

doi: 10.7541/2019.176

## 水电开发背景下长江上游流域鱼类保护现状与规划

林鹏程<sup>1</sup> 王春伶<sup>1</sup> 刘飞<sup>1</sup> 刘猛<sup>2</sup> 刘焕章<sup>1</sup> 王小明<sup>3</sup> 于江<sup>3</sup> 朱昕<sup>3</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 成都 610072; 3. 中国三峡建设管理有限公司, 成都 610041)

**摘要:** 长江上游地区集中了长江流域近90%的水能资源, 梯级开发和河道渠化导致河流原有生境破碎化、鱼类多样性丧失, 水电开发与生态保护之间的矛盾日益突出。文章系统收集了长江上游流域水生生物自然保护区、水产种质资源保护区和水电梯级开发现状资料并矢量化。在此基础上, 结合流域鱼类多样性特点, 分析了当前水电开发背景下长江上游鱼类资源变化以及保护区建设与管理存在的主要问题, 提出了开展保护区普查和管理效果评估、优化空间布局, 实施鱼类关键栖息地生态修复, 实施上游濒危特有鱼类拯救行动计划, 建立生态补偿机制, 强化科研监测和基础研究等建议, 为长江上游水电开发和流域生态保护的协调发展提供了科学依据。

**关键词:** 长江上游流域; 珍稀、特有鱼类; 空间分析; 保护空缺; 生态修复

**中图分类号:** S937.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3207(2019)增-0130-14

自然的水文节律是河流生态系统基本的环境条件, 决定并影响着河流生态系统的能量过程、物质循环、物理栖息地状况以及生物之间相互作用等各方面<sup>[1, 2]</sup>。河流生态系统一方面为人类社会的发展提供重要的服务功能, 包括淡水供应、水能提供、物质生产、生物多样性的维持、休闲娱乐、文化美学、环境净化、灾害调节等<sup>[3, 4]</sup>, 一方面又接受着人类活动的改造。为更加有效地利用水资源, 人类在河流上修建了大量的水库、大坝、引水工程等, 目前全世界已建成的大型水坝(坝高大于15 m, 或者坝高为5—15 m但库容大于 $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的水坝)有近60000座, 正在规划或建造的大于1 MW的大坝超过3700座<sup>[5-7]</sup>。这些工程在满足供水、发电、航运、灌溉等经济效益的同时, 显著改变了天然河流的水文情势, 进而导致河道径流量减少、水环境质量恶化、生物多样性丧失、湿地萎缩等一系列的生态环境问题<sup>[8-11]</sup>。研究表明, 受大坝建设

等人为影响, 在全世界长度超过1000 km的246条河流中, 仅有37%的河流能自由流动; 在91条长度超过1000 km的入海河流中, 仅21条还能保持从源头到海洋的贯通<sup>[6]</sup>。

长江上游是我国以及全流域水电开发相对集中的地区, 长江上游规划将建417座大、中型水电站。宜宾以上干流总计有31座水电站, 总库容 $1267.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 装机容量 $8854.85 \times 10^4 \text{ km}$ , 占上游干流技术可开发总量的77.3%<sup>[12]</sup>。同时, 由于独特、多样的地理环境和复杂的气候条件, 包括金沙江流域、长江上游干流及支流雅砻江流域、岷江流域、嘉陵江流域和乌江流域在内的长江上游横跨第一、二级阶梯, 形成了以亚热带为基带的暖温带、温带、寒温带和寒带的垂直立体气候特征<sup>[13, 14]</sup>。流域内野生动植物资源十分丰富, 是我国重要的生物资源宝库、物种资源宝库和基因宝库, 他是生物多样性保护关键区域<sup>[15-17]</sup>。以鱼类为代表的水生

收稿日期: 2018-10-09; 修订日期: 2019-08-05

基金项目: 三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室开放课题; 中国科学院特色研究所项目(支撑长江经济带可持续发展的生态环境保护战略对策研究); 三峡工程后续工作(2136902); 中国生物多样性监测与研究网络-内陆水体鱼类多样性监测专项网资助 [Supported by the Open Project of Hubei Key Laboratory of Three Gorges Project for Conservation of Fishes; the Programme for Feature Institutes of Chinese Academy of Sciences (the Strategic Countermeasures of Ecological and Environmental Protection in Supporting Sustainable Development of the Yangtze Economic Belt); the Follow-up Work of the Three Gorges Project (2136902); Sino BON-Inland Water Fish Diversity Observation Network]

作者简介: 林鹏程(1985—), 男, 湖北麻城人; 博士, 助理研究员; 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: linpc@ihb.ac.cn

通信作者: 刘焕章(1966—), 男, 研究员; 主要从事进化生物学和保护生物学研究。E-mail: hzliu@ihb.ac.cn

生物对河流或高原湖泊生境有高度的适应性和强烈的依赖性,是长江上游水域生态系统的代表类群,也是上游生物多样性的主要保护对象<sup>[18]</sup>。

随着长江上游梯级水电的逐级推进,河流生态系统正在受到越来越多的干扰和破坏,由此导致的生态环境问题日益凸显。针对长江生态的突出问题,习近平总书记明确提出: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。因此,在生态文明建设的实践中,如何协调水电开发和鱼类多样性保护之间的矛盾,实现水电可持续发展和物种的永续繁衍,是需要认真探讨的课题<sup>[18]</sup>。

## 1 数据与分析

### 1.1 长江上游流域水电开发现状

通过查阅文献资料及Google Earth近期卫星图片,结合主要河流水电规划环境影响报告书以及各级政府对环境影响报告书的批复,建立了长江上游干流及主要支流水梯级数据集。

### 1.2 长江上游鱼类多样性现状

长江上游鱼类组成由研究团队多年来的监测数据、正式发表的鱼类专著<sup>[19-26]</sup>以及近年来发表的研究论文<sup>[27-45]</sup>综合整理得到。对于容易引起争议的物种暂不收录。在此基础上,基于以下原则确定长江上游重点保护(受胁)鱼类:(1)各省级、国家级重点保护野生动物名录<sup>[46-49]</sup>;(2)长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区主要保护对象<sup>[24]</sup>;(3)中国生物多样性红色名录(2015)中近危以上等级的鱼类<sup>[50-52]</sup>。

### 1.3 长江上游流域水生生物保护区

湿地自然保护区的信息源自国家生态环境部《全国自然保护区名录(截止2015年底)》(<http://dflz.mep.gov.cn/stbh/zrbhq/qgzrbhqml/>)。在此基础上,筛选出长江上游流域所有以保护湿地生态系统或水生生物的自然保护区,并结合2017率先全面禁捕的长江流域水生生物保护区名录,对长江上游保护区数据集进行补充完善,然后根据农业部公布的功能区划进行矢量化。同时,以二级子流域为单元,从水生生物保护区数量、密度和级别等方面分析保护区的现状。

## 2 结果与讨论

### 2.1 长江上游流域水电开发现状

长江上游流域主要河流(金沙江、长江上游干流、雅砻江、大渡河、岷江、嘉陵江和乌江)共规划有梯级电站127座。其中金沙江上游规划10级,金沙江中下游规划14级;雅砻江干流规划22级;岷江干流都江堰以上规划10级,岷江中下游规划12级;大渡河干流规划29级;乌江干流规划12级,嘉陵江广元以下干流规划16级。其中,嘉陵江和乌江干流全部梯级已基本实施。其他支流梯级建设呈向规划河段上游(金沙江上游、雅砻江和大渡河中上游)推进的趋势。空间上,目前仅长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区及邻近水域未有水坝建设(图1)。

梯级电站实施产生的最显著影响就是将原本自然流淌的河流变成静水或缓流的水库群,流水生活鱼类的适宜栖息地和产卵场大幅缩减。在三峡

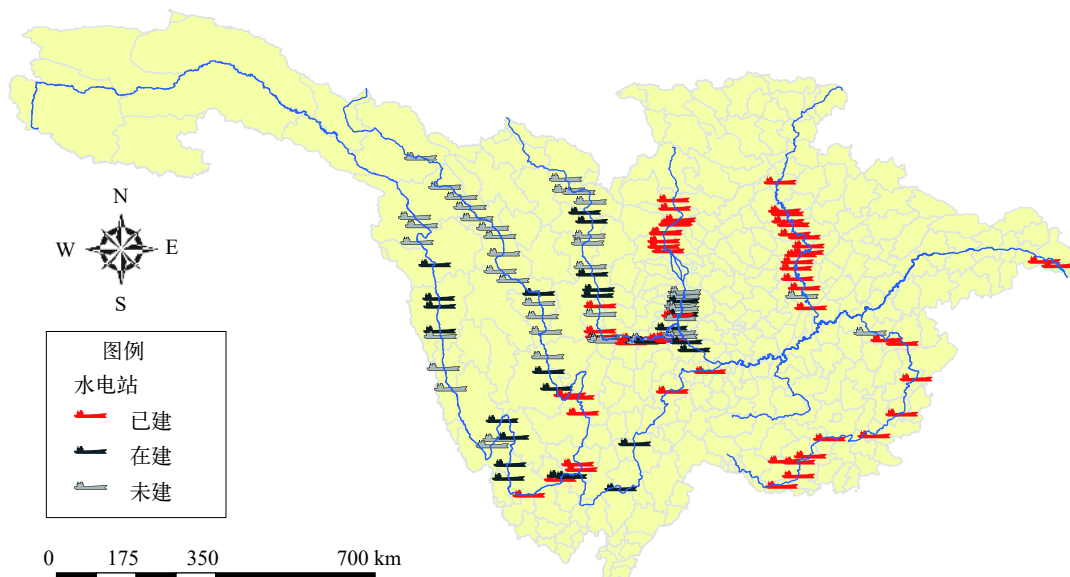


图1 长江上游流域主要河流梯级开发分布示意图

Fig. 1 Distribution of planned cascade dams in the upper Yangtze River basin

水库蓄水以后,坝址上游约660 km江段的流水环境变成缓流环境,特有鱼类和喜流水环境的鱼类因不适应库区的环境而成为偶见种,喜静水和缓流环境的鱼类成为库区的优势种类<sup>[53, 54]</sup>。在金沙江下游梯级工程实施后,乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝水电站的库区长度将占规划河段总长的93.6%。当上游干流24个梯级全部开发完成后,激流生境长度将会锐减到干流总长度的5%以下。此外,《长江经济带生态环境保护审计结果公告》显示,截至2017年底,10省已建成小水电站2.41万座,333条河流出现不同程度的断流,断流河段总长1017 km。可见,长江上游水电开发导致水生生物适宜栖息地损失严重<sup>[55]</sup>(图2)。

