



中华鲟物种保护的若干问题探讨

刘焕章

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

DISCUSSION ON THE CONSERVATION OF CHINESE STURGEON

LIU Huan-Zhang

(Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)



刘焕章,中国科学院水生生物研究所研究员, 博导。主要从事鱼类生物多样性与保护生物学研究, 涉及长江流域鱼类多样性起源演化历史与机制, 珍稀特有鱼类资源监测与保护等工作内容。围绕长江十年禁渔、赤水河生态环境保护、中华鲟保护等科学问题进行了较深入的科学研究。

中华鲟是国家一级保护动物, 长江中的旗舰物种。IUCN在2009年就将其评估为极度濒危。2013年首次发现中华鲟没有野外繁殖。此后, 虽然在2014和2016年有再次野外繁殖, 但是自2017年以来, 已经连续7年没有发现中华鲟野外繁殖, 中华鲟已经面临野外灭绝的风险。

应该采取什么样的措施进行中华鲟的保护, 是当前各方面都非常关心的议题。有学者提出了要在葛洲坝和三峡水利枢纽修建鱼道, 以及在三峡库区以上江段放流中华鲟的建议。这些建议是否合适? 如何才能切实有效地保护中华鲟物种? 其中的科学问题迫切需要厘清。作者的研究团队长期进行中华鲟的保护生物学研究, 本文拟对我们团队的研究结果作一介绍, 同时对大家关心的中华鲟保护工作中的一些问题进行讨论, 期望能为中华鲟的保护工作提供参考。

1 中华鲟的物种起源问题

有关中华鲟的物种起源问题, 存在一些猜想,

但是严格的科学分析却比较缺乏。姜明等^[1]采用线粒体全基因组序列构建了鲟形目全部27个现有生物种的系统发育树, 以此为基础, 分析了鲟形目鱼类一些形态、生态特征的演化过程。在系统发育关系方面, 该结果总体支持已有的分子系统发育研究结果, 鲟形目分为鲟科与匙吻鲟科, 其中鲟科中包含尖吻鲟类群、太平洋类群和大西洋类群3个大的类群。

该研究显示, 中华鲟与长江鲟为姐妹物种, 二者的共同祖先于37.5百万年前与分布于北方的近亲分支发生分化, 中华鲟和长江鲟于6.9百万年前发生物种分化。中华鲟具有河海洄游习性, 长江鲟则生活于淡水。到底是长江鲟由河海洄游习性变成淡水陆封, 还是中华鲟由淡水生活衍生为河海洄游类型, 尚没有严格的研究。从姜明等^[1]的研究结果看(图1), 中华鲟和长江鲟共同祖先是淡水类型, 因此中华鲟的河海洄游习性是后来衍生的。可能在8—9百万年前, 青藏高原进一步隆升, 东亚季风气候加强, 长江流域的环境发生变化, 底栖型的鱼类

基金项目: 中国生物多样性监测与研究网络-内陆水体鱼类多样性监测网; 三峡工程运行安全综合监测系统, 库区维护和管理基金(2136703)资助 [Supported by the Sino BON-Inland Water Fish Diversity Observation Network; The Comprehensive Safety Monitoring System of Three Gorges Project, Reservoir Operation and Management Fund (2136703)]

多样性增加,食物竞争激烈,中华鲟的祖先种群被迫到河口及海洋洄游以获得食物,并形成河海洄游习性。在这个演化的过程中,中华鲟的个体变大,食性也变为肉食性,甚至繁殖时间也变为秋天繁殖。中华鲟的生物习性发生变化后,由于个体巨大,假如不洄游到海洋摄食,长江中的底栖生物的生产力将难以维持其种群的营养需求。所以,中华鲟实际上仅仅是幼鱼在长江中摄食,洄游到长江中的繁殖亲本是不摄食的,其主要的营养需求是在海洋中获取的。

2 中华鲟繁殖群体在葛洲坝下产卵场的季节行为

中华鲟的生活史过程是秋季在长江上游产卵,产卵后的亲鱼迅速回到海洋摄食补充体力。受精卵在石缝中孵化,发育、生长,幼鱼缓慢地向下游及河口区域迁移。至次年的4—5月,幼鱼到达长江口,然后进入海洋,在海洋中生长至成熟。一般情况下,雄鱼9龄可以性成熟,雌鱼要到14龄以上才性成熟。成熟的亲鱼最早于6月,一般于8—9月在长江口聚集,溯河进入长江。亲鱼进入长江后,在长

