

疫苗:我国海水鱼类养殖业向工业化转型的重要支撑

马悦¹,张元兴¹,雷霖霖²

(1. 华东理工大学生物反应器工程国家重点实验室,上海 200237; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所,山东青岛 266071)

[摘要] 国际上水产养殖发达国家和地区的成功产业实践证实,接种疫苗在规模化、集约化的海水鱼类工业化进程中扮演着重要角色。疫苗的广泛应用为大幅度减少抗生素等化学药物的使用起到显著效应,为海水养殖业的健康和可持续发展发挥着关键性的产业支撑作用。中国作为世界上产量遥遥领先的水产养殖大国,以鱼类为代表的海水养殖业正在向工业化转型升级,而日益严重的病害和水产品安全问题正成为我国海水鱼类养殖业获得更大发展的制约性障碍之一。随着国家鲆鲽类产业技术体系为代表的海水鱼类疫苗的研究和商业化开发所取得的不断突破,我国海水鱼类养殖业的病害防治策略正在朝着以疫苗接种为核心的产业方向快速迈进。

[关键词] 海水鱼类养殖;国内外现状;工业化转型;病害防治;疫苗;发展趋势

[中图分类号] S942.5 **[文章标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)09-0004-06

1 前言

随着世界范围内对水产品消费需求的不增长,水产养殖业已经成为发展最为快速的动物源性食品生产门类,目前全球近30亿人口约20%的动物源蛋白供应来自水产养殖^[1]。中国的水产养殖产量占据世界总产量的近70%,是遥遥领先的水产养殖大国,而据世界粮农组织预测:未来20年水产品对世界粮食安全的贡献主要来自中国水产养殖业的稳定和持续发展。为满足日益增加的消费需求,提高养殖产量的产业发展现状,规模化、集约化的工业化养殖生产模式已经成为世界范围内水产养殖业的主流发展方向,以三文鱼等高价值养殖品种为代表的海水鱼类养殖业就是整个世界范围内水

产养殖业迈向工业化进程中的成功发展典型。而在水产养殖业的工业化进程中,各种病害始终是产业发展中最为重大的风险之一。世界海水养殖发达国家和地区的成功实践证明,在同各种水产养殖病害的斗争中,疫苗是人类最为突出的贡献。中国的水产养殖尤其是海水鱼类养殖业正在经历从粗犷型的农业生产模式向工业化生产模式转型,这是不可逆转的产业发展趋势。如何从世界水产养殖工业化发展道路中充分汲取成功经验,抓住以工业化养鱼为契机的产业发展趋势,发展具有中国特色的水产养殖病害防治策略,为我国以海水鱼类养殖业为代表的工业化转型和健康可持续发展提供核心产业技术和配套产品支撑是摆在中国水产养殖界和科技界面前的一个重要而迫切的课题。

[收稿日期] 2014-03-06

[基金项目] 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-50)

[作者简介] 张元兴,1954年出生,男,山东莱州市人,教授,主要研究方向为海洋病原微生物致病机制与免疫防控技术;

E-mail: yxzhang@ecust.edu.cn

2 世界海水鱼类养殖工业化发展状况与疫苗的产业角色

2.1 世界海水鱼类养殖业工业化进程概述

海水鱼类养殖业2010年全球产量约 4.5×10^6 t, 鲑科鱼类,特别是大西洋鲑,从1990年的 2.99×10^5 t急剧增加到2010年的 1.9×10^6 t,平均年增长超过9.5%。其他鱼类物种养殖产量也以平均年增长超过8.6%的速度增加,这包括鲈鱼、石斑鱼、黄鱼、大菱鲆和其他鲆鲽鱼类、鳊鱼、鲟鳇、鳕鱼、河鲀和鲷鱼等^[1]。

随着养殖技术的突破、消费需求的持续增长以及对高品质和安全鱼品的日益关注,养殖面积和水资源的有限以及日益严格的环境标准,以鲑鱼、鲆鲽、鳊鱼和鲷类为代表的海水鱼类养殖业正在全球范围内由过去粗放型的传统管理和生产模式向工业化生产模式转变。所谓工业化模式是指集工程化、工厂化、设施化、集约化、规模化、规范化、标准化、数字化和信息化之大成于一体的一种现代化水产养殖生产模式^[2],具有养殖装备先进、养殖环境可控、单位水体养殖密度高、产量高、养殖过程自动化程度高等优势,从而实现水产养殖管理、收获、质量安全的有效控制,社会、经济和生态效益显著,是当前国际上现代化海水养殖产业的发展方向。从广义上讲,工业化生产模式涵盖了陆基工厂和大塘循环水养殖、海洋牧场和现代化的深水网箱等生产模式。

