

# 试论淡水生态牧场发展理念与途径

杨红生<sup>1,2,3,4,5,6</sup>, 茹小尚<sup>1,2,3,4,5</sup>, 张立斌<sup>1,2,3,4,5</sup>, 林承刚<sup>1,2,3,4,5</sup>

(1.中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室,山东 青岛 266071;2.青岛海洋科学与技术试点国家实验室,山东 青岛 266273;3.中国科学院海洋大科学研究中心,山东 青岛 266071;4.中国科学院海洋牧场工程实验室,山东 青岛 266071;5.山东省实验海洋生物学重点实验室,山东 青岛 266071;6.中国科学院种子创新研究院,武汉 430071)

**摘要:**我国内地地表水资源丰富,在促进国民经济发展和提升人民生活水平方面具有重大意义.但近年来随着全球气候变化和人类活动影响不断加剧,淡水水域环境恶化和生物资源衰退现象日益严重.基于我国淡水水域环境和产业开发现状,借鉴海洋牧场成功建设经验,创新性提出了淡水生态牧场理念,系统阐述了淡水生态牧场的建设必要性、建设可行性和建设原则,论述了淡水生态牧场建设亟待突破的理论和技術瓶颈以及产业发展模式,以期建立兼具环境保护、生物资源养护和渔业持续产出的淡水渔业发展新业态提供参考.

**关键词:**淡水生态牧场;淡水渔业;环境修复;生物资源养护;生物多样性保护

**中图分类号:**S913;S937

**文献标志码:**A

我国幅员辽阔,地表水资源丰富.内陆水资源主要由河流、湖泊、大型水库、湿地与池塘等典型水域生态系统组成,《2019 年中国水资源公报》统计数据表明,我国地表水资源总量为 27 993.3 亿 m<sup>3</sup>,是世界水资源大国.淡水水域是内陆区域赖以生存和发展的生命线,是实施生态文明建设和乡村振兴战略的重要基点.淡水水域生态系统在生物多样性保护、人居环境改善、气候调节、灌溉、航运、旅游、发电、渔业等方面具有重要的生态、社会和经济意义(见图 1).然而,近年来淡水水域出现了环境恶化、生物资源衰退与生物多样性降低等重大问题.

党和国家高度重视水域生态系统的保护与持续利用.习近平总书记指出,山水林田湖草是一个生命共同体,绿水青山就是金山银山;要保持加强生态文明建设的战略定力,牢固树立生态优先、绿色发展的导向,持续打好蓝天、碧水、净土保卫战.党的十九大报告提出,建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计,从国家战略高度为水域生态环境的综合整治提供了根本遵循.当前,国家高度重视海洋牧场建设,先后有 136 处国家级海洋牧场示范区获批建设.实践表明,海洋牧场已成为实现近海海洋环境保护和渔业资源养护的有效途径,也为解决淡水水域诸多环境、资源问题提供了参考<sup>[1]</sup>,并有望在“一带一路”沿线国家得以推广.基于海洋牧场成功经验,结合我国淡水水域环境与资源现状,本文以理念创新、模式创新、技术创新和产

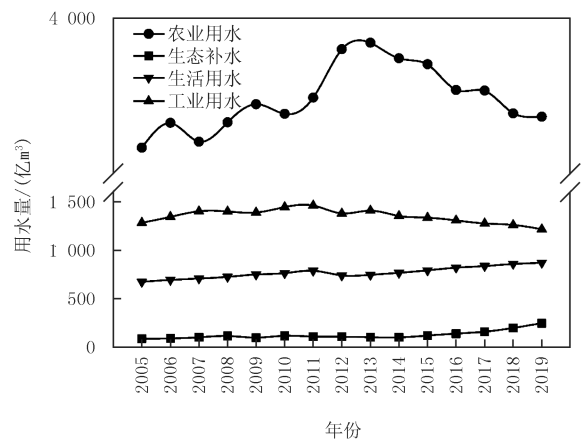


图1 2005-2019年间我国不同社会功能用水量动态变化

Fig.1 Dynamic changes in water consumption of different social functions in China from 2005 to 2019

收稿日期:2021-04-28;修回日期:2021-05-30.

基金项目:中国科学院科技服务网络计划(KFJ-STZ-ZDTP-077)

作者简介(通信作者):杨红生(1964—),男,安徽霍邱人,中国科学院海洋研究所研究员,博士,研究方向为养殖生态学、海洋牧场建设等,E-mail:hshyang@qdio.ac.cn.