江中停留1年,至次年的10月聚集于产卵场进行繁殖。葛洲坝电站修建以前,中华鲟的产卵场位于长江上游涪陵以上数百公里的江段。葛洲坝电站修建以后,中华鲟仅能在葛洲坝下的产卵场繁殖,规模大大缩小。俞丹等^[2]采用环境DNA分析的方法,研究了中华鲟在葛洲坝下产卵场的周年行为,发现中华鲟并非所有时间都在坝下产卵场逗留,而是存在季节变化。中华鲟一般8—9月份开始,进入葛洲坝下的产卵场,10—11月达到高峰,12月结束以后离开产卵场(图2)。在1—6月的时间里没有中华鲟存在于产卵场。这可能是由于春、夏季葛洲坝下江段流速太大,水温太高,中华鲟作为冷水鱼类不适宜在此处栖息,而需要到长江中的深潭低温处度夏。我们进行环境DNA调查的结果也发现了非繁殖季节中华鲟在长江中游江段的一些重要栖息地。这些研究结果说明了中华鲟的栖息地保护不仅仅是葛洲坝江段,也包括其他的“避暑”江段。

3 中华鲟繁殖需求的水文条件和产卵江段

作为在河流中繁殖的鱼类,中华鲟对于水温和水流条件有着特殊的要求。在水温方面,中华鲟属

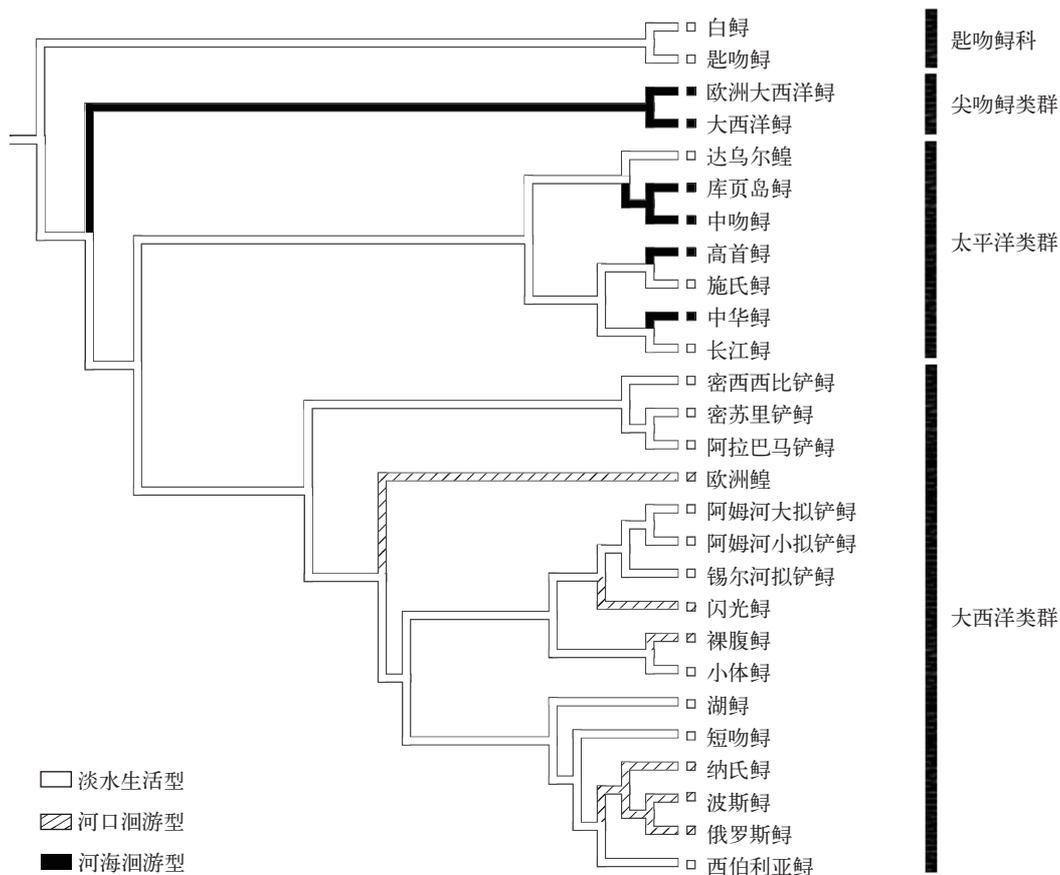


图1 鲟形目鱼类的分子系统树及洄游生活习性的演化(引自文献[1])

