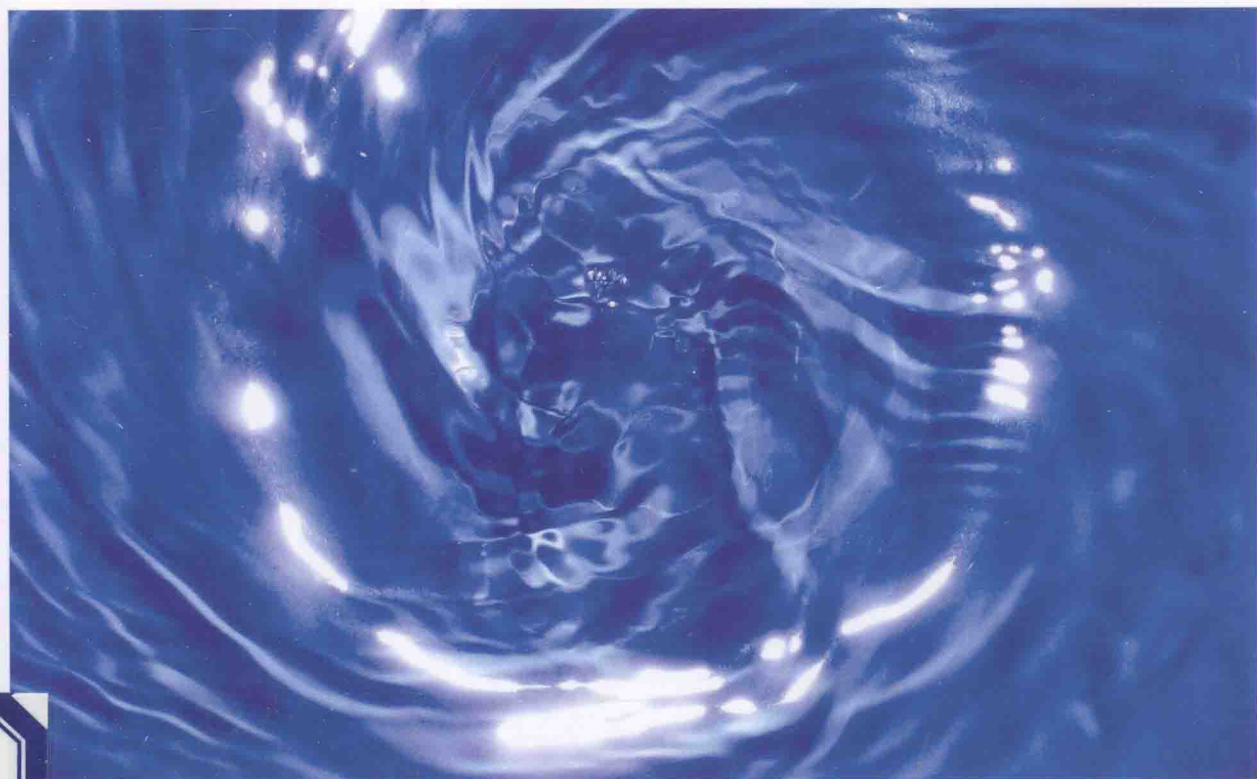


海水工厂化循环水 工程化技术与高效养殖

马绍赛 曲克明 朱建新 编著



海洋出版社

海水工厂化循环水工程化 技术与高效养殖

马绍赛 曲克明 朱建新 编著

海洋出版社

2014 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

海水工厂化循环水工程化技术与高效养殖/马绍赛, 曲克明, 朱建新编著. —北京: 海洋出版社, 2014. 1.

ISBN 978 - 7 - 5027 - 8723 - 3

I. ①海… II. ①马… ②曲… ③朱… III. ①循环水 - 海水养殖 - 鱼类养殖 - 研究
IV. ①S965. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 261746 号

责任编辑: 方 菁

责任印制: 赵麟芬

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 15.25

字数: 360 千字 定价: 48.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前言

海水工厂化循环水养殖作为一种先进的养殖模式,其在集约化养殖程度、水资源利用、养殖废水排放控制、土地利用率、健康养殖效果、产品质量安全等方面均具有明显优势,在世界沿海发达国家的工厂化养殖中被广泛采用。因此尽快研发低成本、节能型、符合国情及产业发展特点,具有自主知识产权的工厂化循环水养殖工程化技术与设备,构建生产体系,已成为我国产业发展的迫切要求。

“九五”以来,科技部将“海水工厂化循环水养殖”的相关技术研究与开发列入国家科研计划。本书编著者先后主持或参与了国家“863”计划课题“工厂化养殖海水净化和高效循环利用关键技术的研究”、“工厂化鱼类高密度养殖设施的工程优化技术”、“工厂化海水养殖成套设备与无公害养殖技术”课题和国家科技支撑计划“工厂化养鱼关键技术及设施的研究与开发”、“工程化养殖高效生产体系构建技术研究与开发”、“节能环保型循环水养殖工程装备与关键技术研究”课题的研究工作。现将这些研究成果进行汇集加工,整理完善,编辑成册,目的是更好更方便地促进成果转化和推广应用,以提升我国海水工厂化高效养殖工程技术的水平,推动产业升级换代。

