

从历史起源和现代生态透视 长江的生物多样性危机

谢 平 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书旨在从历史起源和现代生态透视长江水系生物多样性的维持机制与现代危机,并解析人类活动(如水利工程、酷鱼滥捕)导致物种濒危的机制。本书试图为长江水系的生物多样性保护与恢复提供理论依据,并力图解答相关的科学问题,如①长江中下游水生动物多样性的最大威胁到底是干流的大型闸坝还是江湖节制闸或是由此引起的食物限制?②两湖(洞庭湖、鄱阳湖)可以建闸还是不宜建闸?③长江禁渔可以在多大程度上缓解区域生物多样性的衰退?④长江水系哪些物种已无法挽救,哪些亟待拯救,哪些需要保护?

本书兼顾专业性与科普性,可供感兴趣的社会大众参考,同时也可供保护生物学、生物多样性、鱼类学、生态水文学、河流生态学、湖沼学、淡水生态学、进化生物学、古生物学、动物学等领域的科研人员及师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

从历史起源和现代生态透视长江的生物多样性危机/谢平著. —北京:科学出版社, 2018. 10

ISBN 978-7-03-058776-3

I. ①从… II. ①谢… III. ①长江-生物多样性-生物资源保护-研究 IV. ①X176

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 000000 号

责任编辑:韩学哲 孙 青 / 责任校对:王晓茜

责任印制:张 伟 / 封面设计:刘新新

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 10 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018 年 10 月第一次印刷 印张:

字数: 0 000

定价: 0.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

**Biodiversity Crisis in the Yangtze River from Point
Views of Evolution and Ecology**

by

Xie Ping

Science Press

Beijing

作者简介

谢平 (xieping@ihb.ac.cn), 中国科学院水生生物研究所东湖湖泊生态系统试验站 (CERN) 研究员, 青海大学省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室教授。



(作者——摄于 2017 年 7 月 20 日, 青海湖畔的小湖)

项目资助:

中国科学院 B 类先导科技专项“大尺度区域生物多样性格局与生命策略”项目 4 “长江水系生物多样性丧失与生态修复策略”(编号: XDB310403, 项目负责人: 谢平)

前 言

我们蹂躏土地，是因为我们把它看成是一种属于我们的物品。当我们把土地看成是一个我们隶属于它的共同体时，我们可能就会带着热爱与尊重来使用它
——引自 Aldo Leopold (1887~1948 年)^①。

大河流域往往是文明的发源地，人类文明史也是人与自然、人与河流相互作用的历史（陈宜瑜 2005）。江河是人类的母亲——千万年来，人类生于斯，长于斯，与江河的关系密不可分，“鸟去鸟来山色里，人歌人哭水声中”。

1. 失去自由的河流

河流与峡谷构成了美丽的自然景色，千百年来，滔滔河水在雄伟壮丽的峡谷中奔流不息，从涓涓小溪到滚滚洪流……然而，人类的肆意改造——水坝使它们面目全非，曾经的蜿蜒崎岖与野性奔放不复存在，河水中栖息的鱼儿或其他动物被束缚牵制，或食物条件急剧恶化，难逃灭顶之灾——有些失去了生长肥育的场所，有些失去了繁殖之地……其结果，长江的生物多样性陷入了前所未有的危机，一些物种纷纷吹起了它们的告别号声——白鱃豚和白鲟早已消逝，江豚和中华鲟日渐稀落……（谢平 2017a）

我们人类，特别是年轻的一代，也正在失去对大自然美景——幽幽峡谷、滔滔急流的精神感知，以及随之而生的美好回忆、希冀或梦想。我们只能眼睁睁地看着旗舰物种一个接一个地消逝，问题是，千百年来它们是一直存在着的！

拦河筑坝将不可避免地改变坝区以及上下游的水文特性，包括洪水脉冲模式、泥沙过程、水温过程等，这会影响到河床冲刷及江（河）湖关系等，进而可能显著改变栖息于其中的水生动植物群落，这种改变对一些高度依赖河流连续统一体或江湖复合系统的水生动物（特别是鱼类）来说，可能会带来致命的后果。

有些鱼类喜欢栖息于急流环境（无论是摄食还是繁殖），大坝的建设就会导致它们的衰退，导致习惯在河流中自由生活的物种突然失去了对它们熟悉的自然进程的感知，而它们的祖祖辈辈却通过进化对此予以了固化，并演变成了独特且难以轻易改变的生态秉性，借此物种维持了它们在河流中的历史存在。

德国博物学家海克尔（Ernst Heinrich, 1834~1919 年）曾提出：个体发生重

^① 这里将“土地”换成“河流”同样适用。

演系统发生。其实，不光是动物的躯体，其习性也在重复着种族的进化历程，虽然预留了在地史尺度上的对环境变化的适应性改变，但面对人类突如其来的剧烈干扰，这种极其缓慢的适应对物种的生存来说就失去了意义。

2. 世界的鱼类，长江的鱼类

据估计，全世界的鱼类大约有 32 500 种 (Nelson 2006)，其中淡水鱼类超过 15 000 种，而淡水仅占全球水资源量的 0.3%，这反映了淡水环境具有高生产力、丰富的地形多样性以及强烈的地理隔离 (Ormerod 2003)。我国有鱼类 3446 种，其中淡水鱼类 1452 种。

鱼类的生活形形色色，大部分鱼类要么在淡水中生活，要么在海水中生活，只有不到 10% 的鱼类一部分时间在海洋中度过，另一部分时间在淡水中度过，它们在两种生境中来回迁徙，称之为洄游。如果在海洋中生长但需要去淡水中繁殖称为溯河洄游 (如中华鲟)，如果在淡水中生长但需要去海洋中繁殖称为降河洄游 (如花鲮)。如果繁育和繁殖的迁徙发生在河湖之间，就称之为半洄游性鱼类，一般是在湖泊中繁育，在河流中产卵 (如四大家鱼)。还有一些鱼类的生活限于河流的干支流，只进行相对较短距离的迁徙。

长江是我国第一、世界第三大河流，全长达 6300 km，年径流量占全国总径流量的 37.7%。长江流域鱼类的天然捕捞产量占全国淡水鱼总捕捞产量的 63%~64%，是我国淡水鱼最重要的产区。长江水系有鱼类 400 余种，其中纯淡水鱼类 350 种左右，特有鱼类多达 156 种 (曹文宣 2011)。

长江水系蕴藏了独特而多样的物种，为人们提供了丰富的水产品，这是洪水泛滥的产物，而人们的过度需求导致了开放水域中的酷鱼滥捕。而洪水虽然对人类来说是灾害，却也能提供宝贵的水电资源，一方面我们在中下游大修闸坝以控制洪水泛滥，另一方面我们对水电的过度追求，导致长江上游被数以万计的水坝支解得零零碎碎。其结果，自然原始的长江水生态系统被折腾得面目全非，物种纷纷濒危，生物多样性面临空前的危机。总体来看，在长江干支流筑坝对鱼类的负面影响可能比河流中的水污染、过度捕捞和生境破坏要严重得多。

3. 水坝对长江的支解

长江是由干流、支流及其附属湖泊组成的一个有机整体，俨似一棵大树——由树干、树枝及树叶所组成。由于湖泊肥沃，生产力高，对长江生物多样性的维持起到了至关重要的作用，就像树叶对整个树的作用一样，没有树叶的光合作用，树亦难以为继。

20 世纪 40 年代末，长江中下游湖泊总面积尚有约 35 123 km²，到 80 年代初只剩下 23 123 km²，降幅达 34.2 %。鄱阳湖面积约为 2933 km²，洞庭湖面积约为

2625 km²。1950~1970 年，长江中下游沿江大建节制闸，除鄱阳湖和洞庭湖等外，绝大多数湖泊失去了与长江的自然联系。因此，江湖阻隔使支撑长江鱼类的有效湖泊面积减少了 76%，而干流的饵料稀少。这就相当于把一棵大树上的树叶绝大部分摘光了一样。1981 年，长江上建成了第一个大坝——葛洲坝，位于宜昌市三峡出口南津关下游约 3 km 处，总库容量 15.8 亿 m³。2003 年，位于宜昌三斗坪的三峡大坝开始蓄水，是全世界装机容量最大的水电站，坝高 185 m，2010 年蓄水至 175 m，此时水库面积约 1080 km²，水库平均水深 70 m，总库容 393 亿 m³。形象地说，这就相当于把一棵树的主干砍成了 3 截。人们常说，干壮，枝叶才茂，但是，枝叶不相连，树干何以能保持生机？

4. 大坝的利弊

水坝建设在发达国家正在减速，而在发展中国家依然在快速推进，主要受经济利益的驱动，因为水利工程能为人类带来诸多益处——发电、防洪、航运、供水、渔业、娱乐等，而对生态的影响则多是视而不见。其实，筑坝对生态的负面影响亦是多方面的，如使鱼类失去行为刺激、阻断洄游通道、失去产卵场、卵和幼鱼的存活率降低、饵料生物减少，等等。

长江的水能资源丰富，上游干支流的梯级电站以及三峡大坝提供的廉价、清洁和可再生能源为国民经济的发展作出了巨大贡献，也是我国在践行对 CO₂ 减排的国际承诺。此外，三峡大坝不仅大大提升了川江的通航能力（形成“黄金水道”），还改善了长江中下游、特别是荆江河段的防洪能力。

大坝对长江水系产生了一系列的负面生态效应。在长江干支流中大坝的建设往往会将洄游鱼类的索饵区和繁殖区割裂开来，给它们带来致命打击，因为这样的习性是经过千百万年的演化（对长江流域的许多物种来说，就是适应东亚季风气候及大江大河的水文节律）而形成的，难以轻易改变，特别是体型越大的动物越是如此，因为身体的复杂化使它们对环境变化的可塑性大大降低了。一般来说，与降河洄游的鱼类相比，溯河洄游的鱼类可能更容易受到人类活动（如大坝）的影响，因为大坝往往直接破坏了产卵场，这是最致命的。

大坝建设及其对生态的负面影响也是全球性的。例如，在美国华盛顿的埃尔瓦河，曾经每年有约 40 万尾鲑溯河产卵，但建坝之后，来产卵的鲑不足 3000 尾，因为它们失去了 90% 的产卵场，虽然后来添加了昂贵的鱼道，但也无济于事（Cho 2011）。根据世界自然保护联盟（IUCN）的资料，水坝是近百年来造成全球近 1/5 淡水鱼类遭受灭绝、受威胁或濒危的主要原因，将近 3/4 的德国淡水鱼和 2/5 的美国淡水鱼受到了大坝的影响（王海英等 2004）。世界上已几乎没有不被水坝箍起来的江河了，自由流淌的江河变成了水库搭起来的台阶（易水和范晓 2003）。

越来越多的国家或地区开始反思以工程为主的治水思路，开始倡导“为河流

让出空间”“为洪水让出空间”“建立河流绿色走廊”等，以恢复一个健康完整的河流生态系统及其生态功能（陈宜瑜 2005）。

5. 建坝与反对建坝的较量

1997年3月，在巴西 Curitiba 举行了第一届“受水库危害者国际会议”，14日，巴西当地的环保团体组织了“巴西反大型水坝行动日”游行，对日益危急的亚马孙河水库滥建问题发出愤怒之声，来自20个国家及地区的代表发布了《屈里替巴宣言》(Declaration of Curitiba)，并宣布每年的3月14日为世界反水坝日(the International Day of Action for Rivers and Against Dams)。在美国，反坝运动最早的成功案例大部分是由有钱、有势、闲散并嗜好自然美感的贵族或资产阶级荒野保护者（也是国家公园最早的倡导者）所领导，1956年，他们成功否决了回声谷公园的高坝计划，就美国水库工业史而言，这至少终结了水库兴建者予取予求的时代。

1990~2015年，美国已经拆去了900座大坝（包括埃尔瓦河上的两座水坝），今后计划每年拆除50~60座（Struck 2014）。根据美国地球之友（Friends of the Earth）、美国河流组织（American Rivers）和鲑鳟类保护协会（Trout Unlimited）的统计数据，1912~2013年，美国共拆坝1108座，其中2000年后拆除了638座，拆坝速度明显加快，关于拆坝的原因，综合考虑生态、经济与安全三个方面因素的占43.9%，生态恢复占34.4%，经济因素占12.9%，安全因素占7.2%，因此，生态恢复是美国闸坝拆除的最主要驱动因素（王若男等 2015）。

但是，支持建坝者却宣称，美国只是拆除了几百座年久失修、不符合安全管理标准和废弃不用的小型水坝。其实我国每年都要有上百座小型水坝退役，数量远多于美国。此外，一些发达国家由于水电资源开发殆尽，已无坝可建，绝不是说水坝的作用遭到了否定（水博 2005）。还有人宣称，“不能以‘生态’名义在关注‘鱼、树、草’的时候忘记了‘以人为本’……发达国家的实践证明：水电和水资源开发程度越高，经济越发达，生态环境也越好……欧美国家从来没有进入‘拆坝时代’，反而在不断巩固、加强大坝的建设”（王亦楠 2016）。建坝派与反坝派一直都在激烈交锋，有时甚至相互进行人身攻击。

6. 为什么保护？

人类从生态系统中获得各种惠益，但如果我们盲目追求眼前效益，就会使得生态系统服务的持续供给能力受到损害（傅伯杰和张立伟 2014）。人类的短视和贪婪总是导致对资源的过度开发和消耗（Ludwig et al. 2003）。为了享受，他必须拥有、侵犯、占用（利奥波德 1997）。人们对长江进行过度开发，但长江是一条生命之河，它的活力来自于干流、支流、湖泊和湿地的血脉沟通形成的独特生命

系统（巴晓方 2004）。

世界各国正在采取一致行为以共同应对日益严重的全球性生物多样性危机。1992年，在巴西里约热内卢举行的联合国环境与发展大会上签署了《生物多样性公约》、《里约宣言》，在所发布的《地球宪章》中指出，“地球提供了生命演化所必需的条件，生命群落的恢复力和人类的福祉依赖于：保护一个拥有所有生态系统、种类繁多的动植物、肥沃的土壤、纯净的水和清洁的健全的生物圈。资源有限的全球环境是全人类共同关心的问题。保护地球的生命力、多样性和美丽是一种圣神的职责”（蒋志刚和马克平 2014）。《生物多样性公约》于 1993 年 12 月 29 日正式生效，目前共有 196 个缔约方，中国是最早的缔约方之一。该公约具有法律约束力，旨在保护濒临灭绝的动植物和地球上多种多样的生物资源。

对生物多样性的保护依赖于我们的自然价值观，而狭义或极端的以人本主义导致了人类对自然资源的肆意掠夺与猎杀。人们很早就开始探索自然保护的伦理问题。美国保护生物学家缪尔（John Muir, 1838~1914 年）认为，自然的内在精神价值要高于其可以触摸的物质价值，提出了自然内禀价值（intrinsic value）的概念，强调无人干预的纯自然保护。美国林务局首任局长平肖（Gifford Pinchot, 1865~1946 年）认为，自然资源的适度利用就是在最长的时间内让更多的人获得最大的利益，资源应当在个体间以及当代和后代间公平分配。美国生态学家利奥波德（Aldo Leopold, 1887~1948 年）提出保护的目的是维护自然生态系统和生态过程的健康，是人与自然的和谐状态，并成功地说服政府建立原野保护地，他认为人类是生态系统的一部分，而不仅仅是自然资源的利用者（马克平 2016）。我很欣赏利奥波德的一段名言：“野生的东西在开始被摒弃之前，一直和风吹日落一样，被认为是极其平常而自然的。现在我们所面临的问题是：一种平静的较高的‘生活水准’，是否以值得牺牲自然的、野外的和无拘束的东西为代价。对我们这些少数人来说，能有机会看到大雁比看电视更重要，能有机会看到一朵白头翁花就如同自由谈话的权利一样，是一种不可剥夺的权利”（利奥波德 1997）。

7. 如何保护？

保护与开发存在着尖锐的矛盾。一方面，以长江“黄金水道”为依托的长江经济带建设如火如荼，这毫无疑问将使长江的生物多样性维持与水环境保护面临空前的压力；另一方面，自然保护的力度也在加大，如在长江流域已有国际重要湿地 18 处，湿地自然保护区 167 处，国家湿地公园 291 处（陈凤学 2017）。在长江中下游还有江豚自然保护区 4 个，白暨豚自然保护区 2 个，中华鲟自然保护区 2 个，四大家鱼国家级种质资源保护区 4 个；在上游还有水生野生动物自然保护区 12 个，国家级水产种质资源保护区 23 个。保护与开发的激烈交锋还将持续。

我们需要从历史的视角分析现在的危机，因为，现代长江水系的生物多样性

格局不是与生俱来的，而是演化的产物。亚热带季风气候是长江水系独特生物区系的基础，而东亚季风气候又是青藏高原隆升（由印度板块与欧亚大陆板块碰撞所引起）的结果，至少它使季风加强了，随之三峡河段贯通，古长江改道东流，这些重大气候与地质事件，是长江生物多样性起源与演化的重要基础，从中可以窥视鱼类区系的特有性以及它们的生态需求，以及物种的多样性是如何维持的。只有知道了物种多样性的历史成因，才容易理解人类活动为何导致了水系中生物多样性的丧失。我们需要了解各个物种完成生活史所需的时空（如江湖连通性）连续性以及生态过程（如水文过程、温度过程）的完整性。准确预警物种的濒危其实十分困难，拯救那就更不用说了。我们的最终目的就是要对受损的生态系统进行修复或再自然化，虽然这在大江大河中基本是不可能的，但这样的努力依然值得，因为这至少可以延缓或逆转一些水生动物的衰退或濒危趋势。

能否扭转现在的颓势，情况不容乐观。长江是一个巨大的生态系统，它的全长达 6300 km，流域面积 180 万 km²，占全国流域总面积的 18.7%。事实证明，目前我们根本就不知道怎样对长江水系这样一个大而复杂的生态系统进行科学管理，才导致了今天这样的后果。生态系统管理的思想虽然可追溯至 20 世纪 30 年代，但直到 80 年代才提出了理论框架（于贵瑞 2001）。Ludwig 等（2003）认为，依据科学数据对生态系统的管理必然要受到自然过程的大尺度、高度的自然变异性、复杂的生态系统和人类行为所固有的不可预测性所制约。对长江水系的生态系统管理来说，莫不就是这样。

本书旨在从历史起源和现代生态透视长江水系生物多样性的维持机制与现代危机，并解析人类活动（如水利工程、酷鱼滥捕）导致物种濒危的机制。本书试图为长江水系的生物多样性保护与恢复提供理论依据，并力图解答相关的科学问题，如①长江中下游水生动物多样性的最大威胁到底是干流的大型闸坝还是江湖节制闸或是由此引起的食物限制？②两湖（洞庭湖、鄱阳湖）可以建闸还是不宜建闸？③长江禁渔可以在多大程度上缓解区域生物多样性的衰退？④长江水系哪些物种已无法挽救，哪些亟待拯救，哪些需要保护？

习近平同志指出，“长江拥有独特的生态系统，是我国重要的生态宝库。当前和今后相当长一个时期，要把修复长江生态环境摆在压倒性位置，共抓大保护，不搞大开发”。我们如何修复？如何保护？这些都是亟待解决的重大科学问题。对此的科学探索亦是生态学者义不容辞的使命。

目 录

前言

第一章 青藏高原隆升与东亚季风气候和长江水系的起源	1
一、寒武纪以来的陆块变迁	1
二、青藏高原隆升对水系和气候的影响	2
三、长江水系的现状	4
四、长江的起源	10
五、全新世全球气候变化对长江水系的影响	13
第二章 中国东部鱼类区系的起源与演化	15
一、中国东部的淡水鱼类区系	15
二、中国东部鲤科鱼类起源的化石证据	16
三、气候与青藏高原隆升对东亚淡水鱼类区系的影响	19
四、从鱼类化石看青藏高原隆升	22
五、鲤科鱼类东亚特有类群	23
第三章 鱼类产卵的生态适应	26
一、鱼类生活类型	26
二、鱼类产卵类型	27
三、四大家鱼卵的繁殖与河流长度	31
四、产漂流性卵鱼类的生态适应	36
五、大坝建设对长江干流四大家鱼产卵的影响	36
第四章 长江的鱼类与渔业资源	39
一、鱼类分布	39
二、主要经济鱼类	40
三、天然鱼苗的分布与组成	41
四、渔获物的组成	46
五、江湖阻隔与“灌江纳苗”	49
六、长江干流的渔业资源	50
第五章 长江干流的浮游生物	54
一、浮游生物的巨大空间异质性	54
二、长江沿途的总氮、总磷	54

三、长江上游水利工程对下游水沙与透明度的影响	57
四、大坝对库区江段浮游生物的影响	59
五、长江源区的浮游生物	60
六、长江上、中、下游的浮游生物	62
七、趋势性分析	72
第六章 两湖建闸——对长江江豚的最后一击！	75
一、淡水豚类是珍贵的孑遗物种	75
二、豚的祖先——陆生哺乳动物	77
三、白暨豚的陨落	78
四、长江江豚——步白暨豚后尘？	81
五、天鹅洲故道迁地保护的启示	83
六、为何白暨豚比江豚更容易灭绝？	86
第七章 长江中的濒危鲟形目鱼类	88
一、古老的大型鱼类——鲟鱼	88
二、极危的中华鲟	89
三、极危的达氏鲟	95
四、极危的白鲟	96
五、为什么长江的鲟鱼都岌岌可危？	98
第八章 长江水系中的其他濒危鱼类	101
一、鲑科（鲑形目）——虎嘉鲑和秦岭细鳞鲑	101
二、鲱科（鲱形目）——鲢	104
三、亚口鱼科（鲤形目）——胭脂鱼	105
四、鲤科（鲤形目）——鲸、鲮、成都鲮、稀有鮎鲫等	106
五、鳅科（鲤形目）——长薄鳅	111
六、鲌科（鲴形目）——黄石爬鲌和中华鲌	111
七、杜父鱼科（鲉形目）——淞江鲈	113
八、鳗鲡科（鳗鲡目）——花鳗鲡	114
第九章 三峡工程对两湖的生态影响	115
一、三峡工程对荆南三口入洞庭湖径流量的影响	115
二、三峡工程对江水倒灌鄱阳湖的影响	119
三、三峡工程对两湖渔业的可能影响	123
四、三峡工程对两湖豚类的可能影响	125
五、大型通江湖泊中四大家鱼繁殖群体的变化	126
第十章 濒危物种评估之惑	130
一、发展简史	130

二、物种濒危标准体系.....	131
三、关于物种濒危的理论探讨.....	132
四、迁地保护.....	136
五、物种状态转换机制.....	136
六、展望.....	139
第十一章 长江生物多样性危机之综合结论	140
一、危机——从源头到河口.....	141
二、豚的哀嚎——饥饿与误杀.....	143
三、鲟道被断——葛洲坝难辞其咎.....	144
四、漂流性卵——游刃有余.....	145
五、物种灭绝——孑遗当先.....	148
六、即将失守的最后阵地——洞庭湖和鄱阳湖.....	149
七、灭绝——无法阻挡？.....	150
主要参考文献	157
附录	171

第一章 青藏高原隆升与东亚季风 气候和长江水系的起源

物种，无论是水生的，还是陆生的，都是不断演化而来的，虽然这种演化的驱动既是内在的——如遗传的，也是外在的——如生态的或地理的。当一些物种仅分布在一定的区域时，就称为特有性（endemism）。从某种意义上来说，物种就是地质历史过程的产物，既是随机的，也是必然的。因此，地质历史过程对物种地理格局的理解至关重要。反过来，从生物的地理分布也可以推测地球演化的过程，对地质假说进行检验（陈宜瑜和刘焕章 1995）。这就是生物的进化与地球演化之间的同步性，根据特征类群的化石记录推论化石地层时代的历史环境（曹文宣等 1981）。这既承认物种的绝对变异性，也承认物种的相对稳定性。

对长江中栖息的各种水生动物——特别是鱼类来说，如果我们试图理解它们的演化历史以及现代特性，离不开长江的起源以及驱动它的地质事件——青藏高原隆升与东亚季风气候的强化。青藏高原隆升是地球演化史上的重大事件，是地球构造运动的产物，对亚洲乃至全球的环境与气候产生了深刻的影响。例如，显著影响了降雨和水系的分布格局，推动了世界上最显著的季风——亚洲季风体系的建立以及在此基础上形成的江湖水系及其生物区系的演化。所谓季风气候（monsoon climate）是指由于季节性海陆热力性质的差异导致大范围地区盛行风随季节改变的现象，简单地说，季风就是指盛行风向冬夏反向的现象。

亚洲季风区分为南亚季风、东亚季风和高原季风三类（刘晓东 1999）。在亚洲季风区，夏季受海洋暖湿气流的影响，高温并潮湿多雨，而冬季受大陆干冷气流的影响，气候寒冷并干燥少雨。因此，季风气候是大陆性气候与海洋性气候的混合，简单地说，就是雨热同步。

一、寒武纪以来的陆块变迁

根据板块学说，在前寒武纪时，地球上存在一块泛大陆；到中生代早期，泛大陆分裂为南北两大古陆——劳亚古陆（北）和冈瓦纳古陆（南）；到三叠纪末，这两个古陆进一步分离、漂移；到新生代，印度北漂到亚欧大陆南缘，两者发生碰撞使青藏高原隆起；非洲继续向北推进；南美洲、北美洲在向西漂移；澳大利亚大陆脱离南极洲，向东北漂移到现在的位置；于是海陆的基本轮廓发展成现在的规模。

地质历史时期的板块运动不仅在区域尺度上重塑地貌（如青藏高原隆升），而且对气候格局产生了巨大影响（如青藏高原隆升对东亚季风气候的影响），这种变化对动植物区系的发生、发展与演化等均产生了难以估量的深刻影响。陆块的合并与离析以及对地貌的改造，对物种的交融与隔离进而物种的分化均具有重要意义。

二、青藏高原隆升对水系和气候的影响

1. 青藏高原隆升过程及其对水系的影响

现在的青藏高原曾是辽阔的海洋，称之为古地中海或特提斯海（Tethys），曾经气候温暖，海洋生物繁盛。据说，在距今 5500 万~5000 万年前（表 1-1），快速向北移动的印度板块与欧亚板块碰撞，特提斯海被封闭，昆仑山和可可西里地区逐渐隆成陆地，之后，唐古拉山、横断山脉等脱离海浸。随着冈底斯山、念青唐古拉山等急剧上升，藏北地区和部分藏南地区亦脱离海洋。青藏高原的隆升并不是匀速的，现在依然以约 5 mm/a 的速度在继续隆升。

表 1-1 与青藏高原隆升相关的地质历史事件

时期	事件
5500 万~4000 万年前	印度板块与欧亚大陆板块碰撞
4500 万~3500 万年前	青藏高原开始隆升
3500 万~2000 万年前	季风系统建立
2000 万~1000 万年前	高山山脉抬升，中亚干旱化
1000 万年至现在	抬升的最后扩展

资料来源：Favre et al. 2015。

高原隆升对水系的影响巨大：青藏高原是众多外流河的发源地，如向南注入印度洋的澜沧江、怒江、恒河、雅鲁藏布江和印度河等，以及向东注入太平洋的黄河和长江等。这些外流水系大多起源于藏东南或东部，补给的方式主要是雨水。这些河流水量巨大，流程长远，孕育了丰富多样的物种。例如，长江发源于青藏高原的唐古拉山脉，流经青海、西藏、四川、云南、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏和上海，最后注入东海，全长达 6300 km。

根据裂腹鱼类分子系统发育与生物地理学研究推测，青藏高原曾经有个统一的夷平面，之后高原西部水系（班公湖、狮泉河、玛旁雍错）、怒江-澜沧江水系、高原中部水系（藏北高原湖泊、雅鲁藏布江、藏南水系）和青藏高原东部水系（河西走廊水系、柴达木盆地水系、黄河上游、长江水系）相继发生隔离，这主要发生在距今 3.0~2.4 Ma 期间（何德奎和陈毅峰 2007）。

2. 青藏高原隆升对东亚季风的影响

我国东部既有强劲的冬季风，又有明显的夏季风。冬季风的强度受到西伯利亚高压的强弱、位置的影响；而夏季风来自热带亚热带海洋，因此，受到低纬度的太阳辐射、海面温度、海陆配置等因素的影响；因冬、夏季风均有穿赤道的气流存在，它们可能是南北两半球间能量交换的重要载体；东亚季风受到青藏高原隆升的调控（丁仲礼和余志伟 1995）。

现代东亚季风气候格局可能主要是随着第四纪以来高原的强烈隆升而建立的：①早第三纪末期，青藏高原尚未隆起，欧亚大陆地势平坦，行星风系盛行，再加上全球处于温暖期，从极地至赤道，从大陆到海洋，温差小，虽然已有东亚季风环流存在，但强度小，只能影响欧亚大陆东部、南部的沿岸地带；②到了上新世，全球开始变冷，从极地至赤道，从大陆到海洋，温差变大，海陆热力差异开始加大，原始季风形成，并逐渐向内推进，但由于青藏高原海拔仅有 1000 m 左右，与现代季风相比，影响范围要小得多；③青藏高原在第四纪初海拔抬升到了 2000 m，并继续抬升到了现代的海拔 4000~5000 m，屹立于对流层中部的高原改变了西风气流，蒙古高压出现并不断强化，欧亚大陆腹地常年处于高压脊控制之下，海陆间热力差异明显加大，这促进了东南季风和西南季风的发展；此外，高原季风的建立有助于西南季风的向北推进。青藏高原一方面对西南季风起着巨大的屏障作用，另一方面由于高原热低压形成的上升气流在高原北坡向下沉降，使得欧亚大陆腹地大陆度大大增高，这进一步加强了海陆之间的热力差异，有助于东南季风的发展（夏正楷 2000）。推测的青藏高原隆升与季风及东亚季风气候演化的时序过程如图 1-1 所示。

刘晓东（1999）认为，东亚季风应满足以下两个条件：①在东亚北纬 30°以北地区存在季节性交替的夏季偏南而冬季偏北的盛行风；②冬夏反向的气流来自物理性质不同的气团，因而造成冬季干冷、夏季相对湿热的气候。即使高原尚未大幅隆起，南亚地区海陆之间的经向热力对比也足以激发一定强度的热带季风，但只有上升到足够的高度时，主要受东西向热力对比控制的东亚季风才能出现在北纬 30°以北的中纬度地区。在我国，以亚热带季风气候的影响范围最大，温带季风气候次之。

受东亚季风气候的影响，我国降雨量分布的特点是东多西少，南多北少，而青藏高原隆升可能是导致东亚夏季风增强和季风降水增多的重要动因（刘晓东 1999）。亚热带季风气候主要分布在中国东部秦岭、淮河以南以及热带季风气候以北的地带，包括日本南部和朝鲜半岛南部等地。我国东南沿海等地区年降水量达 1500~2000 mm，长江中下游地区降水量为 1000~1600 mm，西北内陆地区年降水量仅为 100~200 mm，新疆塔里木盆地、吐鲁番盆地和柴达木盆地降水量不足 50 mm。亚热带季风气候给我国东部地区带来的丰沛雨水以及错综复杂的水系是

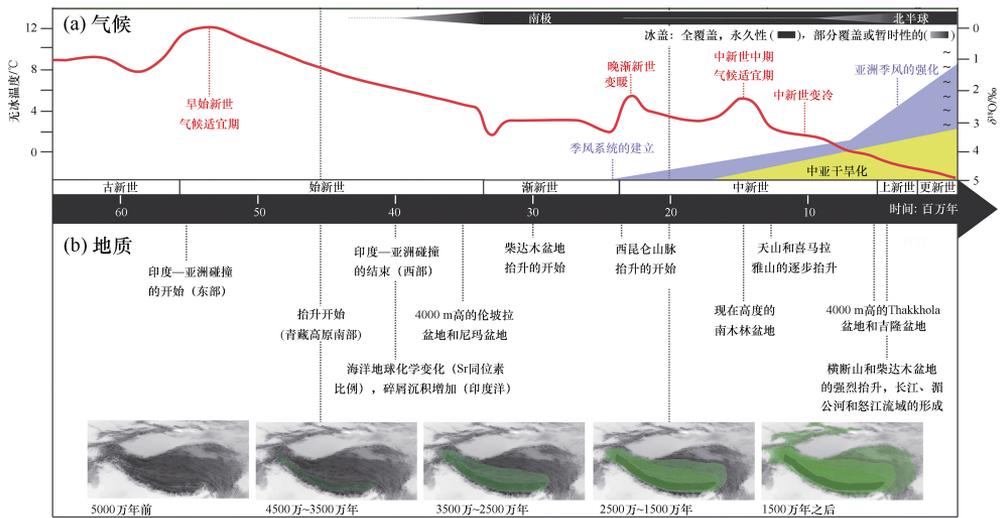


图 1-1 古新世以来青藏高原的气候 (a) 和地质 (b) 的演化过程。(a) 气候事件序列 (包括 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线, 右轴) 源自底栖有孔虫, 它反映了从古新世至更新世全球温度的主要趋势 (红线), 注意这仅能解释为在古新世和始新世期间的无冰海洋条件下的绝对温度 (变化); 南极和北半球冰盖的确立如顶端的灰色到黑色棒所示; 季风的起始和发展以及耦合的中亚干旱化由蓝色和黄色的多边形表示。第四纪的气候波动用曲线表示。(b) 与青藏高原隆升有关的地质事件序列用不同时间抬升范围的图形表示, 绿色阴影部分表示在每个给定时间青藏高原区域已达到的可与现在相比较的高度 (引自 Favre et al. 2015)

所栖息的水生动植物区系演化的基础, 但这里也是洪涝灾害的高发地区, 因此也出现了许多以防洪为目的的水利工程, 如 20 世纪 50 年代开始, 在长江中下游湖泊与河流之间修建了大量的节制闸, 改变了河湖之间的自然联系。

我国的河流也主要分布在东部, 西北地区降雨稀少, 大河不多。长江、黄河、黑龙江、珠江、辽河、海河和淮河等东流入太平洋, 西藏的雅鲁藏布江向东流出国境再向南注入印度洋, 新疆的额尔齐斯河向北流出国境注入北冰洋 (陈进 2009)。

三、长江水系的现状

长江是我国第一、世界第三大河流, 发源于青藏高原唐古拉山主峰, 全长达 6300 km, 流域面积 180 万 km^2 , 占全国总面积的 18.7%。长江流域西高东低, 落差超过 5400 m, 形成三级阶梯的地势 (图 1-2)。第一级阶梯的海拔在 3500 m 以上, 第三级阶梯的海拔在 500 m 以下。将长江水系划分为干流水系与雅砻江、岷江、嘉陵江、乌江、洞庭湖、汉江、鄱阳湖、太湖 8 个支流水系, 长江流域 (不含太湖水系) 最高河流分级数为 6 级, 流域面积不小于 2000 km^2 或河长不小于

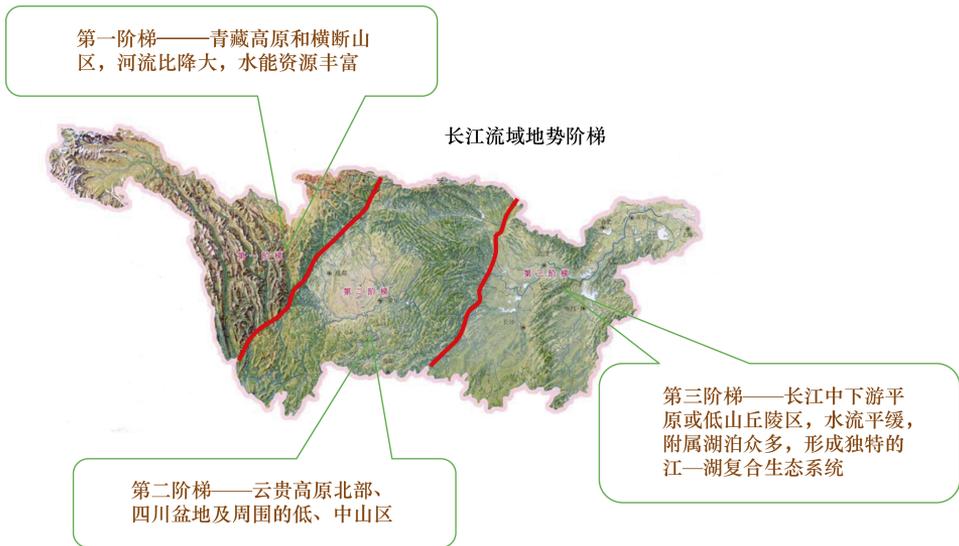


图 1-2 长江流域的三级阶梯地势

100 km 的河流总数为 374 条（附表 1）。

长江干流分为上游（包括源区）、中游和下游。宜昌以上为上游，长 4529 km，占长江总长的 71.9%。长江源区（通天河直门达水文站以上）总体上属盆地地貌，四周被高山环绕，高原地势平坦而广阔，排水不畅，分布有大片高原沼泽和扇状水系，较大的河流有楚玛尔河、沱沱河、当曲等，长江源区年平均气温仅有 0℃ 左右，降水多以降雪形式发生（陈进 2012）。

通天河（图 1-3）出巴塘河口进入金沙江（图 1-4），止于宜宾岷江口，长 3496 km，落差超过 5100 m，河流比降大，主要支流有雅砻江。宜宾至宜昌段，主要支流有岷江、沱江、嘉陵江和乌江，奉节以下为三峡。

长江上游中下段切穿齐耀山（瞿塘峡，图 1-5）、巫山（巫峡）和黄陵庙（西陵峡）三个背斜和其间的两个向斜，连接四川盆地及秭归盆地等，形成举世闻名的长江三峡（肖建新等 2014）。

宜昌以下进入长江中下游冲积平原，河道比降小，水流平缓，与众多湖泊相连。宜昌至湖口为中游，长 948 km，主要支流有清江、洞庭湖的四水（湘、资、沅、澧），鄱阳湖的五河（赣、抚、信、绕、修）和汉水。湖口以下为下游，长 830 km，主要支流有青弋江、水阳江水系、太湖水系和巢湖水系等。

受季风气候的影响，长江流域的降水有雨季和枯季之分，5~10 月的降水量占全年降水量的 70%~90%，雨季出现的时间在下游为 4~6 月，中游为 5~7 月，上游为 6~8 月，即从下游到上游分别有一个月左右的推迟。



图 1-3 玉树通天河美升大拐弯（摄影：加贝先生）



图 1-4 金沙江（摄影：黄正平）

长江流域水土流失面积为 66 万 km^2 ，占土地面积的 34.6%，其中上中游占 98%，尤以上游为甚（占 62.3%）。长江流域水力侵蚀的比例高达 91.6%，重力侵蚀微不足道。三峡蓄水前，长江每年携带 4 亿多吨泥沙入海，主要发生在汛期，如洪水期最大 3 个月占全年的比例在宜昌站达 72.5%，在大通站为 57.6%，而枯



图 1-5 瞿塘峡

水期最小 3 个月的占比在宜昌站仅有 0.4%，在大通站为 2.5%。长江中下游输送的泥沙主要是悬移质，河床推移质输沙率很小：新厂、螺山、汉口、大通等站的多年平均推移质与悬移质比分别为 1.59%、1.33%、0.47%和 0.037%（陈进 2012）。泥沙淤积的问题更与推移质相关，而悬移质通过影响水体透明度，进一步影响河流的生物生产力。

长江干流以及上游支流的含沙量均很高（图 1-3~图 1-5），以金沙江最高，嘉陵江次之，长江最大的支流——汉江的含沙量位居第三（表 1-2）。两个通江湖泊——洞庭湖和鄱阳湖主要入湖河流的含沙量就要低得多。总的来看，长江的泥沙主要来源于源头和上游地区，尤其是金沙江和嘉陵江。在 2003 年之前，三峡入库和出库含沙量很接近，2003 年三峡蓄水后，出库含沙量明显减少，蓄水后 4 年平均含沙量 0.166 kg/m^3 ，仅为蓄水前多年平均值 1.14 kg/m^3 的 19%（陈进和黄薇 2008）。

表 1-2 长江流域干支流主要控制站含沙量变化

河流	站名	面积/ km^2	平均含沙量/ (kg/m^3)		
			1956~1979 年	1980~2000 年	1956~2000 年
①长江上游干支流					
金沙江	坪山	458 590	1.68	1.89	1.76
雅砻江	泸宁	108 277	0.39	0.62	0.51
岷江	五通桥（二）	126 478	0.44	0.55	0.50
大渡河	福祿镇（二）	76 452	0.28	0.50	0.44
青衣江	夹江	12 588	0.58	0.69	0.63
沱江	李家湾	23 283	0.94	0.54	0.75

续表

河流	站名	面积/km ²	平均含沙量/(kg/m ³)		
			1956~1979年	1980~2000年	1956~2000年
①长江上游干支流					
嘉陵江	北碚(二)	156 142	2.11	1.2	1.69
涪江	小河坝	29 488	1.16	0.88	1.03
渠江	罗渡溪	38 071	1.14	0.86	1.01
乌江	武隆	83 035	0.64	0.45	0.55
②长江中下游干支流					
汉江	白河	59 115	2.07	1.19	1.67
长江	宜昌	1 005 501	1.17	1.10	1.14
长江	汉口	1 488 036	0.62	0.52	0.57
长江	大通(二)	1 705 383	0.55	0.48	0.53
③洞庭湖入湖河流					
沅江	桃源	85 223	0.12	0.06	0.09
澧水	石门	15 307	0.20	0.14	0.18
湘江	湘潭	81 638	0.10	0.09	0.09
资水	桃江	26 704	0.06	0.04	0.05
④鄱阳湖湖口及入湖河流					
鄱阳湖	湖口	162 065	0.08	0.05	0.06
赣江	外洲	80 948	0.17	0.12	0.14
抚河	李家渡	15 811	0.11	0.12	0.11
信江	梅港	15 535	0.14	0.11	0.13
饶河	渡峰坑	5013	0.08	0.10	0.09
修水	万家埠	3548	0.11	0.10	0.11

资料来源：陈进和黄薇 2008。

长江中下游的绝大多数附属湖泊均系河流发育过程中由泥沙淤积和水流冲刷交互作用所形成的堰塞湖。这些湖泊的寿命较短，一般在数百至千余年内因泥沙淤积而消亡，但旧湖泊淤积消亡的同时往往会伴随新湖泊的诞生，因为滔滔洪水总得有流淌与囤积之处。在长江干流的一些河段，呈现九曲十八弯的景观，由于强烈的冲淤作用，在不长的时间中不断地改道。变迁不仅仅发生在河道，邻近长江流域的湖泊也经历着快速的历史变化。例如，在过去的 3000 年间，洞庭湖的水面面积有近 5 倍之差，西周仅 1209 km²，元代达到鼎盛的 5531 km²，现在又仅剩 2519 km²了（表 1-3）。因此，在未受人类活动干扰的背景下，长江中下游的地貌环境处于不断变化之中，具有受季风气候影响的泛滥平原的基本特征（常剑波和曹文宣 1999）。

表 1-3 洞庭湖不同时期水面面积

时代	时间(公元)	面积/km ²
西周	前 900 年	1209
春秋	前 600 年	1644
战国	前 400 年	1940
秦	前 206 年	2075
汉	0	2200
三国	250 年	1960
晋	300 年	2186
南朝(齐)	479 年	2457
隋	600 年	2875
唐	900 年	4526
五代十国	950 年	4838
宋	1127 年	5480
元	1300 年	5532
明朝	1575 年	5154
明末清初	1616 年	4693
清末	1896 年	4588
民国	1938 年	3951
中华人民共和国成立初期	1954 年	3762
20 世纪 70 年代	1977 年	2609
20 世纪末	1997 年	2626
21 世纪初	2007 年	2526
	2014 年	2519

资料来源：苏岑 2016。

进入人类世之后，人为干预使自然的河湖变迁不断削弱，中下游的洪水被堤坝约束在有限的范围之内。长江及其大湖的修堤活动已持续了 2000 多年，现在大部分堤防的基础均源自古代（陈进 2012）。中华人民共和国成立之后，治水治江进入了一个新的历史时期：1950~1970 年，长江中下游沿江大建节制闸，除鄱阳湖和洞庭湖等外，绝大多数湖泊失去了与长江的自然联系（常剑波和曹文宣 1999）。众多湖泊及其季节性淹没区被围垦。例如，洞庭湖在清代前期面积为 900 万亩，现只有 423 万亩，中华人民共和国成立以来，共围垦面积达 237.2 万亩（唐家汉和钱名全 1979）。如果按 20 世纪 40 年代末一般年份的中水位计算，长江中下游湖泊总面积尚有约 35 123 km²，到 80 年代初只剩下 23 123 km²，消失了 12 000 km²，降幅达 34.2%（杨锡臣等 1982）。

长江上游的河流系统已被 1 万多座水库片段化：据截至 2005 年的统计，在三

峡以上的长江上游地区，一共修建了 12 996 座水库（不含三峡水库），总库容达 414.5 亿 m^3 ，其中大型水库 28 座，占总库容的 66.5%；中型水库 251 座，占总库容的 15.0%，小型水库约 12 715 座，占总库容的 18.5%。流域内的中小型水库大多修建于 20 世纪 60~80 年代，而 90 年代以来，长江上游所建的水库以大中型水库为主（李海彬等 2011）。

在长江干支流上游的水利工程（包括三峡大坝）对水系中的悬移质泥沙动态产生深刻的影响，改变着河道和通江湖泊的冲淤平衡。例如，自 20 世纪 50 年代开始，洞庭湖的泥沙淤积呈现出持续性下降趋势，现在基本达到了沉积与侵蚀的平衡（图 1-6）。

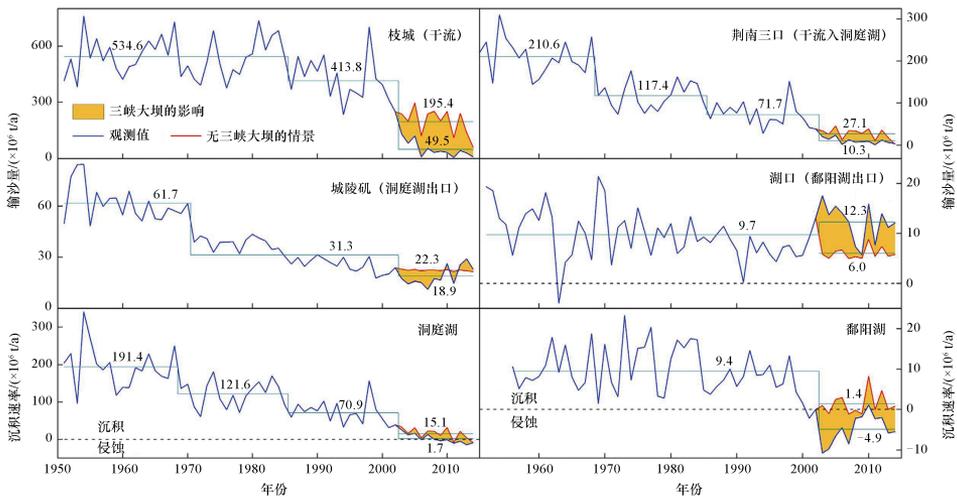


图 1-6 1950~2014 年，枝江、荆南三口、城陵矶和湖口的年输沙量的变化以及洞庭湖和鄱阳湖年沉积/侵蚀速率的变化（引自 Zhou et al. 2016）

人类活动对长江水系的改变，相对于漫长的地质历史而言，不过是极为短暂的瞬间（常剑波和曹文宣 1999）。而这种改变对于一些与环境共同演化并产生了特殊适应性的生物类群来说，后果往往是灾难性的，如中华鲟的生殖洄游通道被切断，正在走向绝灭之路。

四、长江的起源

1. 河流沉积特性

无论是河流的上游还是下游，都会发生沉积作用。沉积速率和沉积物的性质与水动力密切相关，而水动力与流量、坡度、河宽等多种因素相关。一般来说，水动力越强，河流沉积层的粒度越大。例如，在上游，由于坡降大，河流动能亦

大，细粒物质被冲走，留下了一些粗粒物质，以砾石为主（图 1-7）。在河流的中下游，地势较为平坦，细颗粒物的沉积作用明显，特别是在相对静止的水体中，如河流入海、入湖以及支流入主流处。



图 1-7 枯水季节，长江上游泸州江边露出的各色砾石，由于磨蚀和碰撞造成了较高的磨圆度

沉积物粒/砾度的变化亦能反映气候的波动。如果是湿润期，雨水充沛，河流动力作用强，较大的砾石会被洪水带到河漫滩沉积，反之，在干旱期，降水少，河流动力较弱，河漫滩沉积物中较大的砾石变少，细砂粒增多。地层中的沉积物常被用于古河流研究中，特别是较大的砾石可视作大型河流存在的标志。

2. 长江水系的构造单元

长江水系跨越多个构造单元，是在板块运动与气候变迁双重驱动下发育与演化而来的，经历了一系列复杂的宏观构造地貌过程。新生代之后，在欧亚-印澳-太平洋板块相互作用驱动下，这些构造单元开启了新的地质演化历程，如出现强烈的差异隆升与沉降，为长江的贯通与东流奠定了地貌基础。

3. 金沙江“南流与袭夺说”的雏形

在长江东流的演化历史中，有两个公认的重大地质事件：①青藏高原的隆升导致长江东流——金沙江从青藏高原奔流南下，至云南丽江的石鼓镇，流向突然转为北北东，形成著名的长江“第一湾”（图 1-8）；②三峡切穿，长江得以东流。迄今为止，长江三峡贯通的时间尚存争议，从 4500 万年（始新世）到数万年（更新世晚期）不等（郑洪波等 2017）。

写于战国时期的中国第一篇区域地理著作《尚书·禹贡》中有“岷山导江”一说，被后人解读为“岷江为长江之源”。之后，明代地理学家徐霞客在《溯江纪



图 1-8 位于云南丽江石鼓镇的长江“第一湾”

资料来源：百度百科

源》中提出了“推江源者，必当以金沙为首”的论断（郑洪波等 2017）。地质学家丁文江（1933）提出金沙江曾沿龙川江和红河南流入海的观点，他指出“现在的龙川河的水量很小，不能冲出如苴宁平川这样的宽谷。足见得在地质史上苴宁平川不是龙川河所独有的谷。我的意见是从川边来的鸦砦江，与龙川河、红河本来是从北向南的一条大江。以后鸦砦江的水被自东向西推进的扬子江抢了去了。于是鸦砦（就是如今的雅砦江）、龙川、红河就变成了三条不相通的江”。

4. 东流长江诞生前的水系格局

东流长江诞生之前，是何种水系格局呢？一般认为，位于青藏高原东南缘的古金沙江水系与长江下游水系尚未连通，上游水系并未转向东流，而可能南流入海了；中下游的江汉盆地和苏北盆地各自发育了较小规模的局部河系，盆地之间没有连通或者有限连通（王鸿祯 1985）。

5. 东流长江的形成

最近的研究表明，始新世时期存在“古金沙江”水系，流向南或者南东，发源于青藏高原东南缘。从始新世末至渐新世，“古金沙江”水系随青藏高原东南缘（云南高原）的隆升出现整体抬升，最终不再南流，而是沿青藏高原和云南高原的边界带转向东流，形成现今的长江“第一湾”，因此，“第一湾”的形成是区域构造与盆地演化的地貌表现，而非传统地貌学上的由河流袭夺河谷形成的袭夺弯（Zheng 2015）。

在渐新世，青藏高原的局部地区已经达到了相当的高度，隆升区和剥蚀区明显分化，出现明显的盆-岭结构，表明从始新世到渐新世，河系已相当发达，它们可能就是古金沙江（也包括古澜沧江、古怒江）的上游（Tapponnier et al. 2001；Wang et al. 2008；张克信等 2010；郑洪波等 2017）。

如果三峡被切穿，四川盆地被强烈侵蚀，相应的沉积物首先会被输送到江汉盆地。江汉盆地自晚白垩纪开始发育断陷型盆地，在古近纪沉积了数千米的蒸发岩，与玄武岩互层。大规模蒸发岩的沉积表明当时江汉盆地属于内陆咸化盆地，不可能存在大型的贯穿型河流。到了渐新世，江汉盆地从原来的断陷型转变为凹陷型，在新近纪，以大型河流砂砾为主的沉积相覆盖了整个江汉-苏北盆地，表明长江中下游盆地被大河流系连通。长江上游物质在渐新世晚期（或者最晚在渐新世/中新世之交）就已经能够到达下游，表明贯通东流的长江水系从此诞生（郑洪波等 2017）。

五、全新世全球气候变化对长江水系的影响

除了东亚季风气候的基本格局之外，千年尺度的气候变化亦能对长江水系的格局产生重大影响。在末次冰盛期（last glacial period，发生于 110 000~11 700 a BP）至全新世（自 11 700 a BP 起至现在）早期，低海面使长江河谷下切，长江中下游盆地以河流切割为主，很少有泥沙堆积，而长江口的下切古河谷则是主要沉积中心。

进入冰后期，海平面迅速上升：距今 10 000 年时，海面上升到-40m；距今 8000 年时，海面上升到约-7m，此时下切古河谷已被填充至-35~-30m。距今 8000~7000 年，三角洲平原出现了低沉积速率（图 1-9），这时正好是全新世大暖期的开始，气候转暖使长江流域植被覆盖率增加，从而使入海泥沙减少、变细，导致低沉积速率（严钦尚和洪雪晴 1987，施雅风等 1992，王张华等 2007）。

距今 7000 年前后，海平面上升到接近现代海面的位置，长江水位随之上升，原先以河流下切为主的中下游盆地转为堆积沉积物，沉积物由砾石质转变为砂和泥质。由于江汉盆地的分流，河口的泥沙沉积速率大幅降低（严钦尚和洪雪晴 1987；王张华等 2007）。

距今 4000 年前后，可能由于长江的南移，江汉平原的沉积大幅下降，而洞庭湖盆地和鄱阳湖盆地的沉积速率大幅上升，河口地区的沉积则明显减缓（朱育新等 1997；王张华等 2007）。

距今 2000 年前后，江汉盆地的沉积速率变得更低，而长江河口及水下三角洲地区的沉积速率再次显著增高。这可能主要与两个因素有关：①近 2000 年以来，人类活动加剧导致泥沙产出增加；②由于防洪筑堤，江汉盆地和长江下游河谷冲

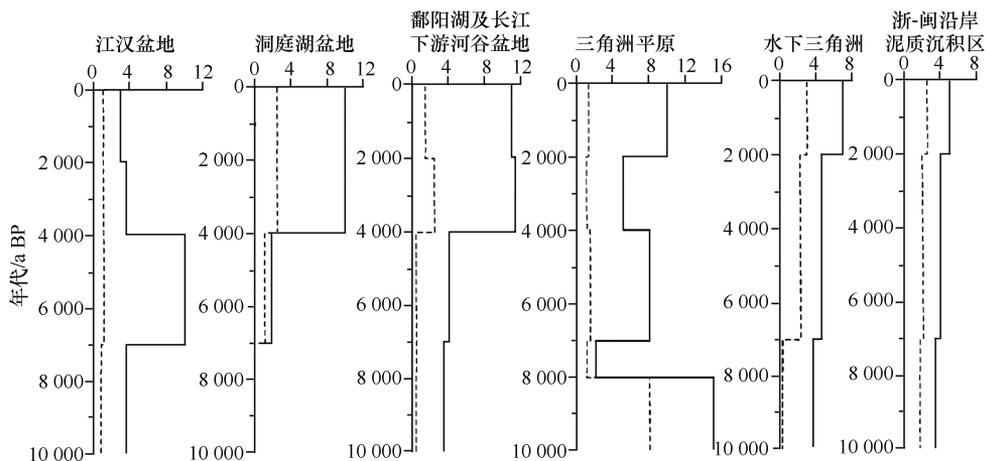


图 1-9 6 个主要沉积盆地全新世时期的沉积速率（单位：m/ka），实线表示最大值，虚线表示最小值（引自王张华等 2007）

积平原与长江河床逐渐隔离，仅剩洞庭湖还有分水分沙功能。江汉盆地泥沙堆积的减少导致了往下游和河口输沙的增加（Yin et al. 2007；王张华等 2007）。

地理尺度上的气候变化对理解现代生物地理格局亦具有重要意义。在长江水系中现存的物种（如鱼类）必须成功克服历史上这种剧烈的气候波动导致的巨大水文或地貌变化才能繁衍生息下来。这也使得我们对一些物种的特性或环境耐受阈值会有更宽泛的审读视角。例如，一种鱼类在特定地点的产卵现在可能是相对固定的，但历史上可能是相当波动的。这亦有助于我们对物种分布格局的理解，因为一些物种在某个地理区域今天能够栖息，也并不一定代表它能忍受历史的波折。例如，鲢在日本没有自然分布，20 世纪被引入日本后，建立了繁殖群体，但这并不表明它就一直能够生存下去，如果气候变得更暖，海平面大幅上升，可能需要更长的河道才能满足产漂流性卵鱼类的生存。

第二章 中国东部鱼类区系的起源与演化

任何物种都有一定的地理分布区域，也会在一一定的地质历史时期中存在，研究这样的问题，称为生物地理学（biogeography），可以是描述性的（descriptive）或解释性的（interpretive）（陈宜瑜 1992）。离散学说认为，生物先形成了广泛的分布区，后来出现障碍，将分布区隔开，之后开始各自独立的分化，直至形成新的物种；而扩散学说认为，障碍是先存在的，生物后来越过障碍扩散形成间断分布，再独立演化形成了新的物种。提倡离散观点的泛生物地理学（panbiogeography）得到大陆漂移学说的支持（陈宜瑜和刘焕章 1995）。

所谓动物区系是人们对不同地理区域中动物的组成特点进行分析后进行的人为划分，它是地质历史过程与生态过程交互作用的产物。早在 19 世纪，博物学家就将全球的动物区系划分成 6 大区：古北区（Palearctic Region）、新北界区（Nearctic Region）、新热带区（Neotropical Region）、旧热带区（Ethiopian Region）、东洋区（Oriental Region）和澳洲区（Australian Region），各区再细分为亚区（subregion）等。

在世界现生鱼类中，鲤科是最大的类群，约有 2420 种（Nelson 2006），其中鲤亚科大概包含了 87 属 1332 种，超过了鲤科鱼类的 1/2，从南亚至非洲都有分布（Rainboth 1991；Skelton et al. 1991；王绪祯等 2016）。鲤科亦是我国淡水鱼类中最大的科，有 530 余种（陈宜瑜 1998）。现生鲤科鱼类广泛分布于亚洲、欧洲、非洲和北美洲，但以亚洲的物种多样性最为丰富。鲤科鱼类在亚洲约有 1200 余种（以东亚和南亚地区的物种最为丰富），在非洲约有 24 属 477 种，在北美洲约有 53 属约 286 种，在欧洲约有 23 属 82 种。鲤科鱼类区系在欧洲主要是雅罗鱼类，在非洲主要是鲃类、野鲮类和波鱼类，在北美洲主要是雅罗鱼类，在亚洲包括鲤亚科、鲃亚科、野鲮亚科、波鱼亚科（鲟亚科）、鲮亚科、鲟亚科、雅罗鱼亚科以及裂腹鱼亚科等，其中，南亚没有鲟亚科和雅罗鱼亚科的种类，而鲟亚科和鲮亚科鱼类几乎都是东亚地区的特有种类（王绪祯 2005）。

一、中国东部的淡水鱼类区系

鱼类区系是动物区系的一个组成部分，关于我国鱼类区系的探讨可追溯到 20 世纪 30 年代，在此，聚焦于我国东部淡水鱼类区系的划分问题。

1933年，贝尔格将辽河下游到云南怒江中部等我国东部划为东洋区（Oriental Region）（又名中印区 Sino-Indian Region）的中国亚区；但李思忠（1981）认为这种归类欠妥，因为辽河下游的鱼类区系与云南怒江、澜沧江中上游的鱼类区系差异很大。

Nichols（1943）认为，中国江河平原区系大概由古第三纪南亚热带鱼类迁入我国东部水域，以后逐渐适应季风气候而演化成为许多我国特有的地区性种类，并逐渐发展成江河平原的优势种，他认为，中国东部地区的鱼类区系是处于中印区和古北区之间的过渡地带的区系。

张春霖（1954）指出，我国江河平原区包含长江中下游、黄河下游及辽河下游，除了各河干支流以外，还有鄱阳湖和洞庭湖等，这里地势平坦，水流缓慢，主要的鱼类也有特殊的适应性，鲤科的种属是国内最多的。

1954年，俄国学者认为，鳊和鲮两亚科的始祖近似罗塔鲃属，这些原始属种于中新世喜马拉雅地槽闭合后，由印度平原迁到此处，随着喜马拉雅等的升高，东亚季风产生，在此处大水体内就演变成了我国东部江河平原区特有的鱼类。李思忠（1981）认为，这可能仅适用于中亚西侧种属均不很多的鳊、鲮两亚科鱼类。

伍献文等（1977）认为，在中国东部，主要有黄河、长江流域，这是一个混合地带，有些鱼类是从旧北区来的，也有从中印区来的，即中国平原地区的鱼类区系是古北区和中印区鱼类的混合区系。从古北区扩散而来的种类如鲃亚科，从中印区扩散而来的如鲃亚科的一些种类（湖北省水生生物研究所鱼类研究室1976）。

李思忠（1981）视华东（江河平原）区为全北区或古北区的一个亚区，这里有大量我国特产的鱼类——江河平原鱼类，并根据古新世和始新世地层中的化石推测，我国东部的鳊亚科、鲮亚科及喜马拉雅山北侧中亚高山区的裂腹鱼亚科很可能是第三纪早期原分布于当地的鲃亚科鱼类演变而来的。

陈湘旻等（1984）指出，东亚地区的鲤科鱼类包含了鲤科的全部亚科，其范围北起黑龙江水系，西南至红河和金沙江水系，东包括千岛群岛、日本以及我国的台湾省和海南岛。本地区鲤科鱼类是双源相的，既有与欧洲地区相同的雅罗鱼属（*Leuciscus*）、鲃属（*Phoxinus*）等，又有和南亚地区相近的马口鱼属（*Opsarius*）、鱮属（*Zacco*）等，中国南部存在与南亚共有的波鱼属（*Rasbora*）、墨头鱼属（*Garra*）、二须鲃属（*Capoeta*）、纹唇鱼属（*Osteochilus*）和土鲮属（*Cirrhinus*）等。

二、中国东部鲤科鱼类起源的化石证据

化石（fossils）是在遥远的过去保存的动植物等的遗骸。化石记录与定年的结合就能追溯生命的演化历史。地球上已知的最原始鱼类已有5亿多年的历史，

但直到 1 亿多年前（中生代晚期）才大量出现了和现生鱼类比较接近的原始种类。在亚洲，最古老的鲤科鱼类化石见于第三纪的始新世（表 2-1），在哈萨克斯坦发现了已灭绝的鲤亚科 *Parabarbus* 属（Sytchevskaya 1986），在我国河南发现了已灭绝的中原古鲟（*Palaeogobio zhongyuanensis*）（周家健 1990）。

