

多营养层次综合养殖模式的发展及其管理应用研究

马雪健^{1,2}, 刘大海², 胡国斌¹, 姜伟², 李彦平², 李晓璇²

(1. 中国海洋大学 青岛 266003; 2. 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

摘要:多营养层次的综合养殖模式是近年提出的一种健康的可持续发展的海水养殖理念,近十年的研究与实践证实,该养殖模式在促进养殖产品持续高产、减轻养殖环境压力、提高养殖系统循环利用效率等方面具有显著作用。通过对现有资料的系统研究,梳理出我国多营养层次综合养殖模式的研究发展历程,结合中国海水养殖管理的实际情况,重点探讨了综合养殖模式在养殖用海管理上的应用意义,并分析了该模式未来主要发展趋势和目前应用推广所面临的障碍等,以期为进一步丰富多营养层次养殖模式的实践与应用提供理论与技术支撑。

关键词:多营养层次综合养殖模式;循环共生;养殖用海;管理;生态

中图分类号:F224.0;X37

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2016)04-0074-05

Development of Integrated Multi-trophic Aquaculture Mode and Its Application on Management

MA Xuejian^{1,2}, LIU Dahai², HU Guobin¹, JIANG Wei², LI Yanping², LI Xiaoxuan²

(1. Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: In recent years, a healthy sustainable marine aquaculture concept has been put forward named Integrated Multi-trophic Aquaculture. It's confirmed that the breeding mode has a significant effect on promoting the sustained productive, reducing the pressure of the breeding environment, and improving the efficiency of the breeding system circulation. This paper introduced the development of the multi-trophic aquaculture in China, and the application significance of the integrated multi-trophic aquaculture model in the management of the aquaculture was discussed, as well its main development trend and the obstacles faced in current application was analyzed, through the systematic research of the existing data and combined with the actual situation of the management of farming-used sea areas.

Key words: Integrated multi-trophic aquaculture, Circular symbiosis, Farming-used sea areas, Management, Ecology

中国是世界第一大水产品养殖和出口国,也是目前唯一一个水产养殖总量超越捕捞产量的国

家^[1]。2014 年国家渔业相关统计数据显示,当前中国水产品的 51% 来自海洋,其中海洋养殖捕捞产量

基金项目:海洋公益性行业科研专项经费项目“基于生态系统的海洋功能区划关键技术研究与应用”(201505001),近岸海域空间整治效果与开发生量评估关键技术研究应用(201405025),山东半岛蓝色经济区建设的海洋空间布局优化技术体系及决策服务系统应用示范(201205001);国家海洋局资助项目“渔业用海效益评价研究及宣传材料编写”。

作者简介:马雪健,硕士研究生,研究方向为养殖生态与渔业资源管理,电子信箱:madilda@163.com

通信作者:刘大海,助理研究员,博士,研究方向为海洋经济规划与管理,电子信箱:liudahai@fio.org.cn

比约为 69:50,海水养殖贡献的水产品份额增长至 28.05%^[2-3];联合国粮农组织数据资料显示,中国海洋捕捞产量自 1998 年开始接近“零增长”,且受渔业资源与管理政策影响,该状态仍将长期维持下去^[4]。在此背景下,面对国际国内持续增长的海产品消费需求,海水养殖将担当重任。然而,目前养殖用海资源紧缺、近海生态系统恶化、海水养殖自身污染等问题成为海水养殖产量增加和产品质量提升的主要“瓶颈”。因此,亟须从海洋资源环境与养殖协调发展的角度,探索低碳、生态、高效的海水养殖模式,通过养殖生物的合理搭配和循环共生,实现海水养殖业持续集约清洁生产^[5]。

多营养层次的综合养殖模式(Integrated Multi-trophic Aquaculture, IMTA)即是在此背景下发展起来的一种高效的健康生态养殖模式,其核心是养殖环境体系的健康发展与养殖产品的绿色安全。作为新兴的养殖生态系统,多营养层次的综合养殖正在引发国内外越来越广泛的关注,但进一步应用推广仍然需要大量的理论与实践经验作支撑。本文将系统梳理多营养层次综合养殖模式的理论与实践发展历程,结合我国养殖用海资源环境开发与管理的实际情况,对该综合养殖模式的具体应用前景进行深入、客观的探讨。

