

文章编号: 1000-0615(2019)04-1255-08

DOI: 10.11964/jfc.20190211670

· 综述 ·

## 中国现代化海洋牧场建设的战略思考

杨红生<sup>1,2,3\*</sup>, 章守宇<sup>4</sup>, 张秀梅<sup>5</sup>, 陈丕茂<sup>6</sup>, 田涛<sup>7</sup>, 张涛<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所, 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266237;

3. 中国科学院海洋大科学研究中心, 山东 青岛 266071;

4. 上海海洋大学海洋生态与环境学院, 上海 201306;

5. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

6. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

7. 大连海洋大学, 辽宁省海洋牧场工程技术研究中心, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 现代化海洋牧场是实现海洋环境保护和渔业资源高效产出的新业态, 对推动新旧动能转换具有重要意义。本文综述了现代化海洋牧场理念、发展历程与建设现状, 并从原创驱动、技术先导、工程示范等角度提出了保障中国现代化海洋牧场健康发展的战略建议, 以期为中国海洋渔业升级转型提供参考。

**关键词:** 海洋牧场; 原创驱动; 技术先导; 工程示范

**中图分类号:** S 953

**文献标志码:** A

中国是海洋大国, 海岸线长约1.8万km, 岛屿岸线长约1.4万km, 海洋资源得天独厚, 是世界第一渔业大国<sup>[1]</sup>。海洋渔业是我国农业产业体系的重要组成部分, 最新统计数据表明, 中国渔业从业人员达1 931.85万人, 水产总产量达6 445.33万t, 全社会渔业经济总产值24 761.22亿元<sup>[2]</sup>。然而, 当前中国传统渔业面临着海洋生境碎片化、海水富营养化和渔业资源衰退等突出问题, 导致渔业资源可持续利用性受到严重影响。海洋牧场作为中国传统渔业转型新动力, 近年来发展势头迅猛, 在改善近海渔业生态环境、养护渔业资源、促进海洋经济结构调整、推动供给侧结构性改革和新旧动能转换等方面具有重要意义。

### 1 现代化海洋牧场理念发展历程

#### 1.1 海洋牧场理念发展历程

海洋牧场理念源自于科学利用海洋的实践

经验, 并随着渔业发展得以不断完善。在中国, 早在1947年, 朱树屏结合国内外渔业生产经验, 提出了“水即是鱼类的牧场”概念。在1965年, 曾呈奎等<sup>[3]</sup>根据中国水产增殖经验, 提出了“使海洋成为种植藻类和贝类的农场, 养鱼、虾的牧场”理念; 并随后丰富了“海洋农牧化”内涵, 提出了通过人为改造、创造经济生物生长发育所需要的海洋环境条件, 以达到提高渔业产量的创新性设想<sup>[4-7]</sup>。20世纪90年代以来, 中国学者在“海洋农牧化”理念的基础上, 吸收了日本、美国等的渔业开发理念和技术手段, 针对中国近海渔业的现状和特点, 更为明确地对海洋牧场进行了诠释, 该时期“海洋牧场”要素包括以下几点: 以养护和增殖渔业生物资源、优化渔业环境为建设目的; 以人工鱼礁(藻礁)建设和幼苗放流(底播)为主要手段; 海洋牧场具有明确的边界与归属权; 海洋牧场所用苗种来源于人工育苗或人工驯化; 海洋牧场建设区域为自然海域; 通

收稿日期: 2019-02-24 修回日期: 2019-03-15

资助项目: 中国科学院重点部署项目(KFZD-SW-106); 中国科学院“现代海洋牧场构建原理与工程技术创新交叉团队”项目(Y82327101L)