全球海水养殖业工业化最具代表性的就是三文鱼养殖业,主要品种包括大西洋鲑、银鲑、虹鳟和香鱼,而大西洋鲑是迄今为止全球海水鱼养殖业产值最高和产量最大的鲑科鱼种,产区主要分布于挪威、智利、加拿大、苏格兰、爱尔兰、冰岛和澳大利亚,挪威的大西洋鲑养殖工业化进程最为典型。挪威的三文鱼产业起始于20世纪70年代初期,当时的产量不足200 t,大部分是散户养殖,规模化程度很低。经过近40年的发展,随着规模化、集约化和工业化进程的不断推进,目前以大西洋鲑为代表的三文鱼产业在挪威的产量已达 1×10^6 t,全世界的产量更是达到了200多万吨。而工业化养殖技术和管理程度的日臻完善使得挪威三文鱼的生产成本也从最初的7美元/kg降到了2.5美元/kg,出厂价格也降到近一半,约6~7美元/kg。显然,养殖工业化的

直接经济杠杆作用是在保障养殖者利益的同时使得产品价格更符合市场的需求,使越来越多的消费者可以品尝到物美价廉的三文鱼,从而进一步稳固和促进三文鱼的养殖生产和消费。

2.2 疫苗在全球海水鱼类养殖业可持续发展进程中的产业支撑作用

据FAO 2012年统计报告显示^[3],预计到2012年水产养殖将满足全球食用鱼50%以上的消费需求,但越发严格的市场和环境标准也为水产养殖实现其全部潜力带来严峻挑战。就养殖系统来说,随着养殖规模和集约化程度以及产量的日益提高,一个严峻和制约性的挑战就是病害愈发严重。无论从经济性还是环境友好的角度,病害防控对于水产养殖业的可持续发展都是至关重要和具有决定性影响的。而基于鱼类免疫系统的预防性疫病防控措施则是实现这一目标非常有效的产业发展策略。

在20世纪80年代中后期,以挪威为主产区的欧洲鲑鱼和鳟鱼养殖业广泛接种疫苗用于防治鳃弧菌、杀鲑弧菌和鲁氏耶尔森氏菌引发的病害(见图1)。到了90年代初期,注射接种油基佐剂的杀鲑气单胞菌则有效地控制了重大病害疝点病对欧洲三文鱼产业的严重威胁。随着这些疫苗的陆续开发和生产应用,仅挪威三文鱼养殖业中的抗生素用量就从1987年到1997年的十年间由50多吨下降到1997年的1 000 kg,养殖产量却从 5×10^4 t迅速增长到 3.5×10^5 t,至2002年时,抗生素已基本停用,现在养殖产量已超过 1×10^6 t^[3]。

智利是除挪威之外的全球第二大养殖大西洋三文鱼生产国和出口国。智利有着与挪威非常相似的养殖三文鱼的得天独厚的自然水域环境,但智利一直没有采取与挪威类似的严格的工业化养殖管理措施,也没有采取挪威普遍实行的三文鱼接种疫苗的方式,仍然在使用传统的抗生素来预防和治疗鱼病。2007年智利养殖 4.8×10^5 t大西洋鲑,但却使用了高达351 t的抗生素。同年,挪威对使用抗生素有着非常严格的检疫方法和使用规定,养殖 7.56×10^5 t大西洋鲑却仅仅使用了130 kg抗生素。2008—2009年,智利养殖的大西洋鲑大面积爆发传染性三文鱼贫血症,该鱼病造成2009—2011年智利养殖三文鱼减产60%以上^[4]。



(a)



(b)

