



中华鲟物种保护的历程、难点和方向

姜伟 杜合军 陈沛 杨菁 李志远

(中国长江三峡集团有限公司中华鲟研究所, 三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室, 宜昌 443100)

PROCESS, DIFFICULTIES, AND DIRECTIONS OF SPECIES CONSERVATION OF CHINESE STURGEON

JIANG Wei, DU He-Jun, CHEN Pei, YANG Jing and LI Zhi-Yuan

(Hubei Key Laboratory of Three Gorges Project for Conservation of Fishes, Chinese Sturgeon
Research Institute of CTG, Yichang 443100, China)



姜伟, 中国长江三峡集团有限公司中华鲟研究所总工, 正高级工程师。国际商会环境与能源委员会生物多样性工作组专家。主要从事长江珍稀及特有鱼类保护研究、流域生态调度、流域水生生态系统保护及恢复研究。先后主持科技项目20多项, 发表学术论文30多篇, 授权专利20多项, 主编专著2部。

中华鲟(*Acipenser sinensis*)是长江水生生物保护的旗舰物种, 其保护工作对于我国水生生物保护策略及政策的制定有着深远的影响。自葛洲坝工程论证以来, 中华鲟物种保护便成为业界的关注焦点^[1-6]。葛洲坝修建前, 长江流域中华鲟分布区可延伸到重庆以上的长江上游江段, 产卵场主要分布于牛栏江以下的金沙江下游江段和重庆以上的长江上游江段, 即从合江县至屏山县, 全长约800 km, 其中有确凿证据的产卵场16处^[6, 7]。1981年, 因葛洲坝修建阻断了中华鲟原有的生殖洄游路径, 随后经相关单位调查发现, 在葛洲坝下至十里红江段, 长度约为4.5 km的范围形成了新的产卵场, 这也是目前已知的唯一中华鲟产卵场^[6]。2013年葛洲坝下游产卵场首次出现中华鲟自然繁殖中断, 之后仅在2016年在此产卵场采集到自然产出的中华鲟鱼卵(虽然2015年在长江口监测到中华鲟幼鱼, 表明

2014年长江中有中华鲟自然繁殖, 但2014年未在该产卵场采集到鱼卵), 之后自2017—2023年均未监测到中华鲟繁殖。中华鲟自然繁殖中断的现象, 再次引起了广泛而激烈的讨论或争论。种种观点的提出, 一方面体现了业界和社会对中华鲟保护事业的持续关注, 另一方面也表明了中华鲟保护工作的复杂性, 即使到目前仍很难在保护策略上形成统一的认识。而这种“百花齐放、百家争鸣”式的讨论或争论, 也必将推动中华鲟的保护工作全面系统地开展。

1 中华鲟保护历程

1.1 早期研究及论证阶段(1960s—1980s)

20世纪60年代以前关于中华鲟的研究较少, 20世纪60年代四川省相关研究机构开始对偏岩子、金堆子等历史产卵场产卵规模及产卵时间等

基金项目: 湖北省自然科学基金创新群体(2024AFA036); 国家重点研发计划(2022YFC3204200); 三峡集团科研项目(WWKY-2021-0351)资助 [Supported by Natural Science Foundation of Hubei (2024AFA036); National Key Research and Development Program of China (2022YFC3204200); Research program of Three Gorges Corporation (WWKY-2021-0351)]

开展系统调查^[7]。1971年在三块石产卵场捕获5尾鱼卵自流的雌鲟,取其2尾进行受精并顺利获得了50多万粒受精卵;1972年同样在三块石产卵场捕获IV期雌鲟2尾,并人工催产成功,这应该是最早的中华鲟人工催产记录;1973年10月13日,在泸州的铁炉滩产卵场催产成功,紧接着于10月14和15日,在宜宾的三块石、偏岩子产卵场也都取得成功^[7]。早期金沙江中华鲟人工催产的成功,为后期葛洲坝下游中华鲟人工繁殖提供了很好的基础。随着葛洲坝修建提上日程,直接引发了关于中华鲟保护的论证,关于这个阶段的历史过程,在《葛洲坝工程救鱼问题讨论会会议文件汇编》(一、二册,长江流域规划办公室)等资料中进行了汇总,对葛洲坝修建前后中华鲟保护的论证过程进行了详细的记录,用最原始的发言稿及会议纪要等,真实的记录了当时各部门、各专家的观点及依据,可以对当时的历史过程进行真实的还原,也让后人能感受到当时论证的激烈与国家重视的程度。以当时的历史背景来看,可以得出以下基本结论:(1)国家对葛洲坝修建过程中的鱼类保护工作给予了相当的重视,中华鲟保护论证过程激烈,各单位及专家对各自观点的表述是充分的;(2)基于当时国内外调研、试验及现场监测数据,做出的关于中华鲟保护措施结论是有着充分的科学依据。自那时起中华鲟保护的基本策略已经形成:一是加大野生种群保护,通过保护产卵场、保护栖息地、禁止商业捕捞等让其自然种群能够持续繁殖;二是开展增殖放流,弥补历史产卵场丧失、葛洲坝下游产卵场补充能力不足的问题。

1.2 保护工作在艰难中开展及危机酝酿阶段(1980s—2010s)

