

我国水产养殖环境评估与治理发展对策

贾晓平¹, 陈海刚¹, 陈家长², 杨健², 孟顺龙², 沈新强³, 齐占会¹, 朱长波¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏无锡 214081; 3. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 本文阐述了我国水产养殖环境评估与治理发展研究的意义, 系统分析和研究了发展现状及面临的主要问题, 在借鉴世界水产养殖环境评估与治理技术发展的经验与启示的基础上, 建议优先发展我国水产养殖环境“监测、评估、修复、管理”四项关键技术, 提出“综合管理、能力提升、重点项目、重大工程”四项对策建议。

关键词: 水产养殖; 环境评估; 环境治理; 发展对策

中图分类号: S966 **文献标识码:** A

Development Strategy for the Assessment and Management of Aquaculture Environment in China

Jia Xiaoping¹, Chen Haigang¹, Chen Jiachang², Yang Jian², Meng Shunlong²,
Shen Xinqiang³, Qi Zhanhui¹, Zhu Changbo¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 3. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: The significance of assessment and management of aquaculture environment is explained in this paper. Meanwhile, the developmental status and main problems on these issues are analyzed and studied systematically. By means of global experiences and inspirational cases in aquaculture industry environment assessment and management technology development, we recommend the development of four key techniques for improving the aquaculture industrial environment as a matter of priority in China, including monitoring, assessment, remediation and management, and put forward four countermeasures, namely comprehensive management, upgrading capacities, priority programming and implementing major projects.

Key words: aquaculture; environmental assessment; environment management; development countermeasure

一、前言

在过去几十年间, 我国社会经济快速发展。由于在开发利用过程中对资源与环境的过度索取, 不

重视或忽略对生态环境的保护, 导致生态环境遭到严重破坏, 生态环境与资源保护问题日益突出。水产养殖生态环境是生态环境的组成部分, 是水产养殖赖以生存和可持续发展的基础。

收稿日期: 2016-04-27; 修回日期: 2016-05-02

作者简介: 贾晓平, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 研究员, 研究方向为渔业环境; E-mail: jxp60@tom.com

基金项目: 中国工程院重点咨询项目“水产养殖业十三五规划战略研究”(2014-XZ-19-3)

本刊网址: www.enginsci.cn

近几十年来,我国水产养殖水域生态环境不断恶化,水生生物资源急剧衰退,生物多样性水平持续下降,水产品质量和卫生安全潜在风险增大,已成为我国渔业可持续发展的严重障碍。因此,在我国渔业发展的新时期,如何控制水产养殖生态环境污染,修复受损的水产养殖生态环境,维系水产养殖生态环境的良好功能,是发展环境友好与质量安全水产养殖业的关键问题。

二、我国水产养殖环境评估与治理技术发展现状

(一) 水产增养殖环境监测与预警技术

我国渔业生态环境监测起步于20世纪70年代末期,目前已形成了拥有47个监测站的全国渔业生态环境监测网络。研发和建立了100多种新检测方法;完善和优化了“贻贝观察”“鱼类耳石环境指纹”等生物监测技术;制定和修订了一批检测和监测的水产行业标准;具备检测和监测渔业生态环境及生物质量等方面200多种项目技术能力,对全国重要渔业水域质量进行了连续监测与评估。初步建立了赤潮、淡水藻华、浒苔绿潮等渔业生态灾害预警技术模式。

(二) 水产增养殖环境评价评估技术

推进和优化了各类养殖生态环境质量指标、养殖环境容量动态模型和综合分级评价方法,将影响评估从原来的单一性、定性评估推进到综合性、定量或半定量评估水平,并初步拓展和建立了生态系统/群体(个体)/细胞/分子水平的影响评估模式和方法。建立并应用水产养殖产排污系数、产排污总量的计算方法和定量评价操作规程,全面估算了水产养殖产排污总量^[1]。初步建立起渔业生态补偿评估技术体系,形成了我国在该领域的首个水产行业标准,见《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》。