Fig. 1 Molecular phylogenetic tree of the acipenseriform fishes showing evolutionary pattern of their living habits (modified from ref. 1)

于冷水鱼类, 在秋天繁殖, 要求水温在 20°C 以下, 16°C 以上, 很少有在 21°C 的情况。研究发现, 中华鲟繁殖期需求的水温和流量之间有一定的补偿效应, 即当流量特别适合的情况下, 可以在高温区间产卵^[3]。这一现象为生态调度提供了一定的思路。因为流量的调度相对于温度的调度要容易一些, 这样可以在温度近乎满足要求的情况下, 例如 21°C , 通过给予足够的流量, 有可能会诱发中华鲟产卵。

在流量的过程方面, 总体上中华鲟是在秋季退水末期的情况下产卵。这一点与四大家鱼要求涨水条件产卵是相反的。这种退水率要 $>200\text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{d})$ 。这一数值可以作为生态调度的参考。

许多研究探讨了中华鲟产卵时的最低流量或者最适流量, 结论差别较大, 例如 $10000\text{—}30000\text{ m}^3/\text{s}$ ^[4], 或者 $7000\text{—}13000\text{ m}^3/\text{s}$ ^[5]。从实际发生的情况看, 中华鲟在葛洲坝下产卵场繁殖的流量是 $5830\text{—}27050\text{ m}^3/\text{s}$ 。

此外, 研究还发现中华鲟繁殖要求夏末秋初的高水位, 以及秋季的低水位^[4, 5]。也许夏末的高水位需求与中华鲟在夏季需要避暑相关。这一点是以前没有注意到的, 在未来的生态调度工作中需要注意。

中华鲟的产卵场在葛洲坝电站修建以前是在涪陵到金沙江下游江段。葛洲坝电站修建以后, 中华鲟仅能在坝下产卵场繁殖, 这也是目前唯一已知的产卵场。2014年, 在这一产卵场没有监测到中华鲟产卵, 但是2015年在长江下游及河口监测到了中华鲟的幼鱼, 说明中华鲟确实有产卵, 但是没有被监测到。这也引发了存在其他中华鲟产卵场的讨论。常涛等^[6]对长江上、中、下游的水温格局进行了分析, 发现长江的上、中、下游年平均水温是差

不多的, 大概在 18°C 。但是温度的变化幅度却差别很大。上游(屏山)地区水温的变幅为 $10.5\text{—}25.0^{\circ}\text{C}$, 水温的变幅不大。而在下游湖口水温的变幅为 $2.3\text{—}32.4^{\circ}\text{C}$, 冬天极冷, 夏天极热。中华鲟作为冷水鱼类, 在 26°C 即有胁迫作用, 在 23°C 以下可以作为缓冲区间, 在 20°C 以下进行繁殖。从不同地点的积温看, 长江上游的胁迫积温最小, 合适的积温最大。葛洲坝下宜昌江段的胁迫积温相对较小, 合适的积温相对较大, 是目前最合适的产卵江段(图3)。而其他下游江段合适的产卵积温太小, 不能作为合适的产卵江段。通过对2015年在长江口采集的中华鲟幼鱼进行耳石元素分析, 也认为其产卵场应该在宜昌江段。因此宜昌江段应该作为中华鲟的关键栖息地进行重点保护。

4 中华鲟的最小存活种群与种群现状

一般将生物的生活史对策划分为r-对策和K-对策两种类型。但是在鱼类中, 生活史对策更多样化, 分为3种类型: 机会对策、周期对策和平衡对策。中华鲟属于周期对策类型, 性成熟晚, 但是产卵量高, 不具有护幼行为, 总体上表现为III型存活曲线类型, 其早期死亡率高。王腾等^[7]对83种长江鱼类的生活史特征和种群生产力进行了分析, 其中中华鲟的最小存活种群为180尾, 即维持中华鲟种群需要成熟的、具有繁殖能力的个体为180尾。这一数值大于湖鲟的80尾^[8], 小于欧洲鲟的 $200\text{—}500$ 尾^[9]。按照这样的标准, 根据繁殖群体的结构组成情况, 推算出中华鲟每年的繁殖群体数量需要22尾。自1981年葛洲坝电站修建以来, 中华鲟繁殖群体数量