1982年葛洲坝下游发现中华鲟自然产卵,证实了葛洲坝截流后,中华鲟可以达到性成熟,紧接着在1983年实现了中华鲟人工催产繁殖成功。中华鲟研究所自1984年开始实施中华鲟增殖放流,在1985—1998年期间,宜昌江段放流1—5 cm中华鲟合计约为432万尾,平均约30万尾/年。1997年,中华鲟研究所率先突破了大规格苗种培育技术,为子一代保种群体的构建奠定了技术基础,拉开了建设子一代人工群体的序幕。1996年长江湖北宜昌中华鲟自然保护区成立,2002年上海市长江口中华鲟自然保护区成立,关于中华鲟产卵场及河口育肥场的保护及监测工作陆续开展。2009年,中华鲟研究所率先突破了全淡水条件下中华鲟子二代人工繁殖技术,为中华鲟物种保护注入了新的希望^[8]。

众多学者对于这一时期的中华鲟保护工作进

行了阶段性总结及反思,对期间存在的问题进行分析,并对未来的保护工作进行展望。1981年葛洲坝截流后的一段时间内,如何更好地提升葛洲坝下游中华鲟人工繁殖效率是关注的重点,易继舫、肖慧、刘勇等^[9-13]对早期中华鲟子一代繁殖技术进行了总结,提出蓄养、催产、孵化、培育等过程的技术要点。随着人工繁殖技术逐步发展,放流数量逐步稳定时,中华鲟保护工作的重点转为自然繁殖规模和繁殖效率,以及放流效果评估。常剑波和曹文宣^[14]对葛洲坝截流后20年的中华鲟保护工作进行了回顾分析,提出了严格控制捕捞、增加人工放流数量、保护和恢复产卵场的生态条件、改善育肥场的饵料环境、建立人工繁殖种群和开展天然种群的遗传多样性研究六方面的保护措施。肖慧^[15]对中华鲟保护研究探索30年历程进行总结,重点分析了人工繁殖技术体系、增殖放流及效果评价等工作的进展,提出要从流域整体着眼,各机构密切配合,保障保护措施的系统性。陈永柏^[16]和危起伟^[17]对中华鲟已知产卵场的生态水文学和繁殖行为生态学进行分析,提出可采取生态水文学和水力学调度的方式改善产卵场的环境,甚至可通过人工改造的方式探索改良或建设新产卵场。

这个时期的监测结果表明中华鲟自然繁殖群体数量在持续下降^[18]。中华鲟人工繁殖技术的成功和增殖放流的持续开展,随着1983年全面禁止中华鲟商业捕捞,1989年中华鲟被列为国家一级重点保护野生动物,以及长江湖北宜昌中华鲟自然保护区、上海市长江口中华鲟自然保护区成立^[19-20],这些措施可能会让我们认为,即使自然种群在下降,至少产卵还在发生,中华鲟物种的生存应该可以持续。虽然这一时期野生中华鲟种群数量下降、雌雄比例失调、繁殖亲鱼平均体重下降等各种显示种群衰退的监测结果不断被发现,但仍没有引起足够的重视,没有转化为更大力度的保护工作实施。

1.3 危机暴发及重新审视保护工作阶段(2010s至今)

2013年中华鲟自然繁殖的中断,使潜伏了40年的中华鲟种群生存危机暴发,也引燃了新一轮的中华鲟保护论争论^[3-6]。此次争论的内容,其实与40年前那次争论的内容并无根本性差异。经过40多年的研究及保护,为什么中华鲟的保护工作到现在仍有这么多的争论,甚至在保护路径上仍有着基本路线的巨大分歧,这是个值得深入探讨的问题。关于中华鲟保护,所有争论的终极目标就是如何使中华鲟的自然繁衍持续?如何形成稳定的自然种群?在当前自然种群规模下降,自然繁殖中断的现实情况下,不能简单地对前期执行的保护措施进

行全面否认, 我们应该重新审视的是, 之前的保护措施执行是否到位? 执行中存在的具體技术及管理问题是什么? 在这些年新的形势下, 应该如何对保护措施进行合理优化? 中华鲟野生种群数量已经极低, 迫切需要的是能够执行、可操作的保护措施, 不是泛泛而谈的保护理念或者干脆是追责式的争论。增殖放流是目前为数不多的、能够直接对自然种群进行补充的手段, 如何建设可持续的人工保种群体, 加大增殖放流规模是目前需要解决的首要问题。本文将围绕目前中华鲟人工保种群体遗传多样性问题、性腺发育滞缓问题, 以及自然种群生存的两个重要区域产卵场和海洋生存状况进行论述。

2 中华鲟人工保种的难点及建议

2.1 人工保种群体遗传多样性低

根据野生繁殖群体捕捞数据, 自1995年开始, 聚集于葛洲坝下游的繁殖群体雌雄比例开始出现明显变化。1995—1998年, 雌雄比例分别为1:0.27、1:0.46、1:0.3和1:0.45, 与在此之前的接近1:1相差巨大, 这也表明增殖放流补充群体数量已经严重不足^[10, 18]。尤其是在2003年以后, 每年能够捕捞到的雄鱼数量仅为几尾。根据2016年农业部组织的“全国人工养殖中华鲟普查”结果, 目前全国保有子一代中华鲟3091尾, 绝大部分出生于1997—2008年, 由于缺乏计划性的储备中华鲟子一代, 导致淡水养殖保种群体遗传多样性单一^[6]。另外, 随着年龄增加, 目前留存的1997—2008年子一代个体中, 其最小年龄也已经达16龄, 进入了育龄期, 2000年前出生的子一代已经逐渐退出育龄期, 这些个体携带的稀有基因或独特表型, 也就会在群体中消失。已有研究表明^[21—23], 中华鲟野生、子一代和子二代群体间遗传多样性存在差异, 群体遗传多样性随着传代增加而逐渐降低, 为今后人工保种群体的健康繁衍埋下了隐患。

