

朱明,谭鹤群,牛智有,等.我国淡水渔业转型升级路径与工程科技创新重点研究[J].华中农业大学学报,2024,43(2):1-9.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.02.001

**主持人语:**我国是水产品生产和消费第一大国,水产养殖产量占世界水产养殖总产量的60%以上。水产养殖是我国农(渔)民收入的重要来源和国民优质动物蛋白供给的重要保障。然而,由于基础设施薄弱,设施化、机械化水平低,生产方式粗放低效,水产养殖存在着资源利用率低、养殖水质劣化、养殖尾水污染、养殖效益低等突出问题。这一现状与我国渔业绿色高质量发展要求不相适应,也是我国农业现代化进程中的突出短板和薄弱环节。按照习近平总书记“树立大食物观”“要向江河湖海要食物,向设施农业要食物”的要求,水产养殖必须坚持高质量绿色发展,向设施化、智慧化方向转型升级。为此,水产科技界积极开展了相关研究和探索。近年来,涌现出了流水槽循环水养殖、集装箱式循环水养殖、池塘圈养等设施化养殖模式,创建了“循环水养殖、外封闭内循环养殖小区”等工程化养殖系统,智能增氧、精准投喂、水质调控、底质改良等机械设备,以及集约化水产养殖数字化集成系统等相继研发,水产智能机械化装备水平正逐年提高。在水产养殖向设施化转型升级的关键时期,有必要深入探索设施化养殖条件下的鱼类健康养殖新模式、新方法和新技术,积极促进学科交叉融合,推进水产养殖业健康发展。本期专栏以“鱼类健康养殖”为主题,聚焦水产养殖转型升级路径与科技创新重点,设施化养殖条件下的流场优化、增氧新技术、养殖对象生长特性和优良养殖水环境营造技术,以及养殖尾水净化新技术等内容,以期引发更为广泛的讨论和关注。

## 我国淡水渔业转型升级路径与工程科技创新重点研究

朱明<sup>1,2</sup>,谭鹤群<sup>1,2</sup>,牛智有<sup>1,2</sup>,万鹏<sup>1,2</sup>,  
冯耀泽<sup>1,2</sup>,李路<sup>1,2</sup>,黄凰<sup>1,2</sup>,韩娅红<sup>2</sup>

1. 华中农业大学工学院,武汉 430070; 2. 农业农村部水产养殖设施工程重点实验室,武汉 430070

**摘要** 淡水渔业转型升级对推动消费升级、实现产业高质量可持续发展具有重要意义。本文在剖析我国淡水渔业转型升级面临的突出问题和工程科技需求的基础上,提出淡水渔业转型升级的总体思路、推进路径、主要任务和主要目标,并通过系统研究提出淡水渔业绿色高效养殖模式、优良养殖品种繁育技术与装备、精准投喂与饲料高效利用技术、不同养殖模式下水环境调控技术、尾水高效绿色处理技术与装备、多元信息智能立体感知技术与装备、淡水产品捕捞及冷链化优质保鲜贮运技术和养殖产品初加工技术与装备等工程科技创新研究重点,旨在为全面提升我国淡水渔业的设施化、机械化、智能化、智慧化和标准化水平提供决策参考。

**关键词** 淡水渔业; 转型升级; 路径; 工程科技; 科技创新

**中图分类号** F326.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)02-0001-09

我国已进入新发展阶段,最显著特征是社会经济的高质量发展和人民群众对高品质生活的期待,为满足国民对食物安全、健康、营养、方便、快捷、美味的新消费需求,大食物、大健康、大厨房是产业发展的热点和必然趋势。习近平总书记指出:要树立

大食物观,在保护好生态环境的前提下,从耕地资源向整个国土资源拓展,宜粮则粮、宜经则经、宜牧则牧、宜渔则渔、宜林则林,要向森林要食物,向江河湖海要食物,向设施农业要食物,实现各类食物供求平衡,更好满足人民群众日益多元化的食物消费需

收稿日期: 2023-12-29

基金项目:华中农业大学人才启动项目淡水渔业转型升级与全产业链技术研发及示范项目(203-510319153);国家重点研发计划项目(2022YFD2001705);湖北省农机装备补短板核心技术应用攻关项目(HBSNYT202217)

朱明, E-mail: 13801392760@163.com

求<sup>[1]</sup>。我国是世界淡水渔业第一大国,总产量约占全球的60%。淡水渔业是农业的重要组成部分,渔业产品为我国城乡居民提供了1/3的优质动物蛋白,在国民经济和社会发展中具有举足轻重的地位<sup>[2]</sup>。在大食物观的发展背景下,通过科技创新促进淡水渔业转型升级和高质量发展需求十分迫切。

## 1 我国淡水渔业转型升级的重大意义

### 1.1 保障食品安全,推动消费升级

我国淡水养殖主要以池塘养殖为主,兼有部分湖泊、水库等其他水体养殖。2022年,我国淡水养殖面积为503.31万hm<sup>2</sup>(其中池塘、湖泊、水库养殖面积为476.11万hm<sup>2</sup>,占淡水养殖总面积的94.59%);淡水产品产量3406.38万t,占全国水产品总产量的49.61%,其中,淡水养殖产量3289.76万t,占到淡水产品产量的96.58%<sup>[3]</sup>。渔业产品具有高蛋白、高营养和低糖、低盐、低脂肪等营养学特点,是典型的营养、健康、美味食品。随着长江及其他流域禁渔政策的逐步施行,优质鱼类的需求缺口将会进一步加大。通过淡水渔业转型升级和科技创新能够更好实现以最少的粮食消耗生产更多优质的动物蛋白,对于保障中国人民端稳“绿饭碗”和“金饭碗”具有重要意义。

