谢中国水产科学研究院黄海水产研究所唐启升院士、国家自然科学基金委员会沈林福研究员等人对论坛观点形成给予的有益指导!

#### 参 考 文 献

- [1] 杨红生. 我国海洋牧场建设回顾与展望. 水产学报, 2016, 40(7): 1133—1140.
- [2] Coll M, Palomera I, Tudela S, et al. Trophic flows, ecosystem structure and fishing impacts in the South Catalan Sea, Northwestern Mediterranean. *Journal of Marine Systems*, 2006, 59(1): 63—96.
- [3] Sanchez F, Olaso I. Effects of fisheries on the Cantabrian Sea shelf ecosystem. *Ecological Modelling*, 2004, 172(2—4): 151—174.
- [4] 李永刚, 汪振华, 章守宇. 嵊泗人工鱼礁海区生态系统能量流动模型初探. 海洋渔业, 2007, 29(3): 226—234.
- [5] 林群, 金显仕, 郭学武, 等. 基于Ecopath模型的长江口及毗邻水域生态系统结构和能量流动研究. 水生态学杂志, 2009(2): 30—38.
- [6] 张效嘉, 钱微微. 1985~1986年长江口生态系统能流网络分析. 海洋科学, 2016, 40(7): 60—72.
- [7] 赵静, 章守宇, 许敏. 枸杞海藻场生态系统能量流动模型初探. 上海海洋大学学报, 2010, 19(1): 98—104.
- [8] 李岚. 大亚湾海域Ecopath生态系统模型的建立和动态模拟. 广州: 中山大学, 2008.
- [9] 杨林林, 姜亚洲, 袁兴伟, 等. 象山港生态系统结构与功能的ecopath模型评价. 海洋渔业, 2015, 37(5): 399—408.
- [10] 吴忠鑫, 张秀梅, 张磊, 等. 基于Ecopath模型的荣成俚岛人工鱼礁区生态系统结构和功能评价. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2878—2886.
- [11] 许慎行, 陈勇, 田涛, 等. 基于Ecopath模型的獐子岛人工鱼礁海域生态系统结构和功能变化. 大连海洋大学学报, 2016, 31(1): 85—94.
- [12] 宋兵, 陈立侨. Ecosim with Ecosim在水生生态系统研究中的应用. 海洋科学, 2007(1): 85—88.
- [13] 黄孝锋, 邢旭文, 张宪中. EwE模型在评价渔业水域生态系统中的应用. 水生态学杂志, 2011, 32(6): 125—129.
- [14] 金显仕, 邱盛尧, 柳学周. 黄渤海渔业资源增殖基础与前景. 北京: 海洋出版社, 2014.
- [15] 唐启升. 我国专属经济区渔业资源增殖战略研究. 北京: 海洋出版社, 2019.