通信作者: 杨红生, E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

过声学 and 光学等技术手段对海洋牧场资源实施人工管理<sup>[8-10]</sup>。

## 1.2 现代化海洋牧场内涵

当前,在全球气候变化与中国近海渔业资源严重衰退的背景之下,“现代化海洋牧场”理念与内涵应符合适宜中国海域特点及渔业发展特性,主要包括以下特征:海洋牧场发展依赖于健康的海洋生态系统,加强生境恢复和修复、根据生物承载力科学增殖是建设基础,即“生态优先”;海洋牧场区应包括海域与毗连陆地,陆地是牧场管理与苗种生产的基地,海上是生境修复和增殖放流的生产空间,即“陆海统筹”;海洋牧场应包括水产品生产、礁体和装备制造、休闲渔业等第一二三产业,即“三产贯通”;工程化、机械化、自动化、信息化是现代化海洋牧场的发展方向,是应对环境灾害、提高生产效率的根本动力,即“四化同步”<sup>[11]</sup>。综上所述,现阶段可将海洋牧场的概念和内涵表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<sup>[11-14]</sup>。在此理念下,中国现代化海洋牧场的业态将丰富多元,主要包括环境保护、生物资源修复、精深加工、装备制造、海洋信息、休闲渔业、海洋科普等。

## 2 现代化海洋牧场发展现状

### 2.1 海洋牧场建设发展历程

中国海洋牧场建设在短时间内走过了其他国家几十年的发展道路,主要包括建设实验期(1979-2006)、建设推进期(2006-2015)与建设加速期(2015-)3个主要阶段。在建设实验期,共投放28 000多个人工鱼礁,建立了23个人工鱼礁实验点;在建设推进期,投入资金49.8亿元,建设鱼礁6 094万m<sup>2</sup>,形成了海洋牧场852.6 km<sup>2</sup>,并发布了《中国水生生物养护行动纲要》<sup>[15]</sup>;在建设加速期,目前已完成覆盖渤海、黄海、东海与南海四大海域的86个国家级海洋牧场示范区建设,并计划到2025年建设178个国家级海洋牧场示范区<sup>[16-17]</sup>,引领全国海洋牧场科学发展。

### 2.2 现代化海洋牧场建设技术体系初步建立

近年来,中国科研工作者在海洋牧场建设

技术原理与应用实践上都取得了一系列进展:①针对中国海洋牧场建设缺乏统一标准、承载力评估缺乏科学模型、设计原则缺乏生态理念、管理体系缺乏信息集成等重大问题,通过原理创新、标准规范制定、生态模型评估、设备开发等集成应用,在全国构建了多处海洋牧场示范基地<sup>[18-21]</sup>。②突破了以海草/藻床修复、关键物种产卵场修复为核心的海洋牧场生境营造技术体系<sup>[22-25]</sup>。③建立了以关键经济种扩繁、修复为核心的海洋牧场生物资源修复技术体系<sup>[26-37]</sup>。④构建了集成环境监测、资源观测、灾害预警为核心的海洋牧场环境—资源综合监测网络<sup>[19, 38]</sup>。⑤集成创新了以音响驯化、声学标记为核心的海洋牧场资源管理技术<sup>[39-40]</sup>。⑥构建了“科研院所+企业+合作社+渔户”相结合的组织管理模式<sup>[18]</sup>,为现代化海洋牧场的规范化管理提供了示范样板。

经过60余年的努力,中国海洋牧场建设从理念构想到初具规模,其形式和内涵不断丰富,从以渔业生产为目标的传统海洋牧场,到重视环境保护、生态修复和资源养护,涵盖苗种扩繁、生态开发的现代化海洋牧场<sup>[13]</sup>,标志着中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刚刚起步,现代化海洋牧场的科学发展仍面临诸多挑战。

