



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十三五”国家重点图书出版规划项目
中国河口海湾水生生物资源与环境出版工程

庄平 / 主编

长江口

中华鲟生物学与保护

赵峰 庄平 张涛 等◎著

Biology and Conservation of
Chinese Sturgeon in the Yangtze Estuary

 中国农业出版社



“十三五”国家重点图书出版规划项目
中国河口海湾水生生物资源与环境出版工程

庄平 主编

Biology and Conservation of
Chinese Sturgeon in the Yangtze Estuary

长江口中华鲟 生物学与保护

赵峰 庄平 张涛 等 著

中国农业出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

长江口中华鲟生物学与保护 / 赵峰等著. —北京:
中国农业出版社, 2018. 12

中国河口海湾水生生物资源与环境出版工程 / 庄平
主编

ISBN 978-7-109-24916-5

I. ①长… II. ①赵… III. ①长江口—中华鲟—动物
学—研究②长江口—中华鲟—保护—研究 IV.
①Q959.46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 262640 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 郑珂 黄向阳

责任编辑 杨春

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 21.5

字数: 440 千字

定价: 150.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内容简介

中华鲟被誉为水中“活化石”，是研究鱼类演化的重要参照物，也是长江中的“旗舰物种”，能够反映长江生态系统的健康程度，具有生态风向标作用，生态价值和社会价值重大。长江口是中华鲟成鱼溯河生殖洄游和幼鱼降海索饵洄游的唯一通道，也是幼鱼索饵肥育和完成入海前生理适应的关键栖息地，在中华鲟生活史中具有十分重要的地位。

本书是作者 20 余年来聚焦长江口中华鲟生物学与保护研究工作的凝练和总结，内容涉及形态特征、早期发育、个体发育行为、生长、摄食、渗透压调节、生态毒理、种群动态、救护放流和保护管理等诸多方面，不仅丰富了中华鲟生活史知识，而且为物种保护技术研发和管理政策制定提供了科学依据。本书可供水产工作者、鱼类研究者、渔业管理者及有关科研工作者和高等院校师生参考。

丛书编委会



科学顾问 唐启升 中国水产科学研究院黄海水产研究所 中国工程院院士
曹文宣 中国科学院水生生物研究所 中国科学院院士
陈吉余 华东师范大学 中国工程院院士
管华诗 中国海洋大学 中国工程院院士
潘德炉 自然资源部第二海洋研究所 中国工程院院士
麦康森 中国海洋大学 中国工程院院士
桂建芳 中国科学院水生生物研究所 中国科学院院士
张 偲 中国科学院南海海洋研究所 中国工程院院士

主 编 庄 平

副 主 编 李纯厚 赵立山 陈立侨 王 俊 乔秀亭
郭玉清 李桂峰

编 委 (按姓氏笔画排序)

王云龙 方 辉 冯广朋 任一平 刘鉴毅
李 军 李 磊 沈盎绿 张 涛 张士华
张继红 陈丕茂 周 进 赵 峰 赵 斌
姜作发 晁 敏 黄良敏 康 斌 章龙珍
章守宇 董 婧 赖子尼 霍堂斌

本书编写人员



赵 峰 庄 平 张 涛 章龙珍 刘鉴毅
王 好 冯广朋 罗 刚 顾孝连 宋 超
杨 刚 王思凯



中国大陆海岸线长度居世界前列，约 18 000 km，其间分布着众多具全球代表性的河口和海湾。河口和海湾蕴藏丰富的资源，地理位置优越，自然环境独特，是联系陆地和海洋的纽带，是地球生态系统的重要组成部分，在维系全球生态平衡和调节气候变化中有不可替代的作用。河口海湾也是人们认识海洋、利用海洋、保护海洋和管理海洋的前沿，是当今关注和研究的热点。

以河口海湾为核心构成的海岸带是我国重要的生态屏障，广袤的滩涂湿地生态系统既承担了“地球之肾”的角色，分解和转化了由陆地转移来的巨量污染物质，也起到了“缓冲器”的作用，抵御和消减了台风等自然灾害对内陆的影响。河口海湾还是我们建设海洋强国的前哨和起点，古代海上丝绸之路的重要节点均位于河口海湾，这里同样也是当今建设“21 世纪海上丝绸之路”的战略要地。加强对河口海湾区域的研究是落实党中央提出的生态文明建设、海洋强国战略和实现中华民族伟大复兴的重要行动。

最近 20 多年是我国社会经济空前高速发展的时期，河口海湾的生物资源和生态环境发生了巨大的变化，亟待深入研究河口海湾生物资源与生态环境的现状，摸清家底，制定可持续发展对策。庄平研究员任主编的“中国河口海湾水生生物资源与环境出版工程”经过多年酝酿和专家论证，被遴选列入国家新闻出版广电总局“十三五”国家重点图书出版规划，并且获得国家出版基金资助，是我国河口海湾生物资源和生态环境研究进展的最新展示。



