

中华鲟物种保护技术研究

Studies on Conservation of Species of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*



中国水产科学研究院长江水产研究所
农业部淡水鱼类种质资源与生物技术重点开放实验室

中华鲟物种保护技术研究

中国水产科学研究院长江水产研究所
农业部淡水鱼类种质资源与生物技术重点开放实验室

湖北 荆州

2006 年 3 月 18 日

中华鲟物种保护技术研究

危起伟, 杨德国, 陈细华, 刘鉴毅, 朱永久, 王 凯,
柳 凌, 汪登强, 文 华, 杜 浩, Boyd Kynard, 郑卫东,
甘 芳, 沈 丽, 李罗新, 胡德高, 鲁大椿, 刘 伟

中国水产科学研究院长江水产研究所
农业部淡水鱼类种质资源与生物技术重点开放实验室

湖北 荆州

2006 年 3 月 18 日

目 录

中华鲟物种保护技术研究.....	1
摘要.....	1
前言.....	2
1 中华鲟资源状况研究.....	5
1.1 中华鲟生物学简介.....	5
1.2 中华鲟产卵群体的资源量评估与种群结构研究.....	6
1.3 中华鲟资源走势的分析.....	8
2 中华鲟自然繁殖生态研究.....	9
2.1 中华鲟自然繁殖期间的分布和迁移.....	9
2.2 葛洲坝截流后中华鲟的自然繁殖及效果.....	14
2.3 中华鲟自然繁殖的生态条件.....	19
2.4 中华鲟的产卵场及其保护.....	27
3 中华鲟人工繁殖技术研究.....	32
3.1 中华鲟人工繁殖设施及用具.....	32
3.2 中华鲟人工繁殖的一般程序.....	32
3.3 中华鲟人工繁殖关键技术的改进.....	34
3.4 中华鲟人工繁殖效果.....	36
3.5 中华鲟人工繁殖相关基础研究.....	36
4 中华鲟受精卵孵化和苗种培育技术研究.....	42
4.1 中华鲟苗种的集约化生产系统.....	42
4.2 中华鲟受精卵孵化和苗种培育的生态要求.....	43
4.3 中华鲟苗种大规模培育的关键技术.....	48
4.4 中华鲟幼鱼营养生理的初步研究.....	50
5 中华鲟的人工增殖放流及效果评价.....	54
5.1 中华鲟的人工放流概况.....	54
5.2 中华鲟幼鲟标志放流技术的建立及人工放流效果评价.....	55
6 中华鲟养殖技术研究及人工群体建立.....	59
6.1 中华鲟子一代养殖技术.....	59
6.2 三峡水库中华鲟种群建立的试验性研究.....	59
6.3 养殖中华鲟子一代的性腺发育研究.....	60
6.4 建立中华鲟全人工种群的可行性分析.....	61
7 细胞生物学和分子生物学技术在中华鲟物种保护中的应用.....	62
7.1 中华鲟精液超低温冷冻保存技术及其应用.....	62
7.2 遗传多样性保护.....	74

8 中华鲟物种保护面临的问题和对策.....	76
8.1 中华鲟物种保护面临的主要问题.....	76
8.2 保护对策和建议.....	78
参考文献.....	80
中华鲟物种保护技术研究相关图片.....	83
已经发表和完成的论文.....	111
一、中华鲟资源和自然繁殖生态研究.....	119
1. Biology, fisheries and conservation of sturgeons and paddlefish in China(SCI ¹).....	121
2. 葛洲坝水利枢纽对中华鲟的影响—数量变动调查报告 (CSCD)	139
3. 中华鲟产卵洄游群体结构和资源量估算的研究 (CSCD)	143
4. 葛洲坝截流 24 年来中华鲟产卵群体结构的变化 (CSCD 核心)	149
5. Investigations of ecological effects of Gezhouba hydroelectric project on Chinese sturgeon(国际会议论文)	155
6. Reproductive ecology of Chinese sturgeon(<i>Acipenser sinensis</i>)with its stock assessment(国际会议论文)	159
7. Trend analysis on population structure and decline of Chinese sturgeon (<i>Acipenser sinensis</i>) after daming of the Yangtze River.(国际会议论文)	163
8. 葛洲坝下中华鲟产卵情况初步调查及探讨 (CSCD)	165
9. 葛洲坝下中华鲟产卵场的调查研究 (CSCD)	169
10. 葛洲坝下中华鲟产卵场的第二次调查 (CSCD)	175
11. 葛洲坝下中华鲟产卵规模大小的调查研究 (国内会议论文)	179
12. 葛洲坝下中华鲟产卵群体性腺退化的观察 (CSCD)	189
13. 葛洲坝下中华鲟自然产卵胚胎正常发育的证据 (中文核心)	195
14. Using drift nets to capture early life stages of Chinese sturgeon and evaluate spawning at Yichang in the Yangtze River.....	199
15. Spawning of Chinese sturgeon, in the Yangtze River (国际会议论文)	219
16. Use of ultrasonic telemetry to locate the spawning area of Chinese sturgeons (SCI)	221
17. 应用超声波遥测技术定位中华鲟产卵区 (CSCD 核心)	225
18. 长江中华鲟超声波遥测技术 (CSCD 核心)	229
19. Distribution and movement of Chinese sturgeon, <i>Acipenser sinensis</i> , in spawning ground located downstream the Gezhouba Dam during spawning seasons (国际会议论文, SCI, 已接收)	237

