

# 我国淡水水产种质资源保护的现状、问题与应对

梁宏伟<sup>1</sup>, 吴怡迪<sup>1</sup>, 李梦龙<sup>2</sup>, 周同<sup>1</sup>, 沙航<sup>1</sup>, 王建波<sup>3</sup>, 陈松林<sup>4\*</sup>

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223; 2. 中国水产科学研究院, 北京 100141; 3. 全国水产技术推广总站, 北京 100125; 4. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东青岛 266071)

**摘要:** 淡水水产种质资源作为水产种质资源的重要组成部分, 在构建大食物观、保障粮食安全和优质蛋白质有效供给等方面具有重要作用; 经济社会发展和人类活动加剧对淡水水产种质资源构成威胁, 相应的保护利用及安全性受到广泛关注。本文从自然种质资源、养殖种质资源两方面梳理了我国淡水水产种质资源现状, 从保护体系、保护措施、保护效果三方面明晰了我国淡水水产种质资源保护现状。研究认为, 我国淡水水产种质资源保护体系有待优化、保存评价技术体系不够完备、多样性保护重视不够、法律体系有待完善, 可在加强水产种质资源的保存、鉴定和发掘, 加快淡水水产种业科技创新与应用, 强化水产种质资源的多元化保护措施, 完善水产种质资源保护法律体系等方面采取应对措施, 提高淡水水产种质资源保护和利用水平, 促进水产养殖业高质量发展。

**关键词:** 淡水水产; 自然种质资源; 养殖种质资源; 种质资源安全; 水产养殖业; 资源保存

**中图分类号:** S96 **文献标识码:** A

## Conservation of Freshwater Aquatic Germplasm Resources in China: Current Status, Problems, and Countermeasures

Liang Hongwei<sup>1</sup>, Wu Yidi<sup>1</sup>, Li Menglong<sup>2</sup>, Zhou Tong<sup>1</sup>, Sha Hang<sup>1</sup>,  
Wang Jianbo<sup>3</sup>, Chen Songlin<sup>4\*</sup>

(1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China; 2. Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100141, China; 3. National Fisheries Technology Extension Center, Beijing 100125, China; 4. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, Shandong, China)

**Abstract:** As an important component of aquatic germplasm resources, freshwater aquatic germplasm resources play a crucial role in building an all-encompassing approach to food, ensuring food security, and guaranteeing the effective supply of high-quality proteins. Socio-economic development and intensified human activities pose threats to freshwater aquatic germplasm resources, and the conservation, utilization, and security of these resources have attracted widespread attention. This study reviews the current status of China's freshwater aquatic germplasm resources from the perspectives of natural and cultured germplasm resources, and clarifies the

**收稿日期:** 2025-08-22; **修回日期:** 2025-09-28

**通讯作者:** \*陈松林, 中国水产科学研究院黄海水产研究所研究员, 中国工程院院士, 研究方向为水产种质资源与生物技术;

E-mail: chensl@ysfri.ac.cn

**资助项目:** 中国工程院咨询项目“种质资源安全战略研究”(2023-JB-02); 国家淡水水产种质资源库项目(FGRC18537); 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-45)

**本刊网址:** sscae.engineering.org.cn

conservation situation of these resources from three aspects: conservation system, conservation measures, and conservation effectiveness. The study indicates that China's conservation system of these resources needs optimization, the preservation and evaluation technology system is yet incomplete, biodiversity conservation is insufficiently emphasized, and the legal framework needs improvement. Furthermore, the following measures are proposed: (1) strengthening the preservation, identification, and exploration of aquatic germplasm resources; (2) accelerating technological innovation and application in freshwater aquaculture; (3) enhancing diversified conservation measures for aquatic germplasm resources; and (4) improving the legal system for the conservation of aquatic germplasm resources. These measures can effectively improve the conservation and utilization of freshwater aquatic germplasm resources and promote the high-quality development of aquaculture.

**Keywords:** freshwater aquaculture; natural germplasm resources; cultured germplasm resources; security of germplasm resources; aquaculture; resource conservation

## 一、前言

水产种质资源作为水产种业创新的物质基础,是保障国家粮食安全和水产品有效供给的基础性、战略性资源,面临着较为激烈的国际竞争形势<sup>[1]</sup>。《种业振兴行动方案》(2021年)将种源安全提升到国家安全的战略高度,强调种业科技自立自强、种源自主可控<sup>[2,3]</sup>。我国拥有丰富的水产种质资源,养殖种质资源为857种,其中淡水养殖鱼类占比为47.14%。2024年,我国水产养殖总产量为 $6.06 \times 10^7$  t,其中淡水养殖产量占比为58.29%,在促进水产品有效供给、增加优质动物蛋白供应、保障国家粮食安全方面发挥了关键作用<sup>[4-6]</sup>。近20年来,在科技基础条件平台的支持下,国家淡水水产种质资源库累计收集并保存活体资源567种、标本资源871种、基因资源590种、细胞资源82种,另保存水生病原菌、病毒等资源352株,相应规模处于国际优势地位。

活体种质保存对养殖和保种设施提出高的要求,维持运行需要较多经费,因而胚胎和生殖干细胞冷冻保存、生殖干细胞移植等技术受到更多关注。当前,国内的超低温冷冻保存相关标准和规范不够完善,保存规模与覆盖面有限,高效的配子和胚胎冷冻保存技术亟需突破;“环境-表型-基因型”一体化的淡水水产种质资源精准鉴定在研究深度、应用广度上均有不足,大部分种质资源的生境特征、种质特性等表型性状鉴定尚未系统开展,生长、抗性、品质等优异性状的基因型鉴定技术严重缺乏。国际上已有的全球水产遗传资源信息系统、海洋生物多样性云平台,能够整合多国的渔业数据,支撑跨国联合育种<sup>[7]</sup>。我国水产种质资源共享局限在科研院所和高校,企业参与度偏低,区块链追溯、跨境数据共享机制尚未建立;资源产权分属

不同机构,对保种单位和保种场的认识不足、共享意识不强、共享服务机制缺失,导致种质资源的共享利用程度较低,未能充分共享以实现更大价值。

水产种质资源作为种业的核心要素,事关保障“蓝色粮仓”稳定供应、践行大食物观、向江河湖海要食物。明确淡水水产种质资源安全战略,将在支撑水产种业振兴、乡村振兴、长江大保护等方面发挥关键的先导作用,也是厘清水产养殖业的资源基础、优化养殖结构、促进高质量发展的重要举措。鉴于此,本文基于水产种质资源普查、文献调研分析、交流研讨等方式,系统梳理我国淡水水产种质资源保护现状,分析种质资源保护存在的问题并提出应对策略,为我国淡水水产种质资源的安全健康发展提供参考。

