

# 我国海水工业化养殖面临的机遇和挑战

刘 鹰, 刘宝良

(中国科学院海洋研究所 山东 青岛 266071)

**摘要:** 工业化循环水养殖生产具有资源节约、环境友好和食品安全等特点,是水产养殖业的重要发展方向之一,也是实现水产养殖生产与环境和谐发展的重要途径。本文回顾了我国海水工业化循环水养殖的发展历程和目前主要存在的问题,探讨了该产业面临的发展机遇,提出了下一步的发展思路和重点任务。

**关键词:** 海水养殖; 循环水养殖系统; 工业化

doi: 10.3969/j.issn.1007-9580.2012.06.001

中图分类号: S967 文献标识码: A 文章编号: 1007-9580(2012)06-001-05

渔业在我国国民经济发展中具有重要的地位。2011 年我国水产品出口总额 177.92 亿美元,连续 12 年居国内大宗农产品出口首位;同时我国也是全球最大的海水养殖大国,2011 年海水养殖产量达到 1551.33 万 t,约占世界海水养殖总产量的 80% 以上<sup>[1]</sup>。但随着社会经济的不断发展,渔业生产空间受到挤压,陆源污染构成重大威胁,质量安全与市场监管问题堪忧,科技创新、支撑能力不强等问题日益凸现,制约了海水养殖业的健康可持续发展。因此,我国亟需在养殖生产方式上集成创新与应用现代高生物、工程技术并结合科学规范地管理,提高生产效率、提升产品质量、减少资源利用,降低海水养殖生产对环境的污染,促进高效健康的现代海水养殖业的实现<sup>[2]</sup>。

工业化循环水养殖系统 (Recirculating Aquaculture Systems, RAS) 是依托现代工业建立起来的集工程化、设施化、规模化、标准化和信息化之大成于一体的现代化养殖生产新模式,具有养殖设施设备先进、管理高效、养殖环境可控、养殖生产不受地域空间限制、养殖产量高、产品质量安全有保障且可做到产品连续上市,以及社会、经济和生态效益良好等特点,被国际上公认为是现代海水养殖产业的发展方向<sup>[3]</sup>。据 FAO 统计 (2005),工业化养殖系统生产了全世界 74% 的鸡

肉、50% 的猪肉、43% 的牛肉和 68% 的鸡蛋,但鱼类工业化养殖的生产比率仅占其总产量的 1%,发展的空间和潜力巨大。因此,全球水产养殖业在未来的发展进程中,将有望主要以资源节约、环境友好、产品优质的工业化循环水养殖模式来满足世界人口激增所带来的对优质蛋白质的大量需求<sup>[4]</sup>。

## 1 我国海水工业化养殖发展历程及现状

### 1.1 发展历程

我国海水工业化循环水养殖产业经历了近 30 年的发展,总结其历程,大体可以分为三个阶段:

第一阶段为开拓阶段 (1985—1998 年)。国内海水工业化循环水养殖起始于上世纪 80 年代,在此期间,国外的工业化循环水养殖装备和技术开始进入中国,当时浙江宁波等部分地区花巨资引进了丹麦等国的循环水养殖设施进行鳗鱼等鱼类养殖,但由于高昂的投入和运行成本,上述设施很快便处于荒废状态<sup>[5]</sup>。随后,国家相继启动了一些科技攻关计划,坚持自主创新,并积极借鉴国外先进技术,自主研发了一些适合我国国情的海水工业化循环水养殖设施与装备,如微滤机、臭氧发生器、蛋白分离器等。

收稿日期: 2012-11-03 修回日期: 2012-12-01

基金项目: 国家自然科学基金 (30972267); 国家科技支撑计划课题 (2011BAD13B04); 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (201003024)

作者简介: 刘鹰 (1969—), 男, 研究员, 博士, 主要从事水产工程的相关研究。E-mail: yinliu@qdio.ac.cn

第二阶段为探索阶段(1999—2006年)。在国家政策的积极引导和“九五”、“十五”国家“863计划”、科技支撑计划的连续支持下,通过养殖生产企业的不断探索实践和国内科研人员的努力研发,初步确立了工业化循环水养殖模式所需要的生产与水处理工艺,国产化的水处理设备经过生产中的不断改进,其稳定性和可靠性进一步提升,在少数几家企业开展了生产示范,标志着具有自主知识产权的循环水养殖系统实现了从实验阶段逐步走向产业化、规模化的推广应用。