¹期刊等级参考: CSCD 1989; 2000; 2004; SCI 1999; 2001; 2004;

20. 葛洲坝下中华鲟产卵场的水文状况及其与中华鲟产卵活动的关系 (CSCD, 已接收)	247
二、中华鲟人工繁殖技术研究.....261	
21. 中华鲟精子低温保存的相关因子 (CSCD 核心)	263
22. Study on Sperm Cryopreservation of Chinese Sturgeon and Application Technology (SCI, 已接收)	267
23. NaCl、KCl、CaCl ₂ 、MgCl ₂ 、CuCl ₂ 及葡萄糖、果糖对中华鲟精子活力的影响.....	277
24. 温度对中华鲟精子、卵子短期保存的影响.....	289
25. 中华鲟精液的生物学特性和精浆的氨基酸成分(CSCD)	297
26. 中华鲟精子的超微结构.....	301
27. 中华鲟精子入卵过程的扫描电镜观察.....	313
28. 中华鲟人工繁殖关键技术的改进效果研究.....	321
29. 中华鲟亲鱼的护理和长途运输.....	329
30. 人工繁殖中华鲟雌鲟产卵前后的行为观察.....	339
31. 葛洲坝下中华鲟繁殖生物学特性及其人工繁殖效果.....	349
32. 野生中华鲟水族馆驯养观察(CSCD 核心, 已接收)	357
三、中华鲟受精卵孵化和苗种培育技术研究.....365	
33. 水温对中华鲟胚胎发育的影响.....	367
34. The effects of physicochemical property of water on the oxygen consumption rate of Chinese Sturgeon Embryo and Larva (国际会议论文, SCI, 已接收)	377
35. 中华鲟胚胎的耗氧率(国际会议论文, CSCD 核心)	385
36. 若干水体理化因子对中华鲟胚胎及仔鱼耗氧率的影响(CSCD 核心, 已接收)	391
37. pH 值、苯酚、Cu ²⁺ 、亚硝酸盐和氨对中华鲟仔鱼的 急性毒性(国际会议论文, CSCD 核心, 已接收)	401
38. 中华鲟苗种的集约化生产系统.....	411
39. 中华鲟苗种集约化培育技术 (中文核心, 已接受)	421
40. Large-scale cultivation of Chinese Sturgeon <i>Acipenser sinensis</i> fingerlings for re-stocking (国际会议论文, SCI, 已接收)	425
41. The Ontogeny of the Retina of Chinese Sturgeon (<i>Acipenser sinensis</i>) (国际会议论文, SCI, 已接收)	437

四、中华鲟人工增殖放流及效果评价	447
42. Stock enhancement of Chinese sturgeon, <i>Acipenser sinensis</i> , in the Yangtze River: preliminary evaluation of stocking effectiveness using CWT (国际会议论文)	449
43. 人工标志放流中华鲟幼鱼的降河洄游(国际会议论文, CSCD 核心)	451
44. 世界鱼类资源增殖放流概况	457
五、中华鲟养殖技术研究及人工群体建立	469
45. The current status of sturgeon farming in China and its prospect (国际会议论文)	471
46. Status of sturgeon aquaculture and sturgeon trade in China: a review based on two recent nationwide surveys (SCI)	473
47. 饲料碳水化合物水平对中华鲟幼鱼生长的影响	485
48. 饲料中不同糖水平对中华鲟血液生化指标的影响研究	493
49. 中华鲟稚鱼直接转食配合饲料试验	499
50. 中华鲟幼鲟维生素 C 营养需要的研究	505
51. 氯化胆碱对中华鲟幼鱼生长和生理指标的影响	511
52. 中华鲟摄食不同水平的二种糖后淀粉酶活性的变化	517
53. 中华鲟常见病害及其防治 (中文核心)	527
54. MS-222 对中华鲟和施氏鲟的麻醉试验 (中文核心)	531
55. 网箱养殖鲟鱼试验 (中文核心)	535
56. 中华鲟水族馆驯养研究	537
57. 淡水养殖中华鲟成鱼的 3 种方式及效果比较(中文重点, 已接收)	547
58. 淡水人工培育中华鲟亚成体的海水驯化试验	553
59. 人工圈养中华鲟放流三峡水库后迁移行为的初步观察	559
60. 低龄中华鲟外科手术性别鉴定技术 (CSCD 核心)	565
61. 养殖中华鲟性腺发生与分化的组织学研究 (CSCD 核心)	569
62. 中华鲟成体消化系统的形态学和组织学研究 (CSCD 核心, 已接收)	557
63. Observations on formation and development of primary germinal tissue of cultured Chinese sturgeon, <i>Acipenser sinensis</i> (国际会议论文, SCI, 已接收)	583
64. 国外鲟类生理学研究现状(CSCD)	591
六、细胞生物学和分子生物学技术在中华鲟物种保护中的应用	595
65. 中华鲟随机扩增多态性 DNA 及遗传多样性研究 (CSCD 核心)	597
66. 中华鲟天然群体蛋白质水平遗传多样性贫乏的初步证据 (CSCD 核心)	605