表 2-1 新生代地质年代表

纪	世	百万年前	时间间隔/百万年	
第四纪 Quaternary	全新世 Holocene	0.01	0.01	
	更新世 Pleistocene	1.64	1.63	
晚第三纪 Neogene	上新世 Pliocene	5.2	3.6	
	中新世 Miocene	23.3	18.1	
第三纪 Tertiary	渐新世 Oligocene	35.4	12.1	
	早第三纪 Paleogene	始新世 Eocene	56.5	21.1
	古新世 Paleocene	65	8.5	

1. 中国东部鱼类区系的历史演变

1) 白垩纪

中国早白垩世（Cretaceous Period，距今 1.37 亿年至 6500 万年）的鱼类中除鲟形目鱼类外已经没有任何种类在中国生存到现代。始新世的鱼类中也几乎没有留存到现代的种类，但其中不少却残存在北美洲，使北美洲成为晚中生代和早第三纪古老淡水鱼类的避难所，东亚现代鱼类区系可能自上新世开始形成（张弥曼等 2001）。

白垩纪晚期大规模海退之后，华西地区至少冈底斯山以北广大地区露出水面成为陆地，当时天山、昆仑山、祁连山和“西康群山”等古老山体还很低，加之温暖湿润，广布于欧亚大陆的原始鲃类和鳅类应该会分布到华西区特提斯河流域各水系（武云飞和谭齐佳 1991）。

2) 始新世

始新世时期的化石鱼类包括了鲤科、亚口鱼科、鲮科和鲈形目等的种类，但都已绝灭（Chang and Zhou 1993；张弥曼和陈宜瑜 2000）。

在始新世，鲤形目胭脂鱼科（亚口鱼科）种类在东亚与北美洲均分布广泛，而在现生鱼类中，东亚仅残留了一个物种（图 2-1），而北美洲仍然有 70 多种胭脂鱼科物种存在（Nelson 2006）。有一种观点认为，胭脂鱼类未能适应青藏高原隆升与东亚季风气候出现带来的环境变化（陈耿娇 2010），因胭脂鱼科产黏性卵，喜欢在稳定和低温环境中进行繁殖，不适应于大江大河环境与涨水的

冲刷（程佩琳 2015）。但问题是，长江流域的很多鱼类依然在产黏性卵，却存活到了今天。



图 2-1 胭脂鱼 (*Myxocyprinus asiaticus*) (黄宏金等 1982)

3) 中新世

在中新世，中国东部的鱼类区系以鲤科鱼类为主，其中鲤亚科、鲮亚科和雅罗鱼亚科占优势，还有一些种类属于鳅科和鲈形目鳊类。这一时期的主要类群已与现代鱼类相似，但几乎没有现生的属，更没有现生的种（张弥曼等 2001）。

4) 上新世

上新世的鱼类区系仍以鲤科为主 [鲮属 (*Xenocypris*)、鲃属 (*Culter*)、雅罗鱼属 (*Leuciscus*)、鲤属 (*Cyprinus*)、鲫属 (*Carassius*)、鲢属 (*Hypophthalmichthys*)、青鱼属 (*Mylopharyngodon*) 和草鱼属 (*Ctenopharyngodon*) 等]，兼有鲶亚目、鲈形目和刺鱼目鱼类。与中新世不同，上新世的鱼类不仅都是现生属，而且几乎都是现生种。因此，中国东部的现代鱼类区系在上新世时已大致形成（刘宪亭和苏德造 1962；张弥曼等 2001）。

2. 日本列岛与中国东部鱼类区系的历史联系与分离

在中新世，日本鲤科鱼类区系出现了很多现生属——鲮属、圆吻鲮属、鲤属、鲫属、鲮属、华鳊属和鳊属等，其中许多是东亚特有鱼类。在上新世，日本鲤科鱼类也是以鲤类和鲮类占主导地位，其次是鲃类和鲃类。可见，中新世和上新世时期中国东部和日本列岛发现的化石鱼类非常相近。

自从日本列岛从亚洲大陆分离之后，中国东部江河平原区由于受到东亚季风气候的较大影响，鲤科鱼类中出现了众多新的种类，同时有一些种类从世界其他地区迁入，而日本列岛以鲃亚科和鲤亚科为主的鲤科鱼类则在一些古老的水域，如琵琶湖等，继续留存下来（张弥曼等 2001）。

由于半岛、岛屿缺少大型河流，在朝鲜产漂流性鱼卵的鱼很少，日本没有产漂流性卵的鱼类（史为良 1985）。1878 年至 20 世纪 40 年代，鲢、鳊被引种到日

本，现在已能在日本的河流中自然繁殖。

3. 鲤科鱼类的基部类群

在欧洲大陆，从渐新世中期到中新世早期的鲤科鱼类化石，除了鲃亚科的鲃属(*Barbus*)外，基本是一些雅罗鱼亚科的种类(冷水性鱼类)(Romer 1966; Gaudant and Rousset 1979)。

化石证据表明，以鲃亚科和鲴亚科鱼类为主体的鲤科鱼类区系在早第三纪一直占主导地位，可能一直延续到早上新世，那时，鲴亚科鱼类几乎遍布整个欧亚大陆，而雅罗鱼亚科鱼类的分布更广，从欧洲、西伯利亚一直到北美洲，表明了其对寒冷的适应能力和较长的演化扩散历史。有鉴于此，雅罗鱼亚科可能是在全球气温变冷的早期从原始的鲴亚科中演化出来的适应寒温环境的一个类群。因此，鲤科鱼类的基部类群主要是鲃亚科、雅罗鱼亚科和鲴亚科鱼类(王将克等 1981; 陈宜瑜等 1986; 何舜平等 2000)。

三、气候与青藏高原隆升对东亚淡水鱼类区系的影响

东亚淡水鱼类混合了三种成分：①早第三纪的古老区系；②伴随东亚季风的江河平原鱼类区系；③伴随青藏高原的隆起而适应高寒与急流环境的鱼类区系。在渐新世后期，渐趋激烈的喜马拉雅造山运动引起了欧亚大陆地貌和气候的急剧变化，对该区域的淡水鱼类产生了深刻影响(陈宜瑜等 1986)。

1. 鱼类区系起源的地理统一性

1) 青藏高原与新疆、甘肃干旱地区鱼类区系起源的地理统一性

据武云飞和谭齐佳(1991)报道，青藏高原鱼类现有 6 科 26 属 114 种，主体成分是鲤科的裂腹鱼亚科和鳅科的条鳅亚科。新疆内流水域现有鱼类 10 属，与青藏高原有 5 个共有属，即裂腹鱼弓鱼亚属、重唇鱼属、裸重唇鱼属、裸裂尻鱼属和高原鳅属。河西走廊诸水域现有鱼类 4 属 10 种，与青藏高原共有 3 属，即高原鳅属、裸鲤属和鲴属。青藏高原与新疆、甘肃干旱地区在地形、海拔、气候等自然环境条件方面殊为不同，而其鱼类区系组成极为相似，显示出青藏高原与新疆、甘肃干旱地区诸水域鱼类区系有着古老历史的渊源。

2) 青藏高原各水系鱼类区系起源的地理统一性

青藏高原水系包括了许多巨大外流河的上游，还有很多内流水系。各河流之间共有的鱼类属种反映了它们之间的历史渊源，而属种差别则反映了青藏高原急剧隆起导致的水系变迁与隔离成种效应。例如，叶须鱼属(*Ptychobarbus*)鱼类在印度河(锥吻叶须鱼 *P. conirostris*)、雅鲁藏布江(双须叶须鱼 *P. dipogon*)、

三江（怒江、澜沧江和金沙江）上游（裸腹叶须鱼 *P. kaznakovi*）以及云南中甸（中甸叶须鱼 *P. chungtienensis*）均有分布，既反映了它们曾经共同联系，也反映了之后随水系变迁的物种分化历史，因为基于线粒体细胞色素 b 基因的分子系统学研究表明，它们构成一个单系群（黄顺友和陈宜瑜 1986；何德奎等 2003）。裸裂尻鱼属（*Schizopygopsis*）鱼类广泛分布于青藏高原各河流上游干流、支流及其湖泊中，包括嘉陵裸裂尻鱼（*S. kialingensis*）、黄河裸裂尻鱼（*S. pylzovi*）、柴达木裸裂尻鱼（*S. kessleri*）、软刺裸裂尻鱼（*S. malacanthus*）、西藏裸裂尻鱼（*S. stoliczkai*）和热裸裂尻鱼（*S. thermalis*）6 个种（曹文宣 1964），虽然之后的分子系统学研究提出了不同的划分建议，如基于线粒体细胞色素 b 基因（*Cytb*）的研究认为，应该将柴达木裸裂尻鱼作为黄河裸裂尻鱼的一个亚种（祁得林等 2009b）。

据武云飞和谭齐佳（1991）报道，在外流水系中，怒江有 50% 的种数与长江相同；在内流水系中，青海湖有 60% 的种数与柴达木相同；藏北水系有 50% 的种数与藏南水系相同；此外，每一外流水系都有自己的特有种/属，如长江水系仅裂腹鱼一个属就有 12 个特有种；黄河有两个特有属——黄河鱼属和扁咽齿鱼属；雅鲁藏布江有特有的尖裸鲤属。

2. 气候对鱼类区系的影响

随着晚第三纪末期世界气温的普遍下降，适应于热带和亚热带气候的原始鲃亚科、鲴亚科等鱼类在北方逐步减少，第四纪冰期之后，除少数残留种类外，几乎绝迹。由原始鲃亚科鱼类派生而来的较能适应寒冷环境的雅罗鱼亚科、鮡亚科鱼类，与由极地向南扩散的冷水性鲑鳟鱼类等混合构成了欧亚大陆北部淡水鱼类区系的主要成分（陈宜瑜等 1986）。

更新世以来曾多次出现冰期，不仅对高原冷水鱼类的分化产生重大影响（促进了高原鱼类的蛰居生活习性和鳞片的退化等），而且也扩大了高原鱼类向东南外围水域的分布区。同时又增加了来自北方山区或北方平原的哲罗蛙、鮡、鲶、泥鳅等鱼类。随着全新世冰后期气候的转暖，又迫使曾扩散到青藏高原外围水域的高原鱼类逐渐向高海拔或河流的上游源头退缩（武云飞和谭齐佳 1991）。

3. 青藏高原隆升对鱼类区系的影响

青藏高原隆升不仅对高原地区本身，也对毗邻地区的鱼类区系产生了重要影响（陈宜瑜等 1986）。印度板块和欧亚大陆板块的闭合，使两个大陆之间的海洋阻隔消失，物种得以相互交换（如类似近裂腹鱼类的祖先大概也在此期进入了印度），“西康群山”的隆起，使华西区与东亚和东南亚分割为两部分，各自的鱼类区系开始隔离与分化（武云飞和谭齐佳 1991）。

1) 青藏高原鱼类区系

适应温暖水域生活的原始鲃类和鳅类，在早第三纪时已广泛分布于东亚和中亚地区。喜马拉雅运动以来，通过几次重大地质历史事件产生隔离，导致青藏高原鱼类区系与其他地区鱼类区系的分离，最后形成了青藏高原独特的鱼类区系(武云飞和谭齐佳 1991)。

喜马拉雅山隆起导致了青藏地区与南亚地区鱼类的阻隔，又切断了青藏鱼类与印度鱼类之间的交流，大约至上新世，青藏地区和川西与新疆等地几乎同时完成了统一夷平面，呈现出准平原状的地貌，近裂腹鱼等大批绝灭，被新近的原始裂腹鱼和条鳅所替代。随着青藏高原的急剧抬升，阿尔金山等山脉再度剧烈升起形成青藏地区与新疆等地区鱼类的阻隔，青藏高原独特的鱼类区系开始分化。与此同时，在青藏高原内部，祁连山、昆仑山和唐古拉山等褶皱山地也再度剧烈升起，致使第三纪的夷平面水系破坏，分裂成不同的水体，高原内部鱼类地理分异开始强化(武云飞和谭齐佳 1991)。

以青藏高原为中心进行演化的鲤科裂腹鱼亚科和鳅科的高原鳅属等适应于高寒环境的鱼类是青藏高原区的典型代表，这些典型代表的自然分布界限或最集中的分布区也正是青藏高原区与东洋区或古北区的真正界限(陈宜瑜等 1996)。青藏高原急剧抬升产生的高寒环境，使原来生活在这一地区的淡水鱼类迅速绝迹，原始鲃亚科鱼类适应高原环境演化出裂腹鱼类，鳅科的原始条鳅类特化成了无鳞条鳅类，它们构成了青藏高原特有的鱼类区系(陈宜瑜等 1986)。

2) 南亚鱼类区系

青藏高原的隆升使高原四周产生强烈切割而形成许多急流环境，演化出一些适应急流环境的鱼类类群：原始的鲃亚科鱼类特化成了野鲮亚科和平鳍鳅科，原始的鳢科鱼类特化成了鲃科，它们随着高原隆起的水系变迁而扩散，与南亚原有的鲃亚科、鲃亚科和其他暖水性鱼类共同组成了南亚的淡水鱼类区系(陈宜瑜等 1986)。

3) 江河平原区系

青藏高原的强烈隆升造成川西滇北高原面向东南倾斜，使东南部太平洋等流域水系向上的袭夺作用得到强化，西康古分水岭最后被支解(武云飞和谭齐佳 1991)。随着青藏高原的隆升以及东亚季风气候的强化，我国东部发育出大范围的冲积平原，形成了长江中下游复杂的江湖水网及季节性泛滥的特殊生境。在这样的环境中，由适应较冷气候环境的原始雅罗鱼亚科和鲃亚科鱼类，或残留的鲃亚科鱼类，逐步演化出鲃亚科、鲃亚科、鲃亚科、鲃亚科、鳅鲃亚科等新类群及雅罗鱼亚科和鲃亚科的一些特殊种属，从而形成了东亚特有的江河平原鱼类区系(陈宜瑜等 1986)。

四、从鱼类化石看青藏高原隆升

一方面我们认为青藏高原隆升是该地区鱼类演化的重要驱动力，另一方面我们试图基于现在不同海拔的鱼类区系特点，用化石鱼类的分布来推论高原的隆升过程。

张弥曼和 Miao (2016) 认为，由于内陆鱼类局限于内陆水域，其化石亦通常在原地埋藏，而且鱼类的分布严格受水系格局的限制，而水系格局又受地质事件的制约，其系统演化与隆升并进尤为明显。因此通过鱼化石的研究可揭示诸如古气候、古水系格局、古高度等古环境方面的因素，进而协助重建高原隆升的历史。

用于解释古环境演变的一个有趣的类群就是裂腹鱼亚科鱼类，它们仅分布于青藏高原及其周边地区，而且不同的种类栖居于不同的海拔梯度，但海拔超过 5000 m 时，就极其罕见了。曹文宣等 (1981) 根据下咽齿行数、触须数目以及体鳞退化程度等将青藏高原及其周边地区所特有的裂腹鱼亚科鱼类按海拔区分为三类：原始等级、特化等级和高度特化等级 (图 2-2, 表 2-2)。反过来，古生物学家试图根据不同时代、不同等级的裂腹鱼亚科鱼类化石，来大致推定当时化石所在地的高度，即根据鱼化石来推算青藏高原的古高度 (张弥曼和 Miao 2016)。据说，鳞片的退化是为了在高原低温环境中减少热量的散失，因为瓦片状的鳞片之间都会存在缝隙，鳞片越大热量散失就会越多，因此，在青藏高原隆升过程中，裂腹鱼的鳞片就慢慢退化掉了。

在乌兰呼森图 (渐新世)、尼玛盆地 (渐新世)、怀头塔拉 (上中新世)、伦坡拉盆地 (中新世) 以及鸭湖 (上新世) 地层中发现的裂腹鱼亚科或鲃亚科鱼类的咽骨都具有 3 行咽齿，而 3 行咽齿仅存在于原始等级的裂腹鱼亚科鱼类和鲃亚科鱼类中，它们只分布在海拔 1250~2500 m 或更低的地区。但上述化石地点现今的海拔分别为 3022 m、4806 m、2905 m、4540~4550 m 和 2905 m，由此推测，这些化石地点自渐新世和上新世 (3000~500 万年) 以来抬升幅度巨大 (陈毅峰和陈宜瑜 1998; 陈耿娇和刘娟 2007; Chang et al. 2008, 2010; Wang and Wu 2015; 张弥曼和 Miao 2016)。

青藏高原新生代鱼化石的研究显示，有些现在已经相当高的地点，在渐新世、中新世和上新世时仍分别处于很低的地位，而另几个地点在上新世时就已经和现在的高度大致相当。基于鱼类化石研究表明，从晚上新世到现代东昆仑的抬升幅度不会超过 1000 m，这与目前氧、碳同位素的研究结果 (即东昆仑同期曾抬升了 2700 m±1600 m) 很不相同 (张弥曼和 Miao 2016)。

高度特化等级

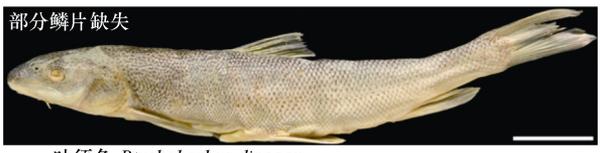
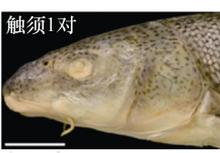


裸裂尻 *Schizopygopsis microcephalus*



裸鲤 *Gymnocypris eckloni*

特化等级



叶须鱼 *Ptychobarbus dipogon*

原始等级



裂腹鱼 *Schizothorax macropogon*

图 2-2 裂腹鱼亚科 3 个等级鱼类的不同特征 (引自张弥曼和 Miao 2016)

表 2-2 青藏高原不同海拔的裂腹鱼亚科鱼类

类别	特征	主要海拔分布/m
原始等级	全身被覆细小鳞片, 具有 2 对触须, 每个下咽骨上载有 3 行咽齿	1250~2500
特化等级	胸、腹部的鳞片退化, 具有 1 对触须和 2 行咽齿	2500~3750
高度特化等级	全裸, 皮下脂肪层很厚, 无触须, 具 2 行甚至只有 1 行咽齿	3750~4750

资料来源: 曹文宣等 1981。

五、鲤科鱼类东亚特有类群

早期的鲤科鱼类分类是基于形态特征来构建物种进化的系统树。陈宜瑜等 (1998) 将鲤科分为 12 个亚科, 即鲴亚科、雅罗鱼亚科、鲃亚科、鲮亚科、鲢亚科、鳊亚科、鳊亚科、鳊亚科、鳊亚科 (鳊亚科)、鳊亚科、野鲮亚科、裂腹鱼亚科和鲤亚科; 再从中划出了一个东亚类群, 包括了鲃亚科、鲮亚科、鲢亚科、鳊亚科、鳊亚科的绝大部分, 以及雅罗鱼亚科的青鱼-草鱼-赤眼鳟和鳊-鳊-鳊在内的两

个东亚群（图 2-3）。这些鱼类起源历史较短，局限分布于北起黑龙江流域、南至红河水系的东亚地区，是东亚淡水鱼类的重要组成部分，与青藏高原隆升过程中形成的东亚季风气候相适应，经历了爆发式物种分化。

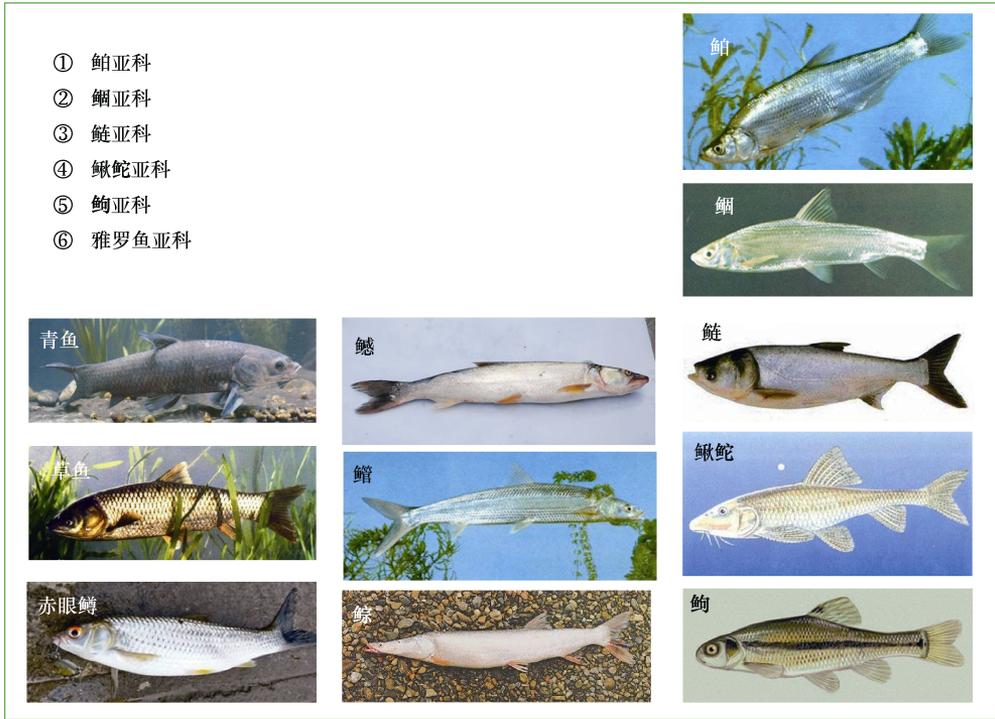


图 2-3 鲤科鱼类东亚类群

之后，基于一个或几个基因的分子系统树研究开始盛行，导致了关于鲤科鱼类及其东亚类群划分方案的不断变化。但基因树和物种树之间可能存在差别：对于某一被研究的基因，可能存在种内的多态性，如两物种间某些基因的分化时间可能早于这两个物种的分化时间，由基因计算出来的分枝长度（分歧时间）就可能偏高；基因树的分枝情况（拓扑结构）可能不同于物种树的，当然可通过增加 DNA 序列的长度并测定多个相互独立的基因片段来避免这样的问题（张亚平 1996）。

何舜平等（2000，2004）以线粒体细胞色素 b 基因为遗传标记将鲤科分为：①早第三纪类群，由鲃亚科的东南亚种类和鲤亚科构成，属于鲤科的基部鱼类；②北方冷水性类群，由雅罗鱼类、鲮亚科和鳊亚科构成，是鲤科鱼类适应全球气候变冷的产物；③东亚类群，由鲴亚科、鲃亚科、雅罗鱼东亚种类和鲃亚科的东亚种类构成，是适应青藏高原隆升与东亚季风气候分化的鲤科鱼类。

王绪祯（2005）基于单个核基因的研究结果提出，鲤科鱼类东亚类群包括：

赤眼鲮类（青鱼属、草鱼属和赤眼鲮属）、鳊类（鳊属、鳊属和鳊属）、鲢类（包括鲢属和鳊属）、鲟类和鲟类，以及一些小型的鲤科鱼类，如马口鱼类（包括马口鱼属和鳊属）、细鲫类（细鲫属、拟细鲫属、瑶山鲤属、锦波鱼属）等，而陈宜瑜等（1988）定义的鳊亚科和鲟亚科的鱼类未在其列。他假设鲤科鱼类线粒体 16S rRNA 基因碱基颠换的进化速率同温血动物以及其他冷血动物的速率相同，即每百万年 0.14%，对东亚特有鲤科类群的分支发生时间进行了推算（表 2-3）。

表 2-3 基于单个核基因的东亚特有鲤科类群的分支发生时间

类群	分支发生时间/百万年前
马口鱼、宽鳍鱮	8
中华细鲫、拟细鲫、锦波鱼	4~3
赤眼鲮类、鳊类、鲢类、鲟类、鲟类	6~0.35, 主要是 2~1

资料来源：王绪祯 2005。

程佩琳（2015）基于线粒体基因 *Cytb*、*COI*、*Dloop* 和核基因 *RAG2*、*RH*、*IRBP*、*EGR1* 和 *EGR2b* 的分析提出，鲤科鱼类东亚特有类群是一个单系群，包含 9 个类群——鲟亚科、鲟亚科、鲢亚科、赤眼鲮群、罗碧鱼群、梅氏鳊群、锐腹鱼群、细鲫群以及马口鱼群，并认为，鲤科鱼类东亚特有类群最早起源于始新世时期。主要类群的祖先出现的最早时间如表 2-4 所示。

表 2-4 基于线粒体基因和核基因的东亚特有鲤科类群的分支发生时间

类群	分支发生时间
马口鱼群、锐腹鱼群	渐新世
罗碧鱼群、赤眼鲮	晚渐新世
细鲫群、梅氏鳊群、鲢亚科、鲟亚科	早中新世
鲟亚科	中新世

资料来源：程佩琳 2015。

程佩琳（2015）认为，有 5 个特征在鲤科鱼类东亚特有类群的物种分化过程中起到了显著性的关键革新作用：①背鳍末根不分支鳍条为硬刺；②腹棱的出现；③臀鳍分支鳍条的数目大于 14 根；④植食性；⑤产漂流性卵的出现。例如，腹棱的出现可使鱼类更为快速地适应水流的变化，臀鳍分支鳍条数目的增加可增强鱼类在缓流环境中的游泳能力，而产漂流性卵——受精卵吸水膨胀漂浮于江河中孵化对鲢亚科和赤眼鲮群有特殊作用。

总的来说，中国东部鱼类区系的起源与演化与印度板块与欧亚大陆板块的碰撞、青藏高原隆升以及东亚季风气候强化所推动的水系发育等息息相关，是不同区系交融、地质过程与生态过程交互作用的产物。鱼类区系既有继承，也有创新，演化出了一批独特的物种（称之为鲤科鱼类东亚特有类群），形成了新的生态需求。

第三章 鱼类产卵的生态适应

繁殖是物种生存的最重要环节之一，它的成功与失败，决定了一个物种的兴与衰。鱼类交配、产卵、孵化及育幼的水域称为产卵场。有些鱼类对产卵场的条件要求并不苛刻，而有些则限于特定的水域（如中华鲟需要从河口上溯到长江上游的金沙江河段去产卵繁殖）或需要特定的水文条件（如四大家鱼需要在流水环境中产漂流性卵）——这些都是漫长的生命演化与适应过程中形成的秉性，难以在人类活动的时间量程内进行根本性改变，因此，人类干扰（如修筑大坝）容易引发一些物种的绝灭。

一、鱼类生活类型

根据鱼类生殖场所和索饵场所之间的关系，可将长江水系中的鱼类大致分为：江湖洄游鱼类、河海洄游鱼类、河流鱼类和湖泊定居鱼类 4 类：①江湖洄游鱼类，如四大家鱼（青、草、鲢、鳙）以及鳊、鳊、鳊、鳊等形成了在湖泊中肥育、在江河流环境中产卵的习性，适应于江湖连通环境，在长江中下游（尤其是中游）种群繁盛，是主要的经济对象；②河海洄游鱼类区分为溯河洄游（如中华鲟、鲟鱼）以及降河洄游（如鳊鳊）两类；③河流鱼类（如吻鲟、圆口铜鱼、铜鱼和长吻鲟等）主要生活于长江干支流的流水环境，是极少进入湖泊的种类；④湖泊定居型鱼类（如鲤、鲫等）在局部水域能够完成生活史，对环境条件的适应能力强，分布广泛，种群数量丰富（常剑波和曹文宣 1999）。

所谓洄游就是一种鱼类从一个生境向另一个生境的迁移，是其生活周期的一个环节，洄游依据动因分为产卵洄游、索饵或肥育洄游以及越冬洄游等（尼科里斯基 1962）。

随着秋末水位的下降，一些鱼类返回江河深水中越冬，一方面可抵御冬季的严寒；另一方面，方便翌年的繁殖。例如，在与长江相通的鄱阳湖，每年 10 月前，随汛期结束湖水陆续下降，至一定水位时，鲢、鳙、草鱼等集群游向长江越冬，形成一个秋季鱼汛期，它们的越冬场在上游、中游、下游直到河口（崇明）均有分布，一般位于河床的深槽或岩石深坑内。开春之后，亲鱼自越冬场所开始上溯，此时，渔民能陆续在长江中捕获到亲鱼，形成一个产卵前的鱼汛。产卵后的亲鱼又重新回到饵料较丰富的湖泊等附属水体中肥育，所以，在鄱阳湖湖口，每年 5~8 月又能捕

获到不少刚产过卵的亲鱼（刘建康和何碧梧 1992）。如果切断湖泊与河流之间的联系（如通过建闸），产漂流性卵鱼类的生存就会受到极大的威胁——湖泊中的饵料再丰富，它们因无法在那里肥育而逐渐消失，而长江中的饵料生物又十分贫瘠（特别是对食浮游生物鱼类来说），其种群也会因食物短缺而不断萎缩。

凤鲚、长颌鲚、暗色多纪鲃、鲥鱼、前颌间银鱼、中华鲟等鱼类从高盐的海域进入盐度极低的淡水中，溯河洄游距离长短不等：有些到达中下游干流或支流中产卵，如刀鲚上溯的距离较短，一般不超过洞庭湖一带，鲥鱼和暗色多纪鲃以长江三峡为界；最远的可数中华鲟，在葛洲坝工程修建之前，长途跋涉超过 2800 km，抵达金沙江下游去产卵，付出了巨大的能量代价，得到的补偿可能就是一个安全的鱼卵发育和幼鱼成长环境，因为在海洋中，存在各种各样的凶猛鱼类，鱼卵和幼鱼更易受到伤害（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976；曹文宣等 2007）。当然这也只是一种推测而已。

铜鱼和圆口铜鱼一般不进入水流缓慢的附属湖泊，其洄游是在河道内进行的。长江中的青鱼、草鱼、鲢和鳙在湖泊中肥育，在江河中产卵，产卵场从四川巴县至江西彭泽之间约 1700 km 的江段均有分布；湖泊中定居的鱼类一般不进行远程迁移，只有近岸的产卵、索饵及离岸越冬性质的迁移（曹文宣等 2007）。

二、鱼类产卵类型

鱼类产卵类型可有不同的划分方式，如可根据产卵场的特性分为：①在水生植物（水草）上产卵的类型；②石砾或沙底上产卵的类型；③在软体动物（贝壳）中产卵的类型；④在水层中产卵的类型。类型①和②通常需要卵具有黏性，类型④需要卵在水中有一定的漂浮力。

不难理解，可将鱼卵简单地地区分为浮性卵和沉性卵，也可在这两类之间加一个半浮性卵或者漂流性卵，或者将鱼卵区分为 4 类——黏性卵、沉性卵、浮性卵和漂流性卵（祁鹏志 2014）。

1. 黏性卵

多数鱼类产黏性卵，其卵粒黏附于水草（如团头鲂、三角鲂、鲤、鲫、鲢等）、砾石或其他硬物（黄尾鲴、细鳞斜颌鲴、河鲀、岩原鲤等），产卵场有些是静水水体（如附属湖泊），有些在水源系统的流水中。

产黏性卵鱼类几乎都是分批产卵，产卵期一般不少于 2 个月，分批产卵的好处在于：一次亲鱼产卵后遇到水位下跌，黏附在浅滩水草上的卵粒便会露出水面干枯而死，但另一次产卵时遇到水位稳定或上升，因而胚胎发育和仔鱼摄食的条件良好，可以弥补上一次遭受的损失；另外，分批产卵能使仔鱼在同一水体同一

时期的密度不致太大，从而保证每一批幼鱼都有充分的饵料（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。

2. 沉性卵

一些鱼类产沉性卵，无黏性、微黏性或黏性。因此，有黏性的沉性卵与黏性卵是一样的范畴。产沉性卵的鱼类很多，如胭脂鱼、稀有鮡鲫、中华细鲫、宽鳍鱮、达氏鲃、鲂、厚颌鲂、鲮、细鳞鲃、宽口光唇鱼、云南光唇鱼、瓣结鱼、白甲鱼、墨头鱼、华鲮、唇鲮、棒花鱼、麦穗鱼、四川裂腹鱼、泥鳅、大鳞副泥鳅、贝氏高原鳅、南方鲶、鲇、黄颡鱼 [图 3-1 (b)]、瓦氏黄颡鱼、长吻鮠、切尾拟鲿、短尾拟鲿、大鳍鱬、福建纹胸鮡、河川沙塘鳢、褐吻鰕虎鱼、子陵吻鰕虎鱼、中华刺鳅、暗色多纪鲃、弓斑多纪鲃等（曹文宣等 2007）。

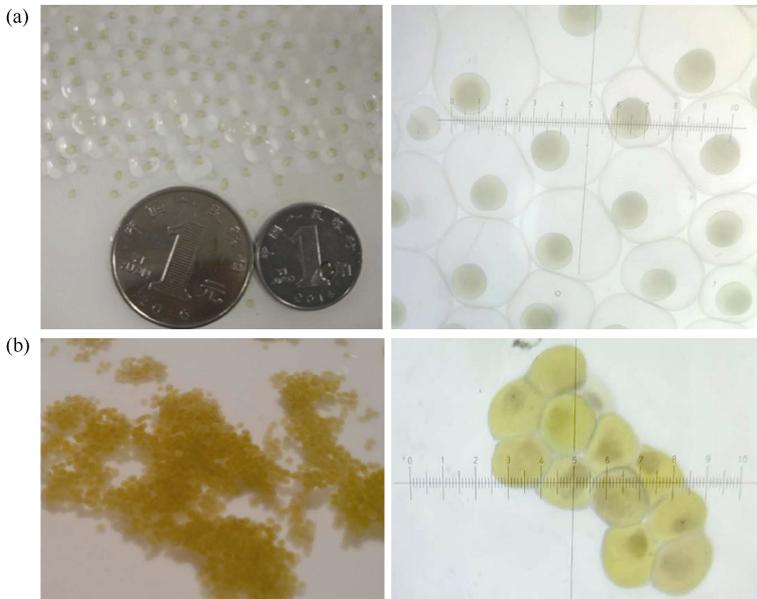


图 3-1 草鱼的漂流性卵 (a) 和黄颡鱼的黏性卵 (b) 的比较 (图片由陈峰和王也可提供)

3. 浮性卵

鲈形目的鳊、斑鳊、大眼鳊、叉尾斗鱼和圆尾斗鱼等产浮性卵，卵黄具有油球，卵的比重略大于水，随水漂流进行发育。鱧形目的乌鱧和月鱧，以及鲱形目的鲢鱼、长颌鲚、凤鲚等亦产浮性卵。

4. 漂流性卵

漂流性鱼卵的比重略大于水，卵产入水中后，卵膜吸水膨胀，形成很大的卵

周隙，在一定流速的水中不会沉底，并被水流冲击而分散于水中，随水漂流发育，孵出鱼苗。

漂流性卵可根据黏性分为两种类型：① 纯漂流性卵——卵膜无黏性，在水中卵粒分离，不黏附于其他物体上，如草鱼 [图 3-1 (a)]、长春鳊、赤眼鲮、吻鲈、蛇鲈、细尾蛇鲈等；② 微黏性漂流性卵——卵膜黏性较弱，黏附于物体上不久即脱离，顺水漂流发育，如翘嘴红鲌、银鲈、鲢条等（李修峰等 2006；段辛斌等 2008）。

漂流性卵也可根据卵膜径（鱼卵吸水膨胀后的直径）大致划分为：① 大卵（膜径大于 4.5 mm），如青鱼、草鱼、鲢、鳙等；② 中卵（膜径为 3.5~4.5 mm），如赤眼鲮、翘嘴红鲌、长春鳊等；③ 小卵（膜径小于 3.5 mm），如银鲈、蛇鲈、细尾蛇鲈、中华沙鳅等（李修峰等 2006）。对卵膜径的划分标准不同学者看法亦不尽相同，周春生等（1980）主张划分成 <3 mm、3.0~4.0 mm、4.0~5.0 mm 和 5.0~6.5 mm 4 个区段。

据不完全统计，在长江水系，一共有 40 多种鱼产漂流性卵，全部来自鲤形目，其中以鲤科最多（涵盖了半数以上的亚科），鳅科和平鳍鳅科中也有一些种类具有这一习性（附表 2）。产漂流性卵鱼类的分布涵盖整个流域，而且这一习性似乎与食性并无关系，因为在所有食性类型鱼类中，都有产漂流性卵的种类。因此，产漂流性卵现象是一种趋同进化（convergent evolution）现象，一大群鱼类，无论在进化上相距远近，在季风环境的选择压力下，产生了功能相同或十分相似的形态结构——漂流性卵，以适应相同的条件。

5. 变化的产卵方式

有研究指出，翘嘴鲌在不同地域产不同类型的卵，在丹江口水库产漂流性卵（周春生等 1980），而在长江水系的其他水域则产黏性卵（朱居宏 1962）。据报道，翘嘴鲌在黑龙江省兴凯湖翘嘴也发现产漂流性卵（李池陶等 2008；杨虹 2009）。两种卵在卵膜结构上存在很大不同，黏性卵卵膜厚，结构较为复杂；而漂流性卵卵膜薄，结构相对简单（祁鹏志 2014）。黑鳍鳊（*Sarcocheilichthys nigripinnis*）在静水中产沉性卵，在流水中产漂流性卵（曹文宣等 2007）。一些产微黏性卵的种类似乎容易在这两种不同产卵方式之间进行切换（如翘嘴鲌），因为如果卵的黏性不大，卵产出后附着于物体上不久就容易脱离，可顺水漂流发育。一般来说，产漂流性卵的习性是从产粘性/沉性卵习性演化而来。

6. 其他产卵与繁殖方式

生活在中下游浅水湖泊中的鲮亚科鱼类将卵产在软体动物的外套腔内（图 3-2），受精卵在软体动物的鳃瓣上发育，可有效地防止敌害和缺氧的威胁，产卵量虽小，

但成活率很高（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。



图 3-2 鳊鲂雌鱼将长长的产卵管探进蚌的鳃孔中产下卵粒

资料来源：侯勉

青鳉产出的卵悬挂在母体生殖孔后发育，卵粒也可能脱离母体附着在水草上发育（朱志荣 1962）。黄鳝在产卵前吐泡沫堆积成巢（图 3-3），受精卵在泡沫中发育并借助泡沫的浮力浮在水面上，亲鱼有护巢习性（曹文宣等 2007）。



图 3-3 黄鳝产卵前吐的泡沫巢

资料来源：百度百科

叉尾斗鱼具有筑巢行为，产卵前雄鱼吐出大量泡沫，形成浮于水面的“泡沫巢”，雌鱼将卵产在泡沫巢内（郑文彪 1984）。圆尾斗鱼亦有类似的产卵习性。

一些在静水环境中繁殖的凶猛鱼类（如乌鳢、月鳢和黄颡鱼等）的亲鱼有守护胚胎和仔鱼的习性，因此，成活率很高。如果不是凶猛鱼类，也没有足够的守护能力。

三、四大家鱼卵的繁殖与河流长度

1. 亲鱼的产卵行为

鲢在江水的上层产卵，发情时，雄鱼追逐雌鱼，异常活跃，或者雌雄并列露出水面，或雌雄鱼头部露出水面嬉游，不时掀起浪花。产卵时，雌鱼腹部向上，胸鳍剧烈抖动，被渔民们称之为“浮排”，据此可预报鱼苗汛期（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。

四大家鱼在长江中的产卵习性基本类似，在产卵时如果鱼体不浮露水面，习称“闷产”，如遇水位陡涨并伴雷暴雨，雌雄鱼喜在水的上层追逐，呈现仰腹颤抖的“浮排”产卵景象。江面宽阔的中下游江段，江水缓慢上升，适合“闷产”，而在峡谷河段，江面狭窄，水流湍急，容易发生“浮排”产卵现象。但产卵方式也与种类的性情有关，即性情活泼的鲢、草鱼常在江水表面进行“浮排”产卵，而性情温和的青鱼和鳙则习惯于在水下“闷产”。

2. 四大家鱼卵的漂浮性

在水温 18.5~32.5℃的条件下，草鱼、青鱼、鲢和鳙鱼卵的相对比重为 1.0014~1.0031（通过配制不同浓度的 NaCl 溶液），静水沉降速度为 0.65~0.96 cm/s，当流速为 0.25 m/s 时，草鱼、青鱼、鲢、鳙鱼卵的悬浮率分别为 89.1%、89.1%、89.3% 和 81.0%，因此，0.25 m/s 是四大家鱼鱼卵漂流的下限流速（唐明英等 1989）。

野外调查结果也与之吻合：水流速为 0.17~0.26 m/s 时，长江中可捞到家鱼卵（中国科学院等 1969）。当水流速为 0.23 m/s 时，草鱼卵可在河流孵化（Leslie et al. 1982）。在丹江口水库的库尾，当流速为 0.22 m/s 时，表底层均有油鲢、银鲴鱼卵分布，而当表层流速降到 0.15 m/s 时，表层水中已无鱼卵，水的中层鱼卵也很少，大部分已沉入库底（周春生 1980）。家鱼人工繁殖时所用的产卵池的流速大多数>0.25 m/s，虽然少数下限到了 0.1 m/s（表 3-1）。

表 3-1 各地区产卵池的面积与流速

单位	面积/m ²	流速/(m/s)
江苏泰州鱼苗场	100	0.2~0.5
上海青浦养殖场	150	0.3~0.66

续表

单位	面积/m ²	流速/(m/s)
河北省水产局	66	0.25~0.4
广东兴宁鱼苗场	110	0.1~0.3
南海水产研究所	178	0.3~0.6

资料来源：钟麟 1965。

3. 四大家鱼自然产卵场的分布与产卵时的流速

四大家鱼产卵场的分布范围很广，长江流域、珠江流域、韩江、南渡江、淮河、卫运河、松花江、钱塘江等均有分布。

20 世纪 60 年代中国科学院水生生物研究所与大专院校合作调查，发现在长江干流四川巴县至江西彭泽长达 1700 km 江段上，具有一定规模的产卵场有 36 个（附表 3），年产鱼卵 1150 亿粒，其中尤以宜昌产卵场的规模最大。由于荆江河道裁弯取直，1969 年以后新码头、新峡口和下车湾三个产卵场成为静水的牛轭湖而消失了。四大家鱼的鱼苗/鱼卵在各个江段的组成存在差异，鱼苗/鱼卵资源量：草鱼>青鱼>鲢>鳙。

四大家鱼产卵场在长江中上游地区的广泛分布（从峡谷到平原河谷）就意味着产卵时的流速会十分宽泛，因长江不同江段的流速差异很大，如三峡江段在洪水季节的流速可达 5~7 m/s，而长江中下游的平均流速为 1 m/s 左右（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。

4. 四大家鱼的产卵刺激、胚胎发育与仔鱼生长

1) 流水刺激

四大家鱼的产卵群体在适宜的水文条件刺激下，一般经过 20~30 h，在产卵场的江面就会出现生殖行为，雌雄鱼各自将体内的卵子和精子同时排出（钟麟 1965）。

家鱼从第 IV 成熟期过渡到产卵状态（第 V 期）需要一定的流速刺激。据调查，各河川产卵场在四大家鱼亲鱼产卵时的流速并不一致，如西江为 0.67~2.22 m/s，长江宜昌江段为 0.78~2.26 m/s，浦阳江为 0.8~1.18 m/s，四川长寿湖水库为 0.45~1.1 m/s，湖北熊河水库为 0.6~2 m/s，因此，最小流速为 0.45 m/s。但流速只是生殖生态综合条件中的主要因素之一。在长江中游监利江段监测到的四大家鱼产卵时的流速除了一次为 0.57 m/s 外，其余均在 0.7~1.1 m/s 的范围之内（表 3-2）。

表 3-2 监利江段四大家鱼产卵场的环境条件与产卵量

年份	日均水位涨幅/ (m)	流速/ (m/s)	水温/°C	日均产卵量/ $\times 10^7$ 粒
1997	0.26	0.83	21.2	31.33
	0.39	0.94	20.7	2.95
1998	0.38	0.77	20.5	4.25
	0.29	0.77	21.3	11.27
1999	0.31	0.74	20.4	5.63
	0.15	0.82	21.2	3.16
	0.31	1.09	23.1	10.63
2000	0.15	0.70	21.6	3.45
	0.48	0.92	21.4	41.32
2001	0.36	0.74	20.1	11.69
	0.40	0.84	21.3	17.09
2002	0.43	0.74	20.5	10.80
	0.34	1.05	20.8	17.17
2003	0.23	0.57	22.0	2.97
	1.05	0.80	23.7	0.96
2004	0.45	0.97	18.8	0.29
	0.35	1.08	22.3	3.18
2005	0.41	0.78	19.8	0.40
	0.09	0.78	22.5	0.76
2006	0.12	0.76	23.3	1.61
	0.15	0.74	25.8	2.38

资料来源：邱顺林等 2002；段辛斌等 2008。

很显然，四大家鱼产卵对流速的要求范围可能并不那么严格，因为它们产卵时的流速范围较大，如 0.33~1.50 m/s 均可产卵，而长江大部分江段均可满足这样的要求（柏海霞等 2014）。

2) 涨水刺激

水位变化或山洪暴发可能是刺激亲鱼成熟的主要因素之一，虽然也不是绝对必需的因素。各河川产卵场在亲鱼产卵时的水位涨幅颇大，如宜昌（长江）为 0.5~1.41 m，西江为 1.33~2.67 m，浦阳江为 2~3 m，湖北熊河水库为 3~4 m。另据中国科学院水生生物研究所在长江产卵场的调查发现，如果产卵场附近山洪暴发，即使水位不涨，家鱼也会被刺激产卵。

野外调查发现，四大家鱼在江水起涨后 0.5~2 天开始产卵，而当水位下降或流速减小时，产卵即行停止，即使有少量平水或退水时产卵的现象，亦可能是家鱼先受了涨水刺激的结果（易伯鲁等 1988，唐明英等 1989）。

在四大家鱼的繁殖季节，每次产卵时流速都要增大 0.2~1.0 m/s（易伯鲁等 1988），因此，四大家鱼产卵场内流速的适当加大，可能是诱发它们产卵的重要外界因子之一。例如，监利江段四大家鱼的苗汛紧随了涨水过程，三年期间，共监测到四大家鱼苗汛 7 次，5 月、6 月该江段江水水温 18.0~24.0℃，江水水位涨幅 0.73~6.92 m，平均涨幅 3.77 m（表 3-3），但这也仅是一种趋势的同步性，即便具有因果性，也很难进行定量预测。

表 3-3 监利江段涨水与四大家鱼苗汛的关系

年份	涨水日期(月.日)	水位/m	水位增幅/m	流量/(m ³ /s)	苗汛日期(月.日)	卵苗径流量/万尾
1997	5.09~5.21	27.34~30.51	3.17	8550~15 100	5.20~5.24	156 674.1
	6.06~6.15	28.13~31.6	3.47	9900~20 200	6.11~6.14	11 819.1
1998	5.01~5.15	25.58~30.86	5.28	5320~14 800	5.14~5.31	72 175.8
	6.06~6.30	28.69~35.61	6.92	9300~24 600	6.11~6.27	191 526.7
1999	5.16~5.26	27.67~30.78	3.11	9200~14 200	5.18~5.31	73 130.7
	6.06~6.11	29.99~30.72	0.73	10 400~15 700	6.10~6.20	34 797.7
	6.17~6.30	30.38~34.43	4.05	13 700~30 600	6.23~6.30	85 077.4

资料来源：邱顺林等 2002。

3) 胚胎发育的适宜温度

家鱼在自然产卵时的温度条件在不同的地区有所不同，在西江一般是 25~30℃，浦阳江是 20~28℃，但温度并不是诱发家鱼成熟产卵的主要因子。

四大家鱼胚胎发育的适温范围为 18~31℃，如鲢的胚胎在水温 10℃时，孵化历程为 61 h，在 22℃时，需要 35 h，而在 28℃时，只需 18 h。但在 16℃时，成活率很低，17℃时，成活率也不高，但当水温升到 32℃时，胚胎发育不正常，死亡率和畸形率均极高，水温在 31℃时，仔鱼阶段出现大量死亡现象。

4) 胚后发育与仔鱼的生长速度

刚孵出的草鱼苗全长 5.2~5.7 mm，肠管未通，不能摄食，营养依赖卵黄，鱼只能侧卧，借助水流飘荡，若进入流动极缓的水或静水中，就会侧卧水底而死。草鱼的胚后发育需 3~4 天完成，分为三期：①垂直运动期——鱼体全长 7 mm 左右，虽侧卧飘荡于水中，但垂直上游的能力增强，即使沉入水底，已有较强摆脱死亡困境的能力；②水平运动期——出现鳔，胸鳍发育的已能缓慢地前后划动，鱼体由侧卧转为水平，慢慢做水平运动，卵黄已大部分被鱼体吸收，所剩无几，全长接近 8 mm；③正常游泳期——前期，全长 8.1~8.5 mm，肠道贯通，但尚不能进食，卵黄最后被吸收完，鳔内充气更加明显，能做平稳的游泳，此时已初具生活能力，后期，全长 8.5~9.3 mm，消化器官和运动器官等进一步发育，可摄食

轮虫和枝角类等浮游动物（倪达书和汪建国 1999）。

四大家鱼仔鱼的生长速度（表 3-4）对它们在河流中的生存至关重要，当然这也要看河水的流速，流速越快越需要较大的仔鱼才能逆水游泳，以免它们被冲入大海，但要定量地评估却并不容易。对长江中的四大家鱼来说，彭泽似乎是它们产卵场离河口的极限位置，但这里的产卵量其实已经很少了，再往下去产卵可能就会使仔鱼遭遇葬身大海的厄运了。

表 3-4 鲢、鳙和草鱼仔鱼生长比较（全长：mm，体重：g）

日龄	鲢				鳙				草鱼				
	全长	体重	平均每日增长		全长	体重	平均每日增长		全长	体重	平均每日增长		
			全长	体重			全长	体重			全长	体重	
20	4.7	1.08			4.35	0.9			27	5.7	1.48		
60	17.3	55.3	0.31	1.4	24.2	207.5	0.50	5.16	74	21.6	157	0.34	2.04
120	31.8	420	0.24	6.78	37.6	633	0.23	7.1	134	37.2	661	0.26	8.04

资料来源：钟麟 1965。

5. 四大家鱼分布的河流长度

四大家鱼的自然分布与河流的长度、水文特点和饵料基础等因素存在一定的依存关系。首先，它们分布的河流，一般长度都在 200 km 以上，或流域内有很多湖泊，只有这样才能保证其漂浮性的受精卵和仔鱼不致被冲入海中，种族才得以保存，因为一般从精子开始到仔鱼能主动游泳约需 70 h，而产卵时一般流速为 3 km/h（或 0.83 m/s）左右，但大河的支流和水库则不受此限制（钟麟 1965）。

一方面，由于胚胎发育与仔鱼的生长受到水温的显著影响与限制；另一方面，各个河流的水文状态影响仔鱼的逆水游泳能力，当然还有其他因素，如饵料丰度等，这些都会影响四大家鱼在不同地理区域对产卵场位置的选择，因此它们的生存对河流长度的要求也会不尽一致。这些都是决定四大家鱼自然分布的重要因素。

总之，通过对鲢、鳙和草鱼在各种河流的天然产卵场的调查发现，①能进行自然繁殖的河流其长度需超过 200 km 及流速为 0.45~2.26 m/s，这样可以保证沉性鱼卵浮性和孵化及仔鱼有足够的时间发育到能主动游泳以避免被冲入海中；②快速的水位上升（0.5~4 m）或山洪暴发也是产卵的重要刺激因素；③而产卵期间的其他物理化学条件则较为宽松：河流宽度 8~600 m，河流深度 2~30 m，透明度 10~15 cm，水温 18~30℃，溶氧 5~8 mg/L，pH 7.5~8，等等（钟麟等，1965；湖北省水生生物研究所鱼类研究室，1976）。

事实上，在亚洲东部季风区的诸多水系，均可满足四大家鱼的生存：鲢——北界至中俄交界的黑龙江，南界分布到中越交界的红河，其间分布于乌苏里江、松

花江、辽河、海河、黄河、长江、钱塘江、珠江、海南岛南渡江等流域；鳊——北仅分布到海河平原，南至珠江平原，其间分布于黄河、长江、钱塘江等平原；青鱼——北至黑龙江，南到珠江平原，其间分布于乌苏里江、松花江、海河、黄河、淮河、长江、钱塘江、珠江等流域；草鱼与青鱼的分布区类同（李思忠和方芳 1990）。

四、产漂流性卵鱼类的生态适应

在长江产漂流性卵的鱼类，产卵行为与汛期水文密切相关，像青、草、鲢、鳊这些鱼类在自然条件下，其性腺在静水环境中可以发育，但成熟产卵却需要在江河流水环境中进行。这些鱼类在生殖季节并不是连续不断地产卵，一般是集中产卵（持续 2~7 日），大量产卵的时间与江水的上涨相一致，即伴随涨水过程的流速增加是刺激家鱼产卵的生态条件之一。产漂流性卵的鱼类，受精卵在漂流过程中发育孵化，水位波动对其正常发育并没有什么影响，但是在长江的流水环境中，饵料生物一般较湖泊静水水体要少，索饵场也因水位的经常波动而不稳定，因此，也有一些产漂流性卵鱼类（如鲢、长春鳊）具有分批产卵的特点，这固然是对汛期水文特点的适应，但可能也是对饵料保障不稳定的一种适应（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。

产漂流性卵鱼类的生态优势：①在水位经常变动的条件下，卵在水中漂流比卵黏附在固定的物体上要优越，因为后者可能由于水位的下降而露出水面，从而导致发育中的胚胎死亡；②受精卵在水色浑浊的江水中发育，也可以减少敌害的侵袭，从而提高幼鱼的存活率（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。这是一种优势，但大多数鲤科鱼类并不产漂流性卵，它们似乎能通过其他优势来弥补这种不足。

漂浮卵孵出的仔鱼，顺洪水进入附属水体（通江湖泊、支流、港汊）和江湾缓流以及漫滩和洼地摄食，产卵后的亲鱼，也能主动游集到饵料生物丰富的附属水体觅食，恢复机体，随着秋季洪水的退去，附属水体水位下降，产过卵的亲鱼和接近成熟的个体，又陆续回到干流深处越冬。这些江—湖洄游鱼类一般产卵量大（每尾雌鱼可产十多万乃至 500 万粒卵），产卵场范围大，胚胎随水漂流，发育孵化遭受敌害较少，因此它们在长江干流中有好些是优势种（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。在长江上游（宜宾、合江及江津江段），产漂流性卵鱼类占渔获物总重量的 66%（高天珩等 2013）。

五、大坝建设对长江干流四大家鱼产卵的影响

1. 葛洲坝

1981 年在重庆到武穴的 1520 km 江段内，共监测到四大家鱼产卵场 24 处（附

表 4)。在宜昌以上江段中，除过去调查所发现的产卵场全部存在外，还新发现高家镇和奉节两个产卵场。高家镇产卵场位于原涪陵和忠县产卵场之间，在涪陵下 72 km、忠县上 43 km 处，但产卵规模较相邻的两个产卵场均小得多。奉节产卵场在原云阳和巫山产卵场之间，规模和范围也都较前、后相邻的两个产卵场小得多（长江四大家鱼产卵场调查队 1982）。

原宜昌产卵场为三斗坪至十里红江段（范围 46 km），被葛洲坝隔成坝上和坝下两段。宜昌坝上产卵场为三斗坪至南津关（范围 35 km），而南津关至大坝间的一段，未再见产卵场。宜昌坝下产卵场为大坝下至宜都之间，包括原宜昌产卵场下端的十里红及原虎牙滩等产卵场在内，因而规模和范围也都较大。

宜昌产卵场以下到武穴江段有 12 个产卵场。这 12 个产卵场中，除新发现的一个白洋产卵场外，其余都是过去已知的。与以往资料相比较，这一江段产卵场数量减少较多，如陆溪口、燕窝、大咀、白浒山、团风、圻州、富池口等产卵场均未监测到。未测到的产卵场中，除白浒山产卵场的规模和范围都较大外，其余均是些较小的产卵场。过去所确定的 36 个产卵场，尚有九江、湖口和彭泽三个产卵场不在本次调查江段范围之内。

长江干流四大家鱼产卵场 1981 年的总产卵规模约 173 亿粒（葛洲坝以上江段占 36.4%），仅为 20 世纪 60 年代产卵总量的 15.7%。1981 年新增了 3 个产卵场，但原来的多个产卵场均未监测到。

为何 1981 年的四大家鱼资源量仅为 1964/1965 年的 15.7%？这可能并不能简单地归因于葛洲坝，因为建坝之前长江干流的渔业产量已处于持续的下降通道之中，当然捕捞产量不像鱼卵资源量下降的幅度这么大。

1986 年对长江干流四大家鱼产卵场进行了再次调查（余志堂等 1988），发现重庆到湖北的田家镇共有 30 个产卵场（附表 5），重庆至三斗坪江段，分布有 11 个产卵场，葛洲坝下游宜昌至城陵矶江段有 11 个产卵场，城陵矶至武穴江段有产卵场 8 处，此外，富池口、九江、湖口和彭泽 4 处也有规模较小的产卵场。

四大家鱼产卵场并非固定不变，即使某一水域原来并不适合家鱼产卵，后由于河床地形、河道地形、水流条件等的改变，也可以转变为适合家鱼产卵；相反，如果原有产卵场的条件受到了破坏或干扰，就会影响家鱼的繁殖，甚至从此不再适于家鱼产卵（陈永柏等 2009）。

2. 三峡大坝

三峡大坝的修建对四大家鱼产卵场的空间格局产生了显著影响，特别是对坝区及其上游江段。2005~2007 年对江津、监利、武穴及燕窝等断面的调查发现，在三峡库区，四大家鱼产卵场消失，在三峡库尾的江津以上江段则形成了新的产卵场，主要位于合江—弥陀江段（油溪以上 80~120 km），即原库区江段产卵场

已上移（钮新强和谭培伦 2006）。

2007~2008年，以重庆上游的珞璜为基准断面的调查发现，在长江上游珍稀特有鱼类保护区，发现了稳定的家鱼产卵场，大多数鱼卵产自珞璜上游自江津市到合江市、重庆朱沱—泸州弥陀范围内（姜伟 2009）。

四大家鱼新的产卵场的形成不足为奇，因为三峡蓄水后相当于形成了一个巨大的人工湖，在上游江段，适合于产卵的水文条件和河流长度都是足够的，而且漂流到库区的仔鱼还有丰富的饵料（这与在长江下游可能会葬身海水的境况是完全不同的），四大家鱼在洞庭湖和鄱阳湖上游的入湖河流（湘江、赣江）中能够产卵就是同样的道理。因此，三峡成库之后，形成了一个新的有利于浮游生物食性鱼类（鲢、鳙）的生存环境，但不利于喜激流环境鱼类的生存。

三峡截流之后，长江中游监利江段四大家鱼鱼苗径流量有显著下降（图 3-4），但是否所有产卵场都如此并不确定，也许只是产卵场的空间格局发生了变化。

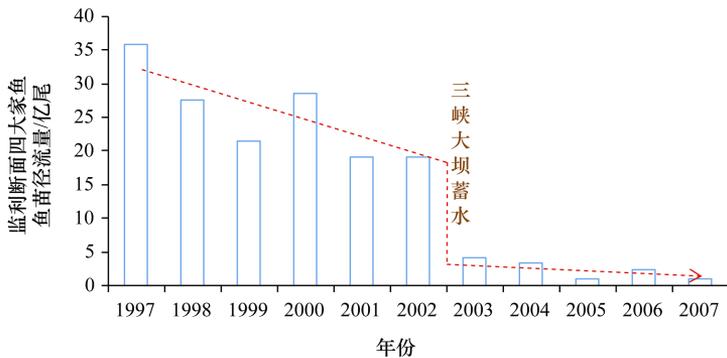


图 3-4 长江中游监利江段四大家鱼鱼苗径流量

资料来源：朱滨等 2009

四大家鱼的自然繁殖场所其实十分广泛——长江、珠江、韩江、淮河、钱塘江、卫河、黑龙江等，在大河流的支流上也有产卵场的分布。三峡大坝建成后库区原有的四大家鱼产卵场消失，在库尾以上江段形成新的产卵场也在预料之中，否则鱼卵到达库区之前的漂程不够（曹文宣等 1988；余志堂等 1981）。由于长江足够长，因此，大坝建设（葛洲坝、三峡大坝）不会给长江中的青、草、鲢、鳙带来灭顶之灾。但对需要回到海洋中的中华鲟来说，切断它们返回金沙江中繁殖的洄游通道无疑是毁灭性的，因为葛洲坝下的产卵条件（特别是底质）似乎并不那么合适。

第四章 长江的鱼类与渔业资源

长江水系现有鱼类 400 余种（亚种），其中纯淡水鱼类 350 种左右，物种多样性居全国各水系之首。长江有特有鱼类 156 种，占长江纯淡水鱼类种类数的 44.6%，在这些特有鱼类中，124 种分布于上游；23 种分布于中下游；9 种分布于全江；长江水系有 9 个特有属，其中 8 个属分布于长江上游，仅似刺鲃属（*Paracanthobrama*）分布于中游、下游（曹文宣 2011）。长江流域的天然捕捞产量占全国淡水鱼总捕捞产量的 63%~64%，是我国淡水鱼最重要的产区（余志堂 1988a）。

长江中下游地区有大小湖泊数以千计，面积超过 23 000 km²（杨锡臣等 1982），与长江干支流连通成为一个有机联系的水网系统，为各种类型的鱼类提供丰富的饵料、繁殖和栖息之地，特别是一些江湖洄游性鱼类具有个体大、生长快等特点，是天然渔业乃至人工养殖的主要对象，如青、草、鲢、鳙四大家鱼。

一、鱼类分布

长江上游干流和主要支流，均流经高山峡谷和丘陵地区，水流湍急，因此，上游的大多数鱼类终生生活于流水环境中，其形态结构、生理机能和生态习性均与栖息的流水环境相适应。上游鱼类主要是一些在流水环境中营底栖生活的种类，摄食着生硅藻和丝状藻类、蚌游目、襁翅目、毛翅目的幼虫或稚虫及淡水壳菜等，许多种类下颌具有锐利的角质边缘，或是下唇、触须发达，利于刮食着生藻类或吸食底栖无脊椎动物，有些种类的胸腹部或口唇部形成吸盘，可牢固地吸附于石块上面，不致被水流冲走；还有一些种类则是经常栖息于石缝或洞穴之中（余志堂 1988a）。