## 二、我国淡水水产种质资源现状

### (一) 自然种质资源

我国淡水资源丰富、江河湖泊众多、生境类型繁多,相应的地理环境和气候生态条件孕育了良好的水产种质资源。全国淡水水域总面积约为 $2 \times 10^7$   $\text{hm}^2$ ,为水产种质资源提供了适宜的生存条件和繁衍空间;长江、珠江、黑龙江、黄河、淮河、海河、辽河等重点流域是重要的天然水产种质资源库,维系着淡水种质资源的生存与繁衍。《拉汉世界鱼类系统名典》《中国生物多样性红色名录·脊椎动物·淡水鱼类》《中国内陆鱼类物种与分布》《中国动物志》以及各地的鱼类志等,共同构成我国鱼类数据库。截至2023年,1704种(或亚种,包括1602个纯淡水种、102个咸淡水区域种)鱼类在淡水水域、沿海河口有分布,隶属于32目、96科、420属;其中,土著种、特有种共有1655种,引进种有49种<sup>[8]</sup>。

我国淡水鱼以外的其他淡水水产种质资源也十

分丰富。①自然分布的淡水虾类主要分为长臂虾科、匙指虾科：前者包括3个亚科39属155种，约占世界总种数的20%<sup>[9]</sup>，是我国渔业重要的经济虾类，以沼虾属、白虾属最为常见，主要的养殖或捕捞对象有日本沼虾、秀丽白虾、葛氏长臂虾、海南沼虾、细螯沼虾、安氏白虾等；后者包括2个亚科7属130种（或亚种）<sup>[10]</sup>，多为体长仅20~30 mm的小虾，生活于浅水区并喜欢在水草上攀爬摄食（又称草虾），以米虾属的种类最多，是我国最为常见、分布最广、产量最高、经济价值最大的类群，可供人类食用或作为肉食性鱼类的天然饵料。②现存的淡水蟹类共有311种（或亚种），隶属2科45属<sup>[11]</sup>，其中302种为我国特有。淡水蟹类群的整个生活史大都在陆地淡水环境中，主要有中华绒螯蟹、日本绒螯蟹、直额螯蟹、狭额绒螯蟹等。中华绒螯蟹在沿海省份皆有分布，盛产于长江流域，是淡水甲壳类中少有的长距离洄游性种类。日本绒螯蟹、直额螯蟹多产于广东、福建等省份的河口半咸水及泥滩。狭额绒螯蟹从辽东半岛直到广东省的海岸均有分布。③现存的淡水双壳类有6科21属79种，其中58种为我国特有。双壳类在淡水水域中的经济种主要有三角帆蚌、池蝶蚌、紫黑翼蚌、褶纹冠蚌、背角无齿蚌、橄榄蛭蚌、河蚬等，河蚬以外的蚌类均有类似的寄生繁育习性。④现存的淡水腹足类有37属181种<sup>[12,13]</sup>，主要是田螺科的中华圆田螺、中国圆田螺、方形环棱螺、梨形环棱螺、铜锈环棱螺以及苹果螺科的一些种。⑤龟鳖种质资源丰富，记载的有40种，其中云南闭壳龟、鼋、斑鳖已经功能性灭绝，有24种濒危且8种处于极度濒危状态。淡水龟鳖共有7个种，包括龟总科中的平胸龟科、潮龟科、陆龟科，鳖总科鳖科山瑞鳖属的山瑞鳖，鼋属的鼋，鳖属的中华鳖、东北鳖、砂鳖、小鳖，斑鳖属的斑鳖。其中，平胸龟科、潮龟科、鳖科的种类是我国龟鳖类的主要组成部分，广泛分布在内陆淡水水域，为水栖或半水栖类动物<sup>[14,15]</sup>。

伴随经济社会的快速发展，环境污染、过度捕捞、交通运输、水利工程建设等对淡水水产种质资源的安全构成显著威胁<sup>[16,17]</sup>。《国家重点保护野生动物名录》（2021年）将受保护的水生野生动物种类增加至281种，其中野生淡水鱼类有162种<sup>[18]</sup>；施氏鲟、大头鲤、滇池金线鲃等因栖息地破坏和污染、过度捕捞面临生存危机，由二级保护升级为一

级保护<sup>[19]</sup>。近年来，国家开始实施长江十年禁渔，各级渔业管理部门制定了禁渔、休渔、捕捞许可等保护管理制度和措施。《长江流域水生生物资源及生境状况公报（2024年）》显示，水生生物资源恢复态势总体良好，物种多样性水平稳步回升，栖息生境保持稳定，长江大保护系列政策措施成效明显。

### （二）养殖种质资源

2021—2023年，农业农村部组织实施第一次全国水产养殖种质资源普查工作，摸清了水产养殖资源家底，为建立水产养殖种质资源“收集保存—鉴定评价—创新利用”全链条保护与可持续利用体系筑牢了基础条件。国内现有水产养殖种质资源857个，其中淡水水产养殖种质资源共有516个（含淡水鱼类404个、淡水虾蟹类17个、贝类29个、藻类1个、两栖爬行类62个、其他类3个），分布在31个省份、2700多个县域的水产养殖主体中；养殖种类众多、数量庞大、范围广泛，具有生态习性多样、遗传多样性丰富、营养品质优良、利用途径多元的特点<sup>[6]</sup>。

对于淡水水产养殖种质资源，南方省份的种类多于北方省份，具有“温度和气候适应性”特点。①云南省淡水养殖鱼类最为丰富，在普遍养殖种以外还有一些特有鱼类，如保山光唇鱼等溪流性鱼类、大理裂腹鱼等高原性鱼类。②四川、广东、广西等省份气候温暖、降水充沛，为水产养殖提供了良好的自然条件，养殖种质均超过150种。③江西、安徽、浙江、江苏、重庆等长江流域省份拥有丰富的天然渔业资源和独特的地理环境条件，养殖种质资源均超过120种。④辽宁、吉林、黑龙江等东北地区省份河流湖泊众多，孕育了北方须鳅、鸭绿江茴鱼、白斑红点鲑等地方特色种类，养殖种质资源数量均超过100种。⑤华北、西北地区的水产养殖种质资源数量较少，以普遍养殖种和少量的冷水性鱼类为主，如四大家鱼、大口黑鲈、虹鳟、鲟、高白鲑等<sup>[20,21]</sup>。⑥青藏高原地区的水产养殖种质资源种类最少，以裂腹鱼等高原性鱼类为主，如光唇裂腹鱼、拉萨裂腹鱼等<sup>[6]</sup>。

在淡水养殖种质资源中，草鱼、鲢、鳙、鲤、鲫、大口黑鲈、乌鳢、黄颡鱼在31个省份均有养殖；细鳞鲑、褐鲟、暗纹东方鲀、桂花鲮、华鲮、

香鱼等物种的养殖分布则具有明显的地域性，如雅罗鱼主要在东北和西北地区，裂腹鱼主要在青藏高原和云贵高原，裸腹鲟、小体鲟、闪光鲟等主要在北方地区；金线鲃仅在云南省养殖，巨须裂腹鱼、异齿裂腹鱼、拉萨裂腹鱼等仅在西藏自治区养殖<sup>[6]</sup>。