67. Mitochondrial DNA variation, effective female population size and population history of the endangered Chinese sturgeon, <i>Acipenser sinensis</i> (SCI) ...	611
68. 中华鲟 (<i>Acipenser sinensis</i>) mtDNA 个体间的长度变异 与个体间的长度异质性 (CSCD 核心)	623
69. 13 种鲟形目鱼类线粒体 DNA 的 PCR-RFLP 分析 (CSCD 核心)	631
70. 12 种鲟形目鱼类 mtDNA ND4L-ND4 基因的序列变异及其分子系统学 (CSCD 核心) ...	639
71. 几种鲟鱼基因组大小、倍体的特性及鲟形目细胞进化的探讨 (CSCD 核心)	647
72. 7 种鲟形目鱼类亲缘关系的随机扩增多态性 DNA 研究 (CSCD 核心)	655
73. Age and Biogeography of Major Clades in Sturgeons and Paddlefishes	661
74. 鲟形目鱼类 rDNA 扩增及限制性位点分析	699
 七、中华鲟物种保护面临的问题和对策	709
75. 世界鲟鱼资源状况-并论中华鲟保护和发展 (国内会议论文)	711
76. 论长江珍稀水生野生动物的保护与补救 (国际会议论文)	727
77. 论长江口中华鲟幼鱼的保护 (国际会议论文)	733
78. 长江鲟鱼类的保护对策 (论文集)	741
79. 中国鲟鱼的保护、管理与产业化 (中文核心)	751
80. 论我国鲟鱼产业发展方向 (中文核心)	757
81. 国家一级水生野生保护动物中的三种鲟 (中文重点)	759
82. 里海流域鲟渔业现状和保护 (CSCD)	761

中华鲟物种保护技术研究

危起伟, 杨德国, 陈细华, 刘鉴毅, 朱永久, 王 凯, 柳 凌, 汪登强, 文 华,
杜 浩, Boyd Kynard*, 郑卫东, 甘 芳, 沈 丽, 李罗新, 胡德高, 鲁大椿, 刘 伟

摘要 对葛洲坝截流以来长江中华鲟的种群结构和资源状况、自然繁殖生态、人工繁殖放流技术、人工群体构建及遗传多样性特点等中华鲟物种保护技术进行了研究。对葛洲坝截流 24 年来的中华鲟产卵群体种群结构进行了连续监测和研究, 发现 24 年来产卵群体的种群结构发生了明显变化。采用标志放流重捕法估算了葛洲坝截流初期及运行较长时间后的中华鲟产卵群体资源量, 发现每年洄游至产卵场的中华鲟产卵亲体数量已从葛洲坝截流初期的约 2000 尾, 下降至近年的 300—500 尾/年。采用自行建立的中华鲟超声波追踪技术和自然繁殖受精卵(胚胎)的江底采卵技术, 对葛洲坝下中华鲟的产卵场及产卵场条件进行了研究, 发现中华鲟产卵场主要分布在坝下约 7km 长的江段, 总面积约 2.0—2.7 km², 而亲鲟交配的地点包括“上交配区”和“下交配区”2 处, 面积分别约 0.1km² 和 0.3 km²。从产卵场江底直接采捞到自然繁殖中华鲟受精卵和鱼苗, 表明葛洲坝下中华鲟产卵场的客观存在及其有效性。研究还表明, 江底的地形变化、卵石河床类型以及一定范围的水温、底层流速、流量和含沙量对中华鲟产卵场的选择和产卵发生具有重要作用。

研究了影响中华鲟苗种生长和培育效果的相关生态因子, 发现了制约中华鲟大规模苗种规模化培育效果的关键因素, 对中华鲟人工繁殖和苗种培育设施的结构、制作工艺等进行了优化设计和系统配套, 结合中华鲟人工授精稀释液、精液低温冷藏保存等技术的使用, 提高了中华鲟人工繁殖的受精率、孵化率和苗种培育成活率, 建立了较完善的中华鲟大规模苗种规模化培育技术体系。进行了多种形式的中华鲟子一代养殖试验, 形成了中华鲟人工后备亲鱼群体梯队, 并对它们的性腺发育进行了监测和研究。建立了中华鲟苗种的 CWT 标志放流技术, 并对中华鲟的人工增殖放流效果进行了评估。1983-2004 年共向长江、珠江和闽江放流各种规格人工繁殖和培育的中华鲟苗种 180 万尾, 其中体长 10cm 以上苗种 30 余万尾。对在珠江和三峡库区重建中华鲟种群进行了尝试。