(三) 水产增养殖生态环境调控与修复技术

在我国传统的理化调控修复技术的基础上,应用生态工程“整体、协调、循环、再生”技术原理,推进和初步建立了以生物技术为核心的生物-物理-化学综合调控与修复技术^[2-6]。其中,应用于浅海养殖环境的典型模式是“鱼-贝-藻”生态

多元化立体养殖辅以微生物-底部清淤-化学吸附相结合的“生物-物理-化学”综合调控模式,而应用于湖泊池塘的典型模式是生态浮床-特效微生物-人工湿地调控与修复技术模式。工厂化养殖环境调控技术主要基于物质平衡的工厂化循环水养殖系统原理,建立了以物理-生物复合净化技术为核心的处理循环养殖用水技术体系。

三、发展水产养殖环境评估与治理技术面临的主要问题

(一) 经济迅猛发展给渔业生态环境带来了巨大压力

随着社会经济的发展,我国污染源总量十分巨大,尤其是随着产业结构的变化,在工业污染物排放量仍然维持高位的情况下,生活污染物和农业污染物排放量在持续增加。根据2014年中国环境状况公报^[7],长江等七大流域及其他河流国控断面中,IV类至V类水质占28.8%。62个重点湖泊水库中,III类至劣V类水质为44个。近岸海域III类至劣IV类水质占33.2%,养殖用水质量形势严峻。根据2014年中国渔业生态环境状况公报^[8],我国局部渔业水域污染比较严重,主要污染物是氮、磷和石油类。另外,由于在水产养殖过程中的违规操作或不合理使用各种投入物,导致饲料残饵、排泄物、环境调节剂、渔用肥料和渔用药物等在养殖环境中残留,造成局部养殖水域自身污染严重。

(二) 水产养殖环境监测系统薄弱

总体而言,我国渔业生态环境监测机构尚不够健全,管理体制没有完全理顺,监测理念落后,技术支撑不足,尚不具备完善的养殖生态环境质量标准体系,监测质量控制和质量保障薄弱,缺乏长期性、系统性和针对性监测,监测网的覆盖面偏小和项目偏少、监测频率偏低,对许多重要的养殖水域、监测项目和监测时段没有进行监测或无法开展系统监测,尤其是对一些特殊的新型污染物、潜在污染物和高危害性污染物缺乏有针对性的监测和研究。渔损事故应急监测能力存在较大差距,风险应急能力较差。

(三) 水产养殖环境的基础性和系统性研究薄弱

我国水产养殖水域的生态环境类型多、分布广,

已有的基础工作相当薄弱^[9]。长期以来,我国水产增养殖生态环境研究长期处于边缘化、碎片化和从属化状态,难以从渔业环境生态学和污染生态学的特殊性开展基础研究。对水产养殖生态系统的环境特征、污染状况、变化趋势、转移归宿、生态毒理学缺乏系统研究,缺少国家级水产增养殖生态环境重大科研基础数据库,科技数据和研究成果无法全面、系统、长期、有效地积累,应对水产养殖环境调控需求的支撑能力较弱。

(四) 水产养殖环境的技术集成和系统配套薄弱

对水产养殖生态环境监测技术、评估技术、调控技术、修复技术和管理技术缺少前瞻性跟踪研究,滞后于水产增养殖业发展的需求,解决和应对不断出现的各类新型环境问题的能力薄弱。另外,由于水产增养殖生态环境问题的成因多样、涉及面广、学科交叉性强,而现有的技术往往针对水产增养殖生态环境中的某一方面、某一因素或某一环节,缺少综合性研究和技术集成,缺乏成熟有效的技术体系,难以为水产养殖生态系统的健康运行提供整体技术支持。