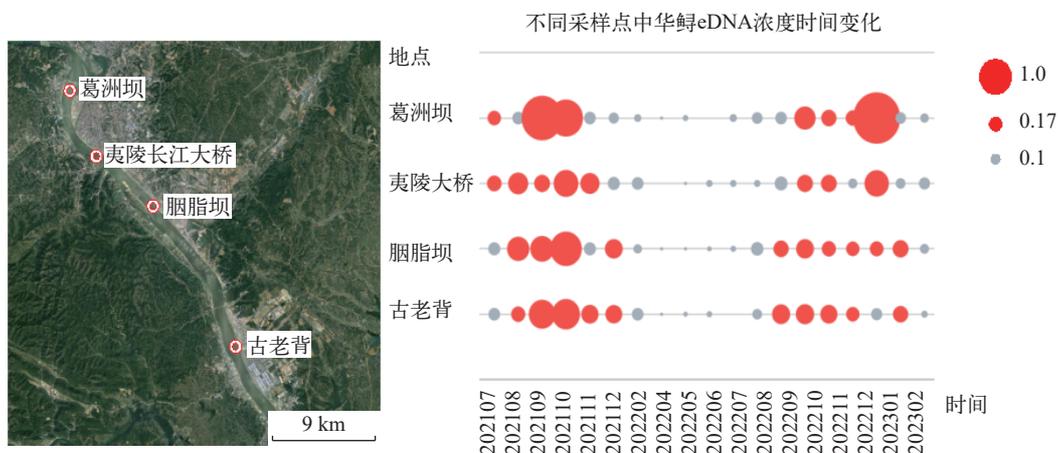


图2 葛洲坝下江段由环境DNA浓度变化显示的中华鲟繁殖群体季节性行为规律(依据文献^[2]数据绘制)

Fig. 2 Seasonal behavioral patterns of the Chinese sturgeon reproductive stocks in four localities below the Gezhouba Dam revealed by the concentrations of e-DNA (redrawn with data from ref. 2)

图中可见中华鲟仅在繁殖季节出现在葛洲坝下江段, 其余季节不在这一区域

The figure shows that the Chinese sturgeon appeared in these localities only in reproductive seasons, but are absent in other periods

持续下降,从1980s早期的2000余尾^[10]下降到目前不足20尾。这其中有早期过度捕捞的影响,以及后来产卵场环境容量下降和捕捞等多重压力的作用。目前中华鲟的繁殖群体数量小于20尾,小于其最小存活种群的阈值。

5 中华鲟交配策略与繁殖间隔

中华鲟个体大,在海洋中生长发育,在淡水河流中繁殖,而且需要在淡水河流环境停留1年多的时间,因此需要与之相适应的繁殖策略。基于长期收集的多个年份的中华鲟幼鱼样本,我们分析了这些样本之间的个体同胞关系,发现中华鲟是多夫多妻的混合交配策略,而且不同个体的交配机会相对平均,不存在少数个体占优势交配的所谓彩票中奖式策略^[11]。上述现象说明增加繁殖亲本即可能增加遗传多样性,产生保护的效果。

另外发现不同年份的样本之间存在同胞关系,说明同样的亲鱼存在不同年份重复繁殖的情况,其繁殖间隔的时间为2—6年。在该研究结果中最短间隔时间是2年,结合亲子分析和野外中华鲟繁殖监测的信息,可以推测部分亲鱼在2005年11月9日参加繁殖,然后回到海洋摄食恢复体力,仅摄食不到一年的时间,在2006年9月左右这些亲鱼即洄游至长江,停留1年后,在2007年11月23日产卵繁殖。由于中华鲟亲鱼在长江中是不摄食的,因此中华鲟仅有不到1年的时间在海洋中摄食,其必须进化有高度有效的消化吸收系统,在海洋中也是以高蛋白、高能量的食物作为营养的来源。

6 中华鲟目前的困境与未来的保护对策

纵观中华鲟的演化历史,其经历了不断的环境改变和不停地产生演化适应。首先,中华鲟和长江鲟的祖先物种在全球变冷的格局下,由北方扩散到南方。然后在东亚季风气候加强的背景下,发生中华鲟和长江鲟的物种分化,中华鲟由淡水生活的祖先类型演化为河海洄游类型。这些环境变化和演化适应是在漫长的地质历史时间中发生的。1981年葛洲坝工程截流后,中华鲟的洄游通道被阻,产卵场面积大幅度减小,同时由于捕捞作用,其种群数量急剧减少。2003年,三峡工程蓄水,中华鲟的繁殖次数由每年2次减少为1次。2013年首次没有监测到中华鲟的野外繁殖,尽管2014、2016年存在中华鲟的野外繁殖,2017年以后,已经连续7年没有监测到中华鲟的野外繁殖。因此,在高强度的人类活动影响下,中华鲟难以生存,其物种延续岌岌可危。

国家政府对中华鲟的物种保护非常重视,采取了人工繁殖放流,禁止商业捕捞,栖息地保护等多种措施,但是目前措施的效果不是特别理想,有关中华鲟的保护对策存在若干的争议。我们的研究成果对于澄清当前围绕中华鲟保护所存在的争议,提供了有力的实证支持,这无疑为日后制定更为精准、有效的中华鲟保护策略奠定了坚实的基础。

6.1 中华鲟没有产卵的原因,中华鲟目前的产卵场是否有效?

