

# 我国深远海智慧养殖工厂体系化建设的 关键问题探讨

顾波军, 刘纯宜, 付雨芳

(浙江海洋大学经济与管理学院 舟山 316022)

**摘要:** 深远海智慧养殖工厂是全新生产模式, 同时是推进渔业转型升级、拓展蓝色经济发展空间、保障国家粮食安全的重要途径。文章基于深远海智慧养殖理论与实践发展脉络, 辨析深远海智慧养殖工厂的概念、典型模式以及发展优势, 并从种苗体系化、装备体系化、产业体系化、政策体系化4个方面分析我国深远海智慧养殖工厂体系化建设的关键问题。研究成果试图回答怎样构建深远海智慧养殖工厂支撑体系的问题, 从而加快推动深远海养殖范式的转变。

**关键词:** 深远海; 智慧养殖工厂; 体系化建设; 海水养殖

中图分类号: F326.4; P74; S967

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2024)02-0055-07

## The Key Issues of Systematic Construction of Deep Sea Smart Breeding Factory

GU Bojun, LIU Chunyi, FU Yufang

(School of Economics and Management, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

**Abstract:** The Deep Sea Smart Breeding Factory is a new production model that is an important way to promote the transformation and upgrading of fisheries, expand the development space of the blue economy, and ensure national food security. This paper was based on the theoretical research and practical development of deep sea intelligent breeding, and analyzed the concept, typical models, and development advantages of deep sea intelligent breeding factories. It also analyzed the key issues of systematic construction of deep sea intelligent breeding factories from four aspects, including seedling systematization, equipment systematization, industrial systematization, and policy systematization. The results attempt to answer the question of how to build a support system for a deep sea intelligent aquaculture factory, thereby accelerating the transformation of the deep sea aquaculture paradigm.

**Keywords:** Deep sea, Smart breeding factory, Systematic construction, Mariculture

### 0 引言

目前粮食安全已成为全球焦点。深远海养殖

是拓展“蓝色粮仓”生产空间、保障国家粮食安全的重要抓手, 同时是世界渔业发达国家的普遍做

收稿日期: 2023-11-21; 修订日期: 2024-01-14

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(22 & ZD152); 舟山市科技计划项目(2022C41024)。

作者简介: 顾波军, 教授, 博士, 研究方向为渔业经济与管理、农产品供应链管理

通信作者: 付雨芳, 副教授, 博士, 研究方向为渔业经济与管理、农产品供应链管理

法<sup>[1-3]</sup>。挪威、美国、日本、加拿大等国经过近半个世纪的深远海养殖实践,已从简单的深水网箱养殖发展成深远海智慧养殖工厂。深远海智慧养殖工厂因养殖效率高、养殖品质优、养殖环境生态化而成为深远海养殖业新的发展趋势。例如:挪威 Nordlaks 公司运营的养殖工船“Havfarm”全长 385 m,可同时养殖 1 万 t 三文鱼,并配备鱼苗自动输送、自动投饵、自动捕捞以及箱体自动监测、自动增氧、水质净化等智能化系统。我国深远海养殖起步较晚,虽然雷霖院士于 20 世纪 70 年代便提出建造海上养殖工船的设计,但直到 2014 年才启动首个深远海大型养殖平台建设<sup>[4]</sup>。近年来,随着深蓝 1 号、德海 1 号、福鲍 1 号、国信 1 号等深远海智慧养殖工厂相继投入使用,我国深远海养殖进入新的发展阶段。然而与挪威等渔业发达国家相比,我国深远海智慧养殖工厂的发展还面临诸多关键“瓶颈”问题。

党中央、国务院高度重视深远海养殖的发展。党的二十大报告提出“树立大食物观,发展设施农业,构建多元化食物供给体系”。2023 年“中央一号文件”提出“发展深水网箱、养殖工船等深远海养殖”。2023 年习近平总书记在广东考察时指出“树立大食物观,既向陆地要食物,也向海洋要食物,耕海牧渔,建设海上牧场、‘蓝色粮仓’”。2023 年农业农村部等 8 部门联合发布我国首个关于深远海养殖发展的指导性意见。

## 1 文献综述

深远海养殖源于 20 世纪 50 年代的美国<sup>[2]</sup>,自 70 年代开始被世界渔业学界广泛关注,我国的相关研究始于 80 年代。随着“深蓝渔业”的发展,深远海养殖日渐成为社会和学界关注的热点,关于高质量推进深远海养殖发展的研究日益增多,研究内容主要集中在 3 个方面。

