

金沙江中游干流鱼类资源现状及梯级开发对其产生的影响分析

王渝栋 崔磊 李茜 张宏伟

THE CURRENT STATUS OF FISHERY RESOURCES IN THE MIDDLE REACHES OF JINSHA RIVER AND THE IMPACT OF CASCADE DEVELOPMENT

WANG Yu-Dong, CUI Lei, LI Qian, ZHANG Hong-Wei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0191>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长江中游宜昌江段鱼类早期资源现状及水文影响条件

THE STATUS OF THE EARLY-STAGE FISH RESOURCES AND HYDROLOGIC INFLUENCING CONDITIONS IN THE YICHANG SECTION IN THE MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER

水生生物学报. 2020, 44(5): 1055–1063 <https://doi.org/10.7541/2020.122>

金沙江梯级大坝运行和三峡水库运行水位增高对长江上游干流寡鳞鲃仔鱼丰度和分布的影响

EFFECT OF THE IMPOUNDMENT OF DAM CASCADE IN JINSHA RIVER AND INCREASED WATER LEVEL OF THE THREE GORGES RESERVOIR ON THE DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF *PSEUDOLAUBUCA ENGRAULIS* (NICHOLS) LARVAE IN THE UPPER MAINSTEM OF THE YANGTZE RIVER

水生生物学报. 2019, 43(3): 606–611 <https://doi.org/10.7541/2019.073>

水电开发背景下长江上游流域鱼类保护现状与规划

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

水生生物学报. 2019, 43(S1): 130–143 <https://doi.org/10.7541/2019.176>

长江中游干流鱼类群落构建机制分析

MECHANISM OF FISH COMMUNITY ASSEMBLY IN MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER

水生生物学报. 2020, 44(5): 1045–1054 <https://doi.org/10.7541/2020.121>

金沙江流域鱼类的系统保护规划研究

FISH SYSTEMATIC CONSERVATION PLANNING IN THE JINSHA RIVER BASIN

水生生物学报. 2019, 43(S1): 110–118 <https://doi.org/10.7541/2019.174>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2024.2023.0191

金沙江中游干流鱼类资源现状及梯级开发对其产生的影响分析

王渝栋¹ 崔磊² 李茜¹ 张宏伟¹

(1. 中国电建成都勘测设计研究院, 成都 611100; 2. 水电水利规划设计总院, 北京 100032)

摘要: 在梳理金沙江中游水电开发现状的基础上, 于2021年12月(枯水期)、2022年3—4月(平水期)、2022年7—8月(丰水期)对金沙江中游的鱼类资源进行了调查分析, 以评估金沙江中游水电梯级开发对鱼类的影响。结果显示, 调查共计采集鱼类47种, 隶属于3目9科34属, 其中8种国家二级重点保护种、14种外来物种。金沙江中游干流可分为梨园-龙开口河段与鲁地拉-观音岩和金沙-银江河段3组, 鱼类群落结构差异显著($P < 0.05$), 梨园、阿海、金安桥、龙开口河段鱼类组成以土著亲流型鱼类为主, 优势种为细鳞裂腹鱼(*Schizothorax chongi*)、短须裂腹鱼(*Schizothorax wangchiachii*)等裂腹鱼科鱼类及圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*); 鲁地拉、观音岩河段鱼类组成以土著亲流型鱼类与外来广适型鱼类为主, 优势种为鲫(*Carassius auratus auratus*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、短须裂腹鱼; 金沙、银江河段鱼类组成以为静水、广适型的外来小型鱼类为主, 优势种为麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、高体鳊鱼(*Rhodeus sinensis*)。与历史资料相比, 金沙江中游鱼类存在小型化及高原区系转变为平原区系趋势。研究补充了金沙江中游鱼类资源现状的基础数据, 并提出保护建议, 以为为该江段鱼类资源管理与保护提供科学依据。

关键词: 鱼类资源; 多样性指数; 金沙江中游; 梯级开发

中图分类号: S962.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2024)08-1425-08



金沙江为长江上游河段, 发源于青海省境内唐古拉山北麓的各拉丹东雪山(海拔6621 m)和杂恰迪如岗雪山(海拔6513 m)之间, 位于青藏高原、云贵高原、四川盆地西部边缘, 源头至当曲河口称沱沱河, 自河源流经青海、西藏、四川、云南, 至宜宾与岷江汇合后称长江^[1]。河源至宜宾河道全长3486.1 km, 落差5142.5 m, 河道平均坡降1.48‰, 流域面积 $47.32 \times 10^4 \text{ km}^2$, 全流域平均高程3720 m。金沙江习惯上分为三段: 当曲河口至石鼓为上游河段, 石鼓-雅砻江汇口为中游河段, 攀枝花市-宜宾岷江汇口为下游河段。金沙江中游河段全长763.5 km, 落差1023.9 m, 是长江上游鱼类资源最为丰富的区域之一^[2], 同时也是我国重要的水电基地^[3], 规划龙盘-两家人-梨园-阿海-金安桥-龙开口-鲁地拉-观音岩-金沙-银江10个梯级水电站, 目前已建成观音岩、金安桥、阿海、鲁地拉、龙开口、梨园、金沙7个梯级电站, 在建银江1个梯级电站。随着梯级电站的完工和投入使用, 金沙江中游原本的自然河段变成片段化的缓流甚至静水的水库生境, 极大影