关键词 葛洲坝 中华鲟 种群结构 超声波追踪 江底采卵 产卵场定位 产卵条件 授精稀释液 苗种规模化培育 人工后备亲鱼 性腺发育 CWT标志放流

* 美国地质考察局康特洄游性鱼类研究中心 (Tuners Falls, 马萨诸塞州 01376, 美国), 1995—2002 年为农业部淡水鱼类种质资源与生物技术重点开放实验室客座研究员

前 言

鲟鱼类属古棘鱼类的后裔，是现代脊椎动物中起源最早的生物类群之一，在研究生物进化、动物地理变迁以及鱼类分类等方面具有重要的研究价值。同时，因鲟鱼肉味鲜美，富含人体所需各种氨基酸和脂肪酸，其皮可制成优质皮革，卵可加工鱼籽酱，一些组织如肝、软骨等都具有较高的药用价值，其经济开发潜力也极为显著^[1]。

按目前较为公认的分类系统，现存鲟鱼类有 2 科 6 属 27 种，隶属于硬骨鱼纲、软骨硬鳞总目、鲟形目 (Acipenseriformes)，其中鲟属有 17 个种，主要经济种类在其中^[2]。鲟鱼类全部分布于北半球，可划分为 9 个自然分布区：太平洋东岸、北美大湖地区、大西洋西北部、北美密西西比河流域和墨西哥湾、大西洋东北部、里海地区、西伯利亚及北冰洋流域、黑龙江和日本海、长江和珠江^[3]。在过去的 200 年间，世界鲟鱼总产量波动在 1.5—4.0 万吨，主要来自前苏联的里海流域，占世界捕捞产量的 80% 以上。按照当时的捕捞产量，世界鲟鱼类大致可分为 4 类，即：万吨级种类包括俄罗斯鲟 (*Acipenser. Gueldenstaedti*)、闪光鲟 (*A. stellatus*) 和欧洲鳇 (*Huso huso*)；千吨级种类包括西伯利亚鲟 (*A. baerii*)、湖鲟 (*A. fulvescens*)、美洲大西洋鲟 (*A. o. oxyrinchu*) 和高首鲟 (*A. transmontanus*)；百吨级种类包括小体鲟 (*A. ruthenus*)、史氏 (*A. schrenckii*)、达氏鳇 (*Huso dauricus*)、中华鲟 (*A. sinensis*)、匙吻鲟 (*Polyodon spathula*)；其它种类为稀有种类，产量不及百吨，如我国的白鲟 (*Psephurus gladius*)、达氏鲟 (*A. dabryanus*)。随着前苏联的解体，里海流域渔业管理混乱、资源增殖措施不力导致里海流域鲟鱼产量大幅度下降，世界鲟鱼年产量已不足 5000 吨^[4]。而大坝建设、过度捕捞、水质污染等因素也使世界范围内的所有鲟鱼种资源日渐枯竭，多数种处于濒危或极危状态。

按 IUCN 濒危物种分类体系 (994)，12 种鲟鱼处于濒危状态 (Endangered, EN)，6 种处于极危状态 (Critical Endangered, CR)。鲟鱼的濒危状况受到国际社会的广泛关注，1997 年在金巴布韦召开的国际濒危动植物种贸易公约 (CITES) 大会，接受了由德国和美国提交的关于世界鲟鱼保护的提案，并形成 10.12 决议，将鲟形目的所有种类列入公约保护物种，其中，短吻鲟和欧洲大西洋鲟为公约附录 1 保护物种，其它种类均为公约附录 2 保护物种，并于 1998 年 4 月 1 日正式生效。随着世界范围内鲟鱼自然资源的衰竭，20 世纪 80 年代开始，在美国和欧洲首先兴起了鲟鱼的商品化养殖，旨在弥补世界对鲟鱼产品特别是鲟鱼籽酱的需求，以保护鲟鱼自然资源。根据 FAO 统计，在 1990—1999 的 10 年间，世界鲟鱼养殖产量缓慢上升，由 1990 年的 328 吨上升至 1999 年的 2706 吨（此数据可能不含美