(五) 水产养殖环保理念和监管措施薄弱

我国95%左右的水产养殖产量是通过传统粗放式养殖方式获得的,其与现代先进养殖方式的突出差距之一是缺乏生态环境保护理念,水产养殖从业人员环保意识薄弱,养殖生产过程规范化程度低,大部分环境监控、环境调节、污水处理、病害生物无害化处理等方面严重缺位,对水产养殖生态环境的调控和保护能力低下。另外,虽然国家已出台多项政策和法规,但各行业和领域的法律法规相互间缺乏配套和协调,缺少切实可行的保护方案和具体措施。

(六) 水产养殖生态环境研究的科技投入薄弱

水产养殖水域生态环境的监测评估、调控修复和养护管理是一项系统工程,是一项基础性、公益性的工作,必须由政府部门给予大力支持。而我国在这方面的投入与国外相差甚远,水产增养殖水域生态环境研究缺乏国家目标和产业目标,很少得到国家和行业的重大项目资助,渔业水域生态环境监测国家每年的投入仅为260多万元,相当部分的研

究项目通过社会渠道或横向课题筹集经费,研究经常处于不稳定的艰难局面。

四、世界水产养殖环境评估与治理技术发展的经验与启示

(一) 更加重视发展快速检测与监测的先进新技术

发达国家十分重视渔业生态环境的快速监测、无线监测、船载监测和传感器监测等先进新技术的研发。快速在线监测技术系统已成为获取环境和污染物信息、快速筛查和监测的主体技术之一。无线监测系统则是国外大力发展的前沿技术,无线传感器网络融合了传感技术和嵌入式计算技术、现代网络技术、无线通信技术、分布式智能信息处理技术等,可在长期无人值守的状态下工作。船载监测技术的发展特点是向多功能方向发展,提高船时利用率,配备多种调查监测仪器,提高现场调查监测的自动化程度和实时数据处理能力。

(二) 更加重视研究污染物的长期持续性影响和新型污染物的潜在危害

发达国家将持久性有机污染物、环境激素类有机污染物和新型污染物的影响作为优先研究方向,重点集中在四个方面:一是重点研究代表性、持久性有机污染物,环境激素类有机污染物和农渔药的亚致死性、长期性、累进性和持续性影响效应;二是重点研究污染物的迁移、转化、代谢和归属途径,系统性揭示渔业生态环境中污染问题的成因、变化趋势和演化规律;三是从生物群体、个体、细胞和分子水平综合研究和判断污染物对水产养殖生态环境和生物种类的影响效应;四是对新型污染物存在的潜在危害,重点开展前瞻性研究。

(三) 更加重视水产养殖环境监测预警及风险评价技术

发达国家针对新出现的渔业生态环境污染动态,一是不断开发新的检测分析方法和生物指示种;二是根据污染状况变化和重点防控的新需求,及时调整和确定优先污染物的黑名单,研究和建立优先污染物的危害等级、危害阈限值、排放环境目标值、环境水平目标值、“三致”指数(致癌、致畸、致突变)和风险水平判据等参数;三是对代表性污染物

和农渔药有针对性地建立监测体系、评价指标体系、风险评价体系和预警体系, 建立环境预警及风险评价模型, 建立国家重大环境基础数据库、水质基准/标准体系。

(四) 更加重视研发和创新增养殖生态环境综合调控与修复技术

一是注重养殖生态环境的宜养宜渔性选择技术, 推进养殖渔场适宜性综合评估模型和方法; 二是注重研发和实施养殖生态环境容量评估技术, 不断研发和拓展水产养殖生态环境容量评估新模式; 三是养殖生态环境容量调节与优化技术, 通过调整养殖布局, 调配养殖结构, 推进多营养层次综合养殖模式^[9,10]; 四是推进物理-微生物-水生植物复合修复技术, 优化水产养殖生态环境复合修复技术^[11-13]; 五是大力发展信息化管理技术, 研发集水质参数在线采集、智能组网、无线传输、智能处理、预警信息、决策支持、远程控制等功能于一体的水产养殖物联网系统。