1 多营养层次综合养殖模式的发展历程

20 世纪 60 年代,中国开始开展对虾与贝类混养试验,但当时综合养殖模式的生态学意义并未被充分认识,合理搭配其他品种的生态、经济、社会效益湮没于高密度单养的巨大经济效益中^[6-7]。直至 20 世纪 90 年代,由于长期结构单一的超负荷养殖,中国近海养殖生态系统稳定性降低、富营养化程度加剧,造成养殖病害大面积暴发,人们开始认识到养殖环境的重要性,对多品种生态养殖^[8]、海水健康养殖模式、碳汇渔业^[9]、生物修复技术^[10]等的探讨逐渐增多。近几年,基于上述技术的生态系统水平综合养殖模式日渐受到关注^[11-13],其发展历程大致经过了 3 个阶段。

1.1 起步阶段——淡水生态混合养殖

生态综合养殖模式的理论起源于淡水养殖领域,最初概念是指以池塘养殖水产动物为主,兼营

作物栽培、畜禽饲养和农畜产品加工的一种生产方式。在理论实践发展初期,生态综合养殖模式的主要原理是生物共生。20 世纪 80 年代初期,人们开始尝试将鱼、虾、鸭等水生动物与芦苇、水稻等水生植物立体混养,这一混养模式在充分利用有限养殖空间的同时,通过人为构建水生动植物间的共生关系而提高了资源利用率和劳动生产率,最终取得了可观的生态和经济效益,也证实了通过合理搭配不同食性和栖息习性的水生动物进行综合养殖的模式是可行的^[14-15],为进一步丰富生态系统水平的综合养殖模式奠定了良好的基础。

1.2 发展阶段——海水池塘生态综合养殖

20 世纪 90 年代,为解决中国近海的大规模养殖病害危机,海水生态综合养殖概念开始用于改善近海池塘养殖系统,并得到了很大的发展。

初期发展的 10 年间,综合养殖模式的相关研究主要集中在养殖品种的搭配上,仅就池塘养虾而言,鱼类、贝类、藻类间的混养试验就超过 20 种^[16]。此外,王金山等^[17]、王克行等^[18]从养殖池改造上着手,分别提出半封闭式、封闭式养虾方式,利用养殖生物间的营养关系辅助养殖池水循环,减少了污水外排的可能,并在一定程度上提高了对虾成活率。但这些早期研究实践缺乏技术的规范性和研究的系统性,所得经验尚不能为综合养殖模式的后续推广提供有力的理论和技术支撑。

20 世纪 90 年代末,海水综合养殖模式的生态学意义得到更加广泛的认可,养殖效益评价、物种生态学等相关理论技术日趋成熟,越来越多的科学家倾向于以科学试验和数据来量化综合养殖效益,探究最经济的养殖品种搭配和密度等。王吉桥、李德尚等^[19-20]通过陆基围隔试验、N-P 利用率测定和产值分析等,证明了池塘综合养殖的生产效果、生态效率与经济效益均好于单养;田相利等^[21]对混养及单养虾的水体理化及多种生物因子状况进行了测定,为评价综合养殖的生态学意义提供了水体环境方面的科学数据;胡海燕^[22]、毛玉泽^[23]研究了滤食性贝类和大型藻类对综合养殖系统的影响,并通过监测水体理化因子和生物因子的变化规律,证明贝藻对养殖生态系统具有很强的生态调控作用。

另外,人们还采取生物改良手段干预综合养殖池生态,其中施撒微生态制剂等手段调节水质或底质尤为典型,通过这种手段可以增加水中溶氧量,创造更清洁的生态化综合养殖空间^[24-26]。至此,鱼/虾—贝—藻的生态综合养殖模式逐渐被人们接受且应用于养殖生产中,使养殖效益得到了提高。

1.3 精细化发展阶段——多层次循环共生的健康生态养殖

多营养层次综合养殖模式是淡水生态混养和海水池塘生态综合养殖模式的精细化、专业化成果,主要原理仍是基于生物的生态理化特征进行品种搭配,利用物种间的食物关系实现物流、能流循环利用。这种综合养殖系统一般包括投饵类动物、滤食性贝类、大型藻类和底栖动物等多营养层级养殖生物,系统中的残饵和一些生物的排泄废物可以作为另一些生物的营养来源,这样就可以实现水体中有机/无机物质的循环利用,尽可能降低营养损耗,进而提高整个系统的养殖环境容纳量和可持续生产水平。由于该养殖模式涉及底栖、浮游、游泳类养殖品种的综合养殖,还可以达到养殖用海空间资源立体化利用目的,提高养殖空间利用效率。

