

*Healthy Mariculture
and Quality Control*

海水健康养殖与质量控制

主 编 李 健 赵法箴



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

海水健康养殖与质量控制

主 编 李 健 赵法箴

中国海洋大学出版社
· 青 岛 ·

图书在版编目(CIP)数据

海水健康养殖与质量控制 / 李健, 赵法箴主编. —
青岛: 中国海洋大学出版社, 2012. 2
ISBN 978-7-81125-951-3

I. ①海… II. ①李… ②赵… III. ①海水养殖—研
究 IV. ①S967

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 267154 号

出版发行	中国海洋大学出版社	
社 址	青岛市香港东路 23 号	邮政编码 266071
出 版 人	杨立敏	
网 址	http://www.ouc-press.com	
电子信箱	dengzhike@sohu.com	
订购电话	0532-82032573(传真)	
责任编辑	邓志科	电 话 0532-85901040
印 制	青岛益昕印务有限公司	
版 次	2012 年 11 月第 1 版	
印 次	2012 年 11 月第 1 次印刷	
成品尺寸	185 mm×260 mm	
印 张	34.375	
字 数	836 千字	
定 价	68.00 元	

编委会

主 编 李 健 赵法箴

编著者 刘 萍 何玉英 王 群 陈 萍 刘 淇

常志强 李吉涛 高保全 刘德月 吕建建

前言

我国已成为举世瞩目的渔业大国,养殖规模不断扩大,养殖品种增多,产量迅猛增加。2009 年全国水产品总产量 5120 万吨,连续 17 年位居世界首位。其中,养殖产量超过 3635 万吨,占水产品总量的 71%,占全球水产养殖产量的 70%。水产品出口额达 107 亿美元,占农产品出口总额的 27.3%。水产品不仅可以为国民提供优质的食物蛋白,而且还是出口创汇的重要产品,为改善我国人民饮食结构、提高生活质量和健康水平作出了巨大贡献,对提高我国和区域性的经济地位发挥着重要作用。

随着养殖产品数量增加,质量问题特别是安全卫生问题已成为制约我国水产养殖业进一步发展的瓶颈。我国的养殖水产品是劳动密集型产品,在价格上有一定的比较优势,是传统的出口创汇产品。我国是世界水产养殖大国,也是重要的水产全球贸易强国,有义务对海水健康养殖和质量控制作出贡献。我国目前水产品的质量安全问题突出表现在以下几个方面:一是环境状况日益恶化,有毒有害物质对水产品安全卫生造成严重隐患;二是养殖疾病未得到有效控制,违规用药影响水产品食用安全;三是水产品中的有害物质对消费者的身体健康和生命安全造成威胁。众所周知,养殖模式的不规范和渔用药物的滥用不但造成养殖环境的恶化,而且严重影响到水产品的食用安全性。而在目前注重食品安全的大背景下,直接影响到水产业的健康可持续发展。

虽然我国食品安全也开展了较系统的研究工作,并在检验监控、标准体系、风险评价和溯源预警等方面取得了重要成果。但和发达国家相比还存在较大差距和不足,主要体现在研究基础薄弱、创新能力较差、成果转化不足等,导致在制定国家相关政策及维护国家权益时不能及时提供有效的科学依据和技术支持,成为影响我国农业实现可持续发展目标的主要瓶颈之一。现有的传统养殖模式和技术,已经不能适应我国加入 WTO 后对水产养殖发展的要求,必须从根本上解决。因此,健康的养殖技术和食品安全发展战略将成为我国 21 世纪水产养殖研究的重要领域,进行基础和应用基础研究,提出有效控制措施,是保障水产养殖产业可持续发展的迫切需求。

本实验室“九五”以来,在 30 多项国家和地方科技计划的支持下,致力于海水健康养殖和质量控制理论、技术与标准研究,在安全风险评估、源头治理、过程控制及安全利用等领域取得了一系列成果,为提高我国海水养殖质量安全水平、支撑渔业产业可持续发展作出了贡献。针对我国海水养殖优势品种对虾、鲆鲽鱼和贝类等,在养殖过程迫切需要解决的影响质量安全关键技术问题,综合运用药物分析学、药理学、微生物学、病害学及质量安全管理学等多学科交叉手段,较系统进行药物残留检测方法、药物代谢动力学及残留监控、清洁生产环境保障、病害生态防控、养殖质量安全管理等方面研究,为建立我国海水养殖质量安全监控体系提供技术支持。为集成病害生态防治及免疫增强技术、环境因子调控及水处理技术、药物安全使用技术等多项质量安全控制技术进行鱼虾清洁生产,采用危害分析与关键控制点(HACCP)方法识别、评价和控制食品安全危害,针对我国海水养殖方式和特点,提出养殖各环节的潜在危害和缺陷,建立海水养殖鱼虾质量安全控制体系,

提供科学技术依据。

“十二五”期间我国将强化农产品质量安全监管,深入开展农产品质量安全专项整治,努力确保不发生重大农产品质量安全事件。进一步完善农产品质量安全例行监测制度,对渔药和饲料生产、经营、使用实行全过程监管,全面开展风险隐患排查和评估,加快相关标准制修订步伐,加紧转化一批国际食品法典标准,大力开展水产健康养殖标准化示范场活动,完善农产品质量安全风险评估体系,加快农产品质检和质量追溯体系建设。今后海水养殖质量安全控制研究重点是进行质量安全有害物质甄别及其环境效应、危害机制分析,开展有害物质在主要养殖水产品体内的代谢过程研究,查清养殖水产品中有害物质的危害作用及其机理,阐明有害物质在养殖系统中的富集、迁移、转化规律,提出相关安全限量标准,建立养殖水产品中有害物质的残留控制技术,推动水产养殖产业结构调整,由“产量型”向“质量效益型”的现代水产养殖业转移,为保障人民生命安全并提高生活质量提供技术支撑。