五、我国发展水产养殖环境评估与治理的关键技术

(一) 水产养殖水域生态环境的监测、评价与预警技术

发展快速精准检测和监测技术。着重建立持久性有机污染物、内分泌干扰物质、抗生素、生物毒素、农渔药等优控污染物和新型污染物的新型快捷的检测和监测技术, 研发高灵敏度、便携式和高通量电化学重金属快速微创检测技术, 开展新型纳米材料电极检测技术、免疫荧光检测技术、免疫胶体金快速检测技术和微生物快速检测技术研发; 开发气质联用、液质联用、电感耦合等离子体质谱等联用技术; 加快在线监测、无线监测和传感器监测等新型监测技术的研发。

发展污染物快速甄别和溯源技术。着重建立水产增养殖生态环境和生物体污染物中基于痕量形态/组分、元素/同位素、生物芯片、免疫因子等现代分析手段的污染物快速甄别和溯源技术; 研究和建立针对不同水产增养殖生态环境和增养殖生物的危害评价的基/标准指标体系, 优化和完善评价标准体系。

发展先进综合性影响评价模式与方法。着重建立复合污染效应的评估技术、生态安全性评价技术、突发性污染事故应急处理技术、渔损与生态补偿评估技术。研发模糊神经网络等评估技术, 对水产增养殖生态环境所涉及的各项指标数字化集成, 建立专家智能评估系统。建立基于多元统计分析和可视化技术的水产增养殖产地环境管控技术, 提出水产品产地环境类型划分方法。

发展基于化学痕量测定、物理/生物传感、生物指示物/指标的风险预警技术, 建立水产增养殖生态环境危害预警指标体系, 研发个体水平/细胞水平/分子水平的综合预警技术; 开展关键污染因子对渔业生态环境的危害和水产品健康风险研究, 建立国家水产增养殖环境基础数据库、应急信息平台 and 防控管理技术平台等。

(二) 水产养殖环境污染物控制与去除的理论基础与支撑技术

研究和阐明不同水产增养殖生态环境中和增养殖生物体中代表性污染物(环境激素类有机物、抗生素、农渔药、重金属、生物毒素、环境调节剂等)在水产增养殖生态环境、食物网和生物体中的生物地球化学过程, 研究和阐明其积累、迁移、转化、代谢的转化动力学、时空演变特征和生态学效应等规律, 尤其要重点突破污染物的亚致死长期累进性综合影响效应研究的瓶颈。

研究和阐明水产增养殖生态环境中典型污染物对重要增养殖生物的组织学、细胞学、分子生物学的毒性毒理响应机制, 研究发生、发展过程中的关键物理、化学、生物驱动因子, 筛选和推荐潜在生物标志物, 探寻有效的污染防控措施。

研究和阐明重要水产增养殖生物对典型污染物的摄入-排出的动态规律及生物积累的行为过程, 阐明水体食物链积累到水产品生物途径和污染的机制。以“环境变化-生态系统变化-生物质量变化-人体健康威胁”为主线, 研究和阐明水产增养殖生态环境治理的红线判别机制, 进而建立水产增养殖生态环境和水产品质量健康风险评价、识别和管控的有效途径。

(三) 水产养殖水域生态环境调控与修复技术

发展封闭型水产养殖生态环境的调控与修复技

术。基于典型养殖池塘和工厂化水产养殖系统中生源要素的时空变化规律、养殖生物活动对生源要素循环的驱动作用,养殖系统中营养元素的循环过程与调节机制,利用生物絮团、微生物群感效应和菌藻作用机制,建立池塘优势生物群落定向调控技术;基于物质平衡的池塘和工厂化循环水养殖系统的理念与方法,重点研发高效池塘和工厂化水产养殖的水处理系统和配套技术,研发高效多级生物系统净水技术,较大幅度地提高水产养殖系统中污染物和废弃物等的去除水平,提供养殖水体、沉积物(底质)和养殖废水的处理、改良、综合利用的适用技术。