本书共分十一章,其中第一章概述,第二章工厂化循环水鱼类养殖系统工程优化与设计,第三章设施设备研发,第四章工厂化循环水养殖系统中生物滤池与生物挂膜,第五章水质在线监测系统的研发与应用,第六章养殖技术,第七章养殖生物的环境胁迫,第八章养殖外排废水处理技术,第九章循环水高效鱼类养殖经济效益分析,第十章应用案例,第十一章知识产权:发明专利及软件著作权。

随着海水循环水养殖不断地发展,“工业化养殖”的概念日渐形成,为水产养殖模式的“革命”和终极目标提出了新的更高要求。“工业化养殖”的核心是设备与技术的现代化,工程工艺与运行管理的标准化,生产经营规模

化,养殖效益最大化,产品质量优质化,养殖环境生态化,产业发展可持续化。实现这一目标将是一项带有挑战性的任务,期待本书能为其发挥一点作用。

由于编著者水平所限,书中不妥和纰漏之处在所难免,恳望读者给予指正。

编著者

2013年6月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 工程化技术与体系构建	(1)
第二节 海水工厂化循环水养殖发展趋势	(4)
第二章 工厂化循环水鱼类养殖系统工程优化与设计	(7)
第一节 工厂化养鱼水处理系统工程	(7)
第二节 不同模式的工厂化循环水养殖设施	(11)
第三节 工厂化海水养鱼循环系统的工艺流程	(13)
第四节 节能环保型海水鱼类工厂化养殖工程构建技术	(18)
第五节 半滑舌鲷封闭式循环水养殖系统的设计与应用	(20)
第六节 海水循环水养殖系统工程优化设计	(27)
第七节 节约型海水鱼类循环水养殖车间工艺设计	(32)
第三章 设施设备研发	(43)
第一节 彗星式纤维滤料过滤器的研制	(43)
第二节 蛋白质分离器的研究与设计	(49)
第三节 紫外消毒技术与模块式紫外线消毒装置研发及应用效果	(53)
第四节 工厂化循环水养殖排污系统与排水系统研究与设计	(57)
第四章 工厂化循环水养殖系统中生物滤池与生物挂膜	(63)
第一节 生物滤池的研究	(63)
第二节 自然微生物生物膜形成过程	(66)
第三节 生物挂膜影响因素及消氨效果分析	(71)
第四节 生物滤池生物膜与水样中细菌数量及其 PCR - DGGE 分析	(75)
第五节 微生态制剂对生物挂膜及牙鲆生长的影响	(82)
第六节 生物载体上微生物群落结构变化分析	(86)
第五章 水质在线监测系统的研发与应用	(100)
第一节 基于无线通信的水质监测系统的设计与实现	(100)
第二节 多点在线水质监测系统的研究	(118)

第六章 养殖技术	(122)
第一节 工厂化牙鲆的高密度循环水养殖技术	(122)
第二节 养殖密度对大菱鲆生长和免疫的影响	(125)
第三节 水处理效率及半滑舌鳎养殖效果分析	(129)
第四节 过饱和溶氧对大菱鲆生长的影响	(135)
第七章 养殖生物的环境胁迫	(141)
第一节 不同溶氧条件下亚硝酸盐和氨氮对半滑舌鳎的急性毒性效应	(141)
第二节 过饱和氧条件下亚硝酸盐和氨氮对大菱鲆的急性毒性效应	(145)
第三节 不同溶氧条件下亚硝酸盐和氨氮对中国对虾的急性毒性效应	(149)
第四节 不同溶氧水环境对大菱鲆消化酶的影响	(153)
第五节 不同溶氧水环境对大菱鲆免疫力的影响试验研究	(159)
第八章 养殖外排废水处理技术	(166)
第一节 养殖废水处理技术概况	(166)
第二节 孔石莼和龙须菜对氮磷营养盐去除的实验研究	(169)
第三节 贝、藻混养处理大菱鲆养殖废水	(171)
第四节 人工湿地净化氮、磷及其在水产养殖中的应用研究新进展	(179)
第五节 人工湿地净化海水养殖外排水影响因素与效果	(186)
第九章 循环水高效鱼类养殖经济效益分析	(197)
第一节 半滑舌鳎的循环水养殖模式及经济效益分析	(197)
第二节 循环水系统推广前景	(203)
第十章 应用案例	(204)
第一节 工程化鲆鲽类养殖高效生产系统	(204)
第二节 水质在线监测系统的研发与应用	(213)
第三节 养殖外排水无害化处理技术—人工湿地研究与构建	(218)
第四节 生物净化系统设计与应用	(222)
第十一章 知识产权:发明专利及软件著作权	(227)
第一节 授权发明专利及软件著作权	(227)
第二节 发明专利简介	(228)

第一章 概述

第一节 工程化技术与体系构建

一、工程化技术与体系构建进展

工厂化循环水养殖(Recirculating Aquaculture System, RAS),其主要特征是水体的循环利用,它不同于普通的工厂化养殖,其综合运用机械、电子、化学、自动化信息技术等先进技术和工业化手段,控制养殖生物的生活环境,进行科学管理,从而摆脱土地和水等自然资源条件限制,是一种高密度、高单产、高投入、高效益的养殖方式^[1-2]。