第三阶段为整合阶段(2007—2011年)。我国在海水工业化养殖的研究与应用方面取得了长足进展,一些实用性强、科技含量高、技术成熟度好的技术和装备快速实现了技术集成与整合,逐步建立起了适合我国水产养殖业发展的海水工业化循环水养殖模式。期间,循环水养殖在石斑鱼、半滑舌鲷、河鲀鱼、大菱鲆、鲍、刺参养成以及大菱鲆、大西洋鲑、石斑鱼育苗生产中实现了成功应用。一系列的成果带动了工业化循环水养殖战略性新兴产业的兴起,保护了生态环境,促进了海洋经济发展。

## 1.2 产业现状与特点

我国海水工业化循环水养殖产业在经历了2007—2011年期间的快速整合阶段后,初步实现了产业的规范化发展,取得了诸多成果。分析总结该产业当前的研发和推广应用情况,有以下几个特点:

(1) 以养殖工程设施设备单元的开发为重点。稳定高效的设施装备是保障工业化循环水养殖生产安全运行的先决条件,通过持续的科技攻关和生产应用,基本实现了养殖设施装备的专业化、规模化生产;同时,日益完善的工程设施设备也有效保证了养殖生产的可靠性和稳定性。

(2) 以借鉴、模仿、集成创新国内外水处理技术和设备为特征。发达国家循环水养殖研究起步较早,通过借鉴国外先进技术和理念,集成创新,循环水养殖装备全部实现了国产化,关键设备进一步标准化;采用新技术、新材料的净化水质技术和设备的成功研制,大大提高了净水效率,提高了系统的稳定性、安全性,降低了系统能耗。

(3) 对工业化循环水养殖关键基础理论开展了初步研究。基础理论研究的深入和系统化是产

业技术革新的源动力,通过开展生物膜的微生物种群多样性研究,阐述了生物膜微生物种群组成及结构的变化规律及其与净化效果的关系,突破了制约海水循环水养殖的关键技术瓶颈,促进了生物膜法污水处理技术的进一步发展<sup>[6]</sup>;结合循环水养殖系统特点,研究了系统中重要元素及能量收支情况<sup>[7]</sup>;阐明了高密度养殖生物适宜的蛋白质营养需要量<sup>[8]</sup>等,这些关键问题的系统研究,进一步丰富了海水工业化养殖的理论。

(4) 产业对循环水的关注度日益增加。“十一五”期间,国家提出了建设资源节约、环境友好型产业的发展战略,可持续发展道路将是产业当前和未来发展的必然方向。工业化循环水养殖模式具有节能、节地、节水、高效等特点,既适应我国水产养殖业未来发展目标,也符合企业发展的切实需求。

(5) 封闭循环水养殖系统的大规模生产应用尚待时日。工业化循环水养殖系统基础设施设备造价较高,对生产管理人员素质要求较严格。国内目前仅有少部分科技型水产企业开展了工业化循环水养殖系统的规模化生产应用,众多中小型企业工业化循环水养殖生产仍处于生产示范和技术消化阶段,但企业对此技术的需求强烈,发展前景广阔。

## 2 我国海水工业化循环水养殖存在的主要问题

我国海水工业化循环水养殖经过近30年的发展,已取得了长足进步,但随着社会和产业的发展,对行业提出了更高的要求,一些影响产业可持续发展的主要问题也日益凸显。

(1) 生产成本有待降低。节省成本就是增加利润,通过对比分析国内和欧洲大菱鲆养殖成本,可以明显得出国内能源和饵料支出占据了产品成本的很大比例(70%~80%),显著高于欧洲产业水平(50%~60%),其中能源消耗主要集中在水泵和气泵等设备,因此亟需大力研发节能高效的水、气泵等动力驱动设备,同时也需要加紧推动相对廉价高效营养饲料的研发。