相较于前两个阶段,多营养层次综合养殖模式的养殖品种营养级搭配更加齐全,养殖空间更加立体,管理环节也更加全面。

目前,基于生态系统的多营养层次综合养殖模式已成为国内外学者们大力推行的养殖理念,中国、加拿大、美国、以色列、新西兰、苏格兰、希腊、挪威等国家均在进行相关研究^[27]。2008年,中国工程院院士唐启升^[28]指出,实行多营养层次的综合养殖模式,是解决经济发展与养殖环境矛盾,保证海水养殖产业健康发展的最有效途径之一,并建议在中国近海开展大型藻类、滩涂贝类等碳汇生物的多营养层次综合养殖。此后,对多营养层次综合养殖相关机理、效益、应用价值等的研究探讨开始涌现。任贻超^[29]结合刺参独特的生理生态特征,构建了一种新型立体式、交错式多层次综合刺参养殖模式,实验验证了以多营养层次的综合养殖模式混养刺参—扇贝—对虾—海蜇等可以创造更高的生态、经济效益;唐启升等^[30]根据 Costanza 等的主要价值参

数,结合市场价值评估和碳税法,对桑沟湾不同海水养殖模式核心服务价值进行了估算,结果表明多营养层次综合养殖模式所提供的生态服务价值远高于单一养殖;蒋增杰等^[31]对深水网箱的环境效应进行分析,强调综合养殖品种搭配要综合考量养殖水域水力条件、水体颗粒物浓度、饵料条件等因素,并将多营养层次综合养殖模式分为开放式海岸带综合养殖和陆基海水综合养殖两类。

我国对多营养层次综合养殖模式的开发处于国际领先地位,山东、辽宁的某些海域甚至已经达到产业化水平,相关研究成果为推动我国高效、可持续发展的生态系统水平的海水养殖提供了重要的技术支撑^[32-33]。至此,中国多营养层次综合养殖基本模式已渐成熟,并开始向养殖结构优化、整体效益评价等内涵和外延拓展。

但现阶段,作为有益于养殖用海资源高效利用的先进技术,多营养层次的综合养殖模式与养殖用海管理的耦合研究仍然欠缺,该技术对养殖用海资源开发与管理实践的启示及相关应用亟待重视。

2 多营养层次综合养殖模式在养殖用海管理上的应用研究

多营养层次综合养殖模式作为一种高效的健康生态养殖模式,主要可以应用于养殖用海管理的3个方面。

一是为养殖用海集约化管理提供科学技术示范。中国养殖用海总体布局的集约化、生态化水平亟待提高。在现有资源条件下,提高养殖综合效益是养殖用海布局优化管理的主要目的之一。多营养层次的综合养殖模式通过人为构建可循环共生的养殖生态系统,能有效兼顾海洋环境生态和养殖产量,该模式可以从时间、空间及生态系统内部实现海域资源的高效循环利用,为养殖用海集约化、生态化开发布局提供优级示范。

二是为养殖用海管理技术提供科学基础和支撑。目前,我国养殖用海管理技术支撑体系还不够完善,养殖用海的科学管理亟须海域科学使用与评估相关技术助力^[34]。多营养层次综合养殖的相关研究日渐精细,随之开展的养殖品种结构优化、放养密度控制、环境生物修复、养殖污染分析等基础

课题研究日益深入,相关成果将为养殖环境容纳量评估、海水养殖综合效益评价、养殖用海优化布局对策等海域使用管理支撑技术的突破提供丰富的科学基础和借鉴,继而为养殖用海管理技术体系的完善提供有力支撑。

三是为构建新型管理配套措施提供动力和参考。我国海域管理政策体系的进一步完善将更加依赖于先进科研成果与理念的吸纳整合,而产业实践中的技术换代将为相关管理措施和制度更新提供最主要的动力和参考。如,多营养层次的综合养殖模式可以通过养殖品种的合理搭配实现养殖空间资源的立体化开发,随着该养殖模式的应用推广,养殖用海的立体化空间权益将更受重视。可以说,多营养层次综合养殖模式将对养殖用海立体化确权及相关管理措施的建立起到良好的促进作用。

3 多营养层次综合养殖模式前景展望

除了对养殖用海管理具有重要意义外,多营养层次综合养殖模式的研究成果在养殖产品持续高效供给、养殖用海资源环境健康发展等方面也将发挥突出作用;与此同时,其应用推广也受到技术制度发展水平的制约。

3.1 应用前景分析

一是用于维持养殖产品的高效产出和持续供给。过去大量的养殖实践证明,单一品种高密度养殖模式下的高产是以养殖系统资源超额消耗为代价的,不利于养殖生态系统的健康发展。在有限的养殖用海资源条件下,多营养层次综合养殖模式通过协调种间关系以实现内部能量快速流动和物质循环利用,其应用可大大降低养殖系统能耗,单位面积养殖容纳量和食物产出率都将得到提高。研究证实,通过养殖生物的合理搭配和养殖结构调整,可以提高养殖用海综合效益^[35]。