业升级为导向,提出了“淡水生态牧场”发展新理念,即基于生态学原理,充分利用自然生产力,运用现代工程技术和管理模式,通过生境修复和人工增殖,在湖泊、水库等适宜水域构建的兼具环境保护、资源养护和渔业持续产出功能的生态系统<sup>[2]</sup>。必须指出,淡水生态牧场理念所强调的重点在于通过淡水水域生态系统的修复、保护与养护,在保障生态系统健康的基础上实现可持续发展,而不是通过盲目的增大养殖面积或改进养殖模式以追求短期的养殖利益。

## 1 淡水生态牧场建设的必要性

### 1.1 淡水水域环境质量亟待改善

淡水水域水体富营养化是生态系统退化的典型特征,尤其以封闭性湖泊为代表的淡水生态系统表现尤为严峻<sup>[3]</sup>,2019年Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ类水质湖泊比例仅为69.1%,而原因主要为生活用水、农业生产过程中化肥的过度使用和工业废水排放超标等。自2009年开始我国至少有50%的水库已存在水体富营养化的现象,导致在全国范围内“水华”等环境问题已呈现常态化发展态势,系统性生态修复工程亟待开展。淡水水域生态系统也普遍面临农药残留、重金属污染以及新型微塑料垃圾污染等多污染源的严峻现状<sup>[4]</sup>。自古以来,长江、黄河与珠江等支柱性河流及其毗连的湖泊与水库等水域系统为我国人口、耕地、工业区与城市的集中分布区域承担着关键的供水任务,但当前已出现明显的水资源需求上升与水资源承载力失衡的现象(见图2),且在全球气候变化的影响下,水资源供需矛盾越发突出<sup>[5]</sup>。当前多种因素干扰下,淡水水域

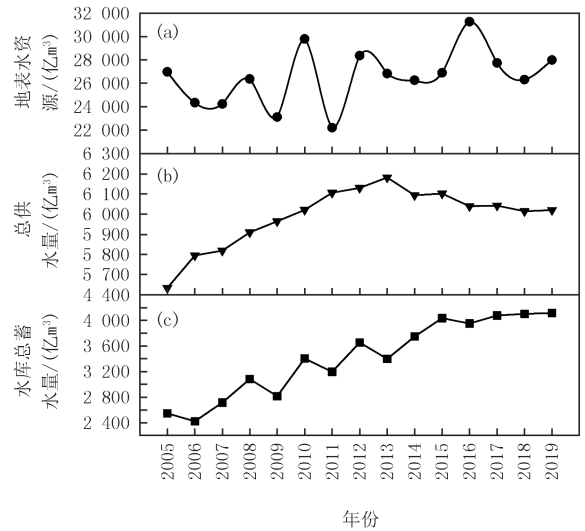


图2 2005-2019年间我国地表水资源总量(a)、总供水水量(b)与水库蓄水量(c)动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of total surface water resources (a), total water supply (b) and reservoir storage (c) in China from 2005 to 2019

生态环境恶化状况已变得更加严峻,如何实现水资源高效利用和水生态环境保护的协调发展迫在眉睫。

### 1.2 淡水水域生物资源亟待保护

我国淡水水域生物资源持续衰退现象凸显,水域荒漠化形势严峻,主要原因集中体现在:一是因捕捞压力加大和非法渔具使用,导致过度捕捞与兼捕现象严重,造成性成熟繁殖个体与仔稚鱼数量大量减少,严重影响了水生生物种群稳定<sup>[6]</sup>;二是因航运、采砂、水电水利工程建设等人类活动影响,导致水域生境碎片化突出、洄游通道受阻,造成产卵场、索饵场、育幼场和洄游通道丧失<sup>[7]</sup>;三是因养殖布局产业结构不合理和生态安全意识不强等原因,如罗非鱼等养殖动物逃逸现象严重并通过大量繁殖出现了生物入侵后果,严重挤压原有生态关键种的生态位,造成食物链紊乱和土著水生生物资源大量减少<sup>[8]</sup>。当前,我国淡水渔业资源现状整体呈现出资源总量下降、生物多样性降低、种群结构低龄化和小型化、营养级结构低级化等,最终造成了内陆野生鱼类、甲壳类与贝类等可用资源量急剧下降的现象(见图3),而大鲵、江豚、胭脂鱼等珍稀淡水保护生物种群也出现断崖式下降,甚至我国特有鲸类长江白鱀豚等已出现功能性灭绝现象<sup>[9]</sup>,在全国范围内系统性淡水生物资源养护工作亟待进行。

### 1.3 淡水渔业亟待转型升级兴业

捕捞和增养殖是我国利用淡水生态系统的主要渔业生产模式,也是农村经济的关键组成,但现有渔业产业体系存在明显的产业效率低与生态代价高等特点(见图4)。所谓产业效率低,即在渔业生产中普遍存在对水体空间的利用效率低、增养殖效率低与产值产能效率低等特点<sup>[10]</sup>;所谓生态风险高,即传统水库、湖泊网箱养殖过程中所投入的过量外源性饲料和养殖生物所产生的排泄物,间接加重了氮磷等营养盐输入,而粗放

的捕捞形式则易对渔业资源造成毁灭性后果,加之无序增殖放流与外来养殖物种形成的严重入侵现象,多种因素造成淡水水域生态系统资源环境恶化<sup>[11-12]</sup>.如何实现以“绿色、生态、高效”为发展目标,建立兼具环境保护、生物资源养护和渔业持续产出的淡水渔业发展新业态亟待实施.

## 2 淡水生态牧场建设的可行性

### 2.1 政策可行性

党和国家高度重视淡水环境保护与资源养护.习近平总书记于2018年4月考察长江流域的生态环境保护工作时强调:“当前和今后相当长一个时期,要把修复长江生态环境摆在压倒性位置,共抓大保护,不搞大开发.”随后,在2019年9月考察黄河流域的生态环境保护工作时再次强调:“保护黄河是事关中华民族伟大复兴的千秋大计.”习近平总书记对我国重要水域环境修复与资源养护工作的科学论断为淡水生态牧场建设指明了方向.

