

海水工业化循环水养殖技术研究进展

刘 鹰

(中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘 要:水产养殖已成为增加渔民收入、改善人民膳食结构的战略性新兴产业之一,在保障蛋白供给、稳定水产品市场、促进贸易发展等方面都发挥了重大作用。介绍了国外海水工业化循环水养殖技术的最新进展和发展特点,总结了我国发展现状与存在的主要问题,提出了发展对策和建议,指出了下一步发展思路、方向和重点任务。

关键词:海水养殖;封闭循环水;工业化

doi:10.3969/j.issn.1008-0864.2011.05.08

中图分类号:S967 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-0864(2011)05-0050-04

Research Progress on Marine Industrial Recirculating Aquaculture Technology

LIU Ying

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

Abstract: Aquaculture has become one of the strategic and emerging industries for increasing fishermen's income and improving people's diet structure, which has played an important role in maintaining protein supply, stabilizing aquatic product market and stimulating trade development. This paper introduces the latest progress and development characteristics in marine industrial recirculating aquaculture technology abroad, summarizes the current status and major problems existing in our country, provides development countermeasures and suggestions, and points out development thoughts, directions and key tasks for the future.

Key words: marine aquaculture; closed recirculation; industrialization

水产养殖作为可靠的食物来源,从1970年起在世界范围内得到快速发展。与捕捞年平均1.2%和禽肉等其他蛋白源年平均2.8%的增长率相比,水产养殖的年平均增长率达到8.9%,为人类发展提供了良好稳定的营养源。但是未来20年内,水产养殖的总产量仍然需要增加5倍,以满足人类日益增长的对优质蛋白源的需求^[1]。

我国是世界水产养殖第一大国。从1988年起,我国水产养殖的产量首次超过捕捞产量,成为世界唯一养殖产量超过捕捞产量的国家。据统计,2009年水产养殖产量达3 622万t,占世界水产养殖总产量的69%^[2]。水产养殖业已经成为增加渔民收入、改善人民膳食结构的战略性新兴产业

之一,在保障蛋白供给、稳定水产品市场、促进贸易发展等方面都发挥了重大作用。水产养殖已被国际权威专家认为是世界上获取优质动物蛋白最有效率的途径,也是中国农业对世界的重大贡献之一。然而伴随养殖业迅猛发展而导致的环境和病害问题,仍然不容回避。开放养殖(池塘养殖、网箱养殖)过程中的残饵和粪便,常作为直接污染源外排;大量无机和有机营养元素如氨氮、磷酸盐、溶解性有机碳和有机颗粒在水体交换中直接进入环境,从而造成整个养殖水域大环境的恶化,进而引发水质污染、病害滋生、水产品的卫生和安全等一系列限制水产养殖业可持续发展的主要问题^[3]。资源与环境的刚性约束将成为今

收稿日期:2011-07-07;接受日期:2011-08-31

基金项目:国家863计划项目(2006AA100305);公益性行业科研专项(201003024);国家自然科学基金资助项目(30972267);中科院知识创新工程项目(KZCX2-EW-Q212);国家贝类产业体系设施养殖岗位经费(CARS-48)资助。

作者简介:刘 鹰,研究员,博士,研究方向为水产工程学与生态学。Tel:0532-82898646; E-mail:yinliu@qdio.ac.cn

后长时期制约我国水产业可持续发展的主要因素。

工业化循环水养殖(recirculating aquaculture system, RAS)通过综合集成现代生物学、建筑学、化学、电子学和工程学等领域的技术,利用机械过滤、生物过滤去除养殖水体中的残饵、粪便以及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 等有害物质,再经消毒增氧、去除 CO_2 、调温后输回养殖池,实现养殖用水的循环利用,这样可大大节约水资源,使养殖水体持续保持高溶氧状态和稳定的水质环境,显著提高单位水体生产力。循环水养殖的优点十分突出:劳动条件好,生产效率高,养殖周期缩短2~6倍,单位面积产量比高产池塘提高20~80倍,养殖用水量减少120~1 600倍^[4],不污染环境,产品为无公害的绿色产品,产品质量具有高度可控性和可追溯性等;另外工厂化循环水养殖把外来污染源和病原体的危害降低到最小程度,生产环境稳定,可生产出完全符合国际标准的优质无公害产品,并通过将养殖废水的资源化处理,减少养殖生产对环境的污染,实现环境友好化生产。