我国海水工厂化养殖始于20世纪70年代,80年代突破了梭鱼、真鲷、黑鲷、河鲀等鱼类工厂化养殖技术,但由于养殖成本较高,效益低,未能在较短时间内形成产业。直到90年代初,在日本、韩国工厂化养殖牙鲆的影响下,国内北方沿海地区相继建成了一批牙鲆工厂化养殖场,通过养殖新技术的引进、消化、吸收、提高和创新,形成了别具特色的工厂化牙鲆养殖产业。特别是在90年代末和21世纪初,随着大菱鲆新品种繁育和苗种培育技术难关的攻克,迅速带动了海水工厂化养殖的发展。建立了温室养殖车间+深井海水的流水养殖模式,并得到推广应用,使我国的海水工厂化鱼类养殖进入了快速发展历程。目前,我国海水工厂化养殖水面接近800万m²,成为海水工厂化养殖大国。然而,在近800万m²养殖水面中约有97%的养殖水面为开放式流水养殖模式,仅有3%左右的养殖水面实施了封闭式或半封闭式循环水养殖模式。对于开放式流水养殖模式而言,其设施简陋,生产效率低,经济效益差,养殖鱼类平均单产仅10 kg/m²左右;与此同时,养殖废水未经处理的肆意排放,加剧了近岸海域的污染,反过来又影响了工厂化养殖自身,形成恶性循环。

海水工厂化循环水养殖作为一种先进的养殖模式,其集约化养殖程度、水资源利用、养殖废水排放控制、土地利用率、健康养殖效果、产品质量安全等方面均具有明显优势,在世界沿海发达国家的工厂化养殖中被广泛采用,同时对我国工厂化养殖也产生了重要影响,引起了业内的高度关注和极大的兴趣。早在20世纪90年代中期,一些企业不惜重金从国外进行技术与设备的引进,这在一定程度上推进了我国工厂化循环水养殖产业的技术进步。然而,由于国外的技术和设备的引进投资巨大,运行成本昂贵,养殖企业难以为继。尽快研发低成本、节能型、符合国情及产业发展特点,具有自主知识产权的工厂化循环水养殖工程化技术与设备,构建生产体系,成为产业发展迫切要求。对此,国家和各级政府十分重视。“九五”与“十五”期间,国家科技部将“工厂化循环水”相关技术研究列

入国家高技术发展计划(国家“863”计划),“十一五”又将其列入国家科技支撑计划(国家科技攻关计划)。本书编著者先后主持了国家“863”计划课题“工厂化鱼类高密度养殖设施的工程优化技术”课题和国家科技支撑计划“工程化养殖高效生产体系构建技术与开发”课题,在课题研究团队的共同努力下,取得了一些重要成果,提升了我国海水工厂化循环水养殖工程化水平,构建了具有示范作用的生产体系,为实现我国海水工厂化养殖的标准化和工业化目标奠定了基础。

(一)“十五”国家“863”计划课题主要成果

“十五”针对我国海水工厂化鱼类养殖设施设备落后,单位养殖产量低,能耗高以及养殖废水直接排海产生的环境污染等问题,开展了封闭式循环水养殖工艺与系统工程、设施配研发与优化以及养殖废水集中处理与综合利用技术等研究,取得的主要成果包括以下几个方面。

(1)工厂化养殖重大设施装备攻关。重点研制多功能大流量水质净化设备和高效生物滤器装备,以满足大水面工厂化高效养殖系统的需要。以流态、动力和材料为主要研究内容,以降低设备制造成本和运行能耗、提高水处理效率为目标,研制和改良以下设备:①滤速 80 m/h 以上,去污率达到 91% 的彗星式纤维滤料快速过滤器;②比表面积为 $2\ 100\ \text{m}^2/\text{m}^3$ 的高效微孔净水板;③采用中轴传动,具有水位与反冲洗自动控制新型微滤机;④生产纯氧浓度达到 90% 以上,性能稳定的分子筛制氧机;⑤可同时在线监测 6 项水质指标的多点在线水质自动监测系统;⑥具有高效杀菌功能的模块式紫外线消毒装置;⑦具有降低氨氮、去除悬浮物和增氧等功能的蛋白质分离器;⑧溶解氧可达 12 mg/L 以上的高效增氧装置;⑨筛选和培养了多株净水细菌,建立了快速生物滤器。

(2)工厂化养殖系统自动化与工程技术的优化。以 $1\ 000\ \text{m}^2$ 的大水面为实验单元,进行养殖系统的研究与测试,重点集成多参数多点在线水质自动监测与预警技术,研发水质远程监测与报警系统,建立了鲆鲽类及虾类工厂化养殖高效生产体系和工艺流程。

(3)海水鱼类工厂化循环水养殖示范与推广。主要在山东省青岛市、烟台市、威海市,辽宁省大连市,天津市及广东省等地构建了一批基地,总水面约 $10\ 000\ \text{m}^2$ 。