响流域内原有的鱼类群落结构和分布状况。

在金沙江中游水电开发持续推进的背景下, 掌握规划河段鱼类资源现状, 分析鱼类多样性和群落差异, 是制定金沙江中游鱼类多样性保护措施, 优化鱼类栖息地空间布局的前提和依据。目前金沙江中游鱼类资源的资料较为丰富, 但存在时间久远等问题。吴江等^[4]于1983—1984年系统调查了整个金沙江的鱼类资源状况, 共计采集到161种鱼类, 隶属于7目19科89属, 并对金沙江鱼类区系进行了系统划分, 认为石鼓附近的虎跳峡是长江鱼类中古北区与东洋区物种的分界点。2007—2008年, 顾洪宾等^[5]系统性地整理和报道了金沙江中游的鱼类组成, 干支流累计采集到62种鱼类, 结果显示鱼类主要以裂腹鱼类为主, 高原鳅类为其次, 鱼类资源总体较为丰富。《金沙江流域鱼类》^[1]于2008—2017年进行了11次采样, 采样点覆盖金沙江干流及各主要支流, 共记述金沙江流域所产鱼类200种(包括3新种), 其中土著种鱼类178种, 包括7目17科79属, 外来种22种, 并对流域内已知鱼类进行了详细论述。

收稿日期: 2023-06-19; 修订日期: 2023-11-24

通信作者: 王渝栋(1997—), 男, 硕士研究生; 主要研究方向为渔业资源保护。E-mail: 614542365@qq.com

为了进一步查明金沙江中游鱼类资源现状及梯级开发对其产生的影响, 2021—2022年对金沙江中游干流开展了鱼类资源调查, 分析了金沙江中游干流的鱼类组成及群落结构特征, 探讨梯级开发对金沙江中游鱼类资源的影响, 以期为金沙江中游水电工程生态环境效应评价和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 水电开发现状

通过查询文献资料, 结合主要河流水电规划环境影响报告书及各级政府对环境影响报告书的批复, 收集金沙江中游干流水电梯级主要指标及鱼类保护措施^[5, 15]。

1.2 鱼类资源现状

于2021年12月(枯水期)、2022年3—4月(平水期)、2022年7—8月(丰水期)在金沙江中游干流开展鱼类资源调查。以梨园、阿海、金安桥、龙开口、鲁地拉、观音岩、金沙、银江8个干流梯级电站为中心, 选择已建梯级电站库中和库尾共14个代表性区域为采样断面, 在建的银江水电站选择金沙水电站坝下和三堆子水文站作为采样断面, 共计16个采样断面(表1)。调查中使用的渔具包括三层定置刺网网(内层网目7.5 cm, 外层网目18 cm)及地笼(网目2 cm, 长5 m, 网高0.4 m)(按规定办理报批手续), 网具通常从头一天的16:00—18:00放置到第二天的8:00—10:00, 总计约16h。采集鱼类测量全

长、体长(精确至1 mm), 称量体重(精确至0.1 g), 记录采样时间和采样地点等相关信息, 参考《四川鱼类志》^[6]、《金沙江流域鱼类》^[1]、《云南鱼类志》^[7-9]等相关文献记载对鱼类物种进行现场鉴定。甲醛或无水乙醇浸泡固定无法准确鉴定的样本带回实验室鉴定, 并划分其生态类型。

1.3 数据分析与处理

鱼类生态类型划分 参考历史资料^[1, 7-9], 对调查区域鱼类的生境偏好、产卵类型和食性等进行统计后, 对其生态类型进行划分。根据鱼类对流水生境的喜好程度分为亲流性、广适性和静水性鱼类; 根据鱼类成年阶段的主要食物的组成为植食性、肉食性和杂食性; 根据鱼卵类型分为漂流型、黏性型和沉性型3种类型。

相对重要性指数 根据数量百分比、生物量百分比和出现频率来计算相对重要性指数(Index of Relative Importance, IRI)进而判定金沙江中游鱼类群落物种优势度, 具体计算公式如下:

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\% \quad (1)$$

式中, $N\%$ 和 $W\%$ 分别为某种鱼类生物量占调查鱼类总数量和生物量的百分比, $F\%$ 为该种鱼类在调查采样点出现的频率。本文将IRI数值大于1000的鱼类划分为优势种^[10]

鱼类多样性分析 采用Margalef丰富度指数(D)、Shannon多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J)及Simpson指数(C)计算鱼类多样性指数, 各指数计算公式如下^[11-13]:

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$J = H' / \log S \quad (4)$$

$$C = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (5)$$

式中, P_i 为调查中第 i 个物种数量占鱼类总数的比例, S 为调查到的鱼类物种数, N 为调查中所有鱼类物种的数量。

鱼类组成相似度分析 为了比较不同河段鱼类群落组成的相似性, 在Primer6软件中以鱼类不同种类为指标, 进行组间平均聚类法(Group average linkage)、非度量多维尺度分析(NMDS)和相似性分析检验(ANOSIM)^[14]。

