

文章编号: 1674-5566(2010)01-0041-09

中国水产养殖水体净化技术的发展概况

王 玮¹, 陈 军², 刘 晃², 何雅萍¹

(1. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092

2. 农业部渔业装备与工程重点开发实验室, 上海 200092)

摘 要: 养殖水体净化技术是现代水产养殖工程的组成部分之一, 是以养殖水体为研究对象, 利用可控的人工措施, 采用物理、化学、生物等方法改善养殖水体环境, 以解决水产品安全、鱼类疾病及资源环境等问题, 提高水产养殖生产力。中国目前的养殖水体净化技术主要有: 机械过滤、紫外线和臭氧杀菌、水体增氧、人工湿地和人工培育有益藻类或投放生物制剂等, 常用的装备有: 池塘清淤机、水质净化杀菌装置、过滤器、高效生物净化器、增氧装备和水质自动监控系统等, 解决了养殖水体有机颗粒物过滤分离、生物净化、消毒杀菌和水质自动检测等养殖水体净化基本问题, 形成了有一定特色的养殖水体净化系统模式。通过回顾中国养殖水体净化技术及常用水处理机械的发展过程, 简要介绍了国内外养殖水体净化技术的现状和最新研究进展, 为中国的水产养殖净化技术在高效、节能、集成化程度进一步发展方面提供基础理论依据, 为养殖水体净化技术标准化体系的研究及新技术的适用性和经济性研究提供新的思路。

关键词: 水产养殖; 水体净化; 水处理机械; 回顾; 现状; 最新进展

中图分类号: S 969.38 文献标识码: A

The overview of aquaculture water purification technology in China

WANG Wei, CHEN Jun, LIU Huang, HE Yaping

(1. Fishery Machinery and Instrument Research Institute of

Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China

2. Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture, Shanghai 200092, China)

Abstract: Aquaculture water purification technology is one part of modern aquaculture engineering. Taking water body as object of study, its aim is to solve the problems of aquatic products safety, fish diseases and resource environment, by using controllable artificial measures, and physical, chemical and biological methods to improve the aquaculture water environment. The current aquaculture water purification technology in China mainly includes physical filtration, ultraviolet & ozone disinfection, water aeration, artificial wetlands, artificial propagation of useful algae or application of biological agents and so on. The commonly used equipment includes pond dredger, water purification and sterilization device, filter, aerator, water quality automatic monitoring system and so on. By application of the abovementioned technology and equipment, the basic issues in aquaculture water purification, such as the separation of organic particles, purification, disinfection, and the auto-detection of water quality, have been solved, and a characteristic system model for aquaculture water purification has been established. In order to provide the basic theoretical basis for development of China aquaculture water purification technology in the high efficiency, energy-saving

收稿日期: 2009-04-01

基金项目: 国家科技支撑项目(2006BAD03B06); 国家“八六三”高技术研究发展计划项目(2006AA100305)

作者简介: 王 玮(1963-)女, 高级工程师, 主要从事渔业机械方面的研究。E-mail: da_wangwei@fmiri.com

and the degree of integration, and in order to provide new ideas on the research of the standardization system of aquaculture water purification technology and the applicability and economy of new technologies, this paper reviews the development course of aquaculture water purification technology in China, and introduces the status quo and the recent progress of aquaculture water purification technology at home and abroad.

Key words: aquaculture water purification; water treatment machinery; review; status quo; recent progress

1 水产养殖水体净化技术的发展经历

水产养殖水体净化技术是现代水产养殖工程的主要组成部分之一,是把现代工程原理和方法应用于水产养殖生产,以彻底改变相对落后的传统养殖方式。早在1975年中国已经有了水产养殖水体净化技术的报道^[1],1977年美国马里兰大学出版了第一部关于水产养殖工程的著作,水产养殖水体净化技术的兴起和发展已经经历了三十多年。养殖水体净化技术是以水体为研究对象,以水产品养殖业应用为目的,以物理、化学、生物等技术为主体的综合性技术体系。它的作用是协助水产养殖产业提高生产力,解决水产品安全、鱼类疾病及资源环境等问题。在国内,水产养殖水体净化技术的发展可划分为两个阶段:早期的开创性研究阶段和中期的平稳发展阶段。

1.1 早期的开创性研究

在20世纪70年代,受发达国家先进技术的影响,一些科研人员首先在淡水鱼养殖领域开展了工厂化循环水养殖装备及系统技术的研究,中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所研究设计了国内最早的年产500吨级工厂化循环水养殖车间,由于运营成本较高,投入与产出不相适应,没有推广使用。随着人们生活水平的提高,对鱼类需求的增加,80年代有少数发电厂利用温排海水试养过真鲷、牙鲆和河鲀等经济价值较高的鱼类。90年代初,山东半岛的荣成、威海借鉴日本、韩国陆地筑池养殖牙鲆的经验,率先开始了牙鲆的工厂化养殖;随着大菱鲆的引进,工厂化养殖很快在山东半岛和辽东半岛普及,并向河北、天津等省市推广,还延伸到浙江、福建沿海^[2]。这一时期的研究和引进消化吸收为以后工厂化循环水养殖技术的兴起和发展奠定了重要的基础,使水产养殖业从传统的粗放粗养,开