发展开放型水产增养殖水域功能修复技术。针对湖泊、水库、河口、滩涂和浅海等开放型增养殖水域生态环境的特点,从外源污染控制、自身污染控制、生态环境条件改造、生态系统功能修复等层面建立多元化的水产养殖生态环境调控与修复的技术体系。湖泊和水库养殖生态环境重点发展和优化物理-生物-微生物综合修复技术,尤其是人工湿地复合修复技术、大型水生植物修复技术和“净水渔业”等复合修复技术。滩涂增养殖生态环境着重发展和优化翻耕、起埂、遮阳等物理方法和增氧剂、土壤改良剂、环境调节剂等化学方法的综合配套应用技术。河口和浅海重点发展和优化增养殖生态环境容量调节、多营养层次综合养殖模式、物理-生物-微生物修复等复合模式。

(四) 水产养殖环境生态系统水平的管理技术

制定不同类型水产养殖业的健康持续发展的规划和计划、技术标准、技术规范、操作规程和管理措施,研发和构建渔业生态环境综合数据库和大数据分析评估中心。推进形成养殖生态环境可持续利用管理技术体系和质量指标体系,构建水产养殖环境的生态系统水平的管理中心,提出水产养殖生态环境系统的可持续利用策略,明确渔业生态环境区划,实施水产增养殖生态环境的适时管理。

发展和推广水产养环境调控与修复技术。以绿色低碳、生态平衡和可持续利用为发展目标,组装和集成集约化高效增养殖技术、多营养级层次综合增养殖技术、环境监测与预警技术、环境调控与修复技术、生态系统服务价值评估技术、生态系统水平的管理技术,形成综合技术体系,选择具有代表性的水产增养殖区域,构建生态环境友好型工厂化

养殖、池塘养殖、湖泊水库养殖、盐碱水养殖、滩涂养殖和海湾养殖示范区,推广和辐射生态环境友好型水产养殖技术。

六、发展水产养殖环境评估与治理技术的对策建议

(一) 加强水产养殖环境综合协调管理,提高产业组织化程度

遵循水域生态系统完整性原则,以海域、流域、区域为控制单元,建立统筹管理体制,借鉴发达国家对水产养殖生态环境实行多部门协同管理的经验,建立我国水产养殖环境协调管理系统,对各类污染源实行根本管控,对水域生态实行全面监控,对水产养殖进行全面规划和区域规划,对水产养殖环境保护提供优质公共服务。加强水产养殖执法监督,严格执行相应的排放标准。加强水产养殖行业准入制度,提高产业组织化程度,增强从业者的生态环境保护意识,提高从业者的高效、环保、节能、减排的现代水产养殖技术水平。

(二) 加强渔业生态环境监测体系和监测能力建设

加强渔业生态环境学科体系建设和能力建设,着力营造促进人才成长的机制和环境,加强领军人才、青年学科带头人、学科骨干和适用人才队伍建设,形成结构合理的科研创新团队;设立国家级和部级渔业生态环境重点实验室及野外观测(监测)台站;加强全国渔业生态环境监测中心和监测网的机构与监测能力、应急能力、预警能力建设;加强先进仪器设备的完善配套和试验观测设施等基础条件的保障;扩大渔业生态环境监测的覆盖面,拓展监测项目,增加监测频率,强化优控水域和优控污染物的监测。

(三) 强化基础性、公益性研究,实施重点科研项目

根据我国渔业生态环境特点和污染控制的要求,开展相应的基础性、公益性和综合性的研究,建议“十三五”期间重点开展以下四方面研究:①水产养殖生态环境快速监测与综合评价的新技术研究;②水产养殖生态环境中优控污染物筛选规范、毒理学机制和毒理学基准研究,制定水产养殖生物优控污染物的质量标准;③绿色、高效、节能

