

广西北部湾海水养殖业现状与病害防控技术体系研究展望*

Current Situation and Research Prospects of Disease Control Technology System of Mariculture in Beibu Gulf of Guangxi

李鹏飞¹,余庆¹,覃仙玲¹,李菲¹,陈宪云¹,董德信¹,秦启伟^{2**}

LI Pengfei¹, YU Qing¹, QIN Xianling¹, LI Fei¹, CHEN Xianyun¹, DONG Dexin¹, QIN Qiwei²

(1. 广西科学院广西北部湾海洋研究中心, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 华南农业大学海洋学院, 广东广州 510642)

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. College of Marine Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong, 510642, China)

摘要:广西北部湾海域的海水养殖业进入高速发展期,但是随之而来的病害暴发、渔药滥用、养殖污染、优质种苗不足、生态环境恶化等问题日益严峻。本文分析了广西北部湾海域海水养殖现状和病害情况,就未来广西海水生态养殖与病害防控技术体系的构建和发展趋势进行了阐述。

关键词:广西北部湾 海水养殖业 生态养殖 病害防控技术体系 研究展望

中图分类号:S94 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2018)01-0015-11

Abstract: The mariculture industry in Beibu Gulf of Guangxi has entered a period of rapid development. However, the subsequent outbreaks of diseases, abuse of fishery drugs, pollution of aquaculture, lack of high-quality seedlings and deterioration of the ecological environment have become increasingly serious. This article analyzed the status quo and disease situation of mariculture in Beibu Gulf of Guangxi and elaborated on the construction and development trend of Guangxi mariculture and disease prevention and control technology system in the future.

Key words: Beibu Gulf, Guangxi, mariculture, ecological aquaculture, disease control technology system, research prospects

收稿日期:2017-11-29

修回日期:2018-01-08

作者简介:李鹏飞(1988—),男,博士,硕士生导师,主要从事水生经济动物病害防控与生态养殖技术研究。

* 国家自然科学基金项目(41706145),广西自然科学基金项目(2017GXNSFBA198176)和广西科学院基本科研业务费项目(2017YJJ23002)资助。

** 通信作者:秦启伟(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事鱼类分子病毒学和海水高效健康养殖研究, E-mail: qinqw@scsio.ac.cn.

0 引言

广西位于中国西南,海岸线长度为1 595 km,拥有滩涂和浅海面积约8 000 km²。广西北部湾海域生物多样性丰富,包括各种海水鱼类500余种,虾类200余种,蟹类190余种,以及种类众多的头足类、藻类和贝类等。作为我国重要的海水养殖区域,广西北部湾海域海水平均盐度为2.88%,是目前我国少有的、能达到一类海水质量标准的近海海域,优质的水

域环境为发展海水增殖奠定了坚实基础。广西毗邻广东、香港以及东南亚等海水鱼主要的消费市场,发展海水养殖业地域优势明显,主要养殖品种包括对虾、卵形鲳鲹、石斑鱼、牡蛎、马氏珠母贝和食用植物等^[1-3]。近年来,随着市场需求量的不断增加,广西的海水养殖业迅猛发展,养殖规模不断扩大。“十二五”期间,以“大力发展海洋渔业和特色水产养殖业”为重点,广西海水养殖面积达到 550 km²,年均增长 0.9%,海水养殖年产量 114.26 万吨,年均增长 5.4%,海水养殖业年产值达到 140.5 亿元,年均增长超过 12%^[3-5]。凭借优越的海洋环境资源,广西海水养殖业取得了较快的发展,但必须注意的是,当前广西海水养殖业总体科技水平不高,仍以资源型产业为特征,处于粗放型发展和原材料提供阶段^[6]。而且随着北部湾海域海水养殖密度的增加、养殖规模的扩大、工业化和城市化进程的加快,近海养殖环境出现变差趋势,养殖病害问题也日益严峻。

1 广西北部湾海水养殖病害情况与病害防治研究现状

广西北部湾海域主要养殖动物包括传统特色养殖品种对虾、牡蛎、珍珠贝和近年来新兴的名贵海水养殖鱼类卵形鲳鲹、石斑鱼等,这些优质养殖品种的产值占广西海水养殖总产值的 80% 以上,规模化、产业化养殖比重不断增加^[1,5,7-8]。然而,随着广西北部湾地区城市化、工业化进程加快,环境污染日益加剧,沿海生态环境遭到破坏^[2]。在日益恶化的养殖环境和高密度养殖条件下,近年来北部湾近、远海养殖中各种病害频繁暴发,其中常见病多达几十种,病原包括细菌、病毒、寄生虫等,养殖动物感染死亡率高达 80% 以上,造成了巨大的经济损失^[9]。其中比较严重的疾病主要有卵形鲳鲹的黑身病、细菌病、白芝麻病和小瓜虫病^[7,10-11],对虾的副溶血弧菌病、急性肝胰腺坏死症、桃拉病毒病和白斑综合症^[12-15],贝类的弧菌病、病毒病和寄生虫病等^[15-16]。值得注意的是,病害的多样性逐渐增加,发病高峰时间不再局限于传统的春夏或夏秋等季节交替阶段,而开始逐步过渡到全年不间断发病。病害具有发病迅速、死亡率高、流行面广、流行持续时间长等特点,严重威胁广西海水养殖业的健康发展^[17]。

而与此相对的却是广西海洋科研力量薄弱,海洋科技综合研究体系尚未形成^[18]。其中,广西海水养殖病害防治研究工作严重滞后,针对广西北部湾海域海水养殖中高发、频发、死亡率高的病害,包括病毒、细菌、寄生虫等,不仅缺少系统的流行病学调查,更缺

乏相关的快速检测技术和高效防治技术的系统研究。而广西地区养殖户“轻预防重治疗”,病害防治观念落后,缺乏综合防治观念,在病害暴发后养殖户往往凭经验行事,大量使用抗生素类化学药物,通过泼洒或饲料拌喂的方式治疗鱼病,误判误诊、盲目用药、滥用抗生素的现象普遍。然而抗生素类化学药物的抗菌效果不持久,更严重的是抗生素的滥用不仅加剧了耐药菌株的产生,还造成了鱼体中有害药物残留等危害人体的重大食品安全问题,导致近海生态环境不断恶化,严重限制了广西海水养殖业健康可持续发展^[7-10,19-20]。海水养殖病害防控应坚持“以防为主,防治结合”的原则^[21]。首先是开展流行病学调查,阐明主要病原的种类、危害程度、流行特点和规律,对病原微生物进行分离、鉴定与保存;然后针对病原发展操作便捷、成本低、耗时短、准确度高的快速检测技术和试剂盒,加强养殖过程中对病害的监测,结合使用高效的抗病害药物,最终达到降低病害暴发几率的目的^[22-23]。