1 国外研究进展

1.1 工业化养殖逐渐成为水产品的重要生产方式

目前国外工业化养殖技术比较发达的国家有北美的美国、加拿大,欧洲的法国、德国、丹麦、西班牙,以及日本和以色列等。美国的工业化养殖在20世纪60、70年代已经迅速发展,主要以利用冷流水养殖虹鳟和大规模工业化养殖条纹鲈、黑斑石首鱼为主。工厂化养鱼已被美国政府列为“十大最佳投资项目之一”。美国在工业化养鱼方面,进行的“鱼菜共生”生产很有特色^[5]:亚利桑那州鱼菜共生系统每立方米水体可产罗非鱼50 kg,上面无土栽培生菜,一年可种十茬。伊利诺州鲶鱼与水栽培番茄结合,4~9月每平方米可产番茄35~70 kg;鲶鱼与水培生菜结合,年可种十茬。利用冷流水养虹鳟和温流水养温水性鱼类都比较发达。如爱荷达州的一个温流水养鱼场,是一个5层梯级的流水养鱼池,水体负载量为 160 kg/m^3 ,每个池的流水量控制在 $240\text{ m}^3/\text{d}$ 以

下,一年三茬总产量3 000 t,为土池产量的4倍。流水养鲑鳟鱼类,单产可达 $50\sim 100\text{ kg/m}^3\cdot\text{a}$ 。日本自20世纪60年代发展工业化养殖以来,也取得了突出的成绩。目前工业化养殖各种鱼、虾、贝等鲜活水产品年产达20万t以上,技术成熟、产量稳定、效益显著。日本最早将微生物固定化技术用于循环水养殖生产系统,其系统结构合理,系统的集成化程度高,极大地降低了系统的建设成本、提高了养殖水处理及回复利用能力、单位体积过滤系统的负载能力大为提高,技术管理更简单、能量消耗更省、单位水产品成本更低,从而提高了综合经济效益。在欧洲,工业化循环水养殖在生产中的应用日益普遍,通过采用先进的水处理技术与自动化、智能化控制装备,最高单产可达 120 kg/m^3 ,目前,法国大菱鲆苗种孵化和育成几乎都采用循环水工艺^[6],大西洋鲑的封闭循环水育苗发展迅速,有取代传统的流水育苗模式之势,以法罗群岛为例,在2000年以后,其大西洋鲑幼鱼生产就已完全从流水型养殖系统转向了循环水系统,在流水型养殖系统中,幼鲑的体重为50~70 g,而在循环水养殖系统中,幼鲑体重增加到了140~170 g;挪威的RAS中的幼鲑产量预计将达到八千五百万尾^[7]。据不完全统计,目前欧洲的封闭循环水养殖面积约30万 m^2 ,且发展速度很快^[8]。

1.2 工业化养殖理论与技术已取得重要突破

当前国外在工业化循环水养殖方面的主要进展有:①循环水养殖系统的生产工艺和管理技术日益成熟。近年来,国外工业化循环水养殖水处理技术进步较快,日趋成熟,在水体消毒、水质净化,悬浮颗粒物去除,增氧及控温方面,采用现代高新技术,设施设备的可靠性和稳定性大大增加,依靠科学技术与严密的社会分工,涌现出一大批世界著名的工业化循环水大型养殖企业和水处理设施设备专业生产加工企业;②基础理论研究深入系统,自动化和智能化控制等高新技术得到广泛应用。系统研究了生物净化过程,以及全封闭循环水养殖系统所需要的生物反硝化技术等^[6],生物滤器的稳定性和可靠性大大提高;无人化养殖车间、精准生产操作规范等已在生产中得到应用。

2 我国发展现状与存在的主要问题

2.1 我国发展现状与成就

通过“九五”、“十五”、“十一五”的国家“863计划”、科技支撑计划的连续支持,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,带动了海水工厂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和渔民的增收致富,填补了国内在大规模工业化循环水养殖石斑鱼、半滑舌鳎鱼等方面的空白。通过集成创新,循环水养殖装备全部实现国产化,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,降低系统能耗。对重要水处理设备如固体污物分离器(微滤机)、蛋白质泡沫分离器、模块式紫外线消毒器、管道式高效溶氧器、生物滤池等进行了节能改造,在提高设备的水处理效能和处理精度的同时,大大降低了水处理系统的构建成本和运行能耗,制定并完善了关键设备的企业生产标准。此外,对水处理系统工艺流程进行了优化设计,剔除了高压过滤罐、制氧机等高能耗设备,实现了养殖水在系统内通过一级提水后的梯级自流,设备间的衔接性和耦合性得到显著改善;研制出了适宜工业化养殖生态环境要求,附加值高,具有高效果与低成本、低污染的统一饲料产品;研究了生物膜的微生物种群多样性、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;针对不同养殖对象(石斑鱼、半滑舌鳎、凡纳滨对虾和刺参等)、不同养殖模式(流水养殖、循环水养殖)制定了严格的技术规范和企业标准,特别是在循环水养殖的鱼病防治研究中,取得了系列突破,确立了循环水养殖鱼病防治三原则,并制订出了严格的技术规范。