### 1.2 提升产业水平,实现高质量发展

渔业是大农业中较为高效的产业,也是重要的富民产业。据对全国近1万户渔民家庭当年收支情况进行的调查,2022年渔民人均纯收入24614.41元,比2021年增加1172.28元、增长5.00%<sup>[3]</sup>,远远高于农民人均纯收入。淡水渔业是典型的劳动密集型产业,能够吸纳大量农村劳动力,增加就业。2022年,我国渔业人口1619.45万,其中传统渔民515.16万人,渔业从业人员1177.92万人<sup>[3]</sup>。淡水渔业转型升级有利于巩固渔业在大农业中的地位和发挥渔业在农民增收中的优势,系统性提高现代农业发展水平,对于长江经济带等淡水渔业主产区的乡村振兴也将起到关键支撑作用。

### 1.3 保护生态环境,实现可持续发展

由于长期以来的粗放式发展,渔业环境污染和渔业资源破坏问题严重,特别是部分水生生物存在加速灭绝或面临濒危的状况,为了改善并修复长江流域的生态环境,“长江十年禁渔”成为国家政策。

中央一系列文件明确提出要依托沿江沿湖资源生态优势,因地制宜发展稻鱼(虾)综合种养、池塘养鱼、水产品加工、休闲渔业等,增加产业就业空间。在此背景下,大力发展淡水渔业是安置转产渔民最重要而有效的途径,将有力支撑和促进长江经济带社会经济发展和生态文明建设。

## 2 我国淡水渔业转型升级面临的突出问题

### 2.1 水产养殖基础设施落后,发展能力受到制约

传统的淡水养殖池塘的设施化、机械化、标准化程度很低,供电、给排水、尾水处理设施设备等基础设施建设落后。同时,淡水养殖过程中机械化、标准化水平偏低,机械化率仅为30%左右<sup>[4]</sup>;此外,淡水养殖还存在劳动强度大、养殖模式单一、生产效率不高等问题,在水质监测与调控、增氧、饵料投放、水产品捕捞、养殖尾水处理、池塘清淤、养殖系统管控等方面以人工操作为主,工程化、机械化、信息化短板和弱项十分突出;劳动力成本占养殖成本的70%以上,且养殖者的平均年龄在55岁以上,水产养殖后继无人的状况日益显现。目前,长江流域河、湖网箱养殖全面退出,长江及其部分流域实行10a禁捕限捕,相关政策的出台使养殖水体资源减少,优质水产品保供的压力陡增。

### 2.2 自然资源利用不合理,环境质量亟待改善

随着淡水养殖业的发展,养殖用池塘的面积逐年增加,占用的土地资源越来越多,2010—2020年,我国淡水养殖中池塘养殖产量由1647.72万t增长到了2351.00万t,同时池塘养殖面积由245.0万hm<sup>2</sup>增长到了260.5万hm<sup>2</sup>,增加了15.5万hm<sup>2</sup><sup>[5]</sup>。此外,全国淡水池塘养殖每年用水量可达1518.6亿m<sup>3</sup>,相当于我国淡水资源总量28000亿m<sup>3</sup>的5.4%<sup>[6]</sup>。

由于我国的淡水池塘养殖大多采用肥水养殖、高密度养殖,养殖格局密集单一;在养殖阶段投喂饲料的同时,大量使用渔用药物和各类生长激素等,残余饲料和鱼体粪便直接作用于自然水体,致使水质超标、水体富营养化和病原微生物激增等现象发生。养殖尾水直排对自然水体的污染、尾水全面达标排放的要求等让淡水养殖业面临前所未有的压力;截至目前,我国70%的河流、湖泊均有不同程度的污染,自然水体水质恶化<sup>[7]</sup>,环境保护压力大,已经难以承担起对集约化现代淡水养殖业的有效支撑。

### 2.3 养殖规模化程度较低、经济效益难以提高

虽然我国的淡水养殖产量高,但是我国淡水养殖户的规模普遍较小,职业化程度较低,养殖规模3.3 hm<sup>2</sup>以上的养殖户所占比例仅为17.06%<sup>[8]</sup>。一般散户养殖同规模养殖户相比,散户养殖模式较为粗放,规模户养殖方式更加科学,养殖效率更高。一家一户分散养殖不利于机械化操作、标准化生产、科技化推广,增加了水产养殖的成本。同时,散户收集信息的能力及意愿相对较低,缺乏对全国水产市场变化感知的灵敏度,而且根据养殖习惯来决定每年苗种的投放数量,难以采取有效的资源配置方式进行水产养殖,难以产生较高的经济效益。

### 2.4 科技研究基础薄弱,选种效率低下,育种方式落后

我国水产养殖缺乏长期稳定的科研力量与经费支持,科技创新进程缓慢,应用研究与成果转化薄弱,每年渔业科技成果的转化率仅30%~40%,难以对产业的发展起到支撑作用。

淡水养殖产业的基础是苗种供应,但是现阶段的苗种培育过程规范性不足,培育技术落后,现有鱼苗培育过程繁琐,近亲繁殖现象严重。大宗淡水鱼繁育时,通常捕获野生成鱼作为良种进行繁殖,大部分没有进行人工选育;很多淡水鱼苗繁育场依靠经验对亲本进行筛选和保种,缺乏必要的科学繁育技术指导,育成的幼苗存在成活率低、发育慢、抗病能力弱等问题。此外,传统淡水鱼新品种的培育需要接近20 a的时间,不仅需要政府科研部门的持续支持,同时还要确保鱼苗的存活,周期很长、难度很大。