图1 挪威三文鱼养殖与疫苗接种

Fig. 1 Salmon farming and vaccination in Norway

在三文鱼养殖产业工业化进程中,世界范围内已商业许可批准的疫苗可使养殖企业用于有效防治点病(杀鲑气单胞菌)、弧菌病(鳗弧菌和奥氏弧菌)、冷水弧菌病(杀鲑弧菌)、冬季溃疡病(粘胶森田菌)、肠红嘴病(鲁氏耶尔森氏菌)、立克次氏体病(鲑鱼立克次氏体)、细菌肾病(鲑肾杆菌)、传染性胰腺坏死病毒病、传染性鲑鱼贫血症病毒病和传染性造血坏死病毒病,主要通过注射接种免疫。商品疫苗多为含有上述病原抗原的多价疫苗。目前,在挪威每年大约有3亿尾大西洋鲑被严格按生产养殖计划接种上述疫苗。地中海地区是欧洲鲈鱼和海鲷的主产区,养殖规模分别为 1.3×10^5 t和 1.6×10^5 t,用于防治弧菌病和巴斯德菌病的疫苗被广泛用于生产免疫^[5]。作为亚洲最发达的海水鱼养殖国家日本,其年产量达 1.6×10^5 t的鲷鱼养殖业的稳步发展有赖于格氏乳球菌和鳗弧菌疫苗的开发和生产免疫接种计划的广泛实施。在日本和韩国,用于防治链球菌和迟钝爱德华氏菌的疫苗被用于牙鲆的生产养殖中^[6]。由此可见,在全球海水鱼类养殖业可持续和健康发展历程中,疫苗和免疫计划的广泛实施成为重要鱼类工业化养殖生产的重要支撑。

世界水产疫苗的发展历程向我们展示,自从世界上首例防治鲑鱼耶尔森氏菌病的鱼类疫苗于1976年在美国商业许可应用后^[7],目前已有超过17个工业化养殖鱼类有了各自的商业化疫苗,以用来免疫防治20多种细菌性病害和6种病毒性病害,应用范围覆盖全球40个国家和地区。疫苗业已伴随着世界范围内水产养殖业工业化的进程,在越来越多国家和地区的水产养殖业和养殖品种中得以广泛应用,为全球的水产养殖病害防治提供了有力手段,取得了显著的经济效益和社会效益。这一新

兴产业的逐步建立和完善,导致以抗生素为代表的化学药物防治策略的应用在欧美等海水养殖发达国家和地区迅速锐减和禁用。免疫接种已经成为世界范围内以三文鱼为代表的海水鱼类工业化养殖和可持续发展进程中不可或缺的重要产业链结。

3 我国海水鱼类养殖与病害防治现状

3.1 中国海水鱼类养殖概况

我国的海水鱼类规模化养殖产业兴起于20世纪90年代初期,从而掀起了中国第四次海水养殖产业浪潮并受到国际上的巨大关注。据农业部渔业局2011年统计数据报道^[8],2010年全国海水鱼类养殖产量达到 8.082×10^5 t,养殖面积 7.85×10^4 ha。目前已形成了以鲆鲽、鲈鱼、大黄鱼、石斑鱼、河豚等为代表的多种类规模化养殖局面。其中,鲆鲽鱼类养殖主产区分布在山东半岛和辽东半岛地区,2012年全国养殖产量 1.135×10^5 t;大黄鱼养殖主产区分布在华东地区,养殖产量 1×10^5 t,其中福建省产量8万多吨,占全国产量的87%;鲈鱼 1.06×10^5 t,主要产区分布于华南和华东地区,其中广东和山东两省养殖占全国产量的68%;石斑鱼养殖产量 4.9×10^4 t,占全球养殖产量的近60%,主产区分布于广东和福建两省。

目前生产模式以近岸、内湾网箱和浮式筏架养殖、陆基温室大棚+深井海水开放式工厂化养殖模式为主(见图2),基础设施简陋,配套装备匮乏,完善的封闭性工厂化循环水养殖生产线极少。总体而言,规模化和集约化程度较低,尚处于劳动密集型和准工厂化养殖水平。这种生产模式易受环境影响和病害的入侵。同时,在当前全球经济大格局下,原材料物料价格(饵料、饲料等)和人力成本逐

年提高,这种脆弱的非工业化生产模式导致养殖成本不断增加,整个行业利润空间日益狭小甚至亏损,多数养殖企业经营困境突出,市场规模难以拓

展。加快产业结构调整,向以循环经济为理念的现代工业化生产和管理模式转型已是摆在中国海水养殖业面前的迫切要求,势在必行。



(a)



(b)

图2 我国鲆鲽工厂化养殖和大黄鱼网箱养殖

Fig. 2 The factory flounder fish cultivation and cage culture of large yellow croakers in China

3.2 我国海洋养殖鱼类主要病害与防治策略现状

近十多年我国海水养殖业在获得产业高速发展的同时,也给自身带来了许多亟待解决的技术和环境问题,这些问题已逐渐成为海水养殖业可持续发展道路上的制约瓶颈。目前中国已经形成规模化生产的海水鱼类有数十种,海水养殖鱼类由于养殖品种多、养殖区域地理环境差异大、水温不同、水域的水型多样(如海水、咸水等)导致疫病种类复杂。往往是不同地方不同养殖场的病害不一样,需要针对不同养殖场制订不同的病害管理和防控策略。现已发现的海水鱼类病害多达几十种,每年造成的直接经济损失高达数十亿元,疾病防控形势十分严峻。