关于中华鲟近年来没有产卵的原因,目前有一

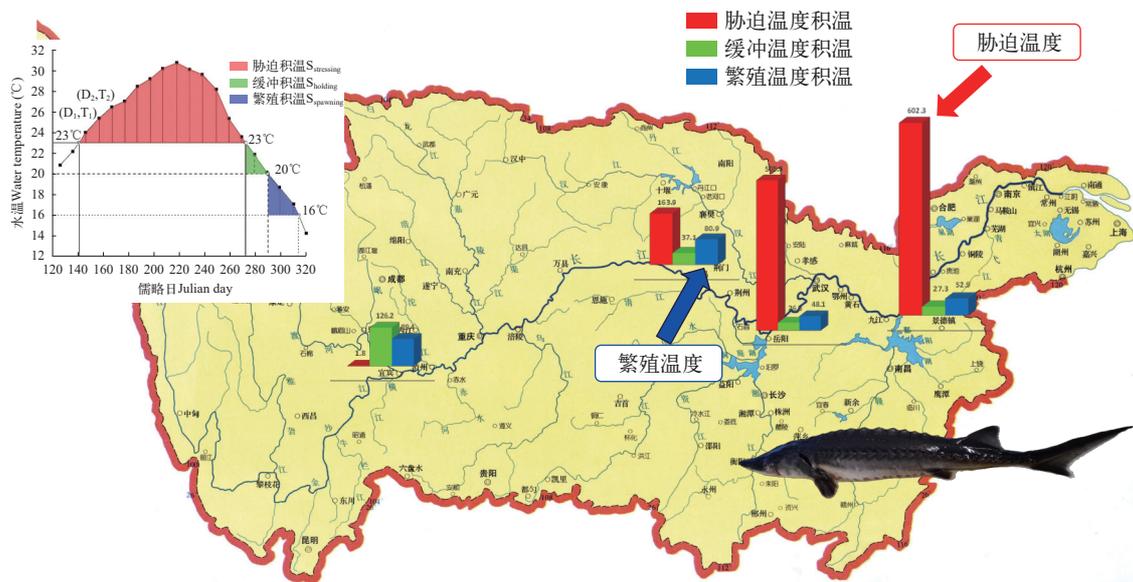


图3 长江上中下游不同区间水温的积温变化及对中华鲟产卵位置的影响(依据文献^[6]数据重新绘制)

Fig. 3 Comparison of cumulative temperatures for reproduction, holding and stressing from upper, middle and lower reaches of the Yangtze River indicating the suitable spawning site for the Chinese sturgeon (redrawn with data from ref. 6)

些不同的观点。有的人认为三峡工程蓄水后, 葛洲坝下中华鲟的产卵场变得不适合中华鲟产卵, 所以需要为中华鲟寻找新的产卵场。我们的研究结果显示, 从适合中华鲟繁殖的累积温度来看, 宜昌江段仍然是中华鲟目前最合适的产卵江段, 葛洲坝下的产卵场也是目前唯一被证实有效的产卵场。从历年的水文、水温条件看, 2013和2015年的水温特别高, 流量偏小, 所以不适合中华鲟产卵。但是其他年份的水温、水流条件总体是合适的(图4), 中华鲟没有产卵的原因是由于亲鱼数量太少。由于在繁殖季节长江中的中华鲟繁殖群体包含有两个组分, 即前一年进入长江后准备繁殖的个体, 以及当年进入长江后等待下一年繁殖的个体, 所以在葛洲坝下中华鲟产卵场探测到的个体20尾相当于仅有一半的个体(10尾)可能当年繁殖。如果考虑到雌雄的性比, 则也许有5尾雌鱼、5尾雄鱼属于当年繁殖的个体。考虑到性选择等因素, 这样少的个体是难以自然繁殖的。因此认为葛洲坝下中华鲟产卵场已经丧失功能是不科学的。

6.2 中华鲟已经放流了40多年, 数百万尾个体, 为什么没有效果?