2019年2月,农业农村部、生态环境部、自然资源部等十部委联合公布了《关于加快推进水产养殖业绿色发展的若干意见》,意见指出:“发挥水产养殖生态修复功能,鼓励在湖泊水库发展不投饵滤食性、草食性鱼类等增殖.”2020年中央一号文件再次强调:“在长江流域重点水域实行常年禁捕,做好渔民退捕工作;推进水产绿色健康养殖.”2020年农业农村部一号文件指出:“强化水生生物资源养护.”党中央与各部委系列文件以“绿色、生态、高效”为发展前提,以“改善养殖水域环境、提升渔业资源养护效果”为目标的新型淡水生态牧场产业创新提供了坚实的政策保障.

### 2.2 产业基础可行性

我国利用淡水资源开展增殖养殖历史悠久,为满足人民对优质蛋白的需求,淡水增殖养殖产业近年来得到了持续关注与快速发展,当前已形成了捕捞、水库养殖、湖泊净水渔业、池塘高密度养殖、渔农综合种养等多元产业形式<sup>[13-16]</sup>,初步建立了种质资源保护、苗种繁育、增殖放流、疾病防控等技术体系,增植物种涉及鱼类、贝类、甲壳类、两栖类等诸多优质养殖对象,并在千岛湖等地形成了以保水渔业为核心的淡水生态牧场雏形,如千岛湖湖区森林覆盖率已达95%,水质常年保持在Ⅰ类水质以上,透明度可达10 m以上,生物资源数量总量达114种,通过精细化生产、运营并积极拓展一、二、三产业融合发展,目前已带动就业5万人次,直接渔业收入达10亿元,旅游收入达120亿元,为我国淡水渔业由传统增殖养殖向淡水生态牧场建设转型升级奠定了基础<sup>[17-18]</sup>.

当前我国淡水养殖产业基础良好,已具备建设淡水生态牧场的基本条件,然而,在当前严峻的资源环境

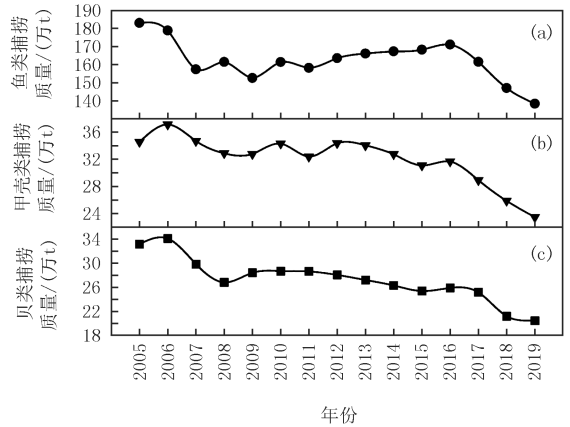


图3 2005-2019年间我国内陆鱼类(a)、甲壳类(b)与贝类(c)捕捞量动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of inland fish(a), crustacean(b) and shellfish(c) catches in China from 2005 to 2019

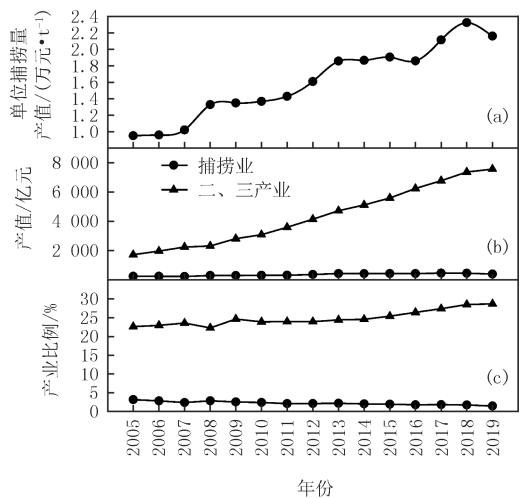


图4 2005-2019年间我国内陆渔业产能(a)、产值(b)与产业比例(c)动态变化

Fig. 4 Dynamic changes of productivity(a), output value(b) and industrial proportion(c) of inland fishery in China during 2005-2019

刚性约束的条件下,仍然缺乏集环境保护、资源养护与渔业持续产出为一体的全域型淡水水域开发利用模式,淡水生态牧场建设亟待实施。

### 2.3 技术支撑可行性

海洋牧场的建设经验可为淡水生态牧场建设提供借鉴与参考。自20世纪60年代以来,通过对“海洋农牧化”等海洋开发理念的继承发展,形成了“生态优先、陆海统筹、三产贯通、四化同步”的先进海洋牧场建设理念<sup>[1,19]</sup>,建立了生境构建设施与技术、关键种扩繁与增殖技术、资源环境监测评价技术、生态灾害预警预报系统,提出了“海洋牧场+海上风电”融合发展新模式<sup>[20-24]</sup>,建立了适应当地生境特征的国家级海洋牧场示范区。实践表明,海洋牧场作为现代渔业新业态,集环境保护、资源养护、渔业增殖、休闲游钓和景观生态建设功能于一体,促进了产业转型升级,增强了产业发展活力,带动了产业新一轮的发展。