在金沙江源流段以及川西高原的一些水系，海拔高，气候寒冷，水流湍急，主要分布有裂腹鱼和条鳅，它们通常在峡谷河道的激流中生活，并不下降到中下游。在川西高原和川东盆地交接的低山地带、汉江上游和洞庭湖水系的上游地区，生活着一些适应水急石滩多的溪河环境的鱼类，如唇鲮、中华纹胸鲮和平鳍鳅科鱼类。长江通过三峡之后，进入中下游平原地区，这里江面宽阔，水流平缓，沿岸湖泊星罗棋布，水质肥沃，饵料生物丰富，且受季风气候的影响，水位剧烈波动，这里生活的鱼类种类繁多，凶猛鱼类如鳢、鲟、长吻鮠、鮠等，小型鱼类如鳊虎、鳊、麦穗鱼、青鳉、鮡、鲮等，还有背鳍和胸鳍长有硬刺的黄颡鱼，背鳍

和臀鳍长有硬刺的鲤、鲫，以及产漂流性卵的青、草、鲢、鳙，它们在湖泊中肥育，在长江干支流中越冬与生殖。在河口地区几乎都是浅海鱼类和咸淡水鱼类，如鲌（*Tenualosa reevesii*）、前颌间银鱼（*Hemisalanx prognathus*）和暗纹东方鲀（*Takifugu obscurus*）等（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。

在长江上游的特有鱼类中，也有一些种类，如圆口铜鱼等，是产漂流性卵的鱼类，产出的卵须经 2~3 天才能孵化，初孵仔鱼也要经过 2~3 天才能具备主动游泳能力，因此，在上游天然河道中一般须漂流 700 多千米（曹文宣 2008a）。

二、主要经济鱼类

长江是我国最重要的淡水渔业产区，渔产量占全国淡水鱼产量的约 60%；在我国主要的 35 种淡水养殖对象中，有 26 种自然分布于长江，包括传统的养殖品种——青鱼、草鱼、鲢、鳙。长江主要经济鱼类的食性多种多样（表 4-1），构成了极为复杂的食物网络，实现了对自然食物资源的充分利用，也是淡水养殖的基础。主要经济鱼类性成熟的年龄、体重和体长也差异很大（表 4-2）。

表 4-1 长江主要经济鱼类的食性

食性	鱼名
浮游植物为主	鲢、华鲮、银鲌
着生藻类为主	软刺裸裂尻鱼、齐口裂腹鱼、短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、逆鱼、细鳞斜颌鲴、墨头鱼、青波、四川突吻鱼
水生高等植物及其碎屑为主	草鱼、长春鳊、三角鲂、团头鲂、黄尾鲴
浮游动物为主	长颌鲚、短颌鲚、银鱼、鳊、宽鳍鱮、吻鲈、鳙
底栖无脊椎动物为主	中华鲟、长江鲟、胭脂鱼、重口裂腹鱼、短鳍结鱼、花鲢、铜鱼、圆口铜鱼、蛇鲈、华鲮、唇鲮、鳊、沙鳢、青鱼、黄鳊、黄颡类
杂食性（包括浮游生物、水生昆虫、水生高等植物及其碎屑）	鲤、鲫、赤眼鲮、泥鳅、餐条、岩原鲤
鱼为主，也包括甲壳动物和水生昆虫	白鲟、红鳍鲌、青梢红鲌、尖头红鲌、拟尖头红鲌、蒙古红鲌、翘嘴红鲌、鲸、鳢、河鲀、长吻鲈、鳊、乌鳢、鳊类

资料来源：湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976。

从整个长江流域鱼类来看，以水生昆虫为食的占 25%，以附着藻类和小鱼虾为食的分别占 21%和 20%，以软体动物和浮游动物为食的各占 13%。从上游至河口，以浮游动物、小鱼虾为食的鱼类比例逐渐增加，而以附着藻类、水生昆虫为食的鱼类比例则逐渐减少，但杂食性、软体动物食性的鱼类，以及浮游植物食性、水生高等植物食性鱼类的比例从上游至下游变化趋势不明显（丁宝清和刘焕章

2011)。

我国四大家鱼的养殖历史悠久，大约在唐代初期，江（如长江、珠江）边的百姓在鱼类繁殖季节，用简单的方法捕起浅水地带的鱼苗，放养到池塘中去。江中鱼苗一般有数十种，大多数纯流水生活鱼类的鱼苗无法在池塘中生长，就逐渐选出了草鱼、青鱼、鲢、鳙等几种主要饲养鱼；到了宋代（960~1279年），便有了关于草鱼、青鱼、鲢和鳙饲养程序的详细记载（伍献文和饶钦止 1961）。

据统计，2011年我国淡水养殖产量 24 729 万 t，其中大宗淡水鱼（青鱼、草鱼、鲢、鳙、鲤、鲫、鳊、鲂）养殖产量 16 965 t，占 68.7%，养殖产量最大的前几种鱼为草鱼（18.0%）、鲢（15.0%）、鲤（11.0%）和鳙（10.8%）（戈贤平 2013）。

表 4-2 长江主要经济鱼类性成熟的年龄、体重和体长

种类	年龄/a	体重/kg	体长/cm
青鱼	4~5	13~15	90
草鱼	4~5	5~7	76~90
鲢	3~4	5	65
鳙	4~5	10	85~110
鲤	2	0.8~1.0	25~30
鲫	1	0.1	8~9
鳊	2	0.3	25
鲂	2	0.45	26
黄尾鲮	2	0.2	18
细鳞鲮	2	0.3~0.5	21~27
铜鱼	3~4	0.5~0.6	28~33
圆口铜鱼	4~5	1.0~1.5	32~36
乌鳢	2	0.4	29
鳊	2	0.5~0.8	30~32
黄颡	2	0.10~0.15	15~18
长吻鮠	4~6	2.5~3.3	47
凤鲚	2~3	0.2~0.35	32~35

资料来源：汪亮等 2007。

三、天然鱼苗的分布与组成

1. 鱼苗的空间分布

天然鱼苗在同一个江段的水平分布极不均匀，这使得对长江干流鱼苗资源量的准确评估变得困难。据常剑波（1995a）报道，在 1992~1993 年的调查中，洪湖北岸采集点的鱼苗总密度高达 7.59 尾/m³，而南岸仅有 0.46 尾/m³，两者相差 16.5

倍。鱼苗密度与离岸距离密切相关，后者又与流速关联。例如，在 1992 年的调查中，当离岸 3 m 时，流速 0.138 m/s，鱼苗总密度高达 20.66 尾/m³，而当离岸 80 m 时，流速增加到 1.5 m/s，鱼苗总密度仅有 0.16 尾/m³（图 4-1）。这表明，长江干流中孵出的鱼苗倾向于在近岸的环流环境中聚集。

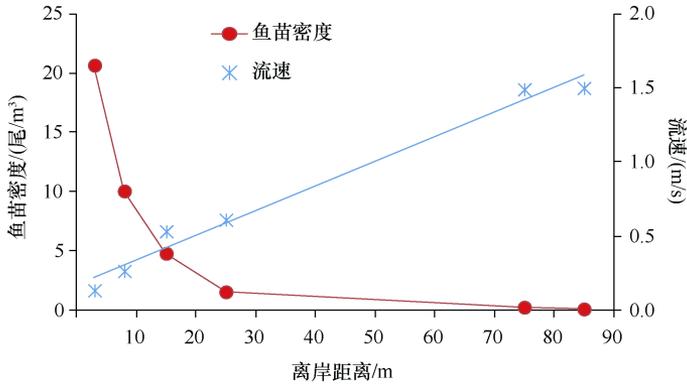


图 4-1 洪湖江段 1992 年离岸不同距离及流速下的鱼苗密度
（根据常剑波等 1995a 的数据绘制而成）

由于不同年份之间的气候与水文条件的不同，即便是在同一地点采集鱼苗，密度可能也相差很大。在常剑波等（1995a）于 1993 年进行的调查中，离岸 18 m 处的鱼苗密度高于离岸 15 m 处，这是由于在 18 m 处采集点下游约 20 m 处有一个小趸船阻挡水流，使该点的流速相对下降，比其左右采集点均低，因而鱼苗相对集中（图 4-2）。如果比较图 4-1 和图 4-2 则不难看出，1993 年的鱼苗密度要远高于 1992 年的鱼苗密度。

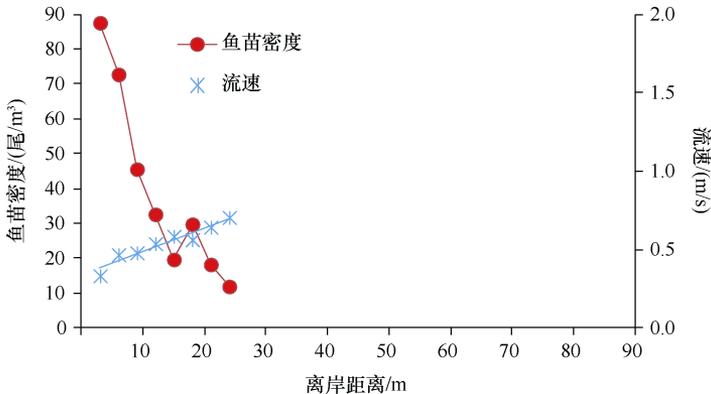


图 4-2 洪湖江段 1993 年离岸不同距离及流速下的鱼苗密度
（根据常剑波等 1995a 的数据绘制而成）

鱼苗的垂直分布也不均匀，以表层 0.25 m 处的数量最多，分别为 1.55 m 和 2.55 m 处的 2.8 倍和 3.5 倍，但种类构成变动不大。例如，江湖洄游鱼苗占总鱼苗的百分比为 17.5%~18.9%（图 4-3）。

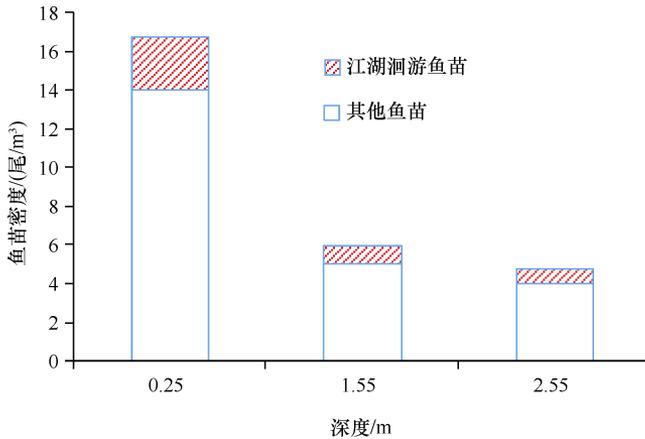


图 4-3 洪湖江段不同深度的鱼苗密度（根据常剑波等 1995a 的数据绘制而成）

2. 四大家鱼的相对比例

在四大家鱼的鱼苗中，草鱼和鲢似乎占有优势地位，鳙的比例一直不高，青鱼在 20 世纪 60 年代长江下游地区的鱼苗中曾占据优势，近十多年的比例维持在较低的水平（表 4-3，图 4-4）。

表 4-3 长江干流四大家鱼鱼苗的相对比例

年份	地点	草鱼	青鱼	鲢	鳙	文献
1964 (4 月下旬至 5 月上旬)	宜昌	86	6	8	0	湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976
	城陵矶	52	17	17	14	
	黄石	33	12	48	7	
1965 (5 月上旬)	宜昌	71	8	21	0	长江四大家鱼产卵场调查队 1982
	城陵矶	30	17	46	7	
	黄石	27	35	36	2	
1981	万县	93.33	6.67	0	0	长江四大家鱼产卵场调查队 1982
	秭归	61.99	32.09	5.61	0.31	
	宜昌	61.99	32.09	5.61	0.31	
	荆沙	61.01	38.52	0.28	0.19	
	监利	68.97	21.50	5.68	3.85	
	阳逻	51.97	22.98	4.71	20.34	
	武穴	33.03	38.39	14.29	14.29	

续表

年份	地点	草鱼	青鱼	鲢	鳙	文献
1981	宜都	56.7	43.1	0.2	<0.01	中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991
	监利	47.9	42.8	2.6	6.7	
1986	宜都	62.8	37.15	0.05	0	常剑波等 1995a
	监利	61.4	29.3	2.5	6.3	
1992	新堤	43.23	47.44	4.88	4.45	邱顺林等 2002
	新堤	48.29	41.92	5.10	4.69	
1997	监利	67.52	21.44	2.64	8.4	段辛斌等 2008
1998	监利	67.67	23.96	1.27	7.1	
1999	监利	85.36	12.31	0.26	2.17	李世健 2011
2003	监利	60.21	11.86	21.82	6.13	
2004	监利	52.24	8.98	36.84	1.94	李世健 2011
2005	监利	24.52	4.25	66.11	5.12	
2006	监利	35.2	3.72	59.91	1.17	李世健 2011
2008	监利	45.69	0.65	53.58	0.08	
2009	监利	17.34	0.07	80.52	2.07	李世健 2011
2010	监利	27.78	0.05	72.15	0.02	

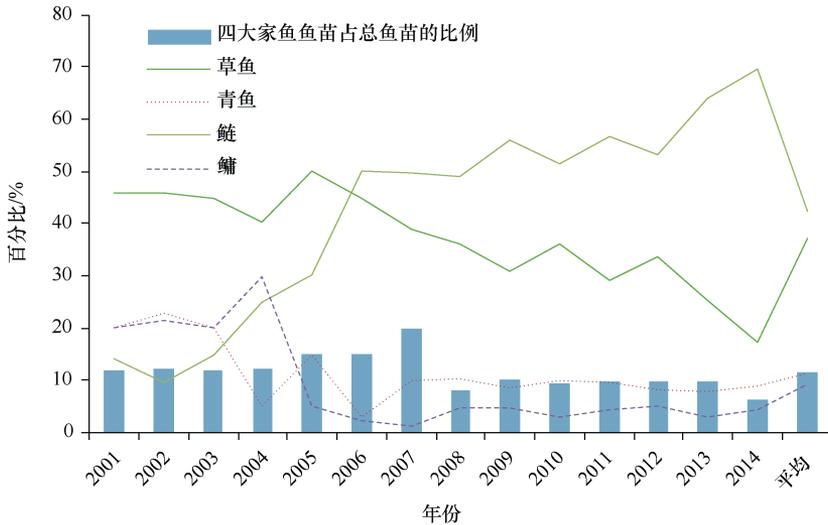


图 4-4 长江中游瑞昌江段 2001~2014 年四大家鱼鱼苗捕捞组成 (根据贺刚等 2015 的数据绘制而成)

在 20 世纪 60 年代, 长江中的鳙苗仅占四种家鱼鱼苗的 4%~10%, 不及鲢苗的 1/3 (湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。在长江干流中四大家鱼天然鱼苗相对丰度的这种巨大差异似乎与它们的绝对怀卵量并无关联 (图 4-5, 附表 6), 因为这四种鱼在特定体长范围内的绝对怀卵量是旗鼓相当的, 因此, 天然鱼苗的

差异可能主要是由亲鱼群体的相对比例所决定的（表 4-4）。或者反过来说，鱼苗的丰度也反映了亲鱼的相对丰度。

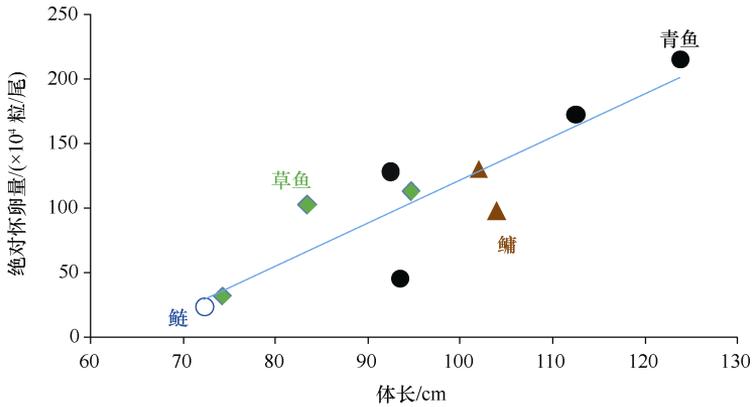


图 4-5 长江上游、中游四大家鱼亲鱼体长与绝对怀卵量之间的关系
（根据长江四大家鱼产卵场调查队 1982 的数据绘制而成）

表 4-4 长江不同江段采集到的四大家鱼亲鱼数量百分比（1981 年）

江段	尾数	草鱼/%	青鱼/%	鲢/%	鳊/%
万县—秭归	31	71.0	19.3	6.5	3.2
宜昌—监利	107	37.4	33.6	18.7	10.3
阳逻—武穴	33	30.3	45.4	18.2	6.1
平均		42.1	33.3	16.4	8.2

资料来源：长江四大家鱼产卵场调查队 1982。

3. 四大家鱼鱼苗在总鱼苗中的比例

1981 年对长江上游—中游的万县、秭归、宜昌、荆沙、监利、阳逻和武穴等断面的鱼苗量与组成进行了调查，加权平均来看，四大家鱼仅占 4%（表 4-5）。

表 4-5 长江上游、中游各断面鱼苗的组成（1981 年）

站点断面名称	采集日期（月.日）	总苗数/尾	四大家鱼/%
万县	5.2~7.4	935	1.6
秭归	5.2~7.5	2091	15.35
宜昌	4.22~7.5	18 978	23.89
荆沙	4.21~7.5	25 371	15.70
监利	5.1~7.5	17 326	2.85
阳逻	4.21~7.5	230 052	1.05
武穴	4.26~7.1	4292	2.61

资料来源：长江四大家鱼产卵场调查队 1982。

河口地区渔业中，几乎全部为洄游性鱼类或咸淡水鱼类，如在崇明的渔业中，主要是鲢鱼、凤尾鱼、河豚、银鱼、鳊鱼、鲥鱼、赤缸等种类；②在长江下游洄游性鱼类占主要成分，如江苏省渔业中，鲢鱼占 50%，鲥、河豚、鳊鱼占 10%~20%，纯淡水鱼类（鲤、青、草、鲢、鳊、鲮等）约占 30%；③在武汉市长江捕捞区的渔获物中，鲤占 24%，草、青、鲢、鳊占 15%，鲮、鳊、鳊占 12%，其他为鲫、鳊、乌鱼、鳊鱼、黄颡鱼等；④重庆市渔业社在长江捕捞的渔获物中，铜鱼约占 30%，鲤鱼和鲥鱼各占 15%，长吻鲮占 10%，其他为岩原鲤、中华倒刺鲃、白甲鱼、鳊、鲮鱼类，青、草、鲢均少见（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。长江中游的两个大型通江湖泊——鄱阳湖和洞庭湖的渔获物组成与长江中游干流中的渔获物组成大致相似（表 4-7）。葛洲坝截流之后，1984~1986 年对三峡水库库区江段的渔获物调查表明，河鲈、长吻鲮、圆口铜鱼和鲤占到了总渔获物的近九成（表 4-8）。

表 4-7 鄱阳湖、洞庭湖渔获物组成 (单位: %)

湖泊	鄱阳湖		洞庭湖	
	1959	1974	1963	1980~1982
鲢、鳊、青鱼、草鱼	10~15	5~10	22	14.1
鲤、鲫鱼	45~50	40~45	32	23.5
鳊鱼	3~5	2~3	4	2.5
鳊鱼	10~12	5~8	3	8.5
鲮类	3~5	3~5	6	6.5
鳊鱼	5	4~5	3	5
鳊鱼	5	4.5	4	4.5
鲢鱼	2~3	10~15	5	8.7
其他	5~10	10~15	10	

资料来源：李思发等 1990。

表 4-8 长江上游（三峡水库库区江段）的渔获物统计（1984~1986 年）

种类	百分比	种类	百分比
河鲈	25.04	长鳍吻鲈	1.08
长吻鲮	23.91	岩原鲤	0.78
圆口铜鱼	20.09	胭脂鱼	0.67
鲤	17.05	鳊	0.59
草鱼	4.88	其他鱼类*	2.15
铜鱼	3.76		

资料来源：中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991。

* 长江鲟、白甲鱼、中华倒刺鲃、墨头鱼、蒙古红鲃、翘嘴红鲃、尖头红鲃、拟尖头红鲃、长春鳊、厚颌鲂、华鳊、圆筒吻鲈、吻鲈、赤眼鲂、鲫、江黄颡鱼、光泽黄颡鱼、钝吻鲮、粗唇鲮、大鳍鲮、长薄鲮等 21 种鱼。

在长江上游的渔获物中，青、草、鲢均少见也在情理之中，表明它们中的一些个体只是在那里繁殖，最终还得回到中下游的附属湖泊中肥育，因为湖泊中的饵料生物远要丰富得多。

渔获物的评价其实也十分复杂，如梁秩燊等（1981）于1975年对长江中游通江湖泊——五湖（最高水位时面积80 km²）的研究表明，春夏之交定居型鱼类（鲤、鲫、青梢红鲃、红鳍鲃、鲃、乌鱼等）的绝对优势逐渐被江湖洄游鱼类（青、草、鲢、鳊、鳙、鳢、长春鳊、赤眼鳟、蒙古红鲃、翘嘴红鲃、三角鲂、大眼鳊、鳊、大口鲃、短颌鲃等）所取代，之后震荡交替（图4-6）。

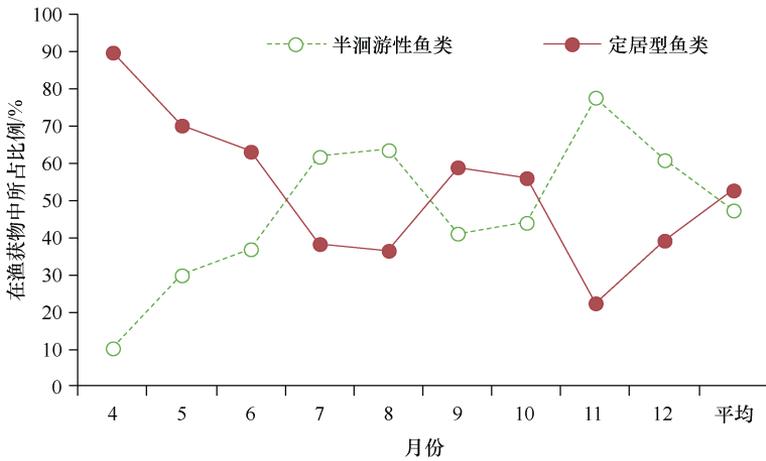


图 4-6 五湖半洄游型鱼类和定居型鱼类在渔获物中比例的季节变化
(根据梁秩燊等 1981 的数据绘制而成)

邱春琼等（2009）于2008年7~11月对长江涪陵段进行了鱼类资源调查，四大家鱼中的鲢、鳊和草鱼在渔获物总量中的比例高达30%（表4-9），这与20世纪中叶在上游干流中的渔业调查结果差异很大，那时四大家鱼很少见（湖北省水生生物研究所鱼类研究室1976）。随着三峡大坝的建成，急流险滩消失，取而代之的是流速缓慢的平湖，这适合于四大家鱼的生存，它们也形成了新的产卵场，种群规模得以扩增。三峡大坝蓄水之后，库区由于流速变缓而促进泥沙沉积，水体透明度增高，浮游动植物更易生长，以此为食的鲢、鳊的增加不足为奇。

表 4-9 长江涪陵段主要渔获物组成

种类	尾数	数量比例/%	重量比例/%
铜鱼	87	9.11	1.58
圆口铜鱼	187	19.58	12.59

续表

种类	尾数	数量比例/%	重量比例/%
蛇鮈	75	7.85	1.75
马口鱼	30	3.14	0.43
岩原鲤	2	0.21	1.95
鲫	30	3.14	3.30
鲤	7	0.73	10.19
草鱼	9	0.94	7.87
鲢	7	0.73	12.26
鳙	1	0.10	9.65
鮠类	73	7.64	5.48
餐类	124	12.98	5.14
长薄鳊	34	3.56	2.02
犁头鳊	35	3.66	2.27
黄颡鱼类	198	20.74	10.24
长吻鮠	13	1.36	2.36
鲇鱼类	11	1.15	10.47
其他	32	3.35	0.45
合计	955	100	100

资料来源：邱春琼等 2009。

五、江湖阻隔与“灌江纳苗”

历史上的长江中下游水系由众多浅水湖泊与长江自然贯通而成，经常洪水泛滥（所谓的泛洪平原区）。自 20 世纪 50 年代中后期开始，湖泊被大量围垦成农田，除了洞庭湖与鄱阳湖保持着与长江的连通状态之外，其余大小湖泊几乎皆被水利调蓄用的节制闸与长江隔离开来，阻止了江湖之间鱼类的自然交流，渔业界将此称为江湖阻隔。其结果，在干流中产卵的鱼类从阻隔湖泊中逐渐绝迹，静水中能够完成生活史的鱼类——定居型鱼类将一统天下（常剑波等 1995a）。

江湖阻隔对洄游和半洄游性鱼类的影响显著。例如，湖北洪湖在 20 世纪 50 年代中后期兴建隔堤和新滩口排水闸之前，为通江吞吐型湖泊，鲢和银鱼每年 9~10 月形成鱼汛，洪湖县水产公司年收购量达 300~400 t，到 1958 年基本绝迹，青、草、鲢、鳙、鳊、鳅等江湖洄游鱼类在总渔获量中的比例也由 50% 下降到了 13%，而能在湖泊中完成生活史的定居鱼类，如鲤、鲫等逐渐占据优势（常剑波等 1995b）。

当闸门开启时，江湖之间会有少数鱼类个体进行交流，但如果时间很短，交

换的个体数量就会微乎其微。这也提示人们，可以适时地开启闸门将江中的鱼苗纳入受到阻隔湖泊之中，以补充江湖洄游鱼类的资源，这称之为“灌江纳苗”（刘建康 1959）。有两种方式：①“顺灌”——在长江鱼类繁殖季节，当江水水位高于湖水时，在育苗汛期开闸引水，纳入鱼苗；②“倒灌”——在退水季节，湖水水位高于长江，开闸放水，利用鱼类的克流习性吸引其入湖（方榕乐 1975；周洁等 1987）。

1992年8月，由于干旱，洪湖新堤水电站于8~15日、新堤排水闸于20~22日分别开闸引入长江水，此时鱼苗汛期已过，在长江段洪湖一侧的鱼苗密度约为2.56尾/m³，同时采集的新堤水电站的鱼苗密度为1.59尾/m³，新堤排水闸为0.45尾/m³。除引入了鱼苗外，还有相当数量的经济鱼类的幼鱼，如在8月15日新堤水电站闸内河道的密眼网簖的渔获物中，鳊、青鱼、草鱼、鲤和鳊等经济鱼类的幼鱼占到了总渔获量的6.2%，而在新堤排水闸引河入湖口附近的旋箔渔获物中，江湖洄游鱼类的当年幼鱼达到了总渔获量的23.8%。与此形成鲜明对比的是，1993年春新堤排水闸开启由洪湖向长江排水时，从该闸引河入湖口附近旋箔的渔获物中，仅发现1尾鳊鱼幼鱼属于江湖洄游鱼类，仅占渔获量的0.09%，这表明，“倒灌”的作用微乎其微（常剑波等 1995a）。

但问题是，顺灌会增加洪灾的风险，与防洪相矛盾，也被担心会加速湖泊的淤积，但更贴切地说，这种淤积本来是一种自然过程，只因后来的江湖阻隔被减缓了而已。

其实，长江中下游的很多湖泊，枯水季节开闸排水年年进行，一般从当年9月下旬开始至翌年5月初止，“倒灌”通道长期存在，且一年中持续的时间也不短，但对干流渔业资源的增殖效果并不理想。因此，“灌江纳苗”应以“顺灌”为主。需掌握好长江中游湖泊的“灌江纳苗”时机，如一是5月上旬，长江的洪水季节开始之前，可灌进鳊等凶猛性鱼类的鱼苗；二是6月中下旬以后，四大家鱼等江湖洄游鱼类进入繁殖盛期（常剑波等 1995a）。

六、长江干流的渔业资源

长江干流与其附属水体是一个有机联系的整体，又具有十分不同的特性：中下游干流的江水泥沙含量高，十分浑浊，饵料生物十分稀少；与干流连通的湖泊，一般都水质清澈，长满各种类型的水生植物——挺水植物、浮叶植物和沉水植物，浮游动植物和底栖动物等饵料生物亦非常丰富，栖息着各种各样的水生动物和鸟类，充满着生机（图4-7）。

但是，干流也是许多动物的活动之地。例如，许多鱼类，如我们熟知的四大家鱼，就在奔腾的江水中产卵（所谓的漂流性卵）与孵化，待幼鱼具有一定的游



图 4-7 浑浊的长江与其生机勃勃的连通湖泊，通江湖泊呈现两类植被景观——湿生植被和水生植被

泳能力后，再进入湖泊中肥育，而且这些鱼类不能在静水环境中产卵，它们就养成了这种江湖洄游的习性。

对长江中下游的阻隔型湖泊来说，一般是冬季、春季（长江枯水季节）开启闸门，尽量将湖水排出，而到洪水季节则关闭闸门，利用腾出的湖容接纳流域的来水。但问题是，洪水季节也是江湖洄游鱼类的产卵季节，关闸意味着这些新生鱼苗无法随江水进入湖泊。而冬季、春季湖泊开闸放水即使有一些残留的亲鱼进入长江，最终这些鱼类也难逃在阻隔湖泊中逐渐衰亡的命运，除非通过人工繁殖进行放养。

一般来说，流速大、泥沙多的河流环境不利于浮游动物的生存，这类河流中的浮游动物往往十分贫乏。例如，在洪水季节，亚马孙河水的流速和悬浮无机物比枯水季节高 3~4 倍，河水变黄，高度混浊，缺少浮游动物。泥沙在流水中碰撞摩擦是浮游动物减少的原因之一（陈受忠 1985）。长江流速大，含沙量高，干流中浮游动物的贫乏也在情理之中。

在江河中，枝角类相当贫乏，平均为 0.001~0.1 个/L，而池塘、湖泊与水库一般有 10 个/L，有时可达 100 个/L，这是由于江河冲洗涤荡，水中有大量无机悬浮物存在，不利于枝角类滤食的缘故，尤其在小溪以及流速大的江河中，几乎见不到枝角类（蒋燮治和堵南山 1979）。总体来说，在河流，特别是激流环境中，各种浮游动物的丰度都会大大降低。

据统计，近半个世纪以来，长江干流的渔业资源大幅衰竭，从 1954 年的 43 万 t，下降到 2011 年的 8 万 t，降幅超过 80%，平均每年下降了约 1.5%(图 4-8)。虽然沿江湖泊的渔业产量并不低，却无法支撑长江中需要以鱼类为生的更高级消费者，如白鲟豚和江豚的生存。换言之，长江干流生物多样性的总体承载力严重受损，引发了链式灭绝效应。

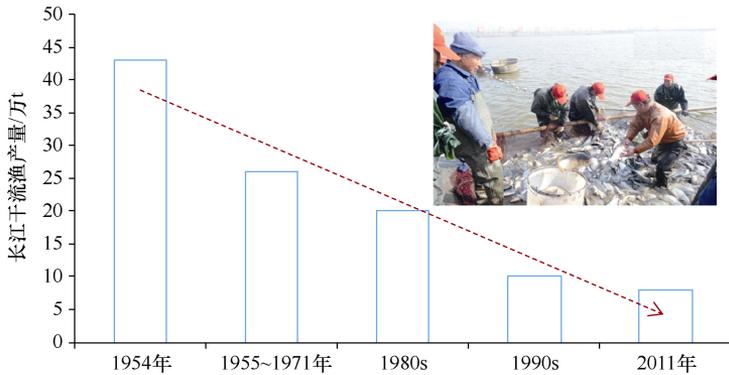


图 4-8 长江干流渔业捕捞量的变化

长江干流的成鱼资源量虽然已大幅下降，但早期的仔鱼、幼鱼资源量还是比较丰富的，这可能得益于长江主要鱼类巨大的繁殖力（常剑波等 1995a）。但超过了一定阈值之后，仔鱼、幼鱼的资源量也难免不会陡然下降。

总之，在长江水系中，干支流的水文条件满足了产漂流性卵鱼类的繁殖场需求，但由于饵料稀少，难以单独维持较大的鱼类种群，其鱼苗孵出后需要到通江湖泊中去肥育。在长江中下游，春夏季进行繁殖的鱼类，其幼鱼借助长江的季节性泛滥，适时进入通江湖泊去觅食，那里各种类型的水生植物、底栖生物和浮游生物等可以支撑比干支流大得多的鱼类种群密度，许多鱼类还将卵黏附于水草表面，亦能在一定程度上逃避敌害。

令人惊讶的是，20 世纪 40 年代末长江中下游湖泊总面积尚有约 35 123 km²，它们都会因洪水泛滥而保持连通，而现在仅有两湖（总面积约为 5500 km²）保持与长江的自然连通，因此，支撑长江鱼类的有效湖泊面积减少了 76%，如果叠加上酷渔滥捕的生态效应以及长江沿岸港口码头林立、堤岸硬化等对沿岸生态环境（特别是水生植物）的不断破坏，长江干流从 1954 年渔产量降幅超过 80%亦不难解释。

根据国家发展和改革委员会统计，截至 2016 年 5 月底，长江干线仅非法码头就多达 1256 座，占用岸线 100 多千米，加上大量“合法”的港口码头，自然的岸线正在不断地被蚕食。由于绝大部分鱼苗需在离岸 10 m 以内的近岸生境中度过一段关键时刻（图 4-1、图 4-2），因此，港口码头的存在（无论是合法的还是非法的）

对这些鱼苗生存的打击都是毁灭性的。港口码头的增加就意味着船舶数量的增加。例如，长江江苏段海运量由 2000 年的 0.69 亿 t 增长到 2008 年的 3.64 亿 t，年均增长率高达 24%，其结果，轮船噪声的污染、机械螺旋桨对鱼类的击打、岸线的硬化等进一步压缩鱼类的生存空间（李琴和矫新明 2010）。据报道，2007 年 5 月，长江口一条 3.37 m 长雌性中华鲟被螺旋桨劈断，可能是被轮船螺旋桨意外击中的。

此外，长江中下游沿江地区地势较低，地面高程一般低于长江洪水位几米至十几米，需靠堤防保护，为了防止河岸冲刷，往往需硬化堤防（图 4-9），造成对自然岸带的破坏，即便使用所谓的生态混凝土，负面影响也无法完全消除。有时人们还会对过分弯曲的河道进行裁弯取直，虽然自然的裁弯取直也会发生。这些称之为河道整治工程，见于长江中下游干流，包括上荆江（枝城至石首）、下荆江（石首至城陵矶）、岳阳、武汉、九江、安庆、铜陵、马鞍山、南京、镇扬、扬中、澄通、长江口等重点河段（蒋固政等 2001）。只有不断地进行航道整治以及加固（硬化）堤防，才能控制住崩岸，以及由此引起的河道的自然摆动，才会使人们免于洪涝之灾，但这也在一定程度上减少了河道中鱼类的栖息或繁殖之地。



图 4-9 2011 年竣工的长江中游藕池口航道护岸工程

资料来源：交通运输部长江航务管理局网站

第五章 长江干流的浮游生物

浮游动植物是干流生态系统的重要成分，它们处于营养级的底端，决定着生态系统的结构与功能。例如，浮游动物是所有鱼类仔鱼的开口饵料，这在江水中繁殖的产漂流性卵的鱼类来说至关重要，它们直接或间接为很多鱼类提供饵料，如滤食性鱼类终身以浮游动植物为食，而这些浮游生物食性鱼类又是更高营养级生物（如凶猛鱼类、白鲟豚和江豚等）的必需食物，影响着许多珍稀濒危动物的生存。此外，浮游动物的生存在很大程度上又离不开浮游植物，虽然它们亦能摄食细菌与有机碎屑（部分是陆源性的）。

影响浮游植物生长的条件有温度、光照、流速、营养盐等等，而一条河流中的这些因素都在时间与空间的二维尺度上变化。例如，在长江的源头地区，海拔高，气候寒冷，冰冻时间长，适宜于浮游生物繁衍的时期相对较短。又如，浮游植物的生长需要良好的光照条件，而这与泥沙含量息息相关，而泥沙主要是通过雨水特别是洪水进入河流的。此外，这些因素也会直接或间接地影响浮游动物。例如，如果河水中的泥沙含量过高会直接妨碍一些浮游动物的摄食。

在长江干流上最大的人类活动莫过于水利工程，特别是葛洲坝和三峡大坝的建设。它们不仅改变中下游的水沙运动，从而改变冲淤平衡与河床形态，亦可能通过对透明度的改变而对饵料生物产生影响。

一、浮游生物的巨大空间异质性

在长江干流中，浮游动植物在空间上的异质性达到令人震惊的程度。景丽等（2012）于2011年6月在长江下游的常熟铁黄沙江段设了13个监测点（图5-1），发现浮游植物的生物量为0.018~13.98 mg/L，平均生物量为5.43 mg/L，最高点（11号）与最低点（3号点）之间相差776倍之多！浮游动物密度变化范围为8~100 ind./L，平均密度为42.9 ind./L，最高点（11号）与最低点（8号）之间相差12.5倍。这种惊人的异质性给数据分析带来了极大的困难。

二、长江沿途的总氮、总磷

养分（主要是N、P）是浮游植物生存的物质基础，在静水环境（河、湖）中，养分的多少决定了初级生产力的高低，富营养化导致的藻类（如蓝藻）暴发成为

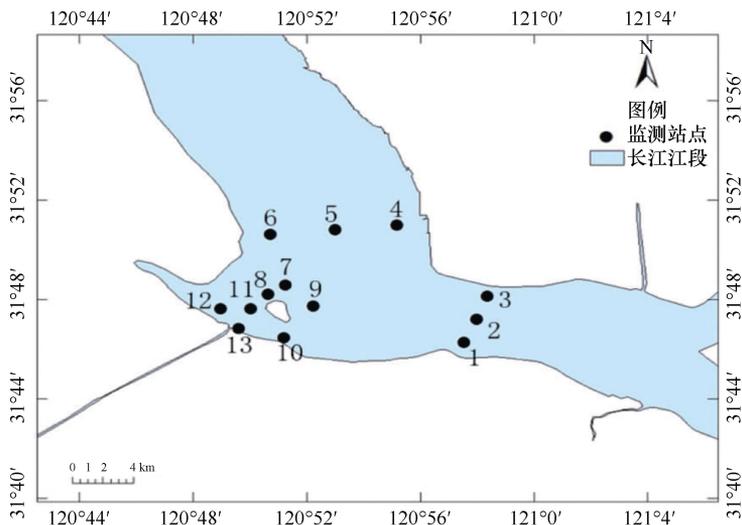


图 5-1 监测站点具体位置（引自景丽等 2012）

重大环境问题。但在河流中，初级生产力的主导因素就不仅仅是 N、P 了，因为，如果泥沙含量高，光照将是藻类初级生产力的主要限制因子。即便如此，河流中的 N、P 状况依然是需要把握的重要环境信息。

根据最近的调查资料，长江源区以及上游的总氮、总磷浓度都较低（表 5-1、表 5-2），总体水质状况良好。而下游的总氮比源区和上游要高许多，因为沿途污染物不断汇入，特别是在人口密集的下游河段 N、P 负荷更大（表 5-3）。最近的调查表明，中下游干流的总氮（TN）、总磷（TP）水平达到了很高的水平，TN 和 TP 平均含量分别为 (1.78 ± 0.32) mg/L 和 (0.19 ± 0.04) mg/L（图 5-2），所有站点的 TP 都超过了 0.1 mg/L，有的甚至超过了 0.2 mg/L，而蓝藻水华泛滥成灾的太湖其 TP 也就是 0.1 mg/L 左右。

表 5-1 长江源区总氮和总磷浓度

长江源区	主要河段	年份	TP/ (mg/L)	TN/ (mg/L)
北源	楚玛尔河	2012	0.05	0.51
		2015	0.02	<0.05
正源	沱沱河	2012	0.07	0.61
		2015	0.01	0.42
南源	当曲大桥	2014	0.07	0.37
江源下游	直门达	2015	0.02	<0.05

资料来源：黄茁等 2016。

表 5-2 长江上游宜宾至江津段五个断面的主要水质指标

采样点	pH	含量/(mg/L)			
		DO	TP	TN	NH ₄ -N
高庄桥	8.6	9.56	0.027	0.13	0.046
江安	8.7	10.28	0.073	0.50	0.049
羊石	8.5	9.23	0.078	0.13	0.114
白沙	8.6	8.75	0.069	0.22	0.127
德感	8.8	8.98	0.060	0.38	0.045

资料来源：谭巧等 2017。

(调查期间：2013 年 11 月至 2014 年 6 月)

表 5-3 2009 年 11 月长江下游段主要水质理化指标

	TP/(mg/L)	TN/(mg/L)	Chl-a/(μ g/L)	DO/(mg/L)	温度/°C	透明度/cm
江阴	0.058	1.24	0.09	9.3	13.0	27
南京	0.061	1.26	0.11	9.7	12.9	33
芜湖	0.072	1.32	0.12	10.8	12.8	31
铜陵	0.063	1.29	0.14	10.3	13.2	35
安庆	0.065	1.35	0.13	9.5	13.1	29

资料来源：陈家长等 2010。

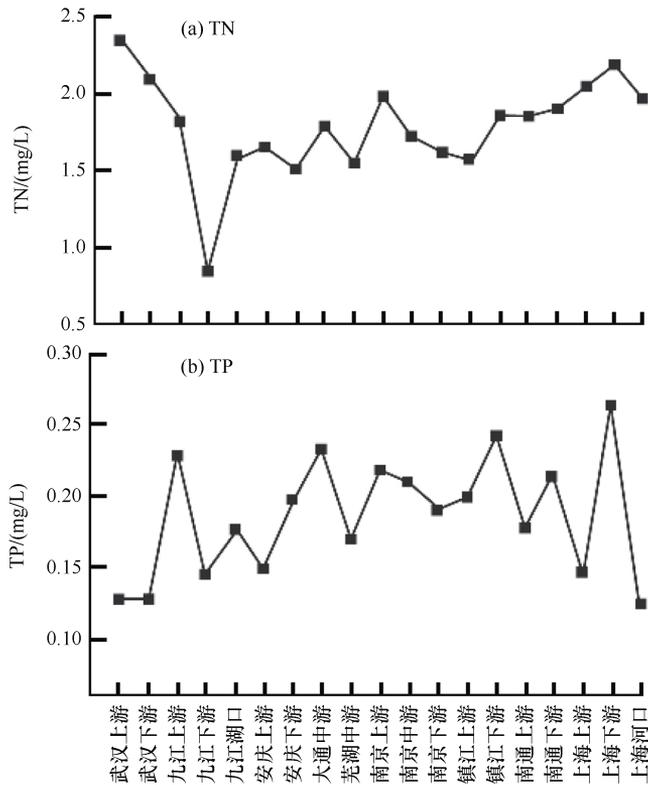


图 5-2 2014 年夏季长江中下游干流总氮、总磷的变化 (引自李欢等 2015)

三、长江上游水利工程对下游水沙与透明度的影响

透明度是反映水中光照条件的一个简单而重要的指标，在河流中，它与泥沙含量关系密切，即泥沙含量越高，透明度越低。而透明度低的河水，即使营养盐丰裕充足也不利于浮游植物的生长。

1. 泥沙含量大幅下降

近半个多世纪以来，曾经完整畅通的长江水系被数以万计的水电站分割，由于水库对泥沙的拦截，长江中下游江水含沙量锐减近九成，下游河床被清水冲刷不断加深，使通江湖泊的江湖关系发生改变。

根据大通水文站的监测资料，长江进入河口的年均径流量并无显著下降，而泥沙含量自 20 世纪 60 年代中期以来呈逐步下降趋势，特别是三峡大坝截流以来，更是直线陡降，与五六十年代相比，现在的年输沙量仅为原来的 10%（图 5-3）。

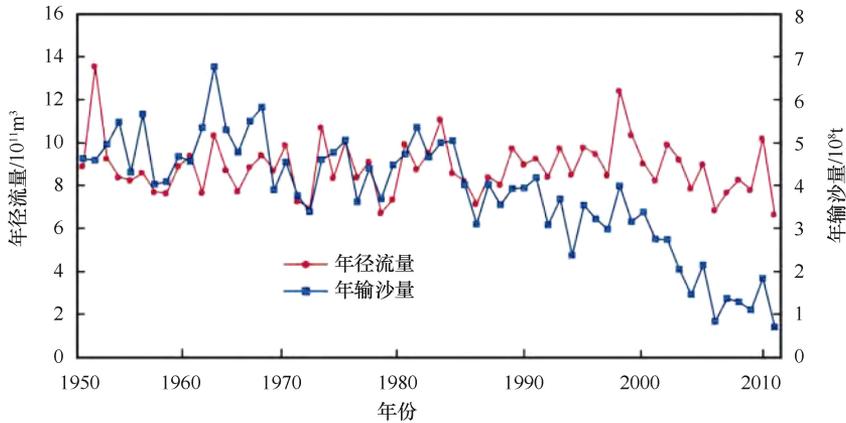


图 5-3 长江下游大通水文站的年径流量和年输沙量的变化过程（1953~2010 年）（引自张晓鹤等 2015）

与大通站类似，1990 年以前枝城站的年均含沙量无明显变化趋势，年均含沙量为 1.21 kg/m^3 ，随着长江上游干支流水库建设和水土保持工程的逐步实施，1990~2002 年枝城站年均含沙量逐步递减（年均含沙量 0.925 kg/m^3 ），下降了 23.3%。三峡工程的蓄水进一步拦截了大量泥沙，加上上游主要支流水库的修建，2003~2011 年年均含沙量仅为 0.139 kg/m^3 ，与 1990 年之前相比，减少了近九成（图 5-4）。

汉口站的泥沙含量在三峡大坝蓄水前的 1954~2002 年平均含沙量为 0.565 kg/m^3 （范围为 $0.036\sim 4.42 \text{ kg/m}^3$ ），三峡大坝蓄水后的 2003~2012 年平均含沙量降到了 0.167 kg/m^3 （范围为 $0.108\sim 0.233 \text{ kg/m}^3$ ）（米秀玲和杨彬 2014）。

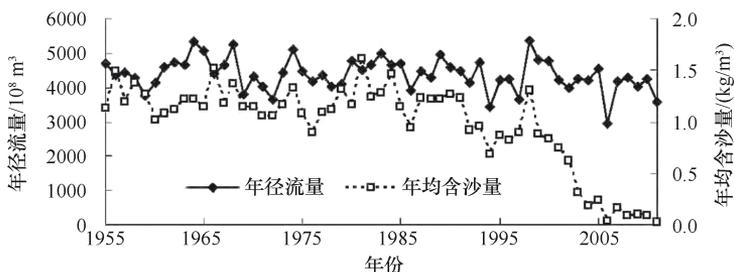


图 5-4 长江中游枝城水文站的年径流量、年均含沙量历年变化过程 (1955~2011 年) (引自郭小虎等 2014)

长江中下游泥沙含量的减少利弊兼具，河床的加深利于防洪，减缓通江湖泊（如洞庭湖）的淤积，但河川的下切导致长江水位的下降，改变原来的江湖关系，使干旱年份的通江湖泊（如鄱阳湖）危害加重。

三峡大坝的建设虽然使含沙量大幅减低了，但对细沙的降低似乎十分有限，而这些细沙却维持了水体的浑浊，使透明度依然很低，这样，由于光的限制，即使营养盐的浓度有了显著的提升，浮游植物还是难以旺盛生长。

2. 透明度似乎并未降低

2001~2014 年，对长江中游下端南岸的一个采样点（位于瑞昌市码头镇以东 5 km 处的长江江段）在每年的同一日（6 月 6 日）进行的监测结果表明，三峡大坝的建成对中游瑞昌江段的水温、流速和透明度的影响微乎其微，无论测量日的天气如何（表 5-4）。

表 5-4 长江瑞昌江段每年 6 月 6 日的环境因子

年份	水位/m	天气	水温/℃	流速/(m/s)	透明度/cm
2001	17.79	小雨	24	0.28	55
2002	18.28	晴天	23	0.30	51
2003	18.35	大雨	24	0.31	49
2004	17.07	晴天	25	0.22	61
2005	17.25	晴天	24	0.23	58
2006	17.33	小雨	23	0.25	56
2007	17.21	晴天	23	0.23	63
2008	18.77	晴天	24	0.32	50
2009	17.25	晴天	24	0.22	59
2010	17.59	晴天	23	0.24	52
2011	17.30	小雨	23	0.23	63
2012	18.67	大雨	23	0.30	48
2013	17.51	小雨	24	0.28	54
2014	17.57	晴天	24	0.25	51

资料来源：贺刚等 2015。

本以为泥沙含量的下降，将会提高江水的透明度，有利于饵料生物的繁衍，从而为鱼类等水生动物提供更丰富的食物。但令人惊讶的是，虽然泥沙的含量大幅下降，但透明度却并无任何增加的趋势（表 5-4）。

三峡蓄水后，下泄沙量减少 94%，特别是粒径大于 0.1 mm 泥沙几乎没有下泄；在天然情况下，长江中游枝江到城陵矶段床沙粒径小于 0.1 mm 的比例只有 8.2%，但人类活动的强烈影响使小于 0.1 mm 泥沙的比例在中下游悬沙中达 88%~95%，而参与造床的泥沙中只有 10%~25%（周建军和张曼 2014）。粗砂在参与干流冲淤交换或造床中比细沙重要得多，但细沙的沉降速率远低于粗砂，因此，低透明度的稳定维持可能缘于细沙的大量存在。

王华等（2013）选择长江镇扬江段，于 2005 年 10 月至 2006 年 10 月开展了为期一年的悬沙和透明度的同步监测，结果表明，透明度与悬沙浓度呈反比（图 5-5），洪季输沙量约占全年的 87.5%，泥沙主要来自上游干流，以悬移质泥沙为主，推移质泥沙占极少比例；悬移质泥沙多年平均中值粒径为 0.017 mm，近年呈逐步递减趋势，推移质泥沙多年平均中值粒径为 0.18 mm；洪、枯两季平均透明度均很低，分别仅有 20 cm 和 25 cm。

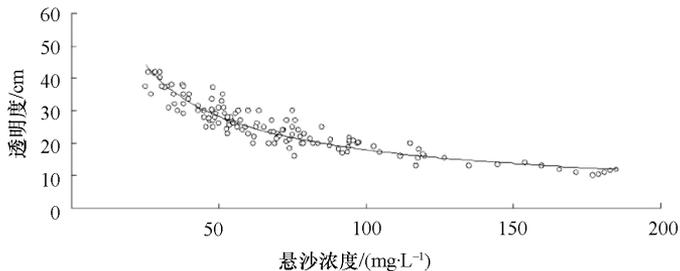


图 5-5 镇扬江段悬沙浓度与透明度之间的关系

四、大坝对库区江段浮游生物的影响

一般来说，流水并不利于浮游动植物的生长，这既有物理的因素，也有生态的因素。当流水减缓之后，泥沙沉降，光照条件改善，浮游植物因光合作用的增强而密度大增（像香溪河由于三峡大坝蓄水的顶托作用甚至出现蓝藻水华大量暴发的现象），也带来了更加繁荣的浮游动物群落。

葛洲坝水利枢纽工程于 1970 年开始兴建，至 1981 年 1 月 4 日合拢截流。陈受忠（1985）于截流前的 1980 年 5~11 月，从巴东至沙市江段采集了浮游动物样品，截流后，于 1981 年 3 月至 1982 年 4 月采集坝前库区和坝下宜昌段的浮游动物样品，进行了比较。巴东至南津关的峡区江段，两岸峭壁陡立，流水急湍，浮游动物极为贫乏。截流之后，库区静水或缓流处所的浮游动物增多，特别是黄柏

河出口的库区更为显著。由于葛洲坝的兴建使流速减弱、泥沙沉降，黄柏河的浮游动物进入长江之后，不再迅速地被稀释冲失，而可滞留繁殖，导致坝上游浮游动物比截流前明显增加，接近流域湖泊中浮游动物丰度（图 5-6）。

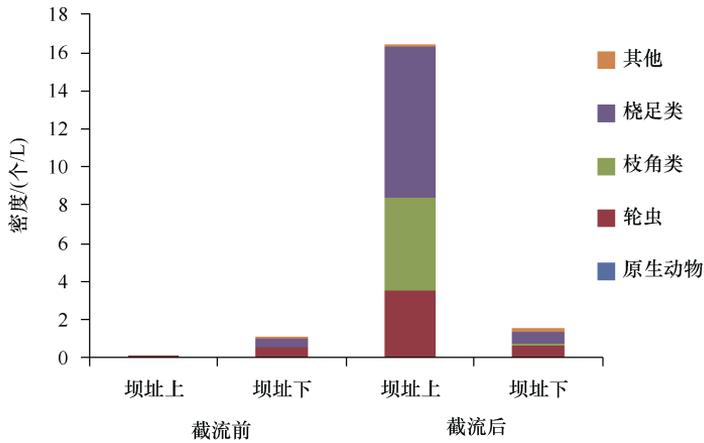


图 5-6 长江葛洲坝江段截流前后浮游动物密度的变化（根据陈受忠 1985 的数据绘制而成）

五、长江源区的浮游生物

在青海省南部，有一个长江、黄河和澜沧江的源头汇水区，称为三江源，最高海拔超过 6500 m，是世界屋脊——青藏高原的腹地，世界著名的 3 条大河发源于一个较小的区域实属罕见。2003 年，国务院正式批准建立三江源自然保护区。

长江有三个源头，南源为当曲，北源为楚玛尔河（图 5-7），西源为沱沱河（图 5-8），



图 5-7 长江的北源——楚玛尔河



图 5-8 长江的西源——沱沱河

它们汇入通天河，即长江源头的干流河段。通天河始于当曲与沱沱河的汇合之处，止于玉树市巴塘河汇入口，以下干流河段则称为金沙江。在汛期，长江源水系的水比黄河源水还浑浊，可见在三江源地区，长江源水土流失更严重，沱沱河、楚玛尔河和通天河的含沙量最大，虽然冬季长江源的水还是清澈的（图 5-9）（陈进 2015）。



图 5-9 通天河

资料来源：www.huitu.com

当曲发源于唐古拉山脉东段山麓的沼泽地，楚玛尔河源于昆仑山南支的可可西里山黑脊山南麓（“楚玛尔”为藏语，意为“红水河”），沱沱河发源于唐古拉山脉主峰格拉丹冬（“沱沱河”是蒙语，意为“红河”）。长期监测数据也表明，通天河和沱沱河的含沙量是很高的：直门达水文站的含沙量（1956~2012 年）

为 0.69 kg/m^3 ，沱沱河的含沙量（2000~2012 年）为 0.91 kg/m^3 （刘彦等 2016）。

舒俭民等（1998）于 1997 年 8 月对长江源区的三条河流（沱沱河、尕斯曲、楚玛尔河）中的浮游生物进行了调查，发现浮游植物的密度仅为 384（120~740）个/L，浮游动物的密度为 17.9（5~32）个/L，其中，原生动物、轮虫和桡足类的平均密度分别为 10.8 个/L、4 个/L 和 4.3 个/L，无枝角类。调查河流水温较低（ $10.4\sim 16.2^\circ\text{C}$ ）。浮游植物优势种为硅藻。

殷大聪等（2017）于 2012 年 7 月 27 日至 8 月 12 日期间对长江源区的水环境参数（表 5-5）与浮游植物进行了调查，发现浮游植物的密度普遍较低 [$(9.14\sim 13.60) \times 10^4$ 个/L]，但要显著高于舒俭民等（1998）的结果，优势种也是硅藻。

表 5-5 长江源区各采样位点水环境参数

采样点	河流名称	水温/ $^\circ\text{C}$	流速/ (m/s)	透明度/m	电导率/ ($\mu\text{S/cm}$)	含沙量/ (kg/m^3)
直门达水文站	通天河	13.6	1.8	0.20	803	1.24
曲麻莱大桥	通天河	15.1	1.0	0.20	989	0.93
楚玛尔河大桥	楚玛尔河	18.8	1.1	0.25	2673	0.78
沱沱河大桥	沱沱河	8.9	1.0	0.25	1670	0.28

资料来源：殷大聪等 2017。

陈燕琴等（2017）于 2016 年 6 月对沱沱河唐镇四大队、唐古拉镇和三岔口 3 个采样点的浮游植物进行了调查，发现浮游植物的平均密度为 68.0 细胞/L，平均生物量为 0.34 mg/L （表 5-6），其中，硅藻为绝对优势种。比殷大聪等（2017）的结果又要高很多。

表 5-6 长江源沱沱河浮游植物密度 ($\times 10^4$ 细胞/L) 与生物量 (mg/L)

采样点	硅藻		蓝藻		绿藻		合计	
	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量
唐镇四大队	64.4	0.54	18.9	0.004	2.65	0.007	90.0	0.55
唐古拉镇	57.8	0.25	23.4	0.003	0.42	0.002	81.6	0.26
三岔口	31.2	0.21	0	0	1.38	0.001	32.6	0.22
合计	55.0	0.33	11.3	0.002	1.75	0.004	68.0	0.34

六、长江上、中、下游的浮游生物

对长江干流浮游生物的研究十分零散，缺乏系统性。由于泥沙含量高，对浮游生物的定量研究比在湖泊中要困难得多。此外，从密度估算浮游动植物生物量的方法也不尽一致，浮游植物种类之间体积可相差很大，再加上河流的异质性很大，导致对数据的分析亦面临诸多困难，用密度或生物量比较都有诸多的不确定性。

1. 20 世纪 50 年代

1959 年 3~6 月对长江中下游干流（宜昌—大通）、上游溪河与中下游交界的大型通江湖泊——鄱阳湖中的浮游动植物生物量进行了比较，浮游植物密度在上游溪河中为 29.1×10^4 个/L，在中下游干流为 14.0×10^4 个/L，在鄱阳湖中为 78.9×10^4 个/L。中下游干流的浮游植物生物量约为鄱阳湖的 1/5，上游溪河（香溪、卜庄河）中的浮游植物生物量与中下游干流基本持平（图 5-10），中下游干流中的浮游动物生物量或密度约为鄱阳湖的 1/7，上游溪河中的浮游动物就更少了，可能水流太急，不利于浮游动物的生存（图 5-11、图 5-12），因此，通江湖泊中的饵料生物远多于长江干流。

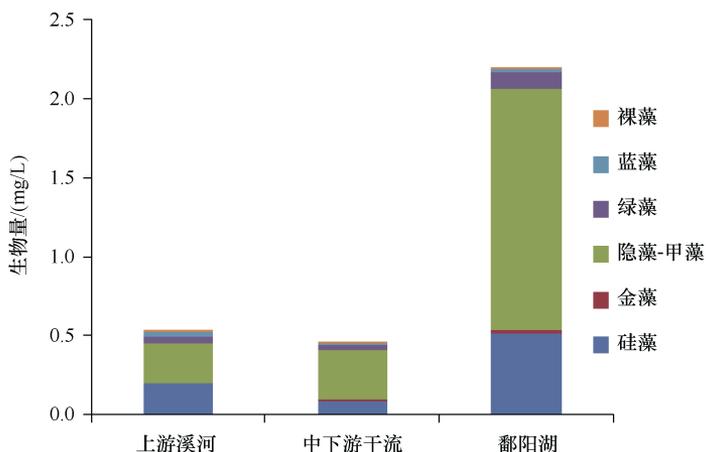


图 5-10 长江中下游干流与鄱阳湖浮游植物生物量的比较
(根据湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976 的数据绘制而成)

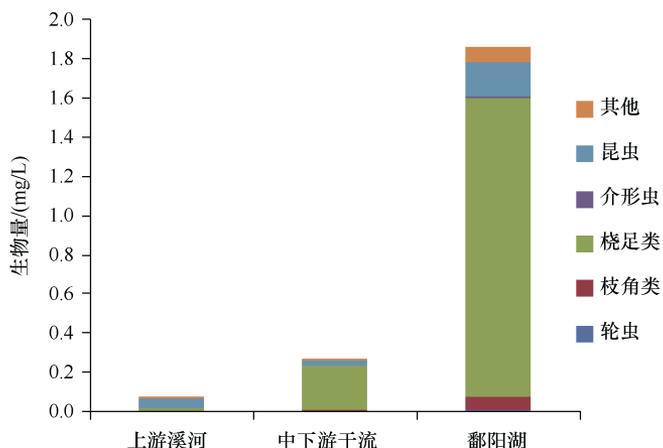


图 5-11 长江上游溪河、中下游干流与鄱阳湖浮游动物生物量的比较，“其他”包括线虫、寡毛类、水蜘蛛、软体动物等（根据湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976 的数据绘制而成）

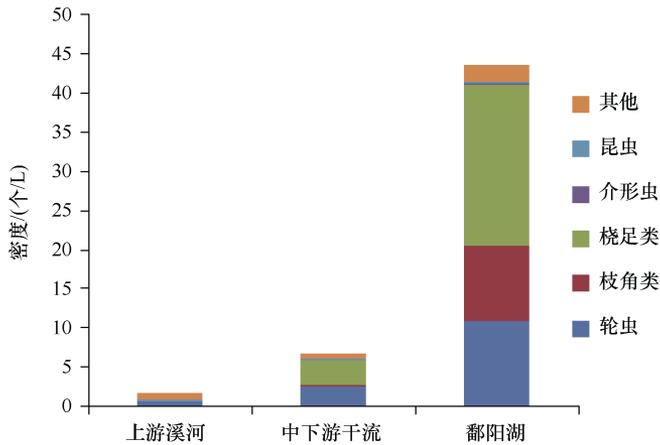


图 5-12 长江上游溪河、中下游干流与鄱阳湖浮游动物密度的比较，“其他”包括线虫、寡毛类、水蜘蛛、软体动物等（根据湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976 的数据绘制而成）

总地来看，如果以密度来看，硅藻（主要是圆盘硅藻、纺锤硅藻、偏缝硅藻和丝状硅藻）占优势（54.9%~67.5%），但以生物量来看，浮游植物以隐藻-甲藻占优势，硅藻次之。以生物量来看，浮游动物以桡足类占优势。

2. 20 世纪 80 年代

胡美琴和林锡芝（1986）于 1980 年 11 月至 1981 年 10 月对长江干流宜宾至吴淞等 16 个江段进行了二次调查，并对万县、宜昌和沙市江段做了周年调查。长江干流浮游植物年平均密度为 $2.6 (0.63 \sim 11.7) \times 10^4$ 个/L，年平均生物量为 0.0749 (0.034~0.375) mg/L，均以宜宾、泸州和重庆最高，汉口次之（图 5-13）。

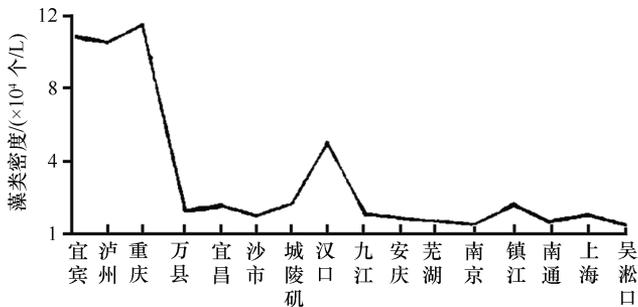


图 5-13 长江各江段浮游植物密度的变化（引自胡美琴和林锡芝 1986）

王骥和梁彦龄（1988）于 1984 年对在武汉江段以及与之交汇的支流汉江的浮游植物进行了研究。I 站位于长江南岸武昌中华路码头（干流区），II 站位于汉江汉口右岸汉江公路 I 桥上游水生号码头（支流区），III 站位于长江北岸汉江入口处下