(1)关于养殖空间的研究。①我国近海养殖空间已经饱和<sup>[5]</sup>,亟须开拓新的养殖空间<sup>[1]</sup>,发展深远海养殖成为事关粮食安全的战略问题<sup>[6]</sup>,同时是我国加快建设海洋强国的战略需求<sup>[7]</sup>。②深远海养殖是综合体系<sup>[4,8]</sup>,养殖模式趋于多元化,如游弋式养殖工船、半潜式或全潜式网箱、可升降钢构网箱<sup>[9]</sup>,深远海养殖必将迈进新的产业化发展阶段<sup>[1]</sup>。③发

展深远海养殖必须从技术上取得突破<sup>[10]</sup>,我国深远海养殖平台建设刚刚起步<sup>[11]</sup>,深远海养殖装备从引进、消化、吸收逐渐走向创新<sup>[12]</sup>,我国已成为全球最大的大型深远海养殖装备建造国<sup>[13]</sup>。

(2)关于养殖模式的研究。①工厂化养殖是我国海水养殖的重要发展方向<sup>[14]</sup>,使深远海养殖从固定海洋牧场走向海上移动牧场<sup>[15]</sup>,突破传统海水养殖业对自然环境的依赖<sup>[16]</sup>,是未来养殖模式转变的必然趋势<sup>[17]</sup>。②工厂化养殖作为新型养殖模式<sup>[18]</sup>,其实质是养殖生产工业化<sup>[17]</sup>,反映水产养殖从农业向工业的转变过程<sup>[19]</sup>,代表先进生产力的发展方向<sup>[20]</sup>,符合我国渔业发展转方式、调结构的战略需求<sup>[21]</sup>。③工厂化养殖是现代工业技术和生物技术的有机结合<sup>[22]</sup>,我国工厂化养殖装备已全部实现国产化<sup>[23]</sup>,亟须加强工厂化养殖理论和技术支撑体系研究<sup>[24]</sup>。

(3)关于智慧化水平的研究。①深远海养殖采用机械化、自动化、智能化养殖配套装备<sup>[6]</sup>,已发展到海上智慧养殖阶段<sup>[25]</sup>,深远海养殖的发展不仅依赖于配套装备技术的支持,而且依赖于智能化集成软件配套的支撑<sup>[26]</sup>。②深远海配套装备智能化是未来发展之路<sup>[7,27]</sup>,我国深远海养殖装备逐渐向智能化方向发展<sup>[4]</sup>,智能化养殖装备成为关键因素<sup>[24,28]</sup>。③工船和平台能够实现智能化管控<sup>[6]</sup>,结合物联网等技术,实现全覆盖的智能化深远海养殖监控管理<sup>[29]</sup>,打造智慧养殖生态平台和全产业链溯源信息体系成为智慧养殖的未来发展方向<sup>[30]</sup>。

上述研究成果从养殖空间优化、养殖模式转变和智慧化水平提高 3 个维度表征深远海养殖高质量发展的方向和基本模式,但未关注深远海智慧养殖工厂这一全新生产模式存在的问题,对于其中涉及哪些关键支撑要素、如何识别并进行体系化建设,目前仍缺乏理论研究。

## 2 深远海智慧养殖工厂的概念、典型模式与优势

尽管当前对于深远海智慧养殖工厂还没有完整的定义,但学术界对其构成形式以及发展趋势已达成一定的共识。徐皓等<sup>[24]</sup>提出深远海养殖的发展应以养殖工船或大型浮式养殖平台等为核心装

备,并配套深海网箱设施、捕捞渔船、物流补给船和陆基保障设施,建设集工业化绿色养殖、渔获物扒载与物资补给、水产品海上加工与物流、基地化保障、数字化管理于一体的渔业综合生产系统;Henriksson 等<sup>[27]</sup>、Chu 等<sup>[9]</sup>和付晓月等<sup>[7]</sup>认为平台大型化、装备智能化、产业链集约化是深远海智慧养殖工厂的基本特征;邓炳林<sup>[31]</sup>认为多功能环保型专业化养殖平台、智能化养殖装备、“养捕加”一体化大