该出版工程组织了全国 20 余家大专院校和科研机构的一批长期从事河口海湾生物资源和生态环境研究的专家学者，编撰专著 28 部，系统总结了我国最近 20 多年来在河口海湾生物资源和生态环境领域的最新研究成果。北起辽河口，南至珠江口，选取了代表性强、生态价值高、对社会经济发展意义重大的 10 余个典型河口和海湾，论述了这些水域水生生物资源和生态环境的现状和面临的问题，总结了资源养护和环境修复的技术进展，提出了今后的发展方向。这些著作填补了河口海湾研究基础数据资料的一些空白，丰富了科学知识，促进了文化传承，将为科技工作者提供参考资料，为政府部门提供决策依据，为广大读者提供科普知识，具有学术和实用双重价值。

中国工程院院士

2018 年 12 月

前言



中华鲟是地球上最古老的脊椎动物之一，被誉为“水中大熊猫”和“活化石”，具有十分重要的科学研究价值；作为长江水生生物的“旗舰物种”，中华鲟的自然种群状况可以反映出长江生态系统的健康程度，具有生态风向标作用，生态价值和社会价值难以估量。

中华鲟是典型的江海洄游性鱼类，成鱼溯河生殖洄游至长江中上游产卵繁殖，之后仔鱼、幼鱼降海索饵洄游经长江口至海洋中生长。20世纪80年代以来，在水利工程、航运、捕捞和污染等多重因素的共同影响下，中华鲟自然种群数量急剧下降，2010年被世界自然保护联盟（IUCN）评估为极度濒危（CR）物种。2013年年底，多家科研机构的联合调查显示，在现存已知的葛洲坝下唯一产卵场未监测到中华鲟自然繁殖活动。2014年，中国水产科学研究院东海水产研究所等单位在长江口水域也未监测到野生中华鲟幼鱼。中华鲟第一次出现了自然繁殖中断现象，一时间牵动了无数人的心。2015年4月16日，中国水产科学研究院东海水产研究所的科研人员在长江口水域发现了当年第1尾野生中华鲟幼鱼，这是继2013年中华鲟自然繁殖中断后的首次发现，而且当年监测到长江口出现的野生幼鱼达到了3000余尾，使人们重燃了希望和信心。然而，2015年和2017年冬季在葛洲坝下产卵场又出现了中华鲟自然繁殖活动中断现象。中华鲟自然种群由每年的连续产卵繁殖变为隔年的间断产卵繁殖成为了不争的事实，中华鲟正在走向灭绝的边缘。

中华鲟的保护工作引起了全社会的广泛关注。2015年9月28日，



农业部发布了《中华鲟拯救行动计划（2015—2030年）》（农长渔发[2015] 1号），就2015—2030年中华鲟保护的指导思想、基本原则和行动目标提出了意见，制定了具体的保护行动措施。2016年5月21日，“中华鲟保护救助联盟”在上海成立，相关科研单位、高等院校、企事业单位以及社会公益组织和国外非政府组织（NGO）等30余家成员单位积极投入到了中华鲟的保护事业之中。“拯救国宝中华鲟、共促长江大保护”已成为全社会的共识和奋斗目标。

保护中华鲟对于发展和合理利用野生动物资源、维护生态平衡有着深远意义，已经成为长江生态保护的一张名片，也是加快长江生态文明建设的生动实践。要做好中华鲟的拯救保护工作，必须了解其整个生命周期的生活史特征及其不同生活史阶段的栖息生境需求。长江口是中华鲟成鱼溯河生殖洄游和幼鱼降海索饵洄游必经的“生命通道”，也是幼鱼生活史阶段栖息时间最长的“育婴场”“幼儿园”和由江入海前完成生理适应调节的关键栖息场所，在整个生活史中具有十分重要的地位和作用。作者及其研究团队聚焦长江口中华鲟，历经20余年的科学研究和保护实践，积累了大量的第一手研究资料和科研成果，涉及形态特征、早期发育、个体发育行为、生长、摄食、渗透压调节、生态毒理、种群动态、救护放流和保护管理等诸多方面。这些成果丰富了中华鲟生活史知识，希望能对物种保护技术研发和管理政策制定有所裨益，为崇明世界级生态岛建设和长江大保护贡献一份力量。

本书在研究和编写过程中得到了国家自然科学基金“长江口中华鲟幼鱼鳃应对盐度变化的适应性调节机制（31101881）”、农业部财政专项“长江口重要水生生物及其产卵场、索饵场调查”和“长江口渔业资源与环境调查”、香港海洋公园保育基金（FH14.15和FH17.18）等科研项目的资助。由衷地感谢黄晓荣、张婷婷、耿智、李大鹏、何绪刚、侯俊利、段明、石小涛、毛翠凤、马境、屈亮、封苏娅、吴贝贝、屈艺、孙丽婷、纪严、杨琴、苗中博等在研究和本书编写过程中的辛勤付出。

本书作为庄平研究员任主编的“中国河口海湾水生生物资源与环境出版工程”丛书的一部，被遴选列入“十三五”国家重点图书出版规划，并且获得国家出版基金资助和中国农业出版社的全力支持，在此表示衷心感谢。