### 2.5 保鲜加工薄弱,冷链物流滞后

我国淡水养殖产品消费主要以鲜活为主,85%以上的产品以活体带水流通方式进行销售。活鱼带水流通方式存在运输成本高、效率低、损耗高等问题,在环境卫生和食品安全方面存在着较大的隐患,也不能满足营养、健康、美味、便捷等新的消费需求。相关的前处理设备以及深加工设备机械化、自动化、智能化水平偏低,成套的专业生产设备缺乏,产后保鲜加工处理和冷链物流体系亟待建立。

## 3 淡水渔业转型升级路径与目标

### 3.1 总体思路

以“生态优先、绿色发展”为原则,以“高质高效”为目标,以“机器替代人力、数据代替经验”为路径,以淡水渔业全产业链工程科技创新为突破口,通过

生物技术、工程技术、信息技术深度融合和产学研用协同创新,同步推进设施化、机械化、工厂化、智能化、智慧化、标准化,聚焦淡水渔业全产业链主要环节的理论方法创新、关键技术突破和新产品新模式创制,促进主导品种更加普及、特色品种更加优质、养殖过程更加精准、设施装备更加智能、经营管理更加智慧、市场消费更加畅通、社会经济效益更加彰显,着力构建“生产高质高效、环境绿色生态、产品安全放心、消费方便健康”的现代淡水渔业产业体系,保障优质动物蛋白和淡水产品的有效供给,实现淡水渔业转型升级和可持续发展。

### 3.2 推进路径

以市场需求为导向,促进淡水渔业产品生产、流通和消费方式变革,以新型经营主体为引领,构建淡水渔业全产业链产业体系、生产体系、经营体系,以科技创新为支撑,强化生物技术、工程技术、信息技术深度融合和协同创新。通过研发绿色化养殖工艺、设施化养殖模式以及养殖环境监控、饵料精准投喂、高效动态增氧、疫病预警防控、尾水高效净化、机械自动捕捞、智慧生产管理等设施装备<sup>[9-11]</sup>,推动实现池塘养殖过程可控、生产高效、资源节约、生态环保,满足我国池塘养殖绿色生产和可持续发展的重大需求;通过研发典型淡水产品的工厂化养殖模式、标准化养殖工程设施、智能化养殖技术与装备等,推动实现工厂化养殖环境可控、集约高效、智慧智能、环境友好,促进淡水鱼类工厂化养殖的智慧化与智能化;通过研发淡水产品高质化保鲜加工贮运技术与设施装备,推动实现淡水产品品质可控、加工高效、冷链保鲜、消费便捷,促进淡水产品向产地加工方式转变和便捷消费方式转型。淡水渔业转型升级路线图如图1所示。

### 3.3 主要任务

淡水渔业转型升级应聚焦四大技术领域:高效绿色水产养殖品种与模式、水产养殖环境调控技术与装备、水产养殖生产作业技术与装备、淡水产品保鲜加工贮运工程技术与装备;补齐三大突出短板:养殖方式粗放、设施装备落后、保鲜贮运缺乏;解决六大工程技术问题:绿色化高效化养殖模式、设施化工厂化养殖环境、科学化精准化饲料供给、机械化智能化生产作业、优质化冷链化保鲜贮运、智慧化远程化系统管控。

### 3.4 主要目标

以设施化、机械化、智能化、智慧化同步推进为

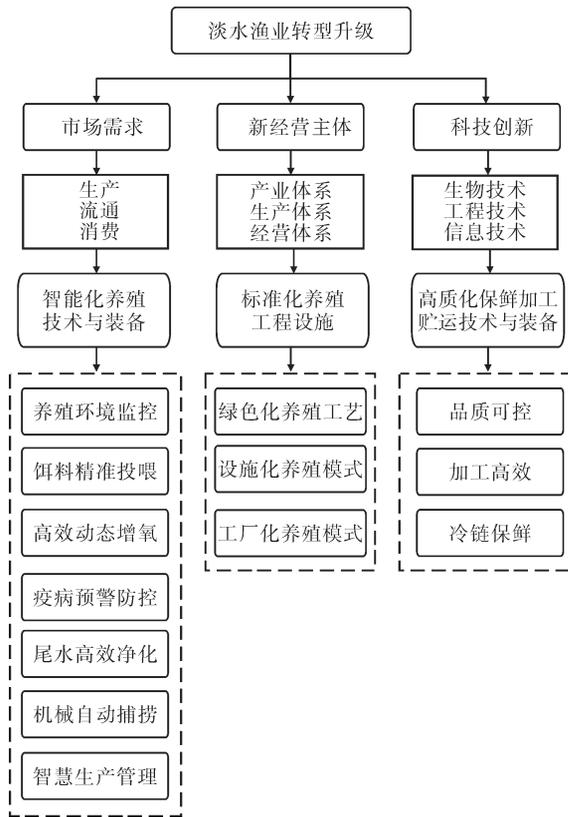


图1 淡水渔业转型升级路线图

Fig.1 Roadmap for the transformation and upgrading of freshwater fisheries

路径,通过突破淡水渔业绿色高效设施化工厂化养殖、智慧化智能化生产、优质化冷链化贮运等重大科学问题、关键核心技术和重要工程技术瓶颈,重点研发养殖设施、饵料投喂、水质监测、高效供氧、疾病防控、机械捕捞、尾水处理、加工保鲜等关键薄弱环节的工程技术装备,到2030年,实现水产养殖60%以上的机械化水平。构建以无人值守、无化石能源输入、无废弃物排放的“三无化”渔场为目标的池塘生态绿色养殖工程模式与技术体系;以环境自控、集成节约、智能作业为目标的陆基工厂化智慧高效养殖工程模式与技术体系;以保障品质、方便快捷、促进消费为目标的淡水产品冷链化保鲜贮运工程模式与技术体系,推动淡水渔业生产方式向数字化绿色化转型升级<sup>[12-13]</sup>。