## 2.2 长江上游流域鱼类多样性及受胁现状

长江上游流域(含湖泊)共分布有286种(亚种)鱼类,隶属于10目23科121属。其中,长江上游特有鱼类有126种,占长江上游鱼类总数的44.1%。在此基础上,整理出长江上游受胁鱼类74种,其中长江上游特有鱼类有55种。被列入国家 I 级重点

保护动物的有中华鲟(*Acipenser sinensis*)、长江鲟(*Acipenser dabryanus*)、白鲟(*Psephurus gladius*);国家 II 级重点保护动物有胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)、滇池金线鲃(*Sinocyclocheilus grahami*)、川陕哲罗鲑(*Hucho bleekeri*)、秦岭细鳞鲑(*Brachymystax lenok tsinlingensis*);列入省级重点保护动物名录的有43种。

### 受胁鱼类濒危程度加剧、适宜生境严重缩减

长江鲟为我国特有物种,主要分布于金沙江下游和长江中上游干流及各大支流,其中以长江干流四川宜宾至合江江段资源量最大。20世纪后期,长江鲟的资源量急剧下降。据统计,1984—1993年长江上游泸州段误捕长江鲟124尾;1994—1996年长江上游宜宾江段误捕27尾;2006—2010年在长江上游监测到39尾;2010—2012年中国水产科学研究院长江水产研究所分别在宜宾、重庆(江津)、泸州监测到长江鲟29尾、17尾和35尾,后经鉴定全部为放流个体,野生个体未被发现<sup>[56]</sup>。

川陕哲罗鲑是青藏高原地区唯一的大型土著



图2 长江上游支流电站及坝下河段生境

Fig. 2 Hydropower dams in the tributaries of the upper Yangtze River and habitats downstream of dams

a. 西溪河洛古水电站; b. 西溪河洛古水电站坝下河段; c. 龙川江江边乡河段; 拍摄时间: 2019年4月

a. Luogu Dam on Xixi River, Sichuan; b. Downstream of Luogu Dam on Xixi River, Sichuan; c. Jiangbian Reach of Longchuan River, Yunnan. Photos were taken on April, 2019

鲑科鱼类, 为国家 II 级保护鱼类, 被中国濒危动物红皮书列为濒危等级。历史上, 川陕哲罗鲑曾分布整个大渡河水系。受生境改变等多种因素影响, 其适宜栖息地和分布范围不断缩小。随着大渡河流域水电开发的全面推进, 1990—2000年, 川陕哲罗鲑仅见于大渡河上游干流脚木足乡以上河段(包括麻尔曲和玛柯河)以及支流则曲、阿柯河和茶堡河汇口。2000—2012年, 川陕哲罗鲑分布区进一步缩小至脚木足河干流茶堡河汇口至柯河乡附近长约 150 km 的河段, 特别是马尔康县日部乡附近至垮沙乡以下河段, 支流则仅有则曲和茶堡河河口(图 3)。大渡河川陕哲罗鲑栖息地损失率高达 91.4%<sup>[57, 58]</sup>。大渡河上游水电工程的逐级实施可能成为压垮川陕哲罗鲑的最后一根稻草。

**流水性鱼类资源持续减少** 圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、铜鱼(*Coreius heterokon*)曾是长江上游干流江段的重要经济鱼类, 在库区渔获物中的比重高达 70.0%<sup>[19]</sup>。然而, 随着三峡工程的建设

及运行, 圆口铜鱼等喜急流性鱼类的适宜栖息地大面积压缩, 种群数量急剧下降。1997—2000年, 万州江段两种铜鱼仅占渔获总量的 17%<sup>[59, 60]</sup>。在三峡水库 175 m 试验性蓄水后, 万州江段两种铜鱼在渔获物中的比重已不足 5.0%, 圆口铜鱼已成为江段的偶见种<sup>[54]</sup>(图 4)。

雅砻江水系的土著鱼类多数适应河流流水环境, 98 种鱼类中的 75 种为适应急流环境的种类, 鱼类种类组成以裂腹鱼类、高原鳅类等适应急流生境类群为主; 在二滩水库形成后, 适应急流生境的土著鱼类被迫迁移至水库库尾和支流中, 库区土著鱼类的资源量显著下降, 裂腹鱼类的重量百分比由建库前的 71.9% 下降至建库后的 16.0%<sup>[61]</sup>(图 5)。

**产漂流性卵鱼类繁殖规模急剧下降** 圆口铜鱼、长鳍吻鲈(*Rhinogobio ventralis*)、长薄鳅(*Leptobotia elongata*)等长江上游特有鱼类产漂流性卵, 产卵场主要位于金沙江中下游至乌东德江段, 初孵仔鱼在自然流态的河段一般需要被动漂流

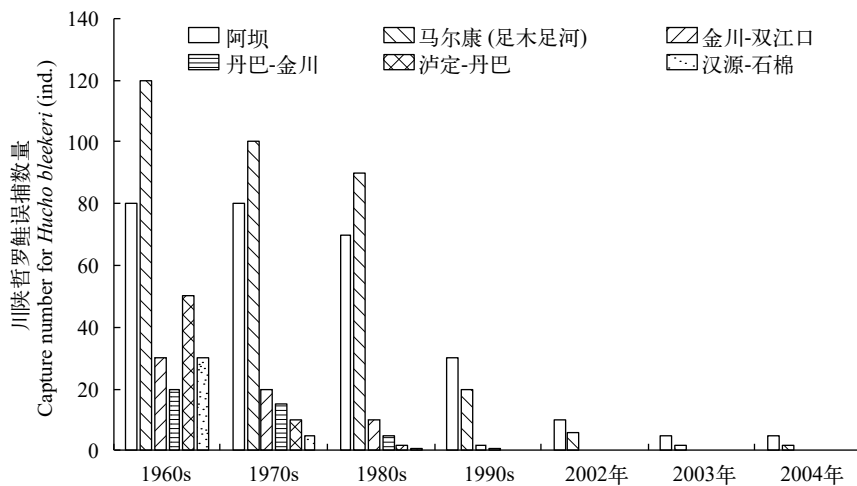


图 3 大渡河不同河段川陕哲罗鲑误捕数量的历史变动(根据文献[57]绘制)

Fig. 3 Historical changes of the capture number for *Hucho bleekeri* in the Dadu River Basin (Data from reference [57])

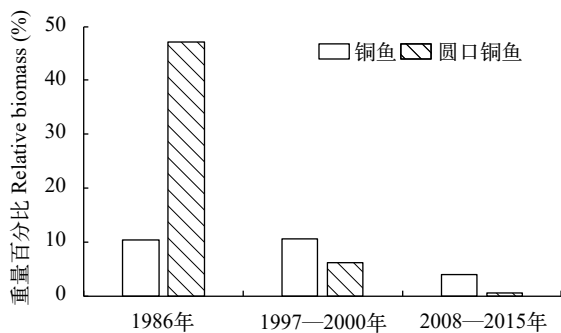


图 4 三峡库区万州江段不同时期铜鱼和圆口铜鱼的相对丰度(根据文献[54]、[59]和[60])

Fig. 4 Temporal variation in the relative abundance of *Coreius heterokon* and *Coreius guichenoti* in Wanzhou reach of the Three Gorges Reservoir (Data from reference [54], [59] and [60])

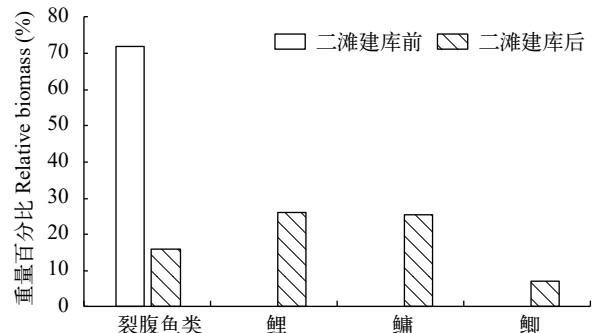


图 5 雅砻江二滩库区建成前后鱼类资源变化(根据文献[61]绘制)