(4)循环水养殖配套技术的研发,建立了养殖废水鱼、贝、藻综合利用系统,以实现养殖废水的“零排放”。

“十五”获得授权发明专利有:一种由纤维丝束和丝束节构成的过滤材料、多功能海水净化装置及处理方法、采用三重管制作固定化微生物载体的方法、双层底养鱼池、一种低温硝化菌剂及其用途、工厂化循环水养鱼水处理方法、养鱼池循环水多功能固体污物分离器和养鱼池循环水模块式紫外线杀菌装置 8 项。实用新型专利有:养鱼池循环水固体颗粒清除装置和养鱼池循环水高效溶氧器两项。软件著作权:工程化养殖在线水质环境检测系统 1 项。制定的行业标准主要有“水产品工厂化养殖装备安全卫生要求”,“溶氧装置性能试验方法”和“水产养殖电器设备安全要求”3 项,发表论文 18 篇,制定的企业标准 10 余项。

(二)“十一五”国家科技支撑计划课题主要成果

“十一五”,在“十五”国家“863”计划课题的研究基础上,瞄准国际先进水平,立足国

内实际,面向产业需求,针对工程化养殖关键技术进行自主创新和集成创新。在工程化养殖重大设施装备方面,改良与研发了多功能蛋白质分离器、多功能固液分离器装置、模块式紫外线杀菌装置、高效溶氧器装置、固体颗粒清除装置以及多点多参数在线自动水质监测子系统;在工程化养殖高效生产系统构建方面,建成 10 080 m² 水体循环水鲆鲽鱼类养殖系统,并采用无线电和 GPRS 与 GSM 相结合的技术,实施了多参数多点在线水质远程自动监控与报警。其中海阳市黄海水产有限公司 2 000 m² 水面,烟台开发区天源水产有限公司 2 000 m² 水面,山东莱州明波水产有限公司 2 000 m² 水面,大连德洋水产养殖股份公司 2 000 m² 水面,天津立达海水资源开发有限公司 4 080 m² 水面;改建 10 200 m² 工厂化凡纳滨对虾养殖系统,其中青岛市宝荣水产科技发展有限公司改建 5 000 m²,在广东广垦水产发展有限公司阳江分公司、宁海县振海水产养殖有限公司建设了工程化养殖池 5 200 m²,装备 6 套试验性的对虾封闭循环水养殖系统。2008 年 7 月 2 日,邀请专家对构建的系统与运行状况进行了现场验收,养殖鲆鲽鱼类单位产量可达 30 kg/m²。2009 年 9 月 28 日,对海阳市黄海水产有限公司改建的系统与运行状况进行了现场验收,专家根据随机取样估算半滑舌鳎养殖生物量最大达到了 35.78 kg/m²。针对养殖循环水生物处理系统中生物挂膜难的问题,进行了生物处理技术的系统研究,包括自然生物挂膜过程、机理、条件、处理效果以及生产性运行状态研究等,提出了自然生物挂膜的环境条件,建立了生物挂膜操作工艺,并通过 DGGE 条带基因片段的测序分析及入库比对,鉴定出生物膜中的细菌分别属于黄杆菌纲(Flavobacteria)(9 个 OUTs)和变形菌纲(Proteobacteria)(8 个 OUTs)。围绕养殖用水资源高效利用与外排水无害化处理研究内容,进行了人工湿地处理海水养殖外排水试验研究,在青岛市宝荣水产科技发展有限公司建成与工程化虾类养殖高效生产系统相匹配的人工湿地,整个系统占地约 3 200 m²,工程于 2009 年 9 月竣工。人工湿地无害化处理系统,包括预处理池、一级表面流人工湿地、二级垂直流人工湿地和蓄水池等,日处理能力 2 000 m³,对氨氮、磷酸盐的去除率分别高达 88% 和 90% 以上。围绕工程化养殖水质人工调控技术和病害防治技术等研究内容,开展了对虾养殖环境菌藻数量及其变动规律研究,研究结果表明,藻相比较好的水环境对虾生长比藻相衰败的水环境好,平均增重 5%。在封闭的环境生产系统中,对虾、微生物群落以及外源饵料之间相互作用形成了对虾需要的营养要素,特别是一些微型生物,不仅为对虾提供营养要素,而且具有提高水环境的自净能力和调节透明度,减低氨氮浓度等有害物质的作用。研发一种新型消毒剂——克达克消毒剂,对海水常见病原菌,如飘浮弧菌、副溶血弧菌、哈维氏弧菌、鳃弧菌、沙蚕弧菌、溶藻弧菌等,显示了良好的杀菌效果;该消毒剂属表面活性剂类,由于其不易被动物体内组织吸收,大大降低了毒性,使其对养殖生物的细胞基本无影响,对环境无污染。

“十一五”获得授权发明专利有:养鱼虾池微气泡增氧机、养鱼池循环水多功能固体污物分离器、一种用于配合测量水生动物呼吸排泄的装置、养鱼池循环水高效溶氧器、养鱼池循环水固体颗粒清除装置、一种工厂化鱼类养殖双管排污装置、一种工厂化循环水水产养殖系统、一种工厂化循环水养殖系统的排水排污装置、一种用于去除水产养殖中颗粒物的过滤器和鱼类养殖循环水的自然微生物生物挂膜方法 10 项。实用新型专利有:养鱼