## 4 淡水渔业转型升级工程科技创新重点

根据农业农村部、国家发展和改革委员会、财政部、自然资源部共同印发的《全国现代设施农业建设规划(2023—2030年)》,目前国内水产养殖的机械化

率仅为34%左右,机械化、智能化水平总体较低。规划要求到2025年机械化率超过50%,到2030年机械化率超过60%。要达此目标,需要优化设施渔业生产布局,推进池塘标准化改造,大力发展工厂化循环水养殖、陆基圆池养殖等设施渔业,积极拓展设施渔业绿色养殖发展空间。因此,需要开展淡水渔业转型升级工程科技创新。

### 4.1 淡水渔业绿色高效养殖模式研究

针对不同的养殖对象,研究建立低排放的环境友好型、物质高效循环利用的资源节约型、注重动物福利的品质提升型、病害生态防治与减控用药的安全高效型等健康养殖模式与技术,实现池塘绿色养殖模式和工厂化循环水养殖模式的标准化,解决制约淡水渔业绿色可持续发展的关键工程技术与设施的问题,构建过程可控、资源节约、产出高效和环境友好的养殖设施工程技术体系<sup>[14]</sup>。

1)池塘绿色养殖模式及标准化研究。针对池塘绿色生态养殖模式,开展淡水养殖对象生长模型以及饲喂策略与品质调控研究、水体溶氧动态平衡机理与高效可靠增氧方式研究、水体营养物质与污染物动态变化机理和养殖尾水处理技术研究<sup>[15]</sup>,以及空中、水面、水下全方位遥测与接触养殖环境信息感知技术等方面的基础研究;针对池塘绿色养殖模式,开展池塘绿色养殖工艺、标准化池塘养殖工程设施、配套的智能高效增氧、精准饵料投喂、成鱼高效捕捞、养殖环境智能监控<sup>[16]</sup>、水质监测与净化等技术与装备研发,提高池塘养殖的机械化、设施化、智慧化、智能化水平,构建池塘绿色养殖标准化模式。

2)工厂化循环水高效养殖模式及标准化研究。针对适宜工厂化养殖的淡水品种和高效工厂化养殖的产业需求<sup>[17]</sup>,开展工厂化高效养殖工艺优化、养殖容量评估模型、饲喂策略和生长模型、养殖环境质量评价与控制方法、水体净化与调控方法等方面的基础研究,实现工厂化循环水养殖模式下安全、高效、经济地进行淡水养殖,在提供优质水产品的同时实现养殖产量的提升以及养殖效益的最大化。同时对工厂化循环水养殖所需的标准化工程设施、智能投喂、智慧化水质监测调控技术与装备、养殖尾水达标排放处理工程设施与装备、工厂化水产苗种繁育设施与装备等进行研究,开发基于物联网、大数据、人工智能与机器人等技术的淡水养殖对象工厂化养殖过程监测、控制和管理技术与设备,实现淡水渔业工厂化养殖的智慧化与智能化,构建工厂化循环水养

殖标准化模式。

#### 4.2 淡水渔业优良养殖品种繁育技术与装备研究

针对池塘绿色养殖和工厂化循环水养殖,开展大宗淡水鱼类、名特优水产鱼类以及虾类、蟹类的亲本培育、人工繁殖、幼苗摄食习性驯化、开口饵料及苗种规模化等良种繁育技术研究,全面突破优质种苗繁育技术,研发规模化、标准化苗种繁育所需的装置设施,以及扩繁亲本高密度循环水集约化养殖技术和设施,提出生产技术规程,建立名优苗种的原、良种场,建成适度规模的示范生产基地。

1)淡水优良养殖品种培育技术研究。开展大宗淡水鱼类、名特优水产鱼类和虾类、蟹类的基因组学研究,探讨生长、繁殖、抗病、抗逆、性别、品质和高效营养利用等重要经济性状的遗传基础,获得重要功能基因并解析其调控机理,开展分子育种基础理论研究,创新育种新概念和新技术。建立集成选择育种、杂交优势利用以及细胞工程育种等多种育种技术集合的现代育种技术体系,创制淡水鱼类、虾类、蟹类新品种。

2)淡水优良养殖品种苗种繁育工艺与装备标准化研究。针对不同养殖环境的大宗淡水鱼类、名特优水产鱼类和虾类、蟹类的幼苗繁育,开展标准化的苗种繁育工艺研究,并对苗种繁育所需的容器设备、增氧设备、控温设备、鱼苗投饵设备、鱼苗分级计数设备等设施装备进行研究,制定苗种繁育工艺与装备有关标准及规程规范。

#### 4.3 精准投喂与饲料高效利用技术研究

研究淡水养殖品种的摄食规律,探究不同营养水平组合、投饲频率、投喂时间等对淡水养殖对象生长、饵料系数和肉质等的影响,针对不同养殖品种和养殖模式,建立科学合理的投饲策略。研究改善植物性饲料中的动植物蛋白质比例的精准配方,开展饲料蛋白质-能量比、糖-脂肪比的协同优化研究,从而提高饲料的整体利用效率,减少饲料氮排放。研发用于检测淡水养殖品种摄食状况的传感器、智能投喂装置和残饵收集装置<sup>[18]</sup>,实现淡水养殖品种的精准投喂。