本书选录了本实验室近年来有关海水健康养殖与质量控制方面的研究论文,很多工作是由作者与研究生共同完成的。为了使本书的内容更充实,实用性更强,作者引用了许多科学家的研究成果和发表的论著资料。本书的出版得到了国家虾产业技术体系(CARS-47)的资助。在此一并致谢。

由于作者的学术水平和实践经验所限,书中难免有错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

2011年11月28日

目 次

第一章 综述	(1)
第一节 中国水产健康养殖的关键技术研究	(1)
第二节 国内外对虾养殖模式研究进展	(6)
第三节 对虾节能减排养殖模式	(12)
第四节 海水养殖动物质量控制技术研究现状与展望	(17)
第五节 微生态制剂在水产养殖中的应用	(22)
第六节 中草药添加剂在海水养殖中的研究概述	(27)
第七节 环境因子对对虾生长及非特异性免疫的研究	(31)
第八节 海洋动物 CYP450 研究进展	(37)
第九节 水产动物药物代谢和残留的研究进展	(43)
第二章 疾病预防、控制与免疫	(48)
第一节 养殖环境及水产动物中副溶血弧菌快速检测方法的建立	(48)
第二节 梭子蟹牙膏病病原菌——溶藻弧菌的鉴定及其系统发育分析	(54)
第三节 三种养殖模式及室外土池养殖生态系统中细菌时空动态变化研究	(58)
第四节 副溶血弧菌引发对虾养殖疾病暴发的定量风险评估	(66)
第五节 溶藻弧菌对三疣梭子蟹抗氧化及免疫酶活的影响	(79)
第六节 MTT 比色法测定微生物黏附能力的条件优化	(88)
第七节 不同益生菌株对牙鲆及大菱鲆肠黏液黏附能力的比较及影响因子的研究	(94)
第八节 黏红酵母和乳酸菌在牙鲆肠道的定植及肠黏液受体的初步研究	(101)
第九节 噬菌蛭弧菌和黏红酵母对中国对虾生长及非特异免疫因子的影响	(110)
第十节 微生态制剂对中国对虾幼体生长和非特异性免疫的影响	(115)
第十一节 微生态制剂对牙鲆非特异性免疫因子影响的研究	(120)
第十二节 5 种中草药对凡纳滨对虾生长及非特异性免疫功能的影响	(126)
第十三节 中草药制剂对凡纳滨对虾生长及血淋巴中免疫因子的影响	(132)
第十四节 黄芩苷对中国对虾免疫能力及 Toll 样受体基因表达的研究	(137)
第十五节 不同浓度的虾青素和裂壶藻对中国对虾非特异性免疫酶活的影响	(152)
第十六节 Vc 对中国对虾非特异免疫因子及 TLR/NF- κ B 表达量的影响	(162)

第十七节	维生素 E 和裂壶藻(<i>Schizochytrium</i>)对中国对虾(<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)生长及 TLR/NF- κ B 表达水平的影响	(168)
第十八节	不同浓度诺氟沙星对中国对虾非特异性免疫酶活性的影响	(177)
第三章	健康养殖技术与生态调控	(183)
第一节	对虾工厂化养殖与池塘养殖系统结构分析	(183)
第二节	对虾工厂化养殖与池塘养殖排放废水的差异分析	(187)
第三节	对虾工厂化养殖中应用液态氧增氧的效果分析	(191)
第四节	微孔管增氧和气石增氧对凡纳滨对虾室内养殖影响的比较研究	(198)
第五节	四种微生态制剂对对虾育苗水体主要水质指标的影响	(205)
第六节	养殖密度对工厂化对虾养殖池氮磷收支的影响	(211)
第七节	溶解氧含量和养殖密度对中国对虾生长及非特异性免疫因子的影响	(215)
第八节	三种养殖对虾在不同 pH 条件下存活率及免疫相关酶活性的比较 ..	(225)
第九节	pH 胁迫对三种对虾离子转运酶和免疫相关基因定量表达的影响 ..	(236)
第十节	氨氮胁迫对中国对虾抗氧化系统、血淋巴氨氮成分及 HSP90 基因表达的影响	(248)
第十一节	中国对虾细胞凋亡因子 Caspase 基因 cDNA 克隆和表达分析	(274)
第十二节	中国对虾 Caspase 基因的重组表达、分离纯化和多克隆抗体的制备	(287)
第四章	药物代谢与残留控制	(296)
第一节	药物在大菱鲆体内的代谢动力学	(296)
第二节	药物在牙鲆体内的代谢动力学	(323)
第三节	药物在鲈鱼体内的代谢动力学	(348)
第四节	土霉素在黑鲷体内的代谢动力学	(363)
第五节	药物在对虾体内的代谢动力学	(369)
第六节	药物在大菱鲆体内的残留和消除	(394)
第七节	药物在牙鲆体内的残留和消除	(433)
第八节	药物在鲈鱼体内的残留和消除	(446)
第九节	药物在虾体内的残留和消除	(460)
第十节	药物在贝类体内的残留和消除	(479)
第十一节	海水养殖动物药物代谢酶的研究	(488)