2 广西北部湾海水养殖病害防控技术体系的构建与发展趋势

广西应充分发挥海岸线长、水质优良、海水养殖环境优越的先天优势,在系统开展流行病学调查的基础上,着力构建具有广西特色的“病害快速检测-海水养殖抗病害药物筛选-免疫功能产品研发-现代海水养殖模式”的“四位一体”海水生态养殖与病害防控技术体系,实现“高效、优质、生态、安全”的海水养殖业高值优质发展目标,促进广西海洋经济持续健康发展,最终实现将广西建设成为影响全国、辐射东南亚的重要海水养殖中心的重大战略目标。

2.1 广西海水养殖病害流行病学调查

针对广西北部湾海域海水养殖中高发、频发、死亡率高的各种病害,开展系统的流行病学调查和流行病流行规律研究,对危害严重的病原进行分离、鉴定与保存,探明广西海水养殖中病害发生的基本情况,建立广西海水养殖微生物病原库。基于分子生物学、组织病理学、微生物学和病毒学等,深入研究病原的致病机理和流行规律,为后续病原快速检测技术、有效免疫功能产品和高效抗病药物的研发奠定基础,为提高广西海水养殖业质量和产量提供科技支撑。

2.2 病原快速检测与实时诊断技术

研发可以快速、便捷检测致病病原的检测技术,从而能够在病原暴发前进行快速检测、确定病原,这对于有的放矢地制定治疗策略,迅速采取措施控制病原、降低损失非常重要。目前针对海水养殖病害发展

出的检测方法,主要包括基于组织病理学的传统观察法,基于分子生物学的 PCR 技术,以及基于抗体的免疫学检测技术和手段等^[24-27],其中 PCR 技术基于其高灵敏度和高精度,是目前实验室中最常用的检测病原技术。但由于 PCR 技术存在操作繁琐、仪器昂贵、检测耗时长,以及试剂保存条件苛刻等种种不足,导致其仅适用于专业技术人员在实验室条件下对少量样品的检测,无法满足海水养殖过程中对病害进行现场快速检测诊断的需要^[28]。而利用酶联免疫吸附技术(ELISA)等免疫学技术手段研发出的快速检测试剂盒对病原的检测具有快速、灵敏性和特异性较高等优点而被广泛应用^[29-32]。通过对重大养殖病原进行深入研究,目前我国科研人员已针对多种病原研发出相应的快速检测技术及试剂盒,其可操作性和技术水平等均达到较高水平。Qin 等^[33]和 Shi 等^[34]针对石斑鱼养殖中出现的危害严重的虹彩病毒 SGIV 制备出高特异性的多克隆和单克隆抗体,并研发出可以特异性检测 SGIV 的 ELISA 技术和流式检测技术。宋晓玲等^[35]制备了抗溶藻弧菌(*Vibrio alginolyticus*)单克隆抗体,其所建立的 ELISA 检测技术,能够快速检测出中国对虾、黑鲷、鲢鱼、金枪鱼和鲈鱼等病鱼体内的溶藻弧菌。但是基于抗体的 ELISA 检测技术具有一些不足,限制了其大范围推广应用,例如抗体需要严格的低温保存条件,抗体制备耗时长、费用高、批次间质量存在差异,对结构类似化合物有一定程度的交叉反应,易导致“假阳性”结果。因此寻找抗体的替代物来优化 ELISA 技术,进而着力研发出操作便捷、成本低、耗时短、准确度高的新型快检技术,成为病原快速检测与实时诊断技术的主要研究方向^[28]。

核酸适配体是近年来广受关注的一种新型检测工具。核酸适配体是使用容量高达 $10^{14} \sim 10^{15}$ 的人工合成的随机寡核苷酸文库,在体外经过多轮筛选,最终获得能够特异性识别靶物质的单链寡核苷酸,具有易筛选获得、成本低、易修饰、稳定性强、高特异性识别并结合靶物质等诸多优点。基于核酸适配体能够高特异性识别病原的特性,核酸适配体被广泛应用于构建高灵敏的检测用传感器,通过信号放大,实现对病原或疾病的精准、快速诊断^[36-39]。目前,国内基于核酸适配体开发海水养殖病毒性疾病检测技术的研究进展较快^[28,40-44]。Li 等^[28,40]首次以海洋来源的大分子 DNA 病毒 SGIV 感染的脾细胞为靶标,利用全细胞-指数富集的配基进化技术(CELL-SELEX)获得多条高特异性的核酸适配体,将其作为抗体的替代物来优化传统的 ELISA 技术,研发出新型的基于核

酸适配体的吸附检测技术(Aptamer-based enzyme-linked apta-sorbent assay, Apt-ELASA)。Apt-ELASA 的稳定性高,并且可以高灵敏地检测到虹彩病毒的感染,其灵敏度可以媲美实验室条件下的 PCR 检测技术,因此在石斑鱼养殖过程中采用 Apt-ELASA 检测虹彩病毒的感染,具有操作简便快捷、稳定性强、灵敏度高等优点。这也是首次研发成功的可以用于快速准确检测 SGIV 感染的 Apt-ELASA,为丰富和提高各领域的检测技术提供了新方法和新思路。Zhou 等^[44]以神经坏死病毒(NNV)的主要衣壳蛋白(Core Protein, CP)为靶标进行筛选,获得的核酸适配体能够高特异性识别结合 NNV 主要衣壳蛋白和 NNV 颗粒,进而基于 CP-Aptamer 研发出“三明治”夹心法 ELASA 技术(sandwich Apt-ELASA),并将其成功应用于海水鱼类养殖中的高致病性神经坏死病毒的快速检测。目前核酸适配体应用于细菌性疾病检测技术的研究也取得了多项进展。Duan 等^[45]以食源性致病菌副溶血弧菌、金黄色葡萄球菌和沙门氏菌为研究对象,使用 SELEX 技术分别筛选得到特异性的核酸适配体,结合免标记传感器和上转换荧光纳米标记技术等构建了一系列新颖、灵敏的病菌检测新方法,并成功应用于实际样品中目标致病菌的检测。基于核酸适配体构建的快速检测技术或试剂盒具有操作便捷、耗时短、稳定性强、精确度高优点,有望为预防重大病害的暴发流行提供便捷的快检试剂盒等现场检测手段,在病害快速检测与实时诊断方面的应用前景极为广阔。