Fig. 5 Changes of the fish composition before and after the completion of Ertan Reservoir in the Yalong River (Data from reference [61])

600—700 km<sup>[18, 62]</sup>。随着金沙江中游、雅砻江干流梯级电站的逐步实施,圆口铜鱼原有部分产卵场因蓄水淹没消失,圆口铜鱼早期资源量急剧下降。监测结果显示,2013年金沙江中游圆口铜鱼早期资源量仅为2006年的1.4%<sup>[63, 64]</sup>。同样,金沙江下游溪洛渡、向家坝等梯级的开发进一步阻隔了圆口铜鱼卵苗资源的下行漂流,影响了对长江上游资源的补充。2008年向家坝水电站截流前长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区的圆口铜鱼早期资源补充量为 $2.12 \times 10^8$ 粒(尾);2010—2012年,圆口铜鱼早期资源补充量分别为 $1.65 \times 10^8$ 、 $1.61 \times 10^8$ 和 $0.82 \times 10^8$ 粒(尾),呈下降趋势;2013年无早期资源补充<sup>[65]</sup>(图6)。

### 2.3 长江上游流域水生生物保护区现状与保护空缺

结果显示,长江上游流域共建立有不同类型、级别的水生生物保护区130个,含自然保护区61个,总面积169717.1 km<sup>2</sup>;水产种质资源保护区69个,总面积1298.8 km<sup>2</sup>。在流域各级别水生生物自然保护区中,国家级自然保护区的数量占9.8%,省级自然保护区占36.1%,市县级自然保护区占54.1%。从级别结构来看,县级自然保护区数量较多,而国家级自然保护区数量较少(图7)。

**主要保护对象** 从保护对象看,长江上游流域水生生物保护区主要鱼类保护对象共64种。自然保护区主要保护对象为白鲟、达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)、胭脂鱼、川陕哲罗鲑、秦岭细鳞鲑、长薄鳅、中华裂腹鱼(*Schizothorax sinensis*)、宝兴裸裂尻鱼(*Schizopygopsis baoxingensis*)、重口裂腹

鱼(*Schizothorax davidi*)等珍稀特有鱼类,占长江上游水生生物自然保护区总数的21.3%;水产种质资源保护区的主要保护对象为黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、南方鲇(*Silurus meridionalis*)、重口裂

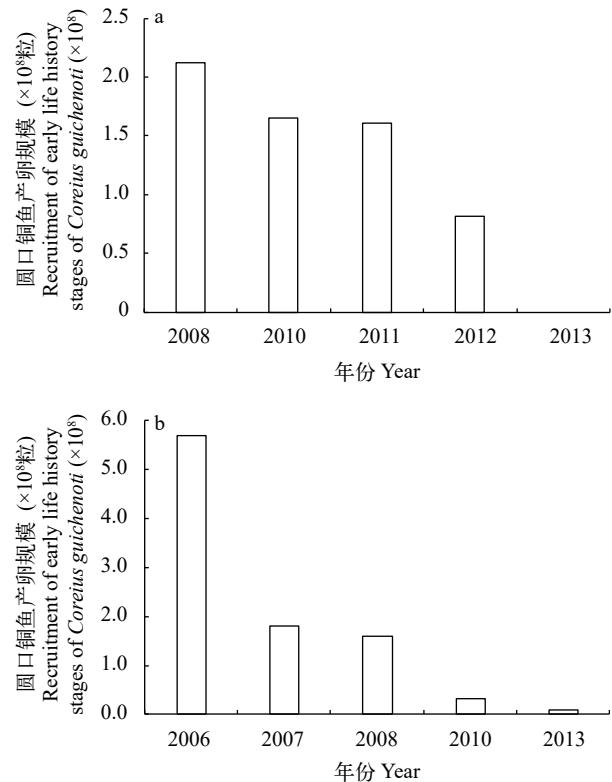


图6 金沙江中游(a)和下游(b)圆口铜鱼产量规模的年际变化(根据文献[63—65]绘制)

Fig. 6 Interannual variation of the total number of eggs of *Coreius guichenoti* in the middle (a) and lower (b) reaches of the Jinsha River (Data from reference [63—65])

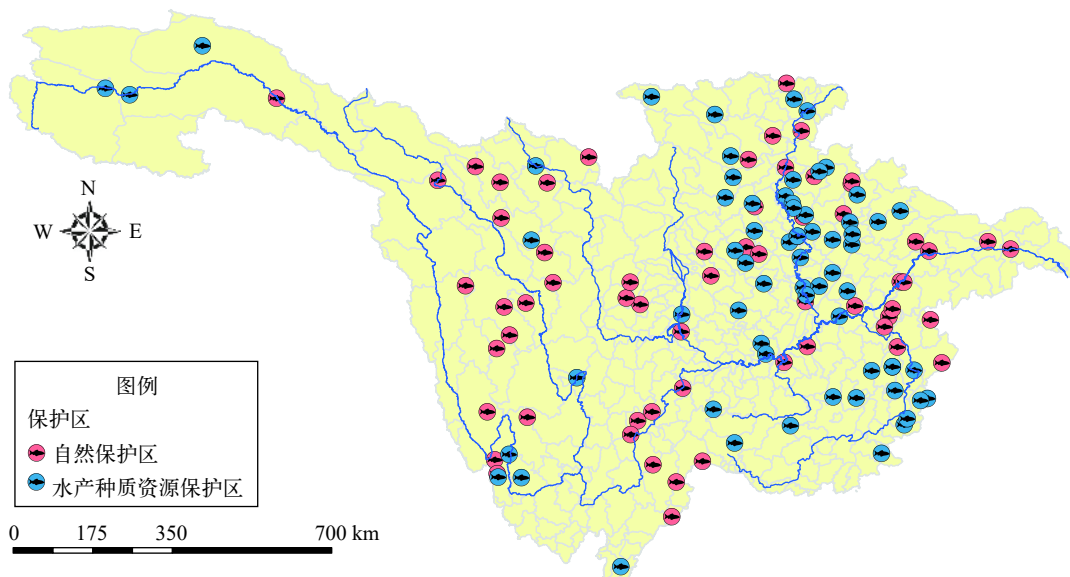


图7 长江上游流域水生生物保护区分布

Fig. 7 Distribution of the aquatic reserves in the upper Yangtze River basin

腹鱼、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)、岩原鲤(*Procypris rabaudi*)、中华裂腹鱼、齐口裂腹鱼(*Schizothorax davidi*)等经济鱼类。

从主要保护对象的出现频次看, 频次最高的种类有黄颡鱼(19次)、南方鲇(14次)、重口裂腹鱼(13次)、中华倒刺鲃(12次)等。而中华鲟、白鲟、川陕哲罗鲑等保护鱼类出现频次仅为1次, 圆口铜鱼、长鳍吻鲈、长须裂腹鱼(*Schizothorax longibarbus*)、小鲤(*Cyprinus micristius micristius*)、邛海鲤(*Cyprinus qionghaiensis*)、长须鲢(*Leiocassis longibarbus*)、中臀拟鲢(*Pseudobagrus medianalis*)、昆明鲇(*Silurus mento*)等64种(含长江上游各省市保护动物30种)未被列入自然保护区或国家级水产种质资源保护区的主要保护对象(图8)。

**空间分布** 从空间布局上看, 长江上游流域水生生物保护区形成“东多、西少; 北多, 南少”的局面。在各子流域中, 嘉陵江流域水生生物保护区数量最多, 含14个自然保护区, 39个水产种质资源保护区(图9)。

结合鱼类分布特点, 金沙江中下游干流、雅砻江及大渡河干流是多种珍稀特有鱼类完成生活史

过程最为关键的水域, 如金沙江中下游干流是圆口铜鱼、长鳍吻鲈、长薄鳅等多种产漂流性卵长江上游特有鱼类主要的产卵场, 大渡河中上游是国家Ⅱ级保护鱼类川陕哲罗鲑的重要栖息地。同时, 这些区域水电梯级开发也最为密集。此外, 金沙江中游分布有多个附属湖泊, 这些水域多为狭域分布物种如中甸叶须鱼(*Ptychobarbus chungtienensis*)的分布区。然而, 目前除雅砻江中游设立有雅砻江鲈鲤长丝裂腹鱼省级水产种质资源保护区外, 上述区域没有设立针对性的鱼类保护区。

**保护区管理** 在保护区管理方面, 长江上游水生生物保护区的主管部门主要为国家林业局、农业部、生态环境部及其下属机构等。以自然保护区为例, 林业局主管的自然保护区数量最多, 占自然保护区总数的65.6%, 其次为农业部(27.9%)和生态环境部(6.6%)。在各子流域中, 在川江流域, 生态环境部主管的自然保护区最多, 而金沙江中下游及嘉陵江流域均以林业局主管的自然保护区占主要地位, 且基本每个子流域中都有林业局、农业部和生态环境部主管的自然保护区。综合可知, 长江上游水生生物保护区的管理存在的主要问题表现