国和中国的养殖产量)。

产于我国的鲟鱼共有 8 种, 即: 分布于黑龙江的史氏鲟和达氏鳇——该 2 种鲟鱼属于我国与俄罗斯的共有种, 也是目前我国仅有的 2 个商业捕捞鲟种; 栖息于新疆额尔齐斯河的西伯利亚鲟、小体鲟以及伊犁河的裸腹鲟 (*A. nudiventris*)——该 3 种鲟鱼的自然种群数量极其稀少, 并在哈萨克斯坦国境内也有分布; 栖息于长江和珠江水系及中国海的中华鲟, 栖息于长江的达氏鲟和白鲟——该 3 种鲟鱼均属国家一级保护水生野生动物, 其中后两种为我国特有, 而中华鲟曾在日本和朝鲜等海域也有过发现^[1]。

在全球现存 27 种鲟形目鱼类中, 中华鲟是分布最南端、唯一在秋季繁殖的鲟种, 也是体形最大、洄游距离最长的鲟种之一。中华鲟现为我国国家一级重点保护动物, 国际自然保护联盟 (IUCN) 濒危级物种, 国际濒危动植物种贸易公约 (CITES) 附录 2 保护物种。中华鲟曾分布于长江、珠江、闽江、钱塘江、黄河、黄海和东海等水域, 具有江海洄游的习性。目前, 闽江、钱塘江和黄河中华鲟已经绝迹, 珠江中华鲟数量稀少, 仅长江中华鲟的现存量较大。在长江, 中华鲟曾是重要的渔业资源, 但由于过度捕捞和环境污染, 特别是 1981 年葛洲坝的修建切断了中华鲟洄游到长江上游进行繁殖的路线, 严重影响了中华鲟的自然繁衍。2003 年, 位于葛洲坝上游 47km 的三峡大坝开始蓄水, 进一步改变了葛洲坝下中华鲟产卵场的水文节律, 中华鲟物种生存问题变得更为严峻。为提升葛洲坝通航能力而进行的葛洲坝下河势整治工程于 2004 年 12 月正式动工, 对中华鲟现有的天然产卵场 (该工程正位于中华鲟的产卵区) 会产生什么样的影响, 有待继续监测。

我国对长江鲟鱼类 (中华鲟、达氏鲟和白鲟) 的关注和研究由来已久, 但在 1960 年以前, 主要局限于零星的分布及形态描述; 1960-1972 年期间, 国内部分学者对长江 3 种鲟鱼的分类、形态学、生态学以及产卵场等给予关注。对长江鲟鱼类较为系统的研究始于 1972 年开始的“长江鲟鱼专题调查”, 此次由长江水产研究所牵头进行的专项调查, 着重从 3 种鲟鱼的形态学、生态学、人工繁殖和幼鱼培育等四个方面展开研究, 经过 3 年时间的紧张工作, 初步查清了中华鲟的产卵场分布和大致洄游路线, 取得了中华鲟和达氏鲟人工繁殖成功^[1]。但是鉴于当时所具备的研究手段和条件所限, 仍然存在大量的疑难问题无法说明也是必然的。

1980 年开始, 围绕葛洲坝水利工程的建设对长江鲟鱼类资源的影响和救鱼问题, 开展了一系列的中华鲟调查研究。葛洲坝水利枢纽截流后, 人们于 1982 年在坝下二江首次发现了被阻隔在坝下的中华鲟自然产卵繁殖^[5-8], 1983 年, 长江水产研究所等单位在葛洲坝下取得了中华鲟人工繁殖成功, 为中华鲟人工增殖放流奠定了基础^[9]。1982 年, 因葛洲坝的建立威胁到长江鲟鱼类的生存, 国家明令禁止长江鲟鱼类的所有商业捕捞。在我国“野生动物保护法”颁布 (1988 年) 实施后,

将它们列为了国家一级保护动物，对长江鲟鱼类资源和生态学的研究逐渐得到重视^[10]。

从葛洲坝截流开始，长江水产研究所在原农牧渔业部和中国水产科学研究院的资助下，开展了“葛洲坝水利枢纽兴建后中华鲟生态效应研究”、“长江中华鲟资源监测”等研究，对长江中华鲟的生态、资源状况有了更深的认识，最主要的是积累了大量宝贵的历史数据。1995年，中国长江三峡工程开发总公司委托长江水产研究所开展“中华鲟产卵场和产卵条件研究”，1996年获得国家自然科学基金资助“超声波遥测追踪技术对中华鲟繁殖生态的研究”（批准号：39570564），这两个项目旨在三峡工程完工前，查清中华鲟在长江（主要为葛洲坝下宜昌江段）的产卵、洄游和栖息等本底情况，为保护中华鲟提供理论依据。此后，长江水产研究所分别于2000年和2002年得到科技部的资助，开展了社会公益研究专项“长江鲟鱼类物种保护技术研究”（编号：2000DIB50177）和科技基础性工作重点专项（“我国重要和濒危鱼类种质资源收集、保护和物种保存”）专题2：长江濒危特有鱼类保护和物种保存专题（2002DEA1004）的研究，两项研究的重点对象就是中华鲟。