建议建立全国范围的养殖遗传管理体系, 研发离体种质资源保存和辅助生殖技术, 开放中华鲟野生个体抢救性科研调查和取样, 最大程度地维持中华鲟现有群体遗传多样性。一是评估国内中华鲟人工种群遗传资源状况, 梳理家系遗传来源, 建立全国范围的养殖遗传管理体系, 加强保护养殖机构间合作, 优先选取不同遗传背景来源的亲鱼进行繁育配对。二是针对已超过最佳生育年龄而即将退出繁殖的群体, 以及性腺发育不佳无法参与繁殖的群体, 进行体细胞和性腺干细胞的保存。加强离体种质资源保存和辅助生殖技术研究, 以作为活体资源的有效备份, 为后期通过生物技术手段对活体种

群遗传多样性进行有效恢复及维持提供基础^[24]。三是充分利用野生种质资源, 适时开放中华鲟野生群体抢救性科研调查及种质取样, 一方面可以对达到催产条件的亲鱼进行人工催产, 最大程度发挥野生个体对现有人工种群遗传多样性的补充作用, 另一方面可以获取野生个体野外生存状况数据, 对自然资源繁殖及生长状况进行准确评估。

2.2 人工保种群体性腺发育滞缓

1970s年代野生中华鲟怀卵量平均约为64.5万粒^[7], 1998—2004年野生中华鲟平均怀卵量约为35.8万粒^[6], 人工养殖子一代中华鲟平均怀卵量约为17万粒(中华鲟研究所2019—2023年人工繁殖数据)。在正常情况下, 现保种的3000多尾子一代中华鲟均已进入繁殖年龄, 即使按照雌雄比例1:1、繁殖间隔周期4年推算, 每年能够用于人工繁殖的雌鱼数量可达到375尾, 每年可产6300多万粒卵。然而, 实际全国每年能够顺利催产的中华鲟雌鱼仅为10—20尾。2009年在全面禁止中华鲟捕捞后, 全人工繁殖技术刚刚突破尚不成熟, 2010—2021年中华鲟研究所依托留存的200余尾子一代亲鱼开展了子二代全人工繁殖并放流约4万余尾, 而全国其他留存的近2900余尾中华鲟所贡献的放流数量仅为3万余尾, 基本没有对物种恢复发挥作用, 由此可见中华鲟雌鱼性腺发育之艰难。

淡水环境下养殖中华鲟雌鱼性腺发育长期停留在Ⅱ期, 很难向Ⅲ期与Ⅳ期转化, 限制了中华鲟全人工繁育规模化。目前, 行业认为中华鲟性腺发育启动和成熟与低温刺激(水温低于10℃)时间有密切关系^[23]。近几年中华鲟研究所通过低温处理, 发现中华鲟卵巢发育的质量和成熟的数量都得到显著上升, 自2022年以来, 繁育规模基本稳定在20万尾/年以上。然而, 危起伟等^[24]通过水温节律控制试验, 表明中华鲟在仿自然变温或恒温的养殖环境中, 性腺均可发育至Ⅲ期。因此关于中华鲟性腺发育与温度的关系还有待进一步研究确定。

在饲料中添加鲜活鱼或冰鲜鱼可以提高中华鲟性腺发育启动的比例^[25], 表明营养调控可能是促进中华鲟性腺发育的途径之一。研究发现野生中华鲟卵和肌肉中n-3 HUFAs (High unsaturated fatty acids)含量明显高于人工养殖群体^[26, 27], Leng等^[28]和Zhou等^[29]研究都表明二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic acid, DHA)在中华鲟卵巢Ⅱ期发育到Ⅳ期过程中含量递增, 甚至在胚胎孵化过程也保持增长。中华鲟研究所实验证实饲料中高DHA/EPA比例可以提高血液中性激素雌二醇的含量, 提高卵巢的宽度和厚度, 促进性腺的发育(未公开发表资料),

与Du等^[30]和Leng等^[28]报道结果一致。有学者探究了花生四烯酸(Arachidonic acid, ARA)对中华鲟卵巢发育的影响,发现饲料中添加1% ARA强化鱼油,可通过增强胆固醇代谢及调节类固醇激素合成来促进中华鲟卵黄蛋白原生成^[31, 32]。此外,我们还发现优质蛋白源的高蛋白饲料能显著促进中华鲟卵巢发育,因此营养调控是一种有效促进中华鲟性腺发育的方式。