### 2.3 现代化海洋牧场建设技术体系亟待升级

党和国家对现代化海洋牧场建设寄予厚望,并提出了高标准的建设要求。2017年中央一号文件明确提出,“支持集约化海水健康养殖,发展现代化海洋牧场。”2018年中央一号文件强调,“统筹海洋渔业资源开发,科学布局近远海养殖和远洋渔业,建设现代化海洋牧场。”2019年中央一号文件再次强调,“合理确定内陆水域养殖规模,压减近海、湖库过密网箱养殖,推进海洋牧场建设。”2018年4月,习近平总书记视察海南时强调:“要坚定走人海和谐、合作共赢的发展道路,提高海洋资源开发能力,支持海南建设现代化海洋牧场。”2018年6月,习近平总书记在山东考察时再次作出重要指示:“海洋牧场是发展趋势,山东可以搞试点。”建设现代化海洋牧场已经是促进海洋经济绿色发展,实现新旧动能转换的重要抓手之一。

中国海洋捕捞业和养殖业发展取得了举世

瞩目的成就,但也存在诸多生态问题。海洋牧场被视为实现海洋环境保护和渔业资源高效产出的新业态,是解决海洋生态保护、海洋生境修复与海洋生物资源可持续利用的重要举措。但根据相关企业调研结果表明,目前海洋牧场建设及生产实践中出现了一些“卡脖子”问题,主要包括:①海洋牧场食物网营养结构不合理、生物承载力缺乏科学评估体系,海洋牧场生产效率低,导致海洋牧场的可持续利用受到影响,甚至会出现生物入侵、本地物种加速退化等生态后果。②生物资源高精度实时监测原理与设备研发较为薄弱,海洋牧场经济生物管理整体呈现“去向不明”、“难觅踪迹”的现状,导致海洋牧场经济动物呈现“失控状态”,存在经济动物捕捞难度大、生产风险高的现象。③在全球气候变化影响下,海洋牧场可持续发展出现了一定隐患,甚至导致生物易出现季节性大规模死亡的现象。例如,因冷水团变动异常导致虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)产量骤降,夏季高温低氧导致刺参大规模死亡等。④海洋牧场的空间利用和开发模式落后,目前仅水下部分空间得以利用,而水上空间尚未得到有效开发,并且存在海上电力资源不足的问题,导致大型现代化海洋牧场运行设备和监测设施等无法长期稳定高效使用。

伴随中国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,成为当前最突出和亟需解决的问题。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。

### 3 现代化海洋牧场发展策略与建议

目前,中国海洋经济进入快速增长阶段,海洋牧场建设是实现海洋经济可持续发展的重要手段。为了建设具有中国特色的现代化海洋牧场,必须坚持原创驱动、技术先导、工程示范的基本原则<sup>[41]</sup>。

#### 3.1 创新驱动现代化海洋牧场建设

原创驱动即聚焦在海洋牧场全产业链基础之上,关注亟待突破重大科学问题和“卡脖子”技术瓶颈,强化技术先导支撑作用,突出工程示范效果,从而引领和支撑中国现代化海洋牧场

产业持续健康发展,实现中国由渔业大国向环境保护与资源利用并重的渔业强国的转变。

**重大科学问题** 聚焦海洋牧场建设技术原理,从机制层面实现原理突破和认知,是现代化海洋牧场可持续发展的关键所在。现代化海洋牧场建设的重大科学问题主要包括:海洋牧场生产力演变,生物过程及生态互作机制,海洋牧场生态系统对全球气候变化的响应机制,海洋牧场经济动物行为控制原理与机制,海洋牧场与清洁能源、休闲渔业的融合发展机制等。

**重大技术瓶颈** 中国海洋牧场产业在环境实时监测技术、生物资源智能管理技术、生物资源智能收获技术等方面的基础十分薄弱,必须聚焦海洋牧场经济动植物原种保护与利用、渔业资源数字化管理、环境安全自动化保障、渔业产品高效清洁生产与质量控制等重大技术瓶颈,实现新设备、新技术、新品种、新模式、新空间的突破,为现代化海洋牧场建设提供技术支持。