这些研究工作以葛洲坝截流以来长期的中华鲟种群及自然繁殖生态监测数据为基础，通过与国内外同行的交流与合作，引进和建立了一系列鱼类生态学研究的新技术和新方法，如超声波遥测追踪及定位技术、江底中华鲟直接捞卵技术、幼鲟标志放流技术等，较系统研究了中华鲟的自然繁殖生态、资源状况和物种保护技术，发现了许多对中华鲟物种保护至关重要的基础问题，解决了影响中华鲟物种保护开展的一些技术难题，有针对性地提出或建立了较为系统的中华鲟物种保护对策及技术体系。

中华鲟物种保护技术研究自1981年葛洲坝建成开始至2005年，历时25年，累计使用经费约630万元，其中部委等纵向课题经费246.5万元，企业等横向课题经费84.72万元，本所单位自筹研究经费约300万元。

本研究有3项专利已获受理。撰写了82篇研究论文，其中48篇已在各种专业刊物上发表或接收，SCI收录期刊11篇，中文CSCD核心期刊28篇。国际会议论文15篇，国内学术会议论文3篇。已撰写待发表论文23篇。

1 中华鲟资源状况研究

我们对葛洲坝截流 20 多年来葛洲坝下中华鲟产卵群体种群结构进行了连续监测和研究,采用标志放流重捕法估算了葛洲坝截流初期及较长时间运行后的中华鲟产卵群体资源量,较客观地评价了葛洲坝水利工程对中华鲟的影响。

1.1 中华鲟生物学简介

1.1.1 分类地位和形态结构

中华鲟 (*Acipenser sinensis* Gray, 1834) 为硬骨鱼纲、软骨硬鳞总目、鲟形目、鲟科、鲟属的鱼类。

在世界现存 27 种鲟形目鱼类中,中华鲟的分类检索特征是,全身被以 5 列骨板,吻长占头长的 70%以下,吻须 4 根;吻端锥形,两侧边缘圆形,头部有喷水孔;口呈水平位,开口朝下,吻须圆形;身体最高点不在第一背骨板处,第一背骨板也不是最大的骨板;有背鳍后骨板和(或)臀后骨板;臀鳍基部两侧无骨板;第一背骨板通常与头部骨板分离;吻须近口端,背鳍条数多于 44;侧骨板菱形,高大于宽,鳃耙数少于 30。

和其它鲟形目鱼类一样,中华鲟的骨骼除头颅骨和硬鳞骨板外,绝大多数为软骨,脊索延续到成年期,颌部结构原始,消化道具有螺旋瓣,尾为歪型尾,这些都是较原始的性状。

1.1.2 分布和习性

中华鲟主要生活在东海、黄海、台湾海峡等大陆架水域,产卵地点主要在长江。珠江水系也有中华鲟的分布,但数量稀少,其繁殖季节(春季)与长江中华鲟的产卵季节(秋季)不同;其形态结构与长江中华鲟也存在差异。1834 年 Gray 定名中华鲟时,所用的模式标本(体长 32cm)可能来自珠江水系。

长江中华鲟一次性成熟的年龄雌性 14~26 年,雄性 8~18 年,产卵季节是 10~11 月。属一次产卵类型鱼类,其产卵间隔至少 2 年。雌性成熟个体一般在 150kg 以上,雄性在 50kg 以上。观测到的中华鲟最大年龄为 34 年。

在海中长大、即将成熟的中华鲟，每年 7~8 月进入长江口，溯江而上，期间停止摄食，依靠体内脂肪提供运动的能量并完成性腺的最后成熟，于次年 10~11 月份在长江特定的江段产卵繁殖。受精卵在产卵场孵化后，鲟苗随江漂流，第二年 4 月中旬至 10 月上旬长江口即出现 7~38cm 长的中华鲟幼鲟，它们以后陆续进入海洋。亲鱼产卵后一般也立即返回海洋。

1.1.3 产卵场

长江中华鲟的产卵场原分布在长江上游和金沙江下游，有确凿调查证据的产卵场，下起四川泸州地区的合江县，上止宜宾地区的屏山县，延绵数百公里。

1981 年 1 月长江第一座水利工程葛洲坝（湖北宜昌）截流后，中华鲟产卵洄游路线即被切断，产卵群体被阻隔在坝下。1982 年人们就已观察到坝下中华鲟自然产卵的现象。坝下逐渐形成的较为稳定的产卵场，面积十分狭小，位于坝下约 7km 长的江段里，这是大坝截流后到目前为止已查明的唯一的中华鲟产卵场。

1.2 中华鲟产卵群体的资源量评估与种群结构研究

1.2.1 捕捞量

1981 年以前，长江中华鲟的商业捕捞主要在长江中游和上游。1972-1980 年，全江段中华鲟的平均年捕捞量为 77.55 吨，按每尾 150kg 计，相当于 517 尾。葛洲坝截流后的头 2 年（1981-1982 年），大量的中华鲟云集于葛洲坝下，使得中华鲟的年捕捞量达到 1163 尾（包括坝上江段的 161 尾）的高峰。从 1982 年起，禁止中华鲟（包括所有成体和幼体）的商业捕捞，仅保留在繁殖季节少量的科研捕捞，目前的年捕捞量限制在 40 尾以下，用于人工繁殖和标志放流研究。