鉴于中华鲟亲鱼性腺发育调控试验周期长、实施难度大,关于中华鲟亲鱼性腺发育调控的研究非常有限,营养方面主要聚焦于饲料中不饱和脂肪酸的添加,而环境因子方面还未有实质性研究进展,亲鱼性腺发育及成熟过程中关键发育指标变化及其生物学意义仍不清晰。因此,亟需系统性开展中华鲟性腺发育及影响因子调控研究,建立中华鲟性腺发育规范化检测和评价体系。一是从繁殖生理、繁殖内分泌、鱼类营养、生态等多维度解析影响其性腺发育的关键生物学因子,探讨多方位因素结合(如营养与环境因子等)的调控方式,精准模拟自然栖息生境,促进中华鲟性腺高质量发育和成熟。二是以不同性腺发育阶段中华鲟为主要对象,系统性研究各阶段个体的生长发育规律,明确血液生理生化指标变化及其代表的生物学意义,结合现代生物学技术,阐明中华鲟性腺发育调控机制,建立标准化、规范化的中华鲟性腺发育评估体系。

3 中华鲟野生种群保护的难点及建议

3.1 海洋生活史对自然种群生存的影响被严重低估

以中华鲟繁育年龄最高40龄、一生产卵4次计算的话,中华鲟一生中有85%的时间是在海洋中度过的。中华鲟在海洋中通过积累足够的能量来支撑长距离洄游、性腺发育及产卵的过程^[7, 18]。在这85%的生活史中,中华鲟目前的生存及生长情况如何?现在海洋的栖息地及饵料资源状况是否还能支撑中华鲟的育肥生长?关于以上的研究都还处于空白。中华鲟在中国近海分布范围广,几乎覆盖了整个中国东部沿海,海洋种群监测困难,并且也缺乏成熟可靠的监测技术^[33—35]。目前关于中华鲟的海洋监测工作方法主要包括误捕调查、卫星标记技术和eDNA技术等^[36—38]。其中,除长江口中华鲟幼鱼误捕调查记录相对较多,关于大规模幼鱼及成鱼误捕数据严重缺失;中华鲟研究所于2021—2022年开展了中华鲟海洋生活史卫星标记追踪试验,统计的Mini-PAT卫星标记的弹出率为63%,提前弹出率高达88%,并且很难成功进行轨迹水下定位,研究效率较低;eDNA则处于刚起步阶段,现在还在逐

步进行技术优化。以上现实条件,制约了海洋中华鲟调查工作的开展。

在中国近海,中华鲟主要以底栖动物为食,主要饵料生物种类包括鱼类、多毛类、虾、蟹类、寡毛类等小型身体柔软的生物^[39]。其中鱼类包括黄鲫、焦氏舌鳎、龙头鱼、蝶、舌鳎、白姑鱼、银鲳、斑尾刺虾虎鱼、睛尾蝌蚪虾虎鱼、矛尾虾虎鱼、鲮、小带鱼、孔虾虎鱼、鲚属等;多毛类包括加州齿吻沙蚕、端足类、钩虾等;虾类包括安氏白虾、葛氏长臂虾、脊尾白虾、哈氏仿对虾、中国毛虾等;蟹类包括狭颚绒螯蟹等;头足类包括四盘耳乌贼;寡毛类包括水丝蚓;以及水生昆虫(摇蚊幼虫)、瓣鳃类(河蚬)、腹足类(纵肋肌纹螺)、植物碎屑等。长江口既是中华鲟生活史中幼鱼降河洄游的重要通道,又是幼鱼入海前生理适应调节和摄食肥育的重要场所^[7, 40, 41],因此,长江口生物资源量的变化一定程度上也可以体现中华鲟幼鱼早期生活状况。在人类活动影响下,长江河口区底栖生物物种、底栖生物量明显减少,群落结构趋向简单,生物多样性下降^[42],长江口渔业资源已全面衰退^[43]。与1991年^[44]和1996年^[45]相比,2004年^[46]长江口中华鲟自然保护区底栖动物种类、总生物量和总栖息密度均有明显的下降趋势。2008年,长江口中华鲟幼鱼以底栖小型鱼类、多毛类和端足类为主要食物,兼食虾类、蟹类及瓣鳃类等小型底栖动物^[41],但是食物组成的种类和多样性与1982和1983年^[39]研究相比都明显下降。

根据海洋渔业调查数据,也可以从侧面反映出中华鲟在近海生活环境中饵料资源已经发生的变化。20世纪80年代,我国近海渔业资源进入全面开发利用期,进入21世纪后,近海渔业资源衰退严重^[47]。舟山渔场是长江口附近重要的渔场,也是通过卫星标记追踪及误捕调查发现中华鲟分布频率最高的区域,以舟山渔场的资源量变化基本能反映出中华鲟在海洋中的饵料资源状况^[48]。根据1952—2001年舟山渔场统计数据,1979—1984年舟山渔场已处于资源严重过度捕捞阶段;1985—1993年经济鱼类资源枯竭,主要经济鱼类CPUE逐年下滑,到达历史最低的0.5 t/kW,大黄鱼和小黄鱼等经济鱼类基本形不成渔汛,低营养级的虾蟹类在渔获物中的比例由1979年的6.25%上升到1993年的55.58%^[48],而底栖性鱼类及虾蟹类,是中华鲟在海洋中的主要摄食对象^[41, 49, 50]。随着过度捕捞和环境污染等,2006年和2007年舟山渔场及邻近海域的游泳动物调查资料表明,舟山渔场及邻近海域的鱼类优势种已逐渐向一些小型的中上层鱼类演变^[51],由此可见,中华

鲟在海洋中的适口饵料生物资源下降情况。所以即使现在中华鲟仍在以葛洲坝截流前的繁殖能力进行自然产卵, 这些鱼类是否能够在海洋中高强度的捕捞中幸存下来? 即使侥幸存活下来的个体, 是否还能够摄食到充足的食物, 支撑其在长江不摄食而洄游1700多公里回到产卵场参加繁殖呢?