二是用于应对近海生态系统的多重压力与胁迫。受陆源污染和养殖自身污染影响,我国近海养殖生态系统结构和功能受到多重压力胁迫,具体表现在生物多样性减少、生态系统生产力降低、高营养层级生物大量减少等^[36]。多营养层次的综合养殖模式自身具备较稳定的养殖营养层级结构,通过合理的碳汇品种搭配发挥出最大限度的生态服务

价值,该养殖模式的应用不仅不会对养殖生态系统造成负担,而且可以缓解近海生态系统养殖压力,是在生态系统水平应对近海多重压力胁迫的适应性管理对策。

三是助力突破中国水产品技术性的贸易壁垒。目前,中国作为世界最大的水产品出口国,水产品主要目标市场为日本、韩国、美国和欧盟,这些国家和地区在水产品卫生质量、检验检疫等方面设置了较高的技术性贸易壁垒,要突破这一壁垒对我国水产品出口市场的限制,除了要在检验制度上尽快与国际接轨,还需进一步加快水产品生产结构调整,优化养殖生态环境^[37]。多营养层次综合养殖模式在养殖生产全程中低碳、绿色、无污染,从源头上保障了养殖产品的品质和养殖环境的清洁。

3.2 关于未来发展的一些思考

在学科理论发展上,多营养层次的综合养殖模式研究基于海洋资源管理、生理生态学、地球化学、系统论、海洋经济学、生物统计学、海洋微环境等多学科理论,该养殖模式的实践应用是一个复杂问题,其延伸发展仍然需要长期持续的基础理论实践完善与支持。

从养殖结构多样化角度,我国海水养殖产业遍布全国东南沿海,海岸线长、气候环境多样、地质地貌复杂,且生物生理随系统结构变化而显示不同特征,因此在多营养层次综合养殖应用实践中,需要综合考虑当地沿海资源环境要素、生理生态系统要素、产品的市场需求和生态位差异等。目前我国海水养殖结构的最优设计缺乏普适准则,较难实现快速应用。

从养殖管理角度,多营养层次综合养殖模式在前期养殖场地准备、养殖品种时序控制、养殖水质环境监测与维护等方面对养殖管理提出了更高的要求,规模化、自动化、专业化的集成经营与管理可能成为未来大面积推广的主要趋势,同时养殖实践的难度与成本也随之加大。

总体而言,虽然目前中国的多营养层次综合养殖模式在局部区域实现了一定程度的产业化,但基础研究的支撑力度仍待提升,系统内部的能流、物流过程尚不明晰,各养殖单元间互利作用机理缺乏深层次的理论阐释,在定量研究及整体设计等基础