的水产养殖生态环境调控与修复技术研究；④生态系统水平与物联网技术相结合的水产养殖环境管理技术研究。

(四) 加大财政支持力度，实施重大工程建设项目

建议加大财政资金的投入和引导力度，扩大对渔业生态环境研究的投入渠道，综合运用国家五类项目等经费投入，引导建立多渠道投入稳定增长的长效机制，保障水产养殖生态环境的基础性、公益性和适用性技术研发应用。重点实施三大工程：①水产养殖环境监测与生态系统管理中心建设工程；②水产养殖生态环境调控与修复技术研发平台建设工程；③生态环境友好型规模化水产养殖示范区建设工程（包括池塘、湖泊、水库、滩涂、海湾等不同类型）。

参考文献

- [1] 国家环境保护部, 国家统计局, 国家农业部. 第一次全国污染源普查公报 [R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2010.
Ministry of Environmental Protection, Ministry of Agriculture, National Bureau of Statistics. Bulletin of the first national census of pollution sources [R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China; 2010.
- [2] 范立民, 徐跑, 吴伟, 等. 淡水池塘养殖微生态环境调控研究综述[J]. 生态学杂志, 2013, 32(11): 3094-3100.
Fan L M, Xu P, Wu W, et al. Regulation of micro-ecological environment in freshwater aquaculture pond: a review [J]. Chin J Ecol. 2013; 32(11): 3094-3100.
- [3] 李绪兴, 雷云雷. 渔业水域生态环境及其修复研究[J]. 中国渔业经济, 2009, 6(27): 69-78.
Li X X, Lei Y L. Fishery water area ecological environment and its rehabilitation [J]. Chin Fish Econ. 2009; 6(27): 69-78.
- [4] 李文齐. 人工湿地处理污水技术[M]. 北京: 水利水电出版社, 2009.
Li W Q. Wastewater treatment technology with constructed wetland [M]. Beijing: Water Conservancy and Hydropower Press; 2009.
- [5] 熊学全, 孙谦, 刘敏. 论湖泊水体生态保护与渔业可持续发展[J]. 现代农业科技, 2009(9): 264-265.
Xiong X Q, Sun Q, Liu M. Discussion on ecological protection and sustainable development of lake water fisheries [J]. Mod Agric Sci Technol. 2009; (9): 264-265.
- [6] 张宇雷, 吴凡, 王振华. 超高密度全封闭循环水养殖系统设计与运行效果分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 151-156.
Zhang Y L, Wu F, Wang Z H. Engineering design and performance evaluation of super high density recirculating aquaculture system [J]. Trans Chin Soc Agric Engin. 2012; 28(15): 151-156.
- [7] 国家环境保护部. 中国环境状况公报[R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2014.
Ministry of Environmental Protection. Bulletin of marine environmental status of China [R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China; 2014.
- [8] 国家农业部, 国家环境保护部. 中国渔业生态环境状况公报[R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2014.
Ministry of Agriculture, Ministry of Environmental Protection. Bulletin of fishery ecological environment status of China [R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China; 2014.
- [9] 唐启升. 水产学学科发展现状及发展方向研究报告[M]. 北京: 海洋出版社, 2013.
Tang Q S. Research report on the current situation and development trend of fisheries science [M]. Beijing: Ocean Press; 2013.
- [10] 蒋增杰, 方建光, 毛玉泽, 等. 海水鱼类网箱养殖的环境效应及多营养层次的综合养殖[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(1): 120-124.
Jiang Z J, Fang J G, Mao Y Z, et al. Environmental effect of marine fish cage aquaculture and integrated multi-trophic aquaculture [J]. Environ Sci Manage. 2012; 37(1): 120-124.
- [11] Angel B, Suzanne B B, Daniel M D, et al. Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal systems worldwide [J]. Mar Poll Bull. 2008; 56(9): 1519-1537.
- [12] Konnerup D, Trang N T D, Brix H. Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics [J]. Aquaculture. 2011; 313(1): 57-64.
- [13] Troell M, Joyce A, Chopin T, et al. Ecological engineering in aquaculture—potential for Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) in marine offshore systems [J]. Aquaculture. 2009; 297(1): 1-9.