游汉口武汉关码头（混流区）。干流区、支流区和混流区藻类活细胞生物量的全年平均值分别为 0.036 mg/L、0.05 mg/L 和 0.037 mg/L（表 5-7），远低于 1959 年的调查数据（图 5-10）。浮游植物以硅藻占绝对优势，有时空壳率很高，表明江水中悬浮着大量早已死亡分解的硅藻空壳。

表 5-7 长江武汉江段环境状况、浮游植物密度与生物量的季节变化

季节	采样时间	采样站	水温/°C	透明度/cm	流速/(m/s)	藻类总数/(10 ⁴ /L)	硅藻细胞数/(10 ⁴ /L)	活细胞总数/(10 ⁴ /L)	活细胞生物量/(mg/L)	空壳率/%
春季	3~6	I	8.2	32.0	—	6.60	4.86	3.36	0.113	49
		II	8.5	19.0	1.00	7.20	6.96	3.60	0.08	50
		III	8.6	22.0	—	7.56	6.84	4.08	0.096	46
夏季	6~28	I	29.0	10.0	0.80	1.60	1.00	0.60	0.004	63
		II	28.5	33.0	0.10	46.00	9.90	43.4	0.105	6
		III	29.2	20.0	0.30	21.00	7.80	18.4	0.032	12
秋季	9~27	I	22.8	6.5	0.34	5.04	0.84	4.2	0.009	17
		II	19.5	6.5	2.16	6.00	0.96	5.64	0.002	6
		III	20.8	7.0	0.50	5.42	1.20	4.92	0.004	9
冬季	12~19	I	7.0	12.0	0.35	2.94	2.34	1.80	0.019	39
		II	6.0	19.0	0.60	5.28	2.88	4.20	0.029	20
		III	5.5	18.6	0.30	6.26	4.20	3.84	0.015	38

资料来源：王骥和梁彦龄 1988。

“—” 无数据。

3. 20 世纪 90 年代至三峡大坝蓄水之前

1997~2002 年，吴恢碧等（2004）对长江沙市江段的浮游动植物群落进行了研究，浮游植物年平均数量为 18.55×10^4 ind./L ($9.53 \times 10^4 \sim 26.30 \times 10^4$ ind./L)，硅藻占绝对优势，浮游动物（不含原生动物）年平均数量为 5.35 个/L（1.01~11.25 个/L）。

2002 年 5~6 月，唐毅等（2003）对位于三峡库区内的云阳江段四大家鱼产卵场中的浮游植物进行了调查，每月上旬、中旬、下旬共采集 6 次水样，设置 3 个断面，中心断面位于云阳盘沱，相临两断面间相距约 1.5 km，每个断面设左、中、右三个采样点。3 个断面浮游植物平均密度依次为 6.8×10^4 个/L、 7.1×10^4 个/L 和 6.5×10^4 个/L，平均生物量依次为 0.507 mg/L、0.531 mg/L 和 0.483 mg/L（表 5-8）。硅藻为优势类群，而其中的针杆藻和舟形藻占绝对优势。

表 5-8 长江云阳江段 3 个断面浮游植物的密度 ($\times 10^4$ 个/L)

		硅藻	隐藻	绿藻	蓝藻	合计
I	左	3.44	0.27	0.02	0.01	3.75
	中	7.26	0.14	0.53	0.18	8.10
	右	7.83	0.56	0.05	0	8.48
II	左	3.83	0.25	0.02	0.02	4.13
	中	8.40	0.13	0.59	0.18	9.30
	右	7.26	0.54	0.04	0.03	7.88
III	左	3.69	0.30	0.02	0.01	4.03
	中	6.28	0.10	0.58	0.17	7.13
	右	7.59	0.61	0.04	0.04	8.28
平均密度		6.17	0.32	0.21	0.08	6.79
平均比例		91.03	4.77	3.10	1.10	100.00

资料来源：唐毅等 2003。

4. 三峡大坝蓄水之后

1) 上游

中国水产科学院长江水产研究所倪朝晖等于 2007 年对长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区（由金沙江下游和川江上游的部分河段及其部分支流组成）的浮游动植物进行了调查，浮游植物的密度以赤水镇、新寿、三块石、文桥沱和巴南较高，而浮游动物以弥陀最高，但整体处于较低水平（图 5-14）。所有站点浮游植物的平均生物量(0.518 mg/L)远高于浮游动物的平均生物量(0.0016 mg/L)(表 5-9)。

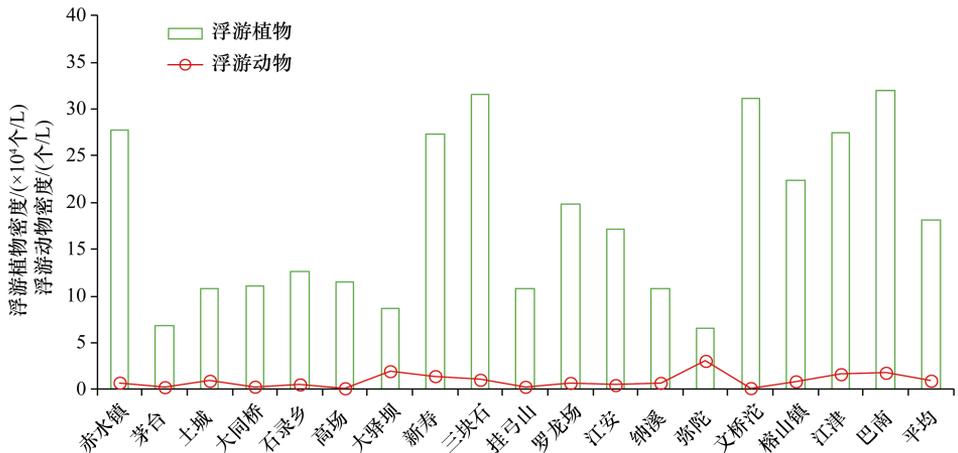


图 5-14 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区的浮游动植物密度
(根据余海英 2008 的数据绘制而成)

表 5-9 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区各河段浮游动植物丰度站点间的变化范围

主要江段	浮游植物密度/ ($\times 10^4$ 个/L)	浮游植物生物量/ (mg/L)	浮游动物密度/ (个/L)	浮游动物生物量/ ($\mu\text{g/L}$)
赤水河	6.85~27.74	0.13~1.05	0.27~0.95	0.30~2.24
岷江	11.44	0.43	0.15	0.01
沱江	8.74	0.23	1.98	11.11
金沙江	27.27~31.55	0.88~1.18	1.06~1.45	0.88~2.15
长江干游(上游)	6.57~32.05	0.22~0.77	0.17~3.08	0.21~2.63

资料来源：余海英 2008。

2) 中游

对长江中游来说，5~9 月为丰水期，12 月至翌年 2 月为枯水期，其余是平水期。李世健等（2012）于 2010 年的不同季节对长江中游宜昌至城陵矶江段浮游植物群落进行了研究，浮游植物密度在丰水的 7 月最高（平均为 41.4×10^4 细胞/L），枯水的 1 月最低（平均为 6.5×10^4 细胞/L）（图 5-15）。1 月、4 月、7 月和 10 月的透明度分别为 120 cm、105 cm、40 cm 和 70 cm，流速分别是 1.1 m/s、0.9 m/s、1.2 m/s 和 1.3 m/s。浮游动物的密度也不低，也是 7 月最高（图 5-16）。浮游植物的优势种为硅藻门的颗粒直链藻、颗粒直链藻最窄变种、美丽星杆藻、克洛脆杆藻、钝脆杆藻、普通等片藻、具星小藻，绿藻门的单角盘星藻具空变种和优美胶毛藻，蓝藻门的小颤藻，甲藻的飞燕角甲藻；浮游动物的优势种为长圆砂壳虫、盘状匣壳虫、巢居法帽虫、裂足臂尾轮虫、曲腿龟甲轮虫、广布中剑水蚤、大型中镖水蚤、蚤状蚤、僧帽蚤和长额象鼻蚤。

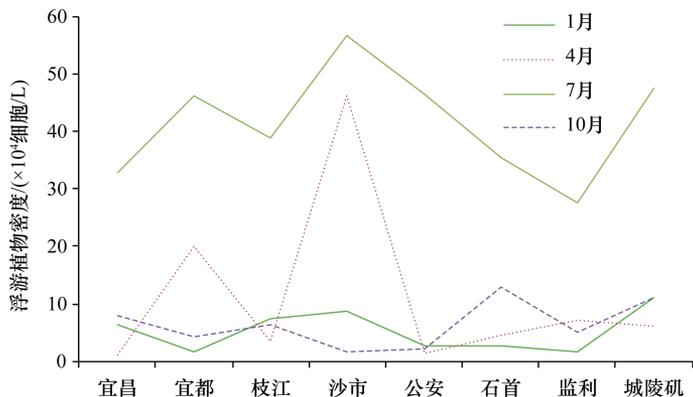


图 5-15 2010 年长江宜昌至城陵矶江段浮游植物密度的分布
(根据李世健等 2012 的数据绘制而成)

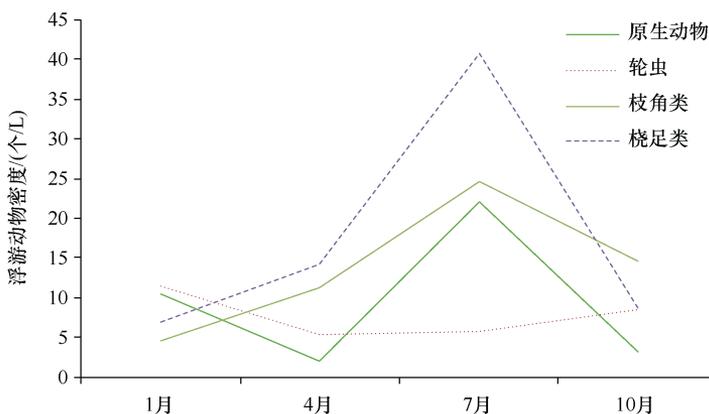


图 5-16 2010 年长江宜昌至城陵矶江段浮游动物的平均丰度
(根据李世健等 2012 的数据绘制而成)

杨雪 (2016) 于 2013~2015 年在丰水期和枯水期对长江中游的枝江、沙市、江陵、新厂、石首、调关、塔市驿、三洲、洞庭汇口上等河段的浮游动植物进行了调查。无论是浮游植物还是浮游动物, 年际变化很大, 平均相差一个数量级以上 (表 5-10、表 5-11), 虽然水质理化指标几乎相差无几 (表 5-12), 这样的结果确实令人困惑。浮游植物生物量的比例, 硅藻 > 绿藻 > 蓝藻。

表 5-10 长江中游荆江河段浮游植物密度 ($\times 10^4$ ind./L) 和生物量 (mg/L)

地点	2013 年 11 月		2014 年 4 月		2014 年 11 月		2015 年 4 月	
	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量
枝江	2.67	0.044	2.43	0.063	23.22	0.586	27.98	0.776
沙市	2.97	0.046	1.19	0.042	28.57	1.084	27.24	0.820
江陵	2.90	0.045	2.61	0.070	14.09	0.509	18.27	0.571
新厂	3.02	0.051	2.60	0.106	35.74	1.016	30.78	0.914
石首	2.36	0.050	0.71	0.021	15.46	0.471	21.98	0.655
调关	2.29	0.042	3.60	0.107	23.99	1.319	26.14	0.781
塔市驿	2.83	0.033	0.97	0.021	12.50	0.379	18.93	0.563
三洲	2.40	0.048	2.69	0.068	13.08	0.769	25.86	0.641
洞庭汇口上	3.40	0.040	1.58	0.045	21.88	0.759	20.14	0.609

资料来源: 杨雪 2016。

表 5-11 长江中游荆江河段浮游动物密度 (ind./L) 和生物量 (mg/L)

地点	2013 年 11 月		2014 年 4 月		2014 年 11 月		2015 年 4 月	
	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量
枝江	78	0.038	261	0.060	218	0.591	236	1.279
沙市	67	0.039	371	0.010	391	1.755	212	0.945

续表

地点	2013年11月		2014年4月		2014年11月		2015年4月	
	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量
江陵	37	0.020	124	0.008	280	0.886	182	0.955
新厂	107	0.038	99	0.037	215	0.595	246	1.173
石首	47	0.018	327	0.012	240	0.889	212	1.439
调关	37	0.002	1412	0.020	93	0.157	219	1.185
塔市驿	78	0.033	142	0.022	130	0.402	212	1.106
三洲	86	0.027	849	0.023	90	0.148	220	0.973
洞庭汇口上	60	0.003	999	0.018	228	1.33	206	1.165

资料来源：杨雪 2016。

表 5-12 长江中游荆江河段的透明度 SD (cm)、氨氮 NH₄⁺-N 和硝氮 NO₃⁻-N (mg/L)

地点	2013年11月			2014年4月			2014年11月			2015年4月		
	SD	氨氮	硝氮	SD	氨氮	硝氮	SD	氨氮	硝氮	SD	氨氮	硝氮
枝江	142	—	—	95	0.67	0.73	52	0.28	0.96	100	0.68	0.66
沙市	87	—	—	100	0.51	0.61	77	0.28	0.87	100	0.67	0.53
江陵	140	—	—	120	0.57	0.96	60	0.33	1.05	120	0.55	0.96
新厂	131	—	—	106	0.46	0.63	50	0.28	1.11	90	0.41	0.77
石首	120	—	—	110	0.42	0.76	78	0.18	1.03	100	0.25	1.10
调关	162	—	—	70	0.19	0.91	66	0.17	1.15	76	0.36	1.30
塔市驿	105	—	—	26	0.44	1.92	50	0.20	1.18	20	0.47	1.86
三洲	140	—	—	40	0.17	2.00	45	0.13	1.27	51	0.18	1.80
洞庭汇口上	110	—	—	50	0.29	1.10	67	0.20	0.90	50	0.33	1.51

资料来源：杨雪 2016。

“—”表示无数据。

房冬梅 (2015) 于 2014 年 4 月、7 月、11 月和 2015 年 1 月 (分别代表春、夏、秋、冬四季) 在长江中游宜昌至武穴江段设置 6 个采样点 (自上游到下游依次为宜昌、沙市、监利、洪湖、武汉、武穴) 对浮游植物进行了调查, 优势种主要是硅藻——颗粒直链藻、颗粒直链藻最窄变种、变异直链藻、钝脆杆藻、尖针杆藻、巴斗叶脆杆藻、具星小环藻、美丽星杆藻, 还有蓝藻 (小席藻)、绿藻 (单巧盘星藻具孔变种) 和甲藻 (飞燕角甲藻) 各 1 种 (表 5-13)。

表 5-13 长江中游宜昌至武穴江段浮游植物密度 ($\times 10^4$ 个/L) 和生物量 (mg/L)

地点	春季		夏季		秋季		冬季	
	生物量	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量	密度
宜昌	2.82	10.75	1.65	5.52	0.63	1.46	0.43	3.43
沙市	2.00	7.77	1.96	7.28	0.76	2.72	0.51	3.09

续表

地点	春季		夏季		秋季		冬季	
	生物量	密度	生物量	密度	生物量	密度	生物量	密度
监利	1.45	11.94	1.57	7.49	1.22	7.13	1.09	5.69
洪湖	2.32	9.44	2.16	8.57	1.12	6.81	0.41	1.83
武汉	1.07	8.67	1.13	7.87	1.33	8.16	0.91	5.16
武穴	2.40	10.34	2.76	4.49	1.90	9.6	0.82	4.34
平均	2.01	9.82	1.87	6.87	1.16	5.98	0.7	3.92

资料来源：房冬梅 2015。

3) 下游

彭刚等(2008)于 2004~2005 年对长江下游江苏江段的浮游动物进行了调查, 枯水期的浮游动物密度远高于丰水期, 相差 23 倍(表 5-14)。优势类群为轮虫的臂尾轮虫属、三肢轮虫属、龟甲轮虫属、晶囊轮虫属, 枝角类的象鼻溞属、秀体溞属, 以及桡足类的真剑水蚤属、温剑水蚤属、许水蚤属等。

表 5-14 长江江苏段的浮游动物密度

调查时间	密度/(个/L)				生物量/(mg/L)
	轮虫	枝角类	桡足类	合计	
2004-09	1.08	0.73	2.16	3.97	0.030
2005-03	71.39	13.35	7.21	91.95	0.703

资料来源：彭刚等 2008。

查晓宗等(2012)于 2008~2010 年研究了长江江阴段(大庆港样点)的浮游动植物的变化, 常见的浮游动物有萼花臂尾轮虫、长肢多肢轮虫、长额象鼻溞、筒弧象鼻溞、汤匙华哲水蚤、模式有爪猛水蚤等。浮游动物密度与彭刚等(2008)在江苏段较高年份的结果接近, 而浮游植物密度约为孟顺龙等(2011)在下游 5 个江段观察到的浮游植物密度的 1/2。

孟顺龙等(2011)于 2009 年秋季(11 月 5~8 日)对长江下游的江阴、南京、芜湖、铜陵和安庆 5 个江段(每个江段在江南侧、江中心和江北侧各设一个采样点)的浮游植物进行了研究, 平均密度为 6.01×10^4 (5.18~7.11) 细胞/L, 平均生物量为 0.033 (0.030~0.035) mg/L, 硅藻占绝对优势(表 5-15), 与 1984 年长江中游汉口江段的浮游植物生物量基本一致(王骥和梁彦龄 1988)。江水中营养盐浓度并不低(表 5-3), 但透明度较低, 使藻类不能像在湖泊环境中那样良好地生长。

表 5-15 2009 年秋季长江安徽—江苏段浮游植物数量和生物量

浮游植物	密度/ ($\times 10^4$ 细胞/L)					平均
	江阴	南京	芜湖	铜陵	安庆	
硅藻门	3.87	4.33	4.64	4.62	4.35	4.36
绿藻门	0.78	1.89	1.13	1.33	0.80	1.19
蓝藻门	0	0.83	0	0.30	0	0.23
隐藻门	0.53	0.08	0	0	0.53	0.23
裸藻门	0	0	0	0.08	0	0.02
合计	5.18	7.11	5.77	6.33	5.68	6.01
	生物量/ ($\mu\text{g/L}$)					
硅藻门	28.99	30.10	33.38	25.04	31.10	29.74
绿藻门	0.39	1.66	1.35	0.93	0.40	0.95
蓝藻门	0	0.20	0	0.03	0	0.05
隐藻门	1.05	0.16	0	0	1.05	0.45
裸藻门	0	0	0	6.4	0	1.28
合计	30.43	32.20	34.73	32.40	32.55	32.46

代梨梨等 (2011) 在长江下游的江苏镇江江段长江豚类保护区江段, 其中采样点 1~5 位于保护区内, 采样点 6 位于另一侧的主航道中。除了原生动物在春季很高外 (表 5-16), 其他浮游动物的丰度与 20 世纪 50 年代长江中下游干流的丰度 (图 5-8) 相差无几, 而原生动物由于个体小, 在浮游动物生物量中的比例 (与轮虫、枝角类和桡足类相比) 并不占优。此外, 原生动物丰度的季节变化巨大。

表 5-16 2010~2012 年江苏镇江江段浮游动物丰度的季节变化

	季节	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	平均值
原生动物	春	135	15	165	90	45	75	87.5
	夏	2.00	2.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.17
	秋	2.00	1.00	2.00	1.00	3.00	2.00	1.83
	冬	1.00	1.00	4.00	1.00	7.00	5.00	3.17
轮虫	春	4.50	7.50	9.00	16.50	3.00	3.00	7.25
	夏	0	1.00	2.00	0	0	7.00	1.67
	秋	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.50
	冬	0	1.00	1.00	1.00	3.00	0	1.00
枝角类	春	0.15	0.20	0.60	0.55	0.20	0.05	0.29
	夏	0	0.55	0.10	0	0.20	0.30	0.19
	秋	0.40	0.20	1.10	1.35	2.40	0.45	0.98
	冬	0	0	0	0.05	0.05	0	0.02

续表

	季节	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	平均值
桫类	春	0.35	0.90	1.10	1.15	1.20	0.35	0.84
	夏	0.90	0.35	0.60	1.20	0.50	1.05	0.77
	秋	2.05	1.95	2.40	4.70	2.90	0.95	2.49
	冬	0.35	0.10	0.15	0.70	0.35	0.40	0.34
无节幼体	春	0.30	0.90	0.95	0.75	0.55	0.40	0.64
	夏	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0	1.00
	秋	0	0	1.00	1.00	1.00	0	0.50
	冬	0	0	0	0	0	0	0

资料来源：代梨梨等 2011。

李欢等（2015）于 2014 年夏季对长江中下游武汉—河口江段的浮游植物分布群落进行了调查，共设置了 19 个调查断面，浮游植物丰度为 $5.19 \times 10^4 \sim 23.18 \times 10^4$ 细胞/L（图 5-17）。优势种为直链藻、栅藻、丝藻、平裂藻、十字藻和中肋骨条藻，其中武汉段的优势种类为绿藻，上海上游段为蓝藻，中肋骨条藻为上海河口段的优势种类，其他江段的优势种均为直链藻。

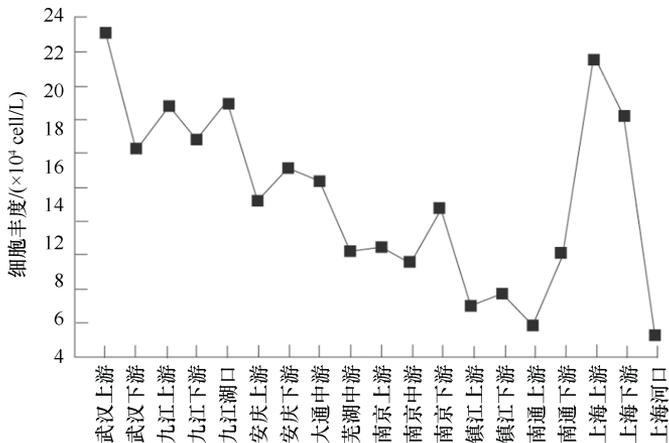


图 5-17 长江中下游武汉—河口江段的浮游植物丰度的变化（引自李欢等 2015）

七、趋势性分析

虽然有人认为河流中的浮游动物往往只是河流生物群落的暂时性成分，如它们是从流域上的湖泊、池塘或回水区冲进来的，这有时候也是对的，但大量的研究表明，河流中的浮游动物也是流水生态系统不可分割的一部分，对生态

系统的生产力具有重要贡献。一般来说，浮游动物容易发展的水域是那些流速较慢的下游河段，那里水较深因此降低了流速，以及泥沙的沉降使那里与静水环境的区别不大（Winner 1975）。但长江的流速与泥沙环境对浮游动物的生存似乎格外的严酷。

浮游动植物的定量也面临诸多问题，特别是生物量的估算难以统一，因此，笔者尽量回避了生物量的比较。当然，密度计数亦存在一些问题，如浮游植物密度有的以“个”为计，有的以“细胞”为计，如果群落中有形成群体的藻类，如丝状藻类，那细胞数就会高于个数，如果都以单个细胞的状态存在，两者就是一致的。此外，在河流中还会悬浮一些死亡的藻类空壳，特别是硅藻空壳，有时能与活细胞数不相上下（王骥和梁彦龄 1988），细胞计数时如何进行处理则鲜有交代。

无论是源头、上游还是中下游，浮游植物群落的绝对优势种都是硅藻。已有大量研究表明，硅藻是流水环境中的最占优势的类群（Butcher 1932; Wetzel 1975; Patrick 1961; Rojo et al. 1994）。河流中的硅藻既有浮游的也有底栖的，一般来说，在大河中，浮游硅藻的量更多，而在较浅的河流和溪流中，底栖硅藻的量更多（Vannote et al. 1980; Kireta et al. 2012）。

而浮游动物的优势种难以一概而论，看是以数量还是生物量来判别。优势类群有时是原生动物（代梨梨等 2011），有时是桡足类（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。

沿江浮游动植物的变化趋势复杂。一般来说，上游的浮游植物丰度明显高于中下游的（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976；胡美琴和林锡芝 1986），当然，下游的浮游植物丰度也有陡然增加的情形（李欢等 2015），但上游的浮游动物丰度明显低于中下游的，因为很多浮游动物并不喜欢激流环境。由于上游溪河浮游动物稀少，在那里生活的鱼类主要是一些刮食附着生物的种类，如裂腹鱼等。其实，早在 20 世纪 30 年代，就有报道指出河流中的浮游动物丰度与流速成反比（Reinhard 1931）。

水文情势对浮游动植物丰度的影响十分复杂，有的丰水季节明显高于枯水季节（李世健等 2012），有的则相反（彭刚等 2008）。

在河流中生活的浮游动植物，呈现出强烈的时空异质性，如同一时间在同一江段的不同采样点之间藻类生物量的差别可超过 700 倍（景丽等 2012），年际也可能出现巨大差异，如同一个相邻两年之间浮游动植物丰度可相差一个数量级（杨雪 2016）。

无论是源头还是干流，雨季显著影响河水中悬浮物的浓度，从而影响其中的浮游动植物，这也是造成河水中浮游动植物丰度呈现出巨大时空差异性的重要原因之一。由于洪水期 3 个月的输沙量占年输沙量的大部分（如宜昌站达 72.5%），

此时浑浊而快速流动的江水并不利于浮游动植物的生存，而此时又是很多鱼类的繁殖盛期，因此，如果孵化出来的仔鱼不能被洪水及时地推入邻近湖泊之中，它们中的大部分可能也会因缺乏充足的开口饵料而饥饿而死。

根据有限的数据来看，整个长江的透明度维持着较低的水平，洪水季节尤其如此。例如，2012年源头的透明度仅有20~25 cm，1984年中游武汉段的透明度只有6.5~32 cm（王骥和梁彦龄 1988），中游瑞昌江段2001~2014年每年6月6日的测定表明，稳定为49~63 cm。2012年5~6月上游云阳江段透明度5~27 cm（唐毅等 2003）。邬国锋等（2009）运用遥感技术估算，与鄱阳湖湖口邻近的长江水体的透明度在2000~2003年为20 cm左右，2004~2006年，上升到40 cm左右。另有研究表明，2005~2006年长江下游镇江江段洪、枯季的透明度平均只有20 cm和25 cm（王华等 2013）。也有略高一些的报道，如在中游宜昌至城陵矶江段，2010年1月、4月、7月和10月的透明度分别为120 cm、105 cm、40 cm和70 cm（李世健等 2012）；在中游枝江到洞庭汇口，2013年11月，2014年4月、11月和2015年4月的透明度分别为126 cm、80 cm、60 cm和79 cm（杨雪 2016）。但是，仅根据这些数据，还难以判断长江干流透明度的整体变化趋势。当然，也不能完全排除随着泥沙含量的持续下降使水体光照条件得以改善以及富营养化带来的长江中下游干流浮游动植物丰度逐步增加的可能性，如果真能如此，这在一定程度上可以缓解饵料生物匮乏对顶级消费者（如江豚）的生存压力。

第六章 两湖建闸——对长江江豚的最后一击！

自然本来应该是休戚与共的“我们”——江河、鱼儿、豚儿和人类和睦相处的共同体……从古至今，长江都是豚儿们的畅游之地——它们在地质时钟的指引下，无拘无束地在河湖间穿行，习惯于成群结队的嬉戏——欢舞与吟唱，这里没有它们的捕食者，鱼虾丰盛，胜似天堂……。河流中的生生死死十分平常，贯穿于生态系统的能量和物质的流动之中，在和谐的节奏下，吹奏着各自种族演化的生命乐章。

生死本来是一种正常的生态过程，在千百万年锤炼出的法则下平衡有序地运行，并无高低贵贱之分。但是，人类社会肆意更改了自然规则，将其他生灵变成了无关紧要的插曲。对水中的野生动物们来说，长江已不再是一个安谧的世外桃源，这里也已经不是它们可以避风的安全港，因为，河流的价值正在被贪婪地榨取殆尽，大大小小的生灵被一遍遍扫荡，绵延水网被切割成零零碎片，其结果，有“长江女神”之称的白暨豚（*Lipotes vexillifer*）在它们祖祖辈辈生活了千百万年的故乡不见了踪影，哭泣的江豚（*Neophocaena phocaenoides asiaorientalis*）也正在迎接人类的最后一击——鄱阳湖和洞庭湖的闸控工程。

这里刚刚才上演了一场悲剧——与我们一样流淌情感眼泪的白暨豚灭绝了，但这似乎无关人们的痛痒。最后一头江豚可能很快也会从我们的视线中消失。这虽然只是一种不祥的预感，但距现实亦不会遥远了。笔者儿时随祖母从洪湖渡江回湖南老家时，经常目睹成群嬉戏的江豚（当时还担心乘坐的小木船被掀翻），但恐怕我们的子孙们只有去博物馆看那不动的标本了。也许有人会说，一个物种价值几何？它的灭亡与我们何干？但是，河中没了豚等动物，就如山上缺少了花草林木，将失去勃勃生机。虽然长江依然会流淌，但子孙看到它时，也许不会再想到豚，因为那时它可能是一条孤独之河。

一、淡水豚类是珍贵的子遗物种

豚类与我们一样，同属哺乳动物这个大家族，只是它们生活在水里。全球的哺乳动物有约 5450 种，但水生哺乳动物（主要是鲸）仅有 120 余种，且绝大部分生活在海洋中。鲸目分为两个亚目：须鲸亚目——均为海栖，齿鲸亚目——包括了为数不多的淡水豚类。亚洲地区的淡水豚类均为濒危物种，如我国特有的白暨豚

可能已经灭绝。

淡水豚类是珍贵的孑遗物种。在长江的淡水环境中生活的水生哺乳动物——白暨豚和长江江豚（图 6-1）均属于哺乳纲真兽亚纲鲸目齿鲸亚目。据推测，淡水豚类可能是在中新世中期偶然地适应了河流栖息地环境而幸运地保存下来的孑遗物种（Cassens et al. 2000）。对豚来说，像长江这样的河流可能曾经是一个宜居的乐园，那时肯定是满足了川流不息的鱼儿的尽情享用，要不然，它们为何甘愿舍弃浩瀚的大海，永久地留宿在了狭小的江湖之中呢？但无论曾经何等忠贞，现在等待它们的却是饥饿与屠杀！但它们已无法返回，因为这需要漫长的适应，但绝不是人类社会允许的时间尺度上。



图 6-1 在长江南京江段起水换气的江豚（周佳俊摄于 2016 年 3 月 1 日）

白暨豚（隶属于喙豚科白暨豚亚科白暨豚属）仅分布于长江中下游，是中国特有的淡水鲸类。全世界已知的淡水豚仅有 5 种（它们组成了喙豚科），除白暨豚外，还有印度河喙豚（*Platanista minor*）、恒河喙豚（*Platanista gangetica*）、亚马孙河豚（*Inia geoffrensis*）和巴西河豚（*Pontoporia blainvillei*）。淡水豚仅栖息于大江大河之中，虽然偶尔也能进入大型湖泊。

江豚属（隶属于鼠海豚科）主要分布于印度和西太平洋沿岸狭长的浅水区，从波斯湾到大多数印度-马来西亚地区的沿岸海洋，向北经过中国海域（包括长江中下游、鸭绿江下游和珠江下游）到日本和韩国南部（Kasuya 1999; Jefferson and Hung 2004）。江豚的分类一直存在争议，Pilleri 和 Gühr（1972, 1975）曾主张将江豚分为三个独立的种，而王丕烈（1992a, 1992b）认为只有 1 个种，但分为 3 个亚种——指名亚种（*N. p. phocaenoides*）、长江亚种（*N. p. asiaeorientalis*）和北方亚种（*N. p. sunameri*），即南海种群与印度、巴基斯坦种群同属指名亚种，东海—长江种群属长江亚种，黄渤海种群与日本种群同属北方亚种。高安利和周开亚（1995）也主张将

江豚划分成 3 个亚种，但将分布于长江中下游干流及与之相通的洞庭湖和鄱阳湖中的江豚单独作为长江亚种，并认为其是唯一已知的淡水江豚种群。

二、豚的祖先——陆生哺乳动物

眼泪本来是高等陆生动物为了湿润眼球和眼睑、冲洗异物之用的，对水中生活的动物（如鱼类）来说则完全无此必要。那豚为何与我们人一样还流淌泪水呢？这就得追溯其久远的进化历史了，因为豚是从陆生哺乳动物转为水生的（图 6-2），

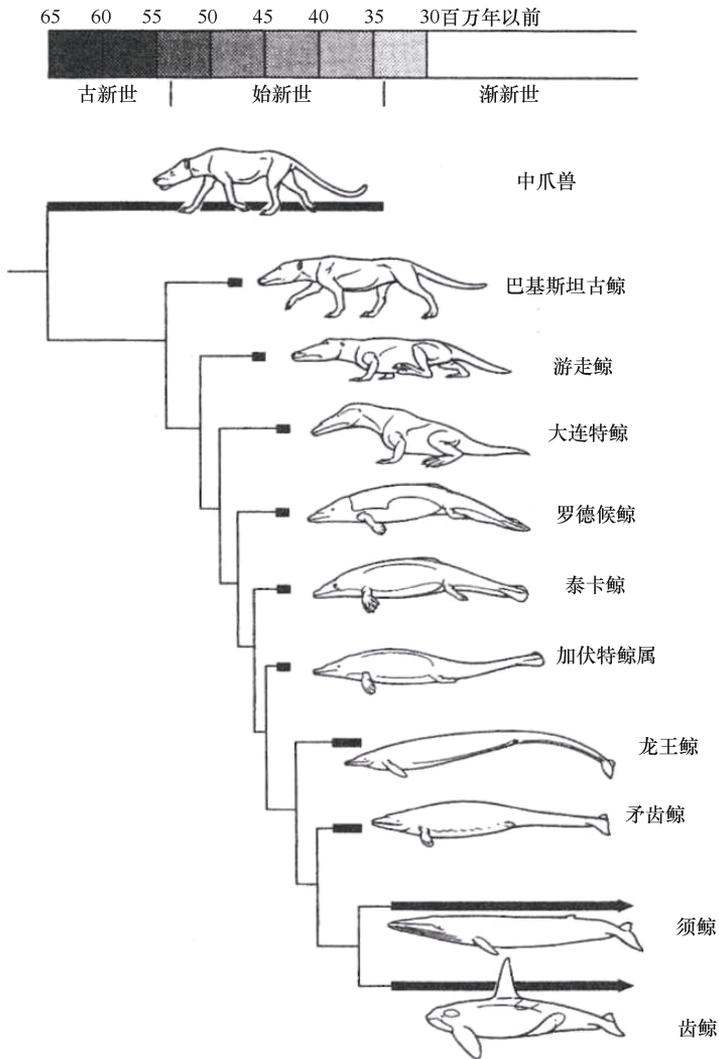


图 6-2 从中爪兽向鲸的演变（引自迈尔 2009）

即四足动物重新返回水中生活时就演变成了鲸，这时四足动物变成了鱼的模样：前肢和尾巴逐渐变成了鳍，后肢完全退化，为了适应水中的生活，身体变回了流线型！但是，鲸在生理上并未能彻底回到鱼的状态，它还是恒温的哺乳动物，也长不出鳞片，保留了乳头，与我们一样流泪，也保留了用肺呼吸空气中氧的习性，故需不时露出水面换气。也正因为这一特性，所以人工巡视也是评估豚类数量的重要手段。

三、白暨豚的陨落

白暨豚的古代记述最早见于 2000 多年前秦汉间写成的《尔雅》一书。白暨豚的模式标本是在 1916 年 2 月 18 日由 Hoy 采自湖南洞庭湖，经由 Miller (1918) 研究命名的 (陈宜瑜和陈炜 1975)。

1. 生活简史

1) 自然分布

白暨豚活动于从长江入海口到三峡内的黄陵庙江段 (全长约 1800 km) 以及附属的大型通江湖泊——洞庭湖和鄱阳湖之中，在特大洪水的 1954 年，有人曾在鄱阳湖上游的抚河中捕到过白暨豚。20 世纪 50~70 年代，在钱塘江的富春江段发现白暨豚，但自从上游七里泷建成水坝和在钱塘江口抛石后，钱塘江水位下降，潮水减小，在富阳江段以上再未发现白暨豚 (周开亚等 1977; 陈佩薰等 1997)。

大型通江湖泊也是白暨豚的摄食与交配之地。白暨豚在春末夏初，游进流入洞庭湖的清澈小河内 (Hoy 1923)，估计在那里进行交配，随后在湖内摄食。随着冬季的来临，湖水下降，水温变低，它们多进入长江深水中越冬，并于 1 月、2 月在江中分娩 (陈宜瑜和陈炜 1975)。

2) 觅食

白暨豚常在浅滩、岔流以及支流汇合处觅食鱼类，摄食量可占体重的 10%~12%。通过对长江中游 12 头胃内含食物的白暨豚的解剖发现，它们主要捕食鱼类：鲤、鲢、草鱼、青鱼、三角鲂、赤眼鲮、鲶鱼和黄颡鱼，被捕食鱼的体长多为 15~30 cm，体重多为 100~600 g，虽然有一头体长 2.07 m 的豚其胃中有一尾鲢体长 50 cm (体重 1.2 kg)，这是所见到的白暨豚吞食的最大的鱼。大致判断，白暨豚较为适口的食物是 250 g 左右的鱼类；此外，白暨豚既能捕食水体上层的鲢，也能捕食底栖的鲶和黄颡鱼。生活在长江下游的白暨豚胃内还发现有刀鱼 (陈佩薰等 1985, 1997)。

通过对人工饲养的白暨豚“淇淇”的实验发现，当其体长为 1.45 m 时，对体长在 6.5 cm 以下 (重 220 g) 的鲢均可吞食，但对体长 6.5 cm 以上的鱼则无法吞

咽，能吞咽的其他鱼类的最大体长：鳊为 5.4 cm（重 125 g），鲫为 6.9 cm（重 200 g），鳊为 7.1 cm（重 110 g），细鳞斜颌鲴为 5.6 cm（重 215 g）。随着豚体长的增加，所能吞食的鱼也随之增大。而吞食较大的鱼会使豚的食道撕裂，危及生命（陈佩薰等 1997）。

白暨豚只有一种犬齿，只能咬住食物，无咀嚼作用，因此它吃东西时，一旦咬住食物，便囫囵吞枣，几下一动便把鱼儿连头带尾吞进肚里（刘仁俊 1980）。

3) 繁殖与寿命

白暨豚雌性个体一般体长（吻一尾凹）2.0 m 以上，年龄为 6 龄达到成熟，而雄性个体则一般体长在 1.8 m 左右，年龄为 4 龄。白暨豚的最大体长雌性（约 2.5 m）约高于雄性（约 2.3 m）。在春夏两季发情，出现性行为（陈佩薰等 1985）。白暨豚每胎可怀 1~2 个胎儿（陈宜瑜和陈炜 1975）。6 龄雌豚约有 2 m 长和 100 kg 重，4 龄雄豚约有 1.8 m 长和 85 kg 重，白暨豚的怀孕期为 10~11 个月（陈佩薰等 1985）。1974 年曾在长江中游洪湖江段获得一头体长 2.53 m 的雌性个体，是见过的最大一头，年龄为 30 岁左右（陈佩薰等 1997）。

4) 群居与通信

白暨豚喜欢群居。白暨豚通常 3~4 头集群，有时十余头成一大群（Hoy 1923）。1979~1983 年对长江中下游白暨豚的 9 次生态考察发现，白暨豚成群出现 76 次（群体规模一般 5~9 头，最多 15 头），单个出现 34 次（陈佩薰等 1985）。

由于终生生活于浑浊的江水之中，白暨豚的视觉神经已经退化，声纳系统成为了它们赖以生存的基础，有通信信号和回声定位信号之分，前者用于个体之间或群体之间互相联络以及情感表达，后者用于观测环境、探测目标和获取食物（王丁等 1989）。

2. 种群的衰退与濒危

据估计，在《尔雅》问世的时代，长江中的白暨豚数量可能超过了 5000 头（许历新 2007）。但 1978 年以前，没人对白暨豚的种群数量进行过研究。在长达 1800 km 的江段中对白暨豚的数量进行估算其实是非常困难的，往往需要同步进行，耗费大量的人力物力。

20 世纪 70 年代末以来，中国科学院水生生物研究所、南京师范大学等单位先后对白暨豚进行了 50 余次的生态学考察（陈佩薰等 1980；周开亚等 1982；华元渝等 1986，华元渝和张建 1993；于道平和王江 1999；Zhang et al. 2003；Zhao et al. 2008）。基于这些考察资料推测，白暨豚从 1980 年的 400 头左右下降到 20 世纪末的不足 50 头，2006 年再没有发现任何个体（郝玉江等 2011）。虽然存在一定的争议，但白暨豚的种群数量直线式锐减的趋势是确定的，估计的下降速率每年超过了 5%（图 6-3）。

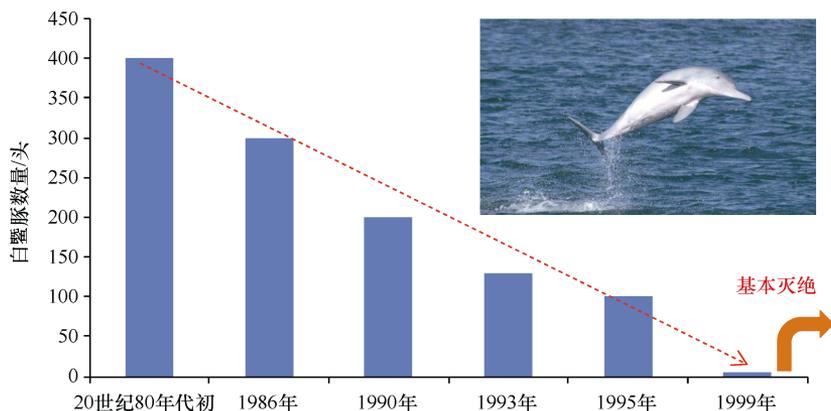


图 6-3 白鱀豚的种群数量变动

导致白鱀豚死亡的人为原因十分复杂（表 6-1），根据于中国科学院水生生物研究所和南京师范大学 9 年以来所搜集到的白鱀豚死亡个体资料以及 1988 年长江中下游五省白鱀豚保护座谈会提供的资料来看，渔用滚钩致死的比例高达 48.2%。被轮船螺旋桨击毙也占到了白鱀豚死亡的 14.1%，因为白鱀豚的视觉退化，仅靠声纳系统感知外部世界，而在长江中航行的船只发出的噪声恰好造成了其声频感知的紊乱，使其不知不觉地撞上螺旋桨而毙命。

表 6-1 白鱀豚死亡统计（1955~1984 年）

年份	死亡原因							死亡总数/头	平均死亡率/(头/a)
	滚钩业	螺旋桨	搁滩	电击	爆炸	泵吸	其他		
1955~1964	9						2	11	1.1
1965~1974	13	2			6		2	23	2.3
1975~1984	19	10	7	1	8	1	5	51	5.1
1984	5		1	1	7		2	16	16.0
死亡总数/头	41	12	7	1	14	1	9	85	
死亡比例/%	48.2	14.1	8.2	1.2	16.5	1.2	10.6	100	

资料来源：华元渝和张建 1993。

湖泊入江处修建坝闸亦有可能对白鱀豚产生影响，因为湖泊入江处受湖水顶托形成的大回水区曾是白鱀豚良好的栖息活动场所。据渔民反映，湖泊入江处未建坝闸前，经常可观察到白鱀豚在附近活动，有时还发现 20 头以上的白鱀豚集群，但建闸之后，就再也看不到白鱀豚活动了（华元渝和张建 1993）。

1979 年，中国宣布白鱀豚为濒危物种。1996 年被世界自然保护联盟列为最濒危的 12 种动物之一，2007 年被宣告“功能性灭绝”（functionally extinct）（这一时

间节点虽然是在三峡截流之后，但两者之间不大可能就是一种因果关系)。

四、长江江豚——步白暨豚后尘？

除了白暨豚以外，在长江中还生活了另一种齿鲸——长江江豚。江豚在我国古代文献中的记载最早见于 1800 年前的东汉时期，于 1829 年被科学命名（陈佩薰等 1997）。

1. 生活简史

长江江豚主要分布在长江中下游一带，以长江干流、洞庭湖、鄱阳湖等大型通江湖泊为主。江豚是群居性动物，曾观察到 87 头的大群体，但 2~3 头的群体最为多见，超过 20 头的群体出现概率仅为约 3%。此外，江豚喜欢在近岸活动，离岸 200 m 以内的出现频率占了近 8 成（张先锋等 1993）。

江豚首次性成熟年龄雌性 4 龄（1.33 m），雄性 4~5 龄（1.40 m），江豚为小型鲸类，寿命约为 25 年（张先锋 1992）。

据陈佩薰等（1980）报道，她们曾获得一头江豚，其胃内有小鱼 27 尾之多，这些鱼都是半斤^①以下的底层鱼类或中层、下层鱼类（鲤、黄尾鲮、黄颡鱼等）。在长江口一带的江豚捕食大银鱼、刀鲚、鲚鱼。在饲养江豚时，常喂鲫（陈佩薰等 1997）。

2. 种群的衰退与濒危

张先锋等（1993）于 1984~1991 年对长江中下游干流及洞庭湖和鄱阳湖进行了 13 次考察，行程 12 633 km，累积时间 312 天，共记录到江豚 2865 头，得到长江中下游江豚种群数量约为 2700 头的估计值，其中，宜昌至武汉江段为 500 头，武汉以下江段约为 2200 头（表 6-2）。

表 6-2 长江中下游干流或湖泊中江豚种群数量的统计

江段或湖泊	长度/km	相对密度/（头/km）	估计数量
宜昌—武汉	626	0.63	394
洞庭湖	30（仅指考察距离）	3.45	104
武汉—江阴	898	1.84	1652
鄱阳湖	15（仅指考察距离）	3.45	52
江阴—吴淞口	145	3.45	500
合计	1669		2702

资料来源：张先锋等 1993。

^① 1 斤=500 g，下同。

2006年，中国科学院水生生物研究所牵头组织了长江豚类7国联合考察，估计长江干流长江江豚的种群数量为1000~1200头，再结合之前洞庭湖和鄱阳湖的考察数据，估计当时长江江豚约为1800头左右(Zhao et al. 2008)。

据2012年的调查，有江豚约1040头，其中长江干流约500头，鄱阳湖区约450头，洞庭湖区约90头。可见，大型通江湖泊对长江江豚的生存至关重要。但为何江豚更喜欢栖息于鄱阳湖就不得而知了，而实际上两湖的渔产量相差无几。当然，这也可能与它们的有效栖息地面积有关：目前江豚仅分布于东洞庭湖，在南洞庭和西洞庭未见分布。此外，在两湖中观察到江豚并不意味着它们就是永久居住在那里的，它们应该是在江湖之间来来往往的。如果通过闸坝切断两湖与长江的联系，失掉的可能不仅仅是这一半江豚的栖息之地，干流中的饵料生物亦会进一步衰减，从而可能给江豚带来致命一击。

与白暨豚类似，20世纪90年代初以来，江豚的种群数量直线式锐减，下降速率每年约为3% (图6-4)。1988年被列为国家二级保护野生动物，1996年，被世界自然保护联盟(IUCN)列为濒危物种，2013年被列入IUCN红色名录极危物种，2017年被列为国家一级保护动物。长江江豚只有白暨豚体重的一半，种群基数接近大一个数量级，但却与白暨豚的种群衰减趋势颇为相似，只是滞后了约20年。

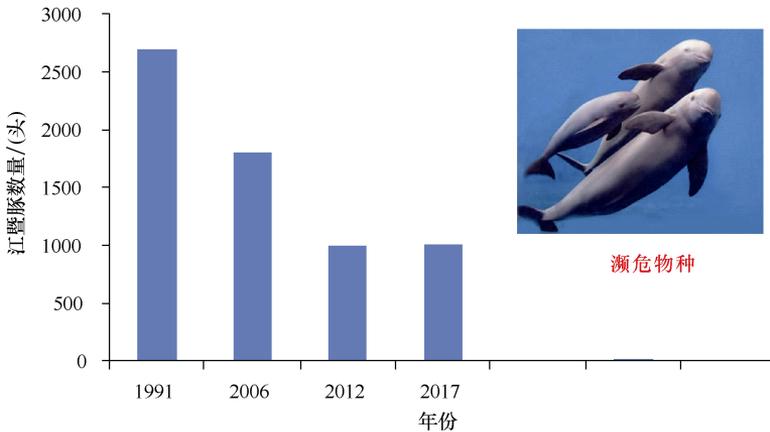


图6-4 长江江豚的种群数量变动(根据张先锋等1993、Zhao et al. 2008、“2012长江淡水豚考察报告”以及“2017长江江豚生态科学考察报告”的数据绘制而成)

江豚种群的衰退并不是均一地贯穿整个江段，因为在有些江段中，江豚的数量并未呈现明显的下降趋势。例如，1993~2008年，用望远镜和目视相结合的方法对长江铜陵段(全长58 km)中的江豚数量进行了观察，发现该江段的白暨豚数量大致在80头左右波动(图6-5)。

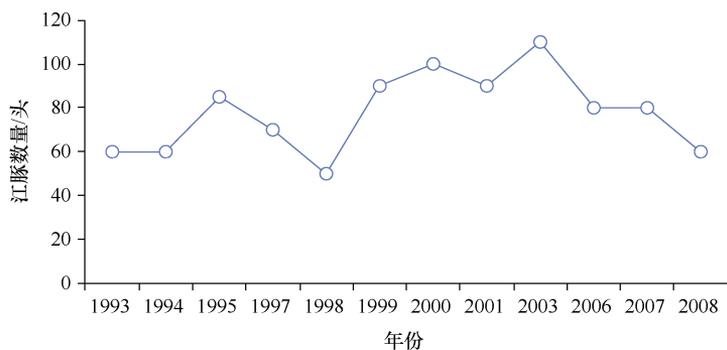


图 6-5 长江铜陵段中江豚的种群数量变动（根据蒋文华等 2010 的数据绘制而成）

五、天鹅洲故道迁地保护的启示

天鹅洲故道位于湖北省石首市下游约 20 km 的长江北岸，自然形成于 1972 年 7 月。中国科学院水生生物研究所的专家们成功地对江豚实现了迁地保护：20 世纪 90 年代以来，他们先后向天鹅洲故道（长 21 km，面积 18~20 km²）（图 6-6）迁移了数群江豚，放养的江豚已能自然繁殖（图 6-7），目前的数量已超过 60 头，仅 2015 年新出生的幼豚就有 11 头之多！



图 6-6 长江天鹅洲故道

张征等（1995）在天鹅洲故道设置了 3 个断面（图 6-8），于 6~10 月，研究了浮游植物的丰度变化。黄丹（2013）在天鹅洲设置了 10 个采样点，在 2011~2012 年，研究了浮游动植物群落的变化。与长江干流相比，天鹅洲故道的浮



图 6-7 天鹅洲故道中的江豚家族（图片由中国科学院水生生物研究所提供）

游动植物、底栖动物和鱼类等资源丰富（表 6-3、表 6-4），如天鹅洲故道的浮游动物密度为长江干流的近 8 倍，江豚适口的饵料鱼类亦十分丰富（梁彦龄和王骥 1988；陈佩薰等 1997）。江豚在天鹅洲故道的成功定居与稳定增长表明，要想让长江中下游重新变成江豚的宜居地，必须打通长江干流与邻近湖泊的生态通道，以增加江豚的适口鱼类饵料，当然，这也能增加它们的活动空间。同时，还需禁止酷渔滥捕对江豚的意外伤害。

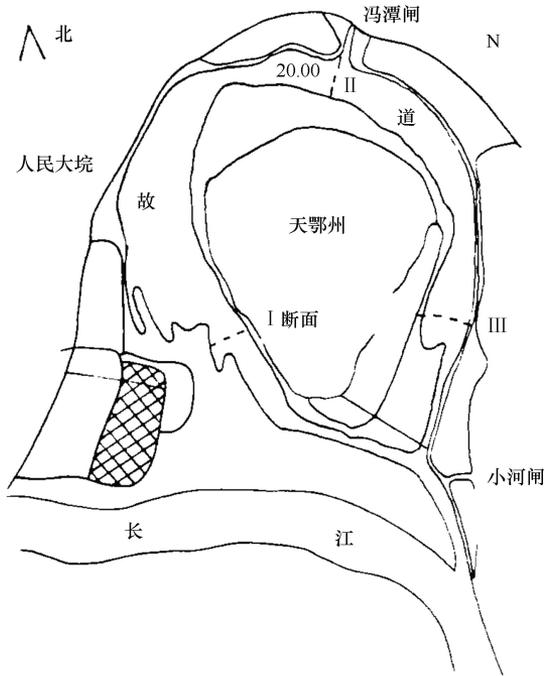


图 6-8 天鹅洲故道的采样点分布

表 6-3 天鹅洲故道浮游动植物密度与现存量

	浮游植物密度/ ($\times 10^7$ ind./L)					浮游植物生物量/ (mg/L)				
	5月	6月	8月	10月	平均	5月	6月	8月	10月	平均
I 站	0.04	0.50	1.52	1.26	0.83	0.84	1.67	3.0	2.99	2.12
II 站	0.06	0.61	0.72	1.22	0.65	0.78	1.16	2.23	2.29	1.62
III 站	0.03	0.18	0.99	2.21	0.85	0.24	1.69	2.32	3.45	1.93
平均	0.04	0.43	1.08	1.56	0.78	0.62	1.51	2.52	2.91	1.89

	浮游动物密度/ ($\times 10^3$ ind./L)					浮游动物生物量/ (mg/L)				
	5月	6月	8月	10月	平均	5月	6月	8月	10月	平均
I 站	2.98	3.22	8.83	10.77	6.44	1.32	2.45	3.85	3.61	2.81
II 站	4.26	4.84	4.78	14.73	7.16	1.88	2.26	2.65	2.40	2.30
III 站	4.37	2.72	3.17	23.51	8.45	2.01	2.75	2.88	4.77	3.10
平均	3.87	3.59	5.59	16.34	7.35	1.74	2.49	3.13	3.59	2.73

资料来源: 张征等 1995。

表 6-4 天鹅洲故道浮游植物 (2011 年四季) 和浮游动物 (2011 年夏季和 2012 年夏季) 的密度与现存量

类群	浮游植物密度/ ($\times 10^7$ 细胞/L)					浮游植物生物量/ (mg/L)				
	春季	夏季	秋季	冬季	平均	春季	夏季	秋季	冬季	平均
蓝藻	5.4	8.5	6.0	0	5.0	1.2	1.9	2.1	0	1.3
硅藻	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	13.3	2.4	1.5	0.5	4.4
甲藻	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
裸藻	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.1	0.1
隐藻	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0.2	0.2
金藻	0.1	0	0	0	0	0.5	0	0	0.1	0.2
绿藻	0.1	0.3	1.2	0.2	0.4	0.9	0.8	1.8	0.2	0.9
合计	5.9	8.9	7.3	0.3	5.6	16.0	5.2	6.6	1.2	7.2

类群	浮游动物密度/ ($\times 10^3$ ind./L)		浮游动物生物量/ (mg/L)	
	2011 年夏季	2012 年夏季	2011 年夏季	2012 年夏季
原生动物	43.40	28.49	2.3	0.9
轮虫	2.25	1.71	0.9	0.7
枝角类	0.08	0.02	2.4	0.6
桡足类	0.46	0.04	3.1	0.2
合计	46.18	30.25	8.7	2.4

资料来源: 黄丹 2013。

在面积只有 20 km^2 (大概只有干流面积的 1/300) 的天鹅洲故道中都可容纳 60 头以上的江豚, 这不得不令人深思。当然故道中的饵料资源丰富, 这在干流中是不可能出现的, 只有通江湖泊才能如此, 这说明了江豚对饵料资源丰富度的强烈依赖性。当然, 故道中也没有滚钩误捕, 更不会有螺旋桨致死。如果滚钩误捕是主因, 取缔这种捕捞方式即可解决问题。如果是螺旋桨的问题, 那就毫无办法了, 因为不

可能在长江中禁止通航。长江中下游湖泊的闸控工程导致了干流渔业资源的大幅衰退，进而引发了豚类种群的急剧萎缩，而酷渔滥捕等起到了推波助澜的作用。

六、为何白鱈豚比江豚更容易灭绝？

很多鱼类（如中华鲟）由于生殖洄游通路被阻断而导致濒危，但这不可能是豚类衰亡的原因，因为豚是胎生动物。此外，在自然生态系统中，各种因素交织在一起发生，厘清因果关系并不容易。

在过去的半个多世纪，白鱈豚几乎绝迹（功能性灭绝），江豚的种群数量虽然也经历了急剧的下降，但现在依然还保留了近千头的规模。同是豚类，食性也非常相近，为何两者的命运如此迥然不同？

(1) 白鱈豚主要限于淡水环境，而江豚的生活范围可能延伸到河口的咸淡水甚至近海环境，因此，江豚具有更广阔的生存空间。

(2) 与江豚相比，白鱈豚的体型更大，性成熟年龄更晚，妊娠率远低于江豚，生殖能力不如江豚。此外，由于白鱈豚体型大，生活的水域更靠近水较深的航道，日益频繁的航运对它们的危害更大。

(3) 白鱈豚所食鱼的个体尺寸明显大于江豚所食鱼的尺寸，由于大鱼更有商业价值，面临更大的捕捞压力，因此鱼类资源由于过度捕捞等出现明显小型化，对白鱈豚的负面影响更为严重。

(4) 白鱈豚所适口鱼的大小与滚钩捕获的鱼的大小一致，因此，白鱈豚被滚钩致死，其胃中有鱼钩的情形比较常见，而江豚被滚钩致死的情况并不多见。

(5) 江豚的食物更加广泛，还摄食软体动物和甲壳动物等。

(6) 白鱈豚的眼球比江豚小，江豚的视神经纤维数为白鱈豚的 3.04 倍，此外，在饲养江豚和白鱈豚的过程中，江豚对训练员手势的反应比白鱈豚灵敏得多，因此，江豚的视力比白鱈豚好，这就使得声呐系统在白鱈豚的生活中扮演了更为重要的角色。但这反过来意味着，长江中航行的船只发出的噪声造成的声频紊乱会给白鱈豚带来更为致命的后果。白鱈豚的声信号频率更低，接近航运船舶的螺旋桨噪声，更容易被干扰和淹没，而长江江豚声信号频率更高，受到的干扰相对较小。

关于白鱈豚灭绝和江豚衰退的机制众说纷纭，如食物短缺、滚钩误捕、螺旋桨致死等。由于在长江中，这些胁迫因子同时发生作用，难以分离，因此，迄今为止尚无定论。

物种的生存遵循木桶效应（Buckets effect），即一只水桶能装多少水取决于它最短的那块木板，食物短缺、滚钩误捕、螺旋桨致死等都是木块，它们都可能成为最短的那块。

长江中的饵料生物十分贫瘠，不是因为养分，而是因为含有太多的泥沙，浑

浊的江水因光的限制使藻类难以大量生长，而这些泥沙来源于丰沛降雨对上游不断隆升山脉的强烈冲刷。而在与长江相连的湖泊中，由于水流的减缓，泥沙很快沉降下去，丰富的养分很快开始支撑动植物的繁荣——琳琅满目的物种为食物链顶端的生物（如豚类）提供了充足的食物。因此，对需要在河流中完成生活史的很多高营养级动物来说，河湖是一个不能割裂的有机整体。

毫无疑问，饵料资源是江豚在干流中生存的主要限制因子之一，是在全域尺度上可考证的短板，因此，保持江湖连通性至关重要。在东亚季风气候的影响下，与长江自然连通的洞庭湖和鄱阳湖呈现出“洪水一片，枯水一线”的自然景观，丰水季节的两湖是江豚重要的觅食之地，而枯水季节豚类（还有一些鱼类）退回干流以度过严冬，年复一年，在涨落的河水中，豚类固化了随季节在河湖之间迁徙的节律。

在丰水季节，两湖面积是天鹅洲故道的近 300 倍，对江豚种群的支撑作用不言而喻。但是，如果将鄱阳湖和洞庭湖闸控起来，它们与长江的生态联系将被切断，江豚将会丧失最重要的两个栖息之地，其灭绝可能难以阻挡（除非长江干流中的饵料生物有大幅增加）。如果两湖建闸，将完成对江豚的最后一击！有专家认为，江豚可在封闭的鄱阳湖中繁衍生息下去。但笔者认为，虽然不能说没此可能（毕竟在小小的天鹅洲故道中都能繁殖），但世界上还没有豚能陆封于湖泊中生存下来的先例。虽然说鄱阳湖现在是我国第一大淡水湖，但对豚的自然栖息来说，可能依然还是微不足道的。

长江是一个巨大的生态系统，其复杂性无与伦比。两湖建闸的生态风险难以预料。在物种错综复杂地交织在一起的中下游江湖复合生态系统中，豚大概不会是唯一的牺牲品，可能只是一个链式灭绝的开端！

只有人才明白自己是进化旅途中其他生物的同路者。但遗憾的是，即使是江边的栖居者，也鲜有人知晓这条河及其中生命的演化历史。人们并不关心这其中的生死轮回，因为绝大多数人仅乐道它的使用价值——饮水、水产品、航运、景观等，虽然不排除有极少数人将其视为驶向未知彼岸的精神之河。河流的历史不仅书写在了地貌上，而且也镌刻在了生命之中。因此，一个物种的消逝，也意味着一段珍贵自然历史的抹灭，而对很多这种匿藏的历史我们还远未知晓。

人类的文明并不能完全脱离野生的根基，用科学的术语来说，就是一种生态完整性与和谐性，虽然我们对其既无法称重也无法丈量，但它以一种秉性的形式扎根于我们的感知之中，并维持着我们的生存。但是，技术的进步使人类挣脱了自然的束缚，只能建立文明的自我约束以及对大自然的呵护维持，否者将自我摧毁。一切生命都是自然的产物，人亦如此，按法国哲学家拉·梅特里的说法：“人并不是用什么更贵重的料子捏出来的；自然只用了一种同样的面粉团子，它只是以不同的方式变化了这面粉团子的酵料而已”。而制作我们肉体的“面粉团子”以及由此涌现的精神离不开由众多物种编织而成的生态过程。

第七章 长江中的濒危鲟形目鱼类

很多物理现象往往具有惊人的可预测性，如遥远星辰的摇晃和转动，这是一种美好而严格的科学。但我们对生态学趋势的预测就没那么精准了，把握成千上万的物种交织在一起的现在就已经十分吃力了。但种间关系的复杂与变异并不意味着物种不存在稳定的生理节律。事实上，有些物种对生存环境精准性的生理追求十分悲催，不惜自我毁灭，不知是一种笨拙还是一种忠贞？长江中的鲟鱼就是这样一个悲壮的类群。复杂性造就了精致性，而精致性却牺牲了可塑性。

一、古老的大型鱼类——鲟鱼

鲟类在进化上介于软骨与硬骨之间，在分类上指鲟形目鱼类，包括鲟科（*Acipenseridae*，通俗英文名 Sturgeon）和匙吻鲟科（*Polyodontidae*，通俗英文名 paddlefishes）以及一些灭绝的科。

鲟鱼是一种古老的鱼类——我国曾在距今 1.4 亿年前的地层中发现过鲟类化石。鲟鱼和匙吻鲟被认为是原始鱼类，因为它们形态特征与其最早的化石记录相比并无太大改变。全世界的鲟科（*Acipenseridae*）鱼类共有 27 种，其起源可追溯到 2.45 亿~2.08 亿年前的三叠纪，因此也有“活化石”之称（Birstein et al. 1997）。鲟科分为 4 个属——鲟属（*Acipenser*）、鳊属（*Huso*）、铲鲟属（*Scaphirhynchus*）和拟铲鲟属（*Pseudoscaphirhynchus*）。匙吻鲟科鱼类最早出现于距今 1 亿多年前的白垩纪，但现今存活的匙吻鲟科鱼类仅有 2 属两种：一种是分布于长江的白鲟（*Psephurus gladius*），另一种是分布于密西西比河的匙吻鲟（*Polyodon spathula*）。早在 20 世纪初，Sowerby（1925）就曾这样描述道：“扬子江白鲟是所有中国令人印象深刻的鱼类中的首位了。扬子江白鲟属于匙吻鲟科鱼类，在世界上仅存 2 属 2 种，一种是中国的白鲟，另一种即是分布于北美密西西比河的匙吻鲟，两者皆属于鲟鱼类”。

鲟鱼的显著特征是寿命长，性成熟晚，体型大，如欧洲鲟（*Huso huso*）可活 118 年，1827 年曾经在伏尔加河河口捕获的一条雌体体重达到 1571 kg！四川省的渔谚中有“千斤腊子万斤象”的说法，所谓“腊子”是指中华鲟，“象”则是白鲟（余志堂 1988b）。

许多鲟鱼属于溯河产卵的底栖鱼类，在生殖季节需到河流的上游去产卵，但大部分时间在河流三角洲和河口地区摄食生长。有些鲟鱼完全生活在淡水环境，

而有些则主要栖息于沿海水域之中，虽然偶尔也能冒险进入深海。

我国境内分布的野生鲟类有 8 种，分布于黑龙江、松花江、乌苏里江流域的史氏鲟 (*Acipenser schrenckii*)、达氏鳊 (*Huso dauricus*) 和库页岛鲟 (*Acipenser medirostris*)，分布于长江流域的中华鲟 (*Acipenser sinensis*)、达氏鲟 (*Acipenser dabryanus*) 和白鲟 (*Psephurus gladius*)，分布于新疆伊宁等地水域中的裸腹鲟 (*Acipenser nudiventris*)，以及分布于新疆额尔齐斯河、布伦托海、博斯腾湖的西伯利亚鲟 (*Acipenser baeri*)。栖息于长江之中的中华鲟、达氏鲟和白鲟都已处于濒危状态，被列为国家 I 级保护野生动物。

二、极危的中华鲟

中华鲟 (*Acipenser sinensis*) (图 7-1) 是一种海河洄游性鱼类，隶属于鲟形目鲟科鲟属。中华鲟曾经分布于韩国西南部水域，日本九州西部水域，中国的黄河、长江、珠江、闽江、钱塘江等水域，但现在除了葛洲坝下的长江中下游之外，中华鲟在其他地方都已绝迹。



图 7-1 体型巨大的中华鲟 (*Acipenser sinensis*) (黄宏金等 1982)

1. 生活简史

中华鲟在长江上游出生，在大海中成长，最大个体曾有 680 kg 的记录，寿命可达 40 龄。中华鲟平时生活在黄海、东海、南海北部的浅海区域，以底栖动物(虾、蟹、软体动物、头足类、水生昆虫和小杂鱼等)为食，雄鱼最早 8 龄、雌鱼最早

14 龄才达初次性成熟（余志堂等 1986；Wei et al. 1997）。成熟个体需溯河洄游超过 3000 km 以抵达长江上游的金沙江（宜宾—屏山）河段方才进行产卵繁殖，那里水流湍急，底为砾石。受精卵黏附于江底的岩石或砾石表面进行孵化。

中华鲟在秋季产卵。亲鱼进入长江后要停留 1 年多时间，在此期间基本不摄食，依靠体内积累的脂肪提供繁殖过程中的能量消化和性腺发育所需的物质，待性腺由Ⅲ期发育到Ⅳ期后，于翌年秋季 10 月中旬至 11 月中旬产卵，产后亲鱼迅速离开产卵场，降河入海肥育（庄平等 2006）（图 7-2）。因此，在长江中个体越成熟，身体越消瘦。幼鱼长大到 15 cm 左右进入大海。中华鲟在生殖洄游过程不进食而全靠消耗身体内的营养储备，其忍耐饥饿的能力是惊人的，在硬骨鱼类中亦极为罕见。中华鲟并非每年产卵，根据对胸鳍第一鳍条磨片上的生殖标志的观察推测，中华鲟重复产卵的间隔期至少为 5~7 年（余志堂 1986）。

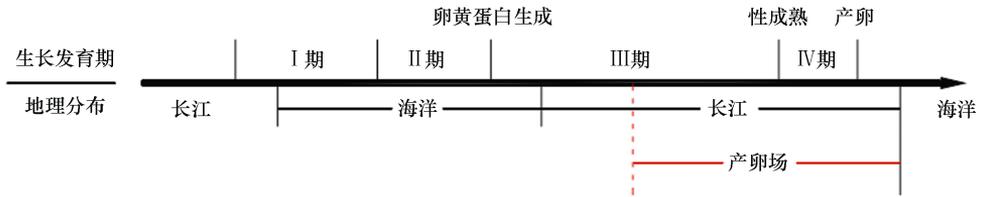


图 7-2 中华鲟的生活史（引自曹俊 2016）

中华鲟产卵后，会有各种鱼类——铜鱼（*Coreius heterodon*）、圆筒吻鲃（*Rhinogobio cylindricus*）、瓦氏黄颡鱼（*Pelteobagrus vachelli*）、大鳍鱮（*Mystus macropterus*）等聚集在其播卵区，摄食黏附在河流底质上的受精卵。因此，解剖食卵鱼也是监测中华鲟自然繁殖的传统方法（图 7-3）。



图 7-3 葛洲坝江段瓦氏黄颡鱼摄食中华鲟卵的情况（红圈中灰白色颗粒即为中华鲟卵）
（引自吴金明等 2017a）

2. 葛洲坝——切断了中华鲟的生殖洄游通道

早在 20 世纪 70 年代科学家就曾预言,“目前正在兴建的葛洲坝水利枢纽将阻隔亲鱼自中、下游上溯进行生殖洄游,对中华鲟的资源影响严重,如不采取适当措施,甚至将会造成长江中华鲟绝迹”(湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。

1981 年葛洲坝建成后,阻止了中华鲟亲鱼的生殖洄游,无法上溯到金沙江产卵的中华鲟,勉强在葛洲坝下形成了新的产卵场,主要是宜昌长航船厂至十里红江段,长度约为 4 km;其次是十里红至胭脂坝江段,长度约为 5 km(中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991)。也有一种说法是葛洲坝截流后仅形成了 1 个新的产卵场,位于坝下消力池至庙嘴 2 km 范围内,主要集中在南岸笔架山江段的 1 km 范围内(庄平等 2006)。很显然,中华鲟产卵场的规模大幅萎缩(图 7-4)。紧靠葛洲坝枢纽的坝下江段新形成的中华鲟产卵场被认为对延续中华鲟的自然种群会起到至关重要的作用(中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991)。Xin 等(1991)甚至认为,葛洲坝对中华鲟不是一个威胁。但 Xie(2003)预测,三峡大坝建成后,可能毁坏这个唯一的产卵场。不幸的是,2013、2015、2017 年均未在葛洲坝下产卵场发现中华鲟产卵,中华鲟自然繁殖的终结已近在咫尺!