#### 3.2 关键技术突破促进现代化海洋牧场发展

现代化海洋牧场的建设是一个复杂的、长期的、多学科交叉的系统工程,涉及到海洋生态学、海洋动物行为学、海洋生物保护学、海洋工程与信息技术学等多学科的交叉应用问题。因此,以调查与选址、牧场设施布局布放、牧场资源环境监测与评价、牧场养护与管理等关键步骤为现代化海洋牧场建设技术体系的基础框架,立足绿色、高效与可持续发展目标,在未来5~10年期间,必须在现代化海洋牧场建设技术体系构建方面实现新突破。

**海洋牧场生态环境营造技术** 研发海洋牧场生态礁体材料、设计、制造、组合与布局技术,重点突破大型人工鱼礁设计制造等关键技术;优化海藻场/草床的修复与移植技术,研究大型藻类/海草场在特定环境下的生长机制、环境及生物间作用机制,系统研发大型海藻/草恢复设施装备与技术等,有效控制海洋生境碎片化,实现海洋牧场内生态环境全面修复。

**海洋牧场生物行为控制技术** 选择海洋牧场内生态关键种与优势经济种,强化种质资源保护,建立关键种扩繁技术体系,突破关键物种行为控制技术,建立适应现代化海洋牧场建设的关键物种扩繁与生物控制技术体系,实现重要增殖经济物种的优质安全生产与高效管理。

**海洋牧场生物承载力提升技术** 基于中国南北海域生境特征, 优化海洋牧场食物网结构, 建立多元复合高效海洋牧场食物网系统, 丰富海洋牧场内生物资源营养级结构; 建立海洋牧场生物承载力评估技术体系, 构建海洋牧场生物资源可持续开发、管理利用技术方案, 构建增殖结构合理的生态牧场, 实现海洋牧场可持续利用。

**海洋牧场生物资源评估技术** 利用声学等生物资源探测与评估技术, 建立生物资源声学无损探测与评估体系; 利用遥感信息技术开发环境因子与资源变动数据模型; 研发放流效果的评估技术, 精确评估放流幼体在海洋牧场的存活、生长和繁衍状况, 以多元技术手段实现海洋牧场生物资源精确评估。

**海洋牧场生态模型构建与预测技术** 建立海洋牧场环境因子和渔业资源信息实时监测网络, 研发海洋牧场生态安全与环境保障监测平台, 集成建立海洋牧场环境因子大数据处理分析中心, 采用多元模型预测评估海洋牧场安全与经济生物资源产出, 综合提高海洋牧场对自然灾害的预警能力和智能化管理能力。

**海洋牧场智能捕获装备与配套技术** 基于海洋牧场典型物种行为特征, 研发水下诱捕技术, 结合自动控制技术, 研制智能生态捕获装备。针对海洋牧场复杂水体特征, 基于激光、偏振成像、声学探测等多种技术手段, 开展海洋牧场经济生物资源可视化研究, 建立水下实时动态监测系统, 为海洋牧场资源的智能化捕获提供新的技术手段, 提高海洋牧场资源捕捞效率、减小渔业作业风险, 实现牧场生物高精度机械化采收。

**海洋牧场智能微网构建与能源保障技术** 建立海洋牧场与海上风电融合发展技术体系, 研发增殖型风电基础装备, 开发环境友好型风机设施, 构建“蓝色粮仓+蓝色能源”的现代化海洋牧场发展新模式; 开发海洋牧场智能微网系统, 保障海洋牧场的能源供给, 实现海洋牧场与海上风电融合发展的可视、可管与可控, 进一步实现海域空间资源的集约高效利用, 兼顾清洁能源产出与渔业资源持续发展。