始走向利用可控的机械等方式净化水体^[4],特别是各种人工增氧装置的应用,使养殖生产力有了飞跃式的发展。

1.2 中期的平稳发展

1.2.1 增氧方式的多样化

随着中国水产养殖业生产的快速发展,特别是特种水产品和工厂化养殖模式的兴起,养殖需求不断细化,开始由粗放型养殖向高效精养的方向发展。从使用最为广泛的叶轮式和水车式增氧机,发展到喷水式、潜水式增氧机等十多种规格的增氧机械产品,不断出现新机型和新的增氧模式以适应不同的养殖对象的需要。其间,水产养殖中比较常用的是鼓风充气增氧、机械表面增氧、射流增氧和纯氧增氧4种方式,许多学者对此进行了试验研究^[4-5]。通过各类增氧机大量试验数据对比,叶轮式增氧机动力增氧效率最高。

1.2.2 其他养殖水体净化技术及装备的研究

在这个期间,科研人员完成了“人造水藻促进鱼塘增产技术”、“工业化鱼菜共生系统”、“罗氏沼虾海淡水全封闭循环净化系统”等科研项目,自主研制和开发了池塘清淤机、水质净化杀菌装置、旋筛式微过滤机、生物转盘、高效生物净化器、转刷曝气机、水质监控系统等关键技术设备,在水产养殖业得到示范或推广应用。

2 养殖水体净化技术研究现状

据统计,2007年中国水产品养殖产量已经达到3 278.3^[6]。水产养殖高速发展的同时所带来的污染,给中国部分江河、湖泊等水体的环境造成了很大的压力,成为中国水产品生产中一道难以突破的瓶颈,严重制约了中国水产养殖业的可持续性发展。目前在水产养殖中普遍采用池塘高密度养殖方式,这种方式在提高水产养殖产量的同时也带来了许多问题和弊端,造成近年来淡水鱼类、海养虾类、贝类等的暴发性疾病和大面积死亡事故频繁出现,使人们认识到养殖水体

净化技术的研发越来越重要,也进一步促使科研人员在借鉴国外研究成果的基础上,快速发展了中国水体净化技术的研究。养殖水体净化技术现状如下。

2.1 用物理方法净化水体

2.1.1 纳米材料和技术的应用

纳米材料是指任何至少有一个维度的尺寸小于 100 nm或由小于 100 nm的基本单元组成的材料。它是由尺寸介于原子、分子的微观体系与宏观体系之间的纳米粒子所组成的新一代材料。当粒子的尺寸减小到纳米量级,将导致声、光、电、磁、热性能呈现新的特性。近年来,国内外就纳微米功能材料水处理应用开展了大量的研究工作^[7]。但是在水产养殖方面的应用研究尚处于一个起步阶段^[8]。现在,日本、韩国、法国、美国等都有利用纳米材料养鱼和净化水质的案例^[9]。目前各国的研究重点主要有两个:一是利用纳米材料进行水质净化,如日本大丸通商株式会社的 BCO幸福水处理系统、加拿大安沙尼公司的 JAC水处理系统、法国 BLUE集团的卡提斯 CARTIS水处理系统。其中法国 BLUE集团的卡提斯 CARTIS系统应用在泰国的对虾养殖系统中取得了很好的效果^[10]。另一种是利用纳米材料消毒杀菌,这方面的研究报道比较多^[11]。其中纳米能量水处理系统是目前国内外水产养殖前沿高新综合设备。它由纳米过滤器、高频高压纳米场能装置、纳米光催化杀菌、灭藻装置、纳米能量转换器等组成,特别适于水产养殖育苗过程的水处理,能提高苗种的成活率与活力。在中国水产养殖业,2005年完成了“纳米材料的渔业应用与技术开发”科研项目。研究表明,纳微米功能材料在抑制细菌生长、净化水质、促进鱼类生长、提高鱼虾的抗病能力上具有独特的作用,但在它的作用机理、纳微米功能材料的选用和搭配上还需要作进一步的研究,对水产品养殖而言,用纳米材料来净化水体是否有食用安全隐患,也没有理论和试验依据,有较大推广难度。

2.1.2 水底微孔管道增氧技术和耕水机

微孔管道增氧技术是由工业水处理中充气式增氧技术发展而来;耕水机是借用耕田机的概念,利用叶轮带动水体,以促进水体上下流动。水底微孔管道增氧技术和耕水机的运用可以消除水池的温跃层、氧跃层、水密度跃层,补充水池

底部氧气,改善水池养殖水体,具有产量高、能耗省、安全性好等显著特点^[12],可以带动养殖、投饵、用药等一系列技术的新变化,为综合技术创新提供新的切入点。近几年已在广东、福建和江浙等地区的养殖场示范推广。但根据《增氧机增氧能力检测方法》标准检测所得的微孔管道增氧装备和耕水机与叶轮增氧机相比,增氧效率较低^[13],如何定量评价其对养殖水体的净化作用有待进一步研究。