型平台和物流保障系统以及海上新能源将成为未来深远海智慧养殖工厂发展不可或缺的重要推手。

深远海智慧养殖工厂在实践中形成多种发展模式,如移动式养殖工船、开放式海上固定牧场、封闭式养殖舱<sup>[2]</sup>。林鸣<sup>[6]</sup>提出由海上防护基础设施、工业化养殖系统和陆基支持系统构成的大规模深远海养殖概念模型(表 1)。

表 1 深远海智慧养殖工厂的典型模式

Table 1 Typical models of Deep Sea Smart Aquaculture Factories

养殖模式	封闭式养殖舱	开放式海上固定牧场	开放式船型网箱	移动式养殖工船	大规模深远海养殖
实例	新加坡 Eco-Ark 挪威 Neptun 加拿大 Certus	中国嵊海 1 号 日本 EcoSea Farming SpA 智利 EcoSea	中国德海 1 号 挪威 Jostein Albert	中国国信 1 号 荷兰 Innofisk 挪威 Eidsfjord Giant	概念模型
养殖特征	固定封闭式 养殖环境稳定 病虫害影响小 智能化管控	固定开放式 养殖环境自然 “鱼旅结合” 易受自然灾害影响	移动开放式 养殖空间大 养殖环境自然 智能化管控	移动封闭式 船载舱养 游弋式养殖 全过程智能化	固定开放式 多机系统 养殖规模大 安全可靠

随着深远海养殖相关科学技术的快速发展,深远海养殖已发展到海上智慧养殖阶段,深远海智慧养殖工厂作为全新生产模式已表现出独特优势。深远海智慧养殖工厂通过物联网、大数据、云计算等现代信息技术,促进工业化、信息化和水产养殖深度融合<sup>[32-33]</sup>。深远海智慧养殖工厂通过智能化控制系统,对养殖环境实施全方位监测,防止细菌、病毒、寄生虫等有害物质进入海水养殖环境,确保海产品生长更快、死亡率更低、质量更好<sup>[15,25,34-35]</sup>;智能控制平台的系统监管还能有效减少养殖污水和排放物的自然扩散和稀释,缓解海洋生态环境压力<sup>[8,22,36]</sup>。因此,深远海智慧养殖工厂是未来海水养殖的重要发展方向,发展深远海智慧养殖工厂对于助力高水平蓝色粮仓建设、助动海洋牧场智能化转型、助推海洋强国建设具有重要意义。

### 3 深远海智慧养殖工厂体系化建设的关键问题

近年来,尽管我国深远海养殖快速发展,超大型养殖工船建造与运营等局部领域甚至走到世界前列,但作为全新的生产模式,深远海智慧养殖工

厂建设关系到种质资源创新、装备技术集成、产业体系架构以及政策制度重构。因此,系统解决上述问题是深远海智慧养殖工厂体系化建设的关键问题。

#### 3.1 种苗体系化

我国是水产大国,水产种质资源丰富,但良种覆盖率和良种增产率较低,整体发展水平还处于初级阶段<sup>[37]</sup>。目前我国养殖海水鱼中比较有代表性的包括大菱鲆、牙鲆等冷水性鱼类以及大黄鱼、鲈鱼、石斑鱼、卵形鲳鲹和军曹鱼等温水性鱼类,而我国四大海域在水温、水文水质条件、气候变化等方面均存在较大差异,如渤、黄海与东海的温度变化范围大,而南海的温度则分布均匀<sup>[38]</sup>,且东南沿海台风多发,意味着传统近海养殖海水鱼并不能适应深远海养殖环境。从经济角度考量,由于深远海养殖投入成本较大,养殖种苗需要具备经济价值高、溢价能力强、生长周期短的特点;然而由于传统的小规格、附加价值低的鱼苗存在生长周期长、成活率低、利润率低等问题,深远海养殖很难实现工厂化运作;除大黄鱼外,在我国深远海养殖实践中尚