虾池微气泡增氧机、养鱼池循环水高效溶氧器、双重过滤自反冲海水悬浮颗粒物去除装置、一种降流式多介质净水过滤装置和养鱼池循环水固体颗粒清除装置 5 项。共发表论文 43 篇,出版专著两部;制定行业标准 3 项,制定生产规程、规范和质量标准 7 项;获得新产品、新材料、新工艺和新装置等共 10 多项。

第二节 海水工厂化循环水养殖发展趋势

随着海水循环水养殖不断地发展,“工业化养殖”的概念日渐形成,为水产养殖模式的“革命”和终极目标提出了新的更高要求。“工业化养殖”的核心是设备与技术的现代化,工程工艺与运行管理的标准化,生产经营规模化,养殖效益最大化,产品质量优质化,养殖环境生态化,产业发展可持续化。经过了“九五”以来 4 个五年计划的研发,我国海水工厂化高效养殖工程化技术得到了较大发展,为实现“工业化养殖”的目标奠定了基础。然而,综观我国工厂化养殖现状与整体技术水平,仍然存在整体推进不够,技术有待创新提高的情况。如前提及,目前,我国海水工厂化养殖水面接近 800 万 m^2 ,仅 3% 左右的养殖水面实施了封闭式或半封闭式循环水养殖模式。已构建的工厂化循环水高效生产体系从规模上看还属示范性的。从整体技术层面看,在已构建的生产体系中,其水处理设备等部分单项技术已达到国际先进水平,但在养殖配套设施设备的机械化、自动化技术等方面,同发达国家比较仍存在差距;水处理系统构建成本高、设施设备间耦合性差、运行能耗高,系统运行不稳定、养殖水环境因子波动较大,亟待进行系统节能方面的研发和循环水养殖关键水处理技术的集成创新;初步研究和开发了高效生物滤器,有效控制和去除养殖水体中可溶性有害物质,如氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐、硫化物等,但生物滤器的运行不稳定,对物质能量转化途径、可持续性、循环潜能、处理容量等方面还有待开展更深层的研究;在养殖用水的循环综合利用方面获得突破,但还需进行深入的研究,以集成环境因子高效调控技术、清洁饲喂技术、环境质量安全监控技术,构建节约型工程化安全高效的养殖工艺;建成了一批工厂化循环水养殖示范基地,但缺乏相关技术标准与规范,未形成标准化体系,不同地区不同企业的养殖技术水平参差不齐,产业化技术集成与示范水平不高,一定程度上制约了大规模推广应用;在高效生物滤器、鱼贝藻综合利用系统、人工湿地生态系统污染物去除技术获得进展,但尚未形成有效的排放废水中污染物快速迁移转化技术,亟待构建工程化养殖废水污染物生态控制、资源化利用及无公害排放处理模式。此外,由于不同地区不同企业养殖水平与管理参差不齐,加之系统的技术耦合性差,操作较复杂,难以发挥系统的高效作用与特点,对有些企业而言呈现出“建不起、用不起、用不好”的尴尬局面。

“十二五”,课题组以科学求实的态度,总结“十五”国家“863”计划课题和“十一五”国家科技支撑计划课题,在工厂化鱼类高密度养殖设施的工程优化技术与工程化养殖高效生产体系构建方面所取得的成果和经验,并对其存在的不足和问题进行了认真分析和研讨,向国家科技部提出了“节能环保型海水工程化高效养殖技术集成与示范”的项目建议,最终得到了国家科技部的立项支持。主要研究内容包括以下几个方面。

1. 节能型设施设备研发与循环水处理技术优化与集成

在“十一五”研究成果的基础上,瞄准国际先进技术,本着节能降耗原则,主要解决以下技术难点和重点:①工厂化养殖用水预处理技术与设备集成和开发,改进现有的养殖用水经简单沉淀、沙滤甚至直接将海水和地下水引入养殖系统的处理方式,减轻水处理系统负荷,优化工艺和水处理个单元耦合,实现节能降耗。②气体快速交换技术与装置的研发,研发高效溶氧和微气泡溶氧装置,实现养殖水体氧气的高浓度快速溶解,保障海水鱼类工厂化高密度养殖;集成二氧化碳快速脱除技术,研发二氧化碳去除装置,降低养殖水体二氧化碳含量。③研制多功能低能耗高效率生物滤器,使之具有水质净化、截留颗粒物、增加水体溶解氧、调节 pH 等多项功能。以全部或部分替代高效滤器和泡沫分离器的作用,从而大幅度减少用电量。④从材料、动力和流态角度出发,优化养殖及水处理系统的节能降耗工艺,与“十一五”普遍采用的工厂化循环水养殖系统相比,系统节能 30% 以上。