2.1.3 物理过滤

物理过滤是养殖水体净化技术中的一个重要环节。其主要目的是去除悬浮于水体中的颗粒性有机物及浮游生物、微生物等^[14]。目前常用的物理过滤方式有砂滤、网袋式过滤、转鼓式微滤、弧形筛网过滤等^[15]。

2.1.4 泡沫分离装置

日本开发了空气提升和泡沫分离装置,用于对水的增氧、循环和净化^[16]。泡沫分离是利用气液界面各种物质的吸着、浓缩特性供给气泡,从水中去除污浊物质。研究表明,在水产养殖中,因水深绝大部分都在 1 m左右,在泡沫分离中不用压缩空气,而是通过回转翼和水体流动对气泡分化。若用负压空气,则效率更高^[17]。

2.1.5 养殖水池设计研究

Tseng等采用追踪剂实验法,试验不同构造(形状、直径或边长与深度比、进出水口的位置)的小型养殖池^[18],研究不同水力停留时间的水流型态,以了解养殖水池的构造对水交换的影响。结果显示,利用方形圆弧角养殖池除了有较理想的水流型态外,也可提高空间利用率。

康奈尔大学研究设计的双重排水方式是根据二次流的原理,对于平底的园池,旋转水体由于沿直径上线速度的差异会形成一种底部向水体中心的附带运动,在此运动的作用下会将分布在鱼池底部的粪便排泄物聚集到池中心^[19]。这种基础设计能把残饵、粪便尽快从鱼池中排出,有效地减少颗粒在池中的停留时间,减少颗粒分解的可能性,使物理过滤和生物过滤过程分开,从而提高各自的处理效率。

用物理方法净化水体的优点在于无二次污染,近年来许多学者对增氧机的不断研究和开发,进一步提高了其在养殖行业的经济性和适用性^[20-22]。而在超声波^[23-24]、微波^[25]等新研究领

域也开始了养殖水体净化技术的尝试,由于基础研究的缺乏,没有严格的理论支撑,实际使用成本相对较高,没有显现对养殖行业的实用性,大都限于小试阶段。

2.2 用生物方法净化水体

生物处理对于净化养殖系统中的水体有着核心作用^[26]。通常的生物处理是利用硝化细菌将氨氮和亚硝酸盐氧化成硝酸盐,去除水体中的有机物、氨氮、亚硝酸盐等有毒物质。常用以下几种方式。

2.2.1 生物滤器

生物滤器主要用于去除养殖水中的水溶性有害物,它是封闭循环水处理系统成功运行的关键,同时生物滤器也是封闭循环水处理系统投资和能耗最大的水处理单元。法国科学家在政府的资助下,在此领域进行了长期研究,如生物膜的细菌群落组成和数量;氨氧化、硝化过程的能量和氧气消耗;养殖废水中不同 C/N 比率对生物滤器效能的影响,并在此基础上获得生物滤器硝化动力学模型,建立了生物滤器的设计与管理规范^[27]。中国学者在这方面也开展了大量研究^[28-29],水产行业常用的有生物转盘和生物滤池等,去除氨氮效率可达 80% 以上^[30]。

2.2.2 藻类净化水质

近年来,国内外有不少的科研人员开始利用藻类来净化水质^[31-32]。其中,美国夏威夷大学王兆凯教授,研究设计的藻基生态型循环水养殖系统是其中比较成功的一例。主要工作原理是:在连续运行的虾、微藻和卤虫的水循环养殖系统中,利用微藻吸收虾池中溶解在水里的总氨氮,同时微藻又能被系统中的卤虫所消费掉,再定期从系统中收获部分卤虫,以保持系统生物总量的平衡,达到改善养殖水体的目的。研究发现,在这些诸多因子中各类微藻的生长速度和水体的酸碱度是最关键的因子,其中硅藻属的角毛藻生长速度为天气晴朗时一天可分裂 5~6 次,采用去除恢复法可以维持角毛藻优势种群,利用贝的滤食特性去除微藻。实验证明,在不用任何其他附加方法的前提下,可长期维持角毛藻 90%~95% 的纯度。在此研究基础上,他们在夏威夷建立了商业性的养殖场,经过数年运行,南美白对虾的种虾养殖获得了巨大的成功。研究还发现,高密度微藻水养殖对虾,可以抑制对虾病毒性疾

病的发生和传播。对虾病毒的发生常常伴随着弧菌感染,虽然目前对两者之间相互作用关系的机理还不太清楚,但研究表明,对虾病毒与弧菌之间有着很强的共生关系,并假设病毒对其宿主细菌有一定的选择性,借助其宿主细菌来繁殖自体,弧菌很可能就是对虾病毒所选择的宿主,病毒借助其宿主细菌,如弧菌来繁殖自体。弧菌的生长繁殖使对虾的免疫力下降,病毒易侵入虾体而大量繁殖。微藻的培育可抑制弧菌,在微藻密度高的水体中几乎找不到弧菌。因此,在开放系统中可以通过培养微藻来提高水质,控制弧菌,抑制病毒感染,建立无病毒对虾养殖系统^[33]。