随着分子生物学和育种技术的迅速发展，淡水水产种质资源鉴定和评价技术取得显著进步。构建了草鱼、鲢、鳙、青鱼等的基因组图谱，研发了“鲢芯1号”“鲂芯1号”“鳊芯1号”“蟹芯1号”等液相育种芯片，应用于种质资源鉴定、亲缘关系分析、分子育种<sup>[22-27]</sup>。构建了鲢、草鱼、翘嘴鳊、黄颡鱼、中华鳖等物种的脱氧核糖核酸（DNA）指纹图谱，研发了鉴别相近物种的分子特异性标记技术<sup>[28,29]</sup>。淡水水产种质资源表型性状、遗传基础、调控机制等方面的研究持续深入<sup>[30,31]</sup>，基因编辑、基因组选择等技术成功应用于淡水水产育种<sup>[32]</sup>。例如，利用基因编辑技术获得了少肌间刺甚至无肌间刺的鲤科鱼类新种质，显著改善了鲤科鱼类的食用体验与加工性能，提高了育种效率<sup>[33-35]</sup>。传统育种与现代育种技术相结合，加速了淡水水产新种质创制和新品种选育<sup>[36-38]</sup>。

截至2024年，我国通过审定的淡水水产新品种共有161个，含鱼类127个、虾类10个、蟹类8个、贝类7个、两栖爬行类9个。四大家鱼中的鲢、鳙、草鱼均培育出新品种，基本实现养殖良种化。鲤鲫鱼类中也培育出了多个新品种，如鲤中的福瑞鲤2号、建鲤、松浦镜鲤、豫选黄河鲤、颖鲤、荷包红鲤、易捕鲤等<sup>[39]</sup>，鲫中的异育银鲫“中科3号”“中科5号”、长丰鲫等<sup>[40]</sup>。值得注意的是，多数水产养殖种质资源的驯化时间较短，如大鳍鱠、马口鱼、圆口铜鱼等；另外一些水产养殖种质资源群体较小、遗传多样性偏低，丧失风险较大。

2000年前后，我国水产养殖总产量中有超过25%的来自引进物种，涉及鱼类、虾类、贝类等。截至2023年，我国引进的淡水鱼类共有37个，相应的年产量占全国水产养殖总量的8%<sup>[41]</sup>。在引进的种质资源中，国内形成较大产业规模的有罗非鱼、大口黑鲈、斑点叉尾鮰、虹鳟等。利用引进种培育的新品种有24个，成为淡水鱼类养殖种质资源的重要组成部分。例如，通过遗传改良自主培育了14个罗非鱼新品种，2024年全国罗非鱼养殖产量为 $1.894 \times 10^6$  t，位于淡水养殖鱼类的第6位；大

口黑鲈产业完成从引进种到主导国际市场的跨越式发展，培育了大口黑鲈“优鲈1号”“优鲈3号”新品种，2024年全国鲈鱼养殖产量为 $9.385 \times 10^5$  t，约占全球养殖总量的99%。

我国引进的外来淡水虾类主要有克氏原螯虾、罗氏沼虾等。克氏原螯虾在我国广泛养殖，主产区位于长江流域，是第四大淡水养殖种，2024年全国养殖产量为 $3.45 \times 10^6$  t，全产业链综合产值超过4500亿元。也要注意，一些引进的种类因养殖逃逸、人为放生等进入了自然水域，给自然生态系统带来了一定的风险，需规范管理。

### 三、我国淡水水产种质资源保护现状

#### （一）保护体系

我国初步构建了全区域覆盖的淡水水产种质资源保护和利用网络，建立了“保护区-种质库-遗传育种中心-原良种场-苗种场”一体化的水产种质资源保护体系。现有国家级水产种质资源保护区535处，涉及淡水物种的有471个，覆盖内陆主要江河湖泊的水产种质资源区，为300多种重要水产种质资源提供了有效保护<sup>[42,43]</sup>。此外，“国家淡水渔业生物种质资源库”项目的可行性研究报告已获主管部门批复，建成后将成为我国淡水水产种质资源的重要保存和利用基地；珠江流域等处的水产种质资源分库正在积极筹建，河南、浙江、天津、山东等省份正在建设省级种质资源库。

建成的国家级水产原良种场有105家（含淡水水产67家），省部级水产原良种场超过800家，承担着水产原种的保存和开发任务，防止种质退化与混杂。科学保存水产原种，不断培育出具有生长快、抗病强、品质优、适应广等优良性状的水产良种。原良种场将保存的良种、培育的良种供应给养殖企业和养殖户，推动水产养殖业的高产、优质、高效、生态、安全发展，为保障水产品稳定供应、提升水产品质量、增加渔民收入提供坚实基础。

我国淡水水产自然种质资源保护对象主要是珍稀濒危物种、具有重要生态价值的本土鱼类，如中华鲟、长江江豚、白鲟等珍稀濒危物种，川陕哲罗鲑、重口裂腹鱼、极边扁咽齿鱼等具有生态价值的土著鱼类。长江十年禁渔实施以来，2021—2024年长江流域共监测到土著鱼类344种，较禁渔前

(2017—2020年)增加36种,表明水生生物多样性持续恢复。

### (二) 保护措施

国家高度重视淡水水产种质资源保护工作,采取就地保护为主、迁地保护为辅的水产种质资源保护方式,实施分类分级保护<sup>[44]</sup>。①就地保护指按照尊重自然、顺应自然、保护自然的理念,坚持自然恢复与人工修复相结合的基本思路,对重要水生生物及其关键栖息地实施整体保护、系统修复、综合治理。尤其是面向珍稀濒危水生动物,对包括索饵场、产卵场、越冬场、洄游通道在内的关键栖息地进行就地保护,开展综合性的生态保护和修复。例如,中国水产科学研究院长江水产研究所创制了长江鲟产卵场改造技术,使人工改造的产卵场达到了长江鲟自然繁殖的生态水力学条件,为长江鲟野外种群重建提供了关键技术支撑<sup>[45]</sup>。②迁地保护指将生存条件不复存在、数量少、繁衍难、生存受到严重威胁的种质资源从原地迁出,移入适宜的环境条件进行特殊保护和管理。主要通过人工驯养繁殖、建立种质资源库、设立人工繁育和救护中心等形式,对濒危、珍稀、特有物种进行救助或规模化繁育,能够保存独特的基因资源,避免物种灭绝而致基因丢失,对维护生态平衡和生物多样性具有重要意义。例如,在长江流域建立了针对中华鲟等珍稀物种的人工繁育中心,专门开展相关物种的保护与人工繁育技术研究,攻克了驯养和繁育关键技术;云南茂湾水产有限公司历经20多年,从野外收集鱼种并进行人工驯化养殖,成功实现鱈浪白鱼种质资源的迁地保护和规模化繁育养殖。

增殖放流、生态修复是水生生态系统管理中相辅相成的重要手段:前者通过人工方式补充水生生物种群,后者聚焦水域生态系统功能的整体性恢复,协同维护水生生物多样性、改善水域环境、提升生态系统稳定性<sup>[46]</sup>。增殖放流通过人工培育、投放水产种质资源(如鱼类、虾蟹、贝类、藻类等),补充或恢复天然水域中衰退的生物种群,推动生态系统平衡,实现种质增殖,如在长江流域、黄河流域等地开展了四大家鱼、中华鲟、长江鲟的增殖放流活动。增殖放流需与栖息地生态修复(如人工鱼礁建设、水生植被恢复)同步推进,才能实现“放流种群存活—栖息地适应—自然繁殖”的良性循