与海洋牧场建设相比,淡水生态系统的水动力系统相对简单、规模面积相对较小,淡水生态牧场建设具有技术可操作性增强、技术难度降低、牧场单元区的规划与布局更为精准等优势,资源环境效应也将更加显著。就本质而言,海洋和淡水生态系统均重视生境修复和资源养护模式的构建,两者在空间和功能上是连通的,在原理、技术上是相近的。因此,借鉴海洋牧场在技术、理念、产业模式探索与装备研发等方面的成功经验,在内陆探索淡水生态牧场建设的可行性,将是实现内陆地区渔业转型升级、推动渔业供给侧改革的有效途径。相关海洋牧场成功建设的技术体系、生产模式与发展理念可为淡水生态牧场的顺利推进提供坚实技术支撑。

### 2.4 产业持续发展可行性

淡水渔业一直是我国传统农村经济的重要组成部分,在改善农村经济结构等方面起到了关键作用,近年来在国内与国际都展现出良好发展态势。根据《中国渔业统计年鉴》,在2019年度,我国淡水渔业总产值已达6 584.69亿元,渔民人均年收入21 108.29元,年增长率达6.15%,二、三产业中休闲渔业产值达963.68亿元,年增长率高达6.81%(见图4),表明当前淡水渔业领域在捕捞量下降背景下,一、二、三产业融合发展态势良好,新型淡水渔业产业链作为经济增长亮点,已在农民增收、农业增效的新型农村经济产业的改革中起到了关键作用。

此外,随着我国深化改革开放与“一带一路”国家战略的深入实施,淡水生态牧场建设技术也可为确保全球粮食安全提供有效帮助,如渔农综合种养模式<sup>[15]</sup>,不仅提高了土地和水资源的利用率,而且稳定了农民种粮积极性,对于确保粮食与优质蛋白稳定供应具有重要意义,为全球高效利用水资源、土地资源提供了“可复制、可推广”的中国方案。

## 3 淡水生态牧场建设理念与原则

### 3.1 生态保护优先

坚持“生态保护优先”,即淡水生态牧场是解决淡水环境恶化和渔业资源衰退的新业态,其健康发展要依赖于健康的江河、湖泊、水库等典型淡水生态系统,突出保护理念的坚决性与首要性,对于某些受损严重的水域,要首先开展保护性修复工作,加强原有生境修复与恢复,针对不同水域的现状,提出不同的、行之有效的保护修复方式,根据生态容量与资源特征,科学确定增殖的物种与规模是淡水生态牧场可持续发展的重中之重。

### 3.2 自然修复为主

坚持“自然修复为主”,即在充分认识淡水生态系统与人类活动更为密切,更易受到人类活动影响的基础上,淡水生态牧场建设过程中必须突出与自然共建的理念,利用并充分发挥自然修复能力;在生境修复与资源养护的过程中必须遵循并符合自然规律,不搞破坏性修复与开发,生态牧场的建设技术、设施与模式必须具备科学性,在科学实验的基础上,实现技术高效化、装备现代化与模式生态化,系统有效修复受损的淡水生态系统。

### 3.3 三生一体

坚持“三生一体”,即在“绿水青山就是金山银山”科学论断的指导下,我国淡水生态牧场的产业发展模式要具备生态、生产与生活协调发展的鲜明特点,为促进淡水生态牧场产业模式协调发展,在夯实渔业产业链



之外,要积极拓展下游食品精深加工产业、休闲渔业等二、三产业的发展,同时有力拉动上游环境保护业、动物保护业的协同发展.在实现渔业绿色发展的同时,推动产业交叉融合,促进产业转型升级,为渔民增收和渔业增效注入新活力.

### 3.4 多元融合

坚持“多元融合”,即淡水生态牧场建设在抓实生态修复、资源养护的效果之上,也要关注其在助力乡村振兴、美丽中国、粮食安全等重大战略实施中的作用,特别在全面建成小康社会的关键决胜时期,大力推进淡水生态牧场建设,可在增加渔民收入、解决渔民就业、建设美丽乡村、构建蓝色粮仓等诸多问题上提供新的思路与对策,进而实现生态、社会与经济效益的平衡发展.

## 4 淡水生态牧场建设技术与模式

淡水生态牧场建设是实现淡水水域环境保护、资源养护和渔业持续产出的重要途径,但其建设是一个系统工程,涉及科技、环境、政策、融资、管理等多方面问题,要充分认识到其重要性和复杂性.目前,应选择典型的湖泊与水库,开展全域型淡水生态牧场试点建设,并注重新技术、新模式与新装备的集成应用.