2 结果

2.1 水电开发现状

金沙江中游河段方案为一库十级, 目前已建成

表1 金沙江中游鱼类资源调查站点信息

Tab. 1 Survey sites information of fish resources survey in middle section of Jinsha River

河段(代码)	调查站点(代码)	东经	北纬	海拔
River area	Sampling site	Longitude E	Latitude N	Altitude M
梨园A	梨园库尾S1	100.2969	27.6613	1614
	梨园库区S2	100.2358	27.3058	1670
阿海B	阿海库区S3	100.2963	27.7348	1529
	阿海库尾S4	100.2963	27.7347	1583
金安桥C	金安桥库尾S5	100.5091	27.3280	1400
	金安桥库区S6	100.4363	26.9930	1395
龙开口D	龙开口库尾S7	100.4381	26.7938	1311
	龙开口库区S8	100.4113	26.5722	1279
鲁地拉E	鲁地拉库尾S9	100.4245	26.4774	1184
	鲁地拉库区S10	100.8503	26.1691	1174
观音岩F	观音岩库尾S11	100.8504	26.1691	1134
	观音岩库区S12	101.4358	26.5089	1117
金沙G	金沙库尾S13	101.4647	26.5335	1016
	金沙库区S14	101.6305	26.5689	993
银江H	金沙坝下S15	101.6670	26.5616	985
	三堆子S16	101.8397	26.5792	978

观音岩、金安桥、阿海、鲁地拉、龙开口、梨园、金沙共7个梯级电站,在建银江1个梯级电站,共利用天然落差966 m,装机容量22160 MW,总库容485.07亿 m^3 。依据《金沙江中下游河段梯级电站规划》^[5]及《金沙江金沙水电站环境影响报告书》^[15],金沙江中游干流各梯级电站建设运行后,流水生境萎缩,在建梯级间仅保留金沙水电站库尾至观音岩坝址约8 km的天然河段。

2.2 鱼类资源现状

本次调查采集到鱼类47种(表2),共计1440尾,总重217.53 kg,隶属于3目9科34属。其中鲤形目鱼类最多,隶属于3科25属34种,占总种类数的73.52%;鲇形目次之,隶属于4科5属8种,占23.52%;鲈形目4科4属5种,占11.76%。鲤形目中以鲤科鱼类为主,隶属于20属27种,占总种数的57.45%。本次调查到国家二级重点保护动物8种,分别为长薄鳅(*Leptobotia elongata*)、圆口铜鱼(*Coreius guichenot*)、长鳍吻鲈(*Rhinogobio ventralis*)、金沙鲈鲤(*Percocypris pingi*)、四川白甲鱼(*Onychostoma angusistomata*)、细鳞裂腹鱼(*Schizothorax chongi*)、岩原鲤(*Procypris rabaudi*)和青石爬鮡(*Euchiloglanis davidi*)。

2.3 资源分布

研究河段渔获物统计结果见图1,重量丰度和数量丰度均在鲁地拉(E)河段最高,分别为311 g/h和2.8 ind/h,金沙江中游鱼类物种数量总体上呈现出随着河流梯级向下呈现逐渐增加趋势。在金沙江中游干流8个河段分别调查到8、13、14、14、23、30、31和18种鱼类,分别占鱼类种类总数的19.15%、27.66%、29.79%、48.94%、63.83%、36.17%、65.96%和38.30%。其中麦穗鱼、短须裂腹鱼和细鳞裂腹鱼3种鱼类在金沙江中游8个河段中均有分布;细尾高原鳅[*Triplophysa (Triplophysa) stenura*]仅在梨园河段调查到;草鱼(*Ctenopharyn-*

godon idellus)1种鱼类仅在阿海河段调查到;秀丽高原鳅[*Triplophysa (Triplophysa) venusta*]仅在鲁地拉河段调查到;张氏鲮(*Hemiculter tchangi* Fang)仅在观音岩河段调查到;西昌白鱼(*Anabarilius liui liui*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)、翘嘴鲇(*Culter alburnus*)、黑鳍鲈(*Sarcocheilichthys nigripinnis*)、大口鲈(*Silurus meridionalis*)、粗唇鲇(*Leiocassis crassilabris*)、乌鳢(*Channa argus*) 7种鱼类仅在金沙河段调查到;红鳍原鲇、镜鲤、短身金沙鳅3种鱼类仅在银江河段调查到。

2.4 优势种

对金沙江中游的主要渔获物的生物量和数量进行分析发现,金沙江中游小型鱼类主要以棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、高体鲃、麦穗鱼等为主,棒花鱼、高体鲃的平均体重分别为4.27、2.32和3.90 g,主要出现于龙开口以下河段;中大型鱼类主要以细鳞裂腹鱼、短须裂腹鱼等裂腹鱼为主,细鳞裂腹鱼、短须裂腹鱼的平均体重分别为176.59和152.70 g,且在所有河段均有分布。相对重要性指数(IRI)计算结果表明,金沙江中游段IRI优势种分别为细鳞裂腹鱼(2558.13)、短须裂腹鱼(1911.99)、齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)(1404.04),占调查鱼类总生物重量的27.07%,占调查鱼类渔获物数目总数的53.69%。