环<sup>[47]</sup>。脱离生态修复的增殖放流并不可行,仅靠投放苗种而不改善水域环境,放流生物难以存活或自然繁殖,甚至可能加剧生态失衡。

### (三) 保护效果

增殖放流是恢复天然水域中淡水水产种质资源的重要措施,有效补充了天然水域中渔业资源的种群数量,促进了濒危珍稀物种的保护与恢复,对维护水生生态平衡起到积极作用<sup>[48]</sup>。随着长江十年禁渔等的大力推进,长江水产种质资源恢复态势已经显现<sup>[49]</sup>。长江流域的四大家鱼卵苗发生量从不足 $1 \times 10^8$ 尾/年增加到 $2 \times 10^9$ 尾/年以上,长江刀鲚的溯河洄游范围时隔30年后再次到达历史分布上限的洞庭湖;2022年,长江江豚在鄱阳湖、洞庭湖、长江江段频繁出现,数量回升至1249头,较2017年增长23.4%。

国家种质资源库、地方种质资源库、国家级/省级水产原良种场在淡水水产种质资源保护与挖掘利用中发挥了重要作用,收集和保存了全国范围内的珍稀、濒危、特有以及具有重要经济价值的淡水水产物种,如中华鲟、长江刀鱼、秦岭细鳞鲑等濒危物种的活体、精子、卵子、基因等遗传材料,重要水产养殖经济生物种类的覆盖率为100%。在实施保存和保护的同时,对收集的种质资源进行系统性鉴定,挖掘优异种质资源,解析遗传多样性、抗性基因、生长性状等方面的核心价值,攻关种质资源保护“瓶颈”技术。例如,美丽硬仆骨舌鱼(金龙鱼)是国际珍稀观赏鱼种,列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录I保护名录<sup>[50]</sup>;2025年国内机构繁育出金龙鱼苗种2批合计47尾,实现金龙鱼全人工循环繁育,为更多淡水珍稀物种的人工繁育提供了技术借鉴。

## 四、我国淡水水产种质资源保护存在的问题

### (一) 淡水水产种质资源保护体系有待优化

我国初步构建了包括种质资源保护区、种质资源库、遗传育种中心、原良种场、苗种场在内的淡水水产种质资源保护体系,但其综合保护成效仍有待加强。保护区是淡水水产种质资源就地保护的主要方式,而现有的淡水水产种质资源保护区功能区划不尽合理、覆盖范围有限,部分重点品种的野外

栖息地、产卵场等尚未获得有效保护。对于种质资源的数量、年龄、遗传多样性水平、天然栖息地状态的动态变化,一些保护区缺乏定期监测能力。

种质资源库、遗传育种中心、原良种场、苗种场是水产种质资源迁地保护的主要方式。国家淡水渔业生物种质资源库尚未建成,地方的种质资源库也很少。多数原良种场对淡水水产种质资源以活体保存为主,保存难度较大,存在设施老化、保种技术落后、发展后劲不足等问题<sup>[51,52]</sup>;以室外池塘养殖保种为主,受气候变化影响较大,缺乏自动化、智能化的监测预警平台,保种效率偏低<sup>[53]</sup>;保存种质的遗传管理手段缺乏,多数仅通过表型对种质资源进行必要的挑选和留种,而针对遗传结构、遗传多样性状态、遗传污染状态的监测较少,不利于提高种质保存的有效性。此外,我国淡水水产种质资源保存缺乏科学理论和标准体系,保存体系建设的支撑条件不佳,管理体系碎片化,保护体系的协同性不足,不利于充分发挥保存效能。

## (二) 淡水水产种质资源保存评价技术体系不够完备

淡水水产种质资源保存评价技术体系具有综合性,分为保存技术体系(涵盖资源收集、标准化保存)、评价技术体系(涉及种质评价、创新应用)。现有的保存方式主要有活体保存、配子或胚胎低温冷冻保存、基因资源保存等。活体保存是水产种质保存的重点手段,分为就地保护、迁地保护,保护对象包括原种、野生种、良种。活体保存面临自然种群资源生境破碎化、遗传多样性流失的问题,如一些水坝工程阻断鱼类洄游、中华鲟等濒危物种的野外种群数量极少等,需要针对性地研发专门的保存技术。与活体和基因保存相比,精子冷冻保存技术成熟,而胚胎低温冷冻保存技术不够成熟,也因不同物种对冷冻保存的敏感性存在差异而致保存效率低下;需要针对物种特性优化保存方法,开发新型冷冻干燥技术、减少冷冻损伤的抗冻蛋白或纳米载体等,提高胚胎冷冻保存水平。

淡水水产种质资源的评价主要分为表型性状和遗传多样性评价、基因组学评价、育种值评估等。在淡水水产种质资源评价中,评价技术深度有所不足,表现在以表型鉴定为主,基于基因型的评

价技术应用较少,高通量技术应用率不高,智能化评价技术欠缺<sup>[54]</sup>。淡水水产物种具有多样性,而现有评价指标体系不适应多样化的物种特点,需要开发特定的评价指标。水产种质资源表型评价技术在应用时多依赖人工测定,而高通量、自动化测量技术应用不够广泛,适用的种质也很有限。在优异种质资源筛选方面,基于全基因组层次的信息构建模型计算个体育种值,据此筛选优异亲本或优异杂交组合用于繁育等先进技术,仅针对少量物种展开应用。

与作物和畜禽相比,多数淡水水产的种质资源存在评价技术不完善、没有明确的评价指标和标准体系、评价工作标准化与规范性不强的问题。针对一些作物开发智能化种质资源评价系统,应用深度学习开发种质资源鉴定模型,构建遗传多样性评价体系和标准遗传地图,支持精准筛选优良品种,相关先进技术在淡水水产种质资源方面仅处于起步阶段<sup>[55-57]</sup>。在数据体系构建和保护方面,国家淡水水产种质资源数据库初步建成,但数据类型较为单一,种质资源数据的系统化管理、深度挖掘和共享存在不足,如第一次全国水产养殖种质资源普查获得的大量种质资源表型和基因型数据尚未得到充分利用。

## (三) 淡水水产种质资源多样性保护重视不够

在淡水水产种质资源多样性保护方面,开展的措施有淡水水产种质资源普查、保护体系建设、种质资源数据库构建等,也进行了生境修复和增殖放流,取得了一定成效。但从自然种群保护的角度看,自然水域淡水水产种质资源的家底仍不清晰。目前仅有长江渔业资源与环境调查专项已经完成,基本厘清了长江水产种质资源现状,而其他地区的调查专项仍在进行中,尚未摸清资源本底。野生种群或近缘野生种是遗传育种工作的宝贵材料,需要针对重点养殖对象的自然种群开展持续监测和鉴定评价,以便进行挖掘利用。

对淡水水产种质的自然种群保护重视程度不够,部分物种的自然种质资源存在丧失风险。一些自然水产种质资源的种群在自然水域中已经很少,资源量十分有限,但人工驯化和繁育技术尚未突破;个别种质资源虽有人工养殖群体,但群体也极小、未能实现繁育,极易丧失。受增殖放流、养殖

逃逸的影响，自然种群会受到一定程度的遗传污染，情况严重的已经难以确定是增殖放流的养殖种，还是养殖种与野生种的杂交个体。对增殖放流本身关注较多，而对放流群体监测的关注还很缺乏，在增殖放流群体对野生群体的影响方面的研究明显不够；对放流群体遗传多样性没有提出明确的要求，导致放流群体质量参差不齐，容易造成自然种质资源的退化。