第一章 综 述

第一节 中国水产健康养殖的关键技术研究

水产品不仅可以作为国民优质的食物营养,而且还是出口创汇的重要产品,对提高我国世界性和区域性的经济地位发挥着重要作用。20 世纪 80 年代以来,我国的海水养殖业也经历了 4 次大的发展过程,堪称为海水养殖业发展的 4 次浪潮。第 1 次浪潮是以藻类养殖为代表,第 2 次浪潮是以对虾养殖为代表,第 3 次浪潮是以扇贝养殖为代表。近年来以海水鱼类养殖为代表的第 4 次浪潮正在兴起。海水养殖业正朝着多品种、多模式、工厂化、集约化的方向发展。在中国,人工养殖的种类包括鱼、虾、贝、藻、参等,已达上百种(赵法箴,2001)。2002 年,我国水产养殖产量超过 2 900 万 t,占水产品总量的 64%,占全球水产养殖产量的 70%。水产品出口额连续 3 年在农产品中居首位,贸易顺差占全国对外贸易顺差的 10%。

我国水产养殖业的发展速度和取得的成就是举世瞩目的,但水产养殖业在养殖产品数量增加的同时,水产品的质量問題,特别是安全卫生问题已成为制约我国水产养殖业进一步发展的瓶颈。水产品的高质量得不到保障,不仅对食用者产生不同程度的危害,而且严重影响了我国水产品的出口贸易。现有的传统养殖模式和技术,已经不能适应我国加入 WTO 后对水产养殖发展的要求,必须从根本上解决。因此,健康的养殖技术和食品安全发展战略将成为我国 21 世纪水产养殖研究的重要领域。

1. 水产养殖业的可持续发展面临的生态环境和技术问题

1.1 养殖水域污染和生态环境污染持续加剧

随着我国社会经济的迅速发展和城市化进程的加快,大量的工业废水、农业废水和城市生活污水等不经处理或不按标准处理即排入江河湖泊和海区,其中还含有未充分利用或未降解的农药、化肥等,使其水域受到严重污染,并导致赤潮灾害频发,直接威胁着水产养殖业的生存和发展。海区大面积污染的直接后果就是赤潮的频繁发生以及天然和养殖生物的大批死亡,比如渤海区的莱州湾曾发生大批文蛤死亡,黄海区的乳山湾曾发生大批杂色蛤死亡。又如 1997 年珠江口海域发生的特大赤潮,1998 年在渤海辽东湾和 1999 年发生的渤海湾赤潮(农业部渔业局,2001),都说明我国的海洋环境污染已到了相当严重的程度。2002 年,全海域未达到清洁海域水质标准的面积约 $17.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,近岸海域海水污染范围略有扩大,长江口、珠江口、辽河口等局部海域污染严重。渤海未达到清洁海域水质标准的面积已占渤海总面积的 41.3%。海洋赤潮发生较频繁(2001 年全国海域共发现 79 次),有毒赤潮增加(国家海洋局,2003)。

1.2 养殖生物的危害不断发生

近几年来,由于种种原因,较大规模的水产养殖病害不断发生,每年给国家造成几十亿元的经济损失,尤其以1993年以来的对虾病害损失最为严重。另外,人工养殖的鱼类、扇贝、海带、鲍的病害等也不断发生。据有关资料显示,目前我国已发现包括病毒、细菌、寄生虫、霉菌等病原性和非生物因子引起的病害达100余种。大多数常见的细菌性疾病已能基本控制,但病毒性疾病的防治仍有很大的困难。水产养殖病害的研究和防治工作也取得了很大成绩,但总体上讲,目前对大部分水产养殖品种疾病的发病原因、病原、病理、流行病学等还有待进一步研究,不仅缺少行之有效的早期快速检测技术,更缺少行之有效、无毒副作用的防治药物(赵法箴等,1997),往往在发病后,不能迅速找出原因,无法对症下药,制约了我国水产养殖业的发展。

1.3 缺乏优良的养殖品种

目前,美国、日本以及欧洲的水产养殖品种大多是经过遗传改良的优良品种。在我国,虽然在淡水鱼的遗传育种方面取得了较大的突破,培育出了建鲤、兴国红鲤等优良品种,但总体看来,我国的水产养殖,尤其是海水养殖的重要种类,如栉孔扇贝、牡蛎、牙鲆、蛤仔等基本上是未经选育的野生种。特别是经过累代养殖,出现了遗传力减弱、抗逆性差、性状退化等严重问题。品种问题已成为制约我国水产养殖业稳定、健康和持续发展的瓶颈问题之一。没有大量的优良品种及其生产技术,我们就无法掌握发展水产、发展农业、发展国民经济的主动权(李思发,2000)。此外,有些重要种类如鲷鱼等苗种培育尚未突破技术难关,育苗技术不稳定,远不能满足产业需求。我国多数育苗场的设施设备比较简陋,苗种培育期间各种要素的可控程度差,一旦发生变故,实施应急措施的能力受到极大限制,也制约了新技术的开发和利用,从而影响苗种培育的质量和数量。