2.3 海水养殖抗病害药物的研究与筛选

药物防治具有操作简单、经济高效的特点,是目前控制海水养殖病害最主要的手段。国外针对水产药物的研究已经持续多年,通过开展详尽的药理学、毒理学研究为水产药物的研发和科学规范使用奠定了基础^[46]。与国外相比,国内的水产药物的研究严重滞后,由于缺少系统的理论研究和科学的试验平台,导致国内严重缺乏有效的海水养殖抗病害药物。在缺少正规药物的情况下,为达到快速治病的效果,以抗生素为主的化学药物在海水养殖中超量、滥用现象极为普遍^[21]。广西作为我国的海水养殖大省,养殖业规模巨大,但是由于病害防治观念落后,缺乏“以防为主,防治结合”的综合防治观念,养殖过程中盲目用药、滥用抗生素已造成海产品中药残超标、病原耐药性增强以及近海生态环境持续恶化的严重后果^[7-10,19-20]。因此加强海水养殖抗病害药物的研究,对于促进广西海水养殖业持续健康发展,确保海产品质量和食品安全极为重要。

目前,基于传统中草药开发有效的抗病害药物制剂日益受到重视^[47]。按照功能划分,中草药分为以下4种:(1)抗菌用中草药,包括金银花、连翘、大青叶、胡颓子、蛇床子、土槿皮、白鲜皮、当归、石榴皮、杏仁、鸡血藤、仙鹤草、蒲公英、苦参、桑白皮、百部、苏子、大蒜、益母草、红花、五加皮、白茅、夏枯草等;(2)抗病毒用中草药,包括射干、大青叶、板蓝根、金银花和番石榴叶等;(3)驱虫用中草药,包括青蒿、槟榔、硫磺、使君子、贯众、南瓜子和乌梅等;(4)除此之外还有调节激素分泌和提高免疫力的淫羊藿、黄芪、党参、商陆、甜瓜蒂、大蒜、茯苓、当归、刺五加、水牛角、穿心莲和猪苓等^[48]。大量研究表明,天然植物来源的中草药基于其含有的多糖、甙类、有机酸、生物碱、萜类及醇类等有效成分,通过破坏细菌细胞壁、细胞膜的完整性,或者影响细菌及病毒的蛋白质和遗传物质的合成来发挥抗病害的作用^[49]。与传统的化学药物相比,中草药不仅具有抗菌、抗病毒和驱虫等治疗功能,还具有无毒副残留,不易产生耐药性,有效提高海水养殖动物的免疫力,促进生长等诸多优点。深入研究水产用中草药将能够有效解决抗生素等化学药物所造成的耐药性和药残问题,是实现绿色无公害、高效防病、海水生态养殖的重要发展方向。

2.4 免疫功能产品研发

免疫功能产品主要包括疫苗和免疫调节剂。目前针对各种海水养殖病害,特别是病毒性病害,尚缺少可根治的特效药物,只能通过提高养殖动物自身免疫能力,及早发现病害并采取相应措施防止扩散,来达到降低病害暴发几率的目的。为海水养殖动物接种疫苗能够提高养殖动物的免疫力,控制养殖病害的暴发和流行,疫苗作为控制病原最有力的预防手段,被认为是最具潜力的动物医药产业,也是当前发展包括海水养殖在内的水产病害防控技术的主要趋势^[21]。据不完全统计,全球已有超过140种疫苗获得生产许可,中国渔用疫苗的研究虽起步较晚,但近年来取得了飞跃发展^[50-51]。目前我国牙鲆溶藻弧菌-

表1 海水养殖渔用疫苗统计(部分)

Table 1 List of mariculture fishery vaccines statistics(part)

病原 Pathogens	疫苗 Vaccine	疫苗使用对象 Object	研发国家 Country	所处阶段 Stage	注册时间 (年) Registration time(Year)
传染性胰腺坏死病毒 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV)	传染性胰腺坏死病毒灭活 疫苗 IPNV inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国/荷兰/智利 USA/Netherlands/ Chile	已注册 Registered	2002/2002/ 2004
传染性胰腺坏死病毒 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV)	传染性胰腺坏死病毒亚单位 疫苗 IPNV subunit vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2002
立克次氏体 Rickettsia	鲑立克次体亚单位疫苗 Rickettsia subunit vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2004

鳃弧菌-迟缓爱德华菌病多联抗独特型抗体疫苗和哈维氏弧菌重组外膜蛋白疫苗等海水养殖渔用疫苗已取得新兽药证书,在研和进入试验阶段的海水养殖渔用疫苗超过27种,种类包括灭活疫苗、减毒活疫苗、亚单位疫苗和基因工程疫苗,涉及病毒、细菌、寄生虫等主要海水养殖病原(表1)。

免疫功能产品研究的另一个重点是渔用免疫增强剂的研发。免疫增强剂能够利用养殖动物的免疫系统,促进其自身的免疫反应,增强养殖动物的抗病害感染能力,同时有效提高其生长速率^[52-55]。基于免疫增强剂绿色、无污染和无副作用等优点,将免疫增强剂应用于海水养殖领域的研究备受瞩目,目前我国已开发出以益生菌、中草药、葡聚糖、肽聚糖、几丁质为代表的一系列免疫增强剂,广泛应用于生产中并取得良好的效果^[56]。但是必须注意的是,我国的免疫增强剂相关制品“多而不强”,科技含量不高,必须继续深入开展渔用免疫增强剂的有效成分、作用机制、组合配比和剂型研究。总之,利用养殖动物的免疫系统,着力开展高效、实用、廉价、多功能的渔用疫苗和免疫增强剂等免疫功能产品的研发,将是未来构建广西海水生态养殖与病害防控技术体系的重要一环。

2.5 现代海水养殖模式的研究与推广

根据“高效、优质、生态、健康、安全”的健康可持续发展要求,广西海水养殖业应立足北部湾海域,积极发展现代海水生态养殖新模式,主要包括(1)多层次生态养殖模式。由多种不同营养需求的养殖种类组成多营养层次的生态养殖系统,提高生态互益效应,提高海水养殖产品的质量和环境自我修复能力。(2)陆基工厂化循环水养殖模式。陆基工厂化循环水养殖模式具有节约资源、绿色环保、养殖产量高、产品质量安全等诸多优点,是现代海水养殖业的重要发展方向。(3)深远海网箱养殖模式。积极培育深远海网箱养殖品种,研发相关的配套养殖技术,大力发展环境友好型、生态功能型的深远海网箱养殖模式。