2.5 鱼类生态类型

按照生态学特征对金沙江中游鱼类进行分类,金沙江中游鱼类以杂食性、产沉性卵及亲流型鱼类为主,栖息类型划分,亲流型鱼类30种,占63.83%;广流型鱼类14种,占29.79%;静水型鱼类3种,占6.38%,按食性划分,肉食性鱼类12种,占25.53%;杂食性鱼类28种,占59.57%;植食性鱼类7种,占14.89%;按繁殖习性划分,产漂流性卵鱼类9种,占19.15%;产沉性卵鱼类16种,占34.04%;产黏

表2 鱼类组成结构对比

Tab. 2 Comparison of fish composition and structure

指标Index		历史记录 Historic records ^[5]		本次采集 This study		数量对比 Number		百分比对比 Percentage	
		数量 Number	百分比 Percentage	数量 Number	百分比 Percentage	变化 Variation	变幅Variation level	变化 Variation	变幅Variation level
生境类型Habitat	亲流型	50	80.65	30	63.83	-20	-40.00	-16.82	-20.85
	广流型	9	14.52	14	29.79	5	55.56	15.27	105.20
	静水型	3	4.84	3	6.38	0	0.00	1.54	31.91
食性Feeding habits	肉食性	18	29.03	12	25.53	-6	-33.33	-3.50	-12.06
	杂食性	34	54.84	28	59.57	-6	-17.65	4.74	8.64
	植食性	10	16.13	7	14.89	-3	-30.00	-1.24	-7.66
	漂流型	14	22.58	9	19.15	-5	-35.71	-3.43	-15.20
繁殖习性 Reproductive habits	沉性型	27	43.55	16	34.04	-11	-40.74	-9.51	-21.83
	粘性型	21	33.87	22	46.81	1	4.76	12.94	38.20

性型卵鱼类22种,占46.81%(表2)。

2.6 群落多样性指数

Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Margalef 指数、Pielou 指数分别为1.04—2.38、0.57—0.88、1.11—3.42和0.68—0.90。从空间上看,将8个河段的 Shannon多样性指数(H')、Simpson指数(C)、Margalef丰富度指数(D)及Pielou均匀度指数(J)等四个群落多样性指数进行方差齐性检验,发现其 P 值均大于0.05,因此采用LSD法进行多重比较,结果表明Margalef丰富度指数(D)、Shannon多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J)及Simpson指数(C)在8个河段间存在显著差异($P<0.05$)。从上游至下游鱼类群落多样性总体上呈现出逐渐增加的趋势(表3)。

2.7 鱼类组成相似度

根据聚类分析、NMDS排序分析结果表明(图2),当相似性系数为25.96时,整个流域可分为3组:聚类组 I 包括梨园、阿海、金安桥、龙开口河段,聚类组 II 包括鲁地拉、金沙河段,聚类III组包括观音岩、银江河段。NMDS排序图与聚类分析图一致,

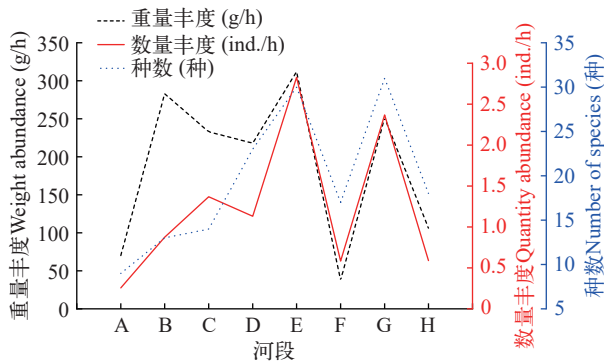


图1 金沙江中游各河段鱼类资源分布

Fig. 1 Fish resource distribution in the Jinsha River

表3 金沙江中游各河段鱼类多样性指数分析与比较

Tab. 3 Comparison of fish community diversity in the different sections of Jinsha River

河段 Reach	多样性指数 Diversity index			
	Shannon	Simpson	Margalef	Pielou
A 河段Reach A	1.04±0.48 ^a	0.57±0.21 ^a	1.11±0.43 ^a	0.82±0.09 ^{ab}
B 河段Reach B	1.24±0.30 ^{ab}	0.60±0.14 ^{ab}	1.37±0.20 ^{ab}	0.70±0.15 ^{ab}
C 河段Reach C	1.19±0.19 ^{ab}	0.62±0.06 ^{ab}	1.37±0.24 ^{ab}	0.68±0.14 ^a
D 河段Reach D	1.66±0.63 ^{ab}	0.69±0.21 ^{ab}	2.30±0.96 ^{ab}	0.72±0.13 ^{ab}
E 河段Reach E	2.38±0.16 ^b	0.88±0.02 ^b	3.42±0.25 ^c	0.83±0.05 ^{ab}
F 河段Reach F	1.77±0.16 ^{ab}	0.78±0.06 ^{ab}	2.32±0.22 ^b	0.84±0.08 ^{ab}
G 河段Reach G	1.87±0.18 ^{ab}	0.79±0.05 ^{ab}	2.62±0.23 ^b	0.79±0.10 ^{ab}
H 河段Reach H	2.04±0.10 ^b	0.84±0.02 ^{ab}	2.80±0.71 ^{bc}	0.90±0.07 ^b