缺乏优质、适宜的养殖鱼苗。在此背景下,完善的种苗“繁育推”体系对于促进深远海智慧养殖工厂体系化建设具有不可替代的作用。

### 3.2 装备体系化

近年来我国深远海养殖装备逐渐从跟随走向引领,尤其是深蓝1号、国信1号等养殖平台、养殖工船的投入使用。但深远海智慧养殖工厂建设是体系化工程,不仅需要养殖平台和养殖工船,同时需要各种智慧化管理、监测手段与其协同。随着物联网、大数据等技术的不断发展,深远海养殖逐步实现自动化,如自动投喂、自动监测环境参数,但尚缺乏基于生物行为和生理学知识的智慧化技术,如智能投喂、智能增氧、智能补光<sup>[15,39-40]</sup>,配套的冷链分拣、超低温冷藏等装备同样不成熟。Patricio等<sup>[28]</sup>和Yang等<sup>[40]</sup>均提出当前深远海智慧养殖工厂发展的首要问题是养殖装备研发,而相关智能装备配套能力落后于养殖实践需求;纪毓昭等<sup>[41]</sup>提出我国海上智慧养殖技术和管理体系均不够成熟,养殖装备研发能力仍较弱,装备国产化配套能力严重不足,难以形成体系化的海上智慧养殖平台。因此,围绕深远海智慧养殖工厂建设,聚焦共性关键技术以及加强“卡脖子”技术攻关是核心问题。

### 3.3 产业体系化

深远海智慧养殖以工厂化养殖为核心,上游涉及优质苗种选育、功能性饲料和疫苗生产、养殖装备研发,下游涉及海产品加工销售、冷链物流、餐饮、休闲渔业等诸多产业。受鱼苗技术限制,上游大规格优质鱼苗供应不足已严重影响深远海养殖的发展;由于深远海养殖远离大陆,冷链保鲜与运输能力较弱同样制约其发展。深远海养殖是典型的技术密集型和资金密集型产业,单一企业难以覆盖整个产业链条。为此,在实践中,各种形式的产业加强合作成为打造深远海养殖产业链的普遍做法。在理论研究中,殷伟等<sup>[42]</sup>从利益共享促进产业联结、信息交流加强产业合作、技术互补推动产业发展、资金融通加快产业互融、陆海接力创新产业模式5个方面提出深远海养殖产业链衔接的“锚点”,但仅进行定性阐述,并未基于产业实际进一步揭示具体的产业合作机制。因此,从技术突破、龙

头企业培育、上下游产业链衔接等方面入手,深入分析各主体间的资源配置方式、信任机制、利益分配方式,建立完整的深远海养殖产业体系是实现深远海智慧养殖工厂体系化发展的关键。

### 3.4 政策体系化

缺乏有效的监管政策和治理模式是制约深远海智慧养殖工厂体系化发展的重要因素。Sarah等<sup>[43]</sup>基于美国的实践,认为美国监管和许可制度在多个州高度分散,缺乏强大和精简的政策框架,导致监管的不确定性,使得深远海智慧养殖工厂的许可和租赁成为充满不确定性的漫长而昂贵的程序,阻碍潜在的开发商;Bernat等<sup>[44]</sup>提出现有法规可能不适合智慧养殖阶段的深远海养殖,应协同公众、养殖主体等多方的共同利益,以及制定专门的许可或监管制度。

我国深远海养殖的监管政策和支持政策同样存在碎片化的问题。从监管政策角度,我国尚未形成从源头装备建造、深远海养殖空间规划到深远海用海审批的制度标准体系;以移动式养殖工船为例,其建造属于船舶范畴,但目前以深远海船舶定性的渔船多指远洋捕捞船,养殖工船在海上移动须提前报备海事主管部门,渔业养殖管理归属于农业农村部等部门,海域使用也缺乏管理标准<sup>[45]</sup>。从支持政策角度,目前一些沿海地区针对深远海养殖设施、高价值种苗出台补助政策,如福建泉州对于桁架类大型养殖装备项目按中央补助标准的30%进行补助,单台套补助上限200万元;但目前我国尚未就深远海养殖形成体系化的财政货币支持政策,如针对深远海养殖装备的融资担保机制、专项发展基金、天气气象指数保险。

## 4 结语

深远海智慧养殖工厂作为全新的生产模式,已在世界渔业发达国家广泛应用。近年来,我国深远海养殖飞速发展,一大批大型深远海智慧养殖工厂相继投入运营,并成为我国高质量动物蛋白的主要供给源。不同于传统养殖模式,深远海智慧养殖从工厂化、规模化、智能化3个维度表征高质量发展的方向和基本模式。当前我国深远海智慧养殖工厂建设在鱼苗繁育、装备建造、产业链构建、政策设计