2. 工厂化健康养殖生产技术

工厂化循环水养殖是一个十分复杂的生产过程,在同样的设备设施条件下,采取不同工艺流程将产生不同的生产效果,因此工厂化循环水养殖工艺流程需要不断地优化、完善和提高。主要解决以下难点和重点:①查明工厂化养殖鱼类在高密度养殖条件下的生长发育与环境因素相互关系,开发工厂化养殖主要环境因子的高效调控技术,并为养殖水体环境质量安全监控提供技术支撑。②集成工厂化养殖清洁饲喂技术与环境质量安全监控技术,建立健康养殖生产管理模式。③对环境因子高效调控技术、清洁饲喂技术和环境质量安全监控技术进行集成,构建节约型工厂化安全高效的养殖工艺,生产无公害水产品。

3. 养殖排放废水资源化、无害化处理技术

养殖排放废水对局部海域的影响,表现在:一方面对生态环境造成了危害;另一方面由于环境问题又给养殖自身的发展产生了负面效应。主要解决以下技术难点和重点:①集成高效生物滤器、鱼贝藻综合利用系统、人工湿地生态系统污染物去除技术,形成有效排放废水中污染物快速迁移转化技术,并优化养殖废水的污染物去除工艺。②构建工厂化养殖废水污染物生态控制、资源化利用及无公害排放处理模式,构建既可给企业带来经济效益又有利于环境保护的资源化、无害化养殖排放废水处理系统。

4. 工厂化养殖标准化研究

通过开展工厂化养殖车间建设、养殖生产与水处理设施设备、养殖与水处理工艺、工厂化养殖生产管理等的标准化研究,制定相关标准或规范,构建标准化体系,并进行工厂化养殖的标准化生产示范。

预计“十二五”末,乃至更长的几年里,将在以下方面取得更大发展:①养殖用水循环利用,污染物“零排放”,环境友好;②免药物病害防治技术,生产绿色安全水产品;③采用高效配合饲料及自动投饵系统,提高饲料的利用率;④采用自动水质监测与控制系统,使养殖环境达到养殖生物的最佳生长条件;⑤采用高效纯氧增氧系统,大幅度提高单产;⑥采用鱼池自动排水与排污系统,有效去除三态氮;⑦对重大设施装备进行集成创新,优

化养殖与水处理工艺,降低能耗,提高效率;⑧高度重视生物滤器的构建技术,有效地控制和去除养殖水体中可溶性有害物质。

我国是一个渔业大国,也是养殖大国,但不是渔业强国。如何进一步提升我国工厂化海水养殖的科技水平和技术含量,从而成为渔业强国,对保障我国粮食安全和加强渔业在国际上的竞争力,具有重要的战略意义。工厂化循环水养殖由于应用了较多的水处理设备及先进的科学技术,能够体现一个国家的水产养殖科技水平和技术含量,在集约化养殖程度、水资源利用、养殖废水排放控制、土地利用率、健康养殖效果、产品质量安全等方面均具有明显优势,既可通过合理利用自然资源,保护养殖生态环境,又获得了更多更好的无公害水产品,保障了食品安全,因此符合国家粮食安全和渔业强国需求。同时,也是我国陆基海水养殖可持续发展的必然选择。

参 考 文 献

- [1] 吴凡,刘晃,宿墨. 工厂化循环水养殖的发展现状与趋势. 科学养鱼,2008(9):72-74.
- [2] 曲克明,杜守恩. 海水工厂化高效养殖体系构建工程技术. 北京:海洋出版社,2010:7-17.

第二章 工厂化循环水鱼类养殖 系统工程优化与设计

第一节 工厂化养鱼水处理系统工程

“十五”期间,在国家“863”计划“工厂化鱼类高密度养殖设施的工程优化技术”课题的实施过程中,课题组^[1]对海水工厂化养殖牙鲆、大菱鲆的循环水处理系统工程进行了研究,测定了系统各环节的设备性能及水质指标,确定了工艺流程。

一、材料与方法

(一) 试验时间和地点

从2001年8月起,在山东省莱州明波水产有限公司进行了海水工厂化养殖牙鲆、大菱鲆水处理系统工程的试验及研究。

(二) 试验仪器和设施设备

自行研制的 $\phi 1\ 800\text{ mm}$ 高效过滤器4台、W150 $\times$ 2000微滤机2台、 $\phi 1\ 800\text{ mm}$ 溶氧罐1个;自行建造5 m $\times$ 15 m $\times$ 2 m综合气浮池1个、5 m $\times$ 4.5 m $\times$ 2 m生物净化池1个、6.61 m $\times$ 6.61 m $\times$ 1 m水泥养鱼池43个;四平换热器厂产BRB0.5-13-1.0-E热交换器6台;上海环保设备厂产XY-76型臭氧发生器2台、 $\phi 600\text{ mm}$ 溶气罐1个;美国产YS I556 MPS水质监测仪1台;德国产K1000₃臭氧测控仪1台;安庆市无油压缩机厂产ww 60/10型空气压缩机2台;上海神风SF-2000增氧机3台,舟山森森HG-3800鼓风机2台。