(2) 养殖和水处理系统工艺尚待完善。工业化循环水养殖是一个复杂的系统工程,养殖生产系统与水处理系统应兼顾均衡,避免出现短板效应。

目前在养殖工艺方面,高密度养殖的生物学理论研究依然缺乏,如何既能获得最大生产效益,又能充分保障养殖动物福利是国内外学者普遍关心的科学问题;此外,光照与养殖生物生长发育间的关系仍未确定,高密度养殖的饲料最佳投喂策略亦不明晰,诸多养殖工艺方面的问题仍需开展大量基础研究工作。在水处理工艺方面,需重点突破生物过滤装置稳定性差、处理效能低等问题。目前对海水生物滤器硝化动力学过程研究依然有限,仍被认为是转化氨氮的“黑盒子”;作为封闭循环水养殖系统中投资和能耗最大的水处理单元,生物滤器中载体填料的筛选、生物膜的生长与脱落、结构与功能等一系列科学问题仍未解决。此外,养殖系统中适宜循环水率、新水补充量与系统能耗,以及与养殖生物生长发育之间的关系也亟待研究。

(3) 加强病害防控。病害发生严重制约水产产业健康可持续发展,病害防控是确保工业化循环水养殖系统健康运行的重要工作之一。由于病害问题的发生是养殖生物、病原体 and 养殖环境之间相互作用的结果,加强对上述环节的管控,有利于预防病害发生。目前,抗病物种选育和高效水产疫苗研制的工作亟待加强;针对多发疾病特定病原的监测和预警技术还不成熟,基于提高养殖动物免疫力,减少病原滋生的养殖环境调控策略还未建立。

### 3 海水工业化循环水养殖面临的发展机遇

工业化循环水养殖代表了水产养殖业先进生产力的发展方向,也是未来渔业发展的重要发展方向<sup>[9]</sup>。当前,该产业的发展面临着大好机遇,主要体现在以下几个方面:

(1) 未来鱼粉和鱼油价格将持续上涨,高饲料成本和强劲需求将带动鱼价的总体上涨。联合国粮农组织报告指出:鉴于巨大市场需求,未来鱼粉和鱼油价格将按标准条件上涨 59% 和 55% (图 1),这将极大推动水产养殖业的发展<sup>[10]</sup>。

(2) 未来水产养殖将依然是增长最快速的动物源性食品生产领域(图 2)<sup>[10]</sup>。联合国粮农组织报告同时指出,生态高效的循环水养殖技术的规模化推广应用将保障水产养殖业在未来动物源性食品生产领域呈现最快速的增长。

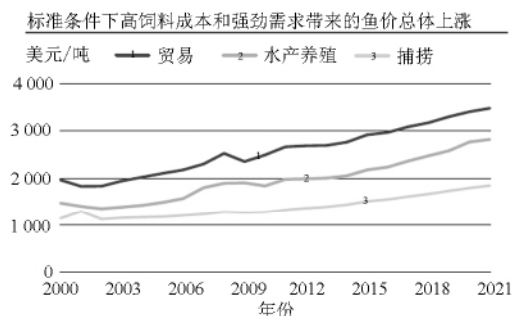
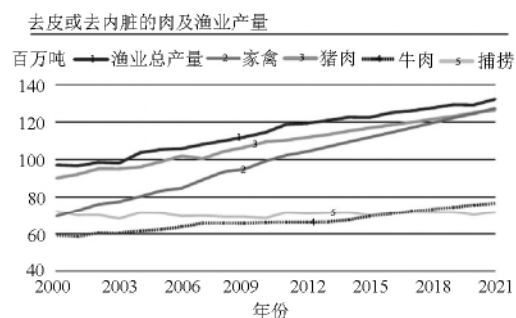


图 1 水产品价格未来趋势(FAO 2012)

Fig 1 The price tendency of aquatic products in the future



注:总渔业产量 = 捕捞 + 水产养殖。牛肉和猪肉为去皮;家禽和鱼为去毛和内脏  
资料来源:OECD 和粮农组织秘书处

图 2 水产品产量未来趋势(FAO 2012)

Fig 2 The yield tendency of aquatic products in the future

(3) 传统养殖发展模式面临重大挑战。当前,传统养殖模式面临着质量安全与市场监管情况不容乐观、产品安全状况堪忧、陆源污染对养殖生产构成重大威胁、养殖生产对环境造成一定污染、生态安全难有保障,以及养殖空间不断压缩、科技创新支撑能力不足等问题,必须通过科技创新才能实现水产养殖业的跨越发展,工业化循环水养殖生产模式的技术高度集成性、生产过程的精确可控性和产品的安全保障能力,为实现水产养殖业的现代化提供了可能。