等方面仍存在体系化不足的问题,今后的研究将针对上述问题进一步加强调研,并进行深入的挖掘和探讨。

### 参考文献(References):

- [1] 徐杰,韩立民,张莹.我国深远海养殖的产业特征及其政策支持[J].中国渔业经济,2021,39(1):98-107.  
XU Jie,HAN Limin,ZHANG Ying.Industrial characteristics of deep-sea aquaculture in China and its policy support[J].China Fishery Economy,2021,39(1):98-107.
- [2] 董双林,董云伟,黄六一,等.迈向远海的中国水产养殖:机遇、挑战和发展策略[J].水产学报,2023,47(3):3-13.  
DONG Shuanglin,DONG Yunwei,HUANG Liuyi,et al.China's aquaculture towards the distant sea:opportunities,challenges and development strategies[J].Journal of Aquaculture,2023,47(3):3-13.
- [3] HOLM P,BUCK B H,LANGAN R.Introduction:new approaches to sustainable offshore food production and the development of offshore platforms[A].BUCK B H,LANGAN R.Aquaculture perspective of multi-use sites in the open ocean;the untapped potential for marine resources in the anthropocene[M].Cham:Springer Nature,2017:1-20.
- [4] 麦康森,徐皓,薛长湖,等.开拓我国深远海养殖新空间的战略研究[J].中国工程科学,2016,18(3):90-95.  
MAI Kangsen,XU Hao,XUE Changhu,et al.Strategic research on developing new space for deep-sea aquaculture in China[J].China Engineering Science,2016,18(3):90-95.
- [5] 董双林.论我国水产养殖业生态集约化发展[J].中国渔业经济,2015,33(5):4-9.  
DONG Shuanglin.On the development of ecological intensification of aquaculture in China[J].China Fishery Economy,2015,33(5):4-9.
- [6] 林鸣.发展大规模深远海养殖:问题、模式与实现路径[J].管理世界,2022,38(12):39-60.  
LIN Ming.Development of large-scale deep-sea aquaculture:problems,models and realization paths[J].Journal of Management World,2022,38(12):39-60.
- [7] 付晓月,黄大志,徐慧丽,等.深远海网箱水产养殖发展概述[J].水产养殖,2021,42(10):23-26.  
FU Xiaoyue,HUANG Dazhi,XU Huili,et al.Overview of the development of deep-sea net-pen aquaculture[J].Aquaculture,2021,42(10):23-26.
- [8] PAPANDEULAKIS N,THOMSEN C,MINTENBECK K,et al.The EU-project "TROPOS"[J].Springer Open,2017(12):355-374.
- [9] CHU Y,WANG C,PARK J C,et al.Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming[J].Aquaculture,2020,519:734928.
- [10] MASMITJA I,NAVARRO J,GOMARIZ S,et al.Mobile robotic platforms for the acoustic tracking of deep-sea demersal fishery resources[J].Science Robotics,2020,5(48):3701.
- [11] 刘晔,徐琰斐,缪苗.基于SWOT模型的我国深远海养殖业发展[J].海洋开发与管理,2019,36(4):45-49.  
LIU Huang,XU Yanfei,MIU Miao.Development of China's deep sea aquaculture industry based on SWOT model[J].Ocean Development and Management,2019,36(4):45-49.
- [12] 鲍旭腾,谏志新,崔铭超,等.中国深远海养殖装备发展探议及思考[J].渔业现代化,2022,49(5):8-14.  
BAO Xuteng,CHEN Zhixin,CUI Mingchao,et al.Discussion and reflection on the development of deep-sea aquaculture equipment in China[J].Fishery Modernization,2022,49(5):8-14.
- [13] 王振忠,鲁森,王璐瑶,等.中国“深蓝渔业”科技发展对策与建议[J].渔业信息与战略,2022,37(4):243-248.  
WANG Zhenzhong,LU Miao,WANG Luyao,et al.Countermeasures and suggestions for the scientific and technological development of China's "Deep Blue Fishery"[J].Fisheries Information and Strategy,2022,37(4):243-248.
- [14] 雷霖.中国海水养殖大产业架构的战略思考[J].中国水产科学,2010,17(3):600-609.  
LEI Jilin.Strategic thinking on the structure of China's mariculture industry[J].Chinese Aquatic Sciences,2010,17(3):600-609.
- [15] WU Yinghao,DUAN Yunhong,WEI Yaoguang,et al.Application of intelligent and unmanned equipment in aquaculture;a review[J].Computers and Electronics in Agriculture,2022,199(C):1-4.
- [16] 朱建新,刘慧,程海华,等.工厂化循环水养殖技术研究与产业化发展[J].中国水产,2022(10):41-49.  
ZHU Jianxin,LIU Hui,CHENG Haihua,et al.Research and industrialization development of factory water recirculation aquaculture technology[J].China Aquaculture,2022(10):41-49.