续表 1

Continue table 1

病原 Pathogens	疫苗 Vaccine	疫苗使用对象 Object	研发国家 Country	所处阶段 Stage	注册时间 (年) Registration time(Year)
传染性鲑贫血病毒 Infectious salmon anemia virus (ISAV)	传染性鲑贫血病毒灭活疫苗 ISAV inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国/挪威 USA/Norway	已注册 Registered	2009
传染性鲑贫血病毒 Infectious salmon anemia virus (ISAV)	传染性鲑贫血病毒亚单位疫苗 ISAV subunit vaccine	鲑鱼 Salmon	智利 Chile	已注册 Registered	2004
传染性造血器官坏死病毒 Infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV)	传染性造血器官坏死病毒 DNA 疫苗 IHNV DNA vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2005
虹彩病毒 Iridovirus	虹彩病毒灭活疫苗 Iridovirus inactivated vaccine	石斑鱼、鲈、真鲷 Grouper, scad, sea bream	日本 Japan	已注册 Registered	2010
耶尔森氏菌 <i>Yersinia</i>	耶尔森氏菌灭活疫苗 <i>Yersinia</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	1975
杀鲑气单胞菌 <i>Aeromonas salmonicis</i>	杀鲑气单胞菌疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> vaccine	鲑鱼 Salmon	美国/加拿大 USA/Canada	已注册 Registered	2005/2004
鲑源鳃弧菌 <i>Vibrio anguillarum</i> of salmon	鲑源鳃弧菌疫苗 <i>Vibrio anguillarum</i> of salmon vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	1994
杀鲑气单胞菌, 鳃弧菌, 耶尔森氏菌 <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Yersinia</i>	杀鲑气单胞菌-鳃弧菌-耶尔森氏菌三联疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Yersinia</i> triple vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	1999
杀鲑气单胞菌, 鳃弧菌, 杀鲑弧菌 <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio salmonicida</i>	杀鲑气单胞菌-鳃弧菌-杀鲑弧菌三联疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio salmonicida</i> triple vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	1999/2002
耶尔森氏菌 <i>Yersinia</i>	肠道红嘴疫苗 Enteric redmouth vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	1999/2005
鲑源鳃弧菌 <i>Vibrio anguillarum</i> of salmon	鳃弧菌-病海鱼弧菌三价疫苗 <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio ordalii</i> trivalent vaccine	鲑鱼、鳃鱼 Salmon, eel	美国 USA	已注册 Registered	2000
杀鲑气单胞菌, 鳃弧菌 <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i>	杀鲑气单胞菌-鲑源鳃弧菌二联疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2005
杀鲑气单胞菌, 粘性鲑源鳃弧菌 <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> of clayey salmon	杀鲑气单胞菌-粘性鲑源鳃弧菌疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> of clayey salmon vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2002
杀鲑气单胞菌, 鳃弧菌, 杀鲑弧菌, 黏性弧菌 <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio salmonicida</i> , <i>Vibrio vulnificus</i>	杀鲑气单胞菌-鳃弧菌-杀鲑弧菌-黏性弧菌四联疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio salmonicida</i> - <i>Vibrio vulnificus</i> vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2002
杀鲑气单胞菌, 鳃弧菌 O1 和 O2 血清型, 鲑弧菌 <i>Aeromonas salmonicis</i> , O1 and O2 serotype of <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio salmon</i>	杀鲑气单胞菌-鳃弧菌 O1 和 O2 血清型-鲑弧菌三联疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> - O1 and O2 serotype of <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio salmon</i> triple vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2004
杀鲑气单胞菌, 鳃弧菌 <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i>	杀鲑气单胞菌-鳃弧菌二联疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2005
杀鲑气单胞菌, 鳃弧菌, 海鱼病弧菌, 冷水病弧菌 <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio ordalii</i> , <i>Vibrio chiller</i>	杀鲑气单胞菌-鳃弧菌-海鱼病弧菌-冷水病弧菌疫苗 <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio ordalii</i> - <i>Vibrio chiller</i> vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2005

病原 Pathogens	疫苗 Vaccine	疫苗使用对象 Object	研发国家 Country	所处阶段 Stage	注册时间 (年) Registration time(Year)
嗜冷黄杆菌 <i>Flavobacterium psychrophilum</i>	嗜冷黄杆菌灭活疫苗 <i>Flavobacterium psychrophilum</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2009
弗郎西斯菌 <i>Francisella tularensis</i>	弗郎西斯菌灭活疫苗 <i>Francisella tularensis</i> inacti- vated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2009
杀鲑气单胞菌, 鳟弧菌, 奥德 弧菌, 杀鲑弧菌 <i>Aeromonas salmonisalis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio ordalii</i> , <i>Vibrio salmonicida</i>	杀鲑气单胞菌-鳟弧菌-奥德 弧菌-杀鲑弧菌四联疫苗 <i>Aeromonas salmonisalis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio ordalii</i> - <i>Vibrio salmonicida</i> vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2010
粘放线菌 <i>Actinomyces viscosus</i>	粘放线菌疫苗 <i>Actinomyces viscosus</i> vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2010
格氏乳球菌 <i>Lactococcus garvieae</i>	格氏乳球菌灭活疫苗 <i>Lactococcus garvieae</i> inactiva- ted vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2009
α -链球菌 α - <i>Streptococcus</i>	α -链球菌灭活疫苗 α - <i>Streptococcus</i> inactivated vaccine	鲟属鱼类 Yellowtail fish	日本 Japan	已注册 Registered	2010
β -链球菌 β - <i>Streptococcus</i>	β -链球菌灭活疫苗 β - <i>Streptococcus</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	日本 Japan	已注册 Registered	2010
传染性胰腺坏死病毒, 杀鲑气 单胞菌, 病海鱼弧菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), <i>Aeromonas salmonisalis</i> , <i>Vibrio ordalii</i>	传染性胰腺坏死病毒-杀鲑气 单胞菌-病海鱼弧菌灭活疫苗 IPNV- <i>Aeromonas salmonisalis</i> - <i>Vibrio ordalii</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	1999
传染性鲑鱼贫血病病毒, 杀鲑 气单胞菌, 鲑源鳟弧菌 Infectious salmon anemia vi- rus (ISAV), <i>Aeromonas salmonisalis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> of salmon	传染性鲑鱼贫血病病毒-杀鲑 气单胞菌-鲑源鳟弧菌灭活 疫苗 ISAV- <i>Aeromonas salmonisalis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> of salmon inacti- vated vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2001
传染性胰腺坏死病毒, 杀鲑气 单胞菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), <i>Aeromonas salmonisalis</i>	传染性胰腺坏死病毒-杀鲑气 单胞菌灭活疫苗 IPNV- <i>Aeromonas salmonisalis</i> inactivated vac- cine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2005
传染性胰腺坏死病毒, 杀鲑气 单胞菌, 病海鱼弧菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), <i>Aeromonas salmonisalis</i> , <i>Vibrio ordalii</i>	传染性胰腺坏死病毒-杀鲑气 单胞菌-病海鱼弧菌灭活疫苗 IPNV- <i>Aeromonas salmonisalis</i> - <i>Vibrio ordalii</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2005
传染性胰腺坏死病毒, 传染性 鲑鱼贫血病病毒, 杀鲑气单胞 菌, 病海鱼弧菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), Infectious salmon anemia virus (ISAV), <i>Aeromonas salmonisalis</i> , <i>Vibrio ordalii</i>	传染性胰腺坏死病毒-传染性 鲑鱼贫血病病毒-杀鲑气单胞 菌-病海鱼弧菌灭活疫苗 IPNV-ISAV- <i>Aeromonas salmonisalis</i> - <i>Vibrio ordalii</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	加拿大 Canada	已注册 Registered	2005
传染性鲑贫血病病毒, 杀鲑气单 胞菌, 鳟弧菌, 海鱼病弧菌, 冷 水病弧菌 Infectious salmon anemia vi- rus (ISAV), <i>Aeromonas salmonisalis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio ordalii</i> , <i>Vibrio chiller</i>	传染性鲑贫血病病毒-杀鲑气单 胞菌-鳟弧菌-海鱼病弧菌-冷 水病弧菌灭活疫苗 ISAV- <i>Aeromonas salmonisalis</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio ordalii</i> - <i>Vibrio chiller</i> inactivated vac- cine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2005
传染性胰腺坏死病毒, 鲑立克 次体, 病海鱼弧菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), salmon rickettsia, <i>Vibrio ordalii</i>	传染性胰腺坏死病毒-鲑立克 次体重组蛋白-病海鱼弧菌灭 活疫苗 IPNV-salmon rickettsia- <i>Vibrio ordalii</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2006