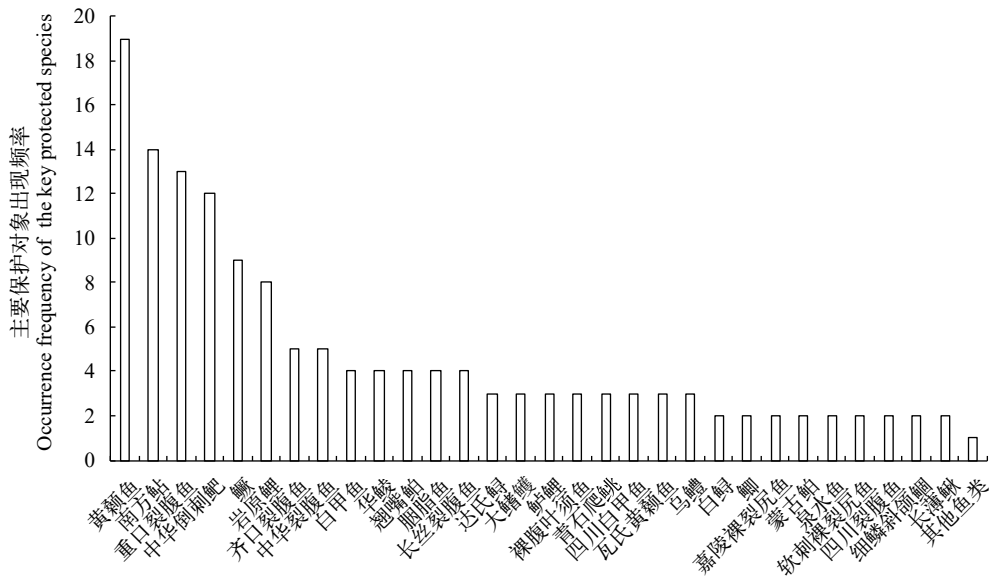


图8 长江上游水生生物保护区主要保护对象中鱼类物种出现的频率

Fig. 8 Occurrence frequency of the key protected species of the aquatic reserves in the upper Yangtze River

其他鱼类包括中华鲟、秦岭细鳞鲑、川陕哲罗鲑、鱖、程海白鱼、程海红鲃、厚颌鲂、唇鱼骨、滇池金线鲃、多鳞白甲、小口白甲、秀丽高原鳅、厚唇裸重唇鱼、昆明裂腹鱼、小裂腹鱼、异唇裂腹鱼、隐鳞裂腹鱼、宝兴裸裂尻鱼、硬刺松潘裸鲤、鲃、长吻鮠、白缘鲃、黑尾鲃、中华纹胸鲃、黄石爬鲃、青鱼、草鱼、鲢、鳙、鲤等

Other fish species included *Acipenser sinensis*, *Brachymystax lenok tsinlingensis*, *Hucho bleekeri*, *Elopichthys bambusa*, *Anabarilius liui liui*, *Megalobrama Pellegrini*, *Hemibarbus labeo*, *Sinocyclocheilus grahami*, *Anabarilius polylepis*, *Onychostoma angustistomata*, *Triplophysa venusta*, *Gymnodiptychus pachycheilus*, *Schizothorax graham*, *Schizothorax parvus*, *Schizothorax heterochilus*, *Schizothorax cryptolepis*, *Schizopygopsis baoxingensis*, *Gymnocypris potanini firmispinatus*, *Silurus asotus*, *Leiocassis longibarbus*, *Liobagrus marginatus*, *Liobagrus nigricauda*, *Glyptothorax sinensis*, *Euchiloglanis kishinouyei*, *Mylopharyngodon piceus*, *Ctenopharyngodon idellus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, *Cyprinus carpio*, et al.

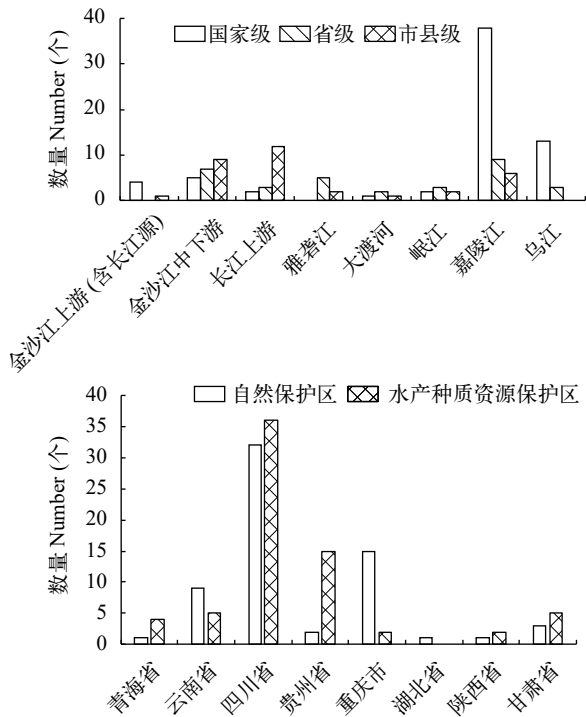


图9 长江上游流域水生生物保护区数量分布

Fig. 9 Number of the aquatic reserves in the main tributaries of the upper Yangtze River basin

为,同一子流域中的自然保护区分属不同的部门管理,由于各部门的管理职责及资源保护对象与理念不同,产生了管理权属不清、职能交叉、保护缺乏系统性完整性、执法力量分散单薄等问题。特别是空间邻近的自然保护区,如嘉陵江流域中诺水河自然保护区与诺水河大鲵自然保护区分别由生态环境部与农业部主管,这也将严重影响邻近自然保护区之间的协调发展。由于受管理体制和投入机制的制约,大部分位于水产种质资源保护区的物种仅处于简单看护的低水平管理阶段,大部分未围绕保护对象开展针对性的监测和评价工作。

#### 2.4 长江上游鱼类保护建议

随着生态文明建设、“绿水青山就是金山银山”的“两山理论”的深入贯彻及国家公园的试点建设<sup>[66]</sup>,我们提出了长江上游水电开发背景下鱼类多样性保护的相关建议。

**科学开展保护区普查和管理效果评估,优化空间布局** 2018年4月26日,习近平总书记在深入推动长江经济带发展座谈会上指出,坚持共抓大保护、不搞大开发,加强改革创新、战略统筹、规划引导。在各项水生态保护措施中,保护区作为生物多样性及其生境保护的重要途径之一,也是当前最有效可行的就地保护手段<sup>[67,68]</sup>。

针对长江上游保护区保护对象覆盖不全面,地

理分布不均衡的现状,应从流域的整体性视角出发,新建、提升一批保护区。对三江源国家公园长江源区、雅砻江河源区等区域的河流生态系统及其生物多样性实行集中统一管理,加强小头高原鱼(*Herzensteinia microcephalus*)、长丝裂腹鱼(*Schizothorax dolichonema*)、黄石爬鮡(*Euchiloglanis kishinouyei*)等重要物种及其栖息地的保护;在金沙江干支流流水河段(如水洛河、黑水河)及附属高原湖泊设立保护区,保护青石爬鮡(*Euchiloglanis davidi*)、黄石爬鮡、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼(*Schizothorax kozlovi*)、圆口铜鱼、长鳍吻鲈、中甸叶须鱼、程海白鱼等重要物种。在大渡河河源区和嘉陵江河源区设立保护区,重点保护川陕哲罗鲑、秦岭细鳞鲑、中华裂腹鱼等重要物种。作为长江上游干流唯一的国家级鱼类保护区,应进一步加强长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区的保护。

针对主要保护对象重复性较高的情况,建议从地理种群遗传多样性和系统保护规划的角度,统筹考虑保护区大小、连通性、边界长度以及建立保护区所需的经济和社会成本,重新评估其合理性<sup>[69,70]</sup>。在有必要的情况下,调整、清退一些作用不大的保护区。以嘉陵江为例,流域内建立有多个水生生物保护区,且多数分布于涪江和渠江流域。数据显示,涪江射洪至遂宁139 km河段共规划有12个梯级,目前已(在)建11个;渠江达州至合川360 km河段共规划有7个梯级,目前除第4级风洞子航电枢纽尚未建成外,其余梯级均已建成。规划河段涉及涪江水系的鄧江黄颡鱼国家级水产种质资源保护区、凯江国家级水产种质资源保护区和琼江翘嘴红鲌省级水产种质资源保护区以及渠江水系的巴河岩原鲤华鲮国家级水产种质资源保护区、渠江黄颡鱼白甲鱼国家级水产种质资源保护区、渠江岳池段长薄鳅大鳍鱈国家级水产种质资源保护区等保护区。在此情况下,保护区是否维持了一定种群数量的保护对象?是否对区域鱼类多样性的维持达到了预期的效果?这些均需要开展相关的评价工作。

同时,针对保护区管理体系分散的问题,建议对水产种质资源保护区、自然保护小区、湿地保护区等各类保护地开展综合评价,按照保护区区域的自然属性、生态价值和管理目标进行梳理调整和归类,建立保护区的分类管理体系和统一负责各类保护区的行政监管;在确保自然生态系统结构和功能完整性的原则下,整合交叉重叠的自然保护地、合并优化相邻的自然保护地,打破保护地管理分割、保护地破碎和孤岛化局面,实现“一个保护地、一套机构、一块牌子”;对于整合划建国家公