注: 同列数据后面不同小写字母表示其差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant differences ($P<0.05$)

压力系数(Stress)为0.08。ANOSIM分析表明,金沙江中游流域鱼类群落的组件差异显著($R=0.76$, $P<0.5$),因此这样划分是可行的。

根据SIMPER分析结果表明,聚类组 I 和聚类组 II 的平均相异性为79.58%,导致 I 和 II 组间相异性的指示种有麦穗鱼、高体鳊、棒花鱼、齐口裂腹鱼、短须裂腹鱼、细鳞裂腹鱼、鲢和鲫;聚类组 I 和聚类组 III 的平均相异性为74.77,导致 I 和 III 组间相异性的指示种有齐口裂腹鱼、短须裂腹鱼、细鳞裂腹鱼、鲢、圆口铜鱼和长丝裂腹鱼;聚类组 II 和聚类组 III 的平均相异性为79.58%,导致 II 和 III 组间相异性的指示种有麦穗鱼、高体鳊、棒花鱼、短须裂腹鱼、细鳞裂腹鱼和白甲鱼(表4)。

3 讨论

3.1 鱼类资源现状

本次调查结果显示,金沙江中游鱼类3目9科34属47种,将顾洪宾等^[9]调查的62种鱼类作为本底,研究鱼类资源的变化情况。对比其渔获物组成,所

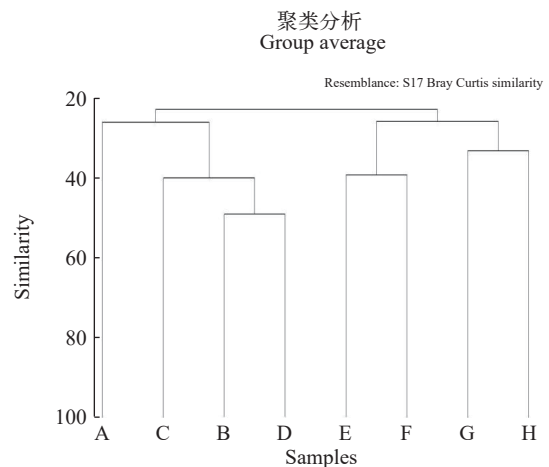
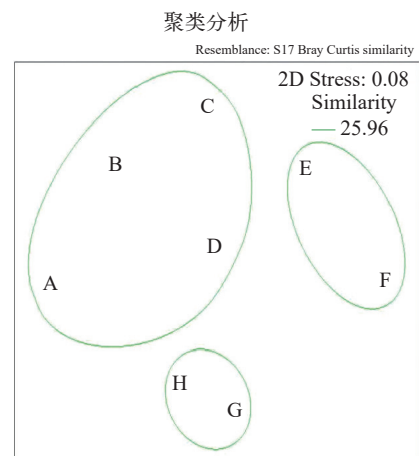


图2 金沙江中游各河段鱼类群落相似性

Fig. 2 Similarity of fish communities in the middle Jinsha River

有河段鱼类种类数均呈现下降趋势(图 3), 本研究调查到新增鱼类12种类, 其中包括岩原鲤1种国家级保护动物; 有种28种本研究未采集到, 其中有厚唇裸重唇鱼、四川白甲鱼、青石爬鮡3种国家级保护动物, 食蚊鱼、贝氏鲮等2种外来鱼类。

金沙江中游海拔差异大, 原以流水河段为主, 以裂腹鱼、圆口铜鱼、高原鳅等亲流型鱼类为主, 广适型和静水型鱼类较少^[9], 而金沙江中游各梯级建成后, 流水变为静水或缓流河段, 流速、流量等生境变化会导致广适型和静水型鱼类比例增加^[16], 亲流型鱼类比例变小, 此外, 圆口铜鱼等产漂流性卵的鱼类产卵场被淹没, 也导致导致产漂流型卵鱼类减少^[1]。

表 4 引起各组群落差异的主要种类(仅列出5%以上的种)

Tab. 4 The main fish species contribute to the dissimilarity in different groups

指示种Indicator species	组 I &组 II	组 I &组 III	组 II &组 III
麦穗鱼	10.37		11.79
高体鲮	10.05		11.67
棒花鱼	8.08		9.09
齐口裂腹鱼	6.49	14.41	
短须裂腹鱼	6.36	7.41	7.25
细鳞裂腹鱼	5.82	11.38	9.48
鲮	5.76	8.95	
鲫	5		
圆口铜鱼		12.04	
长丝裂腹鱼		7.51	
白甲鱼			5.49