### 4.1 淡水生态牧场选址、规划与布局

通过优化层次结构模型等新型选址技术,结合历史资料分析法与站位调查法,突破大空间格局与小空间尺度的淡水生态牧场选址适应性评价技术体系建设<sup>[25]</sup>,在大空间布局规划方面,基于同一流域下各个湖泊、水库等水域系统流通性较强的特点,重点突破多区联动的协同规划技术,在同一区域内形成生态牧场群,在同一流域内形成生态牧场带,以达到生物多样性提高、资源量增加与水质改善的目标.在小空间尺度设施布局方面,重点突破淡水生态牧场建设所涉及的产卵场设施、生境修复设施、资源养护设施与资源环境监测设备的精确组合和精准布放技术体系.加强湖泊等典型水域生态系统演化的基础理论研究认知,揭示湖泊的演变过程,保障生态牧场资源环境效应的高效持续发挥.

### 4.2 淡水生态牧场生物承载力评估

开发基于声学原理的淡水生态牧场渔业资源无损探测技术,实现高浊度水体下水生生物资源的精准评估;开发基于遥感信息技术的资源环境耦合评估模型,实现渔情信息的精准预报和关键水生生物资源种群动态的精准检测.创建基于遗传信息的新型增殖放流评估技术,精准评估放流苗种在淡水生态牧场的分布、存活与自繁殖群体构建情况.基于江河、湖泊、与水库等典型淡水生态系统特征,优化生态通道模型、生态足迹模型的适用性与实用性<sup>[26]</sup>,系统建立淡水生态牧场的生物承载力与可持续产出评估技术体系.

### 4.3 淡水生态牧场生物多样性保护

创制外来入侵种生态清除技术体系,明确外来入侵种的生活史动态、扩散机制与种群规模,在不对本地种产生生态威胁的基础上,通过定期清除与持续管理,结合本地种增殖放流工作,进而有效促进生物多样性恢复;研制新型淡水渔业捕捞设施,通过设置逃逸窗口、加强渔具捕捞选择性等渔具渔法集成创新,减少对非经济鱼类、仔稚鱼、亲鱼与大型保护动物的兼捕影响,实现渔业生产不破坏生物多样性的目标.针对水利水电工程的影响,应在水利水电设施规划阶段,加强过鱼通道设施的设计创新,保障洄游性鱼类生物多样性安全<sup>[27]</sup>.在当前淡水系统生物多样性全面降低的背景下,应全面加强关键流域内的生物多样性保护区建设,并重点突破生物多样性保护地精准选择技术与精准观测评估技术等,在大空间尺度内实现生物多样性的全面恢复.

### 4.4 淡水生态牧场关键物种种质保存与扩繁

开发以分子生物学技术、保护行为学原理等为支撑的现代种质保护区建设技术体系,以生态保护红线保障淡水生态牧场关键物种种质保护作用.对于对人类活动响应敏感的濒危种、易危种等,应集成开发繁殖通道重建技术、繁殖场修复技术、繁殖个体无损标记技术、野外幼体保育技术、行为信息实时追溯与解析技术等,以保障自繁殖群体的建立和种群结构稳定,特别是在主要江河、湖泊等生态系统,以“高原种率”保障生态牧场种质资源安全.建立生态关键种与优势经济种苗种扩繁技术体系,以优质苗种保障牧场内增殖放流群体的成活率.重点突破生态关键种的生态育苗技术体系,在零抗生素使用的基础上,实现优质健康苗种的高效

生产.

#### 4.5 淡水生态牧场生物行为控制

以淡水生态牧场管理现代化为目标,研发资源生物行为智能控制技术体系,突破声学、光学、电磁学、气泡墙和信息素等行为控制技术,开发相关装备设施,实现管理技术智能化和管理流程信息化.研发动物行为水下视频录制技术、水下视频传输储存设施和定量解析软件,实现对重要资源生物的摄食行为、运动行为、集群行为、应激行为、繁殖行为、时空行为、栖息地选择行为等关键行为模式的定量解析和定性认知,探索行为变化与环境改变的互作机理,并将行为学原理应用到牧场生态稳定性评估、渔业资源生物量评估、采捕策略制定与水电设施设计等关键生产环节,实现资源与环境的可持续利用<sup>[28]</sup>.

#### 4.6 淡水生态牧场资源与环境高效修复

研发生态型产卵场设施、幼体养护设施、生境修复设施、资源养护设施、资源环境监测设施,并实现集成应用;针对内陆水体富营养化的现状,在优化基于滤食性鱼类、滤食性浮游动物为主体的高效生物清洁技术上,揭示大型水生植物在富营养化水体的生长与扩散机制.研发以大型水生植物为核心的生态浮岛与生态浮礁建设技术<sup>[29]</sup>,开发大型植物的移植、栽培规模化应用技术体系,创制鱼-虾、鱼-草、虾-草、鱼-草-虾-贝等复合高效多层次食物网结构,在丰富淡水生态牧场营养级结构与提升牧场生物承载力的基础上,实现“以鱼治水、以草治水”等生态型资源养护技术的集成应用<sup>[30]</sup>.

#### 4.7 淡水生态牧场资源环境观测与预警预报

集成开发适用于淡水生态系统的自升式监测平台、浮标平台、浅标平台,构建“天空地水”三维立体观测系统与多元数据采集平台;研发并应用水下摄像系统、水下多参数环境因子监测系统、水下多参数信息传输系统,实现水下数据的精准采集与高效稳定传输,创制资源环境与气象等大数据分析处理平台,并基于多模型开发生态牧场资源环境预警预报系统与专家决策系统,实现资源环境数据的精准实时采集,提高淡水生态牧场对重大自然灾害的预警、预报与预防综合能力.