### 3.3 以点带面促进现代化海洋牧场建设全面升级

中国南北海域纬度跨度大, 现代化海洋牧

场建设技术和模式存在一定差异。渤、黄海海域主要以海湾生境为主, 是中国传统渔业主产区, 构建海洋牧场的主要目的在于修复受损生境与养护渔业资源。例如, 通过设置人工鱼礁、人工藻礁, 营造海藻/草床, 修复与优化经济生物的栖息场所, 放流经济生物, 实现海洋环境保护、生境修复和资源持续利用并举的目标。东海海域主要以岩礁海域为主, 通过修复补强和拓展岩石相生境(包括海藻场)的生态功能和幼苗放流等, 大力提高对岩礁性高值渔业资源的养护和增殖, 并通过休闲海钓等渔业资源利用模式的创新, 实现区域生态环境和生物资源的可持续发展。南海海域以珊瑚岛礁生境为主, 恢复珊瑚礁生态系统和岛礁渔业资源、增殖珊瑚礁特色海洋生物资源并实现高值化利用, 是实现南海生物资源可持续利用、促进社会经济发展和维护国家主权的重要内容。

综上所述, 实现海洋牧场理念现代化、装备现代化、技术现代化和管理现代化, 建立适于中国南北方海域可复制、可推广的现代化海洋牧场建设技术体系, 促进海洋环境保护、生态修复和生物资源养护的有机结合, 从而科学引领中国现代化海洋牧场的规范化建设和健康发展。

### 参考文献:

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of World Fisheries and Aquaculture 2018-Meeting the sustainable development goals[R]. Rome: FAO, 2018.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2018中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018. Fisheries and Fisheries Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fisheries Statistical Yearbook 2018[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018(in Chinese).
- [3] 曾呈奎, 毛汉礼. 海洋学的发展、现状和展望[J]. 科学通报, 1965(10): 876-883. Tseng C K, Mao H L. Development, current situation and Prospect of Oceanographic[J]. Science Bulletin, 1965(10): 876-883(in Chinese).