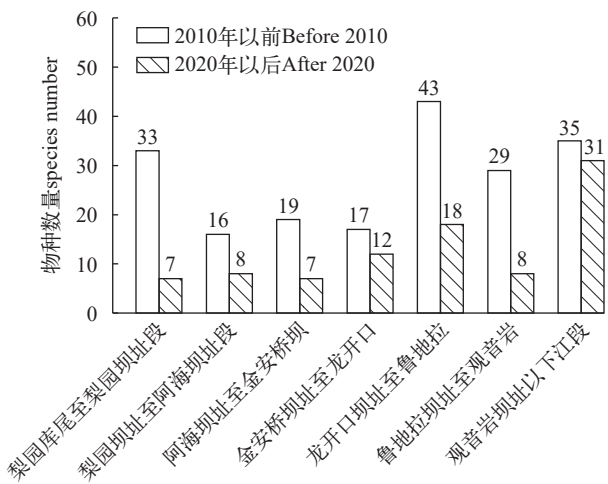


图 3 金沙江中游不同时期鱼类种类调查成果图

Fig. 3 Survey results of fish species in different periods in the middle reaches of Jinsha River

2010年以前数据为历史数据, 2020年以后为本次调查结果
The data before 2010 are historical data, and the results of this survey are from 2020 onwards

根据鱼类群落相似性分析, 金沙江中游干流鱼类群落可分为三组, 组 I 包括梨园、阿海、金安桥、龙开口河段, 组 II 包括鲁地拉、观音岩河段, 组 III 包括金沙、银江河段, 造成河段间鱼类群落差异的原因可能有: (1)梨园至银江各河段间海拔落差和干流形态差异较大^[1], 龙开口以上河段两岸多为高山峡谷, 河道多由深潭跌水环环相扣, 流速较快, 鲁地拉及以下河段总体顺直, 河流落差小, 水流平缓等, 且随着海拔的不断升高, 水体温度逐渐降低, 可能是造成鱼类群落差异的重要原因。(2)根据现场走访, 金沙江中游大具河、塘坝河等部分支流上游电站无生态流量泄放要求, 导致坝下河段几乎成为脱水河段, 河流连通性受阻, 导致本该因支流水量汇入保持流水生境的干流河段变少, 干流流水生境的改变也可能造成各河段间的鱼类群落差异。

3.2 梯级开发对鱼类的影响分析

2004年金中规划环评通过以来, 自2009年底金安桥首台机组投产至2020年11月金沙首台机组投产, 金沙江中游已建成7座相连的水电站, 中游干流约63%的河段由河流变为水库。河流变为水库后, 河流形态, 水文情势发生极大改变, 水位变深, 流速减缓, 7座大坝将原本一体的中游河道分为8段, 原江段以急流为主要流态特征的不间断河流形态变为以静缓流为主要流态特征的间断性水库形态, 原河流连续性生态系统转变为片段式水库-湖泊生态系统^[1, 14, 17]。由于水库的淹没和大坝的阻隔, 梯级开发后可能带来的影响可归纳为以下几个方面:

(1)梯级开发所建闸坝阻断河道后, 阻断了鱼类的天然洄游通道, 上行通道被阻隔, 下行路径及方式也被改变, 产漂流性卵和长距离洄游性鱼类没有足够的空间完成其生活史, 种群间得不到有效的交流。多年研究表明^[1], 一些特有产漂流性卵鱼类如圆口铜鱼, 产卵场主要在集中在金沙江中游干流, 随着各梯级库区的形成, 圆口铜鱼的产卵场已被或正被淹没。已有研究表明^[1, 14, 18]圆口铜鱼种群的遗传多样性降低, 受已建大坝的影响, 已出现种群裂化的趋势, 该物种可能在金沙江中游无法维持其种群的繁衍^[28]。

(2)大型水利工程修建导致坝下江段水位、流速、流量等变化幅度降低^[19], 而流量量级等水文要素的改变, 对鱼类多样性和群落结构的时空变化造成明显的影响^[20—22]。因河流湖库化, 鱼类原有的生长及繁殖环境产生巨大改变, 原本的土著亲流型鱼类将退缩至减水河段、支流或上游区域。以二滩水电站为例, 雅砻江水系的土著鱼类多数适应河流流水环境, 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%。

(3)水库蓄水后,库区水体加深、水流减缓,形成了一个生态位空缺的人造湖泊生态系统^[23]。水库蓄水初期阶段由于水体营养动力学的改变。通常利于广适型鱼类和外来物种的生存,正如调查结果显示的鲫、高体鲮、麦穗鱼、棒花鱼等^[24, 25]鱼类,这些鱼类在与土著鱼类的生态位竞争中胜出,种群密度提高,并逐渐成为优势种群,对土著鱼类群落乃至整个区域渔业生态系统造成严重影响。

3.3 保护建议

加强支流保护,落实保护措施 栖息地保护是保护鱼类自然资源的有效措施,金沙江中游从石鼓到雅砻江口干流长约563.5 km,而金沙江中游梯级建成后,仅保留了金沙水电站库尾至观音岩坝址约8 km的天然河段,流水生境的连续性遭到严重破坏,干流流水生境面积显著缩小已成定局。而水洛河等支流有大量水量汇入,对维持干流流水生境起着至关重要的作用,因此支流的流水生境保护显得尤为重要,不仅能够为一些流水性鱼类,如长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、硬刺松潘裸鲤、圆口铜鱼等鱼类提供完成整个生命史的条件,又为需要在流水中产黏沉性卵的鱼类提供了繁殖场,为鱼类提供足够的摄食场地、繁殖场、生长空间和庇护所^[26-28]。根据现场走访,目前金沙江中游支流保护情况严峻,多数支流等受水利开发等影响较大,河流连通性受阻,流量减少严重,难以满足基本生态流量下泄要求。