图 7-4 长江中华鲟产卵场分布示意图(引自曹俊 2016)

上溯到金沙江产卵的中华鲟,曾经是一种重要的经济鱼类,在长江上游的产量每年为 20 000~25 000 kg,如在宜宾地区每年繁殖季节可形成一个捕捞中华鲟的旺季(图 7-5)。葛洲坝截流后的 1981~1982 年,沿江各地渔民大量捕杀中华鲟亲鱼,数量达 2000 余尾,给中华鲟种群带来很大的伤害(余志堂 1988b)。1983 年以后,国家明令禁止了对中华鲟的商业性捕捞。

在过去的半个世纪,中华鲟的繁殖群体经历了急速的衰退过程(危起伟等 2005)。据估计,20 世纪 70 年代,长江中的中华鲟繁殖群体尚有 1 万余尾,1983~1984 年下降到约 2176 尾,2005~2007 年下降到 203~257 尾,到了 2010 年只剩

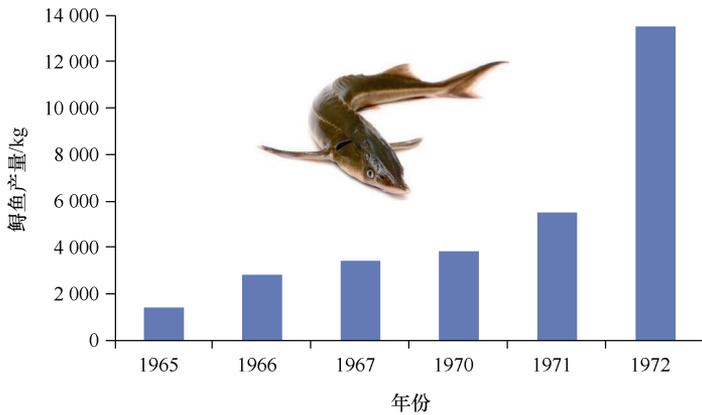


图 7-5 宜宾渔业社 1966~1972 年的鲟鱼产量
(数据来源: 湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)

数十尾(图 7-6)。中华鲟已被列入世界自然保护联盟(IUCN)2012 年濒危物种红色名录 ver 3.1——极危(CR)。

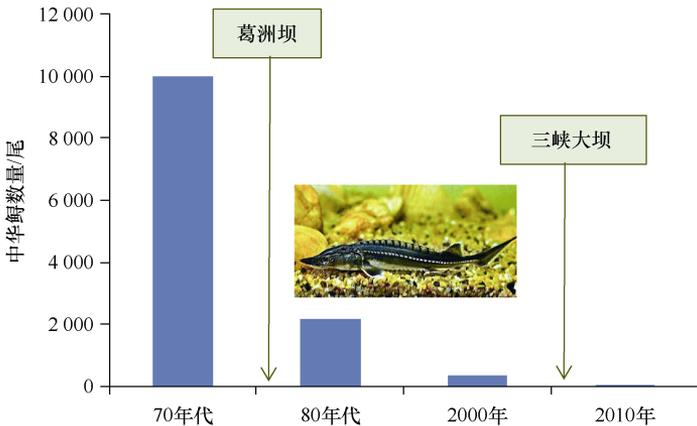


图 7-6 自 20 世纪 70 年代以来, 中华鲟繁殖群体在长江中的衰退过程(根据 The IUCN Red List of Threatened Species: *Acipenser sinensis* 的数据绘制而成)

3. 三峡大坝——压死骆驼的最后一根稻草

三峡蓄水对温度过程产生了影响: 以 2004 年刚蓄水的寸滩站(位于三峡水库顶部, 是三峡水库的入库控制站)和宜昌站(位于三峡大坝下游 42 km 处, 是三峡水库的出口控制站)为例, 1~2 月水温偏高, 3~5 月水温偏低, 7~12 月又显著偏高(图 7-7)。

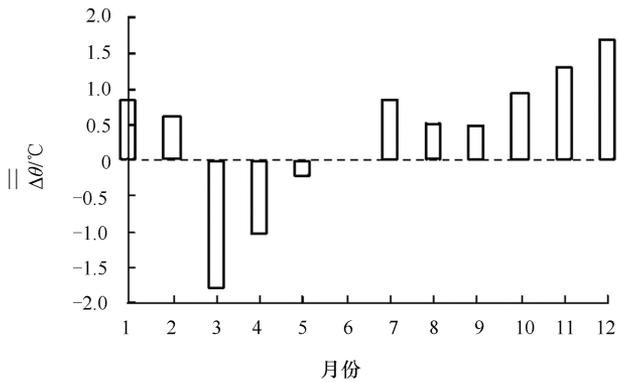


图 7-7 寸滩站与宜昌站 2004 年月平均水温差与蓄水前两站多年月平均水温差之差 ($\Delta\theta_t$) 的变化 (引自余文公等 2007)

水温的变化被认为对中华鲟的产卵产生了重要影响：历史资料表明，葛洲坝建成前，中华鲟产卵活动大部分发生在 10 月，在 21 次产卵中只有 3 次发生在 11 月；葛洲坝建成后至三峡蓄水的 2003 年以前，中华鲟在大部分年份有两次繁殖活动，产卵时间集中在 10 月中下旬；2003 年以后，中华鲟在大部分年份只有 1 次产卵活动，且产卵时间明显推迟（图 7-8）。

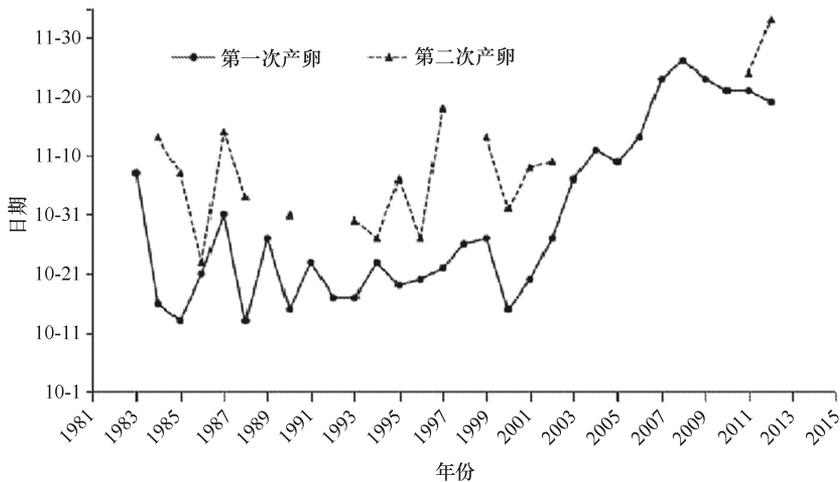


图 7-8 中华鲟的自然繁殖时间 (引自曹俊 2016)

依笔者之见，下泄水温升高导致中华鲟在坝下产卵推迟，并不是导致中华鲟衰退的决定性因素，因为推迟产卵毕竟还是能产，推迟半月为何就会招来灭顶之灾呢？这实在难以令人信服。如果繁殖群体足够大，这应该不会成为问题。但事实上，三峡截流前，中华鲟的种群数量就已衰减到不足 20 世纪 70 年代的 4%，大

势已去，温度变化最多不过是压死骆驼的最后一根稻草罢了！

4. 葛洲坝下的产卵场早就失去了意义

中华鲟的最大寿命可达 40 龄，最大个体可达 560 kg (庄平等 2006)。在葛洲坝截流前的 1972~1976 年，金沙江下游产卵场中华鲟成熟个体雄性最小为 9 龄，雌性最小为 14 龄，初次性成熟雄性为 9~22 龄，雌性为 14~27 龄 (四川省长江水产资源调查组 1988)。通过繁殖群体的年龄统计来看，雌性的平均年龄比雄性高出 7 年作用，暗示雌性寿命可能明显高于雄性。

葛洲坝截流发生于 1981 年 1 月 4 日，当年 5 月 23 日大坝关闸蓄水，因此 1981 年秋季繁殖的中华鲟才是葛洲坝截流后出生的后代。例如，只有在 1996 年秋季采集的 15 龄样本才是 1981 年出生的 (危起伟等 2005)。

从图 7-9 不难看出，葛洲坝截流之后的新生繁殖群体补充严重缺乏，这可由雌雄之间寿命的差异来解释，即先行死亡的雄性导致了繁殖群体雌雄性比的不断攀升。这其实是中华鲟自然种群进入灭绝状态的先兆！

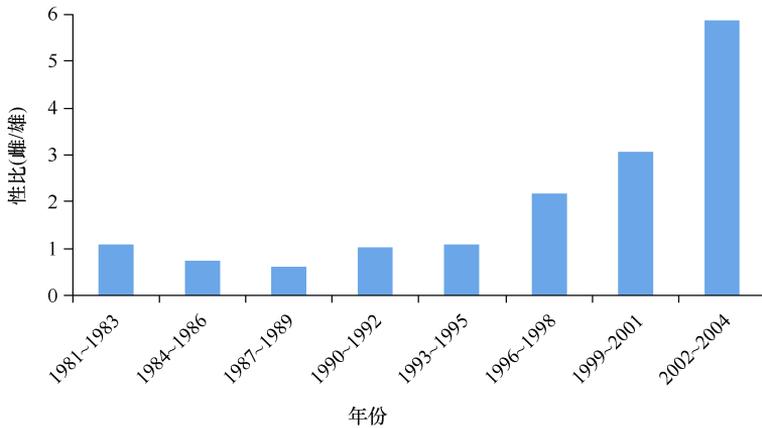


图 7-9 葛洲坝截流之后 24 年期间，坝下宜昌江段中华鲟产卵群体的雌雄性比变化 (根据危起伟等 2005 的数据绘制而成)

5. 宁可玉碎，不能瓦全

葛洲坝下并不是中华鲟理想的产卵之地，虽然每年都有为数不多的个体 (如 30~40 尾) 在那里产卵繁殖，但是很多被拦在坝下的亲鱼其性腺退化 (雄性约 30%，雌性约 70%)，有一部分亲鱼向坝上硬闯，撞得头破血流伤重而亡 (据统计，1981~1985 年期间在宜昌江段共捡到死鲟 146 尾，每年平均 30 尾左右)，还有一部分亲鱼未产卵而直接降河入海 (庄平等 2006)。

葛洲坝工程局中华鲟人工繁殖研究所从 1983 年起，每年都向长江放流中华鲟

苗种，人工繁殖放流被视为拯救中华鲟的主要措施（中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991）。据统计，1983 年以来的 30 多年间，中华鲟研究所每年都向长江投放鲟苗 20 万~50 万尾，以增加长江的种群数量。但中华鲟的种群数量并未因人工放流而增加，估计人工放流对野生种群的贡献不足 10%（常剑波 1999；危起伟 2003）。

为了拯救中华鲟，先后建立了 3 个自然保护区：江苏省东台市中华鲟自然保护区（省级，2000 年）、上海市长江口中华鲟自然保护区（市级，2002 年）、湖北省宜昌中华鲟自然保护区（国家级，2004 年）。

令人遗憾的是，无论是通过人工繁殖放流还是建立自然保护区，都未能阻挡中华鲟的日益衰退，这个古老的鲟鱼似乎已经卷入了难以逃脱的灭绝漩涡！

三、极危的达氏鲟

达氏鲟 (*Acipenser dabryanus*)，又名长江鲟、沙腊子，隶属于鲟形目鲟科鲟属，仅分布于长江中游、上游，尤其以宜昌至宜宾间的干流江段为多，在上游金沙江、沱江、嘉陵江等支流和洞庭湖亦有记载（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。达氏鲟是我国的特有物种，属淡水定居型鲟种。

1. 生活简史

达氏鲟（图 7-10）喜欢在较暗的底层缓流水体中活动，常栖息于 8~10 m 的江河浅水区，在岩礁、沙底、卵石区域游弋与觅食。冬季在缓流的河道中越冬，立春后当江水回升至 12℃ 以上时开始溯水到上游干支流摄食与繁殖（任华等 2014）。



图 7-10 达氏鲟 (*Acipenser dabryanus*) (黄宏金等 1982)

达氏鲟雄性 4~7 龄、雌性 5~8 龄达性成熟,一般体长 0.8~1.0 m,体重 5~10 kg。每年春季(3~4 月)和秋季(11~12 月)产卵,适宜水温为 16~19℃,绝对怀卵量 6 万~13 万粒(四川长江水产资源调查组 1988)。性成熟个体溯至长江上游(重庆至宜宾江段)繁殖,卵黏着在石砾滩底上发育,最适孵化温度为 18~20℃(鲁雪报等 2012)。与中华鲟和白鲟相比,达氏鲟体型要小得多,记载的最大个体也才 16 kg(庄平等 2006)。

达氏鲟的食物主要是底栖无脊椎动物(摇蚊幼虫、蜻蜓幼虫、蜉蝣幼虫和蛹、蚬、寡毛类等),也摄食水生植物碎屑、藻类(硅藻和丝状藻类)和腐植质等,有少数个体捕食鱼苗和幼鱼(湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。

2. 种群的衰退与濒危

达氏鲟的自然种群并不大,虽然它曾是长江上游的重要经济鱼类,但 20 世纪 80 年代以来,达氏鲟的种群已十分稀少。1984~2010 年的统计数据显示,每年平均仅有十多尾达氏鲟被误捕,特别是 1995 年以来,在葛洲坝下就再也没有捕捞到过(中国科学院水生生物研究所三峡工程生态环境监测系统水生动物流动监测站 1997;中国水产科学院长江水产研究所 2011)。由此判断,达氏鲟在葛洲坝下游江段可能已经绝迹,目前仅零星分布于四川境内的长江上游江段。

导致达氏鲟衰退的原因有过度捕捞和水利工程等。例如,在沱江的内江河段,20 世纪 50 年代仅有渔船 500 艘,到 1985 年增加到 2000 艘。又如,在岷江乐山河段,流刺网不分昼夜密集作业。1981 年建成的葛洲坝和 2003 年建成的三峡大坝大大压缩了达氏鲟的生存空间,迫使它们只能生活于坝上江段,而 2008 年建成的向家坝正好在达氏鲟产卵场的中间,其巨大影响不言而喻。

1988 年达氏鲟被列为国家 I 级保护野生动物。1996 年,世界自然保护联盟(IUCN)将达氏鲟评定为极危(critically endangered, CR)物种。

四、极危的白鲟

白鲟(*Psephurus gladius*)隶属于鲟形目匙吻鲟科白鲟属,主要分布于四川宜宾以下至河口的长江干流和支流(沱江、岷江、嘉陵江)以及大型通江湖泊(洞庭湖、鄱阳湖)中,也见于黄河、钱塘江和甬江,东海和南海亦有分布(庄平等 2006)。

早在 1862 年,英国“扬子江上游探险队”的托马斯·布莱基斯顿在湖北咸宁市附近记述了白鲟:“体长 3 英尺^①,嘴部呈钟形,向外突出,鼻子或触角伸出头部 12 英寸^②”,并绘有白鲟整体及部分的素描图(布莱基斯顿 2013)。

① 1 英尺=0.3048 m,下同。

② 1 英寸=2.54 cm,下同。

1. 生活简史

白鲟是中国最大的淡水鱼类，个体长度一般在 2 m 左右，重量在 25 kg 以上。白鲟个体的最大记录体重为 908 kg (Pratt 1892)，体长为 7 m (Ping 1931)，是世界淡水鱼类体长的最高记录。

白鲟(图 7-11)分布于长江、钱塘江以及黄海和东海(陈宜瑜 1998)。在长江干流，白鲟栖息于中下层，偶亦进入沿江大型湖泊中，大的个体多栖息于干流的深水河槽，幼鱼则常到支流、港口、甚至长江口的半咸水区觅食。



图 7-11 世界上最长的淡水鱼——白鲟 (*Psephurus gladius*) (黄宏金等 1982)

白鲟为凶猛性鱼类，成鱼和幼鱼均以鱼类为食：在重庆、涪陵解剖的 8 尾鱼中均以铜鱼为食，在安庆解剖的 5 尾鱼主要摄食鲢鱼以及少数虾、蟹(湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。

白鲟初次性成熟年龄较迟，雄鱼为 5~6 龄，雌鱼为 7~8 龄。每年春季(3~4 月)溯江产卵，产卵场位于四川省泸州以上，集中于江安县附近的长江河段和宜宾柏树溪附近的金沙江河段。成熟亲鱼多栖息在水流较急、水较深、底质多为岩石或鹅卵石的河段(刘成汉 1979)。白鲟产沉性卵，产卵水温为 18~20℃。7~15 龄雌性白鲟的绝对繁殖力为 17.8 万~78.8 万粒(平均 35.9 万粒)(邓中彝等 1987)。

2. 种群的衰退与濒危

在上游繁殖的白鲟一部分滞留在上游干支流内生长，另有一部分漂流到中下游，有的一直抵达长江口崇明附近觅食。葛洲坝枢纽兴建后，在长江上游生活的白鲟仍能繁殖，但在中下游成长的白鲟，无法上溯到上游产卵场，滞留于葛洲坝

宜昌江段的白鲟，虽然能够发育成熟，但由于亲鲟数量很少，未观察到在坝下江段的自然繁殖；在上游繁殖的一部分白鲟仔鱼、幼鱼，可以通过泄水闸漂流下坝，因此，1983~1988年，每年均可在崇明收集到白鲟幼鱼，但数量呈逐渐减少的趋势（中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991）。

白鲟的产量曾达 25 t 左右，但 20 世纪 80 年代以来，种群数量大幅下降。白鲟已很难捕获到，1992 年在长江上游重庆江段捕获了 2 尾，2002 年在长江下游江苏南京江段捕获到一尾雌鱼，2003 年在长江上游的宜宾江段捕获了一尾长 3.5 m 的雌鱼。之后就再也没有见到过白鲟。

1983 年被列为国家 I 级野生保护动物，1996 年，世界自然保护联盟（IUCN）将达氏鲟评定为极危（critically endangered, CR）物种。水利工程对生殖洄游的阻断、过度捕捞以及长江鱼类资源量的下降可能是导致白鲟濒危的重要因素。

五、为什么长江的鲟鱼都岌岌可危？

鲟科鱼类虽然古老，但却十分稀少，如全世界的鲤科鱼类超过 2000 种，而全世界的鲟鱼却只有 27 种，这表明鲟鱼的分化能力极其有限，也预示其生态位的特殊性，以及极为有限的生态可塑性。

虽然在长江中的三种鲟鱼的生活史特征或多或少都有些差别（表 7-1），但繁殖方面却有惊人的相似之处：产卵场都在上游相似的江段，都是激流环境，底质特征都是多砾石，都产沉性·黏性卵，虽然产卵时间不同——达氏鲟和白鲟在春季，而中华鲟在秋季。三种鲟鱼寻求在上游的急流环境中产卵，难道是因为能从那里得到什么欢乐？这应该是一种自然选择的结果，即它们嗜好的可能不是激流，而是急流环境中的砾石，因为它们产出的卵都需黏附在石块上或沉落于石缝中去孵化，这可能最有利于安全孵化与幼鱼成活，就被固化成了秉性。而在葛洲坝下，鲜有江段能满足这样的条件，因此，自 20 世纪 80 年代初葛洲坝建成以来，鲟鱼就迎来了灭顶之灾。虽然中华鲟在葛洲坝下形成了新的产卵场，但其规模却大大萎缩，现在看来，这个新的产卵场未必就那么适合中华鲟。

表 7-1 三种鲟鱼生活史特征的比较

	中华鲟	达氏鲟	白鲟
主要食物	在中上游主食水生昆虫和植物碎屑，在河口，主食虾蟹和小鱼 ¹	底栖无脊椎动物 ¹	多为鱼，偶有虾蟹 ¹
生态类型与分布	海河洄游型，在海洋中生活 9~18 年，分布于金沙江、长江干流、我国沿海，沿江大型湖泊 ¹	淡水鱼类，在中上游干流及沿江大型湖泊生活 ¹	长江、钱塘江以及黄海和东海 ⁴
产卵地点	金沙江下游和川江上段（宜宾—屏山） ¹	重庆至宜宾江段 ¹	金沙江下游的宜宾江段 ⁵

续表

	中华鲟	达氏鲟	白鲟
卵的类型	沉性·黏性卵 ¹	沉性·黏性卵 ⁴	沉性·黏性卵 ⁸
产卵场水文与底质	急流, 多砾石 ^{2,3}	急流, 多砾石 ¹	急流, 多砾石 ⁴
最初成熟年龄	雄性 12 龄, 雌性 14 龄 ²	雄性 4 龄, 雌性 6 龄 ⁵	雄性为 5 龄, 雌性为 7 龄 ⁵
最初成熟时体重	雄性 68 kg, 雌性 130 kg ²	雄性 5 kg ¹	雄性 12.6 kg, 雌性 28.3 kg ⁵
繁殖季节	秋季 (10 月中旬至 11 月中旬) ⁵	估计在春季 ¹	春季 (3~4 月) ⁵
产卵时水温	17.0~19.5℃ ⁵	16.0~19℃ ⁵	18.3~20.0℃ ⁶
孵化温度 (时间)	5~6 昼夜 (17~18℃) ³	—	—
孵出到摄食所需时间	9 天 ³	—	—
绝对繁殖力	63.4 万~120.5 万粒 (体长 2.54~3.25 m, 体重 159~325 kg) ¹	12.9 万粒 (体长 0.97 m, 体重 8.5 kg) ¹	30 万粒以上 (体重 30~35 kg) ¹
最大寿命	40 岁 ⁶	—	—
最大体重	560 kg ⁶	16 kg ⁵	908 kg ⁷

1 湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976。

2 四川省重庆市长寿湖渔场水产研究所 1964。

3 四川省长江水产资源调查组 1973。

4 陈宜瑜 1998。

5 中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991。

6 庄平等 2006。

7 Pratt 1892。

8 刘建康和曹文宣 1992。

成熟的中华鲟并不需要在长江中摄取食物, 因此, 中华鲟种群的衰退只能归因于生殖洄游的阻隔, 因为它们无法在葛洲坝上游长期生存下去, 幼鱼必须回到大海中去肥育。而遗憾的是, 葛洲坝下游并没有适宜它们的产卵之地。因此, 我悲观地预测, 中华鲟的灭绝决不会久远, 这个古老的物种已无回天之力。

因为白鲟和达氏鲟无需到大海中去肥育, 从理论上来说, 只要上游的产卵场存在以及饵料充足, 它们就可能在上游水系中残存下来。但因为上游的个体无法下到中下游及其通江湖泊中摄食, 这两个物种的生存空间已被大大压缩。又由于白鲟体型更大, 且是肉食性, 因此, 灭绝的风险更大。事实上, 即便是上游, 现在也很难寻觅白鲟的身影。

鲟鱼体型巨大, 一个完整的生活周期往往需要巨大的空间, 特别是有些环境的不可替代性往往会成为它们的致命之处, 这种关键环境的破坏往往会导致灭顶之灾, 如中华鲟体型巨大, 其生活周期需洄游数千里, 而且还需到金沙江的激流中去繁殖, 将卵黏附于砾石或掉落于砾石缝隙之中。其他两种鲟鱼也选择了类似的产卵环境。

水温、水流以及砾石……哪一个都有可能成为这些古老鲟鱼的繁殖启动信号,

也许是它们的组合，但这些环境信号的一致性所表征的产卵场却不是那么轻易能够重组的，因为它是在漫长的自然历史中，鲟鱼适应气候、地质过程以及河流地貌不断演变的产物，借此，中华鲟形成了对河流自然进程的特殊感知，并如此根深蒂固以致无可替代。因此，葛洲坝与三峡大坝的阻隔，使中华鲟永远丧失了适宜的产卵场所。白鲟的生存空间似乎也是从上游一直延伸到河口，只是不像中华鲟那样必须到大海中去摄食生长，但大坝的阻隔也使它们索饵肥育的空间大大压缩。达氏鲟由于体型相对较小，也主要在中上游索饵生长，可能是在三种鲟鱼中生存状态相对较好的一种，或许是最有可能在上游环境中残存下来的鲟鱼。

这是一条延绵数千千米并通向海洋的河流，从古至今都是所有物种共享着的，河首河尾，河滩河心，此处彼处……在这个壮观的剧院中，它们用各自的音符弹奏着一首共同的河流之歌，荡漾在无尽的河谷之中，即便我们倾心地观察与思考，也未必能完全理解它。中华鲟和白鲟的乐曲就谱写在大海与金沙江之间的穿越中，保持着几乎不变的生死韵律——觅食、洄游、繁殖和死亡，世世代代，生生不息……在苦难面前，它们没有屈服，但曲终鲟散正在悄然而至。

第八章 长江水系中的其他濒危鱼类

在长江流域的濒危鱼类中，除了鲟形目的鱼类外，还有鲑形目（如虎嘉鲑、秦岭细鳞鲑）、鲱形目（如鲟）和鲤形目（如胭脂鱼、鮠、鳊、成都鳊、稀有鮡鲫、裸腹叶须鱼、长丝裂腹鱼、厚唇裸重唇鱼、长薄鳅）、鲇形目（如黄石爬鲶和中华鲶）、鲉形目（如淞江鲈）以及鳗鲡目（如花鳗鲡）的鱼类。

这些濒危鱼类有的需要进行溯河生殖洄游，有的需要降河生殖洄游，而有的并不需要长距离的生殖洄游；有些体型较大，有些体型较小；有的分布在源区，如川陕哲罗鲑、长丝裂腹鱼、裸腹叶须鱼、黄石爬鲶和中华鲶等被列入《中国物种红色名录》（第一卷）（2004年），有的分布于上游、中下游至河口；产卵类型也不一样——有的产沉性卵，有的产浮性卵，有的则产漂流性卵。食性也不一样——有的是捕食鱼类，有的摄食底栖动物，有的以微小的浮游动物为食。

一般来说，在高原水体中生活的鱼类，因水温较低和食物匮乏，通常生长十分缓慢，繁殖力低下，容易受人类扰动的影响而濒危。青藏高原特有的三大鱼类——裂腹鱼、高原鳅和鳡鲶类都有濒危的种类，它们都是在极端恶劣的环境中顽强存活下来的鱼类。

一、鲑科（鲑形目）——虎嘉鲑和秦岭细鳞鲑

鲑是典型的冷水性鱼类，是鲑科（Salmonidae）鱼类的总称。虽然也有小体型的种类，但一般体型都较大，最大体长可达2 m。

鲑一般进行溯河洄游，需要在江河上游的溪河中产卵，再回到海洋。鲑并无终生栖息于海洋的种类，虽然很多鲑鱼一生中大部分时间都在海洋中肥育。但却有陆封型鲑鱼，可在淡水中完成整个生活史，无需回到海洋，是海产遗留种。在长江中的鲑形目鱼类仅有两种，都是陆封型种类——川陕哲罗鲑（*Hucho bleekeri*）和秦岭细鳞鲑（*Brachymystax lenok tsinlingensis*），均隶属于鲑科。川陕哲罗鲑和秦岭细鳞鲑都是冰期残存的冷水性鱼类，可能是在第四纪冰川时期由北方扩散而来的。冰期结束后，停留在海拔较高、水温较低的河流中，并生存了下来，成为了独立的物种。基于线粒体细胞色素 b 基因（*Cytb*）的分子系统学研究认为，川陕哲罗鲑与秦岭细鳞鲑存在较近的亲缘关系，可能源自同一祖先，虽然与形态学分类不甚相符（祁得林等 2009a）。这两种鲑鱼都处于易危状态，都是国家 II 级保

护动物。

1. 川陕哲罗鲑

川陕哲罗鲑（图 8-1），也称为虎嘉鲑，隶属于鲑形目鲑科哲罗鲑属，川陕哲罗鲑为我国特有种。川陕哲罗鲑分布于一些支流的上游，主要是川西北岷江上游，沿大渡河中上游达青海省境内，以及秦岭南麓汉江上游支流的涪水、太白河等水系。该种是哲罗鲑属鱼类分布纬度最低的种类（祁得林等 2009a）。川陕哲罗鲑分布河流的海拔为 2690~3598 m，河道底质多为卵石、砾石，少数有细沙，流速一般为 1~2 m/s，产卵需求水温 4~10℃（茹辉军等 2015）。

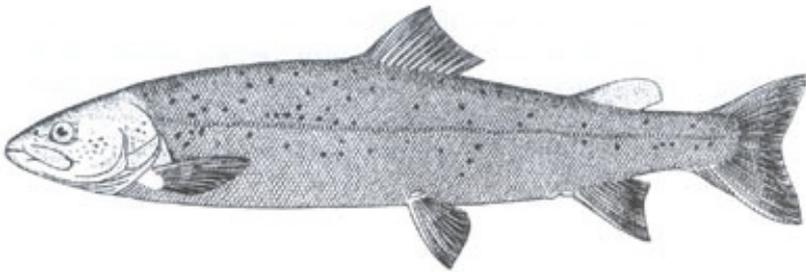


图 8-1 川陕哲罗鲑 (*Hucho bleekeri*)

川陕哲罗鲑为凶猛鱼类，主要食物为鱼类（如齐口裂腹鱼、重口裂腹鱼、马口鱼等）和水生昆虫（申志新等 2005）。虎嘉鲑性成熟年龄大部分为 3⁺龄，每年的 5~6 月，在近岸缓流区域的砾石水底进行繁殖。产卵前亲鱼先在适宜的河底挖掘圆形或椭圆形的浅窝，然后再行产卵。卵无黏性，产出后沉入巢中，埋在沙砾石中发育孵化。

川陕哲罗鲑在 1960 年以前数量较多，是产区的一种大型经济鱼类，最大个体可达 50 kg。仅 1971 年玛柯河地区的捕获量就在 2500 kg 以上，但目前四川、陕西境内已经绝迹，青海省玛柯河成为其唯一分布水域，数量极为稀少（李柯懋 2007）。20 世纪 80 年代，川陕哲罗鲑数量日趋减少，但还有一定捕获量，90 年代中期以来数量急剧下降（申志新等 2013）。青海省渔业环境监测站站长申志新介绍，根据多年的调查监测，川陕哲罗鲑的现存数量已不足 1000 尾。川陕哲罗鲑已被列入国家 II 级野生保护动物（乐佩琦和陈宜瑜 1998）。川陕哲罗鲑自然种群急剧衰退的原因，一是由于河流上游拦河筑坝，二是过度捕捞。

例如，历史上川陕哲罗鲑曾分布整个大渡河水系，20 世纪 60 年代以来受人类活动的影响，分布区域不断缩小，仅上游干支流水域还有一定数量的种群分布，目前大渡河流域干流自上而下共布置了 29 个梯级电站，使干流原有的缓急交替的

水流条件消失，以流水为繁殖条件以及砂、砾石为产卵基质的川陕哲罗鲑的产卵场基本丧失，1950/1960~2012年，栖息地损失率高达91.4%（茹辉军等2015）。

2. 秦岭细鳞鲑

秦岭细鳞鲑（图8-2）属鲑形目鲑科细鳞鲑属，为第四纪冰期自北方南移的冷水性残留种，是世界上分布最南的鲑科鱼类（李思忠1966）。秦岭细鳞鲑为我国的特有种，地域分布范围狭窄，仅见于渭河上游及其支流和汉水北侧支流渭水河、子午河上游的山涧溪流之中，水底多为大型砾石，海拔900~2300m。在现有的栖息区域，秦岭细鳞鲑多呈离散小种群分布（吴金明等2017b）。



图8-2 秦岭细鳞鲑 (*Brachymystax lenok tsinlingensis*)

秦岭细鳞鲑常见个体多为150mm左右，最大可达450mm。初次性成熟年龄为3⁺~5⁺龄，每年春季、夏季（3~6月）溯河洄游至上游的各支流小溪中觅食并完成繁殖，秋末又由上游顺水向下游较大、较深的河流迁移，或是河流两岸的深潭、石缝中越冬（侯峰2009）。产卵场多在浅水砂石底处，产沉性卵，无黏性，卵膜厚，卵径大，受精卵发育时间较长：水温9.31~12.80℃情况下，受精卵需历经408h才出膜（施德亮等2012）。

秦岭细鳞鲑幼鱼主要以水生无脊椎动物为食，成鱼除摄食鱼类外，也食被风吹落的陆生昆虫。在海拔1200m以下人口较多的地区，种群数量急剧减少，在海拔1200m以上人口稀少地区尚有一定数量。目前处于易危状态，被列为国家Ⅱ级保护野生动物（乐佩琦和陈宜瑜1998）。为了保护秦岭细鳞鲑，已相继建立了陕西陇县秦岭细鳞鲑国家级自然保护区以及甘肃漳县、岷县等多个省级保护区（吴金明等2017b）。

二、鲱科（鲱形目）——鲱

鲱形目(Clupeiformes)是现代真骨鱼中最原始的一目,其中的鲱科(Clupeidae)鱼类大部分生活在海洋,部分种类在淡水区域产卵,也有的一生都在淡水中生活。鲱(*Macrura reevesi*) (图 8-3), 隶属于鲱形目鲱科鲱亚科鲱属, 是一种名贵的经济鱼类, 在我国分布较广, 北起黄渤海, 南达北部湾以及长江、钱塘江和西江。



图 8-3 鲱 (*Macrura reevesi*) (黄宏金等 1982)

鲱为溯河产卵的洄游性鱼类, 平时生活在海中, 每年春夏之交, 鱼群开始由海洋进入长江口, 再逆江而上。20 世纪 70 年代上溯长江的鲱鱼生殖群体大部分进入鄱阳湖再进入赣江产卵场, 小部分群体经九江继续沿长江干流上溯, 到湖南城陵矶后, 又分两路: 一路继续沿长江干流西上, 最远可达宜昌; 另一路经岳阳进入洞庭湖, 再上溯至湘江到长沙、湘潭江段产卵。进入珠江的鲱鱼大部分进入西江, 70 年代上溯亲鱼可达桂平一带, 其中以苍梧、藤县、平南、桂平等处分布比较集中, 少部分则进入东江可达惠州。入钱塘江的鲱鱼, 新安江建坝前最远可达桐庐、富阳一带, 目前也已绝迹。长江流域鲱鱼的繁殖季节为 6~7 月, 珠江流域为 4~5 月 (刘绍平等 2002)。

鲱鱼的卵具油球, 为浮性卵, 雄鱼初次性成熟年龄为 3 龄, 雌鱼初次性成熟年龄为 4 龄, 雌鱼个体怀卵量为 100 万~330 万粒, 产卵的适宜水温为 24.5~32.0℃。产卵时要有一定的水位涨落和流水刺激, 受精卵在水温 26~28℃时, 历经 17~18 h 后孵化成仔鱼; 仔鱼随江水顺流飘游至鄱阳湖或珠江河口索饵生长, 立秋后, 鲱鱼苗长至 5~6 cm 时, 成群返海生长 (邱顺林等 1982; 王汉平等 1999)。性成熟鲱鱼体长为 40~50 cm, 体重为 1~2 kg, 大的鲱鱼可超过 4 kg (湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。

对在鄱阳湖捕获的鲱鱼的食物分析发现, 它们主要以浮游生物为食, 其中又

以浮游动物为主，包括各种桡足类、枝角类和藻类等（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。长江鲟鱼的产量在 20 世纪 60 年代为 309~584 t, 70 年代为 74~1574 t, 产量波动颇大, 80 年代产量下降到 12~192 t, 1986 年仅 12 t, 已不能形成鱼汛; 珠江鲟鱼 80 年代产量开始下降, 1980~1988 年的产量为 78~175 t, 相当于 1960 年的 1/6, 1996 年为 0.6 t; 在钱塘江, 鲟鱼在 1970 年已基本绝迹（刘绍平等 2002）。

总之, 长江和钱塘江的鲟鱼已基本绝迹, 珠江的鲟鱼资源也严重衰退, 鲟鱼已处于濒危状态。一是由于过度捕捞, 鲟鱼在从海洋进入长江口到赣江峡江产卵场, 或从海洋进入珠江口到西江上游产卵场数百千米的洄游途中, 不断地遇到无数的流刺网渔船截捕, 能到达产卵场进行繁殖的亲体已寥寥无几。二是水利枢纽的兴建, 如钱塘江的新安江水电站、赣江的万安水电站、东江的梯级水电站、西江的长洲水电站等, 阻断了鲟鱼的产卵洄游路线。

三、亚口鱼科（鲤形目）——胭脂鱼

亚口鱼科现有 14 属近 78 种, 但绝大多数属种都分布在北美洲。胭脂鱼 (*Myxocyprinus asiaticus*), 隶属于鲤形目亚口鱼科胭脂鱼属, 是亚口鱼科在我国唯一现存的种类 (图 8-4)。亚口鱼主要生活在河流中, 其口下位, 嘴唇厚, 无牙齿, 在水底吸食底栖无脊椎动物和碎屑等。

胭脂鱼分布于我国的长江和闽江, 目前闽江的胭脂鱼种群已几近绝迹。胭脂鱼在长江上游、中游、下游皆有分布, 但以上游数量为多, 中游、下游及其附属大型湖泊也有, 但数量很少。胭脂鱼的食物为底栖无脊椎动物, 在江河中主要捕食水生昆虫, 其中摇蚊幼虫占 80% 以上, 在湖泊中主食软体动物, 蚬和淡水壳菜占 90% 以上 (湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。



图 8-4 胭脂鱼 (*Myxocyprinus asiaticus*) (黄宏金等 1982)

胭脂鱼的性成熟年龄, 雌鱼为 6 龄, 雄鱼 5 龄以上, 成熟个体一般体重可达 15~20 kg, 在长江中捕到的最大个体可达 30 kg。繁殖季节为 3 月上旬至 4 月下

旬，性成熟亲鱼上溯到长江上游的金沙江、岷江、嘉陵江等激流中产卵，产卵场底质多为石滩或砾石，受精卵黏附于石块等上发育。繁殖水温为 14~22℃，以 18~20℃为最佳。水温在 16.5~18℃时，经 7~8 昼夜孵化出膜，6~7 天后才能游泳，10~12 天开始摄食（陈春娜 2008）。秋季退水时，胭脂鱼再回到长江干流中越冬。

胭脂鱼曾是长江上游的重要经济鱼类之一，如据 1958 年宜宾市渔业社的统计，在岷江的渔获物中，胭脂鱼占总产量的 13%（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。但到 20 世纪 70 年代葛洲坝水利枢纽建成以前，胭脂鱼资源量就已明显减少，70 年代中期已降至 2%（邓中彝等 1987）。

葛洲坝截流后，长江中下游亲鱼不能上溯至上游的沱江、岷江等大支流中产卵，因缺乏上溯亲鱼的补充，上游的胭脂鱼几近绝迹。虽然胭脂鱼在葛洲坝坝下江段（宜昌十里红江段）形成了新的产卵场，但野生群体数量依然不断下降。后来也只有零星关于胭脂鱼误捕的报道（陈春娜 2008）。胭脂鱼已被列为国家 II 级保护野生动物。

四、鲤科（鲤形目）—— 鲸、鲢、成都鳊、稀有鮡鲫等

1. 鲸

鲸 (*Luciobrama macrocephalus*) (图 8-5) 隶属于鲤形目鲤科雅罗鱼亚科鲸属，长江干流和上游嘉陵江、岷江水系以及洞庭湖和鄱阳湖水系皆有分布。雄鱼 4 龄性成熟，雌鱼 5 龄性成熟，生殖季节在 4~7 月，成熟的亲鱼上溯到江河上游水流较急的江段进行繁殖。鲸是江湖洄游鱼类，产漂流性卵，水温 21.5~24.0℃时约经 35 h 即可孵出。5 龄鱼约 1 m 长，10 kg 重，长江曾捕获过重达 50 kg 重的个体（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。



图 8-5 鲸 (*Luciobrama macrocephalus*) (黄宏金等 1982)

鲸的幼鱼期在湖泊中肥育，在仔幼鱼阶段摄食枝角类和鱼苗，成鱼转为食鱼类，常以管状长吻在水草丛或石缝中觅食一些小型鱼类，如鲫、鲤、鮠、餐、飘鱼、罗汉鱼、鳊鱼等（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。近年，鲸的

自然种群数量显著衰退，已很难见到其个体，该物种被划定为易危状态。

2. 鳊

鳊 (*Ochetobius elongatus*) (图 8-6) 隶属于鲤形目鲤科雅罗鱼亚科鳊属，分布于长江流域及其以南水体。鳊曾是长江常见鱼类之一，在长江干流、支流和沿江湖泊中皆有分布。鳊一般 4 龄 (最早 3 龄) 开始性成熟，此时体长约 40 cm，体重 0.5 kg。繁殖季节在 5~6 月。鳊有江湖洄游习性，每年 7~9 月进入沿江湖泊中肥育，到生殖季节溯河而上，主要在长江上游宜宾至宜昌江段的急流中产卵，在静水中不能繁殖。受精卵吸水膨胀后随水漂流，水温为 21.0~23.4℃ 时约经 35 h 即可孵出 (湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。



图 8-6 鳊 (*Ochetobius elongatus*) (黄宏金等 1982)

鳊鱼分布虽广，但数量不多，只在中下游某些沿江湖泊有渔业意义，如湖北梁子湖，在未建节制闸之前，一般于 9~10 月在湖中形成鱼群，是渔民捕捞鳊鱼的旺季。鳊鱼主要摄食无脊椎动物，如水生昆虫、枝角类等，也捕食一些小型鱼类 (湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。

在一个 2003~2009 年对长江流域及其以南地区进行的数十个地点的鱼类调查中，只在长江水系的汨罗江采到 4 尾鳊鱼，在珠江水系的柳江采到 2 尾鳊鱼 (范凤娟和章群 2009)。由于江湖阻隔及过度捕捞等，鳊鱼的数量已十分稀少。

3. 成都鱻

成都鱻 (*Zacco chengtui*) (图 8-7) 属鲤形目鲤科鲴亚科鱻属。生活在河流的小支流、小河道及小溪流中。常喜栖息在微流水的清澈水体中。分布区窄，仅发现于四川成都及彭县附近的水体中。由于分布在城市附近的小水体中，受污染及非法捕捞的影响，种群数量明显下降，目前在分布区范围内已甚少见，处于易危状态。

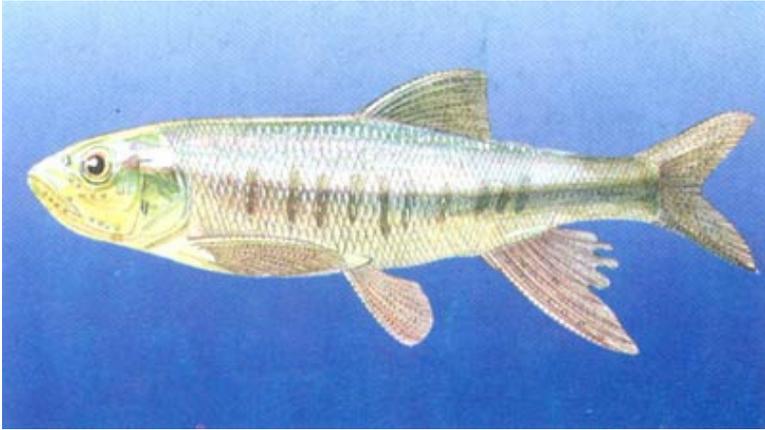


图 8-7 成都鱻 (*Zacco chengtui*)

4. 稀有鮡鲫

稀有鮡鲫 (*Gobiocypris rarus*) (图 8-8) 属鲤形目鲤科鲴亚科鮡鲫属, 是一种小型鱼类, 通常全长 3.8~4.5 cm 达到性成熟, 已知最大个体全长 8.5 cm (王剑伟和曹文宣 2017)。



图 8-8 稀有鮡鲫 (*Gobiocypris rarus*) (黄宏金等 1982)

稀有鮡鲫在自然界中主要以昆虫幼虫、浮游生物、着生藻类、水蚯蚓等为食（王剑伟等 1998）。在自然条件下，在 3~11 月繁殖，产沉性卵，黏性较强（王剑伟 1992）。如果水温适宜，饵料充足，孵出后 4 个月左右即可达性成熟并产卵，因此，已被作为一种新的实验鱼进行人工饲养和研究（王剑伟和曹文宣 2017）。也有学者主张将稀有鮡鲫归到鮡亚科（何舜平等 2004）。

稀有鮡鲫为我国特有种，见于岷江中游、沱江上游、大渡河中下游和青衣江中下游，呈不连续的点状分布，典型的栖息地为稻田、沟渠、河流及漫滩等（王剑伟和曹文宣 2017）。稀有鮡鲫可能在成都平原西部曾广泛分布过，后因农田水利等人类活动导致了其生境片段化（He et al. 2012）。目前，野生的稀有鮡鲫数量不多，已处于濒危状态。

5. 裸腹叶须鱼

裸腹叶须鱼 (*Ptychobarbus kaznakovi*) (图 8-9)，又名裸腹重唇鱼，属鲤形目鲤科裂腹鱼亚科叶须鱼属，分布于三江源区，即怒江、澜沧江和金沙江的上游（黄顺友和陈宜瑜 1986）。它是一种底栖性冷水鱼类，食性较杂，主要以水生昆虫和摇蚊幼虫为食，兼食硅藻，每年的 4~5 月产卵（李耀鹏 2016；朱挺兵等 2016）。裸腹叶须鱼生长缓慢，12 龄才有 35 cm 长，15 年体重才到 500 g（王宇峰 2014）。裸腹叶须鱼的性成熟晚，繁殖力低下（唐文家等 2012）。近年来，大量内地人员进藏开发，出现过度捕捞，导致种群数量急剧下降。裸腹叶须鱼被《中国濒危动物红皮书》列为易危物种（乐佩琦和陈宜瑜 1998）。



图 8-9 裸腹叶须鱼 (*Ptychobarbus kaznakovi*) (黄宏金等 1982)

6. 长丝裂腹鱼

长丝裂腹鱼 (*Schizothorax dolichonema*) (图 8-10) 属鲤形目鲤科裂腹鱼亚科裂腹鱼属，分布于长江上游的金沙江和雅砻江水系，是长江上游的特有鱼类。

性成熟个体雌鱼长约 26.0 cm，雄鱼只有 11.4 cm，均为 4 龄；刮食着生藻类（硅藻、蓝藻、绿藻），有时也食水生昆虫（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）（图 8-10）。它生活在水流较急的水域，在繁殖季节集群并作短距离的生殖洄游，繁殖季节主要在春季和夏季，适宜的繁殖水温为 15~20℃。近年来，由于金沙江和雅砻江上梯级水电站的修建，使长丝裂腹鱼的种群数量急剧下降（张沙龙等 2014）。目前长丝裂腹鱼资源量稀少，几乎采捕不到（赵树海等 2016）。长丝裂腹鱼已被《中国濒危动物红皮书》记录为濒危物种。



图 8-10 长丝裂腹鱼 (*Schizothorax dolichonema*)

7. 厚唇裸重唇鱼

厚唇裸重唇鱼 (*Gymnodiptychus pachycheilus*) 属鲤形目鲤科裂腹鱼亚科裸重唇鱼属，顾名思义，其唇发达，肥厚多肉（图 8-11）。该种分布于长江上游、雅砻江和黄河上游等水系中，主要摄食水生动物，如石蛾的幼虫、端足虾和石蝇的稚虫等，也食少量的植物碎屑；生长缓慢，10 龄鱼体长才到 43~44 cm（湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976）。厚唇裸重唇鱼的生殖季节为 4~6 月，盛期为 5 月，性成熟较晚（雌鱼和雄鱼均于 6 龄达到性成熟），绝对怀卵量为 3043~42 158 粒，繁殖季节产卵场的水温为 6~11℃，底质为砂石或砾石，有一定流速，受精卵沉在河流底的砂石缝隙里孵化，或被冲到深水潭中，在水流缓慢的地方孵化（娄忠玉等 2012）。近年来，由于人类活动范围的扩大，厚唇裸重唇鱼的产卵场、种群数量和分布范围日益萎缩，已被列入《中国物种红色名录》。



图 8-11 厚唇裸重唇鱼 (*Gymnodiptychus pachycheilus*)（黄宏金等 1982）

五、鳅科（鲤形目）——长薄鳅

长薄鳅 (*Leptobotia elongata*) (图 8-12) 属鲤形目鳅科沙鳅亚科薄鳅属, 是长江上游的特有鱼类。长薄鳅是典型的河道洄游性鱼类, 生活史各阶段均在河道内完成, 产漂流性卵, 产卵场主要分布在金沙江中下游、雅砻江和岷江的下游。



图 8-12 长薄鳅 (*Leptobotia elongata*) (黄宏金等 1982)

长薄鳅是薄鳅类中个体最大的种类, 体重一般为 1.0~1.5 kg, 最大个体可达 3 kg 左右。长薄鳅是一种凶猛性底层鱼类, 主要捕食小鱼, 尤其是底层小型小鱼, 如平鳍鳅、沙鳅、鮡类以及少数的鱯鱼和餐条 (湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。长薄鳅的最小性成熟体长约为 17.5 cm (田辉伍等 2013)。

长薄鳅曾在长江上游产量很大, 是当地的经济鱼类。葛洲坝和三峡大坝将中游和上游的群体分割开来, 其结果, 中游的群体得不到新生幼鱼的补充而逐渐衰退, 如在葛洲坝下宜昌江段仅占渔获量的 0.4% (刘绍平等 2005; 马琴等 2014; 刘红艳等 2016), 而位于金沙江下游的向家坝和溪洛渡电站的建设, 将长薄鳅的洄游通道进一步切割 (陈大庆等 2005)。由于大坝建设以及过度捕捞, 长薄鳅的数量明显下降, 已被《中国物种红色名录》列为易危物种 (汪松和解焱 2004)。

六、鲃科（鲇形目）——黄石爬鲃和中华鲃

最早的鲃科鱼类化石记录是在上新世分布在苏门答腊和印度的鲃 (Hora 1939), 鲃科鱼类的物种分化与青藏高原的隆升有直接的关系, 包括 2 个自然支系——黑鲃属和褶鲃属+鳃鲃群, 鳃鲃群又分为鳃群和鲃群, 像石爬鲃属和鲃属属于鲃群 (何舜平等 2001; 郭宪光等 2004)。已记录的鲃科鱼类有 16 属 112 种, 其中分布于我国的鲃科鱼类有 12 属 64 种。鲃科鱼类在适应高原流水环境中形成了特殊的形态结构: 身体扁平、偶鳍发达并与胸腹部构成宽大的附着面, 可减少身体在流水中的阻力以加强身体的吸附能力 (肖海等 2010)。

1. 黄石爬鮡

黄石爬鮡 (*Euchiloglanis kishinouyei*) (图 8-13) 隶属于鲇形目鮡科石爬鮡属, 是长江上游的特有鱼类。黄石爬鮡分布于长江上游的金沙江、岷江水系、青海通天河等, 是一种中小型底栖性鱼类, 常栖息在山涧溪流多砾石的急流滩上, 贴附于石上, 以匍匐方式移动。主要摄食水生昆虫及其幼虫, 如蜉蝣幼虫、蜻蜓幼虫、石蝇、石蚕等, 其次也食水生植物碎片及有机碎屑等 (湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。



图 8-13 黄石爬鮡 (*Euchiloglanis kishinouyei*) (黄宏金等 1982)

石爬鮡属的生殖方式特殊, 雌鱼的卵巢为单个, 雄鱼具有生殖乳突, 雄鱼行体内授精方式, 这在淡水硬骨鱼中极其罕见, 推测可能与其生活的急流环境有关 (肖海等 2010)。

黄石爬鮡个体比较小, 一般体重 50~150 g, 体长 20 cm 以下。在通天河繁殖期为每年的 7 月前后, 在玛柯河为 7~9 月。个体怀卵量少, 常见 200~400 粒, 受精卵常常黏附于石上发育 (唐文家等 2011)。

黄石爬鮡的肉质鲜美, 价格昂贵, 遭受酷捕, 被一些非法方式 (如毒鱼、电捕、沉钩捕捉等) 所打击, 导致天然资源不断下降 (唐文家等 2011)。黄石爬鮡已被列入《中国物种红色名录》。

2. 中华鮡

中华鮡 (*Pareuchiloglanis sinensis*) (图 8-14) 隶属于鲇形目鮡科鮡属, 是小型底栖鱼类, 主要分布于金沙江和大渡河, 是长江上游的特有鱼类 (谢增兰等 2006)。中华鮡生活在多砾石的河道和溪流中, 伏居在石缝间隙, 或吸附在岩石或沙砾表面 (褚新洛 1981)。中华鮡个体较小, 体长为 8~14 cm (姚景龙等 2006)。中华鮡已被列入《中国物种红色名录》。



图 8-14 中华鮡 (*Pareuchiloglanis sinensis*) (采集人何学福、蒋国福)

七、杜父鱼科 (鮡形目) —— 淞江鲈

淞江鲈 (*Trachidermus fasciatus*) (图 8-15) 属鮡形目杜父鱼科淞江鲈属, 是我国淡水四大名鱼之一。在我国的分布从鸭绿江口直至福建九龙江口等邻海、淡水江河下游地区, 进入内陆水体者以上海市淞江所产最为知名, 在国外, 朝鲜半岛西侧及南侧和日本九州福冈等地也有记录。



图 8-15 淞江鲈 (*Trachidermus fasciatus*) (黄宏金等 1982)

淞江鲈多以虾为食, 兼食小鱼。一般在与海相通的淡水河川区域生长肥育, 达性成熟的个体需降河入海产卵 (繁殖期在春节前后), 孵出的仔鱼长成幼鱼后又回到淡水河川中生长肥育 (湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976)。淞江鲈在牡蛎滩中繁殖, 将卵产入贝壳洞内, 怀卵量为 5100~12 800 粒, 卵粘在穴顶壁上结为块状, 由雄鱼守护。

淞江鲈曾在中国东南沿海地区较为常见, 但近几十年来在许多地区却难觅踪影。据推测, 由于淞江鲈在牡蛎滩中繁殖, 并有护卵行为, 因此, 牡蛎的无计划开采, 使淞江鲈的繁育场遭受破坏; 淞江鲈主要以虾为食, 而随着捕虾强度的增

大，大量的淞江鲈被误捕；淞江鲈的栖息地及洄游路线常常被堤坝阻断，或者被春季捕捞蟹苗、鳗苗的网拦截（王金秋和成功 2010）。淞江鲈已被列为国家 II 级保护野生动物。

八、鳗鲡科（鳗鲡目）——花鳗鲡

鳗鲡的生活史十分特殊——在海水中产卵，在淡水中生长，其产卵场远离海岸线数千千米，受精卵发育成柳叶鳗随洋流游至河口，在淡水中生长并发育至性成熟，再洄游至海洋的产卵场繁衍后代（Tsukamoto et al. 2002）。