1.4 营养与饲料研究滞后于产业发展

研究表明,在影响生态系统和鱼虾抗病力的诸多因素中,饲料的营养和质量是关键因素之一,可以说营养全面的优质配合饲料的使用和普及是水产养殖业技术进步的关键性标志。近年来,水产饲料业方兴未艾,但仍存在不少问题。与水产养殖业的规模化需求相比,渔用饲料的开发和利用技术仍比较落后,甚至比国内畜禽饲料的技术开发水平落后至少5年,许多水产种类的养殖主要依赖天然动物性饵料,导致饵料的成本高、效率低和卫生质量差,且容易造成养殖水域污染(游金明等,2001)。与国外相比,我们的水产饲料研究又存在资金不足、设备落后以及研究手段不完善等缺陷(雷茂良等,1999)。我国拥有知识产权的优质配合饲料品种较少,特别是适于不同生物不同生长阶段的系列配套饲料多数依靠进口,成套配方技术和产业化工程与生产实际要求相差较远,直接影响海水养殖业的健康和可持续发展。

1.5 养殖水域开发利用布局不合理

目前,我国水产养殖水域的开发利用主要存在两大问题,一是内湾近海水域增养殖资源开发过度,二是20 m深线以外水域增养殖资源利用不足。此外,许多地方的养殖密度和布局也不够合理,局部水域开发过度,超过其养殖容纳量,结果导致部分养殖水域出现了养殖个体小型化、死亡率上升、产品质量下降、病害频繁发生等严重问题,无形中增加了养殖成本,降低了养殖业的经济效益。不仅如此,一些地区由于养殖品种的特殊需要,养殖户盲目、大量地开采地下水,致使地下水水位严重下降,海水倒灌。这一状况不仅使养

殖业本身受到影响,也危及到临近居民的生产和生活。

1.6 养殖设施与装备落后

我国陆基工厂化海水养殖已达到相当大的规模,但由于设施与技术的原因,平均单位面积产量与发达国家相比差距很大。同时,由于我们的设施和技术落后,自动化水平低,不仅耗费人力物力,而且导致生产过程可控程度差,影响生产力水平的提高(雷茂良等,1999)。近年来发展迅速的工厂化鱼类养殖、鲍鱼养殖,急需通过设施的更新换代和技术进步实现产业真正意义上的跨越式发展;大幅度提高生产效率、增加水资源的循环利用率、降低生产废水对环境的污染是当务之急。国外在深水抗风浪网箱研究方面已经取得了巨大突破,经济效益显著。我国在20 m水深等深线以外的海水增养殖资源开发利用程度远远落后于海水养殖先进的国家。近年来,我国虽引进和自行研制开发了深水抗风浪网箱,但发展速度较慢,其总体性能和自动化水平还有待提高。

2. 中国水产健康养殖的可持续发展需要解决的科技问题

健康养殖包括养殖设施、苗种培育、放养密度、水质处理、饵料质量、药物使用、养殖管理等诸多方面。它是采用合理的、科学的、先进的养殖手段,获得质量好、产量高、无污染的产品,并且不对环境造成污染,创造经济、社会、生态的综合效益,并能保持自身稳定、可持续的发展。水产健康养殖应满足下列要求:

- (1)合理利用资源(包括水、土、苗种、饲料)。
- (2)人为控制养殖生态环境条件,使养殖环境能尽量满足养殖对象的生长、发育需要。
- (3)各种养殖模式和防疫手段能使养殖对象保持正常的活动和生理机能,并通过养殖对象的免疫系统抵御病原的入侵以及环境的突然变化。
- (4)投喂适当的且能完全满足动物营养需求的饲料。
- (5)有效预防疾病的大规模发生,最大可能地减少疾病的危害。
- (6)养殖产品无污染、无药物残留,安全、优质。
- (7)养殖环境无污染,养殖用水应经过处理后再排放。

2.1 优化养殖条件,保护生态环境

近年来,由于经济利益的驱使,水产养殖出现了盲目发展的现象,养殖规模出现了无度、无序的局面,比如育苗场和养鱼大棚的滥建,浮筏和网箱分布过于密集等。针对这一症结,我们有必要开展环境容纳量和渔业开发布局方面的研究,主要包括:养殖水域初级生产力及其动态变化的研究;养殖水域食物链与营养动力学研究;生态系统对养殖对象的支持能力、养殖对象对生态系统的影响、养殖区水交换特征以及养殖种类摄食生理及生长过程能量收支的研究;养殖开发对水域生物多样性的影响;渔业开发合理布局以及调控模式的研究;网箱养殖对环境的影响效应综合评价的研究;养殖附着物清除及贝类养殖环境污染防治技术的研究;养殖水域清洁生产环境保障技术的研究;养殖环境生态修复技术的研究;工厂化养殖水质调控与水质处理技术的研究;环境监测技术与环境质量指标体系的研究。此外,在可能的条件下,还应建立水域养殖容量估算和预测模型,并最终建立起养殖容量数据库和信息系统。

2.2 加强病害综合防治,规范渔用药物使用

- (1)病虫害的早期快速诊断技术。

进一步加强导致水产养殖严重致病的病原体的发病规律、传染途径、致病机理及传染原等的基础研究,如水产养殖动物主要疾病的病原生物学、流行病学研究;开发病原的商品化快速诊断和检测技术,如单克隆检测、DNA 探针、PCR 诊断试剂盒,建立养殖动物重大病害监测系统,逐步实现对重大病害的预测和跟踪。

(2) 病害的生态防治技术。

水产养殖中的许多病害,不仅与病原生物的存在有关,而且和养殖水体的微生物生态平衡有着密切的关系。换言之,水体微生物群落的组成直接决定着病原生物是否会最终导致病害的发生。因此,通过对水体理化因子与微生物群落的组成关系的深入研究,维持水体的微生态平衡来消除某些病害发生的环境条件,是协调人与自然的关系,促进水产养殖业发展的安全有效途径,不言而喻,将会产生显著的经济效益和社会效益。