- [17] 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):5-11.  
TANG Qisheng,DING Xiaoming,LIU Shilu,et al.Safeguard measures and policy suggestions for green and sustainable development of aquaculture in China[J].China Fishery Economy,2014,32(2):5-11.
- [18] De BARTOLOMÉ F,MÉNDEZ A.The tuna offshore unit:concept and operation[J].IEEE Journal of Oceanic Engineering,2005,30(1):20-27.
- [19] 张晓双,傅玲琳,吕振明,等.国内外循环式工厂化水产养殖模式研究进展[J].饲料工业,2017,38(6):61-64.  
ZHANG Xiaoshuang,FU Linglin,LYU Zhenming,et al.Research progress of circulating factory aquaculture model at home and abroad [J].Feed Industry,2017,38(6):61-64.
- [20] 马悦,张元兴,雷霖霖.疫苗:我国海水鱼类养殖业向工业化转型的重要支撑[J].中国工程科学,2014,16(9):4-9.  
MA Yue,ZHANG Yuanxing,LEI Jilin.Vaccine:an important support for the transformation of China's marine fish culture industry to industrialization[J].China Engineering Science,2014,16(9):4-9.
- [21] 康萌,张澜澜,焦长军.发挥水面资源优势 发展壮大渔业经济[J].黑龙江水产,2020,39(3):4-7.  
KANG Meng,ZHANG Lanlan,JIAO Changjun.Developing and expanding fishery economy by taking advantage of water surface resources[J].Heilongjiang Fishery,2020,39(3):4-7.
- [22] MILICH M,DRIMER N.Design and analysis of an innovative concept for submerging open-sea aquaculture system[J].IEEE Journal of Oceanic Engineering,2019,44(3):707-718.
- [23] 任效忠,刘海波,刘鹰,等.工厂化循环水养殖系统中流场特性与鱼类互作影响的研究进展与展望[J].渔业科学进展,2023,44(6):7-17.  
REN Xiaozhong,LIU Haibo,LIU Ying,et al.Progress and prospects of research on the effects of flow field characteristics and fish interactions in factory-scale recirculating water culture systems[J].Advances in Fisheries Science,2023,44(6):7-17.
- [24] 徐皓,湛志新,蔡计强,等.我国深远海养殖工程装备发展研究[J].渔业现代化,2016,43(3):1-6.  
XU Hao,CHEN Zhixin,CAI Jiqiang,et al.Research on the development of deep sea aquaculture engineering equipment in China[J].Fishery Modernization,2016,43(3):1-6.
- [25] SHINN A P,PRATOOMYOT J,BRON J E,et al.Economic costs of protistan and metazoan parasites to global mariculture[J].Cambridge University Press,2015(142):196-270.
- [26] 张莹,韩立民,徐杰.海水养殖创新生态系统的演化机理:基于核心企业视角的单案例研究[J].中国农村经济,2021(7):121-138.  
ZHANG Ying,HAN Limin,XU Jie.Evolutionary mechanism of mariculture innovation ecosystem:a single case study based on the perspective of core enterprises[J].China Rural Economy,2021(7):121-138.
- [27] HENRIKSSON P J G,BELTON B,MURSHED-E-JAHAN K,et al.Measuring the potential for sustainable intensification of aquaculture in Bangladesh using life cycle assessment[J].Proceedings of the National Academy of Sciences,2017,115(12):2958-2963.
- [28] PATRÍCIO A D I,RIEDERB R.Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops:a systematic review[J].Computers and Electronics in Agriculture,2018,153:69-81.
- [29] 黄一心,鲍旭腾,徐皓.中国渔业装备科技研究进展[J].渔业现代化,2023,50(4):1-11.  
HUANG Yixin,BAO Xuteng,XU Hao.Progress of research on fishery equipment science and technology in China[J].Fishery Modernization,2023,50(4):1-11.
- [30] 李道亮,刘畅.人工智能在水产养殖中研究应用分析与未来展望[J].智慧农业,2020,2(3):1-20.  
LI Daoliang,LIU Chang.Analysis of research application and future prospect of artificial intelligence in aquaculture[J].Intelligent Agriculture,2020,2(3):1-20.
- [31] 邓炳林.深远海智能养殖平台最新发展[J].中国船检,2020(2):32-36.  
DENG Binglin.Latest development of deep-sea intelligent aquaculture platform[J].China Ship Inspection,2020(2):32-36.
- [32] GONG Muge,MENG Feiliang,HUANG Yixin,et al.Research on the development status and countermeasures of intelligent aquaculture in China[J].Fishery Modernization,2018,257(6):62-68.
- [33] SUN Xin,SHI Junyu,LIU Lipeng,et al.Transferring deep knowledge for object recognition in low-quality underwater videos[J].Neurocomputing,2018,275:897-908.
- [34] SHOJIRO I,KIYOTAKA T,YUTAKA O,et al.The underwater recharge docking system for an autonomous underwater robot applying visual information[M].Yokosuka:Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology,2017.
- [35] 楚树坡,徐志强,汤涛林,等.深远海养殖平台真空式吸鱼泵[J].船舶工程,2020,42(2):68-71.