花鳗鲡（*Anguilla marmorata*）（图 8-16）属鳗鲡目鳗鲡科鳗鲡属，分布于西印度洋—南、北太平洋的热带和亚热带区域，在我国的长江及以南至海南岛各江河水域均有分布。花鳗鲡被分为北太平洋、南太平洋和印度洋 3 个亚群，但仅发现了一个产卵场——位于北太平洋西部（菲律宾南部、斯里兰卡东部、巴布亚新几内亚和关岛西部之间）的深海海沟中（Aoyama et al. 1999；Miller et al. 2002；Ishikawa et al. 2004）。



图 8-16 花鳗鲡（*Anguilla marmorata*）（黄宏金等 1982）

花鳗鲡是鳗鲡中最大的种类，雌鳗可长到 2 m，雄鳗可到 1.5 m，体重可到 20.5 kg，寿命可达 40 年。花鳗鲡是肉食性鱼类，捕食小鱼、虾、蟹、蚌、田螺及其他小动物（水生昆虫），食物缺乏时会发生大鱼吃小鱼的现象。过度捕捞、拦河修坝对洄游通道的阻断致使花鳗鲡的种群数量急剧下降，现已难觅踪迹（丁旭等 2012）。花鳗鲡已被列为国家 II 级保护野生动物。

第九章 三峡工程对两湖的生态影响

长江是我国第一大河，多年(1951~1983年)平均实测年径流量为 $8956 \times 10^8 \text{ m}^3$ (汤奇成等 1998)，约占全国总径流量的 37.7%。位于长江中游的洞庭湖和鄱阳湖是我国最大的两个淡水湖，其库容十分巨大——洞庭湖为 $167.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，鄱阳湖为 $149.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，它们多年平均径流量分别为 $3126 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1460 \times 10^8 \text{ m}^3$ (姜加虎和窦鸿身 2003)，占长江年径流量的 52%。但两湖径流量的年际变化巨大，如鄱阳湖最大径流量达 $2646 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1998年)，最小仅有 $566 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1963年)，两者相差 4.7 倍！

洞庭湖和鄱阳湖目前依然保持着与长江的自然连通状态，对长江中下游江湖复合生态系统完整性(如江湖洄游鱼类的生态空间、长江干流物种多样性与生态系统承载力等)的维持具有重要意义，因为该地区的几乎所有其他湖泊都已切断了与长江的自然联系(谢平 2017b)。

两湖曾经都是我国特有的淡水豚类——白鱔豚的故乡，白鱔豚的模式标本还采自洞庭湖(陈宜瑜和陈炜 1975)，虽然白鱔豚已经功能性灭绝。现在两湖中依然还有另一种珍稀濒危豚类——江豚的身影。可见，两湖对长江中下游水生生物多样性的维持具有重要意义。

三峡工程运行对中下游干流以及两湖的水沙平衡以及生态等的可能影响亦备受关注，虽然精确评估十分困难，因为水系异常复杂，空间尺度巨大，各种不同的过程交织在一起。此外，人为扰动还会叠加上异常的气候波动，一些过程需要较长的时间才能达到动态平衡，等等。

一、三峡工程对荆南三口入洞庭湖径流量的影响

1. 洞庭湖概况

洞庭湖现为我国第二大淡水湖，流域面积约为 $257\,000 \text{ km}^2$ 。当岳阳水位为 33.5 m 时，洞庭湖面积约为 2625 km^2 ，平均水深 6.39m。洞庭湖位于长江中游的荆江河段南岸，南汇四水(湘、资、沅、澧)，北纳四口(松滋、太平、藕池、调弦)分泄的长江洪水，东接汨罗江和新墙河水，最后由城陵矶北注长江，是一个庞大而复杂的吞吐型湖泊。荆江南岸从松滋口、虎渡口(太平口)、藕池口和调弦口四个历史决口分流冲刷成 4 条河流——松滋河、虎渡河、藕池河和调弦河。325

年前后和南宋时期分别形成调弦口和太平口，1860 年与 1870 年藕池河、松滋河相继形成。调弦口已于 1958 年封堵，也将（荆南）四口称（荆南）三口。截至 2001 年，湖南四水流域兴建大中小型水库多达 13 318 座（李景保等 2005）。

根据 1953~2012 年的统计资料，洞庭湖多年平均径流量 2832 亿 m^3 ，其中四水 1663 亿 m^3 ，占洞庭湖全湖径流量的 58.7%，四口 873 亿 m^3 ，占 30.8%，来自区间的 296 亿 m^3 ，占 10.5%。四口的径流集中在汛期，其 6~10 月的径流量占全年径流量的 89.3%（图 9-1）。

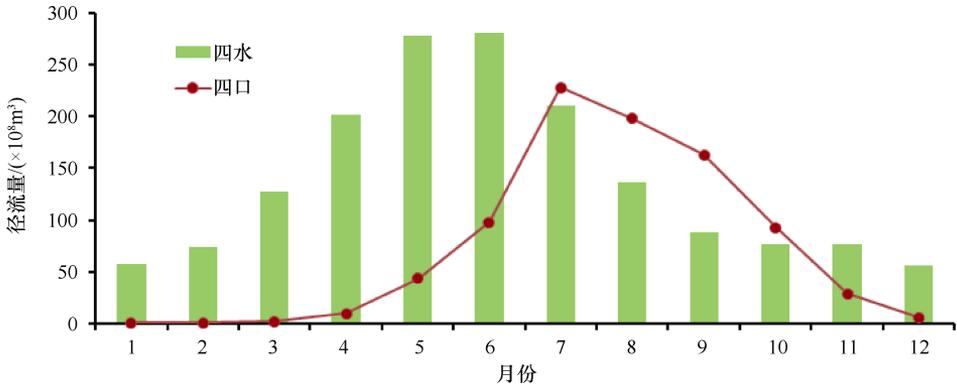


图 9-1 1953~2012 年，四口和四水径流量的季节变化（根据梁亚琳等 2015 的数据绘制而成）

温度与降雨是可能影响湖泊演变的两个重要的气象因子，如果它们没有趋势性变化，那湖泊的显著变化就会另有其因。洞庭湖区近百年来气温的变化以 1998~2010 年略微偏暖，比平均高 $1^{\circ}C$ （图 9-2）。近百年来，洞庭湖降雨的周期性变化并不明显，与气温的变化略有不同，1998~2010 年期间的降雨并未偏多（图 9-3）。

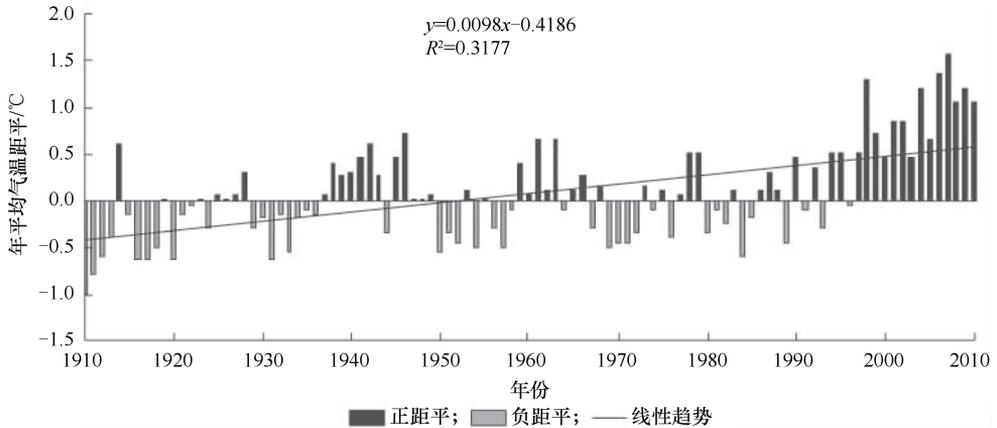


图 9-2 1910~2010 年洞庭湖区年平均气温距平（引自彭嘉栋等 2014）

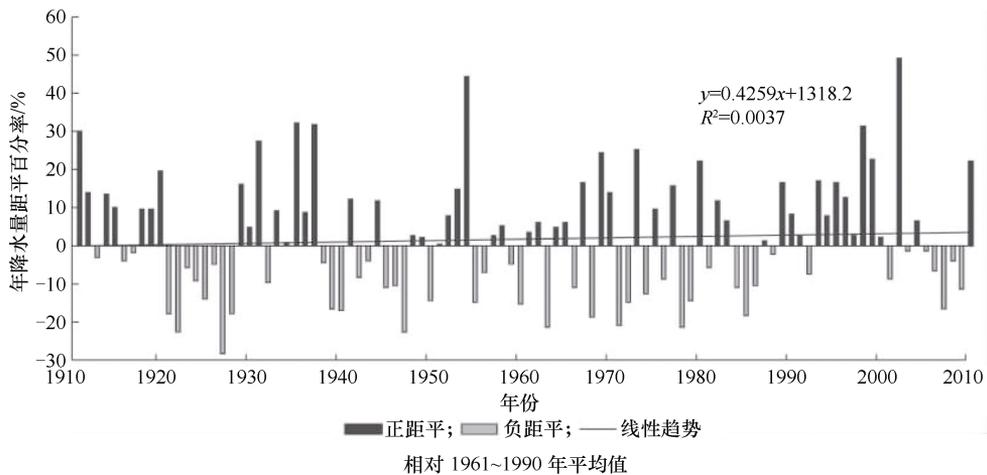


图 9-3 1910~2010 年洞庭湖区年降水量距平百分率序列（引自彭嘉栋等 2015）

2. 洞庭湖的历史演变

洞庭湖发育于晚中生代时形成的断陷裂谷盆地内，但直到全新世中期才形成泱泱巨浸，鼎盛时期面积曾达 7000~8000 km²，自夏商以后，又逐渐萎缩，到战国后期主体湖区仅剩 1300 km²，因荆江主泓道南徙（江汉—洞庭湖盆地新构造运动的持续下沉，尤其是江汉盆地自西北向东南的掀斜作用使荆江段主泓道产生向南迁徙的趋势）和荆江分流的形成，洞庭盆地内来水大增，洞庭湖又开始扩张，到了唐宋时期，面积重新增至 6000 km² 左右（姜加虎等 2015）。全新世洞庭湖的演变历程如表 9-1 所示。

表 9-1 全新世洞庭湖的演变过程

时期	特征
晚更新世末至全新世初	长江中下游河床比现代低 20~40 m，四水呈深切河谷，其中以古沅江为主，其余三条古河谷与古沅江相会。在一些低洼地区，如洞庭湖西部，存在零星湖泊。整个洞庭湖区为深切河谷与零星洼地、湖泊共存的河湖切割平原
中全新世早期、中期（8000~5000 a BP）	一方面我国东海面迅速上升，8000~7000 a B.P.，平均上升速率为 0.66 cm/a，6000~5000 a B.P. 为 1.46 cm/a，势必引起长江河床与自然堤溯源加积，水位上涨导致洞庭湖区水流排泄受阻；另一方面气候温暖湿润，降水丰沛，四水大量水流注入湖盆，汇成大湖，其开阔湖面主要在今沅江口至东洞庭湖一带，宽约 17~33 km。每当汛期长江出现高水位时，四水泄洪顶托受阻，使洞庭湖范围远大于今日
中全新世晚期（5000~3000 a BP）	气候趋向干，先期的浩瀚湖泊被四水复合三角洲替代。而四水分流间的洼地仍有若干小湖沼，其中以西洞庭湖区范围较广
商周至秦汉（3000~1700 a BP）	气候较温暖，降水颇丰，四水复合三角洲的分流河道排水不畅，河间低洼地发育成众多的湖泊、沼泽，其中较大的不少于 5 个。洪水季节河湖泛滥，水灾频繁
魏晋至明清（1700 a BP 至 19 世纪中叶）	东晋、南北朝时，在公安油口下游的荆江南岸形成景口 和沧口两股长江分流，并于 325 年前后和南宋时期分别形成调弦口和太平口，它们与四水汇流于洞庭湖，导致湖面不断扩大。至明清时期，由于雨水丰沛，洞庭湖曾成为 6000 km ² 的巨浸

续表

时期	特征
19 世纪中叶至现代	1860 年与 1870 年藕池河、松滋河相继形成后, 荆江四门入湖泥沙和四水来沙量分别为 $1.094 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 和 $0.241 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 而从城陵矶吐往长江的泥沙仅 $0.351 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 占入湖泥沙的 26%, 其余泥沙则沉积于洞庭湖内, 致使各河入湖三角洲迅速扩展, 从而为人类围湖垦殖提供了良好场所, 这又加剧了洞庭湖的萎缩。洞庭湖面积由 1825 年的近 6000 km^2 下降到 1995 年的 2625 km^2

资料来源: 张晓阳等 1994。

近 200 年来, 洞庭湖处于不断萎缩的过程之中 (图 9-4), 即自清代咸丰、同治年间四口分流形成之后, 洞庭湖在泥淤滩涨和筑堤建垸的双重作用下, 由盛转衰, 面积急剧萎缩, 由 1825 年的近 6000 km^2 下降到 1995 年的 2625 km^2 。1955~1978 年, 洞庭湖水面面积减少了 970 km^2 , 主要是大规模的围湖造田引起的 (赵淑清等 2002)。

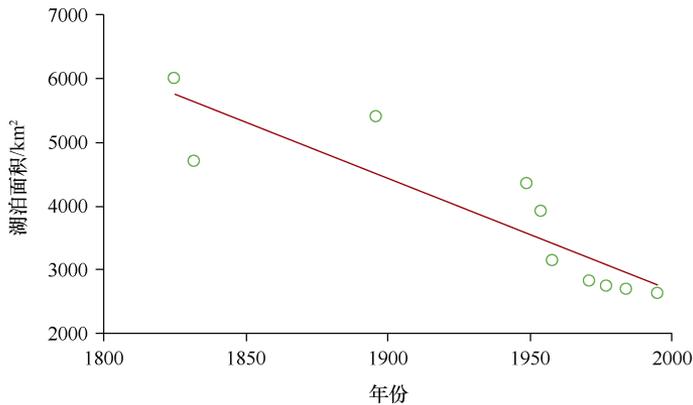


图 9-4 近 200 年 (1825~1995 年) 来洞庭湖面积的变化 (根据《湖南手册》的资料绘制而成)

3. 三峡工程对洞庭湖水沙平衡的影响

方春明等 (2014) 指出, 三峡水库运用后荆江产生了较大冲刷, 枯水位下降, 但同时三口河道也产生了一定冲刷, 部分抵消了荆江水位下降对三口分流的影响, 因此, 三峡水库蓄水以来荆江三口分流比并未发生明显变化。由于三峡水库运用后 2003~2011 年的数据点基本位于 1991~2002 年的相关线上 (只略为偏下一点), 因此他们认为, 三峡水库运用对三口年径流量的影响有限。

下荆江裁弯 (1967~1972 年) 后, 四口分流分沙比呈减少趋势, 由于葛洲坝水库为径流式水库, 库容相对较小, 对下游流量过程几乎没有影响, 拦沙作用亦十分有限 (徐慧娟等 2014)。方春明等 (2014) 指出, 三口年径流量与枝城年径流量之比 (三口年径流量比) 自 1990 年后也趋于稳定, 表明三峡水库运用后对其

影响亦微乎其微。

三峡工程截流前（1951~1998年）荆南三口年均输沙量达 $14\,126 \times 10^4 \text{ t}$ ，占洞庭湖区来沙量的 81.5%，同期四水多年平均来沙量仅为 $3\,198 \times 10^4 \text{ t}$ ，且变幅不大，表明荆南三口来沙量的大小直接决定了洞庭湖盆泥沙冲淤量，而荆南三口的输沙量与其来水量密切相关。三峡水库蓄水运用后的三个时段，荆南三口年输沙量及洞庭湖盆淤积量波动下滑趋势较为明显，而洞庭湖盆从淤积为主转变为冲刷为主（图 9-5）。

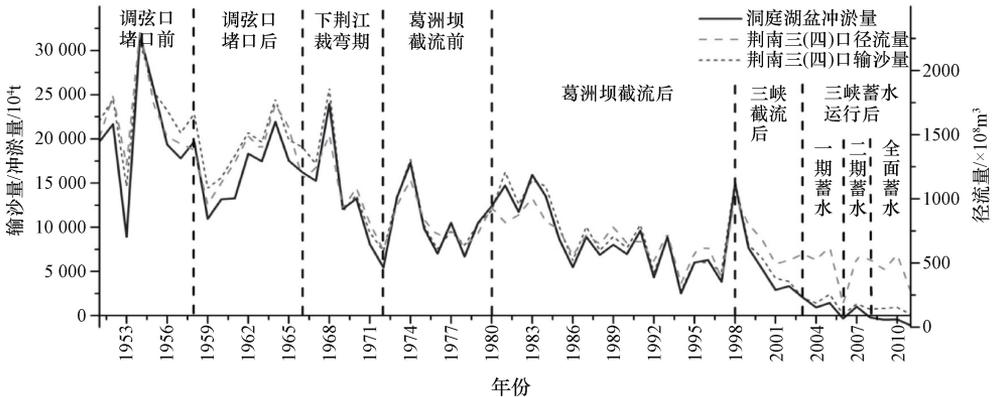


图 9-5 不同时段荆南三(四)径流量、输沙量与洞庭湖盆冲淤量演变趋势(引自周永强等 2014)

在每年的汛期，也是许多江湖洄游鱼类的繁殖旺季，在长江中大量孵化的仔鱼以及初出茅庐幼鱼经过枝城后通过荆南三(四)口进入洞庭湖肥育，而在洞庭湖中肥育成熟的亲鱼又可经城陵矶通道进入长江，补充长江的繁殖群体，它们在翌年随雨季的降临而开始繁殖，之后与大量的新生幼鱼一道重返洞庭湖。

二、三峡工程对江水倒灌鄱阳湖的影响

1. 鄱阳湖概况

鄱阳湖现为我国第一大淡水湖，流域面积约为 $162\,000 \text{ km}^2$ 。当湖口水位为 21.69 m 时，鄱阳湖面积约为 2933 km^2 ，平均水深 5.1 m。而在干旱的 2012 年，湖面面积曾降至近 200 km^2 。鄱阳湖上有五河（赣江、抚河、信江、饶河、修水），下通过湖口与长江相连，每年 7 月鄱阳湖上游五河入湖洪水开始消退，而长江水位快速上涨，对鄱阳湖流出产生强烈的顶托作用而出现江水向湖中倒灌现象（图 9-6），大多数年份都会出现倒灌现象。

2. 鄱阳湖的历史演变

据史籍记载和地质钻孔研究，鄱阳湖的形成与长江在九江段的演变以及彭蠡

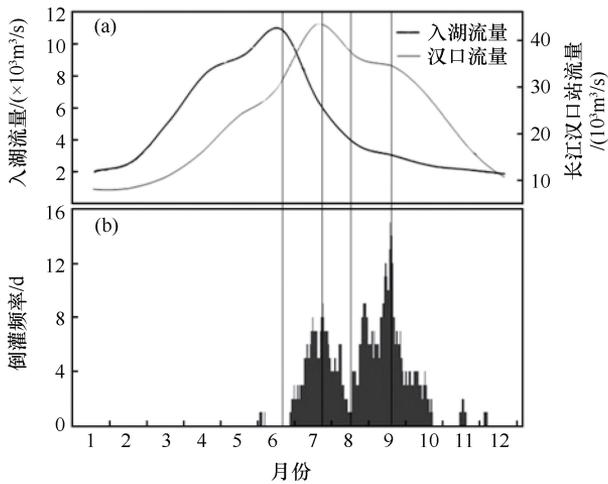


图 9-6 1960~2007 年鄱阳湖的入湖流量和倒灌频率的历史变化 (a) 鄱阳湖流域月平均入湖流量与长江汉口站月平均流量; (b) 长江倒灌累积频率分布图 (引自叶许春等 2012)

泽的形成与演化密切相关。古彭蠡泽位于武穴以下的九江、黄梅、宿松和望江一带的广大凹陷盆地中，其形成是由于全新世中期（冰后期）全球气候变暖，格陵兰冰盖融化，导致全球海平面的普遍抬升，长江下游潮流界的范围也因之大幅向上游延展，长江河口退至今扬州—镇江一线。海水对长江流势的顶托和江水的抬升，使这一凹陷盆地被江水充填而成为一大型湖泊。古彭蠡泽正是在这一背景下形成或扩展的。盛期的彭蠡泽水域辽阔，长江穿泽而过，彭蠡泽成为了长江的一个自然加宽段。古彭蠡泽的主体范围应在今长江河床及其北岸一带，鄱阳湖盆地并不存在大的水体，而湖口地堑内的水体仅是彭蠡泽的南部一湖湾汊而已。自大禹时代至汉、晋 2000 多年来，长江河道不断迁徙摆动，古彭蠡泽的主体逐渐萎缩成雷池和雷水，并进一步演化成今日的龙感湖和黄大湖、泊湖等湖泊，而湖口地堑内的水域则逐步向南扩展，形成现今的鄱阳湖（窦鸿身和姜加虎 2003）。

简言之，六朝（221~589 年）时期，长江中下游水系变化频繁，由于长江主泓道南移而形成了鄱阳湖。其演化可划分成三个阶段：①六朝至唐初的湖面迅速扩涨期；②唐、宋时期的三角洲迅速发展期；③明末至清初的再次扩展期（表 9-2）。

表 9-2 古彭蠡泽与鄱阳湖演化年表

时代	古彭蠡泽		鄱阳湖	
	当时名称	位置和范围	当时名称	位置和范围
大禹时代	彭蠡泽	位于现在的长江北岸 黄梅、宿松、望江一带， 有长江潳集而成		

续表

时代	古彭蠡泽		鄱阳湖	
	当时名称	位置和范围	当时名称	位置和范围
战国时代	豫章	大致同上		
两汉	彭蠡泽	位置较上南移,但在长江之北,并通过长江与“江南彭蠡泽”相同	彭蠡泽、宫亭湖	位于罾子口以北之湖口一带的狭长水域
南北朝至唐初	雷池、雷水	在今长江北岸,由古彭蠡泽萎缩而成,并与长江分离	彭蠡湖、担石湖、宫亭湖、鄱阳湖	为鄱阳湖形成至全盛时期,面积达 6000 km ² ;东至余干县镜;西至涂家埠沿赣江主支;北至长江;南至南昌一进贤县北山一线
唐、宋、明初	太清池	位置同上,湖面进一步萎缩成一系列湖群	鄱阳湖	三角洲发展,湖面明显缩小;西涯退至松门山—康山一线;东岸退至棠荫—莲荷山一线
明清以来	龙感湖、黄大湖	同上	鄱阳湖	湖面又一次扩张,三角洲前缘被淹,军山湖、青岚湖及一些溺谷型湖湾形成

资料来源: 窦鸿身和姜加虎 2003。

3. 长江倒灌鄱阳湖的历史演变

据黏土矿物、重矿物、粒度、磁化率、¹⁴C 测年等古环境研究,在千年的时间尺度上,鄱阳湖倒灌呈现出巨大的历史波动。大约 2360 年前,长江南摆至现在的湖口附近,对鄱阳湖盆地的泄水形成阻碍,并发生了江水倒灌鄱阳湖盆地的现象,从而促进了现代鄱阳湖的演化。鄱阳湖水位受江湖关系的调控,特别是取决于长江水情。历史上的鄱阳湖水倒灌大致可区分为三个不同的阶段:①2360~1550 年前弱于现在;②1550~880 年前稳步递增到历史高值;③880 年前以来强烈振荡(图 9-7)。

4. 三峡工程对长江倒灌鄱阳湖的影响

三峡大坝运行前(1990~2002 年):鄱阳湖平均倒灌 5.15 天,倒灌量 $12.83 \times 10^8 \text{ m}^3$;三峡蓄水初期(2003~2008 年)以来,两者均明显上升:平均倒灌 15.83 天,倒灌量 $35.91 \times 10^8 \text{ m}^3$;三峡水库 175 m 试验性蓄水(2009 年)以来,两者均显著下降:平均倒灌 2.14 天,倒灌量 $1.46 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 9-8)。

长江倒灌鄱阳湖主要发生在 7~11 月,绝大多数出现在 7~9 月,占总倒灌天数的 90.4%,(王雪等 2017)。湖口水位 22.59 m(1998 年 7 月 31 日)为历年实测最高水位,此时鄱阳湖通江水体面积 3708 km²,湖体容积 $303.63 \times 10^8 \text{ m}^3$ (王圣瑞等 2014)。因此,1991 年倒灌量($113.87 \times 10^8 \text{ m}^3$)超过了鄱阳湖最大湖容的 1/3。

长江倒灌鄱阳湖对江湖洄游鱼类来说可能具有重要意义,因为 7~9 月正好遇上江湖洄游鱼类繁殖盛期与幼鱼生长旺季,自然的“灌江纳苗”不仅对鄱阳湖,

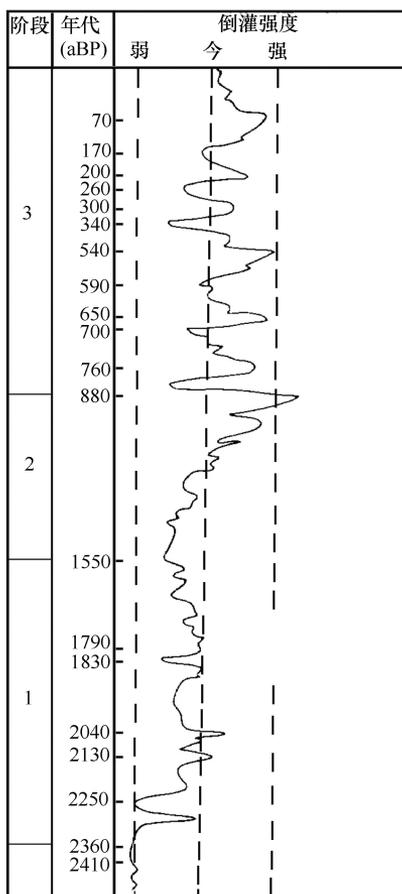


图 9-7 江水倒灌鄱阳湖强度的历史变迁 (引自胡春华 1999)

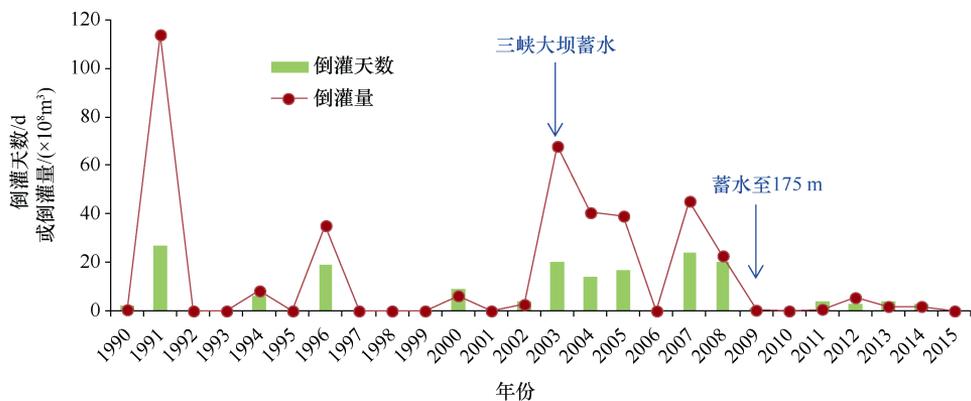


图 9-8 三峡工程运行前后鄱阳湖倒灌天数及倒灌量的变化 (根据王雪等 2017 的数据绘制而成)

而且对整个长江的渔业资源量维系具有重要意义。2009 年之后鄱阳湖倒灌的大幅衰减问题值得重视。

三、三峡工程对两湖渔业的可能影响

渔产量由天然捕捞和人工养殖所构成。有时，虽然鱼类资源丰富，但有可能不被捕捞，而过度捕捞会导致鱼类资源衰竭。一般来说，天然捕捞量取决于鱼类资源量，即鱼类资源量越大，捕捞量就可能越大。但某一时期捕捞量的增加也可能由于更多的营养物输入（富营养化），亦可能由于捕捞技术的改进或捕捞强度的增加（这会引发过度捕捞）。

1. 洞庭湖渔产量与江豚种群的历史变化

20 世纪 50 年代以来，洞庭湖的渔产量并未呈现系统性的衰退现象，虽然湖泊面积有所下降（由 1958 年 3141 km² 下降到 1995 年 2625 km²）。除 1996 年、1998 年溃垸因素，捕捞量较高外（廖伏初等 2002），洞庭湖鱼类捕捞量绝大多数情况下为 2 万~4 万 t，多年平均约为 3.3 万 t（图 9-9，附表 7）。这与长江干流的资源量从 1954 年的 43 万 t 下降到 2011 年的 8 万 t（图 4-8）有着明显差异！

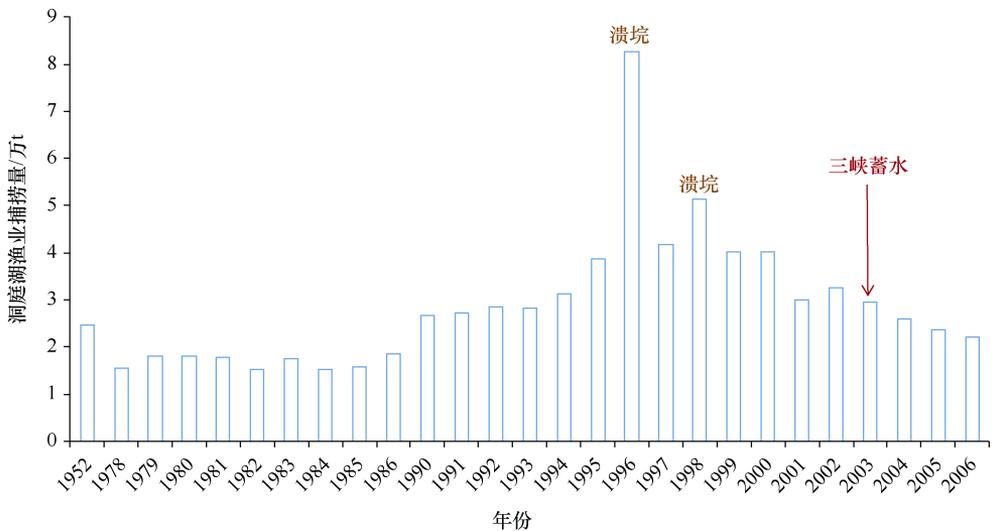


图 9-9 洞庭湖渔业捕捞量的历史变化（根据湖南水产部门的统计数据绘制而成，引自廖伏初等 2002；李红炳和徐德平 2008；李杰钦 2013）

四大家鱼（青鱼、草鱼、鲢、鳙）是产漂流性卵的鱼类，20 世纪 60 年代在洞庭湖渔产量中的比例曾经达到 21%，之后逐渐下降（发生大面积洪灾的 1998

年除外), 三峡蓄水前的几年为 8%~9%。三峡截留并未显著降低它们的比例, 2014 年又回升到 17% (图 9-10)。



图 9-10 洞庭湖鱼类捕捞总量中四大家鱼占比的变化 (根据湖南水产部门的统计数据绘制而成, 引自李红炳和徐德平 2008; 李杰钦 2013; 湖南省畜牧水产局 2015)

江湖洄游鱼类的比例曾在 1963 年达到 32%, 1999 年之后就在 10% 以下徘徊, 湖泊定居鱼类的比例进一步上升, 1999 年之后就超过了 80% (图 9-11)。洞庭湖中江湖洄游鱼类的衰退与三峡截留并无直接关系。

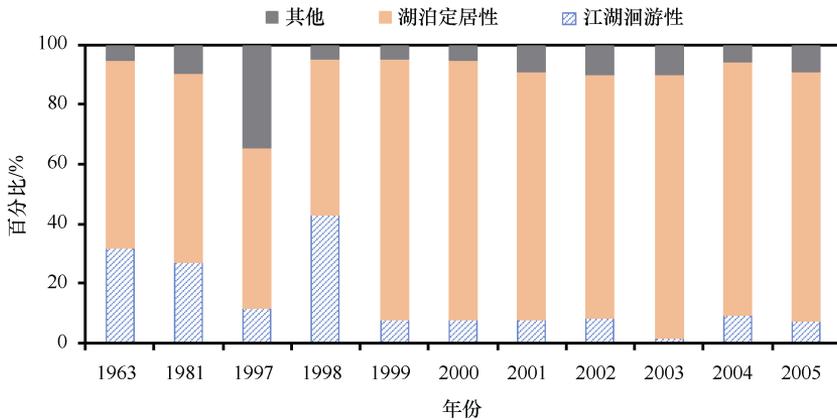


图 9-11 洞庭湖渔获物各种类型鱼类的比例 (根据湖南水产部门的统计数据绘制而成, 引自李成 2006)

2. 鄱阳湖渔产量的历史变化

根据鄱阳湖周边全部 11 个县市的渔业统计资料, 得到鄱阳湖水产品捕捞量的

历史变化如图 9-12 和附表 8 所示。1949 年以来，鄱阳湖的天然捕捞量以 30 年为周期进行波动，第二个周期比第一个周期的平均值显著增高；此外，三峡蓄水并未明显降低鄱阳湖的渔产量。鄱阳湖渔产量年际波动与水面面积呈正相关关系（张本和王建华 1982）。发生特大洪水的 1954 年、1996 年和 1998 年，渔产量分别达到周期波动的峰值。洪水年份也会使渔产量增加：①湖库、池塘等中人工投放的鱼苗通过洪水进入鄱阳湖中；②从长江进入鄱阳湖的鱼类增加，特别是江湖洄游鱼类（如四大家鱼）；③鄱阳湖水位增高，湖面扩大，饵料丰富，鱼类索饵范围广，有利于生长（省渔政局增殖科 1996）。1998 年特大洪水也引起四大家鱼在总鱼获物中的比例由 5%~10% 上升到 10%~15%，可能是由于特大洪水引起人工养殖池中的四大家鱼逃入湖中所致（钱新娥等 2002）。

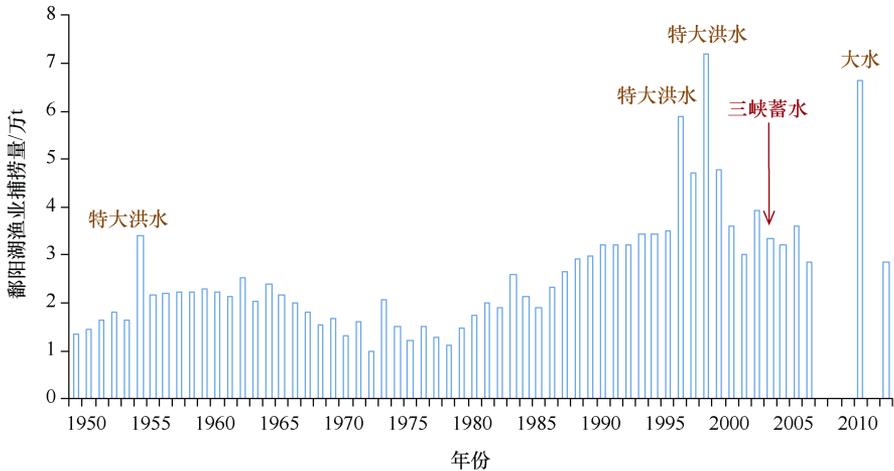


图 9-12 鄱阳湖渔业捕捞量的历史变化（根据江西省渔政管理局的数据绘制而成，引自钱新娥等 2002；黄晓平和龚雁 2007；吴斌等 2014）

在鄱阳湖的鱼类捕捞产量中，江湖洄游的四大家鱼的比例多数都在 10% 以下（图 9-13），且整体水平也比洞庭湖略低，这亦在情理之中，因为洞庭湖与长江的交换量更大，在长江中飘荡的鱼苗有更多的机会进入洞庭湖肥育。此外，也难以看出三峡蓄水对四大家鱼在洞庭湖鱼类捕捞总量中占比的显著影响。

四、三峡工程对两湖豚类的可能影响

两湖是白鱔豚和江豚的重要栖息与觅食之地。但白鱔豚在三峡截流之前就基本绝迹了，因此，其绝灭与三峡的影响应该没什么关系。中国科学院水生生物研究所等部门对洞庭湖和鄱阳湖的江豚进行了多轮的现场考察，20 世纪 90 年代以来，在一定的范围内波动（85~200 头），三峡截流并未引起江豚数量的明显降低（表 9-3）。

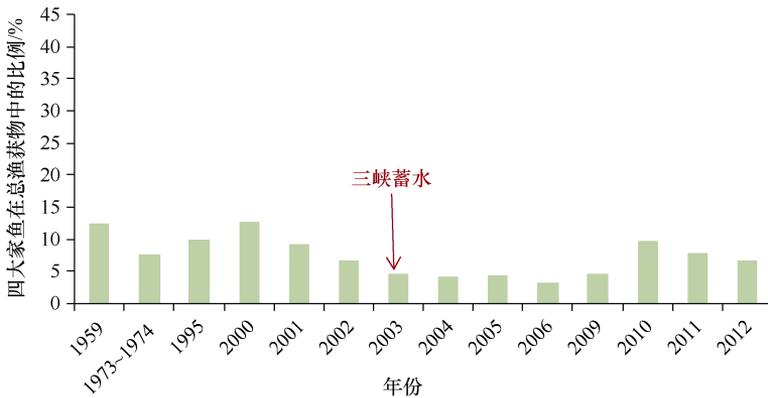


图 9-13 鄱阳湖鱼类捕捞总量中四大家鱼占比的变化（根据江西省渔政管理局的数据绘制而成，引自张本和王建华 1982；省渔政局增殖科 1996；黄晓平和龚雁 2007；姜红等 2013；吴斌等 2014）

表 9-3 洞庭湖长江江豚种群数量的历史变动 （单位：头）

时间	长江干流	洞庭湖	鄱阳湖	合计	文献
1984~1991 年	2546	104	52	2702	张先锋等 1993
1998 年 4 月	—	—	388	—	肖文和张先锋 2000
2006 年	1225*	230*	—	—	
2007 年	—	180*	—	—	
	—	—	—	—	
2009 年	—	145*	—	—	
2010 年	—	114	—	—	
2012 年	500*	90*	450*	1040*	
2014 年	—	—	403	—	刘磊等 2016

* 《2012 长江淡水豚考察报告》。

“—” 表示无数据。

五、大型通江湖泊中四大家鱼繁殖群体的变化

繁殖群体对种群的盛衰是十分重要的，如果某种原因（无论是自然的还是人为的）导致某一物种的自然繁殖群体的规模逐渐变小，那该物种的自然种群规模就会逐渐衰退。

1. 洞庭湖的重要作用

与长江保持连通的湖泊所剩无几，洞庭湖以其与长江的特殊联系以及巨大的分流调蓄功能，对长江中下游自然江—湖关系的维持起着至关重要的作用，起着

长江多种经济鱼类种群数量补充基地的作用。根据 1988 年的调查，在长江中繁殖的四大家鱼鱼苗经三口进入洞庭湖的有 13 亿~15 亿尾，入湖的家鱼苗有 90%~95%发育到了鳔一室期或卵黄吸尽期，距产出已有 6~7 天，按漂流速度推算，这些鱼苗主要产自重庆以上的上游江段产卵场。至于湘江中繁殖的家鱼苗总数仅有 0.48 亿尾，对补充洞庭湖四大家鱼资源的意义不大（中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991）。

通江湖泊中四大家鱼幼鱼的来源并不仅仅限于长江干流。例如，四大家鱼在湘江和赣江中也能繁殖，这些支流产卵场的状况也会影响到两湖中的鱼类群落结构与资源量。

长江支流四大家鱼产卵场的形势也十分严峻，如湘江在历史上捕捞家鱼苗曾达 40 亿尾（1959 年），在 20 世纪 70 年代平均只有 2.4 亿尾，90 年代初家鱼苗已很少，停止了捞苗生产（中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所 1991）。

2. 四大家鱼的繁殖群体严重萎缩

在长江水系，四大家鱼其成熟年龄一般都在 4~5 龄，少数可在 3 龄，而鳊鱼最早也是 4 龄（表 9-4）。1963 年，在鄱阳湖湖口的鱼获物中，4 龄及以上的个体还占有不低的比例，但 20 世纪 70 年代之后，4 龄及以上的个体就十分罕见（附表 9）。湖北洪湖 50 年代中后期兴建隔堤和新滩口排水闸，在 1959 年的鱼获物中，4 龄及以上的鳊还占有很大比例。90 年代，通江湖泊洞庭湖中的四大家鱼其 4 龄及以上个体的比例也很低（附表 9）。

20 世纪 70 年代之后，大型通江湖泊——鄱阳湖和洞庭湖中繁殖群体的严重衰退可能由于过度捕捞，发生在湖泊或长江干流，也可能是两者的联合作用。但两湖中渔产量的相对稳定可能主要由于一种补偿机制，即大型江湖洄游鱼类的降低被小型定居鱼类的增加所补偿。此外，水体营养的增加也使饵料生物有所增加，因此，也能支撑更多的鱼类种群数量。

表 9-4 长江水系四大家鱼的成熟年龄与繁殖季节

种类	成熟年龄	地点	繁殖季节
青鱼	一般 4~5 龄，最早 3 龄	宜昌（1958 年）、 湖口（1961~1963 年）	5~7 月
草鱼	一般 4~5 龄，最早 3 龄， 最晚 6 龄	湖口（1961~1963 年）	4 月底至 7 月初
鲢	一般 4 龄，最早 3 龄	宜昌（1958~1959 年）、 湖口（1962~1964 年）	4 月中旬至 7 月， 5~6 月较集中
鳊	一般 5 龄，最早 4 龄	湖口（1962~1964 年）	5 月上旬至 7 月

资料来源：湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976；倪达书和汪建国 1999。

3. 酷渔滥捕严重

利用非法渔具如电·炸·毒鱼、“迷魂阵”(图 9-14)、地笼网、矮围(图 9-15)等的酷渔滥捕可能是导致两湖中大型江湖洄游鱼类资源衰竭以及鱼类群落结构小型化的重要原因。例如,密眼网簖(“迷魂阵”)是一种大规模捕捞经济鱼类幼鱼的渔法,其网目一般为 5~10 mm,可以捕到体长仅 2~3 cm 的幼鱼,在东洞庭湖,网簖的日产量达 10.5 万 kg,其中经济鱼类幼鱼 6.45 万 kg,7 月底至 8 月初,每天的渔获物中含有草鱼幼鱼 147 万尾,青鱼幼鱼 225 万尾,鲤幼鱼 306 万尾(曹文宣 2008a)。



图 9-14 密布于洞庭湖滨的“迷魂阵”



图 9-15 洞庭湖区 6 万多平方米矮围(亦称为“鱼牢”),是一种利用水位消涨(涨水时收鱼,水退时留鱼)的非法捕捞方式

据湖南省渔政部门的估算，2002年，在洞庭湖中的“迷魂阵”超过8000部，网片长度100万m以上，“布围子”8000船左右，长度80万m以上，其捕获的鱼类70%以上为当年或1冬龄幼鱼；电击渔船2000艘以上，每年用来炸鱼的炸药80t左右，一些渔民还总结出一套炸鱼经：“春炸湾、夏炸滩、秋冬两季炸深潭”（柳富荣2002）。2015年，在东洞庭湖八角包水域发现的“绝户网”，一次可围上百亩水面，连小拇指长的鱼儿都会被尽收网中（图9-16）。



图9-16 在洞庭湖使用的网眼极小（网目仅3~4mm，连小手指都穿不过）的“绝户网”，网面密如麻布，捕鱼者在铁驳船上转动巨型轴承收网

鄱阳湖的“迷魂阵”在1978年只有27部，1983年增加到2400部，1986年猛增到9889部，在1983年鄱阳湖下山岛渔区的1部“迷魂阵”的渔获物中，体重在50g以下的个体占总数的60.8%，50~250g的个体占37.2%，250g以上的个体仅占2.0%；而在汉池湖抽查的64.9kg“迷魂阵”渔获物中，有27181尾鱼，平均每尾体重不到2.4g（张本和张立1997）。

总之，洞庭湖和鄱阳湖是目前与长江干流依然保持自然联通状态的仅有的二个湖泊。三峡工程的运行通过对水文节律、水沙输移及河床冲刷等的改变无疑会对中下游的江湖关系进而生态系统产生一定影响。但这种过程是极其复杂的，依然处于动态变化之中，还夹杂着气候波动、人类活动等的影响。目前，两湖的渔业资源量与长江干流几乎持平，因此，保持自然连通的江湖关系对已经大幅枯竭的长江干流生物多样性的承载力来说至关重要。以减缓三峡工程对两湖水文影响为名试图修建闸坝的行为无疑将会带来严重的生态后果，如可能会加快江豚的灭绝。

第十章 濒危物种评估之惑

如果一个物种正在走向灭绝，就称为濒危物种（endangered species）。物种灭绝可能是一种自然过程，像历史上曾经灭绝的许多物种皆是如此，但这是一种漫长的过程，通常在万年、十万年甚至更长的时间尺度上发生。可是，现代物种的濒危绝大多数起因于人类活动的干扰，如栖息地的改变、破坏或丧失，过度捕杀以及环境污染等。根据世界自然保护联盟（International Union for Conservation of Nature, IUCN）2012年的报告，全球共有3079种动物和2655种植物处于濒危状态。

物种并不是永生的，地质历史上的绝大多数物种都已灭绝，但往往伴随新物种的诞生。人类的繁荣给地球环境带来了巨变，数以百万计的生物物种的栖息之地正在被人类逐渐挤压或占用，很多物种以惊人的速度灭绝或正在绝灭之中，但新物种却完全来不及产生。对物种生存状态（特别是濒危状态）的评估是物种保护与拯救的第一步。

非常遗憾的是，我们曾眼睁睁地看着很多物种灭绝或走上了不归之路，等我们意识到的时候，往往已回天乏术。长江的白鱃豚灭绝了，中华鲟和白鲟也无力回天，江豚也正在垂死挣扎之中……而我们甚至不知道这些悲剧的真正原因。

一、发展简史

人类对物种濒危的关注可追溯至19世纪中叶的保护运动（conservation movement），由于农业的扩张和狩猎工具的进步，一些对英国文化和生态均具有重要意义的动物，如大鸨（*Otis tarda*）、海雕（*Haliaeetus albicilla*）和大海雀（*Pinguinus impennis*）等相继灭绝，这催生了世界上第一部自然保护法——1869年英国《海鸟保护法案》诞生（马克平2016a）。

进入20世纪，物种面临的形势日趋严峻。IUCN于1948年成立，1963年开始编制濒危物种红色名录（Red List of Threatened Species）。1992年，在巴西里约热内卢举行的联合国环境与发展大会上签署的《生物多样性公约》明确了各国政府对物种保护的法律责任（蒋志刚和马克平2014）。

为了方便评估以及制定适当的保护对策，对濒危状态进行等级划分是必要的，而就物种绝灭的概率来说，极危>濒危>易危，如极危意味着物种灭绝的概率极高。

在IUCN 2012年公布的名录中，一共有3079种动物和2655种植物处于濒危

状态。许多国家制定了法律来保护濒危物种，如禁止捕猎、限制土地开发或建立保护区等。

生物多样性丧失与保护，特别关注受威胁程度评估与物种红色名录和生态系统红色名录、物种灭绝速率、保护空缺分析、现状与保护进展评估指标等依然是现在生物多样性研究的热点（马克平 2016b）。

但是，如何通过一定的指标对物种的濒危程度进行定量评价却并不那么容易。即便如此，人们还是提出了一些判定标准。

二、物种濒危标准体系

1991年，英国学者梅斯（G. Mace）和兰德（R. Lande）提出，根据在一定时间内物种的灭绝概率来确定物种濒危等级的思想，据此制定了一套物种濒危标准（表 10-1）。

表 10-1 Mace-Lande 物种濒危等级标准中关于极危、渐危和易危物种的标准

	极危	渐危	易危
种群下降速率	10 年下降 85%	10 年下降 50%	10 年下降 20%
分布范围	< 100 km ²	< 5000 km ²	< 20 000 km ²
种群数量	种群数量 N<250 存活数量 N _s <50	种群数量 N<2500 存活数量 N _s <250	种群数量 N<10 000 存活数量 N _s <1000
预计种群下降速率	3 年下降 25%	5 年下降 20%	10 年下降 10%
灭绝概率	10 年为 50%	20 年为 20%	100 年为 10%

1994年11月世界自然保护联盟第40次理事会会议正式通过了经过修订的梅斯-兰德物种濒危等级标准作为新的世界自然保护联盟濒危物种等级标准系统。最高级别是绝灭，其次是野外绝灭；极危、渐危和易危3个级别统称“受危”；其他依次为依赖保护、接近受危和需要保护，这三个级别也称为低危。有些则缺乏数据或尚未评估（图 10-1）。

Mace-Lande 的物种濒危等级标准看似量化了，其实并非如此简单，适用的对象可能也十分局限。动物的生存范围是千差万别的，在淡水中，很多物种仅分布在一个不大的湖泊中（如康浪白鱼就是云南抚仙湖的特有种，而抚仙湖的面积也只有 216 km²），但另一些水生动物（如中华鲟）活动范围大，且生活在水中不易被观察，种群数量的推测十分困难。依笔者之见，试图制定一个普适性的定量划分标准是徒劳的，因为不可能所有生物物种都通过同一种种群动态模式去决定它们未来的命运。灭绝与种群规模有关，但也不是必然的关系。例如，个体稀少的物种不一定意味着马上灭绝，而个体众多的物种并不意味着没有绝灭的风险。事实上，物种濒危的定量划分标准其象征意义大于实际意义。

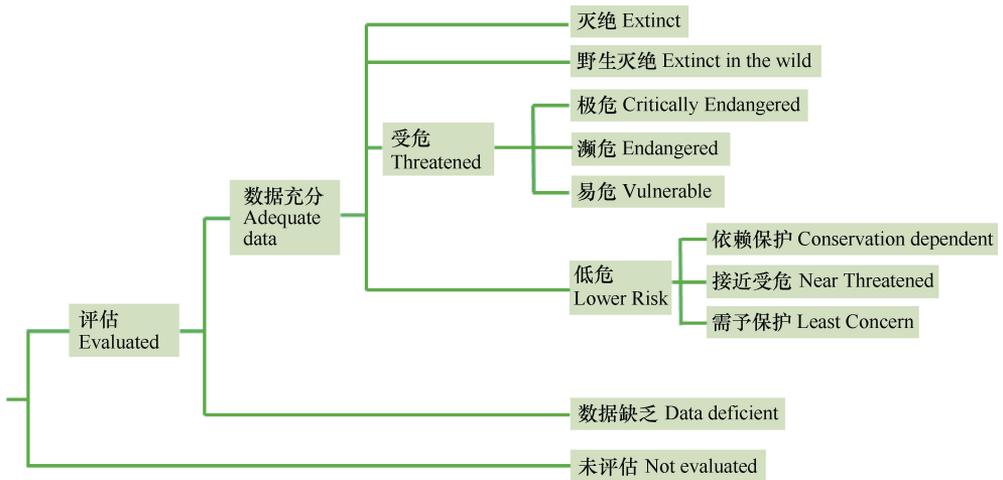


图 10-1 世界自然保护联盟物种濒危标准体系

三、关于物种濒危的理论探讨

为了对濒危物种进行拯救，人们试图揭示物种的灭绝机制，为此提出了最小生存种群、有效种群大小、种群瓶颈、奠基者效应、“阿利”效应、灭绝漩涡等诸多概念。

1. 最小生存种群

如果能确定某一濒危种群得以生存下去的最低种群数量，对保护实践来说就具有重要意义。Shaffer (1981) 提出了最小生存种群 (minimum viable population, MVP) 的概念，指某个物种在野外能够长期生存下去的种群数量下限 (或最小生存种群)，在此种群规模，物种不会因为自然灾害、统计随机性、环境随机性或遗传随机性而灭绝。需要指出的是，有些物种虽然在野生环境中灭绝了，但却被人工饲养着。

人们常常用基于计算机模拟的种群生存力分析 (population viability analysis, PVA) 来估算最小生存种群。种群生存力分析包括出生-死亡过程模型、矩阵模型、种群随机模型 (单一种群、复合种群、空间显示)，以及基于个体的模拟模型等 (田瑜等 2011)。

常常以一定时间范围 (如 100 年、500 年或 1000 年) 中的生存概率 (95%、99% 或任何百分比) 来判定最小生存种群。但实际上确定这样的生存概率是非常困难的，因为对一个自然物种的灭绝过程进行超过 100 年以上的观测研究几乎是不大可能的。

即便如此，一些科学家还是大胆地提出了一些估计数字。例如，对陆生脊椎动物而言，MVP一般是500~1000，如果考虑到近交效应，许多物种MVP的估值为数千。例如，Traill等（2007）通过对200多个物种的详细数据分析认为，大部分物种的长期最小生存种群值为3000~5000，平均为4169。

由于根据种群大小可以衡量一个物种的兴衰，因此，如果一个物种分布范围狭窄、仅占据稀有的特殊生境而且种群规模也很小的话，就比一般常见的种类更容易灭绝（Primack et al. 2014）。从理论上说，一个物种的濒危可根据MVP进行判断。

在长江中下游生活的白鱃豚和江豚，虽然食物基本相同，但白鱃豚已经功能性灭绝，而江豚还有约1000头，虽然处于极危状态，这可能与它们不同的生态或行为习性等有关，即它们可能具有不同的最小生存种群，但如果它们的种群降低到各自的阈值之下，可能的“阿利”效应将使其进入灭绝漩涡。与陆生动物不同，水生动物由于难以直接观察，其最小生存种群更难确认。例如，白鱃豚、江豚、中华鲟等大型水生动物的活动范围跨越数千千米，种群数量的估算均十分困难，迄今为止，无人知晓它们的MVP应该是多大。

事实上，根据MVP对物种濒危的判断并不那么容易，因为有些物种虽然稀有，但可以长期存在下去，等到适宜的环境或机会来临，又会不断壮大起来，而有些所谓的优势物种，也许只要一个关键性限制因子的出现，就会使其很快衰落。例如，20世纪70年代，中华鲟的繁殖群体还有1万多尾，随着80年代初葛洲坝的修建，其种群迅速衰落，因在葛洲坝下适合其产卵之地寥寥无几，无论中华鲟原来的繁殖群体多大，都难逃绝灭之命。在这种情况下，所谓的MVP就毫无意义了。另一个濒危物种——白鲟也遭遇与中华鲟类似的命运，几乎难觅踪迹。

有一些生活在淡水生态系统中的物种，分布范围很小，受到某种突发事件就会绝灭。例如，大鳞白鱼（*Anabarilius macrolepis*）和异龙鲤（*Cyprinus yilongensis*）是仅分布于云南异龙湖的特有种，但该湖于1981年4月遭遇罕见干旱，致使全湖干涸达20天之久，这两种鱼从此绝灭了（褚新洛和陈银瑞1989；陈银瑞等1998）。茶卡高原鳅（*Triplophysa cakaensis*）仅分布于青海省茶卡盐湖的一条入湖河流中，因该河于20世纪干涸而灭绝（朱松泉和曹文宣1988；曹亮等2016）。

2. 普适性的最小生存种群并不存在

从生态学上来说，种群密度与身体质量是密切相关的，即一定面积中能够栖息的物种的最大种群密度与身体的重量呈现很好的负相关关系，在对数尺度上，两者呈近乎直线的相关关系（图10-2）。道理很简单，较大的动物需要更多的食物和空间用于栖息、繁殖与生长。例如，一个狮群的领地面积为20~400 km²，因此它们的种群数量注定会十分稀少，而一些小型无脊椎动物，如一些昆虫幼

虫的活动范围可能局限于产卵地点几厘米范围之内，但密度可能会高得惊人（谢平2013）。

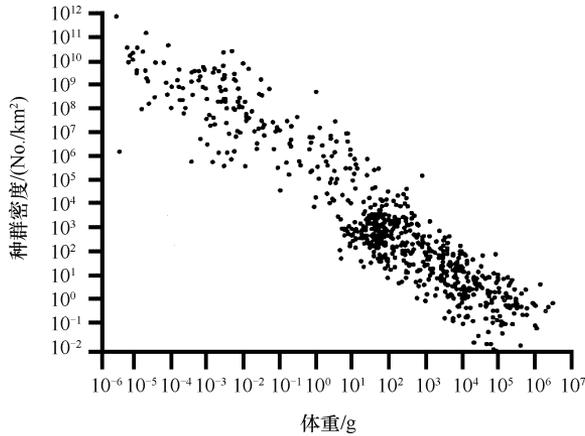


图10-2 物种(从病毒到红杉、鲸鱼)的密度与身体质量之间的关系(引自Harvey and Pagel 1991)

种群密度和身体质量的这种关系在生理上十分相似的种群中也是成立的，而且无论食性如何，虽然不同食性之间略有差别（图 10-3），即同样的体重，位于不同营养级的哺乳动物其种群密度也呈现出一定的趋势性差异：牧食者>杂食者>肉食者，其实这与它们对应的资源量是相吻合的，即由于能量在营养级间大量损失，高营养级生物的可利用资源量显著减少，所能支撑的种群数量也就显著降低（谢平 2013）。

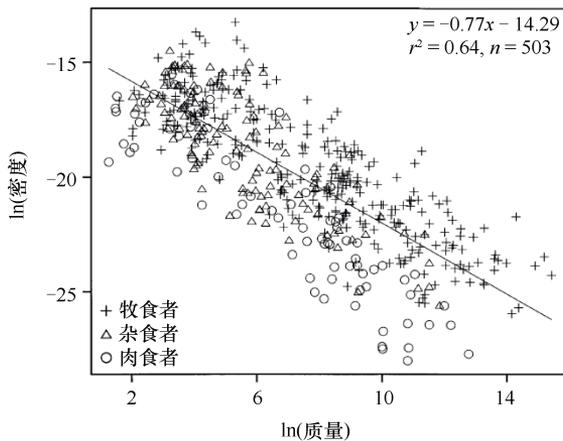


图 10-3 陆生哺乳动物密度 (no./km²) 的对数值与平均体重 (g) 的对数值之间的关系 (仿 Brown et al. 2004)

因此，不可能存在一个普适性的最小生存种群，不同物种之间可能会有天壤之别。其实，在生态学意义上的种群规模与身体质量密切相关，大动物的种群数量与小动物不可比拟，很显然，大动物的个体需要大的领地与资源，因此，这样的物种容易濒危或灭绝。

3. 其他概念

有效种群大小 (effective population size, N_e) 是指一个种群中能将其基因连续传递到下一代的个体平均数，相当于理想状态下的种群大小。由于种群中许多个体不能生育以及限制个体寻找配偶的社会结构等，均会导致 N_e 少于实际种群大小 (N)，而生境退化和片段化等均会引起并加重这些因素对有效种群大小的影响 (Alo and Turner 2005)。

奠基者效应 (founder effect) 是指当一些个体离开原种群而建立一个新的种群时，新种群的遗传变异性比原来较大种群低的现象。该概念可追溯至 Ernst Mayr 和 Sewall Wright (Templeton 1980; Provine 2004)。但从地史时间尺度来看，这恰好是新物种分化的契机。

种群瓶颈 (population bottleneck) 是指当一个种群数量急剧减少、没有携带稀有等位基因个体的生存和繁殖而丢失这些等位基因时，等位基因的减少及杂合度的降低会使种群中个体的适合度降低的现象。但问题是个体的适合度并不仅仅是由杂合度所决定的，还取决于生存环境。此外，基因变异也不会歇息。

“阿利”效应 (Allee effect): 当种群大小和密度跌落到一定水平时，许多动物的社会系统和繁殖系统就会瓦解 (Courchamp et al. 2008)。该概念可追溯至 20 世纪 30 年代美国生态学家 Warder Clyde Allee 利用金鱼 (goldfish) 所做的实验研究，他发现水族箱中有较多个体时，生长更快。这与密度制约效应是相反的观点，如果考虑群体捕食或群体防御，“阿利”效应不难理解。“阿利”效应也可视为一种正的密度依赖效应，或种群密度与个体适合度 (fitness) 之间的正相关关系 (Stephens et al. 1999)。

灭绝漩涡 (extinction vortex): 小种群的衰退直至灭绝就像一个漩涡，一旦被卷入，物种就不可避免地走向绝灭 (Gilpin and Soulé 1986)。灭绝漩涡包括一系列的模型，保护生物学家、遗传学家和生态学家试图借此来解析物种灭绝的过程与机理。

MVP、奠基者效应、种群瓶颈等都是所谓的小种群问题，如果某些物种的数量极其稀少，濒临灭绝，就称之为极小种群。一般认为，小种群或极小种群会出现适合度降低的现象，灭绝风险高。例如，欧洲野牛 (*Bison bonasus*) (图 10-4) 在 20 世纪初差点灭绝了，现在存活的个体都是 12 头野牛的后裔，它们的遗传变异极低，人们担心会影响它们的繁殖能力 (Luenser et al. 2005)。

这些概念多是一些理论思考，可操作性不强，因此，对保护生物学的实际指导意义不大，有些逻辑也不一定成立。譬如，从地史时间尺度来看，任何新物种

的诞生都源于小种群，因此，问题并不都在于小种群本身。



图 10-4 欧洲野牛 (*Bison bonasus*)

四、迁地保护

即便人们对小种群有这样那样的担忧，但有些迁地保护却十分成功。任何物种的规模都会经历从小到大的发展过程，小种群也会发展成大种群，大种群也能衰退到小种群甚至绝灭，这主要取决于生存环境的适宜性，而不是种群数量本身或群体的遗传多样性。

迁地保护 (off site conservations) 就涉及奠基者效应，一些物种因适宜的生存条件已不复存在，因此种群数量极其稀少以致难以寻找到配偶，需要将其迁出原地进行保护。迁地保护有很多成功的案例，如天鹅洲故道中的江豚，已自然繁殖出数十头幼豚。又如，麋鹿 (*Elaphurus davidianus*) 原产于中国长江中下游沼泽地带，在汉朝末年近乎绝种。到 19 世纪时，只剩在北京南海子皇家猎苑内一群，后被八国联军捕捉并从此在中国消失，1898 年被英国购买并繁殖到 255 头，1983 年部分个体被送回中国，2011 年在江苏盐城大丰湿地的麋鹿接近 1800 头，2013 年在湖北石首市天鹅洲麋鹿保护区的麋鹿超过 1000 头 (图 10-5)。

迁地保护并不都能成功，生态位的大小亦是重要的因素之一。一般来说，水生动物的迁地保护可能比陆生动物更难，如有些种类生活史十分复杂，既需要在海洋中肥育，又需要溯河洄游到江河的淡水环境中去繁殖，迁徙范围达数千千米。例如，对中华鲟进行迁地保护就难以想象。因此，对中华鲟这样的鱼类来说，生殖洄游通道的切断就意味着无可挽回的灭绝。

五、物种状态转换机制

既然基于种群数量来判断一个物种是否濒危存在诸多问题，可否基于一个物



图 10-5 麋鹿 (*Elaphurus davidianus*)