国家政府对中华鲟的保护工作非常重视, 从1983年开始就已经成功进行了中华鲟的人工繁殖工作, 并且放流了中华鲟的鱼苗。此后每年都会进行中华鲟鱼苗、幼鱼, 甚至大个体鱼的放流, 累积超过800多万尾。但是, 目前仍然没有看到中华鲟种群恢复的迹象。因此有的人认为放流中华鲟是失败的, 没有效果, 应该采取其他措施。从中华鲟的生活史对策看, 其属于周期对策类型。一方面其寿命长, 性成熟晚; 另一方面繁殖量大, 早期死亡率高。这是鱼类中出现的特殊类型生活史对策的表现。由于繁殖量大, 早期死亡率高, 所以早期个体的数量需求大。一般情况下, 中华鲟的平均怀卵量

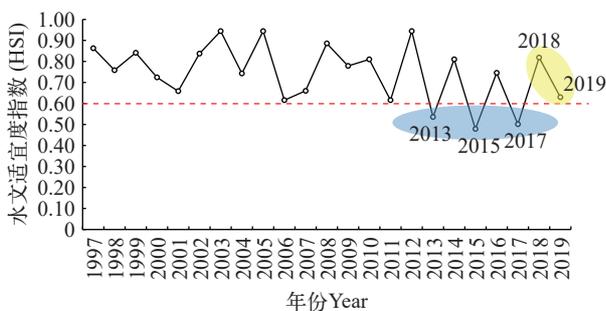


图4 以水温和流量综合分析的葛洲坝下中华鲟产卵场适宜度年度变化(依据文献[3]数据重新绘制)

Fig. 4 Temporal variations of habitat suitability for Chinese sturgeon spawning analyzed with water temperature and flow below the Gezhouba Dam (redrawn with data from ref. 3)

为60万尾, 如果有10尾雌鱼参加繁殖, 则一年的产卵量就能达到600万尾。例如, 据估算, 1984年葛洲坝下中华鲟产卵量为1500万粒^[12], 有些年份甚至更高^[13]。所以尽管我们看到放流了数百万尾的中华鲟, 但是与其自然繁殖量相比, 仍然是远远不够的, 因为早期的死亡率太高。这也导致这么多年放流的效果不显著。因此, 不是放流措施不合适, 而是放流的数量太少, 难以形成效果。

6.3 是否需要为中华鲟修建鱼道

由于葛洲坝电站阻隔了中华鲟的洄游通道, 在修建葛洲坝电站的时候就讨论了是否需要为中华鲟修建鱼道。当时的决策是先不建鱼道, 但是保留修建鱼道的位置。1982年秋发现中华鲟可以在葛洲坝下产卵后, 以实际的证据说明了没有必要为中华鲟修建鱼道, 这样为是否需要为中华鲟修建鱼道给出了一个暂时的结论。

近年来, 由于中华鲟多年没有野外繁殖, 有人重新提出了要为中华鲟修建鱼道的观点。我们认为这是不科学的, 而且是对中华鲟有害的。首先, 中华鲟是洄游鱼类, 其必须洄游到海洋才能获得足够的营养。中华鲟的姐妹物种长江鲟个体小, 底栖杂食性, 长江中的底栖生物生产力可以支撑长江鲟的种群存在。但是中华鲟个体大, 长江中的底栖生物生产力无法维持中华鲟种群的存在。将中华鲟局限在长江上游地区将导致中华鲟种群由于营养不够而灭绝。其次, 为了探索保护中华鲟的不同途径, 有些科研单位分别在三峡库区和葛洲坝库区放流了中华鲟的成年个体, 其结果是在坝下发现这些个体被水轮机打死后的个体, 用实际证据说明了中华鲟无法在坝上生存。因此, 这些理由非常清楚地说明了不应该在葛洲坝和三峡工程为中华鲟修建鱼道。

6.4 中华鲟未来的保护对策

生物的演化通常是在漫长的地质历史时间背景下发生的, 生物可以有较长的时间产生适应。然而, 在剧烈的人类活动作用下, 许多生物显得无所适从, 难以适应, 从而出现物种的灭绝。但是在人类的辅助干预下, 有许多物种得到了成功的恢复。例如, 朱鹮曾经只剩下7只个体, 但是在人类的辅助干预下, 现在已经恢复到了数千只。麋鹿曾经在我国野外灭绝, 但是在从英国引回了数只个体后, 现在已经建立了多个种群, 避免了物种灭绝的风险。我们认为中华鲟的保护也需要借鉴这些物种保护的经验和, 加强人工辅助的干预。