水洛河为阿海库尾左岸一级支流,也是金沙江中游规模最大的支流。水洛河水量丰沛,多年平均流量 $201 \text{ m}^3/\text{s}$,年径流量 $63.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,为四川省中型河流中径流量较大的河流之一,能为金沙江中游干流带来充足的水量,供干流维持流水生境。河谷宽窄相间,河流形态多样,漫滩、深潭、激流交错,底质为卵石、巨石和砾石、沙泥,有利于鱼类资源的生存繁衍,是鱼类良好的栖息地^[29]。水洛河鱼类资源丰富,分布有多种珍稀特有鱼类,本研究在阿海库尾-库区段共捕获了国家二级保护动物圆口铜鱼49尾,占该江段渔获物比重的38%,是目前金沙江中游流域圆口铜鱼分布最多的江段,保护水洛河对圆口铜鱼等亲流型珍稀鱼类具有重要意义。目前水洛河规划的最末梯级捷可水电站尚未建成,已建最末梯级撒多水电站厂址以下至河口有约21 km的天然河段和阿海库尾流水河段连通,是目前金沙江中游最理想的鱼类栖息地,然而水洛河规划的最末

梯级捷可水电站其坝址高程与阿海水电站正常蓄水位高程基本衔接,捷可水电站建成后水洛河将基本没有天然河段,且水量损失严重,丧失其保护价值。建议停止捷可水电站的开发,对水洛河撒多水电站坝址以下约40 km河段开展就地保护,由渔业主管部门设置鱼类栖息地保护区。

加强渔政管理,规范放生行为 本次调查研究共发现草鱼、红鳍原鲂、鲢、麦穗鱼、棒花鱼、高体鲮、鲤、鲫、子陵吻虾虎鱼、波氏吻虾虎鱼、团头鲂、翘嘴鲃、黑鳍鲈、尼罗罗非鱼14种外来鱼类^[1, 24, 25],且麦穗鱼、棒花鱼、高体鲮已成为金沙江中游干流优势种。水库是各种外来鱼类物种扩散的来源地^[24],水库建成后,水库上游河段外来鱼类物种丰度的明显增加,外来鱼类可能会产生种群生态位竞争及种间杂交,对流域鱼类组成结构产生影响。因此应加大渔业环保宣传力度,制定合理法规,正确引导民间放生,杜绝外来物种入侵的人为引入。

加强科学研究,统筹保护措施 圆口铜鱼等鱼类为长江上游重要的珍稀鱼类,经济价值高,但由于环境的改变导致其资源量下降严重,应该加强对圆口铜鱼等稀有鱼类的行为学、繁殖生物学等基础研究;其次,鱼类增殖放流为金沙江中游各梯级电站的主要鱼类保护措施,因此应加强对增殖放流效果、增殖放流对鱼类遗传多样性的评估,保证增殖放流的有效性^[25]。

梯级开发所建闸坝阻断河道后,阻断了鱼类的天然洄游通道,上行通道被阻隔,妨碍了上下游鱼类群落间的基因交流,对漂流性卵和长距离洄游性鱼类有巨大的影响。目前金沙江中游除金沙和龙开口水电站外,均以网捕过坝为主,建议在系统评估现有措施的基础上,优化河流连通性恢复或加强梯级上下游鱼类交流的方式方法^[30]。

金沙江中游水生生物保护对策的实施,需要在长期而系统地研究梯级水库生态特点的基础上,以长期动态生态监测为依托,从河流生态环境整体出发,形成干流上下游、干流、支流统筹保护、恢复及改造生境格局,对鱼类资源进行分段保护,对栖息地保护、增殖放流等保护措施合理规划和布局,结合生境修复、生态调度和补建过鱼设施等辅助措施,对金沙江中游梯级水库实施系统生态管理,以维持良好生态环境。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Zhang C G, Yang J X, Zhao Y H. Fishes in the Jinsha-