续表 1

Continue table 1

病原 Pathogens	疫苗 Vaccine	疫苗使用对象 Object	研发国家 Country	所处阶段 Stage	注册时间 (年) Registration time(Year)
传染性胰腺坏死病毒, 鲑立克次体, 杀鲑气单胞菌, 病海鱼弧菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), salmon rickettsia, <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Vibrio ordalii</i>	传染性胰腺坏死病毒-鲑立克次体重组蛋白-杀鲑气单胞菌-病海鱼弧菌灭活疫苗 IPNV - salmon rickettsia recombinant protein- <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Vibrio ordalii</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2006
传染性胰腺坏死病毒, 鲑立克次体 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), salmon rickettsia	传染性胰腺坏死病毒-鲑立克次体重组蛋白亚单位疫苗 IPNV - salmon rickettsia recombinant protein subunit vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2006
传染性胰腺坏死病毒, 杀鲑气单胞菌, 粘放线菌, 鳃弧菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Actinomyces viscosus</i> , <i>Vibrio anguillarum</i>	传染性胰腺坏死病毒-杀鲑气单胞菌-粘放线菌-鳃弧菌灭活疫苗 IPNV- <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Actinomyces viscosus</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2007
传染性胰腺坏死病毒, 传染性鲑鱼贫血病毒, 杀鲑气单胞菌, 粘放线菌, 鳃弧菌, 杀鲑弧菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), infectious salmon anemia virus (ISAV), <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Actinomyces viscosus</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio salmonicida</i>	传染性胰腺坏死病毒-传染性鲑鱼贫血病毒-杀鲑气单胞菌-粘放线菌-鳃弧菌-杀鲑弧菌灭活疫苗 IPNV-ISAV- <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Actinomyces viscosus</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio salmonicida</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2009
传染性鲑鱼贫血病毒, 杀鲑气单胞菌, 粘放线菌, 鳃弧菌, 杀鲑弧菌 Infectious salmon anemia virus (ISAV), <i>Aeromonas salmonicis</i> , <i>Actinomyces viscosus</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Vibrio salmonicida</i>	传染性鲑鱼贫血病毒-杀鲑气单胞菌-粘放线菌-鳃弧菌-杀鲑弧菌灭活疫苗 ISAV- <i>Aeromonas salmonicis</i> - <i>Actinomyces viscosus</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Vibrio salmonicida</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2011
传染性胰腺坏死病毒, 传染性鲑鱼贫血病毒, 鲑立克次体, 病海鱼弧菌 Infectious pancreatic necrosis virus (IPNV), infectious salmon anemia virus (ISAV), salmon rickettsia, <i>Vibrio ordalii</i>	传染性胰腺坏死病毒-传染性鲑鱼贫血病毒-鲑立克次体重组蛋白-病海鱼弧菌灭活疫苗 IPNV-ISAV-salmon rickettsia recombinant protein - <i>Vibrio ordalii</i> inactivated vaccine	鲑鱼 Salmon	美国 USA	已注册 Registered	2009
牙鲆溶藻弧菌, 鳃弧菌, 迟缓爱德华菌 <i>Paralichthys olivaceus</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> , <i>Edwardsiella tarda</i>	牙鲆溶藻弧菌-鳃弧菌-迟缓爱德华菌多联抗独特型抗体疫苗 <i>Paralichthys olivaceus</i> - <i>Vibrio anguillarum</i> - <i>Edwardsiella tarda</i> multi couplet specific antibody vaccine	牙鲆 <i>Paralichthyidae</i>	中国 China	新药证书 New drug certificate	2006
哈维氏弧菌 <i>Vibrio harveyi</i>	哈维氏弧菌重组外膜蛋白疫苗 <i>Vibrio harveyi</i> recombinant epicardial protein vaccine	石斑鱼 Grouper	中国 China	临床试验 Clinical trial	—
哈维氏弧菌, 溶藻弧菌 <i>Vibrio harveyi</i> , <i>Vibrio alginolyticus</i>	哈维氏弧菌-溶藻弧菌二联灭活疫苗 <i>Vibrio harveyi</i> - <i>Vibrio alginolyticus</i> inactivated vaccine	石斑鱼 Grouper	中国 China	临床试验 Clinical trial	—
哈维氏弧菌, 溶藻弧菌, 副溶血弧菌 <i>Vibrio harveyi</i> , <i>Vibrio alginolyticus</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	哈维氏弧菌-溶藻弧菌-副溶血弧菌(IMS1312佐剂)三联灭活疫苗 <i>Vibrio harveyi</i> - <i>Vibrio alginolyticus</i> - <i>Vibrio parahaemolyticus</i> inactivated vaccine	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	中国 China	临床试验 Clinical trial	—