(3) 药物合理使用。

目前养殖生产中使用的渔药大多由人药、兽药配制而成,针对性不强。不少渔药的残留严重,长期使用对水体生态环境和人类的健康都将带来严重的威胁。为了人类的健康,尽快研究出针对性强、无毒或低毒、无残留、无公害渔药已成为当务之急。同时加强渔用药物药效、代谢及残留等方面的基础研究,为合理用药提供理论依据,使药物充分发挥疗效而又避免或减少副作用的发生,对保护养殖生态环境,保证水产品的质量,对我国养殖业的健康持续发展具有直接的促进作用。规定处方药和非处方药名单,对处方药实行规范管理,严格执行休药期的规定,禁止药物的滥用现象。

(4) 开展水产养殖动物免疫学及免疫防治技术研究。

如口服免疫增强剂或接种疫苗,通过直接或间接途径刺激养殖动物本身的免疫系统,使动物产生免疫力来达到预防疾病的目的,这样一来可达到一种自我保护。使用免疫增强剂或接种疫苗克服了使用药物后的残留造成对人体潜在威胁,不会使病原菌产生耐药性,同时大大减少了对环境的破坏和污染。所以口服免疫增强剂或接种疫苗是一种及时的、符合环境的、良好的方法,是一种可持续发展的、经济有效的疾病控制策略和手段,所以,应针对常见的、危害大的鱼类疾病开发研制相应的疫苗并推广。

2.3 以获得抗病、抗逆新品种为目的的遗传育种

具有较强的抗病害及抵御不良环境能力的养殖品种,不但能减少病害发生,降低养殖风险,增加养殖效益,同时也可避免大量用药对水体可能造成的危害以及对人类健康的影响。目前,要在这方面取得突破性的进展,必须依靠现代生物技术与传统育种技术相结合的策略。应该加强以下几个方面的工作:

(1) 开展主要水产养殖品种的遗传背景研究。

(2) 开展水产生物种质资源多样性及生物多样性保护研究。建立水产种质资源的胚胎库、细胞库和基因库。

(3) 开展水产生物杂种优势的遗传基础及利用途径的研究。采用现代生物技术、转基因技术、克隆技术、多倍体技术、雌(雄)核发育技术、选择育种、杂交育种、细胞工程育种、分子标记辅助育种及胚胎干细胞介导的基因定点突变育种技术为手段培养优良新品种。

(4) 开展无特定病原(SPF)和抗特定病原(SPR)苗种生产技术和高健康养殖苗种的培育技术研究。

(5) 开展特定性别苗种的培育技术研究。

(6)开展国外优良品种引进、驯化及其种质利用的研究。

2.4 开发优质高效饲料,合理使用饲料

使用优质高效饲料对于提高养殖产品的质量、降低成本、减少疾病的发生、防止环境污染、提高经济效益等具有决定性作用。营养全面的优质配合饲料的使用和普及将是水产养殖业技术进步的标志。我国科技工作者近年来对多种重要水产养殖动物的营养需要和饲料配方开展了系统的研究,但与产业发展的需求相比,渔用饲料技术水平仍然较低。主要表现在配方差,加工工艺落后,导致饵料成本高、效率低和卫生质量差,且容易造成养殖水域污染。系统研究主要养殖种类的营养要求,为其饲料配方设计和筛选提供科学依据,大力开发和研制质量高,稳定性、诱食性和吸收性好并有助于提高免疫功能和抗逆能力,饲料系数低的绿色环保型饲料,加强饲料添加剂的开发与管理,利用高新技术开发具有诱食、促生长、抗菌防病功能的添加剂,将成为水产健康养殖可持续发展的重要保证。

2.5 加快研究和推广健康养殖技术,提高经济和生态效益

可持续的健康养殖要求健康苗种培育、放养密度合理,投入和产量水平适中,通过养殖系统内部的废弃物的循环再利用,达到对各种资源的最佳利用,最大限度地减少养殖过程中废弃物的产生,在取得理想的养殖效果和经济效益的同时,达到最佳的环境生态效益。

养殖设施是开展健康养殖的重要基础,养殖设施的结构,在很大程度上影响水产养殖的效果和环境生态效益。要开展健康养殖,必须以无公害养殖为前提,对现行的养殖设施结构进行改造。开展环保清洁型设施和养殖技术研究,开展生态型立体综合养殖技术研究,开展浅海生态优化养殖技术研究,开展滩涂清洁养殖技术研究,开展池塘优质高效无公害养殖模式的研究,开展深水抗风浪网箱、台筏养殖技术的研究,开展工厂化养殖水质调控与处理技术研究。

2.6 制定有关标准,加强水产品质量监督监测体系建设和质量认证

重点围绕名、特、优水产品,尽快制定和完善现有水产养殖和与食品安全有关的各种标准,建立和完善与国际接轨的水产养殖和食品安全标准体系,加快无公害水产品生产示范园区和绿色食品生产基地的建设。为建立符合我国国情的食品安全科技支撑创新体系,应研究开发我国食品安全中的关键检测、控制和监测技术。