(三) 试验方法与内容

将自然海水用水泵输送到室外水泥池中进行初步过滤与消毒处理,再输送到封闭式水处理系统中,按照初步设计的工艺流程经过不同的环节对养殖用水进行严格、精确的处理,确保各项水质指标(温度、盐度、溶氧、pH、氨氮、BOD、COD、SS等)达到鱼类健康生长的要求,处理好的海水被输送到养鱼池,从鱼池中排出的混有鱼的排泄物、残饵及其他杂质的海水再流至封闭式水处理系统的始端进行下一个循环。在循环过程中,由于冲洗用水及管道和鱼池的损耗,需要定期补充循环水(循环量的20%)。通过试验,进行分析研究,确定水处理系统最终工艺流程。对各水处理单元分别进行设计、计算。对臭氧消毒进行全面系统的研究,确定对于不同养殖对象臭氧的最佳投入量及衰减周期。

二、试验结果

(一) 循环水量

养鱼水面共 $1\,700\text{ m}^2$, 鱼池水深 0.8 m , 每两小时循环 1 次, 每小时循环水量为 $1\,700\text{ m}^2 \times 0.8\text{ m} \div 2\text{ h} = 680\text{ m}^3/\text{h}$ 。

(二) 工艺流程

根据海水工厂化循环水养殖牙鲆和大菱鲆的特点, 经过反复试验与研究, 确定了系统的工艺流程(图 2-1)。系统进行牙鲆和大菱鲆成鱼的养殖, 运转良好。

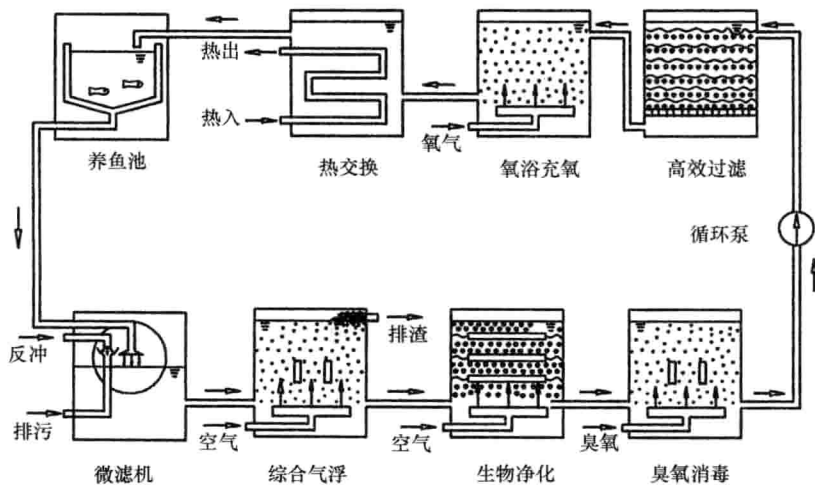


图 2-1 工艺流程

(三) 综合气浮池的设计与计算

气浮是以微小气泡作为载体, 黏附水中的杂质颗粒, 使其密度小于水, 颗粒被气泡携带浮升至水面而被分离出去。根据设计生物承载量为 $40\text{ kg}/\text{m}^3$, 气浮池有效体积为 180 m^3 , 气浮池尺寸为长 8 m 、宽 5 m 、深 2.5 m (图 2-2)。由 $\phi 600\text{ mm}$ 溶气罐产生的气水混合物经 27 支 TS-82-III 释放器产生 $\phi 30\text{ }\mu\text{m}$ 的微细气泡进行增氧。

设计时除考虑气浮池的一般用途外, 还根据海水工厂化养殖循环水为低污染水这一特点, 在气浮池中悬挂了自行研制的起生物净化作用的高效净水板, 其比表面积为 $2\,000\text{ m}^2/\text{m}^3$, 沿气浮池均布, 间距 50 cm 。

确定设计参数: 循环水量(Q) $680\text{ m}^3/\text{h}$; 停留时间 15 min ; 溶气压力 0.3 MPa ; 回流比(R) 2% ; 水流上升速度 $20\text{ mm}/\text{s}$; 试验条件下释气量(a_c) $10\text{ L}/\text{m}^3$; 水温校正系数(ψ) 取 1.1 ; 安全系数(ψ) 1.1 。

气浮所需空气量: $Q_g = Q R a_c \psi = 680\text{ m}^3/\text{h} \times 2\% \times 10\text{ L}/\text{m}^3 \times 1.1 = 149.6\text{ (L/h)}$

空压机额定气量: $Q'_g = \psi' Q_g = 1.1 \times 149.6\text{ L/h} = 165\text{ L/h} \approx 0.17\text{ m}^3/\text{h}$