2.2.3 使用微生物制剂

采用微生物制剂改良水质是符合当今渔业发展方向的生物防治方法。微生物制剂又称“有益微生物”,常见主要有枯草芽孢杆菌、硝化菌和反硝化菌、酵母菌、乳酸菌、光合细菌(PBS)等菌株组成。目前应用最广泛的是光合细菌。光合细菌由于具有多种不同的生理功能,如固氮、脱氢、固碳、氧化等作用,会把水体中的有毒物质作为基质加以利用,促进有机物的循环,使水体中的氨氮、亚硝酸盐含量显著降低,还可以降低水体的 COD 稳定水体的 pH 值^[34]。

2.2.4 人工湿地净化技术

人工湿地是一种自然的净化系统,具有将污染物同化、转换的能力,具有不需能源输入及不必经常维护便可自给自足等优点,是一种省能、低成本、无二次污染、操作维护简单、不破坏生态的绿色环保技术。应用人工湿地净化技术处理水产养殖废水,是近几年才开展研究的新领域。借鉴城市污水湿地处理的成熟工艺,首先在淡水池塘养殖废水的处理方面取得了一定的效果,构建了多处较为完善的人工湿地净化系统^[35]。国内外对应用人工湿地净化水产养殖废水进行了较全面的研究,主要是去除悬浮物、氮、磷等营养盐,其研究报告也较多^[36-43]。然而,人工湿地有效处理一般废污水时,通常需要较低的水力负荷或较长的水力停留时间,人工湿地一般的占地面积都比较大。在循环水养殖系统中,循环水处理单元须以高水力负荷操作以迅速去除毒性物质,保持适合的养殖水水质环境。因此人工湿地若应用于循环水养殖系统,在高的水力负荷下,预期将可以大大减少土地使用的面积。近些年的

研究集中在提高人工湿地的去除效率和水力负荷,并将人工湿地与室内高密度养殖池结合进行基于人工湿地的高密度循环水养殖,利用人工湿地的净化功能在极少换水的饲养条件下,以调节养殖池的水质^[18]。

用生物方法净化水体可以减轻养殖污染,使病原菌难以发展,有利于防治疾病,促进水生动物迅速生长,从而形成良性生态循环,保持生态平衡,同时无二次污染、收效大等优点,但控制管理技术较高,难以在水产养殖行业大规模推广。

2.3 用物理化学方法净化水体

在高密度的养殖条件下,水体中除了存在一些理化性的致病因子外,还有一定数量的致病菌。这不仅会大量消耗水体中的溶解氧,还会对养殖产生严重的负面影响^[44]。水体净化系统中一般配有消毒杀菌设备,利用物理、化学的措施减少致病因子对水产品生长的影响^[45]。常见的消毒杀菌设备有紫外线消毒器、化学消毒器、臭氧发生器等^[46]。紫外线消毒器的消毒效果稍差^[47],但其副作用小,安全性较好;化学消毒器的消毒效果较好,但如果使用不当也可能对养殖水体造成二次污染;臭氧消毒用于水产养殖水体,由于养殖生物在水中产生许多可变因素,使用方法也因养殖对象不同而改变,使用时对处理装置的结构有所要求外,还要掌握好臭氧含量在水体中的安全浓度^[48-50]。

3 最新研究动态

水产养殖不仅是环境污染的污染源,同时也是环境污染的受害者。为了提高养殖密度,节约水资源,世界渔业发达国家融生物与工程技术为一体,利用各种技术手段,净化养殖水体。

在欧洲利用先进的水净化技术与生物工程相结合,最高单产可达 100 kg/m^2 ,日新水添加量小于总循环水量的10%,封闭循环水养殖已普及到虾、贝、藻、软体动物的养殖。目前在欧洲进行的养殖水体净化技术研究内容包括:紫外线和 O_3 联合消毒;细菌的数量和种类对水处理系统效能的影响;换水和循环水率的优化;养殖水体中的酸碱平衡;养殖设施的优化设计等^[51]。

作为世界水产养殖大国,中国对水产养殖水体净化技术相当重视,许多学者对水净化进行了深入研究^[52-57]。在生物技术研究方面,科

研人员进行了大量研究,开发了多种微生物制剂及新型滤料,还开展了生物制剂应用在水产养殖过程中的检测工作^[58-60]。水产养殖水体净化技术研究进展有以下几个方面^[61]。

3.1 工厂化高效健康养殖及水质调控技术研究示范

中国水产科学研究院黄海水产研究所循环水养殖车间面积 $8\,000 \text{ m}^2$,养殖水循环频率最大为每2h循环1次,循环水利用率大于97%,养殖的大菱鲆平均单产 31.5 kg/m^2 ,成活率96.8%。

3.2 冷水性鱼类封闭循环式养殖技术

中国水产科学研究院黑龙江水产研究所在封闭循环式养殖试验中养殖虹鳟和鲟鱼单位水体养殖密度分别达到 45 kg/m^3 和 35 kg/m^3 ,项目突破了低温水产养殖废水氨氮处理技术关键,研制了浮球式自动分层污水过滤装置,氨氮去除率达到 $149 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,项目采用臭氧催化氧化技术,使氨氮氧化去除率达到45%。