- [4] 曾呈奎. 关于我国专属经济海区水产生产农牧化的一些问题[J]. 自然资源, 1979(1): 58-64.  
Tseng C K. Some problems on fisheries and animal husbandry production in China's exclusive economic area[J]. Natural Resources, 1979(1): 58-64(in Chinese).
- [5] 曾呈奎, 徐恭昭. 海洋牧业的理论与实践[J]. 海洋科学, 1981(1): 1-6.  
Tseng C K, Xu G Z. The theory and practice of marine animal husbandry[J]. Marine Sciences, 1981(1): 1-6(in Chinese).
- [6] 曾呈奎. 我国海洋生物学在新时期的主要任务[J]. 海洋科学, 1980(1): 1-5.  
Tseng C K. The main task of China's marine biology in the new era[J]. Marine Sciences, 1980(1): 1-5(in Chinese).
- [7] 曾呈奎. 海洋农牧化大有可为[J]. 科技进步与对策, 1985(2): 9-10.  
Tseng C K. Marine farming have a brilliant future[J]. Science Technology Progress and Policy, 1985(2): 9-10(in Chinese).
- [8] 刘星泽. 渔业要走农牧化的道路——渔捞专家谈开发海洋渔业生产[J]. 瞭望周刊, 1984(43): 25.  
Liu X Z. Fishery should go to the road of farming—fishing experts talking about the development of marine fishery production[J]. Outlook Weekly, 1984(43): 25(in Chinese).
- [9] 陈永茂, 李晓娟, 傅恩波. 中国未来的渔业模式——建设海洋牧场[J]. 资源开发与市场, 2000, 16(2): 78-79.  
Chen Y M, Li X J, Fu E B. The future pattern of fishery in China—constructing oceanic ranch[J]. Resource Development Market, 2000, 16(2): 78-79(in Chinese).
- [10] 张国胜, 陈勇, 张沛东, 等. 中国海域建设海洋牧场的意义及可行性[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(2): 141-144.  
Zhang G S, Chen Y, Zhang P D, *et al.* Significance and feasibility of establishing marine ranching in Chinese sea area[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2003, 18(2): 141-144(in Chinese).
- [11] 杨红生, 杨心愿, 林承刚, 等. 着力实现海洋牧场建设的理念、装备、技术、管理现代化[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(7): 732-738.  
Yang H S, Yang X Y, Lin C G, *et al.* Strive to realize modernization of concept, equipment, technology, and management of modern marine ranching developme-
- nt[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(7): 732-738(in Chinese).
- [12] 杨红生, 霍达, 许强. 现代海洋牧场建设之我见[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(6): 1069-1074.  
Yang H S, Huo D, Xu Q. Views on modern marine ranching[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(6): 1069-1074(in Chinese).
- [13] 杨红生. 我国海洋牧场建设回顾与展望[J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1133-1140.  
Yang H S. Construction of marine ranching in China: reviews and prospects[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(7): 1133-1140(in Chinese).
- [14] 中华人民共和国农业部. SC/T 9111-2017海洋牧场分类[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2017.  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. SC/T 9111-2017 Classification of marine ranching [S]. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2017(in Chinese).
- [15] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发中国水生生物资源养护行动纲要的通知[EB/OL].(2006-02-14)[2006-02-27].[http://www.gov.cn/zhengce/content/2006-02/27/content\\_8133.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2006-02/27/content_8133.htm).  
State Council of the People's Republic of China. Notice of the State Council on printing and distributing the outline of China's aquatic biological resources conservation action[EB/OL].(2006-02-14) [2006-02-27]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2006-02/27/content\\_8133.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2006-02/27/content_8133.htm) (in Chinese).
- [16] 中华人民共和国农业部. 农业部关于印发《国家级海洋牧场示范区建设规划(2017—2025)》的通知[EB/OL].(2017-11-01). [2017-11-01]. [http://jiuban.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201712/t20171204\\_5961857.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201712/t20171204_5961857.htm).  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Agriculture on printing and distributing the national marine ranching demonstration zone construction plan (2017-2025)[EB/OL].(2017-11-01)[2017-11-01][http://jiuban.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201712/t20171204\\_5961857.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201712/t20171204_5961857.htm)(in Chinese).
- [17] 农业部渔业渔政管理局, 中国水产科学研究院. 中国海洋牧场发展战略研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.  
Fisheries Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chinese Academy of Fishery Sciences. Research on the Development Strategy