1.2.2 产卵群体的资源量评估

葛洲坝截流初期（1983-1984 年），长江水产研究所柯福恩等曾采用标志放流的方法来估算当年长江中华鲟产卵群体的资源量，得到当时长江中参加产卵繁殖的中华鲟繁殖群体数量为 2176 尾，95% 的置信区间为 946-4169 尾的结果。

1996-2001 年期间，我们在开展中华鲟超声波追踪及人工繁殖研究同时，结合科研用中华鲟的捕捞进行了中华鲟标志放流和重捕试验，以评估长江宜昌江段中华鲟种群资源状况。5 年共在宜昌标志放流中华鲟亲鲟 74 尾，有 11 尾被重捕。葛洲坝截流后，每年 9—11 月，当年参加产卵繁殖的中华鲟亲鲟及少量将于次年产卵繁殖的性腺处于 III 期的个体均在葛洲坝下聚集，产卵完成前一般并不离开产卵场，在此期间，种群数量的变化仅受捕捞活动的影响。结合中华鲟种群较小、标志放流样本较少的结果，采用经 Bailey（1951）和 Chapman 改良的 Petersen 法估算资源量，得出 1996-2001 年宜昌江段每年的中华鲟种群数量变动在 292-473 尾之

间, 95%的置信区间为 105-890 尾的结果。

1.2.3 产卵群体结构的研究

自 1981 年葛洲坝截流后的 20 多年里, 长江水产研究所连续不间断地承担了葛洲坝下中华鲟产卵群体结构的研究, 获得了较完整的科学数据。根据历史数据和近年来的调查结果, 我们研究了葛洲坝截流后 24 年间 (1981-2004) 中华鲟产卵场及其附近水域繁殖群体结构的变化情况。

对中华鲟繁殖季节 (截取 10 月 7 日~11 月 17 日), 在葛洲坝下宜昌江段 (从坝下至古老背, 约 25km 长), 由渔民在渔政部门的组织下捕获的亲鲟 (合计 644 尾), 进行统计研究。结果表明, 葛洲坝截流 20 多年来, 中华鲟产卵群体的结构发生了深刻的变化。雌雄性比由 1981-1983 年的 1.10:1 递减到 1987-1989 年的 0.63:1, 然后递增到 2003-2004 年的 5.86:1 (如表 1.2.3-1)。雌鲟平均体长、体重由 1990-1992 年的 263.1cm、202.4kg 增加到 1999-2001 年的 276.7cm、231.8kg, 平均年龄则在 21.1-22.7 龄之间波动, 并普遍高于 1981-1989 年的平均年龄 (19.0-20.7 龄)。雄鲟平均体长、体重由 1981-1983 年的 205.1cm、89.8kg 下降到 1987-1989 年的 197.5cm、72.7kg, 然后上升到 1999-2001 年的 226.0cm、135.4kg; 平均年龄由 1981-1983 年的 15.4 龄下降到 1987-1989 年的 13.3 龄, 然后上升到 1996-1998 年的 17.6 龄。2004 年, 在葛洲坝下捕获的 19 尾中华鲟中, 雄鲟只有 1 尾。

表 1.2.3-1 1981-2004 年葛洲坝下宜昌江段中华鲟产卵群体的雌雄性比

年 份	标本总数	雌鲟数量	雄鲟数量	雌雄性比
1981-1983	42	22	20	1.10:1
1984-1986	51	22	29	0.76:1
1987-1989	91	35	56	0.63:1
1990-1992	47	24	23	1.04:1
1993-1995	121	63	58	1.09:1
1996-1998	134	92	42	2.19:1
1999-2001	110	83	27	3.07:1
2003-2004	48	41	7	5.86:1
合计	644	382	262	1.46:1

在 1993-2004 年在中华鲟产卵场采集并鉴定了年龄的中华鲟中, 共发现 28 尾葛洲坝截流后出生的个体, 这证明了在洄游路径缩短 622km~1166km 后, 中华鲟的回归本能尚未丧失。同时, 由于在葛洲坝截流初期并没有实施人工繁殖放流, 这佐证了葛洲坝下新形成的中华鲟产卵场的有效性。