3.3 工程化循环水养殖重大装备研发

中国水产科学研究院黄海水产研究所研发的高效多功能蛋白质分离器系列产品最大流量达 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 并具有高效去除氨氮、增氧、杀菌、臭氧回收等多种功能;模块式紫外线消毒器具有杀菌效率高、无照射盲区的特点;高效溶氧器最大流量达到 $150 \text{ m}^3/\text{h}$ 最大溶氧量大于 16 mg/L 。

3.4 鲆鲧类全封闭式养殖系统关键技术集成与健康养殖

中国水产科学研究院黄海水产研究所自主研发了微滤机、蛋白质泡沫分离器、高效生物过滤器,组装配套了海水源热泵、臭氧发生器、水质(温度、pH、溶解氧)在线检测、动力设备故障报警装置等。养殖密度达 58.7 kg/m^3 ,饵料系数为0.79(配合饲料),养殖大菱鲆耗水量为 $0.45 \text{ m}^3/\text{kg}$ 。

3.5 工厂化水产养殖清洁生产新工艺及其模式优化

大连水产学院开发出下流气泡接触式富氧增氧设备、加压溶气气浮净化设备、生物硝化和利用养殖固体废弃物作碳源的反硝化净化工艺及设备,使固体废弃物和溶解性有害物质(氨氮、硝酸盐、有机物、磷酸盐等)得到高效去除,实现养殖水体富氧增氧和养殖固废的综合利用。

3.6 生物处理养殖污水

水产养殖水体净化是工厂化循环水养殖系统的核心,利用生物处理养殖污水近年来受到重视。朱浩等^[62]探讨了底栖生物不同生物量对黄颡鱼养殖水体的净化效果。他们以黄颡鱼夏花培育水体为试验水体,以三角帆蚌、螺蛳作为净水生物,结果表明,三角帆蚌的净水效果较螺蛳好,生物量在 $7\ 200\ \text{g}/\text{m}^3$ 时,对养殖水体的净化效果最好,对总氮、总磷、氨氮、亚硝态氮及 COD 的去除率分别为 38%、37%、40%、54%、30%,并且黄颡鱼的成活率和增重率也最高。王明华等^[63]研究了伊乐藻 (*Elodea nuttallii*) 对黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 池塘养殖水体的净化效果。结果显示,实验组(种植伊乐藻)与对照组相比,水体中总氮、总磷、化学耗氧量、叶绿素含量明显降低,水体透明度增加,黄颡鱼单产、成活率和成鱼规格分别提高 17.2%、5.38%、14.27%,在保证产量的前提下,伊乐藻对黄颡鱼池塘养殖水体的净化有良好的效果。刘毅等^[64]采用海藻酸钠进行光合细菌固定化试验,比较了固定化菌和悬浮态菌的生长和生理特性,观察了其在载体中的分布,并对其净化养殖水的能力进行了初步研究。结果表明,固定化大大提高了光合细菌的生长速率;粒径为 $3.5\ \text{mm}$,菌初始密度为 $0.12\ \text{mg}/\text{l}$ 为最佳固定化条件。在生长初期,细菌在载体内的分布不均匀,后期趋于一致。固定化光合细菌对养殖水的净化能力大大优于悬浮态菌。

我国最新的相关研究项目有:国家“八六三”计划、《工厂化海水养殖成套设备与无公害养殖技术》、国家科技支撑计划、《淡水鱼工厂化养殖关键设备集成与高效养殖技术开发》、《池塘优质高效养殖技术研究示范》、《工程化养殖高效生产体系构建技术与开发》和国家 948 引进计划《高比表面积节能型生物过滤设施技术》等。这些项目的完成,将逐步解决养殖水体净化面临的关键技术问题,提高中国水产养殖水体净化技术水平,有效促进新技术在传统养殖行业的推广使用。

4 展望

“九五”以来,相关科研单位、高校和企业开始在不同层面组织科技攻关和技术开发,在养殖

水体净化技术研发方面取得了良好的进展,解决了养殖水体有机颗粒物过滤分离、生物净化、消毒杀菌、水质自动检测等基本关键技术,形成了有一定特色的养殖水体净化系统模式^[65]。但在应用过程中还存在着投资规模大、运行成本高、系统集成水平低等制约应用推广的根本性问题。

新技术、新材料的研究和开发,为养殖水体净化技术提供了可借鉴的技术手段,人们对食品安全及环境要求的提高,对水产品需求的多样化,也为养殖水体净化技术的发展提供了契机。