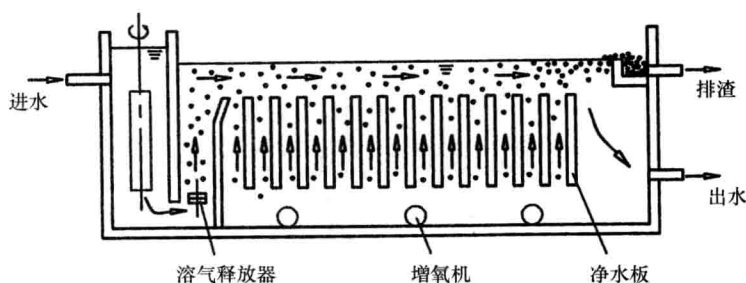


图 2-2 综合气浮池

由于净水板上接种的主要是硝化细菌和氨同化菌,还有自然挂膜的土著细菌,均属好氧菌类。硝化细菌将 1 mg 氨氮转化为硝酸盐时需耗氧 4.57 mg,如果水体中的溶氧量低于 4.75 mg,硝化过程将不能进行。因此,必须在生物滤池中配置曝气增氧装置,其作用不但是补充硝化细菌在硝化过程中消耗的氧气,还可将硝化细菌在硝化过程中产生的氮气及其他有害气体驱除出去。由于系统实际最大生物承载量为 50 000 kg(成鱼),最高时每天产生的氨氮达 100 kg,平均每小时耗氧 19 kg,加上水体中其他耗氧物质的耗氧量,每小时至少需 20 kg 氧。故配置 3 台神风 SF-2000 型强力曝气增氧机均布在池中,为生物滤料增氧。

(四) 生物接触氧化池的设计

平均日循环水量 $Q = 680 \times 24 = 16\,320 (\text{m}^3)$, 进水 BOD_5 浓度 (L_2) 10 mg/L, 出水 BOD_5 浓度 (L_1) 5 mg/L, 容积负荷 (M) 以 BOD_5 计为 $2\,000 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 气水比 $D_0 = 0.8 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

生物床有效容积 $V = Q(L_2 - L_1)/M = 16\,320(10 - 5)/2\,000 = 40.8 (\text{m}^3)$, 取 45 m^3 。

生物床总面积 $S = V/H = 45/2 = 22.5 (\text{m}^2)$ 。

生物床需气量 $D = D_0 \times Q = 0.8 \times 680 = 544 (\text{m}^3/\text{h})$, 取 $600 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

生物接触氧化池长 5 m、宽 4.5 m、高 2 m, 总水体为 $5 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 45 \text{ m}^3$, 顶部为滴流板, 滤料采用 SNP 生物滤料, 比表面积 $1\,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$, 滤料投放量为 30 m^3 。每个滤料单元都存在着好氧、亏氧和厌氧 3 种不同的微环境, 以适应不同类微生物的生长条件, 可以使硝化、反硝化脱氮同时进行, 提高了净化效果。该氧化池为全封闭结构, 侧面设 DN600 通风口两个。用流量 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ 、压力 31 kPa、功率 3 kW, HG-3800 鼓风机两台为氧化床充气增氧(图 2-3)。

三、讨论

(一) 综合气浮池的特点

试验表明, 综合气浮池达到了设计要求, 同时具有气浮除渣、生物净化和过滤 3 种功能。与其他气浮池相比有以下优点: ①充分利用分离区下部空间, 容积效率高; ②便于与

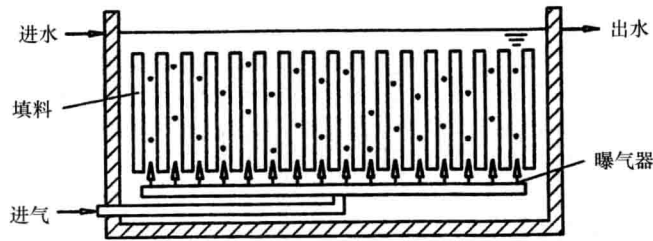


图 2-3 生物接触氧化池

后续处理工序在高程上的配合;③悬浮物去除率高;④具有降低氨氮的功能;⑤节省能源,便于维护管理。

(二) 几种生物净化方法的比较

生物接触氧化法具有运行费用低、节省能源、污染小、可持续发展性强等优点(表 2-1)。随着现代生物技术的发展,生物净化在水质处理中将占据重要位置。对生物净化滤料——净水板进行了研究,已研制出一种新型高效净水板,以高分子材料制成,其比表面积大于 2 000 m²/m³。生物接触氧化床,以 SNP 生物滤料和自行研制的高效净水板作为净化填料,其优点是:①积负荷高,以 BOD 计为 3 kg/(m³·d);②处理时间短,0.5 h;③占地面积小,22.5 m²;④生物活性高,耗氧速率是普通生物滤池的 1.8 倍;⑤微生物浓度高,20 g/L,约为普通生物滤池的 8 倍;⑥出水水质好且稳定,BOD₅小于 5 mg/L;⑦动力消耗低,由于高效填料的存在,起到切割气泡、增加紊动作用,增大了氧的传递系数,省去污泥回流,可节省动力 30%。

其缺点是:①填料上生物膜的数量视 BOD₅负荷而异。BOD₅负荷高,则生物膜数量多,反之亦然;②当采用蜂窝填料时,如果负荷过高,则生物膜较厚,易堵塞填料。所以,必须要有负荷界限和必要的防堵塞冲洗措施;③组合式接触填料有时会影响曝气效果。

表 2-1 几种生物处理方法比较

项 目	生物接触氧化法	生物转盘法	普通活性污泥法
BOD ₅ 负荷/(kg·m ⁻² ·d ⁻¹)	1.5	5~10 g/(m ² ·d)	0.6
池自身占地面积	中	大	大
设备费用	较小	较大	较大
运行成本	稍小	小	大
电耗	稍大	小	大
培菌驯化	容易	容易	20~30 d
污泥量	最少	少	多
维护管理	容易	容易	难