1.3 中华鲟资源走势的分析

历史上, 长江、珠江、闽江、钱塘江和黄河均有中华鲟的分布。目前, 闽江、钱塘江和黄河水系的中华鲟已经绝迹, 珠江水系的中华鲟数量稀少, 仅长江的现存量较大。

在长江, 中华鲟曾是重要的渔业资源, 但由于过度捕捞和环境污染, 特别是 1981 年葛洲坝的修建切断了中华鲟洄游到长江上游进行繁殖的路线, 被阻隔在葛洲坝下的繁殖群体一部分在坝下建立了新的产卵场, 但已知的产卵场范围和面积不及原来的 1%。与此同时, 虽然葛洲坝下的中华鲟人工增殖放流已延续多年, 研究表明, 人工增殖放流的中华鲟幼鲟对长江口中华鲟幼鲟的贡献率不高, 这暗示着葛洲坝修建后中华鲟资源的衰退。从 1981 年至 1999 年的 19 年间, 中华鲟的幼鲟补充群体和亲鲟补充群体分别减少了 80%和 90%左右。另外, 葛洲坝下中华鲟产卵群体的雌雄性比由 1981~1983 年的 1.10:1 递减到 1987~1989 年的 0.63:1, 然后递增到 2003~2004 年的 5.86:1。分析其原因, 由于大坝截流大大改变了中华鲟原有的繁殖生态条件, 导致中华鲟亲鲟补充群体资源下降, 因此大坝截流约 9 年 (1987~1989 年) 后, 将首先出现产卵群体中雄鲟相对数量的减少, 导致雌雄性比的上升。

2003 年 6 月, 位于葛洲坝上游 47km 的三峡大坝开始蓄水, 进一步改变了葛洲坝下中华鲟产卵场的水文节律, 中华鲟物种生存问题变得更为严峻。我们于 2003 年 10-11 月, 初步观察到葛洲坝下中华鲟雄鲟精子活动能力比往年明显下降、从江底采捞到的中华鲟卵在人工条件下的孵化率极端低下等异常现象。2004 年 10-11 月, 首次出现中华鲟亲鲟捕捞十分困难的局面。

为提升葛洲坝通航能力而进行的葛洲坝下河势整治工程于 2004 年 12 月正式动工, 该工程正位于目前已知的中华鲟产卵区, 对中华鲟自然繁殖和物种资源会产生什么影响, 有待继续监测。

2 中华鲟的自然繁殖生态研究

通过与国内外同行的交流与合作，建立了中华鲟的超声波遥测追踪技术和江底直接采卵方法，精确定位了葛洲坝截流后中华鲟在坝下形成的新产卵场的范围及产卵交配区，评估了自然繁殖效果；发现了中华鲟交配区至播卵区顺水流方向存在负波的特征，提出了中华鲟产卵场地形的功能分区模型，从理论上提出了产卵场河段连续卵石河床长度要求；基本查明了葛洲坝下中华鲟产卵场的产卵条件。

2.1 中华鲟自然繁殖期间的分布和迁移

中华鲟性成熟前，其大部分时间在海洋生活，接近性成熟年龄的个体于 6-7 月从东海进入长江，开始向产卵场进行生殖洄游，一般于第二年 10-11 月到达产卵场并产卵，在此期间，其性腺从 III 期逐渐发育至成熟（V 期）。产后的亲鲟则降河洄游，进入东海、黄海等近海大陆架地带的水域中栖息和肥育，即中华鲟亲鲟在长江中需要逗留近 2 年时间。了解其在该期间的分布和活动情况，对产卵群体的保护具有重要意义。1995 年以来，我们采用超声波遥测及全球定位系统（GPS），建立了适用于长江水文和地形特点的中华鲟跟踪定位技术^[11-13]，对繁殖期间中华鲟的分布和活动进行了研究^[14]。

研究地点：长江宜昌葛洲坝—古老背江段，主要研究区间为葛洲坝坝下一胭脂坝（图 2.1-1）。

研究时间：1995-2004 年的 10-11 月，少数年份延续到 12 月。

工作流程：亲鲟的捕捞和样本选择，选定亲鲟的标志放流，放流亲鲟的追踪定位以及环境数据的采集和记录等^[14]。

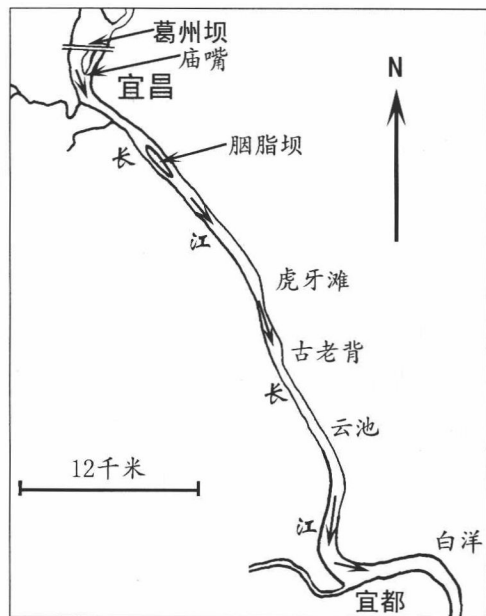


图 2.1-1 长江宜昌江段示意图

2.1.1 繁殖季节中华鲟在宜昌江段的总体分布