为了实现养殖水体净化技术跨越式发展,为中国水产养殖业可持续健康发展提供技术支撑,我们应重点进行以下研究。

4.1 加强基础理论研究

养殖水体净化技术的研究需要物理、化学、生物等基础理论的支撑,要加强基础理论研究以揭示养殖水质改良技术的逻辑基础,用逻辑基础沟通物理、化学、生物理论与工程实际间的关系。工厂化循环水养殖系统中快速去除水中的溶解性有害物质(主要是氨氮)和增加溶解氧是系统设计的核心问题。其中,尤以生物过滤器为技术难点,其形式和效果直接影响系统的经济性和可靠性。国内目前在该领域的基础研究缺乏,比如生物膜养分传输的数学模型和模拟,温度对氨氮转化率的影响,考虑到不同有机物和氨氮含量下与不同温度的影响的生物过滤器设计参数,以及不同生物过滤器的性能比较与设计参数的建立等都需要进行基础理论研究,要重视理论和概念表达的严格性,要掌握分析问题的微观尺度,重视微观表达的方式,提高定量表达的数学水平。研究的重点是加强基础理论研究,从定性到定量,建立数学模型,科学地评价各种养殖水体净化技术。

4.2 借鉴国内外工业水处理技术

养殖水体净化技术与工业水处理相比有其特殊性,但目的是一样的,就是去除水中污染物。国内外学者对此作了深入研究,有许多专著出版发行^[66-69]。可借鉴的国内外工业水处理技术有下列几种。

自然生物处理技术的研究:主要是稳定塘处理技术,可分为好氧塘、兼性塘、厌氧塘、曝气塘、深度处理塘和控制出水塘。可利用微生物的代谢活动以及相伴随的物理、化学、物理化学过程,

去除、降解和 多级转换水中污染物质和营养素^[70]。

生物膜处理技术的研究主要有生物滤池、生物转盘、生物接触氧化、生物流化床及曝气生物滤池等。可利用微生物去除溶解性有机污染物^[71-73]。

综合物理、化学、生物技术的活性污泥处理研究主要有氧化沟、SBR反应器(包括 ICEAS、CAST、UNITANK)、AB、A-Q、A-A-O等活性污泥处理系统。可用于对有机物的降解、消化、反硝化及除磷^[74]。

借鉴工业水处理技术,首先要掌握中国水产养殖业的特点,要关注水产品食用安全问题。

4.3 利用新材料、新技术发展节约型水质净化系统

节能、节材、节地和节水已成为现代水产养殖的普遍呼声,世界各国都投入相当大的人力、物力、财力加强研究,新材料、新技术的出现,给养殖水体净化技术带来了更为广阔的天空。要多渠道地加强国际合作与交流,促进中国水产养殖水体净化技术向更高层面上发展。要改变“高效不增产,节能不省钱”的现状。研究的重点是新材料、新技术对养殖行业的适用性,降低投资成本和运行成本,综合利用各种清洁能源和水资源等方面。

4.4 建立养殖水体净化系统的经济分析评价体系

养殖水体净化技术研究的目的是为了推广、应用,以提升传统的水产养殖业。中国养殖水体净化技术推广有两大障碍:一是造价和运行成本高;二是管理要求高,这是我们在养殖水体净化技术研究中必须考虑的问题,其次我们还要考虑“环境成本”问题,我们可以借鉴先进国家评价理论和方法,结合国情,建立一套完善的经济分析评价体系,达到经济、社会和环境效益三者的有机统一,确保水产养殖业的可持续发展。研究的重点应放在建立适合中国水产养殖业的水体净化系统的经济分析评价体系方面。

4.5 建立养殖水体净化技术标准体系

水产行业标准由渔业环境、资源、渔船、水产养殖、水产品加工、渔具与渔具材料、渔业机械和仪器;渔用饲料、检疫防疫和渔药等标准组成,主

要应用于水产品的养殖、捕捞、加工、运输和贸易等环节。养殖水体净化技术从整体属性上看,既有水体净化标准的普遍性又具水产养殖的特殊性,在水产行业,除了养殖水体水质要求、排水要求及增氧机标准等几个单项标准外,还没有建立有效的养殖水体净化技术标准体系。研究的重点应放在对养殖水体净化技术标准体系进行分析研究。

5 结语

为了改善养殖水体水质,减少水产养殖业对环境的影响,世界各国都加强研究,做了许多有益的尝试和探索。从总体来说,国际上养殖水体净化技术的研究起步较国内要早,但不少装备与技术在养殖中的应用也属初级阶段,对于国外的养殖水体净化技术与装备的有效性和经济性评价缺乏统一的标准。

养殖水体净化技术的研究和推广,极大地促进了中国水产养殖业的发展,以养殖水体净化技术为核心的水产养殖工程将逐渐成为水产行业的热点研究领域。与发达国家水平相比,中国在高效、节能、集成化程度高的设备研制和系统技术开发方面,还有较大差距,需要依靠现代科技,通过关键技术攻关和集成创新进行突破。

参考文献:

- [1] 丁永良.谈工业化养鱼[J].渔业机械仪器,1975(1):14-15
- [2] 彭树锋,王云新,叶富良,等.国内外工厂化养殖简述[J].渔业现代化,2007(2):12-13.
- [3] 吴宝逊.水产养殖机械[M].北京:中国农业出版社,1996:110-144
- [4] 朱松明.叶轮式增氧机的研究[J].农业工程学报,1993(1):105-110
- [5] 刘晃.中国射流式增氧机的发展现状[J].渔业现代化,2001(4):31-32
- [6] 刘增胜,柳正.中国渔业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [7] 环国兰.纳滤复合膜的研制[J].水处理技术,2006(11):12-15.
- [8] 丁永良.纳米(NANOST)科技养鱼技术[J].现代渔业信息,2003(18):3-8
- [9] 丁永良.纳米科技在农(渔)业和节能环保上的应用[J].渔业现代化,2006(2):10-11.
- [10] 刘晃.纳米技术在水产养殖工程中的应用研究[J].渔业现代化,2006(1):5-6