- [16] Svasand T, Kristiansen TS, Pedersen T, et al. The enhancement of cod stocks. *Fish & Fisheries*, 2000, 1(2): 173—205.
- [17] Aprahamian MW, Smith KM, McGinnity P, et al. Restocking of salmonids—opportunities and limitations. *Fisheries Research*, 2003, 62(2): 211—227.
- [18] McDowell N. Stream of escaped farm fish raises fears for wild salmon. *Nature*, 2002, 416(6881): 571—571.
- [19] Hilborn R. The economic performance of marine stock enhancement projects. *Bulletin of Marine Science*, 1998, 62(2): 661—674.
- [20] 阙华勇, 陈勇, 张秀梅, 等. 现代海洋牧场建设的现状与发展对策. *中国工程科学*, 2016, 18(3): 79—84.
- [21] Castège I, Milon E, Fourneau G, et al. First results of fauna community structure and dynamics on two artificial reefs in the south of the Bay of Biscay (France). *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2016, 179: 172—180.
- [22] 李文涛, 张秀梅. 关于人工鱼礁礁址选择的探讨. *渔业信息与战略*, 2003, 18(5): 3—6.
- [23] Ouchi K, Otsuka K, Omura H, et al. Recent advances of ocean nutrient enhancer “TAKUMI” project. *ISOPE Ocean Mining Symposium*, 2005; China. p. KO-01.
- [24] Ouchi K, Murphy AJ. Real sea experiment of ocean nutrient enhancer “TAKUMI” upwelling deep ocean water. *Oceans*, 2003.
- [25] Ouchi K. Ocean nutrient enhancer “TAKUMI” for the experiment of fishing ground creation. *Proceedings of The Fifth (2003) Ocean Mining Symposium*. Tsukuba, Japan; 2003, p. 37—42.
- [26] Nakayama A, Yagi H, Fujii Y, et al. Evaluation of effect of artificial upwelling producing structure on lower-trophic production using simulation. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 2010, 66(1): 1131—1135.
- [27] Tetsuo N, Naofum S, テツオ ナガマツ, et al. Experimental study on artificial upwelling device combined V-shaped structure with flexible underwater curtain. *Memoirs of Faculty of Fisheries-Kagoshima University (Japan)*, 2006, 55: 27—35.
- [28] Forth M, Liljebldh B, Stigebrandt A, et al. Effects of ecological engineered oxygenation on the bacterial community structure in an anoxic fjord in western Sweden. *ISME Journal*, 2015, 9(3): 656—669.
- [29] Pan YW, Fan W, Zhang DH, et al. Research progress in artificial upwelling and its potential environmental effects. *Science China-Earth Sciences*, 2016, 59(2): 236—248.
- [30] Mizumukai K, Sato T, Tabeta S, et al. Numerical studies on ecological effects of artificial mixing of surface and bottom waters in density stratification in semi-enclosed bay and open sea. *Ecological Modelling*, 2008, 214(2—4): 251—270.
- [31] Sato T, Tonoki K, Yoshikawa T, et al. Numerical and hydraulic simulations of the effect of density current generator in a semi-enclosed tidal bay. *Coastal Engineering*, 2006, 53(1): 49—64.
- [32] 杨红生. 海洋牧场监测与生物承载力评估. 北京: 科学出版社, 2018.
- [33] 王志滨, 李培良, 顾艳镇. 海洋牧场生态环境在线观测平台的研发与应用. *气象水文海洋仪器*, 2017, 34(1): 13—17.
- [34] 杨金龙, 吴晓郁, 石国峰, 等. 海洋牧场技术的研究现状和发展趋势. *中国渔业经济*, 2004, (5): 48—50.
- [35] Shyue SW. Preliminary study on the distribution of artificial reefs by using multibeam echo sounder. *Oceans conference*, 1998.
- [36] Huang R, Han J, Tong J. Assessment of fishery resource of a marine ranching based on a DIDSON. *Oceans Conference*, 2014, pp. 1—5.
- [37] 许强, 张立斌, 刘辉, 等. 典型海湾人工鱼礁区资源修复效果监测与评价. 海峡两岸海洋渔业资源养护和共同开发青年科学家研讨会论文摘要集, 2013.
- [38] 沈军宇, 李林燕, 夏振平, 等. 一种基于YOLO算法的鱼群检测方法. *中国体视学与图像分析*, 2018, 90(2): 54—60.
- [39] Kaupilla P, Meeuwig JJ, Pitkänen H. Predicting oxygen in small estuaries of the Baltic Sea: a comparative approach. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2003, 57(5—6): 1115—1126.
- [40] Hetland RD, Dimarco SF. How does the character of oxygen demand control the structure of hypoxia on the Texas-Louisiana continental shelf?. *Journal of Marine Systems*, 2008, 70(1—2): 49—62.
- [41] Loneragan NR, Jenkins G, Taylor MD. Marine stock enhancement, restocking and sea ranching in Australia: future directions and a synthesis of two decades of research and development. *Reviews in Fisheries Science*, 2013, 21(3—4)(SD): 222—236.
- [42] 杨红生, 霍达, 许强. 现代海洋牧场建设之我见. *海洋与湖沼*, 2016, 47(6): 1069—1074.
- [43] Seitz RD, Lipcius RN, Knick KE, et al. Stock enhancement and carrying capacity of blue crab nursery habitats in chesapeake bay. *Reviews in Fisheries Science*, 2008, 16(1—3): 329—337.
- [44] 唐启升. 关于容纳量及其研究. *渔业科学进展*, 1996, 17(2): 1—6.
- [45] 尹增强, 章守宇. 浙江嵊泗人工鱼礁区渔业资源生态容纳量变动的研究. *渔业科学进展*, 2011, 32(5): 108—113.
- [46] Cooney RT. A theoretical evaluation of the carrying capacity of Prince William Sound, Alaska, for juvenile Pacific salmon. *Fisheries Research*, 1993, 18(1—2): 77—87.
- [47] 章守宇, 周曦杰, 王凯, 等. 蓝色增长背景下的海洋生物生态城市化设想与海洋牧场建设关键技术研究综述. *水产学报*, 2019, 43(1): 81—96.
- [48] Pauly D, Christensen V. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, 1995, 376(6537): 279—279.
- [49] Byron C, Link J, Costa-Pierce B, et al. Modeling ecological carrying capacity of shellfish aquaculture in highly flushed temperate lagoons. *Aquaculture*, 2011, 314(1—4): 87—99.