1)不同养殖环境和养殖模式下的营养供给调配技术研究。研究不同养殖条件下淡水养殖对象的摄食和营养需要的动态变化规律,建立面向不同淡水养殖品种的摄食和营养需要动态模型<sup>[19]</sup>;研究淡水养殖对象在不同养殖模式下的最佳饲料营养水平及饲料消化利用状况;研究水体氮磷排放对饲料营养

水平的响应变化。针对淡水养殖对象精准饲喂需求,开展饵料的漂浮性、稳定性、硬度等加工指标分析基础研究,优化饵料加工工艺条件。

2)淡水养殖对象的摄食行为研究。针对不同养殖模式下的淡水养殖对象,运用视觉、声学等信息融合技术,获取养殖对象图像以及音频特征等参数,开展养殖对象摄食规律、摄食状态和生长模型研究,对淡水养殖对象在采食前后以及采食过程中的行为进行建模和表征,构建不同养殖模式和养殖对象的投喂量、投喂速度和投喂时间的精准投喂策略。

3)淡水养殖对象精准投饵设备研究。针对不同养殖模式下的淡水养殖对象,研发基于水质、摄食行为、剩饵等多源信息融合的智能化投饵设备,并对投饵设备结构、饵料输送和饵料投放过程等进行优化;研究不同养殖对象饵料的全天候自动精准投喂和远程监控方法;运用自动控制、物联网、远程通讯技术,开发由投饵机、可编程控制器和远程监控系统等组成的精准投喂系统。通过移动终端、系统控制中心、投饵机等设备之间的互联互通,实现不同养殖模式条件下投喂环节的智能化、精准化与远程控制<sup>[20]</sup>。

#### 4.4 不同养殖模式下水环境调控技术研究

研究不同养殖模式下水体环境因子以及微生态环境变化的基本规律,分析关键环境因子与营养物质循环之间的相关性。探讨水环境因子在淡水养殖过程中的变化规律以及含氮、磷成分物质的运移规律,揭示淡水养殖对象与水环境因子的互作机制;同时利用不同传感器对养殖水体进行监测<sup>[21]</sup>,构建水质参数变化的预测模型;研发水质智能调控技术与装备。

1)淡水养殖对象与水环境因子互作机制研究。探索养殖过程中水质参数(包括pH值、溶解氧含量、浊度、氨氮浓度、亚硝酸盐浓度、水温等)的时空演化规律,研究气候环境与鱼、虾、蟹等养殖对象对水质的影响规律;探索鱼、虾、蟹类在不同水环境中的生理、生长和品质变化规律,研究水环境因子对淡水养殖对象的影响。

2)淡水养殖水体水质参数预测模型构建。针对不同的淡水养殖对象、不同养殖模式,综合利用各种传感器技术对养殖水体进行实时监控<sup>[22-24]</sup>,利用物联网、大数据、云平台等技术,结合气候环境因素,构建淡水养殖水体水质参数预测模型,对未来时段内的水质变化等状况进行预测。

3)水质智能调控技术与装备研发。开展养殖水体溶氧动态平衡机制、高效可靠增氧方式、能源使用与管理技术研究,研发高效增氧技术与装备;对养殖水体中固体颗粒物的形成机制、分布规律、运移规律等进行研究,研制固体颗粒物高效过滤装备;同时对水体中二氧化碳、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐等物质的分布规律以及去除方法进行研究,研发淡水养殖水体水质参数稳定监测技术与装备以及高效水质调控装备;基于物联网、水质预测模型和智能决策系统等研发水质智能调控系统。

#### 4.5 淡水养殖多元信息智能立体感知技术与装备研究

针对淡水渔业养殖,分别开展空中、水面、水下全方位遥测与养殖环境信息感知技术,养殖系统空间信息实时处理的自动化和定量化,水质参数时空变化的精准预测,养殖动物行为准确识别与建模等方面的研究。基于智能传感、机器人和无人机等先进技术和手段,研发适用于不同淡水养殖模式下的多元信息智能立体感知技术与装备。

1)养殖环境信息的综合感知技术研究。基于水下传感器、机器人、岸基基站、无人机、卫星等先进技术装备,运用定点与巡检、遥测与接触式测量等手段,从空中、水面、水下多维度,实现水质、气象、土壤等环境信息的立体感知。攻克多维、广域时空信息实时管理,突破养殖环境生态监测、预警、决策信息发布与应用的网络化等技术瓶颈,实现淡水鱼养殖系统精准管理与养殖环境信息的远程网络传输与控制。

2)养殖对象生理及行为特征提取与辨识技术研究。依据声、光、电等多元信息,采用模式识别与人工智能算法,实现养殖对象的种类、数量、体质量、尺寸、呼吸、姿态、移动轨迹和空间分布等生理和行为特征的提取与辨识,构建生理和行为特征的辨识和预测模型,精准预测淡水养殖对象生长发育、饲料转化、产品品质及环境动态等动态指标,为淡水鱼养殖精准管控提供理论依据。

3)养殖信息融合与数据挖掘技术研究。面向养殖监测实际需求,开展养殖水体传感器优化布局,构建卫星、无人机、地面传感网三位一体的多源、多维传感器监测网络。使用信息融合与数据挖掘技术,综合养殖对象与环境监测和养殖专家数据库等多源信息,对养殖过程中的关键指标进行多时空尺度的评判,构建基于信息融合与数据挖掘的信息应用数