根据农业部渔业局2012年中国水产养殖病害测报数据^[9]和国家鲆鲽类产业技术体系疾控岗位流行病学调查数据统计(见图3),我国主要海水养殖鱼类的重要病害和病原有:a.牙鲆淋巴脓肿病(虹彩病毒)、大菱鲆腹水病(迟钝爱德华氏菌)、半滑舌鳎烂腮烂身病(嗜冷杆菌等)、鲆鲽鱼出血性败血症和烂尾病(弧菌属病原,如鳗弧菌、哈维氏弧菌等)、寄生虫病(刺激隐核虫、车轮虫等);b.石斑鱼黑变病(神经坏死病毒)和弧菌病(溶藻弧菌、哈维氏弧菌等);c.大黄鱼弧菌病(溶藻弧菌)和寄生虫病(小瓜虫);d.鲈鱼烂鳍烂尾病(弧菌和气单胞菌)。其中,鲈鱼、鲆鱼和石斑鱼每年的病害经济损失分别都高达数亿元。



(a) 大菱鲆弧菌病



(b) 大黄鱼弧菌病



(c) 大菱鲆腹水病



(d) 石斑鱼黑变病

图3 我国主要海水养殖鱼类病害

Fig. 3 The main diseases of marine fish farming in China

从病害的角度看,我国海水鱼类养殖的养殖成活率很多低于50%,养殖企业对病害的相关知识缺乏系统性认知,重治疗轻预防,不重视生产管理中的预防性措施和生物安全问题,一旦病害爆发,鱼类病害导致的死亡率大都在50%~60%,严重的可高达90%以上。我国海水养殖的平均病害死亡损失率在30%以上,病害问题已经成为海水养殖业健康和可持续发展的关键性制约因素之一。

以抗生素为核心的化学药物治疗是目前我国最为主要的病害防治策略和手段,虽然为病害防治和减少病害损失发挥过应有的积极贡献,但盲目和滥用抗生素现象比较普遍,导致抗药病原快速蔓延,药物残留导致的水产品安全问题和环境污染的负面影响日趋严重。2006年下半年发生在上海消费市场的“多宝鱼药物残留事件”使山东省大菱鲆养殖业数月间损失高达30亿元,产业几乎毁于一旦。正如一位挪威水产养殖领域的资深学者在欧洲三文鱼养殖业发展历程中曾评价的那样^[10]:“严重的病害损失可能会导致水产养殖业发展的暂时困难,但抗生素的大量使用和滥用所带来的负面影响将会毁灭整个水产养殖业。”可谓一语中的,值得中国的水产养殖界和科技界警醒和深刻反思。

以疫苗为核心的免疫防治策略虽已经成为近几年来国内各种研究机构最为热点的前沿领域,但迄今为止尚未有任何一例商品化的海水鱼类疫苗上市。国家鲆鲽类产业技术体系疾病防控岗位张元兴教授课题组领衔的鲆鲽类系列疫苗产品研发取得了重要突破,其中海水养殖鱼类弧菌病基因工程减毒活疫苗于2011年底获得农业部颁发的农业转基因生物安全证书(生产应用,证书号:农基安证字(2011)65号),大菱鲆腹水病迟钝爱德华氏菌弱毒活疫苗也于2012年获得农业部临床试验许可批准,2013年完成全部临床试验并于当年10月顺利通过了农业部兽药评审中心初审会评审。这些研发进展将加速推进我国首个海水鱼类商品化疫苗进程,奠定了坚实的技术基础并迈入产业化发展的重要阶段,必将为我国以鲆鲽鱼类为代表的海水鱼类养殖产业的健康和可持续发展提供科学的健康解决方案和配套产品支持。

4 我国海水鱼类养殖工业化转型带给水产疫苗的产业发展机遇

在过去的十多年,以中国为主的亚太区域实现

了水产养殖业最高速的整体性增长和发展。养殖领域努力顺应进口国消费者的需求,产品质量和安全得到改善。但许多国家尤其是中国还是不能从国际贸易提供的良好机会中完全受益,其中的一个主要原因是水产养殖品难以满足国际上主要市场的进口要求,涉及药物残留等的食品安全性尤其突出。但是,随着新的十年的到来,我国海水养殖业做好了面对和克服这些挑战的准备,进一步朝向可持续发展的道路迈进。