从资源利用的角度看，养殖种质资源远不能满足产业需求<sup>[58]</sup>。在拓展种质资源的过程中，部分引进种的供给存在安全隐患，缺乏目标种质的多样性和生态安全性评价，引进后也没有开展持续监测和有效管理，致使一些种在引入后逐渐发展为入侵种，威胁土著种的生存<sup>[59,60]</sup>。此外，尚未明确淡水水产种质资源保存和保护顺序，很多种质资源的保护仅是研究机构、养殖企业和养殖户的自发行为，保护效率较低。

### （四）淡水水产种质资源保护的法律体系有待完善

自1986年起，以《中华人民共和国渔业法》等法律规章为基础，基本构建了水产种质资源管理体系。近年来颁布的《中华人民共和国长江保护法》《中华人民共和国黄河保护法》，要求构建生物多样性保护标准体系，制定珍稀、濒危鱼类保护方案，定期开展流域水生生物完整性指数评估，强化关键栖息地的保护与修复，禁止以商业捕捞为目的的渔业捕捞活动<sup>[61,62]</sup>。与种质资源管理成熟的发达国家相比，我国淡水水产种质资源管理的法律框架、制度设计、监管机制仍显薄弱，长江流域以外的其他流域监测网络均未建立，缺乏统一的数据汇交平台，难以实时共享关键数据<sup>[63]</sup>。

在外来物种管理制度方面，虽有《中华人民共和国生物安全法》《中华人民共和国进出境动植物检疫法》《中华人民共和国野生动物保护法》《中华人民共和国环境保护法》，但相关规定分散且碎片化，系统性与协调性不强；《外来入侵物种管理办法》（2022年）仅属于行政规章层级，不具备法律层面的强制力和统一性。水产种质资源管理仅以原则性条款来划分县级以上政府的职责，既缺少国家层面的顶层统筹，也缺乏与地方分级落实相衔接的运行机制，导致有效保护相关资源并实施精细化管理的难度较大。

## 五、我国淡水水产种质资源保护的应对措施

### （一）加强水产种质资源的保存、鉴定和发掘

近年来，农业种质资源保护与利用工作得到高度重视，种源安全已成为国家安全要素之一。我国淡水水产种质资源的总量较大、类型丰富，而相关的收集、保存、开发工作整体处于起步阶段，如已收集和保存的种类、数量仍显不足，表型测定、精准鉴定、系统评价的规模与覆盖面有限，整合表型与基因型的联合数据库尚未建成<sup>[64]</sup>。应加大种质资源的收集、驯化、保存、繁育力度，持续开发和利用有价值的养殖对象，为水产养殖业发展提供高质量的种质资源保障。开展淡水水产种质资源表型、基因型的精准鉴定与科学评价，解析优良性状形成的分子基础，阐明控制优良性状的关键基因和调控元件，应用基因编辑或全基因组选育等技术进行新种质创制。研发淡水水产优异种质的大规模、生态化保存技术，提高优良性状维持技术水平。优化水产种质资源精子和胚胎冷冻保存技术，完善细胞保存、鉴定、评价技术，提升淡水水产种质资源保存和鉴定能力，为水产种质资源开发利用提供坚实基础。

### （二）加快淡水水产种业科技创新与应用

生物技术是水产种业可持续发展的核心驱动力，需全面提升水产育种生物技术创新能力并实现种源自主可控<sup>[65]</sup>。加快建立表型、基因型高通量发掘技术体系，支撑表型性状深度鉴定和优异基因资源的规模化、精准化发掘，将种质资源优势转化为基因优势，为生物育种提供关键的基因资源。水产育种生产实践中仍以选择育种、杂交育种、性控育种等传统技术应用为主，滞后于“常规育种+现代生物技术育种+信息化育种”的国际发展趋势<sup>[64,66]</sup>；全基因组选择、基因编辑、生殖干细胞移植、合成生物学等前沿育种技术亟待突破，与常规育种体系的深度融合需加快推进<sup>[67,68]</sup>。缩短育种周期、提高育种效率、高效保持优异性状，是重要经济鱼类遗传育种的攻关方向<sup>[64]</sup>。在巩固选择育种、杂交育种、性控育种、分子标记辅助等传统技术的基础上，加快建立全基因组选择、基因编辑、生殖干细胞移植、基因组融合重构、分子模块设计、合成生物学、智慧育种等融合的现代水产育种技术体系，

提高现代育种技术创新能力及应用水平。加强种质资源原始创新能力,运用现代基因工程技术,构建新种质创制与新品种培育紧密衔接的种质创新技术体系,创制一批具有产业化开发利用价值的突破性新种质。

### (三) 强化水产种质资源的多元化保护措施

我国初步构建了就地保护和迁地保护相结合、活体保护与遗传材料保存相补充的淡水水产种质资源保护利用体系<sup>[69]</sup>,包括活体、细胞、精子、胚胎、基因资源在内的多层次的保存体系以及重要淡水水产种质资源鉴定和评价技术体系<sup>[65]</sup>。然而,上述体系的持续稳定运行面临内在挑战。水产种质资源的保护方式、保存技术具有复杂性、特殊性、不可控性,易受环境的影响。发展活体、细胞、DNA、微生物等种质资源保存技术,精子冷冻保存、活力恢复、质量检测与评估技术,生殖干细胞、卵母细胞、胚胎等保存技术,围绕大宗养殖种、名优特色种、珍稀濒危种等进行收集和保存,形成国家淡水水产种质资源保存网络;加快建设国家种质资源库、国家种质资源流域分库、省级种质资源库,形成国家统筹、分级负责、有机衔接的水产种质资源保护利用体系<sup>[70]</sup>。开展淡水水产种质资源的系统性调查、收集、鉴定、评价,主要淡水流域的水产种质资源监测等工作,形成持续稳定的数据库,实时掌握自然资源本底情况和动态变化。严格执行《水生生物增殖放流管理规定》(2009年),加强淡水鱼类增殖放流“事前-事中-事后”监管,开展增殖放流及其效果评价,明确放流群体对野生种群的影响。研究引进种对水域生物多样性、生态系统功能的影响,解析引进种的生活史可塑性、环境适应机制、种群扩散特性等;构建外来物种风险评估与监测预警体系,发展综合防控技术,为外来物种入侵防控提供基础理论和技术支撑。

### (四) 完善水产种质资源保护法律体系

在《中华人民共和国渔业法》《中华人民共和国长江保护法》《中华人民共和国黄河保护法》等法律框架下,建立流域水产种质资源保护、生态环境治理的科学联系,依托法治保障提高水产种质资源保护水平。完善相关法律法规和水产种质资源保护制度,发布全国水产种质资源管理总章程,建立

重点渔业资源动态调查与可持续评价标准;研究制定“外来物种法”,严格控制引入审批,强化引入管控和风险评估,实行分级分类管理。完善水产种业管理制度,对重要经济物种实施“捕捞许可-限额捕捞-流通追溯”全链条管理,强化苗种繁育与合规经营方面的监管。面向维护生态平衡、保障渔业资源可持续利用、促进渔业可持续发展,建立国家统筹、省级政府具体实施的种质资源分级分层管理规章体系,构建多元共治的管理体制,提高法律规章实施成效,有效保护淡水水产种质资源。