- of Marine Ranching in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017(in Chinese).
- [18] 赵洪杰. 被复制的“泽潭”渔业模式[N]. 大众日报, 2016-1-14(11).  
Zhao H J. The copied “Zetan” fishery model[N]. Dazhong Daily, 2016-1-14(11)(in Chinese).
- [19] 张立斌, 林承刚. 海洋牧场环境资源监测平台构建[C]//第二届现代化海洋牧场国际学术研讨会、中国水产学会渔业资源与环境专业委员会2018年学术年会论文集. 大连: 中国水产学会海洋牧场专业委员会, 中国水产学会渔业资源与环境专业委员会, 2018.  
Zhang L B, Lin C G. Construction of marine pasture environmental resource monitoring platform[C]//The 2nd International Symposium on Modern Marine Ranching, Proceedings of the 2018 Annual Conference of Fisheries Resources and Environment Committee of China Society of Fisheries. Dalian, 2018(in Chinese).
- [20] 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[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(1): 85-94.  
Xu Z X, Chen Y, Tian T, *et al.* Structure and function of an artificial reef ecosystem in Zhangzi Island based on Ecopath model[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(1): 85-94(in Chinese).
- [21] 曾旭, 章守宇, 林军, 等. 岛礁海域保护型人工鱼礁选址适宜性评价[J]. 水产学报, 2018, 42(5): 673-683.  
Zeng X, Zhang S Y, Lin J, *et al.* Site selection suitability assessment for protective artificial reefs in island area[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(5): 673-683(in Chinese).
- [22] 章守宇, 向晨, 周曦杰, 等. 枸杞岛海藻场6种大型海藻光合荧光特性比较[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3441-3448.  
Zhang S Y, Xiang C, Zhou Y J, *et al.* Photosynthetic fluorescence characteristics of six macroalgae species in seaweed beds of Gouqi Island, Zhejiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(10): 3441-3448(in Chinese).
- [23] Xu S C, Zhou Y, Wang P M, *et al.* Salinity and temperature significantly influence seed germination, seedling establishment, and seedling growth of eelgrass *Zostera marina* L[J]. Peerj, 2016, 4: e2697.
- [24] Xu S C, Wang P M, Zhou Y, *et al.* New insights into different reproductive effort and sexual recruitment contribution between two geographic *Zostera marina* L. populations in temperate China[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 15.
- [25] 郭美玉, 李文涛, 杨晓龙, 等. 鳗草在荣成天鹅湖不同生境中生长的适应性[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1498-1506.  
Guo M Y, Li W T, Yang X L, *et al.* Growth adaptability of *Zostera marina* at different habitats of the Swan Lake in Rongcheng, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(5): 1498-1506(in Chinese).
- [26] 佟飞, 秦传新, 余景, 等. 粤东柘林湾溜牛人工鱼礁建设选址生态基础评价[J]. 南方水产科学, 2016, 12(6): 25-32.  
Tong F, Qin C X, Yu J, *et al.* Ecological basis assessment of artificial reef site selection in Liuniu coastal waters of Zhelin Bay, Eastern Guangdong[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(6): 25-32(in Chinese).
- [27] Wu Z X, Zhang X M, Lozano-Montes H M, *et al.* Trophic flows, kelp culture and fisheries in the marine ecosystem of an artificial reef zone in the Yellow Sea[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2016, 182: 86-97.
- [28] Qiu T L, Zhang L B, Zhang T, *et al.* Effects of mud substrate and water current on the behavioral characteristics and growth of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* in the Yuehu Lagoon of Northern China[J]. Aquaculture International, 2014, 22(2): 423-433.
- [29] Zhang L B, Zhang T, Xu Q Z, *et al.* An artificial oyster - shell reef for the culture and stock enhancement of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, in shallow seawater[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(9): 2260-2269.
- [30] Ru X S, Zhang L B, Liu S L, *et al.* Reproduction affects locomotor behaviour and muscle physiology in the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[J]. Animal Behaviour, 2017, 133: 223-228.
- [31] Ru X S, Zhang L B, Liu S L, *et al.* Energy budget adjustment of sea cucumber *Apostichopus japonicus* during breeding period[J]. Aquaculture Research, 2018, 49(4): 1657-1663.
- [32] 牛超, 张秀梅, 丁鹏伟, 等. 胶南近海金乌贼生长特性、资源分布及增殖放流效果初步评价[J]. 中国海洋大学学报, 2017, 47(7): 36-45.  
Niu C, Zhang X M, Ding P W, *et al.* Preliminary assessments on growth characteristics, resource distribu-