种在生态系统中的生存状态来予以评价？众多物种可能共享一个这样的生态系统（如在长江中生活有近 400 种鱼类），但对每个物种来说，它们的生态位大小不一，在一定历史时期的生存状态可能差异很大（这决定了动物的区域性地理格局），而生态系统的人为扰动（如建坝）对不同物种的生态效应可能也会绝然不同。

在此，笔者借用 Scheffer 等（2001）的生态系统稳态转化概念来描述物种的生存状态转化（regime shift of species status）。这里，物种的生存状态主要取决于物种对外在环境的生存适合度 S 和灭绝风险 R （图 10-6）。影响到物种生存的

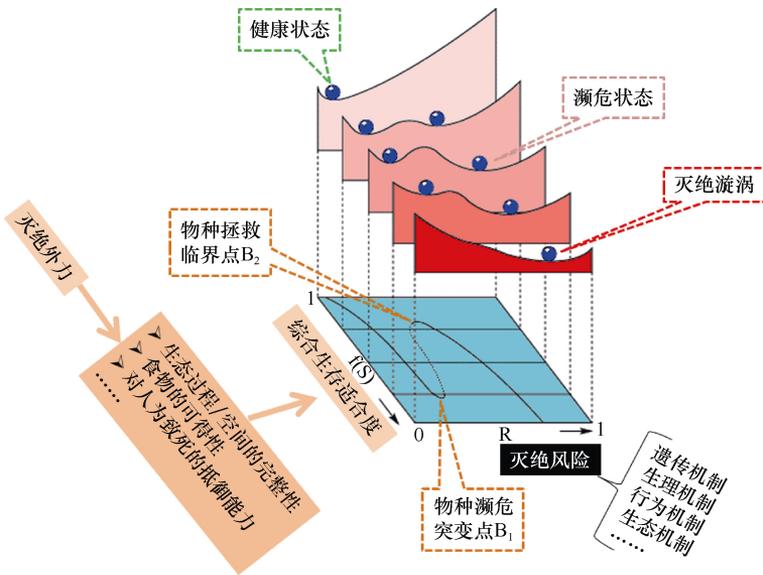


图 10-6 物种状态转换机制示意图

外在因素（灭绝外力）有多种多样的形式。例如，①物种生存空间的完整性（如建坝对鲟鱼和胭脂鱼生殖洄游通道的阻断）；②生态过程的适宜性（如改变了中华鲟产卵的温度过程）；③食物的可得性（如江湖阻隔大大减少了长江干流中白暨豚和江豚的饵料生物量）；④对人为致死（如江豚的误捕致死、螺旋桨致死等）或自然灾害的抵抗力等。某个灭绝外力越大，相应的物种适合度就越低。灭绝风险是物种对灭绝外力的遗传、生理、行为和生态等的综合响应机制，数量不足的最小生存种群，就可能步入灭绝漩涡。

当灭绝外力很小时，物种生存适合度高，处于健康状态，随着灭绝外力的增加，生存适合度降低，物种灭绝风险逐渐增大。当综合生存适合度降低到 B_1 时，物种的生存状态出现突变，从健康状态进入濒危状态，如果灭绝外力进一步增大就使物种进入灭绝漩涡。假若我们在物种还未完全绝灭之前采取有效的措施降低灭绝外力，则必须使综合生存适合度恢复到 B_2 才能使物种从濒危状态恢复到健康状态。这里将 B_1 称为物种濒危突变点， B_2 称为物种拯救临界点。在一些物种的生存状态转化过程中，可能会出现不同程度的时滞（hysteresis）现象，即它们的恢复与其下降时的轨迹并不完全相同，或者说，同样大小的扰动却无法使其反方向返回原来的状态。

为了定量评估灭绝外力，必须对多种性质不同的胁迫因子进行加权量化，因为任何一个物种都可能会承受多个因子的联合胁迫（如生态位压缩、过度捕捞、食物网破坏、生殖洄游通道阻断等）。此外，有些胁迫只有 0 或 1 两种状态，如葛洲坝对鲟鱼和胭脂鱼生殖洄游通道的阻断，无坝时胁迫就是 0，有坝时胁迫就是 1，这几种鱼在坝下无法形成有效的产卵场，因为坝下没有适合其产卵的砾石底质。此外，即便是同样的胁迫压力，不同物种的灭绝风险 R 会有所不同。

因此，为了定量计算一个物种的生存状态指数，首先必须确定综合生存适合度 $f(s)$ ，由物种对若干决定性生存因子（determinant survival factor）的适合度（fitness）之乘积所决定：

$$f(s) = f(s_1) f(s_2) f(s_3) \cdots$$

例如，某种鱼类的决定性生存因子 S 包括生殖洄游通路的畅通性（ S_1 ）、食物可得性（ S_2 ）、对人为致死（如误捕致死、螺旋桨致死等）或自然灾害的抵御能力（ S_3 ）等。这些决定性生存因子也表征了相应的灭绝外力。针对每个决定性生存因子的适合度取值 $0 \sim 1$ ，1 表示最大的适合度（理想生存状态），0 表示彻底丧失了适合度。因此，任何一个决定性生存因子的趋零，都会导致该物种的灭绝。而物种的生存状态指数 $H(f, R)$ 由 f 和 R 联合决定，定量关系如图 10-6 所示。

当然，笔者还只是提出了一个概念模型，各个决定性生存因子的适合度函数 $f(s)$ 有待确定，并需要以真实的物种为对象进行验证。毫无疑问，可用 $f(s)$ 来评估与预测物种的灭绝风险（譬如，可区分为 3-4 个风险等级），突变临界点可作为物种濒危的早期预警信号，物种拯救临界点可作为保护性干预的最低目标。此外，

f(s)还可用于对保护措施进行测试、评估与筛选。这应该比基于数量、分布范围、种群下降速率对物种濒危进行划分的方法更为合理。

六、展望

像任何生命个体一样，物种也是生生死死，据估计，地球上诞生的物种 99% 以上都灭绝了，物种的平均寿命约为 100-1000 万年。就像每个物种的独特性一样，物种灭绝的原因（无论是自然的还是人为的）也是各不相同，有些复杂，有些简单，既有生态的，也有遗传的，等等。但问题是，地史上的物种灭绝往往可以伴随新物种的产生，而现代灭绝却不能，因物种根本来不及适应。

关于现代灭绝，种群数量当然是物种兴衰的重要表征，当它寥寥无几时，人们开始惊呼它“濒危”，但人们往往很难觉察到濒危的早期信号，因为我们并没有经过实践反复检验过的准确的量化模型。有效的拯救不仅需要人们对濒危机制的透彻解析，譬如，需要了解完成生活史所需的时空（如江湖连通性）完整性、生态过程（如水文过程、温度过程）完整性，等等，还需要建立关于物种生存状态的预测模型。

无论对物种濒危如何评估，人们对物种保护的 effort 并未停歇，如建立自然保护区、为野生动物栖息地立法以及设立生态系统红色名录等，其实，这些都与物种的生存状态息息相关。早在 19 世纪初，人类就开始了以珍稀濒危野生动植物物种保护为目的的现代自然保护区的建设。从实践上来说，保护区既有成功的，也有失败的。在长江设立的一些水生动物保护区并未起到预期的作用。例如，几个白鱃豚保护区并未能拯救白鱃豚，几个中华鲟保护区也未能阻挡住中华鲟灭绝的步伐对，与陆生动物相比，水生动物的保护任务似乎更为艰巨。有效的保护实践离不开物种濒危状态的准确评估及对未来趋势与突变点的合理预判，否则可能会使物种拯救的宝贵时间丧失殆尽。在很多情况下，人们过分信赖现状去制定对策，却忘记了对历史（特别是自然历史）的谨慎回溯，而也许正确的钥匙就藏匿在那里。

第十一章 长江生物多样性危机之综合结论

受东亚季风气候的影响，长江流域雨水丰沛。对洪水，我们是爱恨交加。洪水为我们提供了丰富的再生能源——水电，它能缓解化石能源日益枯竭的压力，因此人们在干支流的上游修建了数以万计的水电站。水电毫无疑问是一种清洁能源，远比燃烧煤炭对大气环境要友好，并可以减缓全球气候变暖，水电也没有核电那样如果泄露会给人类带来毁灭性打击的风险，因此，从这些意义上来说，水电具有巨大的环境效益（但这并不能抵消其巨大的生态破坏）。长江中下游河湖纵横交错，是典型的洪泛平原区，人口密集，从古至今，人们围垦出了无数的良田用于农业生产，建造了无数高楼大厦为人所居（图 11-1），人们大修堤坝与节制闸，一方面控制洪水泛滥，另一方面利于在湖泊中的渔业养殖，其结果是，除了洞庭湖和鄱阳湖外，几乎所有的湖泊都与长江切断了自然联系（谢平 2017a）。对不能控制的干支流和大型通江湖泊，长期酷渔滥捕。这一系列人类活动虽然满足了巨大的利益需求，但也使我们付出了沉重的生态代价，一些物种纷纷走向灭绝之道。面对如此生物多样性危机，我们怎能熟视无睹？



图 11-1 高楼林立的沿江城市

资料来源：中国周刊

一、危机——从源头到河口

长江的生物多样性问题是全域性的，从高寒的源区一直到流入东海的河口。中下游的旗舰物种纷纷告急——白鱔豚已经功能性灭绝，江豚也危在旦夕，中华鲟和白鲟的灭绝趋势已无法挽回。上游的形势更加危急——据统计，长江的特有鱼类主要分布在上游，而上游特有鱼类的近 40% 为受威胁物种（乐佩琦和陈宜瑜 1998；汪松和解焱 2004，附表 10）。

1. 源头——生态脆弱

长江源头由沱沱河（西源）、当曲（南源）和楚玛尔河（北源）组成，它们汇入通天河。源区河流湿季像大河，冬季像小溪，甚至被完全冰冻。长江源区平均海拔 4500 m 以上，年平均气温不到 1℃，有时 7~8 月也会飘起飞雪（陈进 2015）。高寒缺氧，自我恢复能力差，是生态的脆弱地带。在源头河流中，由于气温低，鱼类的生长期短，生长缓慢，繁殖力低，加上分布较为狭窄，对人类的干扰（建坝、酷鱼等）十分敏感，容易濒危。通天河中的长丝裂腹鱼、裸腹叶须鱼、中华鲟、黄石爬鲃等已被列入《中国濒危动物红皮书》和《中国物种红色名录》。例如，由于近年内地人员进藏酷鱼滥捕，可分布至沱沱河的裸腹叶须鱼种群数量急剧下降，长丝裂腹鱼、中华鲟和黄石爬鲃已被列为濒危物种。其实，藏民们从不打鱼、吃鱼，视鱼为神，视湖为圣。

由于海拔高，气温低，在源区河流中生活的许多高原鱼类，需进行季节性迁徙，以度过寒冷的冰封期（图 11-2）。如果源区的一些生境消失，这些鱼类的生存空间亦被相应地压缩。



图 11-2 长江的西源——沱沱河每年冻结期长达 7 个月，年平均气温为 -4.2℃，7 月最热平均气温仅有 7.5℃

图片来源：观远

2. 上游——水电疯狂

自葛洲坝水利枢纽建成之后，长江上游的水电开发开始进入无序状态，而如火如荼的长江经济带建设使之更为疯狂，原本奔腾流畅的长江，变成了一个密密麻麻的水库群，被数以万计的“梯田”景观所取代，其结果是——一个完整健康的河流生态连续统被支解成了无数零散的碎片（附图 1、附图 2），很多上游的特有鱼类濒临灭绝。长江上游受威胁物种数达 79 种，位居全国各大河流之首，长江中下游的受胁物种也有 28 种（图 11-3）。

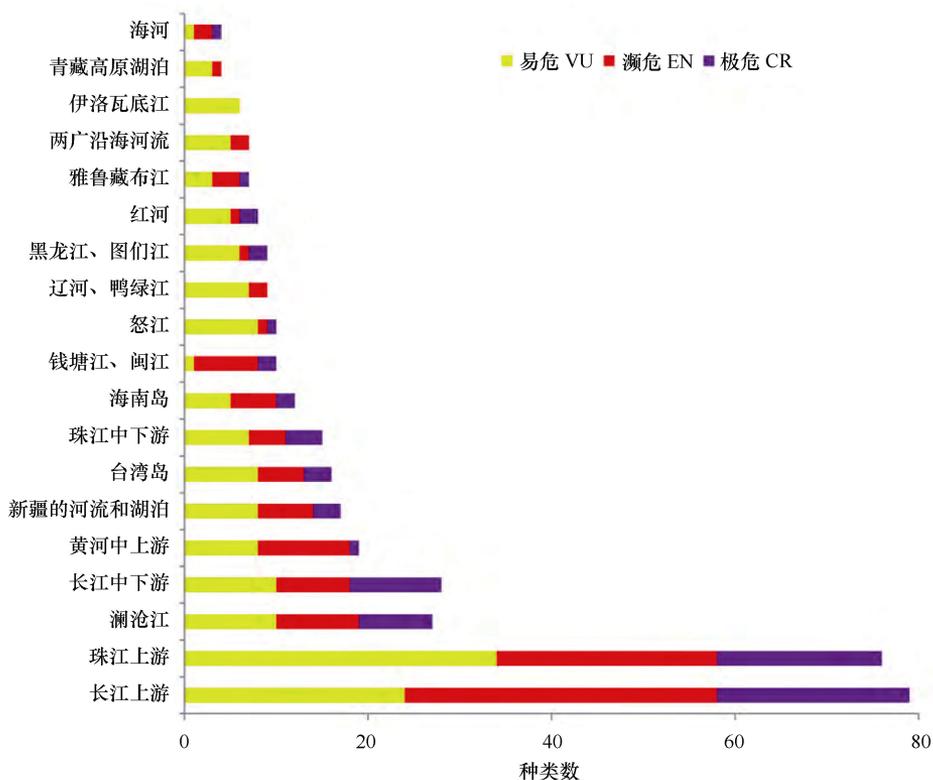


图 11-3 中国内陆鱼类受威胁物种的地理分布。钱塘江、闽江包含福建和浙江两省独立入海河流；青藏高原湖泊是指西藏和青海两省的封闭湖泊；两广沿海河流是指广东和广西所有沿海独立入海的河流（引自曹亮等 2016）

3. 中下游——“枝叶断裂”

长江中下游湖泊与湿地既提供了丰富的水产品，也提供了不少肥沃的良田以及建设用地。同时因为这里也是我国洪涝灾害的集中分布区，与此相关的水利设施的建设为保障人民生命财产的安全作出了贡献。

长江中下游的干支流曾与无数的浅水湖泊交织成一个复杂偶联的生态网络，很多鱼类特别适应于在季风气候与洪水泛滥中繁衍生息，养成了很多与洪水关联的繁殖习性。自 20 世纪 50 年代起，除两湖外，其他湖泊均与长江割裂开来。由于湖泊中的饵料丰富，而干流的饵料贫瘠，江湖阻隔导致了干流渔业资源的迅速衰退：长江干流的渔业捕捞量从 1954 年的 43 万 t 下降到 20 世纪 80 年代的 20 万 t（降幅为 40%），最后到 2011 年的 8 万 t（降幅为 81%）。1964~1965 年长江干流四大家鱼年均产卵量高达 1150 亿个，到 1981 年下降到了 170 亿个，降幅达 85%，此时葛洲坝还未截流。因此，对中下游干流渔业资源的大幅衰退而言，江湖阻隔难咎其责，虽然酷鱼滥捕也起到了落井下石的作用。

以下分析支持上述结论。为了评估长江干流本身对栖息于其中的物种的支撑能力到底有多大，需知晓长江干流的水域面积以及其生物生产力，这样才能与连通湖泊进行比较。长江全长有 6300 km，但宽度不一，从几十米至几千米不等。源区至金沙江的河段一般都只有数十米至数百米，而宜昌到宜宾江段，窄的峡谷只有 100 多米，宽的江段近 2000 m。中下游河段逐渐宽阔，一般有近千米，虽然在河口可达数千米之宽。因此，粗略地估算一下，长江干流的水面面积大概也不会大于两湖（洞庭湖和鄱阳湖）现有面积之和。但是长江干流的饵料生物大概充其量只有两湖的 1/7（单位面积），因此，干流对物种的承载力是十分有限的。

二、豚的哀嚎——饥饿与误杀

饥饿与捕捞误杀使白暨豚灭绝以及江豚濒危。20 世纪 50 年代以来，长江干流的渔业资源量下降了 81%（从 43 万 t 下降到 8 万 t），这给依赖于这些饵料生物的高营养级动物——白暨豚和江豚带来了不可估量的影响。50 年代中后期开始的江湖阻隔是干流渔业资源下降的主要原因。河湖关系的改变阻止了湖泊渔业资源对长江干流的补充，而浑浊的干流自身其生态支撑功能极为有限。酷渔滥捕也加速了干流渔业资源的衰退，其对豚类的误杀在可统计的人为致死因素中也高居榜首，如根据 1955~1984 年白暨豚的死亡统计，渔用滚钩致死的比例高达 48%，很多江豚亦被滚钩误杀（图 11-4）。此外，不少白暨豚和江豚也已经惨死在螺旋桨下了（图 11-5）。

伴随饵料资源量的大幅下降，依赖它们的捕食者——白暨豚和江豚的种群规模出现类似比例的下降不足为奇，可能本来白暨豚就更为稀少一些，再加上体型更大，繁殖力更低，只限于在淡水中生活，且更依赖于声呐与外界联系，白暨豚率先灭绝合乎情理。

像白暨豚和江豚这样的哺乳动物，对上游并无多少依赖性，但中下游饵料生物资源的剧减，使其种群难以为继，加上捕捞误杀以及螺旋桨致死等，白暨豚几乎灭绝，江豚也危在旦夕。



图 11-4 洞庭湖中被滚钩误杀的江豚



图 11-5 2013 年 1 月 8 日在镇江扬中的长江江面上，一只江豚被发现惨死在螺旋桨下
图片来源：扬中市渔政监督管理站

三、鲟道被断——葛洲坝难辞其咎

中华鲟和白鲟由于葛洲坝的修建而失去了独特的产卵场，现濒临灭绝。中华鲟从大海来到长江，忍饥挨饿 1 年多，长途跋涉数千千米到达长江上游的金沙江，

那里有湍湍急流，河底铺有砾石，亲鱼将它们的卵黏附于砾石或掉落于砾石缝隙之中，之后亲鱼以及孵出的仔鱼再游向大海，仔鱼要在大海中摄食生长 8~14 年，待成熟时方游向金沙江去产卵，产卵场的范围也相对狭窄（与产漂流性卵的四大家鱼相比）。20 世纪 80 年代初，葛洲坝的建成使性成熟的中华鲟无法上溯到原先的产卵场，一些亲鱼向坝上硬闯，撞得头破血流伤重而亡，另一些则性腺退化重返大海。在葛洲坝上游留存的少数亲鱼即使产卵也回不到大海，先后饿死。

人们曾期待在葛洲坝下会形成新的产卵场，再现适宜于中华鲟产卵的同样的水文与底质条件，刚开始，确实给人带来过一丝惊喜，但在坝下所形成的新产卵场其规模小得可怜，根本难以扭转中华鲟衰亡的厄运，中华鲟的种群数量依然在快速衰退。三峡大坝蓄水之后，最近时有停止产卵的现象，有人认为是三峡大坝改变了坝下产卵场的温度，使产卵时间推迟，但问题是，推迟也应该产啊。我更愿意相信，当亲鱼的种群密度低到一定程度时，在坝下产卵场见不到亲鱼产卵也不足为奇。

中华鲟的产卵场在上游但又必须回到海洋中去摄食与生长，当葛洲坝建成后，它的灭绝就已经注定，三峡大坝最多只是完成了最后一击。

白鲟的命运与中华鲟十分类似，它的体型大，活动空间也大，虽然它对大海的依赖性没有中华鲟样强烈，但其活动空间也涵盖了中下游和邻近海域。白鲟显然无法在葛洲坝上江段中平安地生存，无法忍受生存空间被如此大范围地压缩，在葛洲坝下也没有发现新的产卵场。现在，白鲟已难觅踪影。

达氏鲟的体型要小得多，活动范围也主要在中上游，因此，比中华鲟和白鲟的生存状态要略好一些，但也是处于极危状态。

总的来看，在上游产黏性/沉性卵的大型鱼类（如中华鲟、白鲟、达氏鲟、胭脂鱼等）的产卵场具有不可替代性，似乎难以在葛洲坝下形成或形成足够规模的新产卵场，可能没有或没有足够规模的砾石底质能满足卵附着等方面的需求。这些鱼自葛洲坝建成以来就开启了绝灭之旅。

四、漂流性卵——游刃有余

葛洲坝和三峡大坝对产漂流性卵鱼类——四大家鱼的影响甚微，对这些物种的生存来说，可谓毫发未损，四大家鱼资源量在中下游干流中的衰退，与葛洲坝和三峡大坝并无关系，而主要是由江湖阻隔引起，因干流中饵料贫瘠，而它们又无法到湖泊中去肥育。

四大家鱼产卵场的分布范围十分广阔，在葛洲坝修建之前，在长江干流四川巴县至江西彭泽长达 1700 km 的江段上，具有一定规模的产卵场有 36 个之多。在葛洲坝修建之后的 1981 年的调查发现，在重庆到武穴 1520 km 的江段内，共监测

到四大家鱼产卵场 24 处，在宜昌以上江段中，除过去调查所发现的产卵场全部存在外，还新发现高家镇和奉节两个产卵场。在三峡大坝修建后的 2005~2007 年的调查发现，对产卵场的影响主要在库区，即在三峡库区的四大家鱼产卵场消失，但在三峡库尾的江津以上江段以上却形成了新的产卵场，位于合江—弥陀江段，也就是说原库区江段产卵场上移了。三峡大坝截流后，局部江段四大家鱼鱼苗的减少并不一定意味着整体情况就是如此，也许是因为水文形势的变化改变了原有产卵场的分布格局。总体上来看，葛洲坝和三峡大坝对四大家鱼繁殖的影响微乎其微。

此外，四大家鱼的自然分布十分广泛，鲢分布于红河与黑龙江之间，鳙分布于珠江与黄河以北的海河之间，青鱼和草鱼分布于珠江与黑龙江之间，这些物种本身不存在任何灭绝的风险。

此外，自中世纪以来，四大家鱼特别是鲢、鳙被引种到许多国家或地区，据统计，鲢被引种到 71 个国家，鳙被引种到 51 个国家。现在鲢、鳙在美国的几大主要河流已泛滥成灾（图 11-6），生长状态极佳（图 11-7），并威胁到五大湖的土著鱼类，可能原因有：①饵料（浮游动植物）丰富；②缺乏天敌；③美国人不爱食用。据说美国政府决定斥资 180 亿美元对其进行控制。



图 11-6 在美国密西西比河中疯狂繁殖的鲢和鳙

长江中的鳢鱼是一种大型凶猛鱼类，是原始雅罗鱼亚科鱼类适应掠食大型鱼类而特化出的一个分支，对维持长江鱼类群落结构的平衡起到过重要作用（陈宜瑜 1980）。美国河流中也有一种大型凶猛鱼类——鳄雀鳝（*Atractosteus spatula*，图 11-8），它是北美第二大淡水鱼，被誉为十大最凶猛的淡水鱼之一。鳄雀鳝现在主要分布在美国南部，曾经在其分布北限的范围内数量也很多，但由于栖息地破化、无辜滥杀、过度捕捞等，在这些曾经的分布区现在已难觅踪影，因此，美国人正试图将鳄雀鳝重新引入位于田纳西和伊利诺斯之间的河流中，以控制入侵的四大家鱼（Webber 2016）。



图 11-7 长得肥肥胖胖的鲮



图 11-8 1910年在密西西比的月亮湖（Moon Lake）捕获的鳄雀鳝

图片来源：Wikipedia

而在长江中下游干流中，四大家鱼的资源量却迅速衰退，因在长江干流中，食物极为匮乏，但这种衰退通过食物链影响顶级消费者（如白鬃豚和江豚）的威胁远大于四大家鱼自身的物种维持问题。

五、物种灭绝——子遗当先

子遗物种容易灭绝。子遗物种，也称为古特有种、残遗种或活化石（living fossils），大概都是指一些曾经从主要的灭绝事件中幸存下来并保留了过去原始特性的种类或类群，或者指一些在历史时期曾分布广泛但之后大量灭绝现仅残存于局部区域的物种或类群。

鲸绝大部分生活在海洋中，只有几种淡水豚类，它们可能是在中新世中期偶然地适应了河流栖息地环境而幸运地保存下来，是子遗物种。但是，鲸体型太大，并不适应较小的淡水环境，在淡水中幸存下来的也仅限于世界上的少数大河。

鲟鱼是古老的冷水性鱼类，如在长江中的中华鲟可能就是在冰期由北方向南方扩散而来的。鲟类是介于软骨与硬骨之间的古老鱼类，可能起源于 2.45 亿~2.08 亿年前的三叠纪，因此也有“活化石”之称。中华鲟和白鲟体型巨大，活动空间大，需要到长江上游的金沙江去产卵，特别是中华鲟还要到海洋中摄食与生长 8~14 年，白鲟也需要大的生存空间，需要到中下游去摄食与生长，葛洲坝的修建就注定了这两种鲟鱼的绝灭之运。分布于中上游且体型较小的达氏鲟虽然情况略好，但未来亦不容乐观。尽管中华鲟和白鲟热爱它们的金沙江，充满着对急流与砾石的渴望，以及对饥饿和遥远里程的藐视，它们终究越不过人类建造的大坝。

鲑也是冷水性鱼类，体型一般也较大，它们多在海洋中繁育，但成熟后都需要在淡水中繁殖，只有少数陆封型种类（这也表明它们并不太适应纯淡水的生活）。因此，鲑一般需要很大的活动空间。在长江上游分布的虎嘉鲑和秦岭细鳞鲑是海产遗留种，它们是冰期自北方南移的冷水性残留种，冰期结束后，它们选择了停留在海拔较高、水温较低的河流中，并生存了下来，成为了陆封型物种。虽然它们能够完全在淡水中生活，但它们的生存空间有限，容易被人类活动所压缩，乃至走上灭绝之道。

亚口鱼科鱼类绝大部分都生活在美洲，仅 1 种（胭脂鱼）生活在长江，表明亚洲并不是它们的宜居之地，据说历史上从非洲扩散而来的胭脂鱼在亚洲大部分已经灭绝了。因此，长江的胭脂鱼也是一种残留种。胭脂鱼亦需要上溯到长江上游的金沙江等河段中产卵，之后需回到中下游去生活。与鲟鱼一样，葛洲坝的建成就切断了它的生殖洄游通道，在坝下虽形成了新的产卵场，也阻挡不了野生种群不断下降的趋势。

鲌形目鱼类也是古老而原始的真骨鱼类，90%以上都生活在海洋，因此，淡水并不是它们适宜的生存之地。鲌是一种洄游性鱼类，虽不能上溯到长江上游去产卵，但亦在鄱阳湖上游的河道中产卵。赣江平流梯级枢纽工程的兴建，阻断了鲌鱼的产卵洄游路线，加上经济价值高，人们对其疯狂捕捞，这些导致了鲌鱼种

群数量的急剧下降。

除了鲟以外，上述濒危动物都是大型种类，都需要巨大的生存空间来完成生活史，生境的片段化往往给它们带来灭顶之灾。这些水中的巨无霸纷纷走上灭绝之道，演绎与很多大型陆生哺乳动物相似的命运。它们在进化上过于复杂化，牺牲了对生存环境波动（特别是强烈人类活动干预）的可塑性，容易走向绝灭之道。

六、即将失守的最后阵地——洞庭湖和鄱阳湖

自 2003 年起，农业部在长江干流、一级通江支流和鄱阳湖区、洞庭湖区分段实施了春季（4~6 月）禁渔制度后，并开展增殖放流活动，最近有学者建议在长江休渔 10 年，这些都值得赞赏，但这可能还无法迅速扭转局面，因为过度捕捞并不一定是长江鱼类资源大幅衰退的主因，因此，即便是在长江干流休渔 10 年，未必能够恢复长江干流的鱼类资源量，因为 20 世纪 50 年代以来的江湖阻隔使支撑长江鱼类的有效湖泊面积减少了 76%，而干流的饵料稀少。

洞庭湖和鄱阳湖是目前在长江中下游仅存的与干流保持联通的自然湖泊，虽然它们仅占 20 世纪中叶长江中下游总湖泊面积的 24%，但对现在干流渔业资源的维持依然起着十分重要的作用，它们如果被阻隔开来（图 11-9），长江干流的渔业资源将进一步衰退，可能会引发新一轮的链式灭绝效应。虽然鄱阳湖湖控工程提出了“建闸不建坝，调枯不控洪，拦水不发电，建管不调度，江湖两利，动态调控”的口号，并承诺汛期 4~8 月闸门全开，江湖连通，只是在汛末对湖区水位进



图 11-9 拟建的鄱阳湖水利枢纽效果图

行节制，缓解湖区水位下降过快导致的问题。依笔者之见，这只是考虑了鄱阳湖对水的截留，但问题是无论如何调控，必定会改变原有的江湖关系和水文节律（虽然有一定的波动性），江水倒灌不可能改善，而只会更加困难，事实上，2009年以后每年平均就只有2天的倒灌，湖控工程的实施可能使倒灌彻底消失，鄱阳湖对长江干流渔业资源的补给作业可能因此而进一步削弱。

陈家宽等（2017）批评道：“用工程措施解决问题，无异于头痛医脚，并将造成不可预计的生态风险。修建鄱阳湖水利枢纽工程的必要性在哪里？究竟是‘为’生态，还是‘伪’生态”？在笔者看来，这可能是一种负薪救火的方法！正如利奥波德（1997）所言：“我们的自大和完美的社会，现在就像一个忧郁病患者，它是那样为其自身的经济健康而困扰着，结果反而失去了保护其健康的能力”。

湖南省也正式提出了在东洞庭湖的出口河段（君山至城陵矶）建设岳阳综合枢纽工程的方案（图 11-10），其理由也是因为三峡工程使洞庭湖枯水期提前以及枯水位下降等带来的问题，如果该工程实施，洞庭湖的面积将从现在的 2600 km² 增加到 4100 km²，总装机容量 20 万 kW，年枯水期发电量 4.8 亿 kW·h。以笔者之见，洞庭湖枢纽比鄱阳湖枢纽的生态危害更大，不仅因为它的强控制性，而且因为洞庭湖对长江生物多样性的支撑比鄱阳湖更为重要。如果两湖相继建闸，江豚将失去两个最重要的栖息之地，将很快灭绝。



图 11-10 拟建的岳阳综合枢纽工程效果图

七、灭绝——无法阻挡？

河流的生态价值在于：自由流动的河水支撑了由多种多样的物种构成的和谐

的水生态系统。但是，在过去的半个世纪，中国的河流政策却一味地追求河流的利用价值，因此建设的大坝超过了 22 000 座，占全世界大坝总数的 46%，远远超过世界上任何一个国家（美国共建了 6500 多座大坝），其中巨大的三峡大坝（图 11-11）倍受全世界关注（劳里 2008）。



图 11-11 令人震撼的三峡大坝

图片来源：Reuters

从历史起源和生态学的双重视角来看，以水利工程为主的人类活动对长江水系的生物多样性产生了显著的负面影响，通过累积的方式使这种负面效应得到了致命的显现。特别是，一些孑遗物种的生态位被压缩，或生态廊道（如繁殖洄游通道）被阻断，它们完成生活史所需的时空完整性以及生态过程完整性受到了损伤，长江水系的生物多样性总体承载力明显下降。

1. 王牌纷纷倒下

旗舰物种——白鱀豚已经功能性灭绝，已经不可能有任何复活的幻想。旗舰物种——江豚也处在灭绝的边缘，因为长江中下游由于江湖阻隔与过度捕捞导致其适口的饵料资源过于稀少，虽然迁地保护也许能阻止其快速灭绝，但由于中下游干流的渔业资源不可能有根本改观（除非大量拆除导致江湖隔离的节制闸），因此，江豚的前景不容乐观。如果江豚真的仅限于淡水生活，它们的灭绝可能也只是时间的早晚问题。旗舰物种——中华鲟和白鲟的灭绝已不可避免，因为它们的产卵场已无法在坝下有效复制，葛洲坝和三峡大坝也不可能拆除，而通过人工的方式来完成其生活史也不大可能。胭脂鱼因为个体相对较小，人工饲养也比中华鲟和白鲟容易，人工繁殖也比较容易，因此，比鲟鱼的前景相对乐观。

2. 水利工程是祸首，酷鱼乱捕是帮凶

水利工程对长江干支流豚类和一些珍稀濒危鱼类生存的打击是毁灭性的，20世纪50年代开始的江湖交汇处节制闸的建设（加上酷渔滥捕）导致了白鬃豚和江豚的衰亡，葛洲坝的建设导致了3种鲟鱼、胭脂鱼的衰亡（三峡大坝只是起到了雪上加霜的作用），上游水电建设加上酷渔滥捕导致了冰期遗留种——虎嘉鲑和秦岭细鳞鲑逐渐走向衰亡。

长江流域的特有鱼类主要分布在上游水系，它们基本都是适应激流环境的种类，有些还要进行迁徙（或长或短），已建成的数以万计的水电站对许多鱼类栖息的水文情势带来了不可逆转的巨大改变，阻断了不少鱼类的迁徙通道，很多鱼类的栖息地被片段化，生存空间被大大压缩。

酷鱼乱捕对物种濒危的影响有些是直接的，有些是间接的。几乎所有濒危物种都曾是人类猎杀的对象，有些后来虽然被禁止猎杀，但也免不了被误杀。例如，中华鲟虽然已十分稀少，但还是时常被渔民误捕（图 11-12），因为是被网误捕，



图 11-12 2014 年 11 月 15 日，湖北新洲渔民用 3 层流网误捕了一条长 3.3 m，重 700 多斤的中华鲟，年龄为 15~20 岁，闻讯赶来的专家正在为其体检与救治

图片来源：向军

抢救及时还被救了一命，如果是滚钩，就必死无疑了。在长江以及两湖中酷鱼乱捕现象严重，导致鱼类资源小型化（群落结构低龄化），这使得产漂流性卵的大型鱼类的资源不断衰竭，而在干流中这意味着豚类等的适口饵料大幅减少了。

3. 杯水车薪——人工放流、生态调度、保护区与 10 年禁捕

人们曾对人工放流寄予厚望。为了拯救中华鲟，从 1984 年起就开始向长江内放流人工繁殖的中华鲟幼苗，据估计，1984~2005 年，已累计放流中华鲟幼苗 453 万余尾；自 2005 年起，由中国水产科学院长江水产研究所、葛洲坝集团中华鲟研究所、湖北恒升实业有限公司、江苏省昆山市东方特种水产有限公司和上海市长江口中华鲟自然保护区管理处 5 家单位共同承担了中华鲟的人工繁殖放流工作，每年继续向长江投放 10 万尾以上的中华鲟幼苗（朱滨等 2009）。但问题是，这并未能阻挡住中华鲟灭绝的步伐。既然无可挽救，是谁以及根据什么作出了这样重大的决策？中华鲟的人工放流可能难逃彻底失败的命运，但我们至少应该知道为何失败了。也许中华鲟根本就是一个救不了的物种（可能因为它的体型太大，寿命太长，生活史太复杂，对产卵场的要求太苛刻，对环境的可塑性太弱……），我们从开始就必须选择放弃，既然我们选择了大坝。

除了以物种保护为目的的人工放流外，还有以资源增殖为目的的人工放流。2003 年开始，长江流域云南、四川、贵州、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海等地陆续开展了鲢、草、鳙、青鱼的人工繁殖放流工作，2005~2007 年三年间，累计放流 10 万余尾（朱滨等 2009）。这个放流数量简直少得可怜，因为 20 世纪 60 年代，整个长江干流四大家鱼年产卵规模高达 1000 亿~1300 亿个，1981 年也还有 173 亿个，1992 年仅在长江中游洪湖江段中四大家鱼鱼苗径流量就有 16 亿尾之多！且不说这个杯水车薪的放流数量，其实，放的再多也可能无济于事，因为中下游干流中的饵料生物过于贫瘠，等待这些鱼苗的可能仅有无情的饥饿。

生态调度也被寄予了不切实际的希望。曹文宣（2008b）指出，“如果在长江上找不到几尾参加繁殖的亲鱼，再好的人造洪峰还是等于零。所以，长江的休渔和禁渔，比人造洪峰更为迫切”。笔者完全赞成前一句，但仅部分赞成后一句，因为休渔和禁渔虽能起到一定的改善作用，但亦无法真正扭转颓势。

在上游还有 12 个水生野生动物自然保护区（附表 11），23 个国家级水产种质资源保护区（附表 12）。毋庸置疑，这些保护区在维持上游物种多样性上能起到一定作用，虽然远远不足以改变颓废的局面，但至少可以守住一点地盘以免由于我们的“大开发”损失殆尽。

如果对长江生物多样性危机成因进行粗略地估算，节制闸和水电站等水利工程“贡献”了七成，酷鱼乱捕等其他因素“贡献”了三成。码头林立堤岸硬化导致的自然岸线丧失等也起到了推波助澜的作用，因为绝大部分鱼苗需在离岸 10 m

以内的近岸生境中度过一段关键时刻。当然，假若制定和执行好渔业管理政策，酷鱼乱捕的影响是可以较快消除的，而水利工程的影响基本是难以改变的，它对不少物种的影响是毁灭性的，像人造洪峰这样的“生态调度”不过是掩耳盗铃的伎俩罢了。总体来看，江豚、中华鲟、白鲟等诸多物种的绝灭似乎在所难免。

如果不将长江干支流与附属湖泊的通道打开，如果不将葛洲坝、三峡以及上游数以万计的水电站拆除，长江水系的生物多样性危机不会得到根本性解决，但全面拆除这些水利工程又几乎是不可能的，而所谓的三峡大坝或其他水电站的生态调度、鱼道或人工放流等根本不可能解决这些问题。在我看来，这些举措难以拯救膏肓之疾，充其量能起到一点“延缓”作用，更贴切地说，象征意义大于实际意义。

我当然赞成长江 10 年禁渔的主张，但认为这还不够，还必须在洞庭湖和鄱阳湖禁渔 10 年，并对沿江阻隔湖泊进行“顺灌”——在产漂流性卵鱼类繁殖季节，当江水水位高于湖水时，在育苗汛期开闸引水，纳入鱼苗，而在秋冬季，让成熟的亲鱼返回长江（为此在河湖通道中必须禁捕），以便翌年春季可以逆江上溯产卵繁殖。这样既可以提高两湖的渔业资源量，也可为干流渔业资源提供充沛的补充，从而使江豚的食物条件得到大大的改善，同时还可减少捕鱼对江豚等的误杀，这也许是拯救江豚的唯一办法。

4. 以人为本——为“野蛮”撑腰

有人划分了两种截然相反的生态观——“生态野蛮”和“生态愚昧”，前者追求不计环境后果、只顾眼前利益的掠夺性开发，后者将人和自然完全对立，认为“保护生态环境”就是“人类什么也别做”，并将反坝者视为“生态愚昧”，并宣称“加快水电建设、提高蓄水能力是我国建设生态文明的当务之急”（王亦楠 2016）。利奥波德（1997）曾说，“文明用各种新挑战、发明和经纪人，把最基本的人—地球的关系搞得热闹非凡，以致把意识也搞糊涂了”。

人类社会的价值观永远都会是以人为本，所有的动物都会以自己的种族为本，只是人的能力最卓越故得以统治大自然，因此，大自然中不可能做到众生平等。人与自然的和谐相处往往只是一个口号，没有哪个物种会主观地去与别的种族和谐相处，即便现象如此，本质却是受制于自然调节的结果。而对人的自然调节往往只能通过灾难的形式，即因果轮回，否者我们不会敬畏自然。对人来说，人命肯定比动物（如长江中的豚类、鱼类）之命要重要得多，保护在绝大多数时候也都必须给开发让路，或者按上面的说法就是，“愚昧”必须给“野蛮”让路。水电对在陆地上生活的人每天呼吸的空气质量来说是绿色与安康，但对很多水中生活的鱼儿来说，就是黑色与灾难。

在人类历史上，征服者最终都将祸及自身，因为在征服者这个角色中包含着

这样一种意思：他就是权威，即只有这位征服者才能知道，是什么在使这个共同体运转，以及在这个共同体的生活中，什么东西和什么人是有价值的，什么东西和什么人是没有价值的。结果呢，他总是什么也不知道，所以这也就是为什么他的征服最终只能招致本身的失败（利奥波德 1997）。

其实，只有人才明白自己仅仅是进化旅途中其他生物的同路者，这应该使我们具有一种与同行的生物被亲缘联系着的观念，我们有生存的欲望，也应该允许它们生存，而且生物界是一个被各种关系编织出的复杂而连续的系统。人类现在正是探险船的船长的时候，但人类本身已经不是这只船唯一的探索目标了（利奥波德 1997）。

5. 灭绝——木已成舟？

一些生态学家在大自然的复杂性面前倒是谨小慎微，如 Ludwig 等（1993）坦言，“政治家、资源管理者和利用者不应该也不可能期望生态学会告诉他们应该怎样做。这是因为对生态系统的认识过程往往是很慢的，等待科学研究获得完备的答案实际上是徒劳的；对生态系统管理的决策必须依据当前的知识立即做出；在很多自然系统中唯一的可以了解它们可持续性的有效方法就是开发它们”。对长江这样一个全长达 6300 km、流域面积（180 万 km²）占全国总面积的 18.7%，以及数千种水生生物在不断变化的气候与水沙背景下极其复杂地相互作用的生态系统来说，生物及其生态过程对人类干扰的响应充满着不确定性，一些物种的兴衰与命运需要在相当大尺度的时空演绎之后才会被人们所感知或察觉，而此刻往往为时已晚，因为木已成舟。

遗憾的是，对大自然的敬畏却被一些不懂生态的人痛批为肆无忌惮的神秘主义。就如利奥波德（1997）所说，“今天，普通的公民都认为，科学知道是什么在使这个共同体运转，但科学家始终确信他不知道。科学家懂得，生物系统是如此复杂，以致可能永远也不能充分了解它的活动情况”。

从某种意义上来说，河水中的生死轮回及其隐藏的深刻寓意，既在河流的演化历史中留有记录，也镌刻在物种的进化历史之中，但它经历了数以千万年的变迁与累积，大多数证据早已消逝，所形成的千古之谜决不会轻易让人知晓。

在此我并不讨论应该建坝还是拆坝，但可以说，水坝像把双刃剑，利弊都很突出，它造福人类的能力无与伦比（发电、蓄水、灌溉等），但对一些生活在河流中的物种的打击也是毁灭性的，而且两者不可调和。我只是想客观地评价它与长江水系生物多样性危机之间可能的因果关系，如果这能为决策者与社会大众对水坝生态效应的认知提供些许帮助，就心满意足了。

针对长江的生物多样性危机，虽然我们必须尽力去拯救、恢复或再自然化，但同时我的看法是悲观的。我们难以恢复中下游的江湖关系以使河水在干支流、

湖泊、沼泽、洲滩等构成的复杂水网系统中自由自在地漫流，也无法疏通干支流的鱼类洄游通道。因此，我们根本不可能恢复原来的自然生命网络！我们欢乐了，而长江却哭泣了，因为它耗费数百万年或更长的时光辛苦囤积起来的自然遗产，顷刻间将灰飞烟灭！

长江水系的生物多样性是在青藏高原隆升和东亚季风气候的驱动下缓慢地适应与演化而来的，其保护与恢复面临巨大的挑战：首先，长江流域是一个复杂的自然系统——在空间上拥有近 1/5 的国土面积，在时间上经历了数千万年的地质历史与气候水文演变；其次，长江流域的人类活动强烈——它是我国水能资源最丰富的地区，已建的水电站最多；它是我国洪涝灾害最频繁的地区，水利工程最发达；它是我国鱼类多样性最丰富的地区，渔产量最高。长江亦是我国濒危鱼类最多的河流，物种保护迫在眉睫！但悲观亦非穷途末路——如果我们能知晓物种多样性的形成、维持机制以及物种的生态需求，如果我们能把握长江水系物种多样性的总体承载力，我们就能回答：保护什么？为什么保护？怎样保护？我们就可以制定出长江水系生物多样性的整体恢复策略，并有可能稳步推进长江水系的再自然化！

人是大自然的产物，人的生存也依赖于自然的生态过程，尽管在人的眼中是那样的平庸，而正是这些“鱼、树、草”及其复杂的相互关系才是我们得以雕刻出那种可称之为文明“珍品”的原材料，但人并不能超越大自然，也得在自然历史的长河中漂流。人只有犯罪后才进班房，而鱼则被水坝无端囚禁。我们不可以也不必要榨干每一滴水。我们应该对大自然的原始性、复杂性和多样性给予尽可能多一点的呵护，这并不是人类的施舍或怜悯，也是对人类自身的呵护，谁说一定不会遇上因果轮回呢？当然，这绝不是让我们重回蛮荒的过去，而是睿智地与自然和谐共存。只有这样，人才可以从动物野蛮的桎梏中挣脱出来，才有超越野兽的客观证据，才配得上“文明”乃至“生态文明”的称谓！

主要参考文献

- 巴晓方. 2004. 连通江河湖沼. 世纪行, 4: 11-15.
- 柏海霞, 彭期冬, 李翀, 等. 2014. 长江四大家鱼产卵场地形及其自然繁殖水动力条件研究综述. 中国水利水电科学研究院学报, 12: 250-257.
- 布莱基斯顿 T W. 2013. 江行五月. 马剑, 孙琳译. 北京: 中国地图出版社.
- 曹亮, 张鸷, 臧春鑫, 等. 2016. 通过红色名录评估研究中国内陆鱼类受威胁现状及其成因. 生物多样性, 24: 598-609.
- 曹俊. 2016. 水温过程对中华鲟自然繁殖的影响. 武汉: 湖北工业大学硕士学位论文.
- 曹文宣. 1964. 裂腹鱼亚科鱼类的分类. 见: 伍献文. 中国鲤科鱼类志. 上海: 上海科学技术出版社: 137-197.
- 曹文宣. 2008a. 有关长江流域鱼类资源保护的几个问题. 长江流域资源与环境, 17: 163-164.
- 曹文宣. 2008b. 如果长江能休息: 长江鱼类保护纵横谈. 中国三峡建设: 人文版, 12: 148-157.
- 曹文宣. 2011. 长江鱼类资源的现状与保护对策. 江西水产科技, 126: 1-4.
- 曹文宣, 常剑波, 乔晔, 等. 2007. 长江鱼类早期资源. 北京: 中国水利水电出版社.
- 曹文宣, 陈宜瑜, 武云飞, 等. 1981. 裂腹鱼类的起源和演化及其与青藏高原隆起的关系. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题. 北京: 科学出版社: 118-130.
- 曹文宣, 余志堂. 1987. 三峡工程对长江鱼类资源影响的初步评价及资源增殖途径的研究. 长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究文集, 3-17.
- 常剑波. 1999. 长江中华鲟产卵群体结构和资源变动. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文.
- 常剑波, 曹文宣. 1999. 通江湖泊的渔业意义及其资源管理对策. 长江流域资源与环境, 8: 153-157.
- 常剑波, 邓中舜, 张国华, 等. 1995a. 洪湖灌江纳苗的可行性及效益评价. 见: 陈宜瑜, 徐蕴珩, 等. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京: 科学出版社: 220-231.
- 常剑波, 张国华, 徐蕴珩, 等. 1995b. 第八章 鱼类和渔业. 见: 陈宜瑜, 徐蕴珩, 等. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京: 科学出版社: 106-128.
- 长江四大家鱼产卵场调查队. 1982. 葛洲坝水利枢纽工程截流后长江四大家鱼产卵场调查. 水产学报, 6: 287-305.
- 陈春娜. 2008. 我国胭脂鱼的研究进展. 水产科技情报, 35: 160-163.
- 陈大庆, 常剑波, 顾洪宾. 2005. 金沙江一期工程对保护区生态环境的影响与对策. 长江科学院院报, 22: 21-24.
- 陈凤学. 2017. 长江大保护视野下湿地保护与恢复的历史机遇. 中国周刊, 1: 20-21.
- 陈耿娇. 2010. 中国东部新近纪鲤形目鱼类. 北京: 中国科学院古脊椎动物研究所博士学位论文.

- 陈耿娇, 刘娟. 2007. 柴达木盆地渐新世的鲤科鱼类化石. 古脊椎动物学报, 45: 330-341.
- 陈家长, 孟顺龙, 胡庚东, 等. 2010. 长江下游江段秋季浮游植物生态指标与理化指标评价. 长江流域资源与环境, 19: 34-39.
- 陈家宽, 赖锡军, 蒋勇, 等. 2017. 鄱阳湖水利枢纽“为”生态还是“伪”生态? 亦或开发保护之争? 中国周刊, 1: 54-59.
- 陈进. 2009. 环境与人. 武汉: 长江出版社.
- 陈进. 2012. 长江演变与水资源利用. 武汉: 长江出版社.
- 陈进. 2015. 神秘的三江源之旅. 武汉: 长江出版社.
- 陈进, 黄薇. 2008. 水资源与长江的生态环境. 北京: 中国水利水电出版社.
- 程佩琳. 2015. 鲤科鱼类东亚特有类群系统发育格局及宏进化特征研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文.
- 陈佩薰, 刘沛霖, 刘仁俊, 等. 1980. 长江中游(武汉—岳阳江段)豚类的分布、生态、行为和保护. 海洋与湖沼, 11: 73-84.
- 陈佩薰, 林克杰, 华元渝. 1985. 白暨豚生物学特征的初步研究. 水生生物学报, 9: 176-185.
- 陈佩薰, 刘仁俊, 王丁, 等. 1997. 白鳍豚生物学及饲养与保护. 北京: 科学出版社.
- 陈受忠. 1985. 葛洲坝截流前后长江浮游动物的研究. 生态学杂志, 3: 1-4.
- 陈湘彝, 乐佩琦, 林人端. 1984. 鲤科的科下类群及其宗系发生关系. 动物分类学报, 9: 424-440.
- 陈燕琴, 李柯懋, 高桂香. 2017. 长江源沱沱河浮游植物群落结构及多样性评价. 青海农林科技, 2: 1-5.
- 陈毅峰, 陈宜瑜. 1998. 裂腹鱼类(鲤形目: 鲤科)系统发育和分布格局的研究 II. 分布格局与黄河溯源侵袭问题. 动物分类学报, 23(增刊): 26-34.
- 陈宜瑜. 1980. 鳊鱼的颅骨结构及其对掠食生态的适应性. 海洋与湖沼, 11: 169-172.
- 陈宜瑜. 1992. 系统动物学和动物地理学的发展趋势及我国近期的发展战略. 动物学杂志, 27: 50-56.
- 陈宜瑜. 1998. 横断山区鱼类. 北京: 科学出版社.
- 陈宜瑜. 2005. 推进流域综合管理 保护长江生命之河. 中国水利, 8: 10-12.
- 陈宜瑜, 曹文宣, 郑慈英. 1986. 珠江的鱼类区系及其动物地理区划的讨论. 水生生物学报, 10: 228-236.
- 陈宜瑜, 陈炜. 1975. 关于白鳍豚的一些形态解剖资料. 水生生物学集刊, 5: 360-368.
- 陈宜瑜, 陈毅峰, 刘焕章. 1996. 青藏高原动物地理区的地位和东部界限问题. 水生生物学报, 20: 97-103.
- 陈宜瑜, 刘焕章. 1995. 生物地理学的新进展. 生物学通报, 30: 1-4.
- 陈银瑞, 杨君兴, 李再云. 1998. 云南鱼类多样性和面临的危机. 生物多样性, 6: 272-277.
- 陈永柏, 廖文根, 彭期冬, 等. 2009. 四大家鱼产卵水文水动力特性研究综述. 水生态学杂志, 2: 130-133.
- 褚新洛. 1981. 鲃属和石爬鲃属的订正包括一新种的描述. 动物学研究, 2: 25-31.
- 褚新洛, 陈银瑞. 1989. 云南鱼类志(上册): 鲤科. 北京: 科学出版社.
- 代梨梨, 龚迎春, 冯伟松, 等. 2011. 江苏镇江长江豚类保护区浮游动物群落结构特征及江豚生存状况评估. 水生态学杂志, 32: 30-36.
- 戴雪, 何征, 万荣荣, 等. 2017. 近35a长江中游大型通江湖泊季节性水情变化规律研究. 长江流域资源与环境, 26: 118-125.

- 邓中焱, 余志棠, 赵燕, 等. 1987. 三峡水利枢纽对长江白鲟和胭脂鱼影响的评价及资源保护研究. 见: 长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集. 北京: 科学出版社: 42-52.
- 丁宝清, 刘焕章. 2011. 长江流域鱼类食性同资源集团组成特征分析. 四川动物, 30: 31-35.
- 丁旭, 齐鑫, 尹绍武. 2012. 基于线粒体 D-loop 基因探讨花鳗鲡的群体遗传多样性及其种群进化历史. 海洋科学: 36: 117-123.
- 丁仲礼, 余志伟. 1995. 第四纪时期东亚季风变化的动力机制. 第四纪研究, 15: 63-74.
- 董耀华, 汪秀丽. 2013. 长江流域水系划分与河流分级初步研究. 长江科学院院报, 30: 1-5.
- 窦鸿身, 姜加虎. 2003. 中国五大淡水湖. 合肥: 中国科学技术大学出版社.
- 段辛斌, 陈大庆, 李志华, 等. 2008. 三峡水库蓄水后长江中游产漂流性卵鱼类产卵场现状. 中国水产科学, 15: 523-532.
- 段辛斌, 田辉伍, 高天珩, 等. 2015. 金沙江一期工程蓄水前长江上游产漂流性卵鱼类产卵场现状. 长江流域资源与环境, 24: 1358-1365.
- 范凤娟, 章群. 2009. 汨罗江与柳江鳙鱼线粒体细胞色素 b 基因的遗传变异初探. 生态科学, 28: 457-459.
- 房冬梅. 2015. 长江中游宜昌至武巧江段浮游生物群落结构研究. 南京: 南京农业大学硕士学位论文.
- 方春明, 胡春宏, 陈绪坚. 2014. 三峡水库运用对荆江三口分流及洞庭湖的影响. 水利学报, 45: 36-41.
- 方裕乐. 1975. 花马湖“灌江”作用的初步探讨. 淡水渔业科技情报, 5: 18-20.
- 傅伯杰, 张立伟. 2014. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 33: 441-446.
- 高安利, 周开亚. 1995. 中国水域江豚外形的地理变异和江豚的三亚种. 兽类学报, 15: 81-92.
- 高天珩, 田辉伍, 叶超, 等. 2013. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流段鱼类组成及其多样性. 淡水渔业, 43: 36-42.
- 戈贤平. 2013. 我国大宗淡水鱼产业现状与发展方向. 海洋与渔业·水产前沿, 6: 75-78.
- 郭宪光, 张耀光, 何舜平, 等. 2004. 16S rRNA 基因序列变异与中国鲃科鱼类系统发育. 科学通报, 49: 1371-1379.
- 郭小虎, 李义天, 渠庚, 等. 2014. 三峡工程蓄水后长江中游泥沙输移规律分析. 泥沙研究, 5: 11-17.
- 郝玉江, 王克雄, 韩家波, 等. 2011. 中国海兽研究概述. 兽类学报, 31: 20-36.
- 何德奎, 陈毅峰. 2007. 高度特化等级裂腹鱼类分子系统发育与生物地理学. 科学通报, 52: 303-312.
- 何德奎, 陈毅峰, 陈宜瑜, 等. 2005. 特化等级裂腹鱼类的分子系统发育与青藏高原隆起. 科学通报, 48: 2354-2362.
- 何舜平, 曹文宣, 陈宜瑜. 2001. 青藏高原的隆升与鳊鲃鱼类(鲃形目: 鲃科)的隔离分化. 中国科学(C 辑), 31: 185-192.
- 何舜平, 刘焕章, 陈宜瑜, 等. 2004. 基于细胞色素 b 基因序列的鲤科鱼类系统发育研究(鱼纲: 鲤形目). 中国科学(C 辑), 34: 96-104.
- 何舜平, 陈宜瑜, Nakajima T. 2000. 东亚低等鲤科鱼类细胞色素 b 基因序列测定及系统发育. 科学通报, 45: 2297-2302.
- 侯峰. 2009. 甘肃秦岭细鳞鲑保护生物学研究. 兰州: 西北师范大学硕士论文: 1-63.

- 湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 1976. 长江鱼类. 北京: 科学出版社.
- 胡春华. 1999. 历史时期鄱阳湖湖口长江倒灌分析. 地理学报, 54: 77-82.
- 胡美琴, 林锡芝. 1986. 葛洲坝截流前长江干流的浮游植物. 淡水渔业, 4: 28-32.
- 湖南省畜牧水产局. 2015. 洞庭湖鱼类衰竭势头减缓. 渔业致富指南, 9: 12.
- 华元渝, 项澄生, 董明利, 等. 1994. 长江江豚的交配行为和摄食行为的研究. 长江流域资源与环境, 3: 141-146.
- 华元渝, 张国成, 赵庆中, 等. 1986. 白鱔豚栖息活动区及其群体活动的初步研究. 环境科学与技术, 35: 2-5.
- 华元渝, 张建. 1993. 白鳍豚自然群体数量及其锐减原因的分析. 南京师范大学学报(自然科学版), 16: 64-71.
- 黄丹. 2013. 长江天鹅洲故道浮游生物群落结构及鱼产力. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文.
- 黄宏金, 乐佩琦, 郁雪芳, 等. 1982. 中国淡水鱼类原色图集. 上海: 上海科学技术出版社.
- 黄顺友, 陈宜瑜. 1986. 中甸重唇鱼和裸腹重唇鱼的系统发育关系及其动物地理学分析. 动物分类学报, 11: 100-107.
- 黄晓平, 龚雁. 2007. 鄱阳湖渔业资源现状与养护对策研究. 江西水产科技, 4: 2-6.
- 黄玉昆. 1987. 论洞庭湖区渔业的战略地位. 当代水产, 5: 1-6.
- 黄苗, 刘玥晓, 赵伟华, 等. 2016. 长江源区近年水质时空分布特征探析. 长江科学院院报, 33: 46-50.
- 贺刚, 付辉云, 万正义, 等. 2015. 长江瑞昌江段四大家鱼鱼苗资源变化. 湖北农业科学, 54: 5673-5676.
- 蒋燮治, 堵南山. 1979. 中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水枝角类. 北京: 科学出版社.
- 姜红, 刘礼堂, 郑喜森. 2013. 鄱阳湖水域渔业资源现状调查及主要保护对策. 渔业现代化, 40: 68-72.
- 姜加虎, 窦鸿身. 2003. 中国五大淡水湖. 合肥: 中国科学技术大学出版社.
- 姜加虎, 窦鸿身, 苏守德, 等. 2015. 洞庭湖与古云梦泽的演变及荆湘水文化. 武汉: 长江出版社.
- 姜伟. 2009. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流江段鱼类早期资源研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文.
- 蒋固政, 张先锋, 常剑波. 2001. 长江防洪工程对珍稀水生动物和鱼类的影响. 人民长江, 32: 39-41.
- 蒋文华, 黄立新, 于道平. 2010. 长江铜陵段江豚资源现状与保护对策研究. 水生态学杂志, 3: 37-42.
- 蒋志刚, 马克平. 2014. 保护生物学原理. 北京: 科学出版社.
- 景丽, 周彦锋, 徐东坡, 等. 2012. 常熟铁黄沙河段浮游生物的调查分析. 江西农业大学学报, 34: 1226-1231.
- 劳里 W R. 2008. 大坝政治学——恢复美国河流. 石建斌等译. 北京: 中国环境科学出版社.
- 乐佩琦, 陈宜瑜. 1998. 中国濒危动物红皮书: 鱼类. 北京: 科学出版社.
- 利奥波德 A. 1997. 沙乡年鉴. 侯文蕙译. 长春: 吉林人民出版社.
- 李成. 2006. 洞庭湖主要经济鱼类资源调查及其变化规律研究. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文.
- 李池陶, 徐伟, 王进, 等. 2008. 池塘养殖兴凯湖翘嘴化的人工繁殖和胚胎发育观察. 大连水产学院学报, 23: 87-91.
- 李海彬, 张小峰, 胡春宏, 等. 2011. 三峡入库沙量变化趋势及上游建库影响. 水力发电学报, 20:

- 94-100.
- 李欢, 赵伟华, 林莉. 2015. 长江中下游干流浮游藻类空间分布特征初探. 长江科学院院报, 32: 94-99.
- 李红炳, 徐德平. 2008. 洞庭湖“四大家鱼”资源变化特征及原因分析. 内陆水产, 6: 34-36.
- 李杰钦. 2013. 洞庭湖鱼类群落生态研究及保育对策. 长沙: 中南林业科技大学硕士论文.
- 李景保, 王克林, 秦建新, 等. 2005. 洞庭湖年径流泥沙的演变特征及其动因. 地理学报, 60: 503-510.
- 李柯懋. 2007. 三江源区水利工程对水生生物影响评价和鱼类增殖保护建议. 中国水产, 385: 72-73.
- 李琴, 矫新明. 2010. 长江江苏段渔业资源衰退的原因及保护对策探讨. 长江大学学报(自然科学版), 7: 49-52.
- 李思发, 吴力钊, 王强, 等. 1990. 长江、珠江、黑龙江鲢、鳙、草鱼种质资源研究. 上海: 上海科学技术出版社.
- 李思忠. 1966. 陕西太白山细鳞鲑的一新亚种. 动物分类学报, 1: 92-94.
- 李思忠. 1981. 中国淡水鱼类的分布区划. 北京: 科学出版社.
- 李世健. 2011. 长江中游监利断面鱼类早期资源量及浮游生物群落结构特征初步研究. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文.
- 李世健, 范振华, 任玉芹, 等. 2012. 长江中游宜昌至城陵矶江段浮游植物群落结构的周年变化特征. 长江流域资源与环境, 21: 62-68.
- 李修峰, 黄道明, 谢文星, 等. 2006. 汉江中游产漂流性卵鱼类产卵场的现状. 大连水产学院学报, 21: 105-111.
- 李耀鹏. 2016. 裸腹叶须鱼生物学特性及保护建议. 河北渔业, 267: 67-69.
- 梁秩燊, 周春生, 黄鹤年. 1981. 长江中游通江湖泊——五湖的鱼类组成及其季节变化. 海洋与湖沼, 12: 468-478.
- 梁亚琳, 黎昔春, 郑颖. 2015. 洞庭湖径流变化特性研究. 中国农村水利水电, 5: 67-71.
- 梁彦龄, 王骥. 1988. 长江三峡未成水库库区水生生物学的研究. 长江流域资源、生态与经济开发研究论文集(一), 1: 290-295.
- 廖伏初, 何望, 黄向荣, 等. 2002. 洞庭湖渔业资源现状及其变化. 水生生物学报, 26: 623-627.
- 廖伏初, 何兴春, 何望, 王海文, 徐德平. 2006. 洞庭湖渔业资源与生态环境现状及保护对策. 岳阳职业技术学院学报, 21: 32-37.
- 柳富荣. 2002. 洞庭湖渔业资源现状及增殖保护对策. 现代渔业信息, 17: 26-28.
- 刘成汉. 1979. 有关白鲟的一些资料. 水产科技情报, 1: 13-14.
- 刘红艳, 熊飞, 段辛斌, 等. 2016. 长江上游江津江段长薄鳅种群参数和资源量评估. 动物学杂志, 51: 993-1002.
- 刘建康. 1959. 梁子湖的自然环境及其渔业资源问题. 太平洋西部渔业委员会第二次全体会议论文集. 北京: 科学出版社: 52-64.
- 刘建康, 曹文宣. 1992. 长江流域的鱼类资源及其保护对策. 长江流域资源与环境, 1: 17-23.
- 刘建康, 何碧梧. 1992. 中国淡水鱼类养殖学(第三版). 北京: 科学出版社.
- 刘磊, 胥左阳, 杨雪, 等. 2016. 枯水期鄱阳湖重点水域长江江豚种群数量、分布及行为特征. 南昌大学学报(理科版), 40: 276-280.
- 刘仁俊. 1980. 白鳍豚的生态适应与资源保护. 水产科技情报, 5: 18-19.