- CHU Shupo, XU Zhiqiang, TANG Taolin, et al. Vacuum-type fish suction pump for deep-sea aquaculture platform[J]. *Ship Engineering*, 2020, 42(2): 68-71.
- [36] BUCK B H. Farming in a high energy environment: potentials and constraints of sustainable offshore aquaculture in the German Bight (North Sea) [Z]. 2007.
- [37] 操建华, 孙东升. 中国现代水产种业创新发展的路径思考[J]. *农业现代化研究*, 2021, 42(3): 377-389.  
CAO Jianhua, SUN Dongsheng. Reflections on the path of innovation and development of China's modern aquatic seed industry[J]. *Research on Agricultural Modernization*, 2021, 42(3): 377-389.
- [38] 宝乐尔其木格. 中国近海海温长期变化特征及其对沿岸气候的影响[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2014.  
Baoleerqimuge. Characterization of long-term changes in China's offshore SST and its impact on coastal climate[D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2014.
- [39] 李道亮. 无人渔场引领农业智能化[J]. *机器人产业*, 2020(4): 46-51.  
LI Daoliang. Unmanned fishery leads the intelligentization of agriculture[J]. *Robotics Industry*, 2020(4): 46-51.
- [40] YANG Xinting, ZHANG Song, LIU Jintao, et al. Deep learning for smart fish farming: applications, opportunities and challenges[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2021, 13: 66-90.
- [41] 纪毓昭, 王志勇. 我国深远海养殖装备发展现状及趋势分析[J]. *船舶工程*, 2020, 42(2): 1-4.  
JI Yuzhao, WANG Zhiyong. Analysis on the development status and trend of deep-sea aquaculture equipment in China[J]. *Ship Engineering*, 2020, 42(2): 1-4.
- [42] 殷伟, 韩立民, 徐敬俊, 等. 我国深远海养殖全产业链培育的关键问题探讨: 以黄海冷水团三文鱼养殖为例[J]. *中国渔业经济*, 2023, 41(4): 25-33.  
YIN Wei, HAN Limin, XU Jingjun, et al. Discussion on the key issues of cultivating the whole industry chain of deep-sea aquaculture in China: an example of salmon farming in the Yellow Sea cold-water group[J]. *China Fishery Economy*, 2023, 41(4): 25-33.
- [43] SARAH E L, REBECCA R G, CARRIE V K, et al. Offshore aquaculture in the United States: untapped potential in need of smart policy [J]. *PNAS*, 2018, 115(28): 7162-7165.
- [44] BERNAT M, KEITH D, THOMAS P A, et al. Offshore aquaculture of finfish: big expectations at sea[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2022(14): 791-815.
- [45] 张琳桓, 张青亮, 孟广玮. 基于可移动式养殖工船的新型深远海养殖产业链分析[J]. *船舶工程*, 2020, 42(S2): 40-44.  
ZHANG Linhuan, ZHANG Qingliang, MENG Guangwei. Analysis of a new deep-sea aquaculture industry chain based on movable aquaculture vessels[J]. *Ship Engineering*, 2020, 42(S2): 40-44.