(4) 国家政策的积极引导和大力支持。国家中长期科学和技术发展规划纲要中将“多功能农业装备与设施”纳入重点领域及其优先主题,将“精准农业技术与装备”列为超前部署前沿技术,并在国家中长期渔业科技发展规划(2006—2020)中将“渔业节能减排技术与重大装备开发”列入六大创新方向之一。

## 4 面向“十二五”的工业化循环水养殖

“十二五”期间,建议在以下几个方面开展研究与应用工作:

(1) 在循环水养殖工程设计与应用方面坚持遵循“ARE”三原则。即将适用性(Applicability)、可靠性(Reliability)和经济性(Economy)贯穿于工业化循环水养殖系统的设计与管理全过程,将工业化循环水养殖系统的优势充分发挥,并积极引导从业者自觉使用和推广应用,以节约资源、有效地保护环境,促进水产养殖业的可持续发展。

(2) 创制工业化养殖新装备。结合我国国情和产业实际情况,借鉴国内外先进理念,创新研制一批新装备,如吸鱼泵、分鱼机、自动投饵设备及小功率、大流量、低扬程的耐腐蚀水泵等。

(3) 突破节能降耗技术。通过节能降耗可有效达到降低生产运营成本的目的,这一关键技术可通过优化养殖工艺、开发利用新能源(太阳能、风能等)与热泵技术来实现。

(4) 突破关键理论。重点围绕生物滤器的设计与运行管理、基于生物行为的特征疾病预警与健康养殖、水质的生态营养调控和饲喂策略、低能耗控制与养殖废水资源化利用等一批关键技术开展攻关;同时建立适用性强的养殖生产标准与设备操作规范,为实现水产品的工业化生产奠定坚实基础。

(5) 依据企业规模和经营管理者素质,分别构建精准型、标准型和简约型三种不同类型的循环水养殖系统。鼓励大中型企业构建系统稳定可靠、养殖过程精准高效、产品优质健康的精准型循环水养殖系统,以快速提升企业的国际竞争力。此外,鉴于我国水产养殖业的构成是以小型企业居多的客观事实,大力倡导构建具有经济适用、管理方便、节水节地特点的简约型循环水养殖模式,进一步促进小型养殖企业实现传统养殖生产模式

的转型和升级。

## 5 展望

可以预测,在未来5—10年内,海水工业化循环水养殖将步入快速发展阶段。主要表现在:养殖管理技术取得突破性进展,水处理系统的稳定性、可靠性得到加强;养殖设施设备全部实现国产化和产业化生产,并部分达到国际领先或先进水平;工业化循环水养殖系统管理技术标准、生产体系逐步建立;循环水养殖系统的生产应用范围不断扩大,循环水育苗系统将在生产中得到应用并产生效益;封闭循环水养殖系统的推广应用不再依靠政府和科技人员的推动,而逐渐成为养殖企业自发的需求。 □

### 参考文献

- [1] 2011年全国渔业经济统计公报[J]. 渔业致富指南, 2012, 8: 4-6.
- [2] 中华人民共和国农业部. 全国渔业发展“十二五”规划, 2011.
- [3] 刘鹰. 海水工业化循环水养殖技术研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 50-53.
- [4] TIMMONS MB, EBELING J M. Recirculating aquaculture[M]. USA, 2007.
- [5] 吴凡, 刘晃, 宿墨. 工厂化循环水养殖的发展现状与趋势[J]. 科学养鱼, 2008(9): 72-74.
- [6] FU S Z, FAN H X, LIU S J, et al. A bioaugmentation failure in biological filters caused by phage infection and weak biofilm formation ability[J]. J. Environ. Sci, 2009, (21): 1153-1161.
- [7] 游奎. 对虾工程化养殖系统中重要元素及能量收支[D]. 博士学位论文. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2005.
- [8] 李勇, 夏苏东, 王文琪等. 高密度养殖凡纳滨对虾蛋白质生态营养需要量与水质及消化特征[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 78-87.
- [9] CRESSEY D. Future fish[J]. Nature, 2009, (458): 398-400.
- [10] 联合国粮食及农业组织. 世界渔业和水产养殖状况 2012 [M]. 罗马: 联合国粮农组织, 2012.