#### 利益冲突声明

本文作者在此声明不存在任何利益冲突或财务冲突。

**Received date:** August 22, 2025; **Revised date:** September 28, 2025

**Corresponding author:** Chen Songlin is a research fellow from the Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research field is aquatic germplasm resources and biotechnology. E-mail: chensl@ysfri.ac.cn

**Funding project:** Chinese Academy of Engineering project “Research on Development Strategy of Germplasm Resources” (2023-JB-02); National Freshwater Aquatic Germplasm Resource Center (FGRC18537); Earmarked Fund for CARS (CARS-45)

#### 参考文献

- [1] Zhou Q, Wang J L, Li J T, et al. Decoding the fish genome opens a new era in important trait research and molecular breeding in China [J]. *Science China Life Sciences*, 2024, 67(10): 2064–2083.
- [2] 郑洪林, 付玲, 王新刚, 等. 振兴种业, 把中国种留住——如何落实习近平总书记对粮食安全指示的思考 [J]. *中国种业*, 2023 (3): 11–13, 21.  
Zheng H L, Fu L, Wang X G, et al. Vitalize seed industry, keep Chinese seed—Thinking on how to implement general secretary Xi Jinping instructions on food security [J]. *China Seed Industry*, 2023 (3): 11–13, 21.
- [3] 农业农村部种业管理司. 用中国种子保障中国粮食安全 [J]. *审计观察*, 2023 (1): 26–29.  
Seed Industry Management Department of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Using China seeds to ensure food security in China [J]. *Audit Vision*, 2023 (1): 26–29.
- [4] 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. 2024 年中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2025.  
Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People’s Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. *China fishery statistical yearbook 2024* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2025.
- [5] 刘永新, 邵长伟, 王书, 等. 简述我国水产种业发展现状、问题与展望 [J]. *中国农村科技*, 2021 (6): 62–65.

- Liu Y X, Shao C W, Wang S, et al. Briefly description of the current situation, problems, and prospects of the development of China's aquatic seed industry [J]. *China Rural Science & Technology*, 2021 (6): 62–65.
- [6] 第一次全国水产养殖种质资源普查工作办公室. 国家水产养殖种质资源状况报告 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.  
Office of the First National Aquaculture Germplasm Resources Census. Report on aquaculture genetic resources in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023.
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of the world's aquatic genetic resources for food and agriculture [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.
- [8] Lu Y R, Fang C C, He S P. Cnfishbase: A cyber Chinese fish database [J]. *Zoological Research*, 2023, 44(5): 950–953.
- [9] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志·无脊椎动物第44卷 甲壳动物亚门十足目长臂虾总科 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.  
Editorial Committee of Fauna Sinica, Chinese Academy of Sciences. *Fauna Sinica—Invertebrata Vol. 44 crustacea Decapoda Palaemonoidea* [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [10] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志·无脊椎动物第36卷 甲壳动物亚门十足目匙指虾科 [M]. 北京: 科学出版社, 2016.  
Editorial Committee of Fauna Sinica, Chinese Academy of Sciences. *Fauna Sinica—Invertebrata Vol. 36 Crustacea Decapoda Atyidae* [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [11] 楚克林, 马晓萍, 张泽伟, 等. 中国淡水蟹分类与分布名录(十足目: 拟地蟹科, 溪蟹科) [J]. *生物多样性*, 2018, 26(3): 274–282.  
Chu K L, Ma X P, Zhang Z W, et al. A checklist for the classification and distribution of China's freshwater crabs [J]. *Biodiversity Science*, 2018, 26(3): 274–282.
- [12] 刘月英, 张文珍, 王耀先. 中国经济动物志—淡水软体动物 [M]. 北京: 科学出版社, 1979.  
Liu Y Y, Zhang W Z, Wang Y X. *Economic fauna of China: Freshwater mollusk* [M]. Beijing: Science Press, 1979.
- [13] 胡自强. 中国淡水双壳类特有种的地理分布 [J]. *动物学杂志*, 2005, 40(6): 80–83.  
Hu Z Q. Geographical distribution of endemic species of Chinese freshwater bivalves [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2005, 40(6): 80–83.
- [14] 姜志勇. 我国淡水龟鳖类的种质资源研究 [J]. *吉林畜牧兽医*, 2016, 37(7): 60–61.  
Jiang Z Y. Study on germplasm resources of freshwater turtles in China [J]. *Jilin Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2016, 37(7): 60–61.
- [15] 赵建. 黄喉拟水龟种群分化与种质资源研究 [D]. 上海: 上海海洋大学(博士学位论文), 2015.  
Zhao J. Population differentiation and germplasm research of Asian yellow pond turtle, *mauremys mutica* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University (Doctoral dissertation), 2015.
- [16] 李大命, 刘洋, 唐晟凯, 等. 基于Cytb基因的潮湖鲌类国家级水产种质资源保护区3种鲌鱼的遗传多样性分析 [J]. *水产科技情报*, 2022, 49(1): 1–7.
- Li D M, Liu Y, Tang S K, et al. Genetic diversity of three culter species in national aquatic germplasm resource conservation area of Ge Lake based on Cytb gene sequence [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2022, 49(1): 1–7.
- [17] 娄巍立. 淮河安徽段水产种质资源保护区渔业生物资源现状及保护策略 [D]. 南京: 南京农业大学(硕士学位论文), 2019.  
Lou W L. Current status and protection strategy of the fishery resources in the national aquatic germplasm resources reserve of Anhui section of the Huaihe River [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University (Master's thesis), 2019.
- [18] 卢昌彩. 《国家重点保护野生动物名录》调整后的影响与对策 [J]. *中国水产*, 2021 (6): 43–45.  
Lu C C. Influence and countermeasures after adjustment of *List of state key protected wild animals in China* [J]. *China Fisheries*, 2021 (6): 43–45.
- [19] 朱建国, 王林, 任国鹏. 《国家重点保护野生动物名录》调整的评估方法探讨 [J]. *生物多样性*, 2023, 31(8): 119–128.  
Zhu J G, Wang L, Ren G P. Exploring the evaluation method for the update of the *List of state key protected wild animals in China* [J]. *Biodiversity Science*, 2023, 31(8): 119–128.
- [20] 徐睿. 北京鲟鱼种业现状与发展建议 [J]. *中国水产*, 2023 (8): 65–68.  
Xu R. Present situation and development suggestions of sturgeon seed industry in Beijing [J]. *China Fisheries*, 2023 (8): 65–68.
- [21] 郭焱, 谢春刚, 罗刚, 等. 新疆维吾尔自治区水产种质资源现状与保护 [J]. *中国水产*, 2021 (3): 67–71.  
Guo Y, Xie C G, Luo G, et al. Current status and protection of aquatic germplasm resources in Xinjiang Uygur Autonomous Region [J]. *China Fisheries*, 2021 (3): 67–71.
- [22] Yue G H, Wang L. Current status of genome sequencing and its applications in aquaculture [J]. *Aquaculture*, 2017, 468: 337–347.
- [23] Wang C, Yang L D, Lu Y R, et al. Genomic features for adaptation and evolutionary dynamics of four major Asian domestic carps [J]. *Science China Life Sciences*, 2024, 67(6): 1308–1310.
- [24] Luo L F, Wang Y, Wang S L, et al. Development and evaluation of 50 K liquid SNP array for blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Aquaculture*, 2025, 600: 742263.
- [25] Wu Y D, Sha H, Liang H W. Chromosome-scale genome assembly and annotation of *Xenocypris argentea* [J]. *Scientific Data*, 2025, 12(1): 573.
- [26] Zhang Y X, Shao Y W, Liu X D, et al. Chromosome-level genome assembly of black carp *Mylopharyngodon piceus* using Nanopore and Hi-C technologies [J]. *Scientific Data*, 2025, 12: 145.
- [27] Bai Y L, Jiang Z, Ma J L, et al. Development and validation of a 20 K genome-wide liquid SNP array for Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) breeding and germplasm identification [J]. *Aquaculture Reports*, 2025, 43: 102898.
- [28] 王涛, 商如华, 尹绍武, 等. 黄颡鱼的DNA指纹图谱及其应用: CN116516024A [P]. 2023-08-01.  
Wang T, Shang R H, Yin S W, et al. DNA fingerprinting of yellow catfish and its application: CN116516024A [P]. 2023-08-01.
- [29] 巩高瑞, 廖倩, 孙瑞东, 等. 应用DNA分子标记鉴定瓦氏黄颡鱼、长吻鲢及其杂交种 [J]. *水产学报*, 2024, 48(10): 109–119.  
Gong G R, Liao Q, Sun R D, et al. Identification of *Pelteobagrus*