园的区域,不再保留或设立其他自然保护地类型<sup>[71]</sup>。

**实施鱼类关键栖息地生态修复工程** 在鱼类生活史过程中,对摄食、生长、发育和繁殖起着关键作用的高质量生境往往成为水域生态学和鱼类保护的关注点<sup>[72]</sup>。这样的生境被称为鱼类关键栖息地(Essential fish habitat)<sup>[73]</sup>。在长江上游积极开展包括水质、水文情势、连通性、栖息地和生物组成等关键生态要素的综合修复,提高生境适宜性和容纳量,有助于鱼类多样性的恢复和资源增殖<sup>[74]</sup>。主要措施包括:(1)主要支流通性恢复。长江上游主要支流修建的梯级和众多无序建设的引水式小电站,使得工程下游河段脱水严重,水域生态系统遭到严重损害,鱼类的产卵场和栖息地减少或消失,水生生物多样性下降。多数已建的引水式电站对生态环境的破坏所造成的损失远大于发电的收益。在《长江经济带小水电无序开发环境影响评价管理专项清理整顿工作方案》文件精神指导下,应结合流域淡水生态系统保护优先区的划定,积极开展水洛河、安宁河、青衣江、赤水河主要支流桐梓河连通性恢复工程。经过科学论证,有序拆除这些支流中的拦水坝和挡水建筑物,恢复河流的自然流态和自然水文节律,为一些喜流水性的长江上游珍稀特有鱼类提供理想的栖息环境。(2)对重要鱼类的三场实施生态修复工程。针对长江上游珍稀特有鱼类生活史特征,对潜在产卵场的河床地形、河床质改良或修缮,改善潜在产卵场的流场、河床质等条件,扩大自然产卵场繁殖容量,提高自然繁殖规模和效果。对仍具有功能的产卵场应加强保护,减少各种人类活动的干扰。通过河床底部环境、饵料生物等生态修复,改善索饵场生态环境,提高仔幼鱼的成活率。

**实施长江上游濒危特有鱼类拯救行动计划** 积极开展受水电工程影响较大的长江上游特有鱼类,如圆口铜鱼、长鳍吻鲟等物种拯救行动计划。(1)针对达氏鲟、川陕哲罗鲑、圆口铜鱼、长鳍吻鲟等重要物种栖息地保护恢复存在的突出问题,开展系统研究,精准识别上述物种的关键栖息地,在保护、恢复和监测技术等方面,系统研发“关键栖息地-生态红线”保护技术,构建保护网络,建立起结构完整、功能稳定的关键栖息地保护格局;(2)突破人工繁殖瓶颈,制定以自然种群恢复为核心,栖息地保护和修复、人工增殖放流及原种保存等多途径结合的行动方案,实现优先保护物种的规模化增殖;(3)减缓并扭转川陕哲罗鲑等物种极小种群的濒危趋势,推进大渡河上游川陕哲罗鲑等特殊鱼类保护区的建立,开展人工繁殖群体的野外驯化与种

群复壮实验。

**建立有效的生态补偿机制** 生态补偿机制就是通过财政支付转移等综合性手段解决流域上下游发展权不平等、生态经济利益不平衡、生态资产配置不合理等问题的一种机制<sup>[75]</sup>。

长江上游水电开发在对社会经济发展带来一定经济效益的同时,也会导致河流生态系统服务功能受损,如水生动物的栖息环境恶化、珍稀濒危物种丧失、河流水文条件改变、水库淤积等。因此,需按照“谁污染、谁治理,谁破坏、谁恢复,谁受益、谁补偿”的原则,建立流域性的生态补偿机制,科学界定补偿范围、补偿主体与对象、补偿方式、补偿标准、补偿资金来源、管理与分配、机制实施的保障措施等要素;建立地区间横向生态保护补偿机制,引导生态受益地区与保护地区之间、流域上游与下游之间的多途径补偿方式。结合深化财税体制改革,完善转移支付制度,归并和规范现有生态保护补偿渠道<sup>[76,77]</sup>。

另一方面,保护区的建立保护了水域生态系统完整性,尤其是对珍稀特有鱼类的保护。同时,依据保护区管理规定,沿岸居民不得在保护区内从事有损保护功能的生产建设活动,这就会对当地的经济社会发展带来一定的影响。因保护区建设使经济发展受到影响的地区,也应给予生态补偿,加大转移支付力度<sup>[18]</sup>,跟踪评估生态补偿措施落实情况。

**强化科研监测和基础研究** 2015年《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》提出,“对自然资源和生态环境保护状况开展全天候监测,健全覆盖所有资源环境要素的监测网络体系”、“定期开展全国生态状况调查和评估”等。对于长江上游而言,流域内水生生物资源丰富,但是大部分种类的生物学和生态学信息依然缺乏,以至于无法准确评估其分布、资源现状和栖息环境的质量,从而限制了相关保护工作的有效推进。因此,建议强化科研监测和基础研究,建立覆盖全流域和所有环境要素的监测网络体系,重点关注长江上游水电梯级开发造成的水温和径流过程等环境要素的变化对鱼类等水生生物造成的影响;在赤水河建立国家级的河流生态观测站,研究自然河流鱼类多样性形成及演变,为长江上游水域生态系统的适应性管理和水电工程影响河段的生态修复提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] Chen J. Characteristics of the Yangtze River ecosystem [J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2015, 32(6): 1—6 [陈进. 长江生态系统特征分析. 长江

- 科学院院报, 2015, **32**(6): 1—6]
- [2] Guo W X, Li Y, Wang H X, *et al.* Assessment of eco-hydrological regime of lower reaches of Three Gorges Reservoir based on IHA-RVA [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, **27**(9): 2014—2021 [郭文献, 李越, 王鸿翔, 等. 基于IHA-RVA法三峡水库下游河流生态水文情势评价. 长江流域资源与环境, 2018, **27**(9): 2014—2021]
- [3] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, **387**(6630): 253—260
- [4] Wang G, Fang Q, Zhang L, *et al.* Valuing the effects of hydropower development on watershed ecosystem services: Case studies in the Jiulong River Watershed, Fujian Province, China [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, **86**(3): 363—368
- [5] Zarfl C, Lumsdon A E, Berlekamp J, *et al.* A global boom in hydropower dam construction [J]. *Aquatic Sciences*, 2015, **77**(1): 161—170
- [6] Grill G, Lehner B, Thieme M, *et al.* Mapping the world's free-flowing rivers [J]. *Nature*, 2019, **569**(7755): 215—221
- [7] International Commission on Large Dams (ICOLD). [https://www.icold-cigb.org/GB/world\\_register/general\\_synthesis.asp](https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp). 2019
- [8] Dudgeon D, Arthington A H, Gessner M O, *et al.* Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges [J]. *Biological Reviews*, 2005, **81**(2): 163—182
- [9] Chang J B, Chen Y B, Gao Y, *et al.* Impacts of Water Conservancy and Hydropower Projects on Fish and Mitigation Measures [A]. In: 2008 CHES Annual Conference [C]. 2008, 685—696 [常剑波, 陈永柏, 高勇, 等. 水利水电工程对鱼类的影响及减缓对策. 中国水利学会2008年学术年会. 2008, 685—696]
- [10] Cheng F, Li W, Castello L, *et al.* Potential effects of dam cascade on fish: lessons from the Yangtze River [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2015, **25**(3): 569—585
- [11] Han X, Feng L, Hu C, *et al.* Wetland changes of China's largest freshwater lake and their linkage with the Three Gorges Dam [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, (204): 799—811
- [12] Yang L H, Chen J, Huang W, *et al.* Discussion on the cascade hydropower development at the upper stream of the Yangtze River and influences on ecological environment [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2007, (3): 79—81 [杨丽虎, 陈进, 黄薇, 等. 长江上游梯级水电开发情况及对生态环境的影响初探. 中国农村水利水电, 2007, (3): 79—81]
- [13] Wu H, Yu X G, Jiang J H. The study means and important fields on the wetland eco-system in Changjiang River Valley [J]. *Ecological Economy*, 2001, (11): 21—26 [吴豪, 虞孝感, 姜加虎. 长江流域湿地生态系统研究的意义和重点. 生态经济(中文版), 2001, (11): 21—26]
- [14] Yan R R, Cai X B, Wang X L, *et al.* Distribution status of wetland nature reserves and the problems in Yangtze River Watershed [J]. *Wetland Science*, 2013, **11**(1): 136—144 [燕然然, 蔡晓斌, 王学雷, 等. 长江流域湿地自然保护区分布现状及存在的问题. 湿地科学, 2013, **11**(1): 136—144]
- [15] Sun H L. Ecological and Environmental Problems in the Upper Reaches of the Yangtze River [M]. Beijing: China Environmental Science Press. 2008, 161 [孙鸿烈. 长江上游地区生态与环境问题. 北京: 中国环境科学出版社. 2008, 161]
- [16] Zhu W Z, Fan J R, Wang Y K, *et al.* Assessment of biodiversity conservation importance in the upper reaches of the Yangtze River: by taking county area as the basic assessment unit [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, **29**(5): 2603—2611 [朱万泽, 范建容, 王玉宽, 等. 长江上游生物多样性保护重要性评价——以县域为评价单元. 生态学报, 2009, **29**(5): 2603—2611]
- [17] He Y, Wang J, Lek S, *et al.* Structure of endemic fish assemblages in the upper Yangtze River Basin [J]. *River Research and Applications*, 2011, **27**(1): 59—75
- [18] Cao W X. Issues of ecological protection facing cascade hydroelectric dam development in the upper reaches of the Yangtze River [A]. In: Zhang C H, Wang G Q (Eds.), Research on the Development Strategy of Chinese Discipline · the Frontier of Water Conservancy Science and Engineering. Beijing: Science Press. 2017, 284—301 [曹文宣. 长江上游水电梯级开发的水域生态环境保护问题. 见: 张楚汉, 王光谦. 中国学科发展战略研究·水利科学与工程前沿. 北京: 科学出版社. 2017, 284—301]
- [19] Ding R H. Analyses the Current Situation of the Fishery Environment and Fisheries Research of Three Gorges Reservoir [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology. 1987, 27—40 [丁瑞华. 三峡水库库区渔业环境和渔业现状分析. 成都: 四川科学技术出版社. 1987, 27—40]
- [20] Joint Investigation Group on Fishery Resources in Yangtze River. Fishery Resources in the Yangtze River [M]. Beijing: Ocean Press. 1990, 54—55 [长江水系渔业资源调查协作组. 长江水系渔业资源. 北京: 海洋出版社. 1990, 54—55]
- [21] Wu Y F, Wu C Z. The Fishes of the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. 1992, 599 [武云飞, 吴翠珍. 青藏高原鱼类. 成都: 四川科学技术出版社. 1992, 599]
- [22] Sichuan Agricultural Division Committee, Editorial Committee of Fish Resources and Utilization Protection in Rivers of Sichuan. Fish Resources and Utilization Protection in Rivers of Sichuan [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. 1991, 39—52 [四川省农业区划委员会, 《四川江河鱼类资源与利用保护》编委会. 四川江河鱼类资源与利用保护. 成都: 四川科学技术出版社. 1991, 39—52]
- [23] Ding R H. The Fishes of Sichuan [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology. 1994, 641 [丁瑞华. 四川鱼类志. 成都: 四川科学技术出版社. 1994, 641]