- jiang River Basin, the upper Reaches of the Yangtze River [M]. Beijing: Beijing Science Press, 2019: 1-607. [张春光, 杨君兴, 赵亚辉. 金沙江流域鱼类 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 1-607.]
- [2] Zhang X, Gao X, Wang J W, *et al.* Extinction risk and conservation priority analyses for 64 endemic fishes in the upper Yangtze River [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2015(98): 261-272.
- [3] Cui L. Hydropower development and ecological environmental protection in Yangtze River Basin [J]. *Water Power*, 2017, **43**(7): 10-12. [崔磊. 长江水电开发与生态环境保护 [J]. 水力发电, 2017, **43**(7): 10-12.]
- [4] Wu J, Wu M S. Fish fauna of Jinsha River [J]. *Sichuan Fauna*, 1990(3): 23-26. [吴江, 吴明森. 金沙江的鱼类区系 [J]. 四川动物, 1990(3): 23-26.]
- [5] Gu H B, Yu W Q, Cui L. Research Report on Environmental Impact Assessment and Countermeasures of Hydropower Cascade Development Planning in the Middle reaches of Jinsha River [R]. Beijing, 2009: 1-534. [顾洪宾, 喻卫奇, 崔磊, 等. 金沙江中游河段水电梯级开发规划环境影响评价及对策研究报告 [R]. 北京, 2009: 1-534.]
- [6] Ding R H. The Fishes of Sichuan [M]. Chengdu: Sichuan Publishing & Technology Publishers, 1994: 1-300. [丁瑞华. 四川鱼类志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 1-300.]
- [7] Chu X L. Fishes Fauna of Yunnan-Volume I [M]. Beijing: Science Press, 1990: 1-332. [褚新洛. 云南鱼类志-上册 [M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-332.]
- [8] Chu X L. Fishes Fauna of Yunnan-Volume II [M]. Beijing: Science Press, 1990: 1-322. [褚新洛. 云南鱼类志: 下册 [M]. 北京: 科学出版社, 1990: 1-322.]
- [9] Chen Y Y. Fauna Sinica: Osteichthyes: Cypriniformes (II) [M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-257. [陈宜瑜. 中国动物志: 硬骨鱼纲 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-257.]
- [10] Peng C L, Chen W (C/Z), Ye D X, *et al.* Analysis of fish resources and community structure in Yichang section of the Yangtze River [J]. *Express Water Resources & Hydropower Information*, 2019, **40**(2): 79-83. [彭春兰, 陈文重, 叶德旭, 等. 长江宜昌段鱼类资源现状及群落结构分析 [J]. 水利水电快报, 2019, **40**(2): 79-83.]
- [11] Zhu Q G, Yang Z, Tang H Y, *et al.* Biological and ecological characteristics of endemic fishes in the middle and lower reaches of Jinsha River and their conservation measures [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, **30**(7): 1593-1602. [朱其广, 杨志, 唐会元, 等. 金沙江中下游特有鱼类的生物学、生态学特征及其保护对策 [J]. 长江流域资源与环境, 2021, **30**(7): 1593-1602.]
- [12] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. *Fish Bulletin*, 1971(152): 1-10.
- [13] Hunter P R. Numerical index of discriminatory ability of typing systems: An application of Simpson's index of diversity [J]. *Journal Clinical Microbiology*, 1988(26): 2465.
- [14] Yang Z, Pan X, Hu L, *et al.* Effects of upstream cascade dams and longitudinal environmental gradients on variations in fish assemblages of the Three Gorges Reservoir [J]. *Ecology of Freshwater Fish*, 2021, **30**(4): 503-518.
- [15] Yan F L, Yang Y Y, Fan H, *et al.* Environmental Impact Report of Jinsha Hydropower Station on the Jinsha River [R]. Wuhan, 2014: 1-816. [闫峰陵, 刘扬扬, 樊皓, 等. 金沙江金沙水电站环境影响报告书 [R]. 武汉, 2014: 1-816.]
- [16] Shao K, Yang Z, Tang H Y, *et al.* Changes of fish community structures in Panzhihua section of the Jinsha River before and after impoundment of the Guanyinyan hydropower station [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, **29**(11): 2417-2426. [邵科, 杨志, 唐会元, 等. 观音岩水电站蓄水前后金沙江攀枝花江段鱼类群落结构及变化特征 [J]. 长江流域资源与环境, 2020, **29**(11): 2417-2426.]
- [17] Lin P C, Wang C L, Liu F, *et al.* Current status and conservation planning of fish biodiversity in the upper Yangtze River Basin in the context of hydropower development [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 130-143. [林鹏程, 王春伶, 刘飞, 等. 水电开发背景下长江上游流域鱼类保护现状与规划 [J]. 水生生物学报, 2019, **43**(S1): 130-143.]
- [18] Zhang F, Tan D. Genetic diversity in population of large-mouth bronze gudgeon (*Coreius guichenoti* Sauvage *et* Dabry) from Yangtze River determined by microsatellite DNA analysis [J]. *Genes & Genetic Systems*, 2010, **85**(5): 351-357.
- [19] Chang J B, Chen Y B, Gao Y, *et al.* Impacts of Water Resources and Hydropower Projects on Fishes and Mitigating Strategies [M]. Department of Environmental Impact Assessment Management, State Environmental Protection Administration. Beijing: China Environmental Science Press, 2006: 239-253. [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 [M]. 国家环境保护总局环境影响评价管理司. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 239-253.]
- [20] Kapuscinski K L, Farrell J M. Habitat factors influencing fish assemblages at muskellunge nursery sites [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2014(40): 135-147.
- [21] Chu L, Wang W J, Yan L L, *et al.* Fish assemblages and longitudinal patterns in the head water streams of the Chencun Reservoir in the Huangshan Area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(3): 900-910. [储玲, 王文剑, 闫莉莉, 等. 黄山陈村水库上游