据库,实现多因素综合预警和决策支持。

4)淡水养殖信息系统技术集成与装备研发。以物联网为基本构架进行技术集成,开发淡水养殖多元信息智能感知系统。面向淡水鱼产业的各个关键环节,综合水质智能在线监测装备、智能水质管理装备、智能投喂装备、智能水产养殖机器人等系列智能化装备,构建无人值守淡水养殖生产体系,解决淡水养殖全过程中的环境、生理、生产数据等信息准确与实时监测与传输等系列技术瓶颈问题,构建基于智能传感和数据挖掘的淡水养殖智慧信息管理系统,实现淡水养殖的自动化、智能化、无人化管理。

#### 4.6 淡水渔业养殖尾水高效绿色处理技术与装备研发

针对不同的淡水养殖模式,开展养殖尾水中微生态环境变化的基本规律和精细调控机制研究,对养殖尾水中营养成分的再利用与净水的再平衡机制进行研究;针对淡水养殖尾水的过滤、沉淀净化、生化处理、生物处理等处理环节,研发高效、绿色的处理技术与装备以及配套的设施装备,降低养殖尾水中的悬浮物、含氮化合物、含磷化合物等有毒有害物质的浓度,构建高效、绿色和经济的养殖尾水联用处理技术体系,实现养殖尾水达标排放。

1)不同养殖模式下的养殖尾水生态学特性研究。开展不同养殖模式下的尾水生态学基础研究,包括营养成分和重金属积累的分子机制、主要营养物质的时空分布、能量流动和物质循环规律,揭示不同淡水养殖模式下营养元素的循环特征和池塘生物的生态学效应机制。

2)基于多元手段综合的养殖尾水处理技术研究。研究不同养殖模式下,池塘尾水总氮、总磷等污染物迁移转化规律及调控机制;针对不同养殖对象、养殖规模和养殖模式,研究基于物理、化学、生物修复、生态工程等技术的尾水处理技术,构建高效、绿色、经济的养殖尾水联用处理技术标准化体系。

3)基于不同养殖模式的尾水处理设施与装备研发。针对不同养殖模式,开展养殖尾水处理设施与设备的研究。研发基于机械过滤、泡沫分离、膜分离等物理方法的尾水处理技术与装备,基于臭氧氧化法、絮凝技术、电化学处理法的化学处理装备,基于微生物、植物等的吸收、代谢作用的生物处理技术与装备等,降解去除水体中的氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐等有害物质,提高尾水的处理效率以及降低尾水的处理成本。

#### 4.7 淡水产品捕捞及冷链化优质保鲜贮运技术研究

针对淡水产品的捕捞,在研究淡水养殖品种的行为特性、采食习性、生长特征等信息的基础上,开展淡水养殖产品的精准捕捞技术研究;针对淡水产品蛋白质含量高、容易变质、不易贮存的特征,开展淡水产品的呈鲜机制、保鲜技术等方面的研究,研发淡水鱼保鲜评价与检测技术与装备,同时开展鲜活水产品品质提升及保活运输技术与装备、生鲜调理水产食品保鲜及冷链物流技术与装备的研究。

1)淡水养殖产品精准捕捞技术与装备研究。以国内外先进的拖网、起网、泵吸等捕捞设备为基础,综合使用驯化诱集、电场驱赶、气幕驱赶等诱集技术,研发自动化机械捕捞、智能化精准捕捞技术以及淡水产品分类分级技术<sup>[25-26]</sup>,研发针对不同养殖对象的精准捕捞装备、鲜鱼智能分类、分级装备等。

2)淡水养殖产品保鲜评价及检测技术与装备研究。针对淡水养殖产品的保鲜评价与检测,开展淡水养殖产品的鲜味物质、呈鲜机制以及鲜度评价方法研究;开展基于现代生物传感器技术、高光谱技术、拉曼光谱技术及多源信息融合技术的淡水养殖产品的鲜度检测方法研究和鲜味快速检测仪器设备研发;同时对基于高压静电技术以及生物技术的保鲜机理进行研究,提高淡水养殖品种的鲜味保持时间。

3)鲜活淡水产品保活运输技术与装备研究。针对鲜活淡水养殖产品在运输过程中的应激反应及代谢生长对存活率的影响,开展运输前处理及贮运技术等方面的研究,开发鲜活淡水养殖产品长距离贮运技术以及贮运装备;探讨运输过程中水温、供氧、鱼体密度、水循环量等环境因素对鲜活淡水产品存活率及品质的影响规律,设计研发鲜活淡水产品低温充氧运输装置;集成运输过程应激调控、运输装置自动监测与控制、循环水暂养净化提质等技术,研发智能化的鲜活淡水产品保活运输设施与装备,构建鲜活淡水产品保活运输技术体系。

4)生鲜调理水产食品保鲜及冷链物流技术研究。开展淡水生鲜调理水产食品的保鲜技术研究,探究冷链物流过程中淡水生鲜调理水产食品的鲜度变化规律,建立淡水产品新鲜度评价方法,集成等离子体臭氧水减菌技术、鲜味降解抑制技术和速冻保鲜或冰温气调保鲜技术,研发淡水鱼贮运保鲜及冷链物流装备,建立完善的淡水生鲜调理与水产食品

的冷链物流技术体系。

#### 4.8 淡水养殖产品初加工技术与装备研究

针对优质大宗淡水鱼、名特优淡水鱼以及虾类、蟹类等淡水养殖品种,在研究产品生理特征、品质特征等内容的基础上,以改变目前淡水产品带水储流通和以淡水产品分散宰杀处理为主的消费习惯为目标,结合自动化、智能化、信息化等技术,开展淡水产品保鲜智能加工技术与装备研究,构建以冷链为手段、以品质保障为核心的淡水产品保鲜加工体系,推动淡水渔业产品消费方式的转型升级。