Continue table 1

病原 Pathogens	疫苗 Vaccine	疫苗使用对象 Object	研发国家 Country	所处阶段 Stage	注册时间 (年) Registration time(Year)
哈维氏弧菌 <i>Vibrio harveyi</i>	大黄鱼哈维氏弧菌灭活疫苗 <i>Pseudosciaena crocea</i> <i>Vibrio harveyi</i> inactivated vaccine	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	中国 China	临床试验 Clinical trial	—
石斑鱼虹彩病毒 Grouper iridovirus (GIV)	石斑鱼虹彩病毒灭活疫苗 GIV inactivated vaccine	石斑鱼 Grouper	中国 China	临床试验 Clinical trial	—
海水鱼鳃弧菌 <i>Vibrio anguillarum</i>	海水鱼鳃弧菌基因减毒活疫苗 <i>Vibrio anguillarum</i> gene attenuated live vaccine	牙鲆 <i>Paralichthyidae</i>	中国 China	临床试验 Clinical trial	—
创伤弧菌 <i>Vibrio vulnificus</i>	创伤弧菌(ISCOMs)佐剂灭活疫苗 <i>Vibrio vulnificus</i> ISCOMs adjuvant inactivated vaccine	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>	中国 China	临床试验 Clinical trial	—
虹彩病毒 GIV	大菱鲆虹彩病毒基因工程疫苗 GIV genetic engineering vaccine for turbot	大菱鲆 Turbot	中国 China	在研 In research	—
虹彩病毒 GIV	海水鱼虹彩病毒基因工程亚单位疫苗 GIV genetic engineering vaccine for marine fish	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
神经坏死病毒 Nervous necrosis virus (NNV)	海水鱼神经坏死病毒基因工程疫苗 NNV genetic engineering vaccine for marine fish	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
淋巴囊肿病毒 Lymphocystis disease virus (LCDV)	海水鱼淋巴囊肿病毒 DNA 疫苗 LCDV DNA vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
迟缓爱德华氏菌 <i>Edwardsiella tarda</i>	大菱鲆腹水病迟缓爱德华氏菌弱毒活疫苗 Turbot ascites disease <i>Edwardsiella tarda</i> live attenuated vaccine	大菱鲆 Turbot	中国 China	在研 In research	—
链球菌 <i>Streptococcus</i>	链球菌灭活疫苗 <i>Streptococcus</i> inactivated vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
溶藻弧菌 <i>Vibrio alginolyticus</i>	溶藻弧菌灭活疫苗 <i>Vibrio alginolyticus</i> inactivated vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
溶藻弧菌 <i>Vibrio alginolyticus</i>	溶藻弧菌外膜蛋白亚单位疫苗 <i>Vibrio alginolyticus</i> recombinant protein subunit vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
鳃弧菌 <i>Vibrio anguillarum</i>	鳃弧菌灭活疫苗 <i>Vibrio anguillarum</i> inactivated vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
鳃弧菌 <i>Vibrio anguillarum</i>	鳃弧菌基因缺失减毒活疫苗 <i>Vibrio anguillarum</i> gene deletion attenuated live vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
鳃弧菌 <i>Vibrio anguillarum</i>	鳃弧菌菌蜕疫苗 <i>Vibrio anguillarum</i> ghosts vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
哈维氏弧菌, 溶藻弧菌, 副溶血弧菌 <i>Vibrio harveyi</i> , <i>Vibrio alginolyticus</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	哈维氏弧菌-溶藻弧菌-副溶血弧菌(IMS1312)佐剂三联灭活疫苗 <i>Vibrio harveyi</i> - <i>Vibrio alginolyticus</i> - <i>Vibrio parahaemolyticus</i> IMS1312 adjuvant vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
哈维氏弧菌 <i>Vibrio harveyi</i>	哈维氏弧菌重组外膜蛋白疫苗 <i>Vibrio harveyi</i> recombinant epicardial protein vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
哈维氏弧菌, 溶藻弧菌, 副溶血弧菌 <i>Vibrio harveyi</i> , <i>Vibrio alginolyticus</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	哈维氏弧菌-溶藻弧菌-副溶血弧菌多联口服纳米疫苗 <i>Vibrio harveyi</i> - <i>Vibrio alginolyticus</i> - <i>Vibrio parahaemolyticus</i> oral nanoscale vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—

Continue table 1

病原 Pathogens	疫苗 Vaccine	疫苗使用对象 Object	研发国家 Country	所处阶段 Stage	注册时间 (年) Registration time(Year)
哈维氏弧菌 <i>Vibrio harveyi</i>	哈维氏弧菌重组外膜蛋白 OmpK 微囊疫苗 <i>Vibrio harveyi</i> recombinant epicardial protein OmpK vac- cine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
哈维氏弧菌,溶藻弧菌 <i>Vibrio harveyi</i> , <i>Vibrio alginolyticus</i>	哈维氏弧菌-溶藻弧菌二联灭 活疫苗 <i>Vibrio harveyi</i> - <i>Vibrio alginolyticus</i> inactivated vac- cine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
哈维氏弧菌 <i>Vibrio harveyi</i>	哈维氏弧菌鞭毛蛋白基因 DNA 疫苗 DNA vaccine of <i>Vibrio harveyi</i> flagellin gene	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
哈维氏弧菌 <i>Vibrio harveyi</i>	哈维氏弧菌溶血素基因酵母 活载体疫苗 Yeast live vector vaccine of <i>Vibrio harveyi</i> hemolysin gene	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
拟态弧菌 <i>Vibrio mimicus</i>	拟态弧菌病重组外毒素疫苗 <i>Vibrio mimicus</i> recombinant toxin vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
拟态弧菌 <i>Vibrio mimicus</i>	拟态弧菌基因缺失减毒活 疫苗 <i>Vibrio mimicus</i> gene deletion attenuated live vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—
小瓜虫 <i>Ichthyophthirius</i>	海水小瓜虫(刺激隐核虫) 疫苗 <i>Ichthyophthirius</i> vaccine	海水养殖鱼类 Marine culture fish	中国 China	在研 In research	—

参考文献:

- [1] 潘英,李坚明,黄伟德. 广西贝类养殖现状及产业发展策略建议[J]. 海洋科学, 2015, 39(11): 132-137.
PAN Y, LI J M, HUANG W D. The perspectives of molluscan mariculture and its developmental suggestions in Guangxi[J]. Marine Sciences, 2015, 39(11): 132-137.
- [2] 赖俊翔,姜发军,许铭本,等. 广西近海海洋生态系统服务功能价值评估[J]. 广西科学院学报, 2013, 29(4): 252-258.
LAI J X, JIANG F J, XU M B, et al. Value assessment of offshore marine ecosystem service in Guangxi[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2013, 29(4): 252-258.
- [3] 张少峰,张春华,邢素坤. 广西海洋经济发展现状与对策分析[J]. 海洋开发与管理, 2015(4): 103-106.
ZHANG S F, ZHANG C H, XING S K. Analysis on the current situation and countermeasures of marine economic development in Guangxi[J]. Ocean Development and Management, 2015(4): 103-106.
- [4] 罗春业,廖愚. 广西大力发展“九化渔业”[J]. 中国水产, 2015(1): 20-22.
LUO C Y, LIAO Y. Guangxi vigorously develops “nine oriented fishery”[J]. China Fisheries, 2015(1): 20-22.
- [5] 李坚明. “十三五”广西水产养殖业发展战略研究[J]. 中国渔业经济, 2016, 34(4): 25-31.
LI J M. Research on the development strategy of Guangxi aquaculture in 13th Five-Year[J]. Chinese Fisheries