- [24] Wei Q W. Scientific Investigation Report on National Nature Reserve for the Rare and Endemic Fishes in the Upper Reaches of the Yangtze River [M]. Beijing: Science Press. 2012, 251 [危起伟. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区科学考察报告. 北京: 科学出版社. 2012, 251]
- [25] Zhang C G, Zhao Y H. Species Diversity and Distribution of Inland Fishes in China [M]. Beijing: Science Press. 2016, 284 [张春光, 赵亚辉. 中国内陆鱼类物种与分布. 北京: 科学出版社. 2016, 284]
- [26] Zhang C G, Yang J X, Zhao Y H, *et al.* Fishes in the Jinsha Jiang River Basin, the Upper Reaches of the Yangtze River, China [M]. Beijing: Science Press. 2019, 607 [张春光, 杨君兴, 赵亚辉, 等. 金沙江流域鱼类. 北京: 科学出版社. 2019, 607]
- [27] Wu J, Wu M S. Fish fauna of Jinsha River [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 1990, **9**(3): 23—26 [吴江, 吴明森. 金沙江的鱼类区系. 四川动物, 1990, **9**(3): 23—26]
- [28] Fu C, Wu J, Chen J, *et al.* Freshwater fish biodiversity in the Yangtze River basin of China: patterns, threats and conservation [J]. *Biodiversity & Conservation*, 2003, **12**(8): 1649—1685
- [29] Jiang G F, He X F. Status of fish resources in the lower reaches of the Jialing River [J]. *Freshwater Fisheries*, 2008, **38**(2): 3—7 [蒋国福, 何学福. 嘉陵江下游鱼类资源现状调查. 淡水渔业, 2008, **38**(2): 3—7]
- [30] Wu J, Wang J, He Y, *et al.* Fish assemblage structure in the Chishui River, a protected tributary of the Yangtze River [J]. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 2011, (400): 11
- [31] Yang Z, Zheng H T, Xiong M H, *et al.* Variation characteristics of fish community structure and biodiversity in autumn before and after impoundment of Pengshui Hydropower Station [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, **34**(8): 22—29 [杨志, 郑海涛, 熊美华, 等. 彭水电站蓄水前后鱼类群落多样性特征. 环境科学与技术, 2011, **34**(8): 22—29]
- [32] Hu R. Status and conservation of fish resources in the upper reaches of Jinsha River [D]. Thesis for Master of Science. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2012 [胡睿. 金沙江上游鱼类资源现状与保护. 硕士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2012]
- [33] Zeng Y. Taxonomic diversity of fishes in the main section of the Jialing River [J]. *Journal of China West Normal University (Natural Sciences)*, 2012, **33**(3): 246—250 [曾燊. 嘉陵江干流鱼类物种分类多样性研究. 西华师范大学学报:自然科学版, 2012, **33**(3): 246—250]
- [34] Zhu C H, Wu Q. Fish list of the Three Gorges Reservoir on the Yangtze River [A]. In: Proceedings of Forum on the Characteristic Fisheries Development in the Three Gorges [C]. 2012, 36—41 [朱成科, 吴青. 长江三峡库区段鱼类资源名录. 三峡地区特色渔业发展论坛论文集. 2012, 36—41]
- [35] Chen X Y. Checklist of fishes of Yunnan [J]. *Zoological Research*, 2013, **34**(4): 281—343 [陈小勇. 云南鱼类名录. 动物学研究, 2013, **34**(4): 281—343]
- [36] Ye S, Li Z, Zhang T, *et al.* Assessing fish distribution and threats to fish biodiversity in the Yangtze River Basin, China [J]. *Ichthyological Research*, 2014, **61**(2): 183—188
- [37] Zeng Y, Chen Y B, Li Z J. Utilization and protection status of fish resources in Jialing River [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2014, **20**(2): 60—62, 87 [曾燊, 陈永柏, 李钟杰. 嘉陵江鱼类资源利用与保护现状. 天津农业科学, 2014, **20**(2): 60—62, 87]
- [38] Xiao Q, Yang Z, Tang H Y, *et al.* Species diversity of fish and its conservation in the mainstream of the lower reaches of Wu River [J]. *Biodiversity Science*, 2015, **23**(4): 499—506 [肖琼, 杨志, 唐会元, 等. 乌江下游干流鱼类物种多样性及其资源保护. 生物多样性, 2015, **23**(4): 499—506]
- [39] Li H L. Fish species diversity and distribution pattern in Jinsha River Basin [D]. Thesis for Master of Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 2015 [李浩林. 金沙江流域鱼类物种多样性及其分布格局. 硕士学位论文. 中国科学院大学, 北京 2015]
- [40] Zhang X, Gao X, Wang J, *et al.* Extinction risk and conservation priority analyses for 64 endemic fishes in the Upper Yangtze River, China [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2015, **98**(1): 261—272
- [41] He T, Li X L, Zheng Y H, *et al.* Comparative analysis of fish distribution between main stream and tributaries in Chongqing district of the Yangtze River [J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, **46**(3): 47—51 [何滔, 黎学练, 郑永华, 等. 长江重庆段干流与主要支流鱼类分布的比较分析. 淡水渔业, 2016, **46**(3): 47—51]
- [42] Kang B, Huang X, Yan Y, *et al.* Continental-scale analysis of taxonomic and functional fish diversity in the Yangtze River [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2018, (15): e00442
- [43] Xie C Y, Niu Y B, Luo D H, *et al.* A Preliminary study on fish diversity for some important branches of Three Gorges Reservoir [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, **27**(12): 2747—2756 [解崇友, 牛亚兵, 罗德怀, 等. 三峡库区重要支流鱼类多样性初探. 长江流域资源与环境, 2018, **27**(12): 2747—2756]
- [44] Dong C, Yang Z, Gong Y, *et al.* Fish resource status and biodiversity conservation in the main channel of Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Hydroecology*, 2019, **40**(1): 15—21 [董纯, 杨志, 龚云, 等. 三峡库区干流鱼类资源现状与物种多样性保护. 水生态学杂志, 2019, **40**(1): 15—21]
- [45] Liu X, Qin J, Xu Y, *et al.* Biodiversity decline of fish assemblages after the impoundment of the Three Gorges Dam in the Yangtze River Basin, China [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2019, **29**(1): 177—195
- [46] Sichuan Provincial People's Government. List of Animals Under Priority Protection in Sichuan [M]. 1990, 5 [四川省人民政府. 四川省重点保护野生动物名录. 1990, 5]
- [47] Guizhou Provincial People's Government. List of Ani-