- tion and *Sepia esculenta* releasing effect in Jiaonan Coastal Water[J]. Journal of Ocean University of China, 2017, 47(7): 36-45(in Chinese).
- [33] 牛超, 杨超杰, 黄玉喜, 等. 金乌贼新型产卵附着基的实验研究[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1234-1244.  
Niu C, Yang C J, Huang Y X, *et al.* The efficacy of new spawning substrates for *Sepia esculenta* oosperm adhesion[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(6): 1234-1244(in Chinese).
- [34] Ru X S, Zhang L B, Li X N, *et al.* Development strategies for the sea cucumber industry in China[J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2019, 37(1): 300-312.
- [35] 罗虹霞, 陈丕茂, 袁华荣, 等. 大亚湾紫海胆(*Anthocidaris crassispina*)增殖放流苗种生长情况[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 14-21.  
Luo H X, Chen P M, Yuan H R, *et al.* Growth of juvenile *Anthocidaris crassispina* released and enhanced in Dayawan Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(3): 14-21(in Chinese).
- [36] 王莲莲, 陈丕茂, 黎小国, 等. 圆洲岛近岸不同表面处理鱼礁模板附着生物群落特征[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(3): 171-174,178.  
Wang L L, Chen P M, Li X G, *et al.* Attaching organism community characteristics of different surface treatments on artificial reef templates inshore of Yuanzhou Island[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(3): 171-174,178(in Chinese).
- [37] 张秀梅, 王熙杰, 涂忠, 等. 山东省渔业资源增殖放流现状与展望[J]. 中国渔业经济, 2009, 27(2): 51-58.  
Zhang X M, Wang X J, Tu Z, *et al.* Current status and prospect of fisheries resource enhancement in Shandong Province[J]. Chinese Fisheries Economics, 2009, 27(2): 51-58(in Chinese).
- [38] 邢旭峰, 王刚, 李明智, 等. 海洋牧场环境信息综合监测系统的设计与实现[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(1): 105-110.  
Xing X F, Wang G, Li M Z, *et al.* Development of a comprehensive monitoring system on environmental information in sea ranching[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(1): 105-110(in Chinese).
- [39] 张国胜, 张阳, 王利民, 等. 300Hz脉冲音对许氏平鲷幼鱼的驯化效果[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 413-416.  
Zhang G S, Zhang Y, Wang L M, *et al.* Acoustic training of rockfish *Sebastes schlegeli* by 300 Hz impulse wave interval sound[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(5): 413-416(in Chinese).
- [40] 张国胜, 徐鹏翔, 许玉甫, 等. 大泷六线鱼声音诱集效果研究[C]//2007年中国水产学会学术年会暨水产微生物生态调控技术论坛论文摘要汇编. 桂林: 中国水产学会, 2007: 1.  
Zhang G S, Xu P X, Xu Y F, *et al.* Study on the sound trapping effect of *Hexagrammos otakii*[C]//2007 Annual Meeting of Chinese Aquatic Society Academic and Aquatic Micro-ecological Control Technology Forum Abstracts. Guilin: China Society of Fisheries, 2007:1(in Chinese).
- [41] 杨红生, 邢丽丽, 张立斌. 现代渔业创新发展亟待链条设计与原创驱动[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(12): 1339-1346.  
Yang H S, Xing L L, Zhang L B. Promoting systematic design and innovation-driven development for modern fishery[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(12): 1339-1346(in Chinese).

## Strategic thinking on the construction of modern marine ranching in China

YANG Hongsheng<sup>1,2,3\*</sup>, ZHANG Shouyu<sup>4</sup>, ZHANG Xiumei<sup>5</sup>,  
CHEN Pimao<sup>6</sup>, TIAN Tao<sup>7</sup>, ZHANG Tao<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology,  
Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science,  
Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China;

3. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

4. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

6. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510300, China;

7. Center for Marine Ranching Engineering Science Research of Liaoning Province,  
Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Modern marine ranching is a new type of achieving marine environmental protection and efficient production of fishery resources, which is of great significance in accelerating the shift in driving forces for economic development. We illustrated the development history of modern marine ranching concept, the history and current situation of modern marine ranching construction, and proposed strategic concept to promote the sustainable development of China's modern marine ranching from the perspectives of innovation drive, technology leader and project demonstration. This review aims to provide reference for the upgrading and transformation of China's marine fishery.

**Key words:** marine ranching; innovation drive; technology leader; project demonstration

**Corresponding author:** YANG Hongsheng. E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

**Funding projects:** Key Research Project of the Chinese Academy of Sciences (KFZD-SW-106); Chinese Academy of Sciences "Modern Marine Ranching Construction Principles and Engineering Technology Innovation Cross Team" Project (Y82327101L)