- Economics, 2016, 34(4): 25-31.
- [6] 汪德荣,杨鹏,韦海鸣. 广西海洋新兴产业发展的现状和对策分析[J]. 特区经济, 2012(4): 217-219.
WANG D R, YANG P, WEI H M. Current situation and countermeasures of marine emerging industry development in Guangxi[J]. Special Zone Economy, 2012(4): 217-219.
- [7] 刘锡强,马学坤,刘康,等. 华南地区金鲳鱼养殖报告[J]. 当代水产, 2014(2): 26-29.
LIU X Q, MA X K, LIU K, et al. Reports on the cultured *Trachinotus ovatus* in South China[J]. Current Fisheries, 2014(2): 26-29.
- [8] 马振国,洪泉. 广西推动石斑鱼产业快速发展[N]. 中国食品安全报, 2013-11-30(B1).
MA Z G, HONG Q. Guangxi promotes the rapid development of grouper fish industry[N]. China Food Safety News, 2013-11-30(B1).
- [9] 胡大胜. 广西水产养殖病害分析及对策[J]. 农业新技术, 2004(5): 6-7.
HU D S. Disease analysis and countermeasures of aquaculture in Guangxi[J]. New Agricultural Technology, 2004(5): 6-7.
- [10] 夏立群,黄郁葱,鲁义善. 卵形鲳鲹主要病害及其研究进展[J]. 安徽农学通报, 2012(23): 140-143, 150.
XIA L Q, HUANG Y C, LU Y S. The diseases in *Trachinotus ovatus* culture and their research progress [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2012(23): 140-143, 150.
- [11] 崔婧,范雪亭,刘文竹,等. 华南地区海水养殖鱼类主要

- 弧菌病原的分离与鉴定[J]. 海南大学学报:自然科学版, 2014(3):244-251.
- CUI J, FAN X T, LIU W Z, et al. Isolation and identification of *Vibriosis pathogens* of marine cultured fishes in Southern China[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2014(3):244-251.
- [12] 童桂香, 韦信贤, 吴伟军, 等. 广西凡纳滨对虾 IHNV 感染情况的调查与分析[J]. 南方农业学报, 2013, 44(12):2089-2093.
- TONG G X, WEI X X, WEI W J, et al. Investigation and analysis of infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus infection in *Penaeus vannamei* in Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(12):2089-2093.
- [13] 黄志坚, 陈勇贵, 翁少萍, 等. 多种细菌与凡纳滨对虾肝胰腺坏死症 (HPNS) 爆发有关[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2016, 55(1):1-11.
- HUANG Z J, CHEN Y G, WENG S P, et al. Multiple bacteria species were involved in hepatopancreas necrosis syndrome (HPNS) of *Litopenaeus vannamei* [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2016, 55(1):1-11.
- [14] 黎铭, 陈晓汉, 李咏梅, 等. 广西沿海地区对虾桃拉病毒 (TSV) 检测及假阳性分析[J]. 西南农业学报, 2008, 21(5):1447-1449.
- LI M, CHEN X H, LI Y M, et al. Detection of *Taura syndrome* virus for shrimp in Guangxi province in shore and its analysis of false positive[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2008, 21(5):1447-1449.
- [15] 周永灿. 海洋贝类病害及其研究进展[J]. 海南大学学报:自然科学版, 2000, 18(2):207-212.
- ZHOU Y C. Marine shellfish diseases and their research progress[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2000, 18(2):207-212.
- [16] 李国, 闫茂仓, 常维山, 等. 我国海水养殖贝类弧菌病研究进展[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版, 2008, 27(3):327-334.
- LI G, YAN M C, CHANG W S, et al. Review on studying of *Vibriosis* of shellfish farming in China[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2008, 27(3):327-334.
- [17] 陈雨生, 房瑞景, 乔娟. 中国海水养殖业发展研究[J]. 农业经济问题, 2012(6):72-76.
- CHEN Y S, FANG R J, QIAO J. Study on the development of mariculture in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2012(6):72-76.
- [18] 龙桂杰. 制约广西海洋经济发展因素及其对策分析[J]. 经济研究参考, 2014(41):32-34, 45.
- LONG G J. Factors restricting the development of marine economy in Guangxi and countermeasures[J]. Review of Economic Research, 2014(41):32-34, 45.
- [19] WANG X, RYU D, HOUTKOOPER R H, et al. Antibiotic use and abuse: A threat to mitochondria and chloroplasts with impact on research, health, and environment[J]. Bioessays, 2015, 37(10):1045-1053.
- [20] SMALDONE G, MARRONE R, CAPPIELLO S, et al. Occurrence of antibiotic resistance in bacteria isolated from seawater organisms caught in Campania Region: Preliminary study[J]. BMC Vet Res, 2014, 10:161.
- [21] 陈昌福. 我国水产养殖动物病害防治研究的主要成就与当前存在的问题[J]. 饲料工业, 2007, 28(10):2-4.
- CHEN C F. Main achievements and current problems of disease prevention and control of aquaculture animals in China[J]. Feed Industry, 2007, 28(10):2-4.
- [22] 吴淑勤, 王亚军. 我国水产养殖病害控制技术现状与发展趋势[J]. 中国水产, 2010(8):9-10.
- WU S Q, WANG Y J. Current situation and development trend of aquaculture disease control technology in China[J]. China Fisheries, 2010(8):9-10.
- [23] MOHAMMED H, ARIAS C R. Epidemiology of columnaris disease affecting fishes within the same watershed[J]. Dis Aquat Organ, 2014, 109(3):201-211.
- [24] HUANG C, ZHANG X B, GIN K Y, et al. In situ hybridization of a marine fish virus, Singapore grouper iridovirus with a nucleic acid probe of major capsid protein[J]. J Virol Methods, 2004, 117(2):123-128.
- [25] MAO X L, ZHOU S, XU D, et al. Rapid and sensitive detection Singapore grouper iridovirus by loop-mediated isothermal amplification [J]. J Appl Microbiol, 2008, 105(2):389-397.
- [26] BASTARDO A, RAVELO C, ROMALDE J L. Highly sensitive detection and quantification of the pathogen *Yersinia ruckeri* in fish tissues by using real-time PCR [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2012, 96(2):511-520.
- [27] TSAI M A, WANG P C, YOSHIDA T, et al. Development of a sensitive and specific LAMP PCR assay for detection of fish pathogen *Lactococcus garvieae* [J]. Dis Aquat Organ, 2013, 102(3):225-235.
- [28] LI P F, ZHOU L L, WEI J G, et al. Development and characterization of aptamer-based enzyme-linked aptasorbent assay for the detection of Singapore grouper iridovirus infection [J]. J Appl Microbiol, 2016, 121(3):634-643.
- [29] 曹欢, 王静波, 王姝, 等. 单克隆抗体技术在水生动物病害检测中的应用[J]. 北京农业, 2015(2):80-83.
- CAO H, WANG J B, WANG S, et al. Application of monoclonal antibody technology in detection of aquatic animal diseases [J]. Beijing Agriculture, 2015(2):80-83.
- [30] SHARON G, NATH P R, ISAKOV N, et al. Evaluation of guppy (*Poecilia reticulata* Peters) immunization against *Tetrahymena* sp. by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) [J]. Vet Parasitol, 2014, 205(1):28-37.
- [31] MILLARD E V, BRENDEN T O, LAPATRA S E, et al. Detection of viral hemorrhagic septicemia virus-IVb antibodies in sera of muskellunge *Esox masquinongy* using competitive ELISA [J]. Dis Aquat Organ, 2014, 108(3):187-199.
- [32] SU Y C, WANG C H, CHANG W H, et al. Rapid and amplification-free detection of fish pathogens by utili-