食品安全关键技术可行性报告中认为应从4个方面开展行动,包括研究开发食品安全检测技术与相关设备(把关)、建立食品安全监测与评价体系(溯源)、积累食品安全标准的技术基础数据(设限)和发展生产与流通过程中的控制技术(布控)(宋怿等,2000)。构建共享的食品安全监控网络系统,包括环境和食源性疾病与危害的监测、危险性分析和评估体系。加强水产技术推广和水产品质检队伍建设,充实专业人员,加强技术培训,加快知识更新,尽快适应推行渔业标准化工作的需要。尽快建立健全认证机构,完善认证管理办法,加强水产品质量认证。突出抓好无公害水产品质量认证,搞好绿色食品、有机食品质量认证,推行以HACCP体系等为基础的质量认证,推进农产品原产地域标记注册工作。

第二节 国内外对虾养殖模式研究进展

对虾养殖历史悠久,期间产生了多种养殖模式,如我国的深池高坝养殖、高位池养殖、室内工厂化养殖及生态养殖,国外的跑道式养殖等。这些养殖模式的出现在一定程度上推动了对虾养殖业的发展。因此,了解国内外的对虾养殖模式概况对于进一步改善对虾养殖模式,更好地促进对虾养殖业健康快速发展具有重要意义。

1. 国内养殖模式

1.1 深池高坝养殖模式

此模式是对原建在潮间带的对虾养殖池进行改造,使堤坝高 3.5 m,养殖池水深 2.5 m,池一端设阀门 1 座用于养殖池首次进水和对虾收获,另设单独的蓄水池。虾池进水前将蓄水池、养殖池的池底和堤坝进行彻底冲刷,然后用农药全池泼洒浸泡,以杀灭越冬蟹类、白虾、美人虾等穴类甲壳动物。首次进水通过阀门,使虾池水深达到 2 m 后将阀门用泥土封闭,然后池水用 80 mg/L 的漂液消毒。养殖过程中通过蓄水池进行水的添加,蓄水池中的海水同样经 80 mg/L 的漂液消毒并存放 2 d 后使用。前期各养殖池每 15 d 补水 15 cm,中期每 10 d 补水 15 cm,后期根据水质变化,平均日换水量 5% 左右。该养殖模式放苗密度为 30~45 尾/ m^2 ,每 1 334 m^2 配 1 台 1.5 kW 的增氧机,养殖前期主要在阴天和加水施药后开机 2 h;养殖中期每天 12:00~15:00 和 22:00~次日 07:30 开机,下雨天和阴天全天开机;养殖后期全天开机。利用此养殖模式放养 2 cm 左右的中国对虾,养殖 145 d 左右,成活率为 33%~67%,平均体长 12.1~14.5 cm,产量为 0.33~0.69 kg/m^2 (李健等,2003)。

1.2 围隔养殖

围隔对虾养殖模式是建立在生态学基础上的环保、高效养殖模式,其池塘的四面采用地膜护坡,四周用围网防蟹,隔离细菌、病毒等。在养殖过程中,池塘只添加少量经蓄水池消毒处理过的水,基本做到养殖期间不向外界排水,以有效保护外界生态环境,做到无公害养殖,且提高了单位水体的对虾产量,是传统养殖模式向现代化养殖模式转变的一个方向。

养殖池塘水深一般为 1.5~2.0 m 之间,并设有一个阀门。设蓄水池,其进水阀门用 80 目筛绢网过滤所进海水。蓄水池的海水及放苗前养殖池的海水均经消毒处理。每亩养殖池配备 0.75 kW 的增氧机。放苗密度为 5 万尾/亩^①左右。下面介绍一种池塘陆基实验围隔的基本制作方法(李德尚等,1998)。

围隔由围隔幔和支架组成,正方形,面积为 25 m^2 (5 m×5 m),高 2.0 m,水深 1.5~1.8 m,容积 37.5~45 m^3 。围隔幔为涂塑高密度聚乙烯编织布,将编织布合成高 2.5 m,长 22 m (包括 2 m 接头)的长方形。在两端总长(以 20 m 计)的 1/4 处各垂直缝上一条 1

① 亩为非法定单位,考虑到生产实际,本书保留亩作为计量单位,1 亩=667 m^2 。

m 长的尼龙拉链。一条在上半部,上端从围隔幔的上缘向下 0.5 m 处(即最高水位处)开始,另一条在下半部,其下端从围隔幔的下缘向上 0.5 m(即地面)处开始,两条拉链都从下向上拉。拉链内侧缝有一片聚乙烯衬网,以防止拉链被拉开时养殖生物逃逸;支架为木桩(直径 10 cm,长 3~4 m),青竹(直径 5 cm,长 4 m)和竹竿(直径 2 cm,长 2 m 左右)。

安装时首先将池水排干,平整池底,每个围隔共用 8 根木桩,间隔 2.5 m,将木桩定位打入池底。当池塘为软泥底时,需打入池底 1 m 深,而当池底较硬时,则可相应浅些。木桩打好后,在两桩间连接线上挖 0.5 m 深、直而窄的沟;将围隔幔沿木桩外侧包围在支架上,上缘包住青竹,并用聚乙烯线缝牢;下缘包上砖或泥块,埋入挖好的沟内,埋直压实;围隔幔两端有 1 m 重叠,拉链缝合,此后每个木桩外侧加一根 2 m 长的竹竿,夹住围隔幔,用聚乙烯线上下扎紧。此时围隔便制作成功了。进水时将上下拉链都拉开,向池塘注水,进水速度要慢,以免围隔内外水压力差过大而损坏围隔,当水深超过下部拉链时,将此拉链拉上,继续进水,直到达到需要的水位,然后拉上上部的拉链;排水时首先拉开围隔上部的拉链,对池塘排水,直到水位下降到下部拉链时,拉开下部拉链,直到水全部排出。围隔内的水受风力影响较小,有时为了防止围隔内水分层,往往在围隔中设一台 90 W 的微型电动搅水机搅水。