1)淡水养殖产品的理化性质及品质变化规律研究。针对不同淡水养殖产品,探讨在初加工过程中产品的理化性质及品质变化规律,研究保持淡水产品品质的初加工工艺与方法;研究不同淡水产品的热特性、质构特性、初加工条件、包装方式和贮运条件等对淡水产品品质变化规律及货架期的影响,研发淡水产品新型保鲜加工技术与装备。

2)淡水养殖产品智能化初加工技术与装备研发。针对不同的淡水养殖品种,在研究其结构特征、体型特征、品质特性的基础上,研发品种识别、自动分级、定向排列、剖切除脏、精准分割、高效去鳞等典型淡水产品初加工技术与装备,实现淡水产品的分级、清洗、去头、去鳞、剖切去脏、分割、消毒、包装等初加工的高效处理和自动化。结合机器视觉、智能传感、近红外光谱和自动控制等技术,建立淡水品种、质量、新鲜度、数量、鱼体温度和品质等的智能型淡水产品保鲜前处理加工生产线,实现对淡水产品初加工过程的实时监测与自动控制。

#### 参考文献 References

- [1] 中共中央党史和文献研究院. 习近平关于国家粮食安全论述摘编[M]. 北京:中央文献出版社,2023. Central Party History and Documentation Research Institute of the Communist Party of China. Compilation of Xi Jinping's discourses on national food security [M]. Beijing: Central Documentation Publishing House, 2023 (in Chinese).
- [2] 农业农村部. 国家级海洋牧场示范区建设规划(2017-2025年)[M]. 北京:国务院办公厅,2017. Ministry of Agriculture and Rural Affairs. National-Level Marine Ranch Demonstration Area Construction Plan (2017-2025) [M]. Beijing: State Council Office, 2017 (in Chinese).
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会编制. 中国渔业统计年鉴-2023[M]. 北京:中国农

- 业出版社, 2023. Fisheries and Fisheries Administration of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, Prepared by China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook-2023 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023(in Chinese).
- [4] 周小燕,倪琦,徐皓,等.2021年中国水产养殖全程机械化发展报告[J].中国农机化学报,2022,43(12):1-4.ZHOU X Y, NI Q, XU H, et al.Development report of China aquaculture whole-process mechanization in 2021 [J]. Journal of Chinese agricultural mechanization, 2022, 43 (12) : 1-4 (in Chinese with English abstract).
- [5] 农业农村部渔业渔政局.2022中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2022. Fisheries and Fisheries Administration of Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China fisheries statistical yearbook 2022 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022(in Chinese).
- [6] 戈贤平.大宗淡水鱼池塘循环水养殖技术研发进展[J].科学养鱼,2014,(8):2-4.GE X P. Progress in research and development of pond recirculation aquaculture technology for bulk freshwater fish [J]. Scientific fish farming, 2014 (8) : 2-4 (in Chinese).
- [7] 农业部渔业局养殖课题组.我国主要水产养殖方式研究[J].中国水产,2006(2):11-13.Fisheries Bureau Aquaculture Research Group of the Ministry of Agriculture. Study on main aquaculture methods in China [J]. China fisheries, 2006(2) : 11-13 (in Chinese).
- [8] ZHU Z W, WU D Q, JIANG Q J. Chinese freshwater aquaculture: a comparative analysis of the competitiveness on regional aquaculture industries [J/OL]. Aquaculture and fisheries, 2022 [2023-12-29]. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.11.001>.
- [9] 赵思琪,丁为民.水产养殖精准投喂关键技术研究进展[J].智能化农业装备学报(中英文),2023,4(1):42-53.ZHAO S Q, DING W M. Research progress on key technology of precision feeding in aquaculture [J]. Journal of intelligent agricultural mechanization, 2023, 4 (1) : 42-53 (in Chinese with English abstract).
- [10] 田昌凤,刘兴国,张拥军,等.移动式太阳能增氧机的研制[J].农业工程学报,2015,31(19):39-45.TIAN C F, LIU X G, ZHANG Y J, et al. Development and experiment of movable solar aerator [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(19) : 39-45 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张超,张宇彤,张洋,等.活性污泥挂膜快速启动循环水养殖尾水净化处理及微生物群落分析[J].环境生态学,2022,4(11):108-114.ZHANG C, ZHANG Y T, ZHANG Y, et al. Activated sludge biofilm formation for rapid start-up of wastewater purification treatment of recirculating aquaculture system and microbial community analysis [J]. Environmental ecology, 2022, 4(11) : 108-114 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李炳焯,杨光.不同水产养殖设施内温湿度现状研究[J].中国水产,2020(10):86-89.LI B Y, YANG G. Investigation on the present research of temperature and humidity in different aquaculture facilities [J]. China fisheries, 2020(10) : 86-89 (in Chinese).
- [13] 王志勇,谌志新,江涛,等.标准化池塘养殖自动投饵系统设计[J].农业机械学报,2010,41(8):77-80.WANG Z Y, CHEN Z X, JIANG T, et al. Design of automatic feeding system in standardization pond culture [J]. Transactions of the CSAM, 2010, 41(8) : 77-80 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李华,田道贺,刘青松,等.间歇式双循环工厂化养殖系统构建及其养殖效果[J].农业工程学报,2020,36(13):299-305. LI H, TIAN D H, LIU Q S, et al. Construction and effect of sequencing batch double-cycle recirculating aquaculture system [J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36 (13) : 299-305 (in Chinese with English abstract).
- [15] 黄雅贞,郭婧,曾庆祥,等.鲟鱼集约化养殖尾水处理技术[J].中国水产,2023(10):51-53.HUANG Y Z, GUO J, ZENG Q X, et al. Tail water treatment technology for sturgeon intensive aquaculture feeding [J]. China fisheries, 2023(10) : 51-53 (in Chinese).
- [16] 刘雨青,李志浩,曹守启,等.基于模糊控制的水产养殖环境智能监控系统设计[J].渔业现代化,2020,47(2):25-32.LIU Y Q, LI Z H, CAO S Q, et al. Design of intelligent monitoring system for aquaculture environment based on fuzzy control [J]. Fishery modernization, 2020, 47 (2) : 25-32 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王健华,史楠冰.锦鲤商品鱼循环水高效养殖技术要点与应用推广概况[J].中国水产,2023(5):65-68.WANG J H, SHI N B. Key points and application of high-efficiency aquaculture technology for commercial fish in koi fish [J]. China fisheries, 2023(5) : 65-68 (in Chinese).
- [18] 钟兴,刘永华,孙昌权.基于物联网的水产养殖智能监控系统设计[J].中国农机化学报,2018,39(3):70-73.ZHONG X, LIU Y H, SUN C Q. Design of aquaculture intelligent monitoring system based on Internet of Things [J]. Journal of Chinese agricultural mechanization, 2018, 39 (3) : 70-73 (in Chinese with English abstract).
- [19] 曹晓慧,刘晔.养殖鱼类摄食行为的特征提取研究与应用进展[J].渔业现代化,2021,48(2):1-8.CAO X H, LIU H. Advances in the study and application of feature extraction in feeding behavior of cultured fish [J]. Fishery modernization, 2021, 48(2) : 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [20] 盛平,王英杰,倪冬玮.基于实时水质参数的智能养殖装备设计[J].渔业现代化,2017,44(1):1-5.SHENG P, WANG Y J, NI D W. Design of intelligent aquaculture equipment based on real-time water quality monitoring [J]. Fishery modernization, 2017, 44(1) : 1-5 (in Chinese with English abstract).
- [21] 刘雨青,陈泽华,曹守启.基于物联网的水质传感器监控及自清洗装置设计[J].渔业现代化,2019,46(4):42-48.LIU Y Q, CHEN Z H, CAO S Q. Design of water quality sensor monitoring and self-cleaning device based on Internet of Things