本书力图实现学术和实用双重价值，希望能为科技工作者提供参考资料，为政府部门提供决策依据，为广大读者提供科普知识。但由于水平所限，书中难免有不足和错误之处，祈盼广大读者予以指正。



2018年8月

目 录



丛书序

前言

第一章 绪论	1
第一节 鲟类的起源、分类和分布	3
一、鲟类的起源与进化	3
二、鲟类的分类	4
三、鲟类的分布	5
第二节 中华鲟生物学概述	6
一、分类地位与形态特征	6
二、地理分布与生态特征	7
三、资源现状与变动趋势	8
第三节 中华鲟研究和保护简史	9
一、研究简史	9
二、保护概况	12
第二章 形态特征	15
第一节 外形与性状	17
一、外部形态	17
二、可数性状	18



三、可量性状	18
第二节 形态的生态适应	29
一、游泳能力与形态	29
二、形态的异速发育	31
三、特定形态变异	34
第三节 形态生态及其实践意义	38
一、形态发育的生态学意义	38
二、头部与尾鳍形态的运动功能权衡	39
三、鼻孔和骨板形态变异的应用	40
第三章 早期发育	41
第一节 早期发育分期及其特征	43
第二节 胚后发育	44
一、形态特征	44
二、异速生长	47
三、生态学意义	50
第三节 骨骼系统发育	52
一、仔鱼骨骼发育	52
二、幼鱼头骨的形态结构	58
第四章 个体发育行为	67
第一节 仔鱼发育的趋性行为	69
一、趋性行为特征	69
二、在进化与实践上的意义	77
第二节 幼鱼的栖息地选择行为	81
一、对栖息地环境因子的选择	81

二、栖息地选择行为的生态学意义	88
第五章 生长	91
第一节 生长特征	93
一、野生幼鱼的生长	93
二、误捕抢救幼鱼的生长	97
三、人工繁育幼鱼的生长	98
第二节 体成分组成与变化	99
一、不同月份野生幼鱼的体成分组成	99
二、养殖与野生幼鱼的体成分组成	102
第三节 环境适应与调控	108
一、环境因子对生长的影响	108
二、生长策略与实践意义	121
第六章 摄食	125
第一节 食物组成与摄食习性	127
一、食物组成与变化	127
二、食性与食性转化	134
三、摄食率和摄食强度	137
第二节 功能器官的结构与功能适应	141
一、消化系统结构与功能发育	141
二、消化酶的分泌与环境适应	143
三、感觉器官在摄食中的作用	148
第三节 食物竞争及其与食饵间的营养关系	152
一、食物竞争	152
二、幼鱼与食饵的营养关系	155



第七章 渗透压调节	167
第一节 盐度适应与等渗点盐度	169
一、盐度适应	169
二、等渗点盐度	173
第二节 血清渗透压与离子调节	176
一、等渗盐度下生理指标的变化特征	177
二、不同盐度下血液渗透指标变化的差异	182
第三节 鳃的结构功能与变化	185
一、鳃的形态结构与功能	185
二、泌氯细胞形态结构与变化	186
三、NKA 酶活力的变动特征	191
第四节 渗透压调节及其对物种保护的意义	194
一、渗透压调节过程及机理	194
二、泌氯细胞在渗透压调节中的结构功能变化	195
三、在生活史研究及其物种保护上的意义	197
第八章 生态毒理	199
第一节 铅暴露的毒性效应	201
一、中华鲟早期发育阶段对铅的积累和排放	201
二、铅暴露下中华鲟幼鱼的弯曲畸形与恢复	206
三、铅暴露对中华鲟幼鱼血液酶的影响	211
第二节 铜暴露的毒性效应	218
一、急性毒性效应	218
二、对抗氧化系统与消化酶活性的影响	220
三、对血液生化指标和离子的影响	224
四、不同组织中铜的积累与生长响应	228

第三节 氟暴露的毒性效应	231
一、半致死浓度	231
二、毒性效应的影响因子	231
三、毒性效应分析	232
第四节 对物种保护的意义与展望	233
一、对中华鲟物种保护的意义	233
二、研究展望	234
第九章 种群动态	235
第一节 时空分布	237
一、仔幼鱼的降海洄游过程	237
二、长江口幼鱼的出现时间	238
三、长江口幼鱼的迁移分布	244
第二节 数量变动	250
一、调查历史	251
二、变动特征	251
三、原因探讨	253
第三节 遗传多样性	254
一、种群遗传多样性现状与研究进展	254
二、间断产卵后的种群遗传多样性	256
三、中华鲟种群遗传多样性特征	260
第十章 救护放流	261
第一节 长江口中华鲟的救护	263
一、中华鲟幼鱼的救护	263
二、中华鲟成体的救护	273
三、存在的问题与展望	284



第二节 长江口中华鲟的放流	285
一、放流策略	285
二、标志放流	287
三、放流中华鲟的适应力	293
四、存在的问题与展望	295
 第十一章 保护管理	 297
第一节 保护区概况	299
一、自然概况	299
二、影响因素	301
第二节 问题与建议	304
一、存在的问题	304
二、对策与建议	307
三、展望	309
 参考文献	 311