对于海洋中华鲟生存及生长的问题, 迫于技术上的困难, 已经回避了太长的时间。如果要以科学的措施开展中华鲟保护, 迫切需要系统开展中华鲟海洋调查。建议: 一是加强统筹, 中华鲟保护科研机构应与海洋生态环境监测机构开展紧密合作, 结合目前开展的海洋渔业资源调查, 建立常规监测网络, 辅以中华鲟专项调查等, 对其海洋生活史进行系统评估。二是在中国近海建立声呐监测网络, 通过声呐标记追踪, 收集大范围、连续性数据, 通过科学数据阐明中华鲟海洋洄游规律及生存状况, 而不是通过“黑箱”对这一重要的生活史阶段进行概化。三是在综合考虑温度、盐度、溶氧、洋流、饵料生物资源等因素条件下, 选择适宜海域推动建立中华鲟海洋保护区, 为中华鲟资源恢复留出足够的育肥场所。

3.2 科学评估种群下降主要原因避免以点概全

目前关于中华鲟产卵场做了大量的监测及研究工作, 包括对产卵场流场、底质、地形、水温、泥沙、水文过程等栖息生境及环境要素的各种复杂分析。虽然花费了绝大部分的时间、人力及保护资金, 但可惜的是研究成果远未能对中华鲟保护形成实质性的帮助, 目前无法对上述环境要素进行量化, 无法形成对产卵场调控、修复或者新建产卵场的有效技术支撑。这么多年关于产卵场监测的最大的贡献, 可能就是用不断更新的监测数据, 展示返回产卵场的中华鲟数量由1980s的2000多尾持续下降至目前的每年十多尾^[6, 18, 19]。自2013年中华鲟自然繁殖出现中断, 好像产卵场的一切都是不适宜的, 产卵场水温、地形、底质、流量过程、容纳量、人类活动干扰等都是分析的指标, 但这种以是否产卵为节点, 对单一指标前后数据进行差异分析恐怕并不能阐明中华鲟产卵中断的根本原因。

自20世纪90年代以来, 随着产卵场野生雄鱼平均体长增加、雌雄比例失调、性成熟个体比例增加、雌雄个体平均年龄增加, 已经很明显地表明了中华鲟自然种群下降的趋势^[10, 18], 只不过是随着自然繁殖种群规模下降到2013年的约60尾(内部数据)、雌雄比例失调雄鱼补充种群先行下降后, 已无法支撑中华鲟自然繁殖行为的发生。20世纪80—90年代中华鲟补充群体的不足, 可能的原因包

括: 早期的过度捕捞、产卵场容纳量不足、产卵场卵苗损失率高、仔幼鱼降河入海过程中生存率低、海洋生存率低、海洋能量积累不足发育状况差, 这些可能的原因综合起来都会导致一个结果——产卵场种群数量下降直至自然繁殖中断。产卵场是非常重要的区域, 40年来关于产卵场的工作一直没有停止, 而且肯定也将持续下去, 但中华鲟保护各科研机构应避免仅在产卵场扎堆开展相关工作, 而忽视了其他。建议在此阶段, 中华鲟保护研究机构充分发挥各自研究优势, 合理规划研究方向, 系统开展繁育技术、种质保持技术研究, 加强河海统筹, 全面开展全生活史监测及研究, 找出影响中华鲟生存的重要生活史节点。在此期间, 应全力加大人工保种力度, 尽最大可能加大中华鲟增殖放流规模, 才能为中华鲟资源的恢复留出一线生机。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Chang J B, Huang Z L, Cao W X. Controversy and enlightenment on fish rescue in Gezhouba Project//Huang Z L, Fu B J, Yang Z F (Eds.), *Ecological and Environmental Protection in Large-scale Water Conservancy Projects in the Yangtze River in the 21st Century* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1998: 186-198. [常剑波, 黄真理, 曹文宣. 葛洲坝工程救鱼问题的争论及启示//黄真理, 傅伯杰, 杨志峰. 21世纪长江大型水利工程中的生态与环境保护 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 186-198.]
- [2] Cao W X, Deng, Z L, Yu Z T, *et al.* The fish rescue of the Gezhouba Dam Project [J]. *Resource Development and Protection*, 1989, 5(3): 8-12. [曹文宣, 邓中彝, 余志堂, 等. 葛洲坝水利枢纽工程的救鱼问题 [J]. 资源开发与保护, 1989, 5(3): 8-12.]
- [3] Wang X, Wang H S, Zhang X F. From three sturgeons to the ecological protection of the Yangtze River [J]. *Journal of Central China Normal University (Natural Sciences)*, 2020, 54(4): 734-748. [王熙, 王环珊, 张先锋. 由长江中的三种鲟到长江水域生态保护 [J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2020, 54(4): 734-748.]
- [4] Gao X, Zhang F T, Chang T, *et al.* Discussion on the gonadal development and degeneration of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, 44(6): 1369-1377. [高欣, 张富铁, 常涛, 等. 中华鲟的性腺发育与退化问题研究 [J]. 水生生物学报, 2020, 44(6): 1369-1377.]
- [5] Wang H Z, Tao J P, Chang J B. Endangered levels and conservation options evaluations for Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* Gary [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(9): 2100-2108. [王鸿泽, 陶江平, 常剑波. 中华鲟濒危状况与物种保护对策的评