#### 4.8 淡水生态牧场多产业融合发展模式

创新推动淡水生态牧场多产业集群发展,重点突破以增殖渔业为核心的第一产业技术,积极推动水产品精深加工产业、文化旅游产业链条建设,形成一、二、三全产业链条融合发展模式,突出龙头企业培育与地方特色品牌打造,以实现淡水生态牧场高质化、品牌化发展.实施“渔农融合”和“渔光融合”模式创新的技术体系研发与配套设施设备开发,在“不与粮争地、不与人争水”的基础上,以能源产业新动能带动传统农业旧动能高效转换,提升土地和水域空间集约利用效率,打造“水上出清洁电能、水面出生态粮食、水下出绿色水产品”的新局面<sup>[24]</sup>,促进淡水生态牧场产业高值化发展.重点关注“三产融合”“渔农融合”“渔光融合”等应用示范体系与示范基地建设情况,以技术、模式为导向,通过整合科研院所、龙头企业等优势研发力量,打造“可复制、可推广”产业模式与技术体系,以点带面,助力淡水生态牧场产业协同发展.

#### 4.9 淡水生态牧场标准制定和文化创新

强化标准化技术体系建立,在国家层面,从术语分类、调查选址、设施布局布放、监测评价、管理养护等角度积极推动淡水生态牧场建设技术国家或行业标准与规程的制定,全面实现理念统一化、建设流程的标准化<sup>[31]</sup>.在省市层面,针对各区域技术水平、生境特点与经济发展水平等,积极推动地方技术标准制定,切实保障淡水生态牧场在各地建设的可行性;积极培育淡水生态牧场文化观念,利用新闻媒体、宣传材料、科学展览馆和体验馆等传播方式,提高公众对生态牧场的科学认知,形成淡水生态牧场创新文化理念.

### 参 考 文 献

- [1] 杨红生.我国海洋牧场建设回顾与展望[J].水产学报,2016,40(7):1133-1140.  
YANG H S.Construction of marine ranching in China:reviews and prospects[J].Journal of Fisheries of China,2016,40(7):1133-1140.
- [2] 杨红生,霍达,茹小尚,等.水域生态牧场发展理念与对策[J].科技促进发展,2020,129(2):133-137.  
YANG H S,HUO D,RU X S,et al.New conception and development strategies for aquatic ecological ranching[J].Science & Technology for Development,2020,129(2):133-137.
- [3] 朱广伟,许海,朱梦圆,等.三十年来长江中下游湖泊富营养化状况变迁及其影响因素[J].湖泊科学,2019,31(6):1510-1524.  
ZHU G W,XU H,ZHU M Y,et al.Changing characteristics and driving factors of trophic state of lakes in the middle and lower reaches