中华鲟在1983年成功进行了人工繁殖工作后, 2009年进行了全人工养殖状态个体的成功繁殖, 目

前已经培育了子一代、子二代的亲本。这些基础工作为进行人工辅助中华鲟的种群恢复提供了强有力的基础。目前,虽然已经进行了中华鲟的人工繁殖放流工作,但是放流的量太少,个体太小,所以没有明显的效果。因此后期需要增加放流的数量,加大放流个体的大小,在条件许可的情况下,甚至可以放流成熟的亲鱼。按照以中华鲟繁殖群体数量为评价指标的范围^[14],在评价为中等的情况下需要200—400尾个体,所以放流成熟的亲鱼可以达到100尾。如果有了足够数量的个体,一定能为中华鲟的物种恢复带来希望。

其次,一个物种的成功恢复必须是其野外种群的恢复。对于中华鲟也是这样。然而中华鲟的生活周期太长,其完成生活史过程需求的空间太广,使得恢复这一物种的野外种群会相对困难。但是,只要工作做到位了,中华鲟的野外种群一定可以恢复。葛洲坝下中华鲟产卵场是目前中华鲟唯一有效的产卵场。由于为中华鲟修建鱼道存在较多的不确定因素,与其花费时间讨论鱼道的修建,不如做一些实际的、有效的工作,去修复、扩展中华鲟的现有产卵场。例如,对产卵场的隔流堤进行处理,对产卵场的底质进行修复等,为中华鲟的野外繁殖创造良好的条件。此外,尽管研究显示大部分年份中华鲟产卵的流量、水温条件是合适的,但是这种不确定性也是明显的。因此还是要对产卵场的流量和水温进行详细的监测,并考虑进行生态调度,以完全保障中华鲟繁殖有合适的环境条件。

再次,尽管中华鲟的亲鱼在长江中不摄食,但是其仔、幼鱼是要在长江中摄食、生长的。长江中、下游干流就是中华鲟仔、幼鱼摄食生长的关键栖息地。特别是一些底栖动物丰富的缓流、洲滩区域。因此要加强对这些区域的保护,提高中华鲟仔、幼鱼的存活率。

由于中华鲟进入长江以后需要在长江中停留一年,在第二年的秋季产卵,并且由于中华鲟是冷水鱼类,高温对其有胁迫作用。因此中华鲟可能存在有“度夏”行为,即在夏季的高温期,在长江中寻找低温的深潭度夏。因此对于中华鲟的保护,也需要考虑其度夏生境的保护。

此外,就中华鲟的生活史过程看,其大部分的时间是在海洋中度过。但是我们对于中华鲟在海洋中的生物学知识还非常匮乏,需要以后加强研究。

总之,从多方面科学证据的分析来看,尽管长江中的环境条件发生了很大的变化,但是还没有到中华鲟完全不能生存的程度。特别是,如果经过人为的栖息地和产卵场修复,可以为中华鲟提供更好

的生境和环境条件。中华鲟目前的困境是由于人类活动产生的变化太快,其没有时间产生适应,造成目前的种群数量太少,难以自身恢复。如果通过人工辅助干预,放流足够数量的中华鲟个体,加之长江生态环境的恢复,相信中华鲟终究可以恢复自然繁殖,并恢复种群数量,延续物种生存。特别需要说明的是,中华鲟衰退的原因之一是捕捞的作用,既有对中华鲟亲鱼的捕捞,更有对中华鲟幼鱼的捕捞。目前国家实施长江十年禁渔政策,这也为中华鲟的恢复提供了一个很好的契机。希望通过众多的合力协作,中华鲟的种群能够得到恢复。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

致谢:

本文的内容涉及到鱼类生态与资源保护学科组在中华鲟方面的长期研究,在文章的撰写过程中,常涛、俞丹、高欣、姜明等帮助绘制插图,以及提出修改意见,特此致谢。

参考文献:

- [1] Jiang M, Liu H Z. Evolutionary pattern and adaptive strategies of key morphological and ecological characters in the Acipenseriformes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(12): 1932-1947. [姜明, 刘焕章. 鲟形目鱼类重要形态与生态特征的演化格局与适应策略 [J]. *水生生物学报*, 2023, 47(12): 1932-1947.]
- [2] Yu D, Shen Z, Chang T, et al. Using environmental DNA methods to improve detectability in an endangered sturgeon (*Acipenser sinensis*) monitoring program [J]. *BMC Ecology and Evolution*, 2021, 21(1): 216.
- [3] Chang T, Gao X, Liu H. Potential hydrological regime requirements for spawning success of the Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* in its present spawning ground of the Yangtze River [J]. *Ecohydrology*, 2021, 14(8): e2339.
- [4] Yi Y, Wang Z, Yang Z. Two-dimensional habitat modeling of Chinese sturgeon spawning sites [J]. *Ecological Modelling*, 2010, 221(5): 864-875.
- [5] Ban X, Du Y, Liu H Z, et al. Applying instream flow incremental method for the spawning habitat protection of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) [J]. *River Research and Applications*, 2011, 27(1): 87-98.
- [6] Chang T, Gao X, Danley P D, et al. Longitudinal and temporal water temperature patterns in the Yangtze River and its influence on spawning of the Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray 1835) [J]. *River Research and Applications*, 2017, 33(9): 1445-1451.
- [7] Wang T, Gao X, Jakovic I, et al. Life tables and elasticity analyses of Yangtze River fish species with implications for conservation and management [J]. *Reviews in*

- Fish Biology and Fisheries*, 2017, **27**(1): 255-266.
- [8] Schueller A M, Hayes D B. Minimum viable population size for lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) using an individual-based model of demographics and genetics [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2011, **68**(1): 62-73.
- [9] Jarić I, Knežević-Jarić J, Cvijanović G, *et al.* Population Viability Analysis of the European Sturgeon (*Acipenser sturio* L.) from the Gironde Estuary System [M]. *Biology and Conservation of the European sturgeon Acipenser sturio* L. 1758. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011: 603-619.
- [10] Ke F E, Wei Q W, Zhang G L, *et al.* Investigations on the structure of spawning population of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) and the estimate of its stock [J]. *Freshwater Fisheries*, 1992, **22**(4): 7-11. [柯福恩, 危起伟, 张国良, 等. 中华鲟产卵洄游群体结构和资源量估算的研究 [J]. 淡水渔业, 1992, **22**(4): 7-11.]
- [11] Yu D, Gao X, Shen Z, *et al.* Novel insights into the reproductive strategies of wild Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) populations based on the kinship analysis [J]. *Water Biology and Security*, 2023, **2**(2): 100134.
- [12] Hu D G, Ke F E, Zhang G L, *et al.* Investigation on the spawning group of Chinese sturgeon down Gezhouba Dam [J]. *Freshwater Fisheries*, 1992, **22**(5): 6-10. [胡德高, 柯福恩, 张国良, 等. 葛洲坝下中华鲟产卵场的调查研究 [J]. 淡水渔业, 1992, **22**(5): 6-10.]
- [13] Chang J B. Structure and dynamics of the spawning stock of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*, in the Yangtze River [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1999. [常剑波. 长江中华鲟繁殖群体结构特征和数量变动趋势研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1999.]
- [14] Gao X, Lin P C, Chang T, *et al.* Ecological and environmental assessment index in the middle-lower reaches of the Yangtze River based on the spawning population size of Chinese sturgeon [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, **45**(6): 1396-1399. [高欣, 林鹏程, 常涛, 等. 基于中华鲟繁殖群体数量的长江中、下游生态环境考核指标 [J]. 水生生物学报, 2021, **45**(6): 1396-1399.]

长江“十年禁渔”特色专栏征稿

自2021年1月1日零时起, 长江流域重点水域10年禁渔全面启动。长江“十年禁渔”是党中央、国务院为全局计、为子孙谋的重大决策, 是推动长江经济带高质量发展和恢复长江母亲河生机活力的重要举措。为跟踪报道此计划实施效果, 并为长江大保护提供理论支撑, 《水生生物学报》于2022年第1期起正式开设长江“十年禁渔”特色专栏。专栏特邀请长江“十年禁渔”首倡科学家曹文宣院士担任名誉顾问并撰写开栏词。

长江“十年禁渔”特色专栏内容包括但不限于水生生物资源调查、种质资源及生物多样性保护、长江流域水生态环境保护与修复。现面向广大学者征稿, 请登录《水生生物学报》官网(ssswxb.ihb.ac.cn)在线投稿, 要求论文选题新颖, 具有创新性; 写作条理清晰, 文字简练流畅, 论点明确, 数据可靠。感谢您一直以来的大力支持! 欢迎您踊跃投稿!

《水生生物学报》编辑部