- 估分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, **28**(9): 2100-2108.]
- [6] Wei Q W. Conservation of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) based on its life history: Dilemma and break through [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(5): 1297-1319. [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.]
- [7] 四川省长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988: 95-97. [Yangtze River Fishery Resource Survey Group, Sichuan Province. The Biology of the Sturgeon in Yangtze River and their Artificial Reproduction [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1988: 95-97.]
- [8] Guo B F, Chang J B, Xiao H, *et al.* The reproductive biology of first filial generation of *Acipenser sinensis* growing up in the freshwater environment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, **35**(6): 940-945. [郭柏福, 常剑波, 肖慧, 等. 中华鲟初次全人工繁殖的特性研究 [J]. 水生生物学报, 2011, **35**(6): 940-945.]
- [9] Yi J F, Jiang H, Wang J Y. Study on artificial breeding biology of Chinese sturgeon [J]. *Reservoir Fisheries*, 1986(2): 44-46. [易继舫, 姜华, 万建义. 中华鲟人工繁殖生物学研究 [J]. 水利渔业, 1986(2): 44-46.]
- [10] Yi J F, Liu D H, Tang D M, *et al.* Preliminary report on gonad maturation process and artificial propagation of the Chinese sturgeon in captivity [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(1): 85-86. [易继舫, 刘灯红, 唐大明, 等. 蓄养中华鲟的性腺发育与人工繁殖初报 [J]. 水生生物学报, 1999, **23**(1): 85-86.]
- [11] Xiao H, Jiang H, Jiang X, *et al.* Preliminary study on breeding technology of Chinese sturgeon [J]. *Reservoir Fisheries*, 1988(4): 24-29. [肖慧, 姜华, 江新, 等. 中华鲟苗种培育技术的初步研究 [J]. 水利渔业, 1988(4): 24-29.]
- [12] Liu Y. Current situation and prospect of artificial breeding technology of Chinese sturgeon [J]. *Reservoir Fisheries*, 1988(4): 20-25. [刘勇. 中华鲟人工繁育技术研究的现状和展望 [J]. 水利渔业, 1988(4): 20-25.]
- [13] Liu Y, Tan X M. Study on hatching process of Chinese sturgeon eggs [J]. *Reservoir Fisheries*, 1988(06): 20-24. [刘勇, 谭新民. 中华鲟卵孵化工艺的研究 [J]. 水利渔业, 1988(06): 20-24.]
- [14] Chang J B, Cao W X. History and prospect of conservation on Chinese sturgeon in the Yangtze river [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(6): 712-720. [常剑波, 曹文宣. 中华鲟物种保护的历史与前景 [J]. 水生生物学报, 1999, **23**(6): 712-720.]
- [15] Xiao H. Research and exploration of Chinese sturgeon conservation [J]. *Three Gorges in China*, 2012(1): 22-29. [肖慧. 中华鲟保护研究探索历程 [J]. 中国三峡, 2012(1): 22-29.]
- [16] 陈永柏. 三峡水库运行影响中华鲟繁殖的生态水文学机制及其保护对策研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2007: 127-130. [Chen Y B. Studies on the influences of the operation of The Three Gorges Dam on reproduction of the Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*: the ecohydrological mechanism and conservation strategy [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2007: 127-130.]
- [17] 危起伟. 中华鲟繁殖行为生态学与资源评估 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2003: 109-110. [Wei Q W. Reproductive behavioral ecology of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) with its stock assessment [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2003: 109-110.]
- [18] Wei Q W, Chen X H, Yang D G, *et al.* Variations in spawning stock structure of *Acipenser sinensis* within 24 years since damming of Gezhouba Dam [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, **12**(4): 452-457. [危起伟, 陈细华, 杨德国, 等. 葛洲坝截流24年来中华鲟产卵群体结构的变化 [J]. 中国水产科学, 2005, **12**(4): 452-457.]
- [19] Liu F, Lin P C, Li M Z, *et al.* Situations and conservation strategies of fish resources in the Yangtze River basin [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 144-156. [刘飞, 林鹏程, 黎明政, 等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策 [J]. 水生生物学报, 2019, **43**(S1): 144-156.]
- [20] Xu L X, Zhou L, Wei Q W. Stock status and conservation dilemma of species of *Acipenseriformes* in the Yangtze River and relevant suggestions [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, **47**(2): 029304. [许兰馨, 周亮, 危起伟. 长江鲟类资源现状及保护 [J]. 水产学报, 2023, **47**(2): 029304.]
- [21] Xiao K, Du H J, Zhao X, *et al.* Preliminary study on the genetic diversity of the MHC_IIB gene in Chinese sturgeon [J]. *Journal of Hydroecology*, 2018, **39**(3): 76-86. [肖衍, 杜合军, 赵珣, 等. 中华鲟MHC_IIB基因遗传多样性初步研究 [J]. 水生态学杂志, 2018, **39**(3): 76-86.]
- [22] Ye H, Wang Y Z, Du H, *et al.* Establishment and characterization of a testicular cell line from Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(8): 1261-1268. [叶欢, 王艺舟, 杜浩, 等. 中华鲟精巢细胞系的建立和鉴定 [J]. 水生生物学报, 2023, **47**(8): 1261-1268.]
- [23] Webb M A H, Doroshov S I. Importance of environmental endocrinology in fisheries management and aquaculture of sturgeons [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2011, **170**(2): 313-321.
- [24] Wei Q W, Li L X, Du H, *et al.* Research on technology for controlled propagation of cultured Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, **20**(1): 1-11. [危起伟, 李罗新, 杜浩, 等. 中华鲟全人工繁殖技术研究 [J]. 中国水产科学, 2013, **20**(1): 1-11.]