- of Yangtze River in the past 30 years[J].*Journal of Lake Sciences*,2019,31(6):1510-1524.
- [4] 朱莹,曹森,罗景阳,等.微塑料的环境影响行为及其在我国的分布状况[J].*环境科学研究*,2019,32(9):1437-1447.  
ZHU Y,CAO M,LUO J Y,et al.Distribution and potential risks of microplastics in China;a review[J].*Research of Environmental Sciences*,2019,32(9):1437-1447.
- [5] 马柱国,符添斌,周天军,等.黄河流域气候与水文变化的现状及思考[J].*中国科学院院刊*,2020,35(1):52-60.  
MA Z G,FU C B,ZHOU T J,et al.Status and ponder of climate and hydrology changes in the Yellow River basin[J].*Bulletin of Chinese Academy of Sciences*,2020,35(1):52-60.
- [6] ZHANG H,HE W,TONG C,et al.The effect of fishing the anguillid elver(*Anguilla japonica*) on the fishery of the Yangtze estuary[J].*Estuarine,Coastal and Shelf Science*,2008,76(4):902-908.
- [7] KANG B,HUANG X,LI J,et al.Inland fisheries in China: past, present, and future[J].*Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*,2017,25(4):270-285.
- [8] 酃珊,陈家宽,王小明.淡水鱼类入侵种的分布、入侵途径、机制与后果[J].*生物多样性*,2016,24(6):672-685.  
LI S,CHEN J K,WANG X M.Global distribution,entry routes,mechanisms and consequences of invasive freshwater fish[J].*Biodiversity Science*,2016,24(6):672-685.
- [9] ZHANG H,JARIC I,ROBERTS D L,et al.Extinction of one of the world's largest freshwater fishes;lessons for conserving the endangered Yangtze fauna[J].*Science of the Total Environment*,2020,710:136242.
- [10] RU X S,ZHANG L B,LI X N,et al.Development strategies for the sea cucumber industry in China[J].*Journal of Oceanology and Limnology*,2019,37(1):300-312.
- [11] 张小栓,李楠,蔡文贵,等.我国水产养殖水污染成因及其对策研究[J].*中国渔业经济*,2007(5):30-33.  
ZHANG X S,LI N,CAI W G,et al.Cause and advise on the aquaculture water pollution in China[J].*Chinese Fisheries Economics*,2007(5):30-33.
- [12] XIONG W,SUI X Y,LIANG S H,et al.Non-native freshwater fish species in China[J].*Reviews in Fish Biology and Fisheries*,2015,25(4):651-687.
- [13] TOVAR A,MORENO C,MANUEL-VEZ M P,et al.Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters[J].*Water Research*,2000,34(1):334-342.
- [14] JIA P Q,ZHANG W B,LIU Q G.Lake fisheries in China: challenges and opportunities[J].*Fisheries Research*,2013,140(2):66-72.
- [15] XIE J,HU L L,TANG J J,et al.Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish coculture system[J].*Proceedings of the National Academy of Sciences*,2011,108(50):1381-1387.
- [16] 刘栋,张成龙,朱健.池塘循环水养殖系统构建及其生态净化效果研究进展[J].*中国农学通报*,2018,34(17):145-152.  
LIU D,ZHANG C L,ZHU J.Construction and purification effect of pond recirculating aquaculture system: research Progress[J].*Chinese Agricultural Science Bulletin*,2018,34(17):145-152.
- [17] 叶少文,张堂林.水库生态牧场绿色发展模式与技术对策的思考[J].*科技促进发展*,2020,129(2):243-248.  
YE S W,ZHANG T L.Thinking on green development models and technical countermeasures of reservoir ecological ranching[J].*Science & Technology for Development*,2020,129(2):243-248.
- [18] 孙梦婷,邵建强,汪敏,等.千岛湖生态牧场构建现状与发展展望[J].*科技促进发展*,2020,16(2):249-253.  
SUN M T,SHAO J Q,WANG M,et al.Status of ecological ranching establishment and its perspectives in the Qiandao Lake[J].*Science & Technology for Development*,2020,16(2):249-253.
- [19] 杨红生,章守宇,张秀梅,等.中国现代化海洋牧场建设的战略思考[J].*水产学报*,2019,43(4):1255-1262.  
YANG H S,ZHANG S Y,ZHANG X M,et al.Strategic thinking on the construction of modern marine ranching in China[J].*Journal of Fisheries of China*,2019,43(4):1255-1262.
- [20] XU S C,ZHOU Y,XU S,et al.Seed selection and storage with nano-silver and copper as potential antibacterial agents for the seagrass *Zostera marina*: implications for habitat restoration[J].*Scientific Reports*,2019,9(1):20249.
- [21] XU M,QI L,ZHANG L B,et al.Ecosystem attributes of trophic models before and after construction of artificial oyster reefs using Eco-path[J].*Aquaculture Environment Interactions*,2019,11:111-127.
- [22] FENG W W,ZHOU N,CHEN L X,et al.An optical sensor for monitoring of dissolved oxygen based on phase detection[J].*Journal of Optics*,2013,15(5):055502.
- [23] RU X S,ZHANG L B,YANG H S.Physiological traits of income breeding strategy in the sea cucumber *Apostichopus japonicus*[J].*Aquaculture*,2021,539(6):736646.
- [24] 杨红生,茹小尚,张立斌,等.海洋牧场与海上风电融合发展:理念与展望[J].*中国科学院院刊*,2019,34(6):700-707.  
YANG H S,RU X S,ZHANG L B,et al.Industrial convergence of marine ranching and offshore wind power: concept and prospect[J].*Bulletin of Chinese Academy of Sciences*,2019,34(6):700-707.
- [25] 许强,章守宇.基于层次分析法的舟山市海洋牧场选址评价[J].*上海海洋大学学报*,2013,22(1):128-133.

- XU Q,ZHANG S Y.Site selection evaluation of marine ranching in Zhoushan area based on AHP method[J].Journal of Shanghai Ocean University,2013,22(1):128-133.
- [26] 曾宪磊,魏宝成,刘兴国,等.基于 Ecopath 模型的复合养殖池塘构建[J].水产学报,2018,42(5):711-719.  
ZENG X L,WEI B C,LIU X G,et al.Analysis of compound culturing pond build based on Ecopath model[J].Journal of Fisheries of China,2018,42(5):711-719.
- [27] 周小愿.水利水电工程对水生生物多样性的影响与保护措施[J].中国农村水利水电,2009(11):144-146.  
ZHOU X Y.Effect of hydraulic and hydro-power projects on the diversity of hydrobios and protective measures[J].China Rural Water and Hydropower,2009(11):144-146.
- [28] 郑铁刚,孙双科,柳海涛,等.基于鱼类行为学与水力学的水电站鱼道进口位置选择[J].农业工程学报,2016,32(24):164-170.  
ZHENG T G,SUN S K,LIU H T,et al.Location choice of fishway entrance in hydropower project based on fish behavioristics and hydraulics[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2016,32(24):164-170.
- [29] YE H N, YE H P, Chang Y H. Artificial floating islands for environmental improvement[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 47(7): 616-622.
- [30] 刘家寿,王齐东,解绶启,等.内陆大水面生态牧场化管理:群落调控、生物多样性恢复与资源利用[J].科技促进发展,2020,129(2):237-242.  
LIU J S,WANG Q D,XIE S Q,et al.Ranching management in lakes and reservoirs of China;Community biomanipulation,restoration of biodiversity and resources utilization[J].Science & Technology for Development,2020,129(2):237-242.
- [31] 杨红生,杨心愿,林承刚,等.着力实现海洋牧场建设的理念、装备、技术、管理现代化[J].中国科学院院刊,2018,33(7):732-738.  
YANG H S,YANG X Y,LIN C G,et al.Strive to realize modernization of concept,equipment,technology,and management of modern marince ranching development[J].Bulletin of Chinese Academy of Sciences,2018,33(7):732-738.