1.3 高位池养殖

所谓高位池就是潮上带提水对虾精养池,与之对应的是传统的纳潮式对虾池,称之为低位池。高位池养殖主要存在于我国南方地区,如广东及海南等省。其虾池面积一般 2~10 亩,池深 2.8~3.5 m,最大纳水深度 2.5~3.0 m,方形结构,不设进排水阀门。池底中央低,四周略高,坡度为 1%~3%,养成率在 70%以上,亩产量 800~1 000 kg,最高可达 1 500 kg 以上(张文强等,2003)。高位池系统一般由 4 个部分组成,即进水系统、排水系统、养虾池和增氧系统(何建国等,1998)。

进水系统由引水管道、蓄水井(池)、提水动力装备、进水管(渠)组成。由引水管道将海水引入蓄水井(池)中,海水再由提水动力装备抽到进水管(渠)中,进水管和虾池进水口一般安装 60 目过滤网,滤去部分生物。

排水系统由虾池排水口、排水渠或埋于地下的排水管组成,进水系统与排水系统完全分开。有些养殖池排水口在池中央,多数养殖池排水口在虾池一侧。排水管理于低于虾池底的位置。

高位池一般有三种类型:

(1)水泥边坡沙底池。此类高位池的水泥边坡厚度为 5 cm,水泥护坡至池底,池底为硬质,保水性能好,池底铺一层厚度为 10 cm 左右的细沙。优点是安全可靠,牢固耐用,使用周期长;缺点是投资较大,每亩建设成本为 1.5 万~2.0 万元。

(2)地膜池。池底铺设厚度为 0.05 cm 的 HDPE 人工塑料布膜,且地膜在池坝顶端平行延伸 0.5 m 再深埋压好。地膜池易清洗、可隔离池底病毒、不漏水,建设成本为每亩 7000 元左右,可使用 5~8 年。

(3)多级高位池。这种高位池利用地势差建造而成。如张道栋等(2005)的三级高位池,一级池面积 1 亩,长方形,平均深度 2.2 m;二级池 2.5 亩,正方形,平均深度 2.6 m。以上两级池设有中央排污及虾苗排放管;三级池 5.5 亩,正方形,平均深度 3.0 m,设有边排污管。各池全部铺设塑料地膜,各级池落差为 1.2 m。

增氧系统主要是由增氧机和电力系统组成,增氧机为水浮式,一般为每亩水面设置 0.75~1.5 kW 的增氧机。增氧机不但可增加水中的氧气,还可以使池水循环流动,以改善水质。

因此,高位池具有以下特点:

(1)具有提水和蓄水设施,摆脱了低位池受潮涨潮落以及海区水质的影响,可以随时提水排水以调节水质。

(2)排污彻底。排水系统低于虾池底,高于海平面,因此能够彻底排污,虾池不会积水,有利于清淤、消毒和晒池,从而减少病害发生。

(3)虾池生物种类少。由于有引水、提水、过滤等多道程序,以及虾池本身结构致使养虾池生物种类明显少于传统养虾池,有些 WSSV 媒介生物,如蟹类等,在虾池中不能寄居生存,从而减少了对虾发病的机会。

1.4 室内工厂化养殖

我国对虾工厂化养殖始于 1999 年的北海试养,当时用对虾育苗池及废旧的珍珠育苗池养殖南美白对虾,产量较高,经济效益好。2000~2001 年发展有相当规模,新建的水泥池面积 20~400 平方米/个,多数 100 平方米/个左右,产量一般 2 500 千克/亩。林琼武等(2001)报道室内工厂化养殖日本对虾 87 d,产量达 0.818 kg/m³,平均存活率为 50.1%。陈弘成(2000)报道工厂化养殖凡纳滨对虾的最高产量可达到 20 kg/m² 左右。工厂化养殖位于塑料或玻璃温室内,其池塘、增氧设施及排换水系统都有别于露天池塘养殖。

(1)池塘。对虾工厂化养殖池一般建于具有透明屋顶的温室内或池顶部设拱形梁,其形式多种多样,包括圆形池、长方形池、环道式池、椭圆形池、近长方形池及正方形池等,均为水泥构建,多弧形池角,池深 2.0~2.5 m。其中使用效果较好的为圆形或近圆形池及环道式池,其共同特点是池水可做环形流动,使池内水质条件均一,同时又便于将虾的粪便等废物及时排至池外,保持池内清洁。池塘面积多为 100~1 000 m²,水深 1.2~1.8 m,池底以小坡度(0.5%)顺向排水口。圆形池中央排水口周围约 2 m 半径范围内建成锅底形,利于聚集污物。同时虾池大多设有排水闸门,以利于换水和收捕对虾。