- mals Under Priority Protection in Guizhou [M]. 1992, 7 [贵州省人民政府. 贵州省重点保护野生动物名录. 1992, 7]
- [48] Chongqing Provincial People's Government. List of Animals under Priority Protection in Chongqing [M]. 1999, 3 [重庆市人民政府. 重庆市重点保护水生野生动物名录. 1999, 3]
- [49] Sichuan Provincial People's Government. List of New Animals under Priority Protection in Sichuan [M]. 2000, 2 [四川省人民政府. 四川省新增重点保护野生动物名录. 2000, 2]
- [50] Cao L, Zhang E, Zang C X, *et al.* Evaluating the status of China's continental fish and analyzing their causes of endangerment through the red list assessment [J]. *Biodiversity Science*, 2016, **24**(5): 598—609 [曹亮, 张鄂, 臧春鑫, 等. 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*, 2016, **24**(5): 598—609]
- [51] Jiang Z G, Jiang J P, Wang Y Z, *et al.* Red list of China's vertebrates [J]. *Biodiversity Science*, 2016, **24**(5): 500—551 [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录. *生物多样性*, 2016, **24**(5): 500—551]
- [52] Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. Large-scale patterns in species diversity of fishes in the Yangtze River Basin [J]. *Biodiversity Science*, 2005, **13**(6): 473—495 [于晓东, 罗天宏, 周红章. 长江流域鱼类物种多样性大尺度格局研究. *生物多样性*, 2005, **13**(6): 473—495]
- [53] Liu F, Wang J W, Cao W X. Long-term changes in fish assemblages following the impoundments of the Three Gorges Reservoir in Hejiang, a protected reach of the Upper Yangtze River [J]. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 2012, (407): 6
- [54] Lin P, Gao X, Liu F, *et al.* Long-term monitoring revealed fish assemblage zonation in the Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2019, **37**(4): 1258—1267
- [55] National Audit Office of the People's Republic of China. The audit report on eco-environmental protection in the Yangtze River Economic Zone [EB/OL]. 2018: <http://www.audit.gov.cn/n4/n19/c123511/content.html> [中华人民共和国审计署. 长江经济带生态环境保护审计结果. 2018: <http://www.audit.gov.cn/n4/n19/c123511/content.html>]
- [56] Ministry of Agriculture and Rural Affairs, PRC. Yangtze sturgeon (*Acipenser davidii*) rescue action plan (2018—2035)[EB/OL]. 2018: 29 [中华人民共和国农业农村部. 长江鲟(达氏鲟)拯救行动计划(2018—2035). 2018: 29]
- [57] Sun D D, Wu M S, Long Z H, *et al.* Present status of *Hucho bleekeri* in section of Dadu river in Sichuan Province [J]. *Freshwater Fisheries*, 2005, **35**(5): 33—34 [孙大东, 吴明森, 龙治海, 等. 大渡河四川境内虎嘉鱼的现状. *淡水渔业*, 2005, **35**(5): 33—34]
- [58] Ru H J, Li Y F, Shen Z W, *et al.* Distribution and habitat character of *Hucho bleekeri* in the Dadu River basin [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(10): 1779—1785 [茹辉军, 李云峰, 沈子伟, 等. 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*, 2015, **24**(10): 1779—1785]
- [59] Duan X B, Chan D Q, Liu S P, *et al.* Studies on fishery resources in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(6): 605—611 [段辛斌, 陈大庆, 刘绍平, 等. 长江三峡库区鱼类资源现状的研究. *水生生物学报*, 2002, **26**(6): 605—611]
- [60] Wu Q, Duan X B, Xu S Y, *et al.* Studies on fishery resources in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River [J]. *Freshwater Fisheries*, 2007, **37**(2): 70—75 [吴强, 段辛斌, 徐树英, 等. 长江三峡库区蓄水后鱼类资源现状. *淡水渔业*, 2007, **37**(2): 70—75]
- [61] Jiang H, Xie S G, Zhao W Q, *et al.* Changes of fish assemblages after construction of Ertan Reservoir in Yalongjiang River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(4): 532—539 [蒋红, 谢嗣光, 赵文谦, 等. 二滩水电站水库形成后鱼类种类组成的演变. *水生生物学报*, 2007, **31**(4): 532—539]
- [62] Yang Z, Tang H Y, Tao J P, *et al.* The effect of cascaded huge dams on the downstream movement of *Coreius guichenoti* (Sauvage & Dabry de Thiersant, 1874) in the upper Yangtze River [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2017, **100**(11): 1507—1516
- [63] Tang H Y, Yang Z, Gao S B, *et al.* Status of fish resources of early life history stages of *Coreius guichenoti* in the middle reaches of the Jinsha River [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2012, **31**(3): 415—421 [唐会元, 杨志, 高少波, 等. 金沙江中游圆口铜鱼早期资源现状. *四川动物*, 2012, **31**(3): 415—421]
- [64] Chen X J. Impacts of operation of hydropower projects on aquatic organisms and mitigation measures [J]. *Yangtze River*, 2014, **45**(15): 7—13 [陈小娟. 水利水电工程建设运行对水生生物的影响与对策. *人民长江*, 2014, **45**(15): 7—13]
- [65] Gao S B, Tang H Y, Chen S, *et al.* Effects on the first phase of Jinsha River hydropower project on fish recruitment: early life history stages of *Coreius guichenoti* in the Upper Yangtze River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2015, **36**(2): 6—10 [高少波, 唐会元, 陈胜, 等. 金沙江一期工程对保护区圆口铜鱼早期资源补充的影响. *水生态学杂志*, 2015, **36**(2): 6—10]
- [66] Ma K P. On key issues and possible solutions related to nature reserve management in China [J]. *Biodiversity Science*, 2016, **24**(3): 249—251 [马克平. 当前我国自然保护区管理中存在的问题与对策思考. *生物多样性*, 2016, **24**(3): 249—251]
- [67] Rodrigues A S L, Andelman S J, Bakarr M I, *et al.* Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity [J]. *Nature*, 2004, (428): 640
- [68] Zhu P, Huang L, Xiao T, *et al.* Dynamic changes of habitats in China's typical nature reserves on spatial and temporal scales [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, **73**(1): 92—103 [祝萍, 黄麟, 肖桐, 等. 中国典型自然保护区生境状况时空变化特征. *地理学报*, 2018, **73**(1): 92—103]
- [69] Margules C R, Pressey R L. Systematic conservation

- planning [J]. *Nature*, 2000, **405**(6783): 243—253
- [70] Heiner M, Higgins J, Li X, *et al.* Identifying freshwater conservation priorities in the Upper Yangtze River Basin [J]. *Freshwater Biology*, 2011, **56**(1): 89—105
- [71] General Office of the CPC Central Committee & General Office of the State Council. Guiding opinions on establishing nature reserve system composed mainly of national parks [EB/OL]. 2019: <http://www.audit.gov.cn/n4/n19/c123511/content.html> [中共中央办公厅 国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见. 2019: [http://www.gov.cn/xinwen/2019-06/26/content\\_5403497.html](http://www.gov.cn/xinwen/2019-06/26/content_5403497.html)]
- [72] Valavanis V, Pierce G, Zuur A, *et al.* Modelling of essential fish habitat based on remote sensing, spatial analysis and GIS [J]. *Hydrobiologia*, 2008, **612**(1): 5—20
- [73] Lange M. What is essential in fish habitat [J]? *Environmental Biology of Fishes*, 2003, **66**(1): 99—101
- [74] Sheng Q, Ru H J, Li Y F, *et al.* The distribution pattern of national aquatic germplasm reserves in China [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, **43**(1): 64—82 [盛强, 茹辉军, 李云峰, 等. 中国国家级水产种质资源保护区分布格局现状与分析. 水产学报, 2019, **43**(1): 64—82]
- [75] Research Group of Land Development and Regional Economy, National Development and Reform Commission. Study on establishing horizontal ecological compensation system among regions [J]. *Macroeconomic Research*, 2015, (3): 13—23 [国家发展改革委国土开发与地区经济研究所课题组. 地区间建立横向生态补偿制度研究. 宏观经济研究, 2015, (3): 13—23]
- [76] Huang F, Shi H. Exploration and application of ecological compensation model for hydropower development in China [J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2015, **33**(3): 24—27 [黄菲, 史虹. 我国水电开发生态补偿模式的探究及应用. 水利经济, 2015, **33**(3): 24—27]
- [77] Dong Z F, Li H X, Qu A Y, *et al.* Framework and the key points in establishment of the ecological compensation mechanism of the Yangtze River [J]. *Environmental Conformity Assessment*, 2017, **9**(6): 60—64 [董战峰, 李红祥, 璩爱玉, 等. 长江流域生态补偿机制建设: 框架与重点. 中国环境管理, 2017, **9**(6): 60—64]

## CURRENT STATUS AND CONSERVATION PLANNING OF FISH BIODIVERSITY IN THE UPPER YANGTZE RIVER BASIN IN THE CONTEXT OF HYDROPOWER DEVELOPMENT

LIN Peng-Cheng<sup>1</sup>, WANG Chun-Ling<sup>1</sup>, LIU Fei<sup>1</sup>, LIU Meng<sup>2</sup>, LIU Huan-Zhang<sup>1</sup>, WANG Xiao-Ming<sup>3</sup>,  
YU Jiang<sup>3</sup> and ZHU Xin<sup>3</sup>

(1. *The Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation of Chinese Academy of Sciences, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China*; 2. *Powerchina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu 610072, China*; 3. *China Three Gorges Projects Development Co., Ltd, Chengdu 610041, China*)

**Abstract:** Nearly 90% of the hydropower resources in the Yangtze River basin are concentrated in the upper reaches of the Yangtze River. The cascaded hydropower dams and river channelization have caused habitat fragmentation and loss of fish diversity, which has aggravated the contradictions between hydropower development and environmental protection. This paper collected data on aquatic reserves (i.e. natural reserves and aquatic germplasm resources conservation zones) and cascade dams in the upper reaches of the Yangtze River, and vectorized the data in ArcGIS. Taking into account the diversity, richness and distribution of fish, we analyzed the changes in fish resources and the problems in the construction and management of the upper reaches of the Yangtze River. Therefore, several strategies have been proposed to reduce the conflicts between hydropower development and aquatic ecosystem protection, including conducting reserve census, evaluating management effectiveness of the protected areas for spatial optimization of the reserve networks, implementing the ecological restoration of essential fish habitats, implementing the rescue action plan for the upper Yangtze endangered endemic fish, establishing an efficient ecological compensation mechanism, and strengthening scientific monitoring and related research. These recommendations will provide a scientific basis for the coordinated development of hydropower exploitation and river ecological protection in the upper Yangtze River.