## Developmental concept and approach of aquatic ecological ranching

Yang Hongsheng<sup>1,2,3,4,5,6</sup>, Ru Xiaoshang<sup>1,2,3,4,5</sup>, Zhang Libin<sup>1,2,3,4,5</sup>, Lin Chenggang<sup>1,2,3,4,5</sup>

- (1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China; 3. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 4. The Engineering Laboratory of Marine Ranching, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 5. Shandong Province Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Qingdao 266071, China; 6. The Innovative Academy of Seed Design, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

**Abstract:** China is rich in inland water resource, which plays an important role in the development of the national economy and improvement of the people's livelihood. However, due to the disturbance causing by global climate change and human activities, environment and biological resources of freshwater ecosystem are exhansting increasingly in recent years. On the basis of summarizing the successful experience in marine ranching construction and analyzing the current situation of freshwater ecosystem, we proposed the concept of freshwater ranching, then we discussed the necessity, feasibility, principle, technical bottleneck and development direction of the freshwater ranching in details. This article will provide new insights into the construction of freshwater ranching, which has the functions of environmental remediation, biological resource conservation and sustainable fisheries production.

**Keywords:** aquatic ecological ranching; freshwater fishery; environmental remediation; biological resource conservation; biodiversity protection

[责任编辑 刘洋 杨浦]



## 本期专家介绍



白正宇,河南师范大学化学化工学院教授,博士,博士生导师,国家优秀青年基金获得者,河南省高校科技创新团队带头人.主要研究方向为绿色新能源纳米结构材料、新型能量或物质转化电催化剂,包括燃料电池、金属-空气电池、二氧化碳和氮气还原等电催化材料的绿色仿生合成及性能研究.主持国家优秀青年基金、面上项目、青年基金等国家项目 3 项,主持河南省高校科技创新团队支持计划、河南省基础与前沿技术研究等省部级项目 4 项.在 *Nat Commun*, *Angew Chem Int Ed*, *Adv Mater*, *Adv Energy Mater*, *Adv Funct Mater* 等国际刊物上发表 SCI 收录论文 80 余篇,3 篇为 ESI 高被引论文,4 篇为封面论文.研究成果分别被 *Nature Review Materials* 作为研究亮点专题报道、受邀在 Wiley 等官方网站进行视频报道.获授权发明专利 12 件.受邀在国际和全国学术会议作邀请或主题报告 8 次.2018 年获第四届国际电化学科学与技术大会(EEST2018)“杰出青年学者”称号.

杨红生,中国科学院海洋研究所研究员,博士,博士生导师.现任中国科学院海洋研究所/烟台海岸带研究所常务副所长.兼任中国海洋湖沼学会副理事长、秘书长,中国自然资源学会副理事长,中国海洋湖沼学会棘皮动物分会理事长等.长期从事养殖生态学、海参遗传育种与养殖、海洋牧场建设等研究.2009 年入选“新世纪百千万人才工程”国家级人选和“山东省有突出贡献的中青年专家”,2015 年入选泰山学者特聘专家,2016 年入选山东省智库岗位专家,2017 年任农业部海洋牧场建设专家咨询委员会副主任/委员,2018 年入选“渔业科技创新领军人才”等,2021 年入选国家生态环境保护领军人才.并担任《海洋科学》主编、*Aquaculture and Fisheries* 副主编、*Korean Journal of Malacology* 编委、*Journal of Ocean University of China (English Edition)* 编委等.曾获山东省技术发明奖一等奖 1 项(2011)、山东省科技进步奖一等奖 2 项(2005、2014)、中国科学院科技促进发展奖 1 项(2017).



余国营,河南师范大学卓越人才特聘教授,博士,博士生导师,河南师范大学生命科学学院院长,河南省-科技部共建细胞分化调控国家重点实验室培育基地主任,国家肺纤维化生物学学科创新引智基地(111 计划)主任.中国科学院“百人计划”,河南省卫生计生科技创新人才“51282”工程专家,河南省呼吸学科重点学科学术带头人,中国细胞生物学学会理事.自 2005 年以来,一直在美国匹兹堡大学、耶鲁大学从事特发性肺纤维化及肺癌发病机理和治疗对策的应用基础研究.主持美国 NIH 基金项目、国家重点研发项目和科技部新冠肺炎应急攻关专项等项目,在 *Nature Medicine*, *PNAS*, *AJRCCM*, *EMBO*, *AJP*, *Cancer Research* 等杂志发表论文 80 余篇.获得美国专利授权 11 件,中国专利受理 1 件.曾获中国科协青年科学家奖、国际肺与气道纤维化组织青年科学家奖、肺纤维化基金会 Albert 科学家成就奖.