- [50] Byron C, Link J, Costa-Pierce B, et al. Calculating ecological carrying capacity of shellfish aquaculture using mass-balance modeling: Narragansett Bay, Rhode Island. *Ecological Modelling*, 2011, 222(10): 1743—1755.
- [51] Xu SN, Chen ZZ, Li CH, et al. Assessing the carrying capacity of tilapia in an intertidal mangrove-based polyculture system of Pearl River Delta, China. *Ecological Modelling*, 2011, 222(3): 846—856.
- [52] 吴忠鑫, 张秀梅, 张磊, 等. 基于线性食物网模型估算荣成俚岛人工鱼礁区刺参和皱纹盘鲍的生态容纳量. *中国水产科学*, 2013, 20(2): 327—337.
- [53] 许祯行, 陈勇, 田涛, 等. 基于 Ecopath 模型的獐子岛人工鱼礁海域生态系统结构和功能变化. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(1): 85—94.
- [54] Chen S, Chen B, Fath BD. Ecological risk assessment on the system scale: a review of state-of-the-art models and future perspectives. *Ecological Modelling*, 2013, 250 (1753): 25—33.
- [55] 陈绍晴, 房德琳, 陈彬. 基于信息网络模型的生态风险评估. *生态学报*, 2015, 35(7): 204—210.
- [56] Ferng JJ. Applying input-output analysis to scenario analysis of ecological footprints. *Ecological Economics*, 2009, 69 (2): 345—354.
- [57] Nordhaus WD. Projections and Uncertainties about climate change in an era of minimal climate policies. *Cowles Foundation Discussion Papers*, 2016.

## Construction and Development of Modern Marine Ranching —Academic Review of the 230<sup>th</sup> Shuangqing Forum

Lin Chenggang<sup>1</sup>    Yang Hongsheng<sup>1\*</sup>    Chen Ying<sup>2</sup>    Jin Xianshi<sup>3</sup>    Chen Bin<sup>4</sup>  
Li Wei<sup>5</sup>    Ren Zhiguang<sup>6</sup>    Leng Shuying<sup>5</sup>    Ding Dewen<sup>7</sup>

1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071*

2. *Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021*

3. *Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071*

4. *School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875*

5. *Department of Earth Science, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*

6. *Department of Management Science, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*

7. *First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources of China, Qingdao 266061*

**Abstract** Based on the 230<sup>th</sup> Shuangqing Forum, the present study reviewed the development process and current status of marine ranching in China, summarized the main scientific and technological research achievements as well as development directions obtained in recent years at home and abroad. Moreover, the urgent problems in the construction and development of marine ranching were also illustrated. Based on the major strategic demands of the national marine ecological civilization construction, we analyzed and concluded the major key scientific issues in the field for the next 5~10 years, and discussed the area of the frontier research and the funding strategy of the scientific fund.

**Keywords** marine ranching; artificial habitat; proliferation and conservation; ecological processes; risk prevention and control; interdisciplinary research

(责任编辑 刘敏)

\* Corresponding Author, Email: hshyang@qdio.ac.cn