- [11] 张显球, 张林生, 杜明霞, 等. 纳滤去除水中的有害离子 [J]. 水处理技术, 2006 (1): 6-9
- [12] 蒋宏斌, 孙国华. 节能型水产养殖—水底雾化曝气增氧 [J]. 中国水产, 2007, (2): 79-80
- [13] 刘晃. 浅谈增氧机的增氧能力 [J]. 渔业现代化, 2003 (4): 38
- [14] 白利平. 滤器和工厂化循环水养殖 [J]. 渔业现代化, 2005 (4): 13-14
- [15] 刘晃, 倪琦, 顾川川. 海水对虾工厂化循环水系统模式分析 [J]. 渔业现代化, 2008 (1): 15-19
- [16] 王能贻. 日本工业化养鱼的水质处理技术 [J]. 渔业现代化, 2006 (3): 22-23
- [17] 菊池弘太郎. 闭锁循环式养殖微生物净化 [J]. 养殖 (日), 2003 (1): 17-22
- [18] 胡爱英, 刘晃, 丁永良. 水产养殖设施技术的发展与展望 [J]. 现代渔业信息, 2007 (8): 15-16
- [19] Thomas M L Osord. An introduction to recirculating production systems design [M]. Engineering Aspects of Intensive Aquaculture. Itaca NY: Northeast Regional Agricultural Engineering Service 1991
- [20] 蒋树义, 韩世成, 曹广斌, 等. 水产养殖用增氧机的增氧机理和应用方法 [J]. 水产学杂志, 2003 (2): 94-96
- [21] 吴世海. 射流自吸式增氧机 [J]. 农业机械学报, 2007 (4): 88-92
- [22] 周惠钟, 宣引明, 王国兴, 等. 两种增氧机增氧及养殖效果的对比试验 [J]. 水产养殖, 2007 (4): 33-35
- [23] 黄健花, 王兴国, 金青哲, 等. 超声波改性 OMAC-凹凸棒土吸附苯酚的研究 [J]. 水处理技术, 2005 (9): 61-64
- [24] 董慧茹, 范新美, 曹建平, 等. 超声波在反渗透系统中的应用 [J]. 水处理技术, 2006 (10): 73-75
- [25] 冯建敏, 邓宇, 李兰青子. 微波辐射处理双酚 A 生产废水 [J]. 水处理技术, 2005 (12): 40-42
- [26] 葛长宇. 大型海藻在海水养殖系统中的生物净化作用 [J]. 渔业现代化, 2006 (4): 11-13
- [27] 胡伯成. 生物接触氧化滤池与反冲洗 [J]. 渔业现代化, 2005 (6): 13-15
- [28] 罗国芝, 孙大川, 冯是良, 等. 闭合循环水产养殖系统生产过程中生物过滤器功能的形成 [J]. 水产学报, 2005 29 (4): 574-577
- [29] 许文峰, 黄少斌, 胡和平, 等. 氧条件下生物过滤法脱氮研究 [J]. 水处理技术, 2007 (1): 23-26
- [30] 花兆泰. 浅谈工厂化水产养殖中水处理设备的应用 [J]. 渔业现代化, 2003 (3): 23-24
- [31] 王长海. 微藻与微藻生物技术 [J]. 渔业现代化, 2006 (1): 20-22
- [32] 曲克明, 卜雪峰, 马绍赛. 贝藻处理工厂化养殖废水的研究 [J]. 海洋水产研究, 2006 27 (4): 36-43
- [33] Wang Jaw Kai. Conceptual design of a microalgae-based recirculating oyster and shrimp system [J]. Aquacultural Engineering 2003 (28): 37-46
- [34] 张胜华. 水处理微生物学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005 275
- [35] 田景波, 王印庚, 孙修涛. 海水池塘养殖废水净化减排系统的设计和工程化技术 [J]. 渔业现代化, 2008 (2): 1-5
- [36] Tiova V O, Alcarova J B. Microbial characteristics of constructed wetlands [J]. Water Science and Technology 1997, 35 (5): 117-123
- [37] Mayo A W. Mutual Inhibition of HRT on nitrogen removal in a coupled HPR unplanted subsurface flow gravel bed constructed wetland [J]. Physics and Chemistry of the Earth 2004 29 (15): 1253-1257
- [38] 李谷. 人工湿地—养殖池塘复合生态系统构建及初步研究 [J]. 渔业现代化, 2006 (1): 12-14
- [39] 汤显强, 黄岁樑. 人工湿地去污机理及其国内外应用现状 [J]. 水处理技术, 2007 (2): 9-13
- [40] 李谷, 钟非, 成水平, 等. 人工湿地—养殖池塘复合生态系统构建及研究 [J]. 渔业现代化, 2006 (1): 12-14
- [41] 谭洪新, 刘艳红. 闭循环水产养殖—植物水栽培综合生产系统的工艺设计及运行效果 [J]. 水产学报, 2004 28 (6): 689-694
- [42] 徐勇键, 韦玮, 钱鲁闽. 菊花江蒿对陆基围隔高密度对虾养殖的污染净化与水质调控 [J]. 中国水产科学, 2007 14 (3): 430-435
- [43] Jones A B, Demson W C, Preston P. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study [J]. Aquaculture 2001, 19 (3): 155-178
- [44] 徐明芳. 太阳能光催化反应器杀菌技术在养殖水消毒处理中的应用前景 [J]. 渔业现代化, 2006 (1): 17-19
- [45] 陈复. 水处理技术及药剂大全 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2000
- [46] 宋业林. 水处理设备实用手册 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2004
- [47] 张光辉, 孙迎雪, 顾平. 紫外线灭活水中病原微生物 [J]. 水处理技术, 2006 (8): 5-8
- [48] 梁传辉. 高效臭氧水处理装置 [J]. 渔业现代化, 2005 (5): 16-17
- [49] 王玉佩. 臭氧在南美白对虾工厂化育苗生产中的应用 [J]. 渔业现代化, 2006 (1): 23-24
- [50] 邱锦陶. 水产养殖中臭氧水处理装置开发及其存在问题 [J]. 海洋渔业, 2008 (1): 27-29
- [51] 刘鹰. 欧洲循环水养殖技术综述 [J]. 渔业现代化, 2006 (6): 47-49
- [52] 丁茂昌, 蒲南书, 陈建邦, 等. 养殖池排污水循环处理技术的研究 [J]. 渔业现代化, 2005 (4): 17-19
- [53] 倪琦. 循环水繁育系统工艺研究和工程实践 [J]. 渔业现代化, 2006 (2): 12-15
- [54] 潘檀. 陆基高密度循环水养殖的水质调控技术 [J]. 渔业现代化, 2006 (2): 19-20
- [55] 吴洪喜, 单乐州, 蔡景波, 等. 泰国海水养殖废水生物净化与循环利用技术 [J]. 渔业现代化, 2007 (4): 22-24
- [56] 管崇武, 刘晃, 宋红桥, 等. 循环水养殖系统中膜法 SBR 水处理工艺运行模式的研究 [J]. 渔业现代化, 2005 (4):