- [25] Liu J J, Li Q F, Guo B F, *et al.* Selective utilization of fatty acids by Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray, 1835) during gonadal development and first year juvenile growth [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2014(30): 1181-1185.
- [26] Li W, Wei Q W. Biochemical comparison between eggs from female Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray, 1835) reconditioned in freshwater and eggs from wild females: evaluation of female reconditioning as a conservation culture technique [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2014(30): 1237-1242.
- [27] Zhou H, Leng X Q, Tan Q S, *et al.* Identification of key nutrients for gonadal development by comparative analysis of proximate composition and fatty/amino acid profile in tissues and eggs of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray, 1835) [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2017, **33**(5): 885-891.
- [28] Leng X, Zhou H, Tan Q S, *et al.* Integrated metabolomic and transcriptomic analyses suggest that high dietary lipid levels facilitate ovary development through the enhanced arachidonic acid metabolism, cholesterol biosynthesis and steroid hormone synthesis in Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [J]. *British Journal of Nutrition*, 2019, **122**(11): 1230-1241.
- [29] Zhou M, Zhang D, Long X, *et al.* Biochemical compositions and transcriptome analysis reveal dynamic changes of embryonic development and nutrition metabolism in Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [J]. *Aquaculture*, 2023(577): 740003.
- [30] Du H, Yao J, Zhou H, *et al.* Optimal dietary lipid level promoted ovary development of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) broodstocks [J]. *Aquaculture*, 2018(495): 288-294.
- [31] Wu J P, Yang D Q, Du H, *et al.* The influence of dietary arachidonic acid on growth, fatty acid profile and sex steroid hormones of F2 generation Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [J]. *Aquaculture Reports*, 2021(21): 100818.
- [32] Wu J P, Yang D Q, Du H, *et al.* Transcriptome and lipidomics profiling of F2 generation female Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in response to different arachidonic acid diets [J]. *Aquaculture Reports*, 2022(23): 101020.
- [33] Chen J H, Zhuang P, Wu J H, *et al.* Migration and distribution of released *Acipenser sinensis* in the sea based on Pop-up Archival Tag technique [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, **18**(2): 437-442. [陈锦辉, 庄平, 吴建辉, 等. 应用弹式卫星数据回收标志技术研究放流中华鲟幼鱼在海洋中的迁移与分布 [J]. 中国水产科学, 2011, **18**(2): 437-442.]
- [34] Wang C Y, Du H, Liu M, *et al.* Migrations and distributions of Chinese sturgeon released in the Sea of Xiamen [J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2016, **46**(3): 294-303. [王成友, 杜浩, 刘猛, 等. 厦门海域放流中华鲟的迁移和分布 [J]. 中国科学: 生命科学, 2016, **46**(3): 294-303.]
- [35] Wu J H, Chen J H, Gao C X. Research on the downstream migration and distribution characteristics of Chinese sturgeon in the Yangtze Estuary based on tagging and releasing information [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, **28**(12): 1559-1567. [吴建辉, 陈锦辉, 高春霞. 2021. 基于标志放流信息的长江口中华鲟降海洄游和分布特征 [J]. 中国水产科学, 2021, **28**(12): 1559-1567.]
- [36] Zhu B, Liao X, Shao Z, *et al.* Isolation and characterization of microsatellites in Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* [J]. *Molecular Ecology Notes*, 2005, **5**(4): 888-892.
- [37] Tao J P, Qiao Y, Yang Z, *et al.* Estimation on the spawning population and spawning sizes of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) and trend analysis of their change in recent years [J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, **2**(2): 37-43. [陶江平, 乔晔, 杨志, 等. 葛洲坝产卵场中华鲟繁殖群体数量与繁殖规模估算及其变动趋势分析 [J]. 水生生态学杂志, 2009, **2**(2): 37-43.]
- [38] Zhu J Z, Wang X J, Feng G P. Spatial distribution characteristics of *Acipenser sinensis* in the Yangtze estuary based on eDNA technology [J/OL]. *Journal of Hydroecology*, 2024: 1-12. [朱佳志, 王肖静, 冯广朋. 基于eDNA技术的长江口中华鲟空间分布特征 [J/OL]. 水生生态学杂志, 2024: 1-12.]
- [39] Huang X, Yu Z T. Research on feeding habits of juvenile Chinese Sturgeon//Ran Z Z(Eds.), Paper Collection of Research on Resources Ecosystem, Environment and Economy Exploitation of the Yangtze River Watershed. Beijing: Beijing Science Press, 1991: 257-261. [黄琇, 余志堂. 中华鲟幼鱼摄食习性的研究//冉梓智主编. 长江流域资源生态系统、环境与经济开发研究论文集. 北京: 北京科学出版社, 1991: 257-261.]
- [40] Yi J F. The resources survey of juvenile Chinese Sturgeon in the Yangtze River [J]. *Gezhouba Hydropower*, 1994, **1**: 53-58. [易继舫. 葛洲坝水电站长江中华鲟幼鱼资源调查 [J]. 葛洲坝水电, 1994, **1**: 53-58.]
- [41] Luo G, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Diet composition and feeding habits of juvenile *Acipenser sinensis* in Yangtze River estuary [J]. *Chinese Journal of Applied ecology*, 2008, **19**(1): 144-150. [罗刚, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口中华鲟幼鱼的食物组成及摄食习性 [J]. 应用生态学报, 2008, **19**(1): 144-150.]
- [42] Chen Y Q, Gong Q, Huang W P. A study on the characteristics and status of fishery resource in the Yangtze River estuary [J]. *Marine Science Bulletin*, 2004, **23**(1): 32-39. [王金辉, 黄秀清. 长江河口区渔业资源特点、渔业现状及其合理利用的研究 [J]. 中国水产科学, 1999, **6**(5): 48-51.]
- [43] Wang J H, Huang X Q, Liu A C. Tendency of the biodiversity variation nearby Changjiang Estuary [J]. *Journal of*