理论方面还需要更多、更深入的探讨。

参考文献

- [1] 涂洪长,郭爱民. 2013 年我国水产品进出口额达 289 亿美元居世界第一[EB/OL]. (2014-06-30) [2015-08-04]. <http://finance.sina.com.cn/chanjing/cyxw/20140630/155519563194.shtml>.
- [2] 农业部渔业渔政管理局. 2014 年全国渔业经济统计公报[EB/OL]. (2015-05-18) [2015-08-18]. http://www.moa.gov.cn/sjzz/yzjzw/yyywyj/201505/t20150518_4599639.htm.
- [3] 国家海洋局. 中国海洋统计年鉴 2014[M]. 北京:海洋出版社, 2015:67.
- [4] 网易数读. 中国近海过度捕捞已持续 20 年[EB/OL]. (2014-05-17) [2015-08-06]. <http://news.163.com/14/0516/04/9SBDOFOE00014MTN.html>.
- [5] 胡炜,李成林,宋爱环,等. 低碳、生态、高效海水养殖模式探讨[C]// 华东地区农学会、山东农学会 2010 年学术年会交流材料,2010:47-48.
- [6] 项福亭,杨静,张益额,等. 论虾贝混养的生态调控[J]. 齐鲁渔业, 1994(2):35.
- [7] 王吉桥,李德尚,董双林,等. 对虾池不同综合养殖系统效率和效益的比较研究[J]. 水产学报, 1999, 23(1):45-52.
- [8] 毛玉泽. 桑沟湾滤食性贝类养殖对环境的影响及其生态调控[D]. 青岛:中国海洋大学, 2004.
- [9] 肖乐,刘禹松. 碳汇渔业对发展低碳经济具有重要和实际意义,碳汇渔业将成为新一轮渔业发展的驱动力:专访中国科学技术协会副主席、中国工程院院士唐启升[J]. 中国水产, 2010(8):4-8.
- [10] 马绍赛. 海洋环境生物修复技术研究与应用新进展[C]// 中国水产学会渔业资源与环境分会 2011 年学术交流会会议论文(摘要)集,2011:7-11.
- [11] 陈四清,李晓川. 中国对虾配合饲料入水后营养成分的流失及其对水环境的影响[J]. 中国水产科学, 1995(4):40-47.
- [12] 王克行,马生生,潘鲁青,等. 封闭内净养虾技术试验报告[J]. 齐鲁渔业, 1995(4):20-23.
- [13] 田相利,李德尚,董双林,等. 对虾-罗非鱼-缢蛏封闭式综合养殖的水质研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2):287-292.
- [14] 张泽芸. 禽畜鱼综合养殖技术[J]. 四川农业科技, 1989(5):39.
- [15] 陆忠康. 论国外水产综合养殖系统的模式[J]. 水产养殖, 1989(3):16-18.
- [16] 常建波,张玉玺,于义德,等. 养虾池底播魁蚶技术的研究[J]. 齐鲁渔业, 1994(6):5-8.
- [17] 王金山,孙希平,段美平,等. 半封闭养虾技术研究[J]. 齐鲁渔业, 1994(3):13-15.
- [18] 王克行,马甥,潘鲁清,等. 封闭内净养虾技术试验报告[J]. 齐鲁渔业, 1995, 40:20-23.
- [19] 王吉桥,李德尚,董双林,等. 对虾池不同综合养殖系统效率和效益的比较研究[J]. 水产学报, 1999, 23(1):45-52.
- [20] 李德尚,董双林. 对虾池封闭式综合养殖的研究[J]. 海洋科学, 2000(6):55.
- [21] 田相利,李德尚,董双林,等. 对虾-罗非鱼-缢蛏封闭式综合养殖的水质研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2):287-292.
- [22] 胡海燕. 大型海藻和滤食性贝类在鱼类养殖系统中的生态效应[D]. 青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所), 2002.
- [23] 毛玉泽. 桑沟湾滤食性贝类养殖对环境的影响及其生态调控[D]. 青岛:中国海洋大学, 2004.
- [24] 苏跃朋,马甦,董双林. 施加有机降解菌制剂虾池底质中有机碳和总氮的变化[J]. 海洋科学, 2003, 27(1):61-64.
- [25] 牛化欣. 菊花心江蓠、毛蚶和微生物制剂对虾池环境净化作用的应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2006.
- [26] 王亚敏,王印庚. 微生态制剂在水产养殖中的作用机理及应用研究进展[J]. 动物医学进展, 2008, 29(6):72-75.
- [27] 蒋增杰,方建光,毛玉泽,等. 海水鱼类网箱养殖的环境效应及多营养层次的综合养殖[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(1):120-124.
- [28] 方建光,唐启升. 实施多营养层次综合养殖 构建海洋生态安全屏障[J]. 中国农学通报, 2008(增刊).
- [29] 任贻超. 刺参养殖池塘不同混养模式生物沉积作用及其生态效应[D]. 青岛:中国海洋大学, 2012.
- [30] 唐启升,方建光,张继红,等. 多重压力胁迫下近海生态系统与多营养层次综合养殖[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(1):1-11.
- [31] 蒋增杰,方建光,毛玉泽,等. 海水鱼类网箱养殖的环境效应及多营养层次的综合养殖[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(1):120-124.
- [32] 周泉涌. 让海水养殖更生态更高效:唐启升院士力推“多营养层次综合养殖”. [EB/OL]. (2010-07-06) [2015-08-09]. <http://www.farmer.com.cn/wlb/yyb/yy1/201007060216.htm>.
- [33] 王刚. 未来海水养殖要多营养层次综合养殖[J]. 海洋与渔业:水产前沿, 2010(12):3.
- [34] 刘大海,马雪健,胡国斌,等. 生态干扰理论在养殖用海管理上的应用研究[J]. 中国渔业经济, 2015, 3(33):49-53.
- [35] 问思恩,侯淑敏,李维平. 陕西黄河湿地社区渔业不同养殖模式经济效益分析[J]. 河北渔业, 2011(2):32-33.
- [36] 山东新闻网. 中国近海几近无鱼可捕[EB/OL]. (2011-12-19) [2015-08-05]. <http://discovery.163.com/special/fishindustry/>.
- [37] 于会国,慕永通,余云军. 中国主要出口水产品面临的技术性贸易壁垒分析[J]. 世界农业, 2006(9):5-7.