2.2 我国的差距及存在的主要问题

与发达国家的先进水平相比,我国工业化循环水养殖存在的主要问题是:①部分关键水处理设备的稳定性、可靠性、耐海水腐蚀性还有待提

高;②封闭循环水养殖、育苗的关键生产技术与工艺还需进一步深入研究,亟待通过集成国内外先进水处理技术,创新海水养殖/育苗水处理新模式、新技术;③缺乏实现苗种/养殖生物精细培育的生物和环境因子的数据信息采集处理、诊断决策、过程设计和控制;④生产过程缺乏病害预警机制与预防策略;⑤新设施新装备还需进一步加强研发,如吸鱼泵、分鱼机、水泵(小功率、大流量、低扬程);⑥节能技术尚待开发。

3 展望

第一,我国海水养殖产量居世界第一,但产品出口率不高,价值低。随着城镇及农村居民生活水平的提高,西部开发的兴起,海产品需求量将不断上升,市场对海产品品质的要求也将越来越高。由于近海环境污染的加剧和环境水质的易变性,使得传统的流水或静水养殖方式的生产稳定性愈发得不到保证,封闭循环水技术对于养殖企业有望变成一种自发的需求。第二,国家的推动将进一步促进海水循环水养殖产业的快速、健康和可持续发展。国家的政策和资金支持,将对产业的发展产生巨大的推动作用。第三,公众和管理部门对水产养殖生产环境影响的监督将日益严格,将迫使水产养殖业改进管理,减少环境影响,提高这一行业的环境可持续性并保证其经济可行性。第四,全球的气候变化将进一步促进水产养殖生产采用养殖新模式来应对气候变暖的影响。虽然气候变化对水产养殖的影响还未定性,也无法进行预测,但最近五年,水产养殖业因气候变化引起的气温升高、天气和水资源异常等,遭受了前所未有的打击,如南方的冻害、台风、降雨和北方的持续干旱等。必须改变目前水产养殖业“靠天吃饭”的局面,利用受环境气候变化影响小的封闭循环水养殖新模式来应对气候变暖的影响。

3.1 未来发展思路、方向

以“健康养殖、资源节约、环境友好、产品优质”为海水养殖业的发展方向,发挥现代渔业工程和配套设备的优势,创新集成水产养殖相关技术,建立高效、节水、节能、节地的海水陆基精准养殖新模式。

通过自主创新,建立国产化的全封闭循环水养殖系统;研发数字化水质实时监控系統。并依据封闭循环水养殖系统的物质和能量转移规律,研究共性关键技术,建立3种针对不同养殖生产需要的养殖模式,主要包括:简约型半封闭循环水养殖模式、实用型封闭循环水养殖模式和精准型工业化循环水养殖模式,以满足不同层面的养殖需求。

3.2 重点任务

①海水精准养殖与成套装备技术 - 研发工业化养殖节约型装备与系统优化技术,开发无(低)动力和低能耗的养殖装备和新型养殖工艺;研究精准生产技术,开展工业化养殖系统生物净化机理研究;研究养殖产品质量安全环境控制技术;建立适宜的疾病预防、预警管理系统;形成工业化养殖系统的工艺标准化。

②海水大规格健康苗种的工厂化繁育工程与关键技术 - 以海水鲆鲽鱼类、对虾、刺参等为对象,研究苗种繁育生境构建关键技术;研究育苗设施的工程优化,开发主要品种专用育苗装置;研究育苗水质的净化与安全保障技术;开展智能化影像判别技术研究,形成孵化程度、苗种数量精准判别技术;集成育苗繁育环节的系统技术。

③工业化养殖废水的资源化处理与生态利用工程 - 研究低投资、低运行费用和高去除率的陆基养殖废水生物资源化综合利用处理的良性循环

模式;研究以大型功能生物构建人工湿地的优化组合及净化利用效果;研究构建封闭式外循环的养殖水体生物资源化处理系统;建立陆基养殖废水的生物资源化处理利用与无公害化排放示范区。

参 考 文 献

- [1] 徐 皓,张建华,丁建乐,等. 国内外渔业装备与工程技术研究发展综述[J]. 渔业现代化,2010,37(2):1-8.
- [2] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [3] 石芳永. 海水封闭循环养殖系统中生物滤器的设计和优化[D]. 山东青岛:青岛理工大学,硕士学位论文,2008.
- [4] Blancheton J P. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species[J]. Aquacult. Eng.,2000,22(1-2):17-31.
- [5] Beid W J. Eight current development trends in the seafood sector[J]. Eur. Fish,2005,12:48-49.
- [6] Honda H, Kikuchi K. Management of a Seawater Recirculation Fish Culture System for Japanese Flounder[R]. Proc. 24th US-Japan Aquaculture Panel Symposium. US-Japan Cooperative Program in Natural Resources (UJNR) Technical Report, 1997,165-171.
- [7] Martinsa C I M, Eding E H, Verdegem M C J, et al. . New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability [J]. Aquacult. Eng., 2010,43:83-93.
- [8] 刘 鹰. 欧洲循环水养殖技术综述[J]. 渔业现代化,2006,33(6):47-49,38.