- 刘绍平, 陈大庆, 段辛斌, 等. 2002. 中国鲟鱼资源现状与保护对策. 水生生物学报, 26: 679-684.
- 刘绍平, 段辛斌, 陈大庆, 等. 2005. 长江中游渔业资源现状研究. 水生生物学报, 29: 708-711.
- 刘晓东. 1999. 青藏高原隆升对亚洲季风形成和全球气候与环境变化的影响. 高原气象, 18: 321-332.
- 刘彦, 张建军, 张岩, 等. 2016. 三江源区近数十年河流输沙及水沙关系变化. 中国水土保持科学, 14: 61-69.
- 卢红伟. 2005. 水电开发与生态环境保护. 四川水力发电工程学会 2005 年“水电开发与环境保护”学术研讨会论文.
- 娄忠玉, 秦懿, 王太, 等. 2012. 厚唇裸重唇鱼繁殖生物学. 水产科学, 31: 32-36.
- 鲁雪报, 倪勇, 饶军, 等. 2012. 达氏鲟的资源现状及研究进展. 水产科技情报, 39: 251-257.
- 马克平. 2016a. 保护生物学、保护生态学与生物多样性科学. 生物多样性, 24: 125-126.
- 马克平. 2016b. 生物多样性科学的热点问题. 生物多样性, 24: 1-2.
- 马琴, 林鹏程, 刘焕章, 等. 2014. 长江宜昌江段三层流刺网对鱼类资源影响的分析. 四川动物, 33: 762-767.
- 迈尔 E. 2009. 进化是什么. 田洛译. 上海: 上海科学技术出版社.
- 孟顺龙, 陈家长, 胡庚东, 等. 2011. 2009 年秋季长江安徽-江苏段浮游植物群落的种类组成与空间特征. 中国农学通报, 27: 391-398.
- 米秀玲, 杨彬. 2014. 长江鄂赣边界河段河床演变特性分析. 人民长江, 45: 29-32.
- 倪达书, 汪建国. 1999. 草鱼生物学与疾病. 北京: 科学出版社.
- 尼科里斯基. 1962. 鱼类生态学. 唐小曼译. 北京: 中国农业出版社.
- 钮新强, 谭培伦. 2006. 三峡工程生态调度的若干探讨. 中国水利, 14: 8-10.
- 彭刚, 边文冀, 陈校辉. 2008. 长江江苏段浮游动物群落结构调查报告. 水利渔业, 28: 109-111.
- 彭嘉栋, 廖玉芳, 刘珺婷, 等. 2014. 洞庭湖区近百年气温序列构建及其变化特征. 气象与环境学报, 30: 62-68.
- 彭嘉栋, 廖玉芳, 刘珺婷, 等. 2015. 洞庭湖区近百年降水序列构建及其变化特征. 气象与环境学报, 31: 63-68.
- Primack R B, 马克平, 蒋志刚. 2014. 保护生物学. 北京: 科学出版社.
- 祁得林, 晁燕, 杨成, 等. 2009a. 川陕哲罗鲑 *Cyrb* 基因克隆及其在鲑亚科中的系统发育关系. 四川动物, 28: 805-809.
- 祁得林, 李太平, 晁燕, 等. 2009b. 利用 *Cyrb* 基因序列探讨柴达木裸裂尻鱼的分类学地位. 动物学杂志, 44: 1-7.
- 祁鹏志. 2014. 翘嘴鲌遗传多样性及卵膜糖蛋白 ZP3 基因的克隆、表达及单核巧酸多态性分析. 武汉: 华中农业大学博士学位论文.
- 钱新娥, 黄春根, 王亚民, 熊飞. 2002. 鄱阳湖渔业资源现状及其环境监测. 水生生物学报, 26: 612-617.
- 邱顺林, 刘琳, 朱栋良, 等. 1982. 鲟鱼人工授精及孵化的研究. 淡水渔业, 6: 1-2.
- 邱顺林, 刘绍平, 黄木桂, 等. 2002. 长江中游江段四大家鱼资源调查. 水生生物学报, 26: 716-718.
- 任华, 蓝泽桥, 孙宏懋, 等. 2014. 达氏鲟生物学特性及人工繁殖技术研究. 江西水产科技, 139: 19-23.
- 茹辉军, 李云峰, 沈子伟, 等. 2015. 大渡河流域川陕哲罗鲑分布与栖息地特征研究. 长江流域

- 资源与环境, 24: 1779-1785.
- 申志新, 吕连印, 张惠琴, 等. 2013. 玛可河珍稀鱼类资源现状与保护对策. 水产学杂志, 26: 47-55.
- 申志新, 唐文家, 李柯懋. 2005. 川陕哲罗鲑的生存危机与保护对策. 淡水渔业, 35: 25-28.
- 省渔政局增殖科. 1996. 一九九五年度鄱阳湖区渔业资源状况调查工作总结. 江西水产科技, 3: 8-9.
- 舒俭民, 宋福, 傅德黔, 等. 1998. 长江源区浮游生物调查初报. 中国环境监测, 14: 7-9.
- 四川长江水产资源调查组. 1988. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究. 成都: 四川社会科学技术出版社.
- 四川省长江水产资源调查组. 1973. 金沙江鲟鱼的催青试验及胚胎和仔鱼发育的初步观察.
- 四川省重庆市长寿湖渔场水产研究所. 1964. 金沙江鲟鱼产卵调查初步报告.
- 施雅风, 孔昭震, 王苏民. 1992. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件. 中国科学(B辑), 12: 1300-1308.
- 史为良. 1985. 鱼类动物区系复合体学说及其评价. 水产科学, 4: 42-45.
- 水博. 2005. 走出拆坝的误区. 人民网(www.people.com.cn).
- 苏岑. 2016. 洞庭湖演化变迁的遥感监测数学模型. 国土资源遥感, 28: 178-182.
- 孙璐, 李继龙, 李小恕. 2008. 基于 GIS 的长江上游鱼类地理分布特征研究. 安徽农业科学, 36: 13338-13339.
- 谭巧, 马芊芊, 李斌斌, 等. 2017. 应用浮游植物生物完整性指数评价长江上游河流健康. 淡水渔业, 47: 97-104.
- 汤奇成, 熊怡, 等. 1998. 中国河流水文. 北京: 科学出版社.
- 唐家汉, 钱名全. 1979. 洞庭湖的鱼类区系. 当代水产, 10: 24-32.
- 唐明英, 黄德林, 黄立章, 等. 1989. 草、青、鲢、鳙鱼卵水力学特性试验及其在三峡库区孵化条件初步预测. 水利渔业, 4: 26-30.
- 唐毅, 刘建虎, 唐洪玉, 等. 2003. 长江云阳江段四大家鱼产卵场浮游植物初步调查. 淡水渔业, 33: 32-35.
- 唐文家, 崔玉香, 赵霞. 2012. 青海省澜沧江水系水生生物资源的初步调查. 水生态学杂志, 33: 20-28.
- 唐文家, 李柯懋, 陈燕琴, 等. 2011. 黄石爬鮡生物学特性及保护建议. 河北渔业, 210: 19-21.
- 田辉伍, 段辛斌, 熊星, 等. 2013. 长江上游长薄鳅生长和种群参数的估算. 长江流域资源与环境, 22: 1305-1312.
- 田瑜, 邬建国, 寇晓军, 等. 2011. 种群生存力分析(PVA)的方法与应用. 应用生态学报, 22: 257-267.
- 王将克, 李国藩, 汪晋只. 1981. 广东三水盆地及邻近盆地早第三纪鱼化石. 中国古生物志, 新丙种第 2 2 号. 北京: 科学出版社.
- 汪亮, 崔鸿, 曹文宣. 2007. 略论长江渔具渔法与渔业资源保护. 水利渔业, 27: 108-109.
- 汪松, 解焱. 2004. 中国物种红色名录: 第一卷 红色名录. 北京: 高等教育出版社.
- 王丁, 王克雄, 刘仁俊, 等. 1989. 白鳍豚声行为及听觉灵敏度的初步研究. 湘潭大学自然科学学报, 11: 116-121.
- 王海英, 姚旼, 王传胜, 等. 2004. 长江中游水生生物多样性保护面临的威胁和压力. 长江流域资源与环境, 13: 429-433.

- 王汉平, 魏开金、姚红, 等. 1999. 养殖鲢鱼性腺发育的年周期变化. 水产学报, 23: 56-61.
- 王华, 纪风强, 李晓玲, 等. 2013. 长江镇扬江段水体透明度时空分布规律研究. 水力发电学报, 32: 141-145.
- 王骥, 梁彦龄. 1988. 长江中游(武汉江段)浮游藻类的季节动态. 见: 中国科学院武汉分院, 中国科学院武汉图书馆, 中国科学院水生生物研究所. 长江流域资源、生态、环境与经济开发研究论文集. 北京: 科学出版社: 196-203.
- 王剑伟. 1992. 稀有鮡鲫的繁殖生物学. 水生生物学报, 16: 165-174.
- 王剑伟, 曹文宣. 2017. 中国本土鱼类模式生物稀有鮡鲫研究应用的历史与现状. 生态毒理学报, 12: 20-33.
- 王剑伟, 宋天祥, 曹文宣. 1998. 稀有鮡鲫胚后发育和幼鱼生长的初步研究. 水生生物学报, 22: 128-134.
- 王金秋, 成功. 2010. 淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因. 生态学报, 30: 6845- 6853.
- 王丕烈. 1992a. 江豚的形态特征和亚种划分问题. 水产科学, 11: 4-8.
- 王丕烈. 1992b. 中国江豚的分类. 水产科学, 11: 10-14.
- 王若男, 吴文强, 彭文启, 等. 2015. 美国百年拆坝历史回顾. 中国水利水电科学研究院学报, 13: 222-232.
- 王圣瑞, 等. 2014. 鄱阳湖生态安全. 北京: 科学出版社.
- 王雪, 赵学峰, 赵学军. 2017. 三峡工程运行前后鄱阳湖倒灌特性对比分析. 长江工程职业技术学院学报, 34: 9-12.
- 王绪祯. 2005. 东亚鲤科鱼类的分子系统发育研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文.
- 王绪祯, 甘小妮, 李俊兵, 等. 2016. 鲤亚科多倍体物种独立起源及其与第三纪青藏高原隆升的关系. 中国科学: 生命科学, 46: 1277-1295.
- 王亦楠. 2016. 妖魔化水电开发要不得——“建设生态文明”须先走出“生态愚昧”的认识误区. 中国经济周刊, 27: 78-81.
- 王宇峰. 2014. 金沙江上游裸腹叶须鱼年龄与生长的研究. 成都: 四川农业大学硕士学位论文.
- 王张华, Liu J P, 赵宝成. 2007. 全新世长江泥沙堆积的时空分布及通量估算. 古地理学报, 9: 419-429.
- 危起伟. 2003. 长江中华鲟繁殖行为生态学与资源评估. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文.
- 危起伟, 陈细华, 杨德国, 等. 2005. 葛洲坝截流 24 年来中华鲟产卵群体结构的变化. 中国水产科学, 12: 452-457.
- 吴斌, 方春林, 甘江英. 2014. 鄱阳湖“四大家鱼”的现状分析与生态经济前景. 中国水产, 10: 27-28.
- 郭国锋, 崔丽娟, 纪伟涛. 2009. 基于遥感技术的鄱阳湖-长江水体清浊倒置现象的分析. 长江流域资源与环境, 18: 777-782.
- 吴恢碧, 何力, 倪朝辉, 等. 2004. 长江沙市江段的浮游生物. 淡水渔业, 34: 9-11.
- 吴金明, 王成友, 张书环, 等. 2017a. 从连续到偶发: 中华鲟在葛洲坝下发生小规模自然繁殖. 中国水产科学, 24: 425-431.
- 吴金明, 杨焕超, 邵俭, 等. 2017b. 秦岭细鳞鲑栖息地环境特征研究. 水生生物学报, 41: 214-219.

- 伍献文, 等. 1977. 中国鲤科鱼类志(下卷): 229-598. 上海: 上海科技出版社.
- 伍献文, 饶钦止. 1961. 第二章 我国淡水渔业的历史. 见: 中国淡水养鱼经验总结委员会. 中国淡水鱼类养殖学. 北京: 科学出版社: 343-380.
- 武云飞, 谭齐佳. 1991. 青藏高原鱼类区系特征及其形成的地史原因分析. 动物学报, 37: 135-152.
- 夏正楷. 2000. 第四纪环境学. 北京: 北京大学出版社.
- 肖文, 张先锋. 2000. 截线抽样法用于鄱阳湖江豚种群数量研究初报. 生物多样性, 8: 106-111.
- 肖海, 代应贵, 张晓杰, 等. 2010. 我国鲃科鱼类种质资源研究进展. 广东农业科学, 8: 180-182(转 198).
- 肖建新, 江显泓, 杨永. 2014. 长江贯通三峡之探讨. 资源环境与工程, 28: 53-56.
- 谢平. 2017a. 长江的生物多样性危机——水利工程是祸首, 酷鱼乱捕是帮凶. 湖泊科学, 29: 1279-1299.
- 谢平. 2017b. 三峡工程对两湖的生态影响. 长江流域资源与环境, 26: 1607-1618.
- 谢增兰, 朱立辉, 于同雷, 等. 2006. 北川县通口河上游的鱼类区系和分布. 西华师范大学学报(自然科学版), 27: 82-85.
- 徐慧娟, 许多, 宁磊, 等. 2014. 重大人类活动对洞庭湖四口水系洪水特性的影响分析. 中国农村水利水电, 9: 127-130.
- 徐薇, 杨志, 乔晔. 2013. 长江上游河流开发受威胁鱼类优先保护等级评估. 人民长江, 44: 109-112.
- 徐薇, 乔晔, 龚昱田. 2012. 长江上游鱼类资源变迁及其保护评析. 人民长江, 43: 67-71.
- 许历新. 2007. 白鳍豚: 从濒危走向灭绝? 中国林业, 2B: 12-14.
- 严钦尚, 洪雪晴. 1987. 长江三角洲南部平原全新世海侵问题. 见: 严钦尚, 许世远. 长江三角洲现代沉积研究. 上海: 华东师范大学出版社: 92-102.
- 杨锡臣, 窦鸿身, 汪宪枢, 等. 1982. 长江中下游地区湖泊的水文特点与资源利用问题. 自然资源, 1: 47-54.
- 杨虹. 2009. 兴凯湖嘴鲟生物学特性及人工繁殖研究. 哈尔滨: 东北农业大学硕士学位论文.
- 杨雪. 2016. 长化中段荆江航道整治工程对浮游生物和底栖动物群落的影响研究. 武汉: 华中师范大学硕士学位论文.
- 姚景龙, 陈毅峰, 李堃, 等. 2006. 中华鲃与前臀鲃的形态差异和物种有效性. 动物分类学报, 31: 11-17.
- 叶许春, 李相虎, 张奇. 2012. 长江倒灌鄱阳湖的时序变化特征及其影响因素. 西南大学学报(自然科学版), 34: 69-75.
- 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊. 1988. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北省科学技术出版社.
- 易水, 范晓. 2003. 反水坝运动在世界. 中国国家地理, 10: 88-99.
- 殷大聪, 许继军, 金燕, 等. 2017. 长江源与澜沧江源区浮游植物组成与分布特性研究. 长江科学院院报, 34: 61-66.
- 于道平, 王江. 1999. 铜陵江段白鲟豚生态环境与行为的变化. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 18: 227-231.
- 于贵瑞. 2001. 生态系统管理学的概念框架及其生态学基础. 应用生态学报, 12: 787-794.
- 余海英. 2008. 长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保护区浮游植物和浮游动物种类分布和数量

- 研究. 重庆: 西南大学硕士学位论文.
- 余文公, 夏自强, 于国荣, 等. 2007. 三峡水库水温变化及其对中华鲟繁殖的影响. 河海大学学报(自然科学版), 35: 92-95.
- 余志堂. 1986. 葛洲坝枢纽下游中华鲟繁殖生态的研究. 鱼类学论文集(第五辑). 北京: 科学出版社.
- 余志堂. 1988a. 大型水利枢纽对长江鱼类资源影响的初步评价(一). 水生态学杂志, 3: 24-27.
- 余志堂. 1988b. 大型水利枢纽对长江鱼类资源影响的初步评价(二). 水生态学杂志, 2: 38-41.
- 余志堂, 邓中舜, 许蕴珩, 等. 1981. 丹江口水利枢纽兴建后的汉江鱼类资源. 鱼类学论文集, 1: 77-96.
- 余志堂, 徐蕴珩, 邓中舜, 等. 1986. 葛洲坝水利枢纽下游中华鲟繁殖生态的研究. 鱼类学论文集(第五辑). 北京: 科学出版社: 1-13.
- 余志堂, 梁秩棠, 汪宁, 等. 1988. 葛洲坝水利枢纽兴建后长江干流四大家鱼产卵场的现状及工程对家鱼繁殖影响的评价. 见: 易伯鲁, 等. 葛洲坝水流枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北科学技术出版社: 47-68.
- 查晓宗, 张彤晴, 方建清, 等. 2012. 长江江阴段监测点渔业资源. 水产养殖, 9: 15-18.
- 张本, 王建华. 1982. 鄱阳湖渔业自然资源及其保护利用的初步意见. 淡水渔业, 3: 1-5.
- 张本, 张立. 1997. 第六章 水生生物及渔业. 见: 朱海虹, 张本. 鄱阳湖——水文·生物·沉积·湿地·开发整治. 合肥: 中国科学技术大学出版社: 146-169.
- 张春霖. 1954. 中国淡水鱼类的分布. 20: 279-284.
- 张克信, 王国灿, 季军良, 等. 2010. 青藏高原古近纪-新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应. 中国科学: 地球科学, 40: 1632-1654.
- 张弥曼, 陈宜瑜. 2000. 中国中生代晚期及第三纪鱼类区系中的若干分布格局问题. 古脊椎动物学报, 3: 161-175.
- 张弥曼, 陈宜瑜, 张江永, 等. 2001. 鱼化石与沧桑巨变. 中国科学院院刊, 1: 39-43.
- 张弥曼, Miao D S. 2016. 青藏高原的新生代鱼化石及其古环境意义. 科学通报, 61: 981-995.
- 张沙龙, 侯轶群, 王龙涛, 等. 2014. 长丝裂腹鱼的游泳能力和游泳行为研究. 淡水渔业, 44: 32-37.
- 张晓鹤, 李九发, 朱文武, 等. 2015. 近期长江河口冲淤演变过程研究. 海洋学报, 37: 134-143.
- 张晓阳, 蔡述明, 孙顺才. 1994. 全新世以来洞庭湖的演变. 湖泊科学, 6: 13-21.
- 张先锋. 1992. 江豚的年龄鉴定、生长和生殖的研究. 水生生物学报, 16: 289-298.
- 张先锋, 刘仁俊, 赵庆中, 等. 1993. 长江中下游江豚种群现状评价. 兽类学报, 13: 260-270.
- 张亚平. 1996. 从 DNA 序列到物种树. 动物学研究, 17: 247-252.
- 张征, 翟良安, 李谷, 等. 1995. 长江天鹅洲故道浮游生物调查及鱼产力的估算. 淡水渔业, 25: 16-18.
- 赵树海, 杨光清, 宝建红, 等. 2016. 长丝裂腹鱼全人工繁殖试验. 水生态学杂志, 37: 101-104.
- 赵淑清, 方精云, 陈安平, 等. 2002. 洞庭湖区近 50 年土地利用/覆盖的变化研究. 长江流域资源与环境, 11: 536-542.
- 郑洪波, 魏晓椿, 王平, 等. 2017. 长江的前世今生. 中国科学: 地球科学, 47: 385-393.
- 郑文彪. 1984. 叉尾斗鱼的胚胎和幼鱼发育的研究. 动物学研究, 5: 261-268.
- 中国科学院, 等. 1969. 长江草鱼、青鱼、鲢、鳙产卵场调查总报告(油印稿).
- 中国科学院环境评价部和长江水资源保护研究所. 1991. 长江三峡水利枢纽环境影响报告书(资

料).

- 中国水产科学院长江水产研究所. 2011. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区鱼类资源与生态环境监测 2006~2010 年工作报告.
- 中国科学院水生生物研究所三峡工程生态环境监测系统水生动物流动监测站. 1997. 1996 年监测工作年度报告.
- 钟麟. 1965. 家鱼的生物学和人工繁殖. 北京: 科学出版社.
- 周春生, 梁秩桑, 黄鹤年. 1980. 兴修水利枢纽后汉江产漂流性卵鱼类的繁殖生态. 水生生物学集刊, 7: 175-188.
- 周家健. 1990. 山东山旺中新世鲤科化石. 古脊椎动物学报, 28: 95-127.
- 周建军, 张曼. 2014. 大坝下游冲积河流修复与保护对策研究. 长江科学院院报, 31: 113-122.
- 周洁, 汪宁, 张世萍. 1987. 青菱湖的水生生物和鱼类增值措施的研究. 海洋与湖沼, 18: 442-449.
- 周开亚, 李悦民, 西胁昌治, 等. 1982. 长江下游南京至贵池段白鲟豚的观察. 兽类学报, 2: 253-254.
- 周开亚, 钱伟娟, 李悦民. 1977. 白鲟豚的分布调查. 动物学报, 23: 72-79.
- 周永强, 李景保, 张运林, 等. 2014. 三峡水库运行下洞庭湖盆冲淤过程响应与水沙调控阈值. 地理学报, 69: 409-421.
- 朱滨, 郑海涛, 乔晔, 等. 2009. 长江流域淡水鱼类人工繁殖放流及其生态作用. 中国渔业经济, 27: 74-87.
- 朱居宏. 1962. 梁子湖蒙古红组的生物学. 水生生物学集刊, 1: 14-21.
- 朱松泉, 曹文宣. 1988. 云南省条鳅亚科鱼类两新种和一新亚种(鲤形目: 鳅科). 动物分类学报, 13: 95-100.
- 朱挺兵, 李飞, 杨德国. 2016. 金沙江上游赠曲的鱼类与裸腹叶须鱼的食性. 长江流域资源与环境, 25: 1086-1092.
- 朱育新, 王苏民, 吴瑞金. 1997. 全新世江汉平原地区长江南移年代的沉积学依据. 科学通报, 42: 1972-1974.
- 朱志荣. 1962. 泥鳅、黄鳝、青鳉的繁殖、发育及其与环境的关系的初步研究. 水生生物学集刊, 1: 1-12.
- 庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 2006. 长江口鱼类. 上海: 上海科学技术出版社.
- Alo D, Turner T F. 2005. Effects of habitat fragmentation on effective population size in the endangered Rio Grande silvery minnow. *Conserv Biol*, 19: 1138-1148.
- Aoyama J, Mochioka N, Otake T, et al. 1999. Distribution and dispersal of anguillid leptocephali in the western Pacific Ocean revealed by molecular analysis. *Mar Biol*, 188: 193-200.
- Birstein V J, Hanner R, DeSalle R. 1997. Phylogeny of the Acipenseriformes: cytogenetic and molecular approaches. *Environ Biol Fish*, 48: 127-155.
- Brown J, Gillooly J, Allen A, et al. 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 85: 1771-1789.
- Butcher R W. 1932. Studies in the Ecology of Rivers. II The microflora of rivers with special reference to the algae on the river bed *Ann. Bot.*, 46: 813-861.
- Cassens I, Vicario S, Waddell V G, et al. 2000. Independent adaptation to riverine habitats allowed survival of ancient cetacean lineages. *PNAS*, 97: 11343-11347.
- Chang M, Wang X, Liu H, et al. 2008. Extraordinarily thick-boned fish linked to the aridification of the Qaidam Basin (northern Tibetan Plateau). *Proc Natl Acad Sci USA*, 105: 13246-13251.

- Chang M M, Miao D S, Wang N. 2010. Ascent with modification: Fossil fishes witnessed their own group's adaptation to the uplift of the Tibetan Plateau during the late Cenozoic. *In: Long M Y, Chang M M, Zhou J J. 1993. A brief survey of the Chinese Eocene Ichthyofauna. Kaupia, Darmstadter Beitrage zur Naturgeschichte, Heft, 2: 157-162.*
- Cho R. 2011. Removing dams and restoring rivers. News from the Earth Institute, Columbia University.
- Courchamp F, Berec J, Gascoigne J. 2008. Allee effects in ecology and conservation. Oxford, New York, USA: Oxford University Press.
- Favre A, Päckert M, Pauls S U, et al. 2015. The role of the uplift of the Qinghai-Tibetan Plateau for the evolution of Tibetan biotas. *Biol Rev*, 90: 236-253.
- Gaudant J, Rousset C. 1979. Decouverte de Restes de Cyprinidae (Poissons Teleosteens) dans l'Oligocene moyen de Marseille (Bouches - du - Rhone). *Geobios*, 12: 331-337.
- Gilpin M E, Soulé M E. 1986. Minimum viable populations: processes of species extinction. *In: Soulé M E. Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity. Sunderland, Mass: Sinauer Associates: 19-34.*
- Gu H Y, Zhou Z H. Darwin's Heritage Today: Proceedings of the Darwin 200 Beijing International Conference. Beijing: Higher Education Press: 60-75.
- Harvey P H, Pagel M D. 1991. The Comparative Method in Evolutional Biology. Oxford: Oxford University Press.
- He Y F, Wang J W, Blanche S, et al. 2012. Genetic structure of an endangered endemic fish (*Gobiocypris rarus*) in the upper Yangtze River. *Biochem. Syst Ecol*, 43: 214-225.
- Hora S L. 1939. The game fishes of Indian, Part VI. The Goonch, *Bagarius* (Hamilton). *J Bombay Nat Hist Soc*, 40: 583-593.
- Hoy C M. 1923. The "White-flag dolphin" of the Tung Ting Lake. *Chin J Sci Arts Shanghai*, 1:154-157.
- Ishikawa S, Tsukamoto K, Nishida M. 2004. Genetic evidence for multiple geographic populations of the giant mottled eel (*Anguilla marmorata*) in the Pacific and Indian Oceans. *Ichthyol. Res*, 51: 343-353.
- Jefferson T A, Hung S K. 2004. *Neophocaena phocaenoides*. *Mammalian Species*, 746: 1-12.
- Kasuya T. 1999. Finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* (G. Cuvier, 1829). *In: Ridgway S H, Harrison R. Handbook of Marine Mammals. Vol 6: The second Book of Dolphins and the Porpoises. San Diego: Academic Press: 411-442.*
- Kireta A R, Reavie E D, Sgro G V, et al. 2012. Planktonic and periphytic diatoms as indicators of stress on great rivers of the United States: Testing water quality and disturbance models. *Ecol Indic*, 13: 222-231.
- Leslie A J, Van-Dyke J M, Nall L E, et al. 1982. Current velocity for transport of grass carp eggs. *Trans. Am Fish Soc*, 111: 99-101.
- Ludwig D, Hilborn R, Walters C. 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: Lessons from history. *Science*, 260: 17-36.
- Luenser K, Fickel J, Lehnen A, et al. 2005. Low level of genetic variability in European bison (*Bison bonasus*) from the Bialowieza National Park in Poland. *Eur J Wildlife Res*, 51: 84-87.
- Miller G S. 1918. A new river-dolphin from China. *Smithsonian Misc. Coll*, 68: 1-12.
- Miller M J, Mochioka N, Otake T, et al. 2002. Evidence of a spawning area of *Anguilla marmorata* in the western North Pacific. *Mar Biol*, 140: 809-814.
- Nelson J S. 2006. *Fishes of the World*. 4th. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Nichols J T. 1943. The fresh-water fishes of China. *Nat. Hist. of Central Asia. Vol IX.*

- Ormerod S J. 2003. Current issues with fish and fisheries: Editor's overview and introduction. *J Appl Ecol*, 40: 204-213.
- Patrick R. 1961. A study of the numbers and kinds of species found in rivers in eastern United States. *Proc Acad Nat Sci Philadelphia*, 113: 215-258.
- Pilleri G, Gahr M. 1972. Contribution to the knowledge of the Cetaceans of Pakistan with particular reference to the genera *Neomeris*, *Delphinus* and *Tursiops* and description of a new Chinese porpoise (*Neomeris asiaeorientalis*). *Investigations on Cetacea*, 4: 107-162.
- Pilleri G, Gahr M. 1975. On the taxonomy and ecology of the finless black porpoise, *Neophocaena* (Cetacea, Delphinidae). *Mammalia*, 39: 657-674.
- Ping C. 1931. Preliminary notes on the fauna of Nanking. *Contr Biol Lab Sci Soc China*, 7: 173-201.
- Pratt A E. 1892. To the Snows of Tibet through China. London: Longmans, Green, and Co.
- Provine W B. 2004. Ernst Mayr: Genetics and speciation. *Genetics*, 167: 1041-1046.
- Rainboth W J. 1991. Cyprinid fishes of Southeast Asia. *In*: Winfield I J, Nelson J S. *Cyprinid Fishes: Systematics, Biology and Exploitation*. London: Chapman and Hall: 156-210.
- Reinhard E G. 1931. The plankton ecology of the upper Mississippi Minneapolis to Winona. *Ecol Monogr*, 1: 395-464.
- Rajo C, Alvarez Cobelas M, Arauzo M. 1994. An elementary, structural analysis of river phytoplankton *Hydrobiologia*, 289: 43-55.
- Romer A S. 1966. *Vertebrate paleontology*. 3rd ed. Chicago & London: The University of Chicago Press: 356-357.
- Scheffer M, Carpenter S, Foley J A, et al. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413: 591-596.
- Shaffer M L. 1981. Minimum viable population sizes for conservation. *BioScience*, 31: 131-134.
- Skelton P H, Tweddle D, Jackson P B N. 1991. Cyprinids of Africa. *In*: Winfield I J, Nelson J S. *Cyprinid Fishes: Systematics, Biology and Exploitation*. London: Chapman and Hall: 211-239.
- Sowerby A D e C. 1925. The Yangtze beaked sturgeon. *China J Sci Arts*, 3: 86-88.
- Stephens P A, Sutherland W J, Freckleton R P. 1999. What is the Allee effect? *Oikos*, 87: 185-190.
- Struck D. 2014. Setting rivers free: As dams are torn down, nature is quickly recovering. *Christian Science Monitor*. Retrieved 9 April 2016.
- Sytchevskaya E K. 1986. Paleogene freshwater ichthyofauna of the USSR and Mongolia. *Proceedings of the Joint Soviet-Mongolian Paleontological Expedition*, 29: 1-157.
- Tapponnier P, Zhiqin X, Roger F, et al. 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *Science*, 294: 1671-1677.
- Templeton A R. 1980. The theory of speciation via the founder principle. *Genetics*, 94: 1011-1038.
- Thompson G R, Turk J. 1998. *Introduction to Physical Geology*. Saunders College Publications.
- Traill L W, Bradshaw J A, Brook B W. 2007. Minimum viable population size: A meta-analysis of 30 years of published estimates. *Biological Conservation*, 139: 159-166.
- Tsukamoto K, Aoyama J, Miller M J. 2002. Migration, speciation, and the evolution of diadromy in anguillid eels. *Can J Fish Aquat Sci*, 59: 1989-1998.
- Vannote R L, Minshal G W, Cummins K W, et al. 1980. The river continuum concept. *Can J Fish Aquat Sci*, 37: 130-137.
- Wang C S, Zhao X X, Liu Z F, et al. 2008. Constraints on the early uplift history of the Tibetan Plateau. *Proc Natl Acad Sci USA*, 105: 4987-4992.
- Wang N, Wu F X. 2015. New Oligocene cyprinid in the central Tibetan Plateau documents the pre-uplift tropical lowlands. *Ichthyol Res*, 62: 274-285.
- Webber T. 2016. Huge, once-hated fish now seen as weapon against Asian carp. *Pantagraph*.

- Associated Press. Retrieved July 31, 2016.
- Wei Q , Ke F, Zhang J, et al. 1997. Biology, fisheries, and conservation of sturgeons and paddlefish in China. *Environ Biol Fish*, 48: 241-255.
- Wetzel R G. 1975. Primary production. *In: Whitton B A. River Ecology*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press: 230-247.
- Winner J M. 1975. Zooplankton. *In: Whitton B A. River Ecology*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press: 155-169.
- Xie P. 2003. Three-Gorges Dam: risk to ancient fish. *Science*, 302:1149.
- Xin D, Zonglin D, Mingyan C. 1991. Spawning population characteristics of *Acipenser sinensis* in Yangtze River just below Gezhoba Dam. *In: Williot P. Proceedings of the First International Symposium on sturgeons*. Bordeaux (Gironde, France): 235-242.
- Yin H, Liu G, Pi J, et al. 2007. On the river-lake relationship of the middle Yangtze reaches. *Geomorphology*, 85: 197-207.
- Zhang X, Wang D, Liu R, et al. 2003. The Yangtze River dolphin or baiji (*Lipotes vexillifer*): Population status and conservation issues in the Yangtze River, China *Aquat Cons: Mar Freshwat Eco*, 13: 51-64.
- Zhao X, Barlow J, Taylor B L, et al. 2008. Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China *Biol Conserv*, 141: 3006- 3018.
- Zheng H. 2015. Birth of the Yangtze River: Age and tectonic-geomorphic implications. *Nat Sci Rev*, 2: 438-453.
- Zhou Y, Jeppesen E, Li J, et al. 2016. Impacts of Three Gorges Reservoir on the sedimentation regimes in the downstream-linked two largest Chinese freshwater lakes. *Sci. Rep.* 6, 35396; doi: 10.1038/srep35396.

附 录

附表 1 长江流域河流分级

河流分级	河流数量	河流名称	流域面积/万 km ²	河长/km	所在水系
6	1	长江	180.00	6300	长江
		岷江	13.59	711	岷江
5	3	嘉陵江	15.98	1120	嘉陵江
		鄱阳湖	16.22		鄱阳湖
		雅砻江	12.84	1535	雅砻江
		大渡河	9.07	1048	岷江
		渠江	3.96	666	嘉陵江
4	6	洞庭湖	26.28		洞庭湖
		汉江	15.90	1577	汉江
		修水	1.48	419	鄱阳湖
		当曲	3.09	352	干流
		理塘河/无量河	1.91	516	雅砻江
		青衣江	1.29	279	岷江（大渡河支流）
		沱江	2.78	634	干流
		州河	1.11	302	嘉陵江（渠江支流）
		涪江	3.60	660	嘉陵江
		乌江	8.79	1037	乌江
		3	14	沅江	8.96
湘江	9.47			867	洞庭湖
唐白河	2.46			352	汉江
潦河	0.44			166	鄱阳湖（修水支流）
赣江	8.28			823	鄱阳湖
抚河	1.65			348	鄱阳湖
裕溪河—巢湖	0.43			62	干流
未详列					
2	71	未详列			
1	279	未详列			
合计	374				

资料来源：董耀华和汪秀丽 2013。

附表 2 长江流域产漂流性卵鱼类

科	亚科	种类	主要食物	分布
鲤科 Cyprinidae	雅罗鱼亚科 Leuciscinae	青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	底栖动物	全流域
		草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	水生植物	全流域
		鲢 <i>Elopichthys bambusa</i>	各种鱼类	全流域
		鳙 <i>Luciobrama macrocephalus</i>	小型鱼类	全流域
		鳊 <i>Ochetobius elongatus</i>	水生昆虫、枝角类、 小鱼、虾	全流域
		赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	藻类、有机碎屑、水草等	全流域
	鲃亚科 Culterinae	长春鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	草食性	全流域
		似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	着生藻类、植物碎片、 偶尔浮游动物	中下游
		鳊条 <i>Hemiculter leucisculus</i>	浮游动物	全流域
		油鳊 <i>Hemiculter bleekeri</i>	水生昆虫和浮游动物	全流域
		翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	小型鱼类	全流域
		翘嘴红鲃 <i>Culter ilishaeformis</i>	小鱼小虾	全流域
		蒙古红鲃 <i>Erythroculter mongolicus</i>	小型鱼类	全流域
		拟尖头红鲃 <i>Erythroculter oxycephaloides</i>	小鱼和虾、水生昆虫	全流域
寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>		杂食	全流域	
银飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>		浮游动物及植物碎屑	全流域	
鲢亚科 Hypophthalmichthyinae	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	浮游植物	全流域	
	鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	浮游动物	全流域	
鲮亚科 Xenocyprininae	银鲮 <i>Xenocypris argentea</i>	藻类和水草碎屑	全流域	
鲃亚科 Barbinae	中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	高等植物为主,亦食丝状 藻类、昆虫幼虫等	中上游	
鲃亚科 Gobioninae	蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	水生昆虫或桡足类,少量 水草或藻类	全流域	
	光唇蛇鲃 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	底栖无脊椎动物	全流域	
	细尾蛇鲃 <i>Saurogobio gracilicaudatus</i>	底栖无脊椎动物	中游	
	吻鲃 <i>Rhinogobio typus</i>	底栖无脊椎动物,少量藻 类和碎屑	全流域	
	圆筒吻鲃 <i>Rhinogobio cylindricus</i>	底栖无脊椎动物或藻类	中上游	
	长鳍吻鲃 <i>Rhinogobio ventralis</i>	底栖无脊椎动物或藻类	上游	

续表

科	亚科	种类	主要食物	分布	
鲤科 Cyprinidae	鲃亚科 Gobioninae	拟刺鲃 <i>Paracanthobrama guichenoti</i>	软体动物和水生昆虫	中下游	
		银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	水生昆虫为主, 其次藻类和水草	全流域	
		铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	底栖无脊椎动物和植物碎片	全流域	
		圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>	底栖无脊椎动物和植物碎片	上游为主, 中游较少	
		华鲮 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	底栖无脊椎动物和藻类	全流域	
		黑鳍鲮 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i> (流水)	底栖无脊椎动物和藻类	全流域	
		鲃亚科 Goblobotinae	宜昌鲃 <i>Gobiobotia filifer</i>	底栖无脊椎动物	上中游
			异鳔鲃 <i>Xenophysogobio boulengeri</i>	底栖无脊椎动物	中上游
	鲃科 Cobitidae	沙鲃亚科 Botiinae	中华沙鲃 <i>Botia superciliaris</i>	底栖无脊椎动物	上游
			状体沙鲃 <i>Botia robusta</i>		
花斑副沙鲃 <i>Parabotia fasciata</i>			水生昆虫和底栖藻类	全流域	
长薄鲃 <i>Leptobotia elongata</i>			凶猛鱼类	上游	
紫薄鲃 <i>Leptobotia taeniaps</i>			底栖无脊椎动物	中下游	
红唇薄鲃 <i>Leptobotia rubrilabris</i>			底层小鱼	中上游	
平鳍鲃科 Balitoridae	平鳍鲃亚科 Homalopterinae	犁头鲃 <i>Lepturichthys fimbriata</i>	底栖无脊椎动物和藻类	中上游	
		中华金沙鲃 <i>Jinshaia sinensis</i>	底栖杂食性	上游	

资料来源: 湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976; 曹文宣等 2007; 部分参考: 周春生等 1980; 李修峰等 2006; 段辛斌等 2008, 2015。

附表3 长江干流青鱼、草鱼、鲢和鳙的产卵场(1964~1965年)

名称	范围/km	距上一产卵场里程/km	名称	范围/km	距上一产卵场里程/km
重庆	巴县—重庆(30)		下车湾	下车湾—砖桥(16)	21
木洞	木洞—洛碛(20)	47	尺八口	反咀—观音洲(35)	18
涪陵	涪陵—珍溪镇(25)	54	白螺矶	城陵矶—龙头山(21)	6
忠县	忠县—西沱镇(35)	90	洪湖	洪湖—叶家州(7)	31
万县	万县—舟沱场(18)	56	陆溪口	赤壁—陆溪口(7)	10
云阳	云阳—故陵(20)	35	嘉鱼	嘉鱼岩—嘉鱼夹(16)	16
巫山	巫山—楠木园(38)	78	燕窝	燕窝—汉金关(5)	11
秭归	泄滩—秭归(6)	38	簪州	簪州—洪水口(14)	21
宜昌	三斗坪—十里红(46)	41	大咀	邓家港—大咀(7)	15
虎牙滩	仙人桥—虎牙滩(3)	14	白浒山	青山—葛店(29)	66
枝江	枝江—董市(30)	41	团风	芭蕉湾—三江口(14)	20
江口	江口—涇市(25)	14	鄂城	樊口—龙王矶(11)	15
沙市	沙市—公安(35)	23	黄石(道士袱)	兰溪—岚头矶(37)	14
郝穴	郝穴—新厂(15)	19	圻州	挂河口—笔架山(7)	8
石首	藕池口—石首(16)	8	富池口外	富池口—下巢湖(6)	21
新码头	新码头—刘河口(22)	31	九江	赤湖—白水湖(30)	25
新浹口	新浹口—塔市驿(21)	35	湖口	湖口—八里江(5)	21
监利	监利—陈家码头(13)	12	彭泽	中夹口—小孤山(23)	13

资料来源:刘建康和何碧梧1992。

附表 4 长江干流四大家鱼产卵场的位且和规模 (1981 年)

序号	名称	范围	公里	产卵量	百分比/%	备注
1	重庆	重庆及其以上		3718.0	0.21	
2	木洞	木洞上下		16 952.6	0.98	
3	涪陵	涪陵上下		22 108.7	1.28	
4	高家镇	高家镇上下		11 210.7	0.65	
5	忠县	西沱—忠县	47	34 075.5	1.96	
6	大舟溪	大舟溪上一大舟溪下	10	66 375.7	3.83	原万县产卵场
7	云阳	小江—云阳下	60	87 659.5	5.05	
8	奉节	安坪—奉节上	21	31 521.9	1.82	
9	巫山	涪石上一奉节下	47	171 041.5	9.86	
10	秭归	巴东下一太平溪	40	135 412.4	7.81	
11	宜昌坝上	三斗坪—南津关	35	50 160.0	2.89	
12	宜昌坝下	葛洲坝下一宜都上	40	11 371.1	6.42	包括原虎牙滩产卵场
13	白洋	宜都—枝城上	16	74 399.0	4.29	
14	枝城	枝城—枝江	33	102 393.0	5.90	原枝江产卵场
15	江口	江口—浠市	23	205 637.0	11.85	
16	沙市	沙市—公安	53	203 224.0	11.72	
17	新厂	新厂上下	25	174 896.0	10.08	原郝穴产卵场
18	石首	石首—调关	21	86 983.0	5.01	包括原新码头产卵场
19	监利	塔市驿—尺八口	70	75 166.8	4.33	包括原新峡口、下车湾、尺八口产卵场
20	螺山	新堤—城陵矶下	40	50 804.0	2.98	包括原白螺矶、洪湖产卵场
21	嘉鱼	复兴州附近	5	13 286.0	0.77	
22	新滩口	洪水口—簪州	13	5733.0	0.33	原簪州产卵场
23	鄂城	鄂城县城上下		255.0	0.01	
24	道士袱	道士袱		288.1	0.02	
合计				1734 672.5	100.0	

资料来源：长江四大家鱼产卵场调查队 1982。

附表 5 长江干流四大家鱼产卵场的分布和规模 (1986 年)

江段	产卵地	产卵场范围	延伸里 程/km	距上一产 卵场距离	产卵规模	
					产卵比例/%	小计/%
重庆~宜昌	重庆	寸滩—唐家沱	10	—	1.2	
	木洞	木洞—洛碛	18	22	2.4	
	长寿	镇安镇—蔺市镇	8	35	2.0	
	涪陵	珍溪镇—立石镇	15	45	2.6	
	高家镇	高家镇—洋渡溪	18	32	4.0	
	忠县	忠县—西沱镇	25	34	6.0	
	万县	大舟—小舟	10	74	4.1	
	云阳	云阳—故陵—安坪	38	35	3.7	
	巫山	涪石—楠木园	14	83	2.4	
	秭归	泄滩—青滩	20	38	0.5	
宜昌~城陵矶	三斗坪	太平溪—石碑	30	20	0.7	29.6
	宜昌	十里红—烟收坝	8	20	14.7	
	虎牙滩	仙人桥—虎牙滩	3	10	11.0	
	宜都	云池—宜都	7	10	0.5	
	枝江	洋溪镇—枝江	29	40	1.8	
	江口	江口—涇市	25	10	3.1	
	沙市	虎渡河口—沙市	12	12	1.8	
	郝穴	郝穴—新厂	15	54	2.7	
	石首	藕池口—石首	10	17	1.1	
	调关	碾子湾—调关	22	10	2.9	
城陵矶~武穴	监利	塔市驿—老河下口	25	25	1.1	
	反咀	盐船套—荆江门	8	26	2.0	42.7
	螺山	白螺矶—螺山	19	53	1.9	
	嘉鱼	陆溪口—嘉鱼	23	45	1.4	
	牌洲	甲东岭—新滩口	13	31	2.2	
	大咀	大咀—纱帽山	14	33	1.1	
	白浒山	阳逻—葛店	15	66	1.6	
	团风	团风—两河口	6	28	4.6	
	黄石	巴河口—道士袱	31	33	6.9	
	田家镇	蕲州—半边山	21	26	8.0	27.7

附表 6 长江四大家鱼的绝对怀卵量

种类	年龄	体长/cm	体重/kg	绝对怀卵量/万粒	标本数	
草鱼 (宜昌, 1958 年)	4	76	6.25	30.7		
		83	7.75	44.2		
	5	78	7.5	67.2		
		79	8.0	68.1		
		83	9.0	40.5		
		83	8.5	40.1		
		85	9.1	72.0		
	6	86	9.8	39.1		
		90	10.8	59.0		
		91	10.0	63.1		
	青鱼 (湖口, 1961~1963 年)	4~6	86	10.5	106.9	
			89	12.5	138.1	
4~9		91	10.0	116.3		
		90~100	10.1~19.0	26.7~252.7	12	
6~15		100.1~110	18.0~25.9	64.7~417.8	44	
		110.1~120	18.0~37.0	178.1~638.6	26	
9~12		121.1~130	27.0~39.0	175.6~402.2	4	
		9~10	>130	33.0~56.8	270.4~694.9	2
鲢 (木洞、宜昌地区, 1959 年 4~7 月)		65.1~70.0		45.1 (20.7~75.9)	3	
		70.1~75.0		84.4 (44.4~123.2)	7	
	75.1~80.0		111.6 (68.9~182.2)	5		
	80.1~85.0		143.1 (63.9~195.8)	3		
	85.1~90.0		98.0 (73.6~122.4)	2		
	>90.0		161.0	1		
鳊 (湖口地区, 1963 年 4~5 月)	94.7	17.7	63.6			
	94.2	17.8	175.4			
	97.7	19.3	184.7			
	98.5	21.0	227.0			
	110.8	31.2	348.1			

资料来源：湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976。

附表 7 洞庭湖渔产量的历史变化

年份	渔产量/万 t	文献
1952	2.46	黄玉昆 1987
1978	1.54	
1979	1.79	
1980	1.80	
1981	1.78	
1982	1.52	
1983	1.76	
1984	1.53	
1985	1.57	
1986	1.85	
1990	2.66	廖伏初等 2002
1991	2.73	
1992	2.84	
1993	2.81	
1994	3.14	
1995	3.87	
1996	8.28	
1997	4.17	李红炳和徐德平 2008
1998	5.15	
1999	4.02	
2000	4.01	
2001	2.99	
2002	3.26	
2003	2.95	
2004	2.60	
2005	2.36	
2006	2.20	

附表 8 鄱阳湖渔产量的历史变化 (江西省渔政管理局)

年份	渔产量/万 t	文献
1949	1.36	钱新娥等 2002
1950	1.43	
1951	1.63	
1952	1.81	
1953	1.65	
1954	3.42	
1955	2.18	
1956	2.19	
1957	2.22	
1958	2.22	
1959	2.30	
1960	2.25	
1961	2.13	
1962	2.53	
1963	2.02	
1964	2.40	
1965	2.16	
1966	2.01	
1967	1.81	
1968	1.54	
1969	1.69	
1970	1.31	
1971	1.62	
1972	1.00	
1973	2.07	
1974	1.52	
1975	1.23	
1976	1.50	
1977	1.30	
1978	1.11	
1979	1.47	
1980	1.74	
1981	2.01	
1982	1.92	
1983	2.58	
1984	2.12	

续表

年份	渔产量/万 t	文献
1985	1.90	
1986	2.34	
1987	2.67	
1988	2.92	
1989	2.99	
1990	3.21	
1991	3.20	
1992	3.20	
1993	3.45	
1994	3.45	
1995	3.50	
1996	5.89	
1997	4.70	
1998	7.19	
1999	4.79	
2000	3.59	黄晓平和龚雁 2007
2001	3.01	
2002	3.93	
2003	3.35	
2004	3.20	
2005	3.59	
2006	2.86	
2007	无数据	
2008	无数据	
2009	无数据	
2010	6.63	?
2011	无数据	
2012	2.85	?

附表 9 长江干流或通江湖泊鱼类年龄结构

地点	年龄	1	2	3	4	5	6	≥7
鄱阳湖湖口 (1963 年) ¹	青	0	20.4	15.5	14.2	17.3	13.6	19
	草	1.1	22.3	37.7	28.6	5.7	2.9	1.7
	鲢	45.5		45	9.5			
	鳙	6.08	29.05	46.4	14.64	3.38	0.23	0.23
鄱阳湖 (1974 年) ²	鲢	9.6	34.6	50	5.8	0	0	0
	鳙	0	56.6	35.8	1.9	5.7	0	0
鄱阳湖 (1997 年) ³	青	59.4	26	14.6	0	0	0	0
	草	67.2	26	6.8	0	0	0	0
	鲢	92.7	5.4	1.9	0	0	0	0
	鳙	77.7	17.1	5.2	0	0	0	0
鄱阳湖 (1998 年) ³	青	50	25	16.6	8.4	0	0	0
	草	73.3	16.3	10.4	0	0	0	0
	鲢	88.8	11.2	0	0	0	0	0
	鳙	63.6	18.3	18.1	0	0	0	0
鄱阳湖 (1999 年) ³	青	58.3	24.0	16.7	1.0	0	0	0
	草	67.0	27.0	6.0	0	0	0	0
	鲢	92.1	5.9	2.0	0	0	0	0
	鳙	72.7	18.1	5.0	4.9	0	0	0
鄱阳湖 (2000 年) ⁴	青	25.0	50.0	25.0	0	0	0	0
	草*	68.5	25.0	7.0				
	鲢	39	53	8.0	0	0	0	0
	鳙	80	17	3.0	0	0	0	0
鄱阳湖 (2003 年) ⁴	青*	38.5	39.6	13.4	6.5			
	草*	39.3	36.1	19.2	3.8			
	鲢*	52.7	39.7	6.8	2.6			
	鳙	35.8	57.0	5.9	1.3	0	0	0
鄱阳湖 (2004 年) ⁴	青	70.6	23.5	5.9	0	0	0	0
	草	66.7	33.3	0	0	0	0	0
	鲢	81.8	12.1	6.1	0	0	0	0
	鳙	83.4	13.3	3.3	0	0	0	0
鄱阳湖 (2005 年) ⁴	青*	9.2	46.2	36.9				
	草*	17.5	46.2	26.3				
	鲢*	22	41.2	26.5				
	鳙	74.6	21.8	3.6	0	0	0	0

续表

地点	年龄	1	2	3	4	5	6	≥7
鄱阳湖 (2006 年) ⁴	青	15.2	65.2	19.6	0	0	0	0
	草	5.3	52.6	35.1	7.0	0	0	0
	鲢	30.0	35.0	28.3	6.7	0	0	0
	鳙	26.4	69.8	3.8	0	0	0	0
洞庭湖 (1998 年) ⁵	青	43.2	30.97	20.45	3.83	1.54	0.01	0
	草	26.93	39.56	28.39	4.82	0.29	0	0
	鲢	10.64	78.58	9.91	0.76	0.07	0	0
	鳙	17.73	73.97	4.13	4.12	0.05	0	0
洞庭湖 (1998 年) ⁵	青	45.77	29.55	19.99	4.11	0.51	0.07	0
	草	47.68	29.11	17.18	5.7	0.29	0.04	0
	鲢	57.41	27.5	13.21	1.76	0.12	0.04	0
	鳙	58.72	19.72	15.53	5.87	0.16	0	0
洞庭湖 (2000 年) ⁶	青	46.4	29.2	18.7	5.2	0.5	0	0
	草	43.4	30.2	18.9	6.4	1.1	0	0
	鲢	56.8	23.5	15.7	3.8	1.3	0	0
	鳙	49.3	24.7	19.3	5.3	0.1	0	0
洞庭湖 (2005 年) ⁶	青	100	0	0	0	0	0	0
	草	83.3	16.7	0	0	0	0	0
	鲢	75.0	25.0	0	0	0	0	0
	鳙	66.7	33.3	0	0	0	0	0
洪湖 (1959 年) ¹	草	20	18.5	17.0	32.3	9.2	3.0	0

1 湖北省水生生物研究所鱼类研究室 1976。

2 张本和王建华 1982。

3 钱新娥等 2002。

4 黄晓平和龚雁 2007。

5 廖伏初等 2002。

6 廖伏初等 2006。

* 各龄合计≠100。

附表 10 长江上游受威胁特有鱼类名录

编号	中文种名	拉丁名	长江上游干流 是否分布	保护地位	受威胁 程度
1	短体副鳅	<i>Paracobitis potanini</i>	是	三级急切保护	
2	西昌高原鳅	<i>Triplophysa xichangensis</i>		省级重点	
3	长薄鳅	<i>Leptobotia elongata</i>	是		易危
4	小眼薄鳅	<i>Leptobotia microphthalma</i>	是	省级重点	
5	红唇薄鳅	<i>Leptobotia rubrilabris</i>	是	省级重点	
6	成都鱖	<i>Zacco chengdui</i>		省级重点	易危
7	稀有鮡鲫	<i>Gobiocypris rarus</i>		省级重点	濒危
8	云南鲃	<i>Xenocypris yunnanensis</i>	是	二级急切保护	
9	方氏鲃	<i>Xenocypris fangi</i>	是		易危
10	黑尾近红鲃	<i>Ancherythroculter nigrocauda</i>	是	三级急切保护	
11	西昌白鱼	<i>Anabarilius liui liui</i>		省级重点	极危
12	短臀白鱼	<i>Anabarilius brevianalis</i>		省级重点	
13	厚颌鲂	<i>Megalobrama pellegrini</i>	是	三级急切保护	
14	长体鲂	<i>Megalobrama elongata</i>	是	省级重点	极危
15	彭县似	<i>Belligobio pengxianensis</i>		省级重点	濒危
16	圆口铜鱼	<i>Coreius guichenoti</i>	是	二级急切保护	
17	长鳍吻鲈	<i>Rhinogobio ventralis</i>	是	三级急切保护	
18	裸体异鰕鳅	<i>Xenophysogobio nudicorpa</i>	是	省级重点	
19	鲈鲤	<i>Percocypris pingi pingi</i>	是	省级重点	易危
20	宽口光唇鱼	<i>Acrossocheilus monticola</i>	是	三级急切保护	
21	四川白甲鱼	<i>Onychostoma angustistomata</i>	是	二级急切保护	
22	大渡白甲鱼	<i>Onychostoma daduensis</i>	是	省级重点	
23	华鲮	<i>Sinilabeo rendahli</i>	是	省级重点	
24	华缨鱼	<i>Sinocrossocheilus guizhouensis</i>			易危
25	长丝裂腹鱼	<i>Schizothorax dolichonema</i>		省级重点	濒危
26	齐口裂腹鱼	<i>Schizothorax prenanti</i>	是	省级重点	
27	细鳞裂腹鱼	<i>Schizothorax chongi</i>	是	省级重点	
28	昆明裂腹鱼	<i>Schizothorax grahami</i>			易危
29	隐鳞裂腹鱼	<i>Schizothorax cryptolepis</i>		省级重点	

续表

编号	中文种名	拉丁名	长江上游干流 是否分布	保护地位	受威胁 程度
30	异唇裂腹鱼	<i>Schizothorax heterochilus</i>		省级重点	
31	长须裂腹鱼	<i>Schizothorax longibarbus</i>			极危
32	小裂腹鱼	<i>Schizothorax parvus</i>			极危
33	宝兴裸裂尻鱼	<i>Schizopygopsis malacanthus baoxingensis</i>		省级重点	
34	嘉陵裸裂尻鱼	<i>Schizopygopsis malacanthus chengi</i>		省级重点	
35	岩原鲤	<i>Procypris rabaudi</i>	是	省级重点	易危
36	侧沟爬岩鳅	<i>Beaufortia liui</i>		省级重点	
37	窑滩间吸鳅	<i>Hemimyzon yaotanensis</i>	是	省级重点	易危
38	中华金沙鳅	<i>Jinshaia sinensis</i>	是	省级重点	
39	四川华吸鳅	<i>Sinogastromyzon szechuanensis szechuanensis</i>	是	省级重点	
40	长须鲃	<i>Leiocassis longibarbus</i>			极危
41	黄石爬鮠	<i>Euchiloglanis kishinouyei</i>	是		濒危
42	青石爬鮠	<i>Euchiloglanis davidi</i>	是	省级重点	极危
43	中华鮠	<i>Pareuchiloglanis sinensis</i>		省级重点	濒危
44	四川鮠	<i>Pareuchiloglanis sichuanensis</i>		省级重点	
45	四川吻鰕鲃鱼	<i>Rhinogobius szechuanensis</i>	是	省级重点	濒危
46	成都吻鰕鲃鱼	<i>Rhinogobius chengtuensis</i>		省级重点	濒危

资料来源：徐薇等 2013。

附表 11 长江上游分布的水生野生动物自然保护区

保护区名称	级别	总面积/hm ²	所属水系	保护对象
长江上游珍稀、特有鱼类	国家级	33 174	长江干流	白鲟、达氏鲟、胭脂鱼等 70 种
天全河珍稀鱼类	省级	13 241	岷江-青衣江	国家、省级保护鱼类 10 种
周公河珍稀鱼类	省级	419	岷江-青衣江	国家、省级保护鱼类 9 种
百里峡水生野生动物	省级	26 260	嘉陵江	
太白清水河	国家级	5343	汉江	大鲵、水獭、秦岭细鳞鲑、川陕哲罗鲑、多鳞铲颌鱼
诺水河珍稀水生动物	国家级	18 500	嘉陵江-渠江	大鲵、水獭及四川 7 种省级重点保护鱼类
文县白龙江大鲵	省级	20 308	嘉陵江	大鲵及其生境
略阳大鲵	省级	5600	嘉陵江	大鲵及其生境
乌江彭水长溪河鱼类	省级	83	乌江支流	鲈鲤、岩原鲤、中华倒刺鲃、白甲鱼、大鲵等
宝兴河珍稀鱼类	市级	528	岷江-青衣江	省级重点保护鱼类 7 种、特有鱼类两种
曲河	市级	43 000	岷江-大渡河	达尼、鲈鲤
重庆北碚胭脂鱼	市级	676	嘉陵江干流	胭脂鱼

资料来源：徐薇等 2013。

附表 12 长江上游国家级水产种质资源保护区

保护区名称	总面积/hm ²	所属水系	保护对象
长江重庆段四大家鱼	12 310	长江干流	四大家鱼
嘉陵江合川段	2789	嘉陵江干流	南方大口鲶
大通江河岩原鲤	980	嘉陵江一渠江	岩原鲤、中华鳖、华鲮等
郫江黄颡鱼	520	嘉陵江一涪江	黄颡鱼、鳊、中华鳖
渠江黄颡鱼白甲鱼	1299	渠江干流	黄颡鱼、白甲鱼
嘉陵江岩原鲤中华倒刺鲃	1400	嘉陵江干流	岩原鲤、中华倒刺鲃
梓江	800	涪江水系	鳊、黄颡鱼、中华倒刺鲃
仪陇河特有鱼类	977	嘉陵江一渠江	中华鳖、乌龟
濛溪河特有鱼类	232	沱江支流	南方大口鲶
龙潭河特有鱼类	701	渠江一中河	中华裂腹鱼、重口裂腹鱼、中华纹胸鮡、白缘尖、黑尾尖、大鲃
巴河特有鱼类	650	渠江一巴河	岩原鲤、中华鳖、南方大口鲶、鳊、黄颡鱼、中华倒刺鲃、白甲鱼、华鲮
嘉陵江南部段	5996	嘉陵江干流	中华倒刺鲃、黄颡鱼、南方大口鲶、四川白甲鱼
构溪河特有鱼类	1420	嘉陵江支流	中华倒刺鲃、四川白甲鱼、中华鳖、鳊、南方大口鲶、黄颡鱼
后河特有鱼类	840	渠江一后河	岩原鲤、南方大口鲶、黄颡鱼、华鲮、中华鳖、中华倒刺鲃
通河特有鱼类	1970	渠江支流	中华倒刺鲃、华鲮
嘉陵江源特有鱼类	2235	嘉陵江干流	鲮
玛柯河重口裂腹鱼	542	岷江一大渡河	重口裂腹鱼
白水江重口裂腹	22 256	嘉陵江支流	重口裂腹鱼
水宁河特有鱼类	5580	嘉陵江支流	重口裂腹鱼
白龙江特有鱼类	8979	嘉陵江支流	重口裂腹鱼、骨唇黄河鱼
白水江特有鱼类	213	金沙江一横江	大鲃
滇池	1865	金沙江支流	滇池金线鲃
汉江西乡		汉江	黄颡鱼、齐口裂腹鱼、鲤、细鳞斜颌鲷、翘嘴红鲌、鲇、乌鳢、大鲃、鳊、三角鲂、大鳍鱬、大眼鲃

资料来源：徐薇等 2013。