- vachelli*, *Leiocassis longirostris* and their interspecific hybrid by DNA markers [J]. Journal of Fisheries of China, 2024, 48(10): 109–119.
- [30] Zhou T, Chen G B, Chen M, et al. Direct full-length RNA sequencing reveals an important role of epigenetics during sexual reversal in Chinese soft-shelled turtle [J]. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 2022, 10: 876045.
- [31] Zhang C Y, Li X H, Feng C, et al. Metabolomics analysis identifies hypoxia-induced ferroptosis in the liver of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Water Biology and Security, 2025: 100422.
- [32] 陈松林, 王德寿, 匡友谊, 等. 中国鱼类基因组编辑育种研究现状及存在问题与展望 [J]. 水产学报, 2023, 47(1): 13–26.  
Chen S L, Wang D S, Kuang Y Y, et al. Fish genome editing breeding in China: Status, problems and prospects [J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(1): 13–26.
- [33] Dong Q, Nie C H, Wu Y M, et al. Generation of blunt snout bream without intermuscular bones by *runx2b* gene mutation [J]. Aquaculture, 2023, 567: 739263.
- [34] Li X H, Zhang C Y, Feng C, et al. Transcriptome analysis elucidates the potential key genes involved in rib development in bmp6-deficient silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [J]. Animals, 2024, 14(10): 1451.
- [35] Niu S, Li X H, Feng C, et al. Targeting and editing the second exon of *bmp6* gene results in a silver carp with reduced intramuscular bones [J]. Aquaculture Reports, 2025, 40: 102586.
- [36] Yáñez J M, Barría A, López M E, et al. Genome-wide association and genomic selection in aquaculture [J]. Reviews in Aquaculture, 2023, 15(2): 645–675.
- [37] Yue K N, Shen Y B. An overview of disruptive technologies for aquaculture [J]. Aquaculture and Fisheries, 2022, 7(2): 111–120.
- [38] 李亚茹. 利用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术创制光唇鱼、草鱼和大口黑鲈 *mstn* 基因突变体 [D]. 上海: 上海海洋大学(硕士学位论文), 2024.  
Li Y R. Construction of *mstn* mutants in freshwater grouper, grass carp, and largemouth bass using CRISPR/Cas9 gene editing technology [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University (Master's thesis), 2024.
- [39] 董在杰, 罗明坤. 中国鲤鱼种的主要方法、遗传解析及展望 [J]. 水产学报, 2023, 47(1): 39–55.  
Dong Z J, Luo M K. Main methods, genetic analysis and prospect of common carp (*Cyprinus carpio*) breeding in China [J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(1): 39–55.
- [40] 桂建芳. 从多倍体鲫遗传育种实践谈现代水产育种与水产种业发展 [J]. 水产学报, 2023, 47(11): 3–8.  
Gui J F. From improvement practice of polyploid crucian carp to modern trends of aquaculture genetic breeding and seed industry [J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(11): 3–8.
- [41] Kang B, Vitule J R S, Li S, et al. Introduction of non-native fish for aquaculture in China: A systematic review [J]. Reviews in Aquaculture, 2023, 15(2): 676–703.
- [42] 郭子良, 张曼胤, 崔娟娟, 等. 中国国家级水产种质资源保护区建设及其发展趋势分析 [J]. 水生态学杂志, 2019, 40(5): 112–118.  
Guo Z L, Zhang M Y, Cui L J, et al. Establishment and expansion of national aquatic germplasm reserves in China [J]. Journal of Hydroecology, 2019, 40(5): 112–118.
- [43] 唐文家, 张紫萍, 张妹婷, 等. 青海省 12 个类型保护地现状调查与分析 [J]. 青海环境, 2020, 30(1): 19–25.  
Tang W J, Zhang Z P, Zhang M T, et al. Investigation and analysis of the status of 12 types of protected areas in Qinghai Province [J]. Journal of Qinghai Environment, 2020, 30(1): 19–25.
- [44] 邹桂伟, 梁宏伟. 鲢种质资源保护与利用 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2023.  
Zou G W, Liang H W. Protection and utilization of the germplasm resource of silver carp [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2023.
- [45] Du H, Ban X, Li P C, et al. The crucial role of ecohydraulic factors in triggering sturgeon reproduction: Implications for active habitat restoration strategies in the Yangtze River [J]. Journal of Applied Ecology, 2025, 62(4): 1052–1062.
- [46] Chanda A, Akhand A. Challenges towards the sustainability and enhancement of the Indian sundarban mangrove's blue carbon stock [J]. Life, 2023, 13(8): 1787.
- [47] 危起伟. 从中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 生活史剖析其物种保护: 困境与突围 [J]. 湖泊科学, 2020, 32(5): 1297–1319.  
Wei Q W. Conservation of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) based on its life history: Dilemma and breakthrough [J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(5): 1297–1319.
- [48] 农业农村部长江流域渔政监督管理办公室. 长江流域水生生物资源及生境状况公报(2024年) [R]. 北京: 中国农业出版社, 2025.  
Yangtze River Basin Fishery Supervision and Management Office of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Bulletin on aquatic biological resources and habitat status in the Yangtze River basin (2024) [R]. Beijing: China Agricultural Press, 2025.
- [49] 杨海乐, 沈丽, 何勇凤, 等. 长江水生生物资源与环境本底状况调查(2017—2021) [J]. 水产学报, 2023, 47(2): 1–28.  
Yang H L, Shen L, He Y F, et al. Status of aquatic organisms resources and their environments in the Yangtze River system (2017–2021) [J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(2): 1–28.
- [50] Medipally S R, Yusoff F M, Sharifuddin N, et al. Sustainable aquaculture of Asian arowana—A review [J]. Journal of Environmental Biology, 2016, 37(4): 829–838.
- [51] 赵文涓. 水产生态养殖与新养殖模式发展战略探析 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2022 (4): 203–205.  
Zhao W J. Exploration into the development strategy of aquatic ecological breeding and new aquaculture models [J]. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2022(4): 203–205.
- [52] 赵永锋, 余开, 宋迁红, 等. 中国淡水池塘养殖发展战略研究 [J]. 中国农学通报, 2022, 38(23): 135–142.  
Zhao Y F, Yu K, Song Q H, et al. The development strategy of freshwater pond aquaculture in China [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022, 38(23): 135–142.
- [53] 张文兵, 解绶启, 徐皓, 等. 我国水产业高质量发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(4): 137–148.  
Zhang W B, Xie S Q, Xu H, et al. High-quality development strategy of fisheries in China [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(4): 137–148.
- [54] Liu S S, Chen J, Cui G, et al. Environmental DNA metabarcoding:

- Current applications and future prospects for freshwater fish monitoring [J]. *Journal of Environmental Management*, 2025, 376: 124531.
- [55] 贺磊, 张杰, 赵禹凯, 等. 基于跨组学特征融合的中药材种质资源智能评价系统及方法: CN120199315A [P]. 2025-06-24.  
He L, Zhang J, Zhao Y K, et al. Intelligent evaluation system and method for traditional Chinese medicine germplasm resources based on cross omics feature fusion. CN120199315A [P]. 2025-06-24.
- [56] 姜松, 王洁懿, 周发林, 等. 一种基于物联网技术的水产种质资源管理方法及系统: CN117575368A [P]. 2024-02-20.  
Jiang S, Wang J Y, Zhou F L, et al. A method and system for managing aquatic germplasm resources based on Internet of Things technology: CN117575368B [P]. 2024-05-03.
- [57] 王彦波, 孙晓辉, 杜晓云, 等. 一种小麦智能化的种质资源管理系统: CN118864142A [P]. 2024-10-29.  
Wang Y B, Sun X H, Du X Y, et al. An intelligent germplasm resource management system for wheat: CN118864142A [P]. 2024-10-29.
- [58] 陈松林, 卢昇, 荣小军, 等. 山东省水产种业高质量发展战略研究 [J]. *水产学报*, 2024, 48(10): 3–16.  
Chen S L, Lu S, Rong X J, et al. Strategy research on high-quality development of aquatic seed industry in Shandong Province [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2024, 48(10): 3–16.
- [59] 杜元宝, 涂炜山, 杨乐, 等. 外来入侵脊椎动物对生物多样性危害的研究进展 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2023, 53(7): 1035–1054.  
Du Y B, Tu W S, Yang L, et al. Review of the impacts of invasive alien vertebrates on biodiversity [J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2023, 53(7): 1035–1054.
- [60] 顾党恩, 徐猛, 韦慧, 等. 如何科学认识和管理外来水生动物 [J]. *中国水产*, 2022 (7): 58–61.  
Gu D E, Xu M, Wei H, et al. How to scientifically understand and manage exotic aquatic animals [J]. *China Fisheries*, 2022 (7): 58–61.
- [61] 全国人大常委会执法检查组关于检查《中华人民共和国黄河保护法》实施情况的报告 [EB/OL]. (2025-01-22)[2025-08-15]. [https://www.ynrd.gov.cn/html/2025/rendajujiao\\_0122/4031527.html](https://www.ynrd.gov.cn/html/2025/rendajujiao_0122/4031527.html).  
Report of the Law Enforcement Inspection Group of the Standing Committee of the National People's Congress on inspecting the implementation of the *Yellow River protection law of the People's Republic of China* [EB/OL]. (2025-01-22)[2025-08-15]. [https://www.ynrd.gov.cn/html/2025/rendajujiao\\_0122/4031527.html](https://www.ynrd.gov.cn/html/2025/rendajujiao_0122/4031527.html).
- [62] 中华人民共和国长江保护法 [EB/OL]. (2021-04-25)[2025-08-15]. [http://www.zfs.moa.gov.cn/flfg/202104/t20210425\\_6366540.html](http://www.zfs.moa.gov.cn/flfg/202104/t20210425_6366540.html).  
The Yangtze River protection law of the People's Republic of China [EB/OL]. (2021-04-25)[2025-08-15]. [http://www.zfs.moa.gov.cn/flfg/202104/t20210425\\_6366540.html](http://www.zfs.moa.gov.cn/flfg/202104/t20210425_6366540.html).
- [63] 李木子, 任同军, 曾雅. 日本水产种质资源管理制度对中国的启示研究 [J]. *世界农业*, 2022 (11): 37–46.  
Li M Z, Ren T J, Zeng Y. A study on the inspiration of Japan's aquatic germplasm resource management system for China [J]. *World Agriculture*, 2022 (11): 37–46.
- [64] 刘永新, 邵长伟, 侯吉伦, 等. 中国水产育种研究现状与发展建议 [J]. *水产学报*, 2023, 47(1): 56–69.  
Liu Y X, Shao C W, Hou J L, et al. Research status and development suggestion of China's aquaculture breeding [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(1): 56–69.
- [65] 陈松林, 徐文腾, 卢昇, 等. 水产育种生物技术发展战略研究 [J]. *中国工程科学*, 2023, 25(4): 214–226.  
Chen S L, Xu W T, Lu S, et al. Development strategy for aquatic breeding biotechnology [J]. *Strategic Study of CAE*, 2023, 25(4): 214–226.
- [66] 孙永华, 胡炜. 重要养殖鱼类生物育种技术研究 [J]. *中国农业科技导报*, 2022, 24(12): 120–128.  
Sun Y H, Hu W. Development of biobreeding techniques in main aquaculture fish species [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, 24(12): 120–128.
- [67] 石米娟, 张婉婷, 程莹寅, 等. 基于全基因组分析技术的鱼类育种技术原理与应用 [J]. *中国农业科技导报*, 2022, 24(2): 33–41.  
Shi M J, Zhang W T, Cheng Y Y, et al. Fish breeding technology based on whole genome analysis and its application [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, 24(2): 33–41.
- [68] 陶彬彬, 胡炜. 鱼类原始生殖细胞发育与生殖操作技术研究进展 [J]. *水产学报*, 2023, 47(1): 96–108.  
Tao B B, Hu W. Research progress on primordial germ cell development and reproductive manipulation techniques of fish [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(1): 96–108.
- [69] 盛强, 茹辉军, 李云峰, 等. 中国国家级水产种质资源保护区分布格局现状与分析 [J]. *水产学报*, 2019, 43(1): 62–80.  
Sheng Q, Ru H J, Li Y F, et al. The distribution pattern of national aquatic germplasm reserves in China [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(1): 62–80.
- [70] 胡红浪, 韩枫, 桂建芳. 中国水产种业技术创新现状与展望 [J]. *水产学报*, 2023, 47(1): 3–12.  
Hu H L, Han F, Gui J F. Current situation and prospect of technological innovation in China's aquatic seed industry [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(1): 3–12.