当前,全球海水养殖业已经步入工业化发展新时期,这必将极大促进中国海水养殖经济增长方式的转变。以海基生态型和陆基集约型两条路径为产业框架,以节能减排、低碳环保养殖为发展战略目标,通过养殖装备工程化、技术现代化、生产工厂化和工业化的“四化养殖”技术集成和配套,以鱼类为重点的中国海水养殖产业必将迎来历史性的变革,一个全新的工业化海水养殖大产业在不久的将来必将呈现在世界面前。

在这种工业化转型中,一方面,由于各种病害病原可在养殖水体中高效输送转移,随着我国海水鱼类养殖向着以陆基工厂化循环水养殖和海基深水网箱养殖为主要生产模式的工业化升级,工业化养殖模式下病原在高密度养殖鱼类间的传播非常容易,各种病害的爆发和蔓延不可避免,传染性疫病风险始终是海水养殖业中最为重大的风险之一。另一方面,越来越严格的市场和环境标准继续对我国海水养殖领域实现其全部潜力带来挑战,水产品安全和养殖水环境污染已经成为全球性关注的问题,发展新的符合环境友好和可持续发展战略的病害防治手段已经成为我国海水养殖业的迫切需求。

中国作为世界最大水产品生产国,在大力发展水产养殖业尤其是以海水鱼类为代表的工业化产业转型中,面临的障碍是病害控制和食品安全问题。水产养殖鱼类生产过程中存在的包括致病菌、化学药物残留及环境中的化学品是“主要危害”,这是无法回避且严峻和迫切的产业挑战。接种疫苗取代抗生素等化学药品是不可动摇的产业发展趋势和市场的必然选择。在与各种传染病害的斗争中,利用生物技术开发的各种疫苗将使我们有更多机会面对各种病害的挑战,我国的海水鱼类疫苗产业也必将迎来历史上一个最好的发展时机和阶段,成为向海水鱼类养殖工业化方向迈进的重

要产业支撑。

参考文献

- [1] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2012[M]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2012.
- [2] 雷霖霖. 呼吁工业化养鱼 建设现代渔业[J]. 水产前沿, 2013, 11:12.
- [3] Roar Gudding. Vaccination of fish: Present status and future challenges[R]. Beijing :The 4th Annual World Congress of Vaccine, 2010.
- [4] Mardonesa F O, Pereza A M, Valdes-Donoso P, et al. Farm-level reproduction number during an epidemic of infectious salmon anemia virus in southern Chile in 2007—2009[J]. Preventive Veterinary Medicine, 2011, 102:175–184.
- [5] Kontali seabass & seabream monthly report[EB/OL]. 2012, http://www.kontali.no/?div_id=73&pag_id=75.
- [6] Park S. Disease control in Korean aquaculture[J]. Fish Pathology, 2009, 44:19–23.
- [7] Tebbit G L, Erickson J D, Van de Water R B. Development and use of *Yersinia ruckeri* bacterins to control enteric red mouth disease[J]. Developmental Biological Stand, 1981, 49:395–401.
- [8] 农业部渔业局. 2011 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [9] 农业部渔业局. 2012 年中国水生动物卫生状况报告[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [10] Håstein T, Gudding R, Evensen O. Bacterial vaccines for fish: An update of the current situation worldwide[J]. Development in Biologicals (Basel), 2005, 121:55–74.

Vaccine: A crucial support for industrial upgrading of marine fish farming in China

Ma Yue¹, Zhang Yuanxing¹, Lei Jilin²

(1. State Key Laboratory of Bioreactor Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, Shandong 266071, China)

[Abstract] Vaccination plays an important role in large-scale and intensive commercial marine fish farming. Vaccines have significant positive impact on the reduced usage of antibiotics and have been a key reason for the successes of the healthy and sustainable development in marine fish aquaculture industries of developed countries and regions in the world. China, the world's largest fish producer, has been in the time of industrial transformation and upgrading on marine fish farming, however the increasing serious problems of fish diseases and food safety have become one of the executing barriers for the greater progress in marine fish farming. With continuous technical breakthroughs in research and commercial development of marine fish vaccines funded by national industry system of flounder fishes, vaccination will be the core strategy of disease control and prevention in China's marine fish aquaculture.

[Key words] marine fish farming; current situation; industrial upgrading; diseases control and prevention; vaccine; development trend