(下转第9页)

池中微生物的生长影响。经试验研究和综合分析评估,在循环水养殖半滑舌鳎的系统工艺优化中,建议臭氧的最佳投加位置是在封闭式循环水处理单元的后端,养殖池进水口的氧化还原电位控制宜在 350 mv 以下,可保证循环系统的安全高效。□

### 参考文献

- [1] 邓曼适. 臭氧消毒技术原理及其应用前景分析[J]. 广东华南建设学院西院学报, 2000, 8(3): 54-68.
- [2] 靳俊伟, 林衍, 李东. 臭氧消毒现状与发展[J]. 重庆四川环境, 2004, 23(1): 18-20.
- [3] 梁传辉, 薛淑霞, 王德兴. 臭氧在渔业中的应用研究进展[J]. 天津水产, 2008(2): 5-11.
- [4] HAAG W R, HOIGNE J, BADER H. Improved ammonia oxidation by ozone in the presence of bromide ion[J]. *Water Res*, 1984, 18(9): 1125-1128.
- [5] 王玉堂. 我国设施水产养殖业的发展现状与趋势[J]. 中国水产, 2012(10): 7-10.
- [6] 张明华, 杨菁, 王秉心, 等. 工厂化海水养鱼循环系统的工艺流程研究[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(4): 65-70.
- [7] SHARRER M J, SUMMERFELT S T. Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides effective bacteria inactivation in a freshwater recirculating system[J]. *Aquacultural Engineering*, 2007, 37(2): 180-191.
- [8] 孟建斌, 陆少鸣. 臭氧/生物活性炭工艺中主臭氧投加量的优化[J]. 中国给水排水, 2011, 27(21): 46-49.
- [9] 孙广明, 冯守明, 王德兴, 等. 水产养殖臭氧水处理系统的设计与应用[A]//2004 年臭氧行业年会暨技术交流研讨会论文集[C]. 北京: 中国工业经济联合会臭氧专业委员会, 2004, 142-152.
- [10] SIMON J C, BERGHELM. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems[J]. *Aquacultural engineering*, 2000, 22(1-2): 33-56.
- [11] TIMMONS M B, EBELING J M. *Recirculating Aquaculture*[M]. New York: Cayuga Aqua Ventures-NRAC Publication, 2007: 87, 139, 177, 449.
- [12] LIN S H, WU C I. Removal of nitrogenous compounds from aqueous solution by ozonation and ion exchange[J]. *Water Research*, 1996, 30(8): 1851-1857.
- [13] 孙晓红, 韩华, 任重. 臭氧处理海珍品育苗用水效果的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 1997, 13(2): 73-78.
- [14] VALDIS K, JAMES E, FRED W. Part-day ozonation for nitrogen and organic carbon control in recirculation aquaculture systems[J]. *Aquacultural Engineering*, 2001, 24(1-2): 231-241.
- [15] 杨凤, 马燕武, 张东升, 等. 孔石莼和臭氧对养鲍水质的调控作用比较[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(2): 79-83.
- [16] SUMMERFELT S, BEBAK-WILLIAMS J, FLETCHER J, et al. Description and Assessment of the Surface Water Filtration and Ozone Treatment System at the Northeast Fishery Center[C]// AMARAL S V, MATHUR D, TAFT E P, ed. *Fisheries Bioengineering Symposium IV*. Bethesda, Maryland: Advances in Fisheries Bioengineering, 2008: 97-121.

(下转第 55 页)

(上接第 4 页)

## Opportunities and challenges for marine industrialized aquaculture in China

LIU Ying, LIU Bao-liang

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Shandong Qingdao 266071, China*)

**Abstract:** Recirculating aquaculture system (RAS) is the important model in the global aquaculture industry, and also is the important way for harmonious development of aquaculture and environment, concerning its resource-saving, environment-friendly and product safety. The paper reviews the actual state of recirculating aquaculture system's developing process in china, and its main problems. Then, discussing the opportunities, development and planning for marine industrialized aquaculture during the 12th Five Year Plan Period in china. Finally, pointing out the development thoughts and key tasks for the future.

**Key words:** marine aquaculture; recirculating aquaculture systems; industrialization