- [J]. Fishery modernization, 2019, 46(4): 42-48 (in Chinese with English abstract).
- [22] 施珮, 匡亮, 王泉, 等. 基于PC-RELM的养殖水体溶解氧数据流预测模型[J]. 农业工程学报, 2023, 39(7): 227-235. SHI P, KUANG L, WANG Q, et al. Data stream prediction model for dissolved oxygen in aquaculture water using PC-RELM [J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(7): 227-235 (in Chinese with English abstract).
- [23] 程香菊, 具家琪, 胡佳纯, 等. 循环水养殖模式下鱼生长对环境因子的响应模型构建[J]. 农业工程学报, 2019, 35(11): 188-194. CHENG X J, JU J Q, HU J C, et al. Response model construction of fish growth to water environmental factors in recirculating aquaculture mode [J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(11): 188-194 (in Chinese with English abstract).
- [24] 施珮, 匡亮, 袁永明, 等. 基于改进极限学习机的水体溶解氧预测方法[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 225-232. SHI P, KUANG L, YUAN Y M, et al. Dissolved oxygen prediction for water quality of aquaculture using improved ELM network [J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(19): 225-232 (in Chinese with English abstract).
- [25] 张志强, 牛智有, 赵思明, 等. 基于机器视觉技术的淡水鱼质量分级[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 350-354. ZHANG Z Q, NIU Z Y, ZHAO S M, et al. Weight grading of freshwater fish based on computer vision [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 350-354 (in Chinese with English abstract).
- [26] 熊师, 柴长虹, 冯云云, 等. 鱼虾分级技术装备研究现状及展望[J]. 渔业现代化, 2023, 44(6): 2-7. XIONG S, CHAI C H, FENG Y Y, et al. Research status and prospects of grading technology and equipment for fish and shrimp [J]. Fishery modernization, 2023, 44(6): 2-7 (in Chinese with English abstract).

## Research on transformation and upgrading path of freshwater fisheries and key directions of engineering science and technology innovation in China

ZHU Ming<sup>1,2</sup>, TAN Hequn<sup>1,2</sup>, NIU Zhiyou<sup>1,2</sup>, WAN Peng<sup>1,2</sup>,  
FENG Yaoze<sup>1,2</sup>, LI Lu<sup>1,2</sup>, HUANG Huang<sup>1,2</sup>, HAN Yahong<sup>2</sup>

1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Key Laboratory of Aquaculture Facilities Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China

**Abstract** The transformation and upgrading of freshwater fisheries is of great significance for promoting consumption upgrading and achieving high-quality sustainable development of industry. Based on the analysis of the prominent problems faced by the transformation and upgrading of freshwater fisheries and the needs of engineering science and technology in China, this paper puts forward the specific overall ideas, the promotion paths, the main tasks and the main goals for the transformation and upgrading of freshwater fisheries. And through systematic research, the key research points of engineering science and technology innovation are put forward, such as green and efficient breeding, excellent species breeding technology and equipment, precise feeding and efficient feed utilization technology, water environment control technology under different breeding modes, efficient green technology and equipment for tailwater treatment, multi-information intelligent stereoscopic sensing technology and equipment, freshwater product fishing and high-quality freshness preservation, storage and transportation technology in cold chain logistics and equipment for aquaculture product primary processing, to provide the decision-making reference for comprehensively promoting the mechanization, establishment, and intelligence level of freshwater fishery in our country.

**Keywords** freshwater fisheries; transformation and upgrading; path; engineering technology; technology innovation

(责任编辑:边书京)