- 22—24
- [57] 王亮梅. 海水养殖水的净化处理 [J]. 水处理技术, 2005 (10): 79—81.
- [58] 宋协法, 曹涵, 彭磊. 一种新型滤料在循环养殖水处理中的应用 [J]. 环境工程学报, 2007 (12): 27—31
- [59] 温崇庆, 薛明, 张金燕, 等. 水产养殖用蛭弧菌类生物制剂的检测 [J]. 水产学报, 2009 33(2): 326—333
- [60] 沈南南, 李纯厚, 贾晓平, 等. 三种微生物制剂调控工厂化对虾养殖水质研究 [J]. 南方水产, 2007 3(3): 21—25
- [61] 徐皓, 张建华. 我国水产养殖工程学科发展报告 (2007—2008) [J]. 渔业现代化, 2009 (3): 1—6
- [62] 朱浩, 边文翼, 刘文斌, 等. 底栖生物对黄颡鱼养殖水体净化效果的研究 [J]. 江苏农业科学, 2009 (1): 233—236
- [63] 王明华, 沈全华, 唐晟凯, 等. 伊乐藻对黄颡鱼池塘养殖水体净化效果的试验 [J]. 水生态学杂志, 2009 (4): 48—51.
- [64] 刘毅, 袁月华. 固定化光合细菌净化养殖水质研究 [J]. 水利渔业, 2008 28(2): 86—88
- [65] 徐皓, 倪琦, 刘晃. 我国水产养殖设施模式发展研究 [J]. 渔业现代化, 2007 (6): 1—6
- [66] Metcalf & Eddy Inc. 废水工程: 处理与回用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004 1024.
- [67] 陆柱, 陈中兴, 蔡兰坤, 等. 水处理技术 [M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2006 529
- [68] 苑宝玲, 王洪杰. 水处理新技术原理与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006 201.
- [69] 柏景方. 污水处理技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工大出版社, 2006.
- [70] 李寒娥, 李秉滔, 黄耀丽, 等. 漂浮植物净化污水试验研究 [J]. 水处理技术, 2006 (8): 46—49.
- [71] 俞三传, 高从塔, 张慧. 滤膜技术和微污染水处理 [J]. 水处理技术, 2005 (9): 6—9
- [72] 沈耀良. 曝气生物滤池工艺及运行控制 [J]. 水处理技术, 2005 (7): 7—10 19
- [73] 王明锋, 何义亮, 张三林, 等. 一体式平板膜—生物反应器处理水中污染物研究 [J]. 水处理技术, 2005 (11): 23—26.
- [74] 陈小光, 潘永亮, 黄卫星, 等. 膜法 SBR三相外循环流化床反应器 [J]. 水处理技术, 2005 (12): 76—79.