- zing a molecular beacon-based microfluidic system[J]. Biosens Bioelectron, 2015, 63:196-203.
- [33] QIN Q W, GIN K Y H, LEE L Y, et al. Development of a flow cytometry based method for rapid and sensitive detection of a novel marine fish iridovirus in cell culture[J]. J Virol Methods, 2005, 125(1):49-54.
- [34] SHI C Y, WEI Q, GIN K Y H, et al. Production and characterization of monoclonal antibodies to a grouper iridovirus[J]. Journal of Virological Methods, 2003, 107(2):147-154.
- [35] 宋晓玲, 黄健, 史成银. 溶藻弧菌单克隆抗体的制备及应用[J]. 水产学报, 2011, 25(6):522-527.
SONG X L, HUANG J, SHI C Y. Production and application of monoclonal antibodies of *Vibrio alginolyticus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 25(6):522-527.
- [36] DUAN M L, LONG Y Q, YANG C, et al. Selection and characterization of DNA aptamer for metastatic prostate cancer recognition and tissue imaging[J]. Oncotarget, 2016, 7(24):36436-36446.
- [37] CHO Y, LEE Y B, LEE J H, et al. Modified AS1411 aptamer suppresses hepatocellular carcinoma by up-regulating Galectin-14 [J]. PLoS One, 2016, 11(8):e0160822.
- [38] KUMAR P K. Monitoring intact viruses using aptamers[J]. Biosensors; Basel, 2016, 6(3):E40.
- [39] JIN C, QIU L P, LI J, et al. Cancer biomarker discovery using DNA aptamers[J]. Analyst, 2016, 141(2):461-466.
- [40] LI P F, WEI S N, ZHOU L L, et al. Selection and characterization of novel DNA aptamers specifically recognized by Singapore grouper iridovirus-infected fish cells [J]. J Gen Virol, 2015, 96(11):3348-3359.
- [41] LI P, YU Q, ZHOU L, et al. Probing and characterizing the high specific sequences of ssDNA aptamer against SGIV-infected cells[J]. Virus Research, 2018, 246:46-54.
- [42] LI P F, YAN Y, WEI S N, et al. Isolation and characterization of a new class of DNA aptamers specific binding to Singapore grouper iridovirus (SGIV) with antiviral activities[J]. Virus Res, 2014, 188:146-154.
- [43] LI P F, ZHOU L L, YU Y P, et al. Characterization of DNA aptamers generated against the soft-shelled turtle iridovirus with antiviral effects [J]. BMC Vet Res, 2015, 11:245.
- [44] ZHOU L, LI P, NI S, et al. Rapid and sensitive detection of redspotted grouper nervous necrosis virus (RGNNV) infection by aptamer-coat protein-aptamer sandwich enzyme-linked apta-sorbent assay (ELASA) [J]. J Fish Dis, 2017, 40(12):1831-1838.
- [45] DUAN N, WU S J, DAI S L, et al. Advances in aptasensors for the detection of food contaminants[J]. Analyst, 2016, 141(13):3942-3961.
- [46] PARK Y H, HWANG S Y, HONG M K, et al. Use of antimicrobial agents in aquaculture[J]. Rev Sci Tech, 2012, 31(1):189-197.
- [47] 王荻, 刘红柏, 罗添允. 中草药与益生菌在水产养殖中协同作用的研究进展[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(5):583-588.
WANG D, LIU H B, LUO T Y. Research progress on synergistic effect of Chinese herbal medicine and probiotics in aquaculture: A review[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(5):583-588.
- [48] 杜强, 杨兴, 吴林菁, 等. 中草药添加剂在水产养殖中的作用机制及应用前景[J]. 饲料研究, 2014(11):71-73.
DU Q, YANG X, WU L J, et al. Mechanism and application prospect of Chinese herbal medicine additives in aquaculture[J]. Feed Research, 2014(11):71-73.
- [49] 彭齐, 谢丽玲, 谢俊. 中药抑菌机制的研究方法[J]. 生物技术进展, 2015, 5(1):66-69.
PENG Q, XIE L L, XIE J. Research methods for antibacterial mechanism of traditional Chinese medicine [J]. Current Biotechnology, 2015, 5(1):66-69.
- [50] SALGADO-MIRANDA C, LOZA-RUBIO E, ROJAS-ANAYA E, et al. Viral vaccines for bony fish: Past, present and future[J]. Expert Rev Vaccines, 2013, 12(5):567-578.
- [51] 吴淑勤, 陶家发, 巩华, 等. 渔用疫苗发展现状及趋势[J]. 中国渔业质量与标准, 2014, 4(1):1-13.
WU S Q, TAO J F, GONG H, et al. Situation and tendency of the fishery vaccine development [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2014, 4(1):1-13.
- [52] SONG S K, BECK B R, KIM D, et al. Probiotics as immunostimulants in aquaculture: A review [J]. Fish Shellfish Immunol, 2014, 40(1):40-48.
- [53] CARBONE D, FAGGIO C. Importance of probiotics in aquaculture as immunostimulants. Effects on immune system of *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax* [J]. Fish Shellfish Immunol, 2016, 54:172-178.
- [54] HAI N V. The use of probiotics in aquaculture[J]. J Appl Microbiol, 2015, 119(4):917-935.
- [55] NEWAJ-FYZUL A, AUSTIN B. Probiotics, immunostimulants, plant products and oral vaccines, and their role as feed supplements in the control of bacterial fish diseases[J]. J Fish Dis, 2015, 38(11):937-955.
- [56] 唐启升, 丁晓明, 刘世禄, 等. 我国水产养殖业绿色、可持续发展战略与任务[J]. 中国渔业经济, 2014, 32(1):6-14.
TANG Q S, DING X M, LIU S L, et al. Strategy and task for green and sustainable development of Chinese aquaculture[J]. Chinese Fisheries Economics, 2014, 32(1):6-14.

(责任编辑:陆 雁)