- Fishery Science of China, 1999, **6**(5): 48-51. [陈渊泉, 龚群, 黄卫平. 长江口及邻近水域的生物多样性变化趋势分析[J]. 海洋科学通报, 2004, **23**(1): 32-39.]
- [44] Dai G L. Ecological characteristics of macrobenthics of the Changjiang River estuary and adjacent waters [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1991, **15**(2): 104-116. [戴国梁. 长江口及其邻近水域底栖动物生态特点 [J]. 水产学报, 1991, **15**(2): 104-116.]
- [45] Xu Z L, Jiang M, Bai X M, *et al.* An ecological study on benthos in the Changjiang River estuary [J]. *Journal of Fishery Science of China*, 1999, **6**(5): 59-62. [徐兆礼, 蒋玫, 白雪梅, 等. 长江口底栖动物生态研究 [J]. 中国水产科学, 1999, **6**(5): 59-62.]
- [46] East China Sea Fisheries Research Institute, Academy of Fishery Sciences. The summary reports of the basic survey item for Yangtze River estuarine nature reserve for Chinese Sturgeon, 2005. [中国水产科学研究院东海水产研究所. 长江口中华鲟自然保护区基本调查项目摘要报告, 2005.]
- [47] Yue D D, Wang L M, Fang H, *et al.* On the current situation and countermeasures of inshore fishery in China [J]. *Fishery Information & Strategy*, 2015, **30**(4): 239-245. [岳冬冬, 王鲁民, 方辉, 等. 我国近海捕捞渔业发展现状、问题与对策研究 [J]. 渔业信息与战略, 2015, **30**(4): 239-245.]
- [48] Ni H E, Lu J H. Dynamic analysis on fisheries resources in Zhoushan Fishing Ground [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, **26**(5): 428-432. [倪海儿, 陆杰华. 舟山渔场渔业资源动态解析 [J]. 水产学报, 2002, **26**(5): 428-432.]
- [49] Gu X L, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Illumination intensity preference and its effects on feeding efficiency of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* captured from the Estuary of Yangtze River [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2009, **33**(5): 778-783. [顾孝连, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口中华鲟幼鱼趋光行为及其对摄食的影响 [J]. 水产学报, 2009, **33**(5): 778-783.]
- [50] Zhao F, Wang S K, Zhang T, *et al.* Food composition of *Acipenser sinensis* in the coastal waters of the Yangtze Estuary in spring [J]. *Marine Fisheries*, 2017, **39**(4): 427-432. [赵峰, 王思凯, 张涛, 等. 春季长江口近海中华鲟的食物组成 [J]. 海洋渔业, 2017, **39**(4): 427-432.]
- [51] Yu C G, Chen Q Z, Chen X Q, *et al.* Species composition and quantitative distribution of fish in the Zhoushan fishing ground and its adjacent waters [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, **41**(3): 410-417. [俞存根, 陈全震, 陈小庆, 等. 舟山渔场及邻近海域鱼类种类组成和数量分布 [J]. 海洋与湖沼, 2010, **41**(3): 410-417.]

“创刊70周年”特刊征稿简则

2025年将迎来《水生生物学报》创刊70周年，为了庆祝这一重要的里程碑，学报计划于2025年49卷第1期出版“创刊70周年”特刊，集中展示水生生物学领域的最新研究成果，展望未来的发展趋势，共同推动水生生物学的进步。

70载春华秋实，岁月如歌，学报始终秉承“以质量为生命，以创新求发展，以特色争一流”的办刊方针，致力于水生生物学的发展与传播；70载光辉历程，征途如虹，学报见证了我国水生生物学的蓬勃发展，记录下了开创性的研究成果和前沿进展，为广大学者提供了一个高水平的学术交流平台。

为了让70周年特刊更加丰富多彩，我们诚挚地邀请您及贵研究团队踊跃投稿。征稿主题包括但不限于：水生生物多样性与资源、水生态与环境、渔业与生物技术等方向的研究论文、综述、评论等。请于2024年6月30日前登录学报官网(<http://ssswxb.ihb.ac.cn/>)在线投稿。稿件将经过同行评审，择优录用。被录用的稿件将在纪念特刊中发表，并向全球范围内的读者和学者展示您的学术成果。

我们衷心期待您的积极参与和宝贵贡献，让我们共同见证《水生生物学报》的辉煌历程，携手开创水生生物学更加美好的未来！