**Key words:** The upper Yangtze River basin; Rare and endemic fish; Spatial analysis; Conservation gap; Ecological restoration

附录 长江上游受胁鱼类名录  
Appendix List of threatened fish species in the upper Yangtze River basin

序号 No.	中文名Name	学名Scientific name	上游特有种 Endemic fish	国家级保护 National protected species	省级保护 Provincial protected species	多样性红色 名录Redlist of biodiversity	国家级自然保 护区保护鱼类 Protected species of NNRREF
1	达氏鲟	<i>Acipenser dabryanus</i> Duméril	是	I		CR	+
2	中华鲟	<i>Acipenser sinensis</i> Gray		I		CR	
3	白鲟	<i>Psephurus gladius</i> (Martens)		I		CR	+
4	成都鱘	<i>Zacco chengdui</i> Kimura	是		Y	EN	
5	稀有鮡鲫	<i>Gobiocypris rarus</i> Ye et Fu	是		Y	EN	
6	鲸	<i>Luciobrama macrocephalus</i> (Lacépède)			Y	CR	+
7	鳊	<i>Ochetobius elongatus</i> (Kner)			Y	CR	+
8	鳊	<i>Elopichthys bambusa</i>				LC	+
9	西昌白鱼	<i>Anabarilius liui liui</i> (Chang)	是		Y	EX	+
10	短臀白鱼	<i>Anabarilius brevianalis</i> Zhou & Cui	是			VU	+
11	邛海白鱼	<i>Anabarilius qionghaiensis</i> Chen	是		Y	EN	
12	多鳞白鱼	<i>Anabarilius polylepis</i> (Regan)	是			EW	
13	银白鱼	<i>Anabarilius alburnops</i> (Regan)	是		Y	EN	
14	长体鲂	<i>Megalobrama elongata</i> Huang et Zhang	是		Y	CR	+
15	云南鲃	<i>Xenocypris yunnanensis</i> Nichols	是			EN	+
16	方氏鲃	<i>Xenocypris fangi</i> Tchang	是			VU	+
17	彭县似鲃	<i>Belligobio pengxianensis</i> Lo, Yao et Chen	是		Y	EN	
18	圆口铜鱼	<i>Coreius guichenoti</i> (Sauvage et Dabry)	是			CR	
19	长鳍吻鲃	<i>Rhinogobio ventralis</i> (Sauvage et Dabry)	是			EN	
20	裸体异鳔鳅	<i>Xenophysogobio nudicorpa</i> (Huang et Zhang)	是			LC	+
21	长身鳊	<i>Acheilognathus elongatus</i> (Regan)	是			EN	
22	鲈鲤	<i>Percocypris pingi pingi</i> (Tchang)	是		Y	VU	+
23	滇池金线鲃	<i>Sinocyclocheilus grahami grahami</i> (Regan)	是	II		EN	
24	四川白甲鱼	<i>Onychostoma angustistomata</i> (Fang)	是			EN	
25	大渡白甲鱼	<i>Onychostoma daduensis</i> Ding	是		Y	EN	+
26	短身白甲鱼	<i>Onychostoma brevis</i> (Wu et Chen)	是			EN	
27	粗须白甲鱼	<i>Onychostoma barbata</i> (Lin)				EN	
28	稀有白甲鱼	<i>Onychostoma rarum</i> (Lin)				EN	
29	长丝裂腹鱼	<i>Schizothorax dolichonema</i> Herzenstein	是		Y	VU	+
30	细鳞裂腹鱼	<i>Schizothorax chongi</i> (Fang)	是		Y	EN	+
31	昆明裂腹鱼	<i>Schizothorax grahami</i> (Regan)	是			EN	+
32	重口裂腹鱼	<i>Schizothorax davidi</i> (Sauvage)			Y	EN	+
33	长须裂腹鱼	<i>Schizothorax longibarbus</i> (Fang)	是			CR	
34	小裂腹鱼	<i>Schizothorax parvus</i> Tsao	是			EN	
35	厚唇裂腹鱼	<i>Schizothorax labrosus</i> Wang, Zhang et Gao	是			EN	
36	宁蒗裂腹鱼	<i>Schizothorax ninglangensis</i> Wang, Zhang et Zhuang	是			EN	
37	小口裂腹鱼	<i>Schizothorax microstomus</i> Huang	是			EN	
38	灰色裂腹鱼	<i>Schizothorax griseus</i> Pellegrin				EN	
39	中甸叶须鱼	<i>Ptychobarbus chungtienensis chungtienensis</i> (Tsao)	是			EN	
40	松潘裸鲤	<i>Gymnocypris potanini potanini</i> Herzenstein	是			EN	
41	大渡裸裂尻鱼	<i>Schizopygopsis malacanthus</i> Chengi (Fang)	是			EN	

## 续附录

序号 No.	中文名Name	学名Scientific name	上游特有种 Endemic fish	国家级保护 National protected species	省级保护 Provincial protected species	多样性红色 名录Redlist of biodiversity	国家级自然保 护区保护鱼类 Protected species of NNRREF
42	嘉陵裸裂尻鱼	<i>Schizopygopsis kialingensis</i> Tsao et Tun	是		Y	VU	
43	小头高原鱼	<i>Herzensteinia microcephalus</i> (Herzenstein)				EN	
44	岩原鲤	<i>Procypris rabaudi</i> (Tchang)	是		Y	VU	+
45	小鲤	<i>Cyprinus micristius micristius</i> Regan	是			CR	
46	杞麓鲤	<i>Cyprinus carpio chilia</i> Wu et al.				EN	
47	邛海鲤	<i>Cyprinus qionghaiensis</i> Liu	是		Y	CR	
48	胭脂鱼	<i>Myxocyprinus asiaticus</i> (Bleeker)		II		CR	+
49	长薄鳅	<i>Leptobotia elongata</i> (Bleeker)	是		Y	VU	+
50	小眼薄鳅	<i>Leptobotia microphthalmia</i> Fu et Ye	是		Y	VU	+
51	红唇薄鳅	<i>Leptobotia rubrilabris</i> (Dabry)	是		Y	VU	+
52	侧沟爬岩鳅	<i>Beaufortia liui</i> Chang	是			NT	+
53	窑滩间吸鳅	<i>Hemimyzon yaotianensis</i> (Fang)	是		Y	EN	+
54	中华金沙鳅	<i>Jinshaia sinensis</i> (Sauvage et Dabry)	是			LC	+
55	四川华吸鳅	<i>Sinogastromyzon szechuanensis</i> Fang	是			LC	+
56	峨眉后平鳅	<i>Metahomaloptera omeiensis</i> Chang				DD	+
57	长须黄颡鱼	<i>Pelteobagrus eupogon</i> (Boulenger)				VU	+
58	长须鲢	<i>Leiocassis longibarbus</i> Cui	是			CR	+
59	中臀拟鲢	<i>Pseudobagrus medianalis</i> (Regan)	是			CR	+
60	昆明鲃	<i>Silurus mento</i> Regan	是			CR	
61	白缘鲃	<i>Liobagrus marginatus</i> (Bleeker)				EN	+
62	金氏鲃	<i>Liobagrus kingi</i> Tchang	是			EN	+
63	黄石爬鮡	<i>Euchiloglanis kishinouyei</i> Kimura	是			EN	+
64	青石爬鮡	<i>Euchiloglanis davidi</i> (Sauvage)	是		Y	EN	+
65	中华鮡	<i>Pareuchiloglanis sinensis</i> (Hora et Silas)	是		Y	EN	+
66	前臀鮡	<i>Pareuchiloglanis anteanalis</i> Fang, Xu et Cui	是			NT	
67	四川鮡	<i>Pareuchiloglanis sichuanensis</i> Ding, Fu et Ye	是		Y	NT	
68	壮体鮡	<i>Pareuchiloglanis robusta</i> Ding, Fu et Ye	是			NT	
69	秦岭细鳞鲑	<i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i>		II		EN	
70	川陕哲罗鲑	<i>Hucho bleekeri</i> Kimura		II		CR	
71	波纹鳊	<i>Siniperca undulata</i> Fang et Chong				NT	
72	青鳉	<i>Oryzias latipes</i>				LC	+
73	四川吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius szechuanensis</i> (Liu)	是		Y	EN	+
74	成都吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius chengtuensis</i> (Chang)	是		Y	EN	

注: ①灭绝Extinct, EX; 野外灭绝Extinct in the wild, EW; 区域灭绝Regional extinct, RE; 极危Critically endangered, CR; 濒危Endangered, EN、易危Vulnerable, VU; 近危Near threatened, NT; 无危Least concern, LC; 数据缺乏Data deficient, DD; ②国家级自然保护区是指长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区National native reserve for the rare and endemic fishes in the Upper Yangtze River, NNRREF