池塘的结构对于产量具有重要影响。李仁伟等(2002)对室外围塘与室内池养殖南美白对虾进行了比较,室外围塘放养密度 83.3 尾/平方米,室内池放养密度 571.4 尾/平方米,分别管理,结果室外围塘产量为 0.58 kg/m²,室内池产量为 2.1 kg/m²;李健等(2003b)在对虾工厂化养殖试验中放养密度为 200~400 尾/平方米,养殖面积 4 000 m²,对虾成活率为 55%~65%,平均产量达到 3~4 kg/m²,其中一个 800 m² 养殖车间产量高达 5 kg/m²;陈弘成(2000)报道室内长条式立体养殖小白虾,其产量最高可达 20 kg/m²。可见良好的池塘结构是进行高密度养殖和获得高产量的基础。与传统池相比,工厂化养殖池优点在于:①养殖环境为独立封闭体系,进排水受到严格的控制,能有效阻止疾病的传播;②多位于室内或具拱顶,受外环境的影响小,可进行反季节生产;③便于利用机械化设备及微生态制剂等,可进行高密度养殖。

(2)进水及排污设备。进排水设备的研究以减少能量消耗和降低噪音为重点。现有的进水设备包括离心泵、真空吸泵、潜水泵、柴油机泵等;也有通过渠道借助于水位自流入塘的,这多用于外源水位较高,池塘较低的地区。方向以垂直于圆形池塘半径,或沿池塘的切线方向进水,便于推动水体的流动;养殖用水的排放多采用池底的中央排污管排出,

国内外大都采用这种方式;也有的利用吸污泵或虹吸管将池底的污泥和废水一起泵出的。最近 Millanetal(2003)研究发现,离心泵能够将水体中较大的颗粒($>100\ \mu\text{m}$)打碎为中等大小的颗粒,对微型颗粒($5\sim10\ \mu\text{m}$)的数量没有影响,且泵水过程中能在一定程度上把对水生动物有害的小颗粒泵出。因此,我们在进排水设备的选择时还要考虑池塘的水质状况,以使其在最佳的设计参数下发挥最高效率。

(3)增氧设备。高溶氧量是养虾成功的关键,它不仅直接提供对虾呼吸用氧,同时还可调节其他水质因子,使水质保持在较好的水平,被认为是水产养殖中最关键的限制因子(Foss *et al.*, 2003)。传统方式养殖密度低一般不需要增氧,而工厂化养殖密度高,及时进行增氧是非常重要的。增氧方式大致有三种,一是借助于空气增氧机或制氧机进行的机械增氧。空气增氧机如叶轮式、水车式、涡旋式、喷水式、涌水式、斜射式、充气式、射流式等。它们又可以分为两类:水面搅拌式和重力跌水式。但是它们都存在不同的缺点,水面搅拌式不提水或提水能力差,造成底部缺氧;重力跌水式增氧是溅起的水与空气接触增氧,效率低且噪音大;而使用制氧机的增氧效果好于空气增氧机,Ilya-Gelfand 等(2003)在罗非鱼和乌鲤鱼的工厂化养殖中前期利用充气式增氧机,溶氧量徘徊在 $4.0\sim7.5\ \text{mg/L}$ 之间,后期改用制氧机,溶氧量稳定在 $6.0\ \text{mg/L}$ 以上;工厂化养殖的增氧动力在 $15\sim20\ \text{kW/ha}$,一般每千瓦可以增产约 $500\ \text{kg}$ (Boyd, 1988);二是纯氧和富氧增氧,纯氧是指液态氧,其含氧量为 99.9% ;富氧是指含氧量 90% 左右的分子筛氧,它是由 $5\text{\AA}$ 分子筛或膜分离获得。利用纯氧和富氧增氧具有效果好,无噪音,无污染等优点,国外大规模的工厂化养殖厂大都采用纯氧或富氧法增氧。但其缺点是动水能力差、制氧设备投资较大且运输和储存需要专门的设备,在我国养殖业中应用较少;三是超级氧化增氧,它源于美国的超临界水氧化技术,是集水处理和增氧于一体的新技术。它为美国国家关键技术,除美国外其他国家尚无法利用。

1.5 综合养殖

对虾综合养殖是指在半精养和接近半精养的粗放养殖(投苗不投饵)对虾池中,利用各品种的生物学特性,合理利用季节、空间、层间差,进行多品种混养或轮养的生态养殖业(丁天喜等,1996)。它采用生态平衡、物种共生互利和对物质多层次利用等生态学原理,人为地将相互有利的虾、鱼、贝、藻等多种养殖种类按一定数量关系综合在同一对虾池中进行养殖。它使虾池中各生态位和营养位均有养殖对象与之相对应,可起到增强养殖生态系统生物群落的空间结构和层次、优化虾池生态结构、加强虾池生物多样性等作用;养殖系统中各种生物通过各级食物链网络相互衔接,能充分利用养殖水体中各种天然饵料资源或人工饲料,提高虾池物质和能量的利用率,同时,养殖生物的代谢产物又可被细菌分解、光合生物吸收同化,既提高了虾池的初级生产力,又促进了虾池水体环境的自我净化,防止自身污染,有利于提高对虾等养殖生物的生长速度和抗病能力;系统内各组分通过相互制约、转化、反馈等机制使能量和物质的代谢保持相对的动态平衡,并具有较强的自我调节能力和抵御外来干扰的能力,这样无需通过大量换水等生产措施就可使虾池生态系统保持稳定,可以实行半封闭或全封闭式养殖,从而有效阻断虾池与外界环境的水体交换,对保护生态环境、防止病源传入虾池、控制养殖生物流行性疾病的暴发和蔓延具有积极意义(黄鹤忠,1998)。

早在 20 世纪 60 年代,我国就开始进行对虾与贝类混养的生产试验(项福亭等,1994)。