

我国网箱养殖装备及其生态调控的研究进展

曹嘉伦^{1,2}, 石建高^{1*}, 符永材^{3,4}

¹中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海

²上海海洋大学, 海洋生物资源与管理学院, 上海

³大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁 大连

⁴海口市琼山区红旗镇农业服务中心, 海南 海口

收稿日期: 2026年8月29日; 录用日期: 2026年9月20日; 发布日期: 2026年9月30日

摘要

背景: 网箱养殖作为集约化、高效化的核心水产养殖模式, 在全球渔业经济中发挥着重要支撑作用, 但其发展过程中同样面临技术升级滞后、生态保护压力加大、产业可持续发展乏力等多重现实挑战。目的: 为厘清我国网箱养殖领域研究脉络、破解发展瓶颈, 本文系统梳理该领域国内外相关研究成果, 构建全面的研究框架。进展: 本文从网箱装备技术演进、智能化养殖配套系统、生态环境影响与调控、产业发展与政策导向等四大核心维度, 系统总结现有网箱研究的核心成果、存在的争议及关键技术瓶颈, 并结合文献分析与前沿实践案例, 夯实研究基础。展望: 基于现有网箱研究现状, 明确未来我国网箱养殖领域的研究热点与发展方向, 重点聚焦装备智能化升级、生态协同调控、产业高质量发展等相关维度。意义: 研究成果可为我国网箱养殖领域的后续研究、技术创新及产业升级等提供参考, 助力网箱养殖领域实现集约化与生态化协同发展。

关键词

网箱, 养殖装备, 智能化养殖, 生态调控, 研究进展

Review on Cage Culture Equipment and Ecological Regulation

Jialun Cao^{1,2}, Jiagao Shi^{1*}, Yongcai Fu^{3,4}

¹East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai

²College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai

³College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian Liaoning

⁴Agricultural Service Center of Hongqi Town, Qiongsan District, Haikou City, Haikou Hainan

Received: August 29, 2026; accepted: September 20, 2026; published: September 30, 2026

*通讯作者。

文章引用: 曹嘉伦, 石建高, 符永材. 我国网箱养殖装备及其生态调控的研究进展[J]. 水产研究, 2026, 13(3): 329-338.
DOI: 10.12677/ojfr.2026.133038

Abstract

Background: As a core aquaculture model featuring intensification and high efficiency, cage culture plays an important supporting role in the global fishery economy. However, its development is simultaneously faced with multiple practical challenges, such as backward technological upgrading, increasing pressure on ecological protection, and insufficient sustainable industrial development. **Objective:** To clarify the research context and solve the development bottlenecks in the field of cage culture, this paper systematically sorts out the relevant domestic and foreign research achievements in this field and constructs a comprehensive research framework. **Progress:** From four core dimensions—evolution of cage equipment technology, intelligent aquaculture supporting systems, ecological environment impact and regulation, and industrial development and policy orientation—this paper systematically summarizes the core achievements, existing controversies and key technical bottlenecks of existing research. Combined with bibliometric analysis and cutting-edge practical cases, the research foundation is consolidated. **Prospect:** Based on the current research status, this paper clarifies the future research hotspots and development directions in the field of cage culture, focusing on three dimensions: intelligent upgrading of equipment, ecological coordinated regulation, and high-quality industrial development. **Significance:** The research results can provide important theoretical reference and practical basis for subsequent academic research, technological innovation breakthroughs, and industrial transformation and upgrading in the field of cage culture, helping this field achieve the coordinated development of intensification and ecologicalization.

Keywords

Cage Culture, Equipment Technology, Intelligent Aquaculture, Ecological Impact, Sustainable Development

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球人口持续增长、海洋渔业资源过度捕捞导致储量衰退、优质蛋白需求日益攀升的背景下，水产养殖产业已成为保障粮食安全、缓解资源压力的关键路径[1]。据联合国粮食及农业组织(FAO)统计，2023 年全球水产养殖产量达 1.24 Mt，占水产品总产量的 58.3%，其中网箱养殖产量占比超 22%，主要集中在亚洲、欧洲及美洲沿海地区[2]。我国作为全球最大的水产养殖国，网箱养殖业历经半个多世纪的发展，已形成从近岸到深远海、从淡水到海水、从传统粗放型到集约化生态型的多元化发展格局。截至 2024 年，我国网箱养殖总面积达 $12.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，产量突破 $198 \times 10^4 \text{ t}$ ，养殖品种涵盖金鲳鱼、大黄鱼和三文鱼等近 50 个品种，在海南、浙江、山东、广东、广西、福建等地形成规模化产业集群[3]。随着我国“海洋强国”“乡村振兴”战略的深入推进，以及《“十四五”全国渔业发展规划》¹对深远海养殖的重点部署，网箱养殖逐步从近岸浅水区向深远海拓展，从传统竹木网箱逐步向 HDPE(框架)网箱、深远海桁架式网箱升级，智能化、生态化、规模化成为网箱产业发展的核心趋势[4]。

¹https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/07/content_5666859.htm

2. 网箱装备的类型及技术发展

2.1. 网箱装备的类型

只有网箱装备技术手段跟上,才能评估直接养殖的效能和安全性,这跟行业成熟度比起来差异很大。半个多世纪以来,网箱装备技术先后经历传统的竹木网箱、合金网箱、HDPE (框架)网箱以及深远海桁架式网箱这四个时期,在材料改良、框架优化以及抗风浪能力评估等方面实现跨越式的发展,逐步契合从近岸浅水区到深远海的多样化需求,不同时期的核心技术会根据应用场景的不同而呈现出明显差异[5]。具体情况如表 1 所示。

Table 1. Comparison of core parameters of different cage culture equipments
表 1. 不同网箱养殖装备核心参数对比

装备类型	核心材料	容积范围	抗风浪能力	适配水深	核心应用场景	使用寿命
传统竹木网箱	竹子、木材、普通尼龙或聚乙烯网衣等	5~50 m ³	抵御 3 级以下风浪,无抗流能力	1~5 m (近岸浅水区)	近岸港湾粗放养殖	1~3 年
金属网箱	钢材、镀锌铁丝网衣等	50~200 m ³	抵御 5 级以下风浪,抗流速度 ≤ 0.5 m/s	5~10 m (近岸缓流区)	中小型半集约化养殖	3~5 年 (易腐蚀)
HDPE (框架)网箱	HDPE 管材、高强度尼龙网衣等	500~20,000 m ³	抵御 10~12 级风浪,抗流速度 ≤ 2.0 m/s	10~50 m (近岸深水、深远海)	海水规模化集约化养殖(大黄鱼、金鲳鱼等)	8~10 年
深远海桁架式网箱	金属撑杆、高性能网衣等	1000~40,000 m ³	抵御 12 级以上风浪,抗流速度 ≤ 2.5 m/s	30~100 m (深远海)	深远海养殖(三文鱼、大黄鱼等)	10~15 年

由表 1 可知,网箱装备演进核心围绕“材料升级 - 结构扩容 - 抗逆性提升 - 场景拓展”展开,从传统简易装备逐步向大型化、高强度、长寿命的智能化装备转型,契合深远海养殖产业发展需求[6]。

2.2. 网箱装备技术研究进展与应用

国外在网箱养殖装备方面起步比较早,技术发展也相当成熟,形成以欧洲、美洲、以色列等地为核心的研发与应用格局,我国的网箱结构逐渐向大型化、高可靠性、智能化以及生物环保的特性发展[7]。相较于其他地区的大型网箱,挪威在系统框架的改善方面处于比较领先的地位,AKVA 集团研发出来的圆状 HDPE 网箱,其最大容积能够达到 40,000 m³,它能够经受住 5 m 高的海浪、12 级风力以及 2.5 m/s 的水流,被用来应用在 50 m 到 100 m 水深的深远海当中,单个网箱就养殖三文鱼 1000 多吨,网箱运用模块化的设计思路,配备自动清污以及残饵回收利用的装置,把机械费用大幅度地缩减下来,美国则主要把精力集中在碟形网箱的研发工作上,选用高强度的碳纤维材料,底部的碟形结构能够分散波流带来的撞击力,适宜在强流区域使用,单个网箱的产量达到 500t 以上,目前在阿拉斯加、夏威夷等海域得到推广。在材料改革方案方面,国外选用抗菌、耐腐蚀以及高强度的合金材料,像挪威、加拿大这些国家,会把铜合金网衣当作网箱网衣使用,这和比较常用的尼龙网衣相比,把清洗频率从每月一次减少到每季度一次,且使用寿命能够延长到 8 到 10 年,同时还能减少饵料的损耗,让疾病的传播变得更加困难。以色列研发的柔性网箱,选用的是高强度聚酯纤维材料,抵御 15 m 的风浪,适用于 60 m 以上的水深,目前已经在地中海和红海地区进行推广;另外,锌铝合金以及超高分子量聚乙烯等材料的运用,也让网箱的抗拉强度以及抗疲劳性能得到进一步的提升[8]。在智能系统和装备相互融合这个方面,挪威等国已经实现装备与智能系统框架的深度融合,如挪威 AKVA 集团的 MarinaCCS 智能网箱框架,把自动投饵、水质监测评估、鱼群行为分析等功能整合在一起,多个设备即时采集信息,结合大数据与人工智能技术来

动态调节养殖环境,这使得饲料利用率提升 30%以上,养殖成活率也提高 15%到 20%,美国 ETI 公司的 FEEDMASTER 自动投饵系统,能将精确度误差控制在 5%以内,适用于三文鱼、鳕鱼等品种,挪威的自动网衣清洗机器人等设备,也大幅降低人工劳动强度[9]。

2.3. 国内网箱装备技术的发展历程与自主创新

我国网箱装备从传统竹木网箱到自主研发的 HDPE 抗风浪网箱、半潜式智能网箱,逐步实现核心技术国产化与装备适配性的优化,形成符合我国海域环境与养殖需求的技术体系。20 世纪 70 年代至 90 年代,我国以传统竹木网箱为主,集中在近岸浅水区,容积小、抗风浪能力弱,养殖模式粗放,核心装备与材料主要依赖进口,产业发展受限。20 世纪 90 年代至 21 世纪初,我国从挪威、日本等国引进抗风浪柔性网箱,开展仿制与攻关。2002 年研制出首套 HDPE 双浮管升降式深水网箱,可承受 3 m 海浪与 10 级风力。2008 年在海南、广东等地规模化推广,推动养殖业向近岸深水区拓展,品种延伸至大黄鱼、金鲷鱼等海水鱼[10]。近年来,我国聚焦深远海装备自主创新,研发出半潜式网箱、桁架式网箱等新型网箱装备。浙江海洋大学团队研发的深水网箱设施系统,采用 HDPE 与碳纤维复合材质,可承受 4 m 海浪与 11 级风力,已在浙江舟山、台州海域推广[11]。阳江某企业联合科研机构研发的半潜浮体式平台网箱,单箱容积达 20,000 m³,可通过升降规避台风冲击,单箱产量超 800 t,适配深远海规模化养殖需求。“深蓝 1 号”“闽投 1 号”等深远海养殖网箱的投入使用,更是突破近岸空间限制,实现深远海网箱养殖[12]。在深远海网箱智能化管理方面,依托物联网与自动控制技术,通过搭载水质监测传感器、水下高清摄像系统及自动投喂装置,实现了对网箱内溶氧量、水温、盐度等关键指标的实时监测与精准投喂,有效降低了养殖风险与人工成本。同时,部分深远海网箱平台还配备了风光互补发电系统与海水淡化装置,提升了平台的长期自持能力,为深远海规模化、智能化养殖提供了有力支撑[13]。材料国产化方面,我国已突破中高强超高分子量聚乙烯绳网、低蠕变超高分子量聚乙烯网衣、合金网衣等核心材料的量产技术,成本较进口材料降低 30%以上,网箱网衣使用寿命延长至 8~10 年。但目前网箱用高精度传感器、智能控制芯片等核心零部件仍依赖进口,装备标准化程度低,不同企业产品规格不统一,制约了规模化集成应用[14]。

2.4. 网箱装备技术创新方向

网箱装备技术的研发工作正围绕着深远海养殖的实际需求,从传统的手段向智能化的系统方向进行转变和扩充,主要聚焦于材料技术的升级、框架结构的优化以及智能系统的融合等方向。在材料领域方面,主要侧重于超高分子量聚乙烯纤维绳网、PET 网衣、高清合金网衣、防污涂料等新型研发工作,以此来提升绳网材料的综合性能、减少碳排放以及海洋废弃物的产生;而框架结构的优化则借助数据仿真和模型试验等方式,来提高网箱在极端海况下的稳固程度;智能系统的融合则致力于将先进的智能化、信息化等技术装备创新应用于网箱装备,让养殖运维的效率得到进一步的提升[15]。

3. 网箱养殖智能化配套系统研究

智能系统的配备框架是网箱养殖实现提质增效的一个核心支撑,主要依靠的是物联网连接网络以及智能技术等手段来提供支持,把投饵、监测评估、洗网、鱼类捕捞、鱼类分级等全工作流程的自动化给实现出来,去破解传统养殖机械依赖度高、构建方式粗放这些难题,目前在国内外的深远海养殖当中已开始运用,且正在逐渐进行迭代升级[16]。

3.1. 自动投饵系统研发与应用

自动投饵系统的核心在于要实现精准投喂,以此来减少饵料的浪费,同时还能有效减轻水体侵蚀所带来的影响。在这方面,挪威 AKVA 集团的智能投饵系统便是一个典型的代表,它把残饵传感器以及鱼

群行为监测整合在一起，用于对投饵设备进行探讨分析，依靠算法来动态校正投饵的精准性，使饲料利用率得到 30%以上的提升，这非常适宜用来养殖像三文鱼等高价品种[17]。为实现我国自动投饵系统的本土化适配，浙江海洋大学等院所高校研发的深水网箱投饵系统，可凭借移动端 APP 进行远距离调控，根据水气温、溶解氧等因子来优化投饵方案，使得饲料利用率得到 25%以上的提升，而投饵系统费用仅为进口设备的一半，适宜在海滨养殖基地进行通用推广。与国外先进的投饵系统相比，国产投饵系统在复杂海况的适应性以及多随机因素协同调控的准确度等诸多方面仍有较大差距，定制化程度不足，难以满足国内网箱多元化的养殖需求[18]。

3.2. 智能监测与调控技术

智能监测评估系统构架，把经过多行业感应器采集到的水质、鱼群以及网箱运算资讯等信息，结合 5G 以及卫星通信等技术，来进行远间距传输工作，国外高准确度水质感应器能够在比较恶劣的海况下稳固开展作业，我国自主研发的感应器核心性能正逐步缩小与进口产品的差距，相较于同性能进口产品具有显著的成本竞争力。不过在深远海高压、强干扰的复杂环境里，它的稳固性仍然需要得到进一步的提升[19]。智能调控系统基于监测数据实现增氧、网箱姿态等自动调节，形成“监测 - 调控”闭环。目前国内外已研发多款集成化系统，但多源数据融合能力薄弱，缺乏精准预测模型，调控方案的科学性与针对性等仍有待提升[20]。为清晰呈现国内外智能监测与调控系统的核心差异，补充技术参数对比如表 2 所示。

Table 2. Comparison of core performances of domestic and foreign intelligent monitoring systems for cage culture
表 2. 国内外网箱养殖智能监测系统核心性能对比

系统类型	代表产品	核心参数精度	复杂海况适应性	数据传输方式	核心优势
国外智能监测系统	挪威 YSI 多参数传感器、AKVAMarinaCCS 系统	溶解氧 ± 0.01 mg/L, 水温 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	可耐受 -20°C 低温、10 级以上风浪	5G+ 卫星双模通信，无死角覆盖	稳定性强、续航久，多模块集成度高
国内智能监测系统	中科院高精度溶解氧传感器、深远海智能网箱监测系统	溶解氧 ± 0.05 mg/L, 水温 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	可耐受 0°C 低温、8 级以下风浪	以 5G 为主，近岸卫星补盲	成本低、适配性强，本土化改造灵活

依据表 2 信息，国内框架在中心随机性的准确度表现方面与国外相比依然存在差距。诚然，得益于国产智能监测与调控系统成本优势以及本土化的适配性评估，在我国水产养殖场景中得到更为普遍的应用，未来需要重点突破高精度传感器的本土化以及双模通讯手段的支持与融合，以此提高深远海场景下的稳定运行能力评估。其中，智能调节框架构建的算法优化是关键，必须结合我国不同海域的海洋环境条件、养殖网箱类型以及养殖品种习性等多元元素，来打造定制化的调节构建格局，避免直接套用国外算法所引发的适养性不足问题。

4. 网箱养殖的生态环境效应及调控策略

网箱养殖对水域生态存在双重影响，高密度养殖易引发水体富营养化、底质污染等生态问题，但若规划合理，可形成人工鱼礁效应，为小型水生生物提供栖息场所，缓解野生渔业捕捞压力。这种双重影响的显现，与养殖密度、海况条件、养殖模式等因素密切相关，通过科学的调控手段，能够实现产业发展与生态保护的协同共进，这也是当前网箱养殖生态研究的核心目标[21]。

4.1. 生态环境影响分析

养殖活动对生物环境产生的负面效应，主要体现在以下这几个方面：残饵和排泄物等的排放会导致

水体里的氮磷含量超标, 引发富营养化的问题, 让部分海域的溶解氧变少, 每养一吨海水鱼, 大概会产生 200 到 300 kg 的氮、30 到 50 kg 的磷这样的废弃物。如果网箱养殖区域的水交换能力比较差, 营养物质没法很快扩散开, 那么很容易让浮游藻类大量繁殖, 甚至形成赤潮灾害。残饵等沉积物的沉降会改变网箱养殖海区底质的理化性质, 营造出厌氧的环境, 当残饵、排泄物还有死亡的生物遗体沉到海底之后, 会让底质里的有机物含量变高、pH 值下降, 在厌氧分解过程中产生的硫化氢、氨这类有害物质, 会严重影响到底栖生物的生存和繁殖, 导致底栖生物的多样性减少。网箱养殖品种的逃逸会干扰野生种群的遗传结构, 且传播病害, 养殖品种和野生种群进行杂交, 会改变野生种群的基因纯度, 而且养殖过程中使用的药物残留以及病原微生物, 会水体扩散, 影响到野生水生生物的健康状况[22]。虽然正面作用相对来说不是最主要的, 但在维持生态平衡方面, 它确实有着一定的补充效果, 相较于网衣系统框架, 网箱框架系统给小型鱼类、甲壳类以及浮游生物等提供附着和庇护的场所, 让局部海域的生物量得到提升。网箱养殖能够替代一部分野生渔业捕捞, 可减少人们对野生渔业资源的过度开发, 这对保护渔业资源有着积极的意义; 运用混养技术手段的网箱养殖, 可选择不同食性的生物来摄取水体中的营养物质, 间接提高水体的自净能力[23]。

4.2. 生态调控策略

生物调节方面的构建工作需要遵循“起源构建、时段调节构建以及末端治理”这一整套工作流程思路, 且要结合不与海域的生物承载量相比之下养殖的必要性, 来制定网箱养殖规划方案。起源构建的核心在于准确管控网箱养殖业, 以便对饲料水准进行对比。国外方面, 借助持续的监测评估来探讨相关对比数据仿真, 建立改进研究环境容积评价构架, 严格约束养殖密度, 且强行要求运用高摄取率饲料, 基于源头来减少废弃物排放。国内则是定义养殖区域、清理违法养殖等手段对行业进行构建, 推广环保型饲料。不过国内在研究环境容积评价手段方面缺乏准确支持, 部分网箱养殖户为追求产量, 仍旧存在过度投喂的现象。以时段调节作为核心来构建多营养层级综合养殖(IMTA), 国外已经将其在行业内进行实际运用, 比如挪威在三文鱼网箱饲养区域混养贻贝以及海带, 形成“鱼类-贝壳生物-藻类”的生物链, 把抛弃物进行综合利用。我国虽然在浙江、福建等地开展试点推广工作, 可是受到养殖业、品种配置手段等支持方面的约束, 运用行业比较窄, 调节构建成效参差不齐。网箱养殖休耕制度建设属于时段调节构建的一项重大研究手段, 国外依靠轮替饲养区域, 让海域生物环境得以足额复原, 我国部分沿海省份也开始进行试点, 可是休耕时段的养殖户利益保障工作机制仍未落实到位[24]。末端治理主要借助生成的水体以及底质侵蚀进行工作, 国外选用智能清淤设备且配合微生物药剂来开展治理, 效能高、对生物扰动小; 我国以机械清淤为主, 费用高、成效有限。微生物药剂相较于底质改进剂的推广运用还需要进一步加强, 开展生物监测评估对于监管制度的落实以及构建方案的实施来说是保障, 国外建立全笼罩的监测评估网络以及严格的监管制度, 我国则需要对监测评估设备的配置进行改进, 提升监管制度的执行力[25]。

5. 产业发展格局与政策导向

5.1. 全球产业格局

全球的网箱养殖主要集中在亚洲、欧洲以及美洲等区域, 各个区域依托自身拥有的资源与财政优势, 凭借着技术手段来形成差异化的成熟发展格局。欧洲以挪威和苏格兰为中心, 主要聚集在深远海开展智能化的养殖工作, 三文鱼养殖产业链得到进一步的改进, 产品增值效果显著。挪威作为全球三文鱼养殖的领军国家, 其养殖区域主要分布在北部的深远海海域, 选用大型智能网箱, 来实现养殖全流程的自动化运作, 同时建立严谨的生产质量追溯框架, 产品远销全球各地, 占据全球高端三文鱼市场 60%以上的

份额；苏格兰和冰岛等国则凭借优质的海域资源，专注于冷水性海水鱼的养殖，技术支撑能力次于挪威，产品主要供应欧洲本地市场[26]。美洲区域的美国、智利以及加拿大这三个国家，展现出不同的特征，它们成熟的研究手段也都各具特色。智利作为全世界第二大三文鱼养殖国，它的养殖区域主要集中在南边那些冷水海域，运用行业化的养殖手段。近年来智利逐步加强智能系统的运用，相比于单纯的生物环境管控，改善养殖密度、推广环保饲料，这有效地提升产量和质量，巩固它的优势地位。美国则主要集中在深远海养殖技术的研发上，像碟形网箱、智能养殖框架这些技术都处于领先水平，养殖的品种包括三文鱼、鳕鱼、罗非鱼，等等，它对养殖区域和行业的管控非常严格，特别重视保护野生渔业资源和生态环境。加拿大则是凭借北部寒冷海域的资源，养殖三文鱼、北极红点鲑等冷水性鱼类，采用生态化的养殖手段，产品定位高端市场，增值明显超过普通养殖品种[27]。以中国、日本和韩国为核心的亚洲区域，其养殖行业规模巨大且品种相当多元，作为全世界最大的网箱养殖国家，中国的养殖区域覆盖沿海各省以及内陆主要水域，近岸网箱养殖行业占比非常高，这几年深水养殖发展得特别快，“深蓝1号”和“闽投1号”等深远海养殖网箱投入运营，把传统网箱行业向深远海方向进行拓展，养殖的品种有大黄鱼、金鲳鱼、三文鱼、红瓜子斑等50多个品种，形成区域特色特别明显的养殖格局，不过高端产品占比偏低，产业链有待继续升级，多半是基础产品拿去销售为主。挪威、日本、智利等国的网箱养殖技术先进，主要聚集在高水准海水鱼养殖方面，选用精细化、生态化的养殖技术手段，特别看重产品品牌建设，产品附加值高，同时还严格管控养殖环境，生态调节技术应用普遍。纵观全球行业的成熟发展趋势，深远海研究领域的扩展、智能系统的升级、生物化方向的转变以及产业链的丰富，成为网箱行业发展的核心重心，主要网箱养殖国家纷纷加大力度去支持研发工作，调整运作政策，以此来提高自身的行业优势地位以及评估可持续发展的能力。虽然我国在网箱养殖数量方面占据着一定的优势，但是在技术支持能力的评估、产业链的完善程度以及生物管控等方面，和挪威等先进国家相比依然存在差距，因此需要加快转型升级的步伐[28]。

5.2. 国内外政策导向

国外网箱养殖发达国家重视手段、支持创立，相比之下行业规范化成熟，政策构架得到改进以及执行力度强。如挪威出台《海水养殖法》以及《生物研究环境庇护法》等一系列法律法规，严肃释义饲养区域，明确养殖行业侵蚀物释放等规范，建立“监测评估对探讨-评价-管控”的封闭时段监管制度构架，对违法养殖行动进行重罚，挪威政府建立专门规划方案资金[29]，去支撑深远海饲养手段支持、智能系统装备、生物调节构建手段支持的研发相比之下运用，鼓励企业向深远海、生物化转变，对于采用多营养层级综合养殖(IMTA)研究手段的养殖企业给予津贴[30]。美国已经出台《马格努森-史蒂文斯渔业养护与管理法》和《洁净水法》等一系列法律法规，对网箱养殖行为进行规范，严格审核养殖许可，要求养殖企业去开展环境影响评价工作，并且建立养殖环境的监测评估体系，禁止在生物敏感区域进行网箱养殖，美国政府支持深远海养殖技术的研发与推广，在加州、阿拉斯加等地建设深远海养殖示范基地，推广智能网箱以及生态养殖技术，以保护野生渔业资源和生态环境²[31]。智利出台《水产品养殖总法》，对养殖区域规划、养殖品种、技术规范以及质量管控等方面提出要求，加强对三文鱼养殖的监管，规范饲料使用、药物残留和污染物排放等行为，同时加大对养殖技术及产业链发展的支持，实现产业化和高质量发展[32]。我国网箱养殖行业的政策方向已经从“行业扩充”转向“生物优先、水准提升”，近年来出台一系列的政策，给行业的转变升级提供支撑，《“十四五”全国渔业发展规划》³中理性提议，要大

²Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act, 16 U.S.C. §§ 1801 et seq.; Federal Water Pollution Control Act (Clean Water Act), 33 U.S.C. §§ 1251 et seq.

³同脚注1。

力发展深远海养殖,建设深远海网箱养殖基地,推广智能化养殖装备以及相关手段支持,来实现网箱养殖行业的转变升级;同时加强近岸养殖环境的治理工作,严格控制近岸网箱养殖行业,清理整顿违法养殖、过度养殖等行为,改善养殖生态环境。农业农村部等10部委联合印发了《关于加快推进水产养殖业绿色发展的若干意见》⁴,提议改善养殖空间布局,科学规划养殖区域,推广生态养殖相关手段,加强养殖环境监测评估以及监管制度建设,提升养殖产品质量安全水平。我国各个沿海省份结合自身的实际情况,制定出台具有针对性的配套政策,如浙江省海洋经济发展厅印发《加快推进深远海养殖发展建设现代化海洋牧场实施方案(2025—2030年)》⁵,加大对深远海网箱养殖基地建设以及技术研发方面的扶持力度,计划到2027年建成十个规模化的深远海网箱养殖集群。山东省推动深远海网箱与产业上下游的融合发展,打造集“深远海养殖+加工+物流”于一体的完整产业链。海南省凭借其独特的气候以及海域资源优势,重点发展高等级海水鱼网箱养殖,出台补贴政策来鼓励企业引进先进的技术和装备[33]。我国网箱养殖的体系虽渐渐改进,可是仍存在着政策衔接欠缺、执行力度欠缺、配备方略未得改进等方面的疑问,部分区域的养殖设想,相比之下生物庇护设想,衔接起来不顺畅,政策实施规划方案时段中存在着监管制度缺位的问题;对于深远海养殖、智能系统养殖的政策支撑,多是给予转瞬津贴,短缺不断支撑的工作机制;生物赔偿工作机制不改进,难以调动养殖户加入生物养殖的主动性,日后,需改善政策导向,加强政策衔接以及执行力度,改进配备方略,来实现网箱养殖行业的高水准成熟[34]。

6. 研究不足与未来展望

现有研究在网箱养殖技术创新、生态调控、产业实践等方面取得显著进展,但结合产业发展实际需求仍存在三方面不足:一是核心装备与零部件国产化瓶颈未突破。现有研究多聚焦网箱结构优化与材料特性,对高精度传感器、智能控制芯片等核心零部件的研发投入不足,仍依赖进口,推高养殖装备成本,装备标准化程度低,不同企业产品规格不统一,制约了规模化集成应用[35]。二是智能化系统集成度与适配性不足。现有智能监测、投饵、调控系统多为单一模块独立运行,缺乏多模块深度融合,难以实现养殖全流程协同联动;针对我国不同海域环境、养殖品种的定制化系统较少,适配性不足,引进的国外系统常因“水土不服”难以落地[36]。三是生态效应长期监测数据缺乏,调控策略针对性不强。现有研究多聚焦短期生态影响,对长期累积效应及生物群落结构演变的研究不足,缺乏跨区域、长期连续的监测数据支撑,生态调控策略的科学性与针对性有待提升。此外,当前研究在协同发展方面仍有欠缺,现有研究多聚焦单一技术或养殖环节,对网箱养殖产业链各环节(养殖、饲料、加工、流通、品牌)的协同发展研究不足,缺乏对产业链整合与升级的系统性探讨[37]。同时,政策与技术的融合研究不够深入,政策制定多基于宏观规划,缺乏对技术落地难点、产业实际需求的充分考量,导致部分政策难以有效执行,成果转化率较低。

未来网箱行业需聚焦三大方向,突破研究瓶颈,支撑网箱养殖业高质量发展:一是加大核心材料与零部件研发,推进装备标准化[38]。重点研发高压、低温、强腐蚀环境下稳定运行的网箱装备,优化浮体结构与固泊系统;加大高精度传感器、智能控制芯片等核心零部件的国产化研发力度,突破技术壁垒,降低装备成本;加快制定网箱装备统一规格与质量标准,推动装备规模化生产与系统集成。同时,加强可移动网箱等新型网箱装备的研发与应用,拓展深远海养殖空间[39]。二是提升智能化系统集成度,构建数据驱动的精准养殖模式。研发多模块集成的智能化养殖系统,实现监测、投饵、调控、运维等环节的协同联动;结合我国不同养殖品种、海域环境,开发定制化网箱配套智能系统,提升适配性。加强大数据分析、人工智能、数字孪生等技术的融合应用,构建网箱养殖数据预测模型,实现网箱投饵、环境调

⁴https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-10/22/content_5443445.htm

⁵https://www.zhoushan.gov.cn/art/2025/3/4/art_1229029417_59295037.html

控等决策的精准化与预测性;完善数据管理平台,构建跨区域、跨企业的数据共享机制,充分挖掘数据价值[40]。三是开展长期生态监测,优化生态养殖与修复协同模式。建立跨区域、长期连续的生态监测网络,精准评估网箱养殖对水体、底质、生物群落的长期累积效应,揭示养殖与生态环境的相互作用机制。研发网箱养殖与生态修复协同技术,优化多营养层级综合养殖(IMTA)模式,推广混养、轮养、休养等生态养殖模式,实现养殖与生态保护协同发展。完善环境容量评估方法,结合数值模拟与长期监测数据,实现养殖规模的精准调控,降低生态环境压力。四是还需加强产业链协同与政策技术融合研究。探讨网箱养殖业链各环节的协同机制,推动饲料研发、养殖、加工、流通、品牌建设一体化发展,提升网箱产业附加值;结合网箱产业实际需求与技术落地难点,优化网箱政策设计,建立长效扶持机制,提高政策执行效率与技术成果转化率。加强网箱国际合作交流,借鉴国外先进技术与管理经验,推动我国网箱养殖业与国际接轨[41]。

基金项目

连云港市揭榜挂帅(技术攻关)项目(25ZDGGXQ007)。

参考文献

- [1] 梁梓琪,舒彦淇,李君益.全球捕捞量衰减背景下北部湾捕捞量及渔民生计影响调研[J].河北渔业,2026(4):77-81.
- [2] FAO (2025) Fishery and Aquaculture Statistics—Yearbook 2023. <https://doi.org/10.4060/cd6788en>
- [3] 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.2025 中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2025.
- [4] 付宗国.深水可移动网箱模糊控制系统研究[D]:[硕士学位论文].舟山:浙江海洋学院,2014.
- [5] 于嵩松.深水抗风浪网箱基本设计研究[D]:[硕士学位论文].大连:大连海洋大学,2015.
- [6] 田中旭,胡学文,刘智健,等.深海浮筏式网箱高效有限元分析及结构轻量化[J].南方水产科学,2025,21(3):92-100.
- [7] 陆忠康.网箱、拦养和网围养殖位置选择和设计[J].现代渔业信息,1991(6):22-23+15.
- [8] 徐皓,刘晃,黄文超.深远海设施养殖装备技术进展与展望[J].上海海洋大学学报,2023,32(5):893-902.
- [9] 福建省水产研究所,福建省泉州市水产局.国产沉浮式抗风浪养殖网箱系统介绍[J].中国水产,2001(9):56-58.
- [10] 刘会丽.会计数字化视角下的农业企业存货管理研究[J].经济研究导刊,2026(3):133-136.
- [11] 李靖,石莹,韩兵,等.灯光诱饵技术对深水网箱养殖鱼类品质的影响[J].渔业科学进展,2022,43(3):186-195.
- [12] 陈瑜.数字技术水产养殖的敏捷治理研究[J].黑龙江水产,2026,45(3):319-325.
- [13] 张淼源.深远海网箱养殖鱼群分布特性及计数方法研究[D]:[硕士学位论文].大连:大连海洋大学,2023.
- [14] 韩凤晶,何颖璐,林千桐.湛江市绿色发展对新质生产力提升研究——基于政策、科技与产业升级的实证分析[J].经济研究导刊,2025(6):31-35.
- [15] 胡斌,黄涣青,文俊凯.重力式网箱浮架优化探讨[J].广东造船,2026,45(2):89-92.
- [16] 广东省现代农业装备研究院现代化海洋牧场创新团队[J].现代农业装备,2026,47(2):135.
- [17] 喻剑.蓝色粮仓的科技“长征”——海洋探宝② [N].经济日报,2026-06-01(003).
- [18] 车辉,苗碧舟,马春跃,等.潮州市吴兴区智慧水产养殖系统建设方案[J].智能物联网技术,2022,5(1):49-54.
- [19] 郭佳锋.智能监测技术在海洋生态监测中的实践应用与挑战[J].环境保护与循环经济,2026,46(4):93-96.
- [20] 曹培烨,李晨宇,欧春尧,等.新质生产力视角下湛江海洋牧场技术创新路径研究[J].农村经济与科技,2025,36(15):69-71.
- [21] 王非.可沉浮式网箱升降系统及动力响应特性研究[D]:[硕士学位论文].大连:大连理工大学,2019.
- [22] 任艳华,张隽美,卢荣华,等.鱼类营养代谢性疾病研究进展[J].江苏农业学报,2021,37(6):1623-1629.
- [23] 吴业炜,石建高,张文阳,等.海水养殖网箱防污损生物技术的进展[J].渔业研究,2024,46(3):228-235.

- [24] 潘庭双, 一种网箱养鳙池塘水质的调节方法[P]. 中国专利, CN201410774686.X. 2016-02-24.
- [25] 揭亮. 富营养化水体的生态环境修复研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(23): 53-55.
- [26] 袁蓓. 我国海水养殖业绿色发展评价指标体系构建与实证[J]. 海洋经济, 2022, 12(6): 24-33.
- [27] 耿会涛, 席正阳, 李响, 等. 基于人工智能技术的鱼类养殖智能监测技术研究进展[J]. 河南科技, 2026, 53(16): 29-33.
- [28] 刘昆宁, 郑光维. 金融“活水”直达船头助力渔民“耕海犁浪” [N]. 北海日报, 2026-08-20(005).
- [29] Sun, Z., Li, H., Zhou, S., Li, Z. and Feng, G. (2024) Calculating the Structural Responses of Aquaculture Tanks by Considering the Effects of Corrosion and Tank Sloshing. *Journal of Marine Science and Application*, **23**, 249-260. <https://doi.org/10.1007/s11804-024-00410-9>
- [30] Rust, M.B., Amos, K.H., Bagwill, A.L., Dickhoff, W.W., Juarez, L.M., Price, C.S., *et al.* (2014) Environmental Performance of Marine Net-Pen Aquaculture in the United States. *Fisheries*, **39**, 508-524. <https://doi.org/10.1080/03632415.2014.966818>
- [31] Liao, C.I. (2000) Aquaculture Development: Challenges for the 21st Century. *Aquaculture Science*, **48**, 273-278. <https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.48.273>
- [32] Villalba, M., Salazar, C. and Jaime, M. (2026) Do Positive Perceptions of Aquaculture's Socioeconomic Benefits Counteract Negative Views of Its Environmental Impacts? The Case of Mussel Farming in Chile. *Marine Policy*, **194**, Article 107263. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2026.107263>
- [33] Chen, W. and Gao, S. (2023) Current Status of Industrialized Aquaculture in China: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, **30**, 32278-32287. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25601-9>
- [34] Yin, J., Cai, L., Li, J., Yan, X. and Zhang, B. (2024) Study on the Aquaculture of Large Yellow Croaker in the Coastal Zone of Zhejiang Province Based on High-Resolution Remote Sensing. *Remote Sensing*, **17**, Article 9. <https://doi.org/10.3390/rs17010009>
- [35] An, Z., Zhang, S., Wang, X., Jin, W. and Li, C. (2026) DPAIA: A Zero-Shot Multi-Agent Causal Reasoning Framework for Interpretable Disease Pathway Analysis in Aquaculture. *Aquaculture International*, **34**, Article No. 166. <https://doi.org/10.1007/s10499-026-02564-5>
- [36] Lin, C., Shen, Y., Tsai, Y. and Chen, C. (2022) An Analysis on the Preliminary Benefits of Aquaculture Smart Aeration Control. *IET Smart Cities*, **5**, 35-40. <https://doi.org/10.1049/smc2.12046>
- [37] Zhang, Y., Bi, C., Cui, S. and Huang, L. (2025) Numerical Study on the Hydrodynamic Responses of a Cube Net Cage Suspended Inside a Jacket Foundation in Wave and Current. *Ocean Engineering*, **342**, Article 123133. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123133>
- [38] Jung, J., Kim, S., Khim, J.S., Lee, C. and Kim, S. (2026) Technological Integration and Readiness in Smart Aquaponics: A Prisma-Guided Evidence Synthesis and Future Outlook. *Aquacultural Engineering*, **115**, Article 102802. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2026.102802>
- [39] Long, L., Liu, H., Cui, M., Zhang, C. and Liu, C. (2023) Offshore Aquaculture in China. *Reviews in Aquaculture*, **16**, 254-270. <https://doi.org/10.1111/raq.12837>
- [40] Yang, J., Tao, H., Hu, Z., Wang, Y. and Yu, H. (2026) FinSight-Net: A Prior-Guided Degradation-Aware Network for Underwater Fish Detection in Smart Aquaculture. *Fishes*, **11**, Article 425. <https://doi.org/10.3390/fishes11070425>
- [41] Engler, C., VanderZwaag, D.L. and Seck, S.L. (2025) Oceans and Climate Change Adaptation: Tracking International Law and Policy Developments and Challenges. *Frontiers in Marine Science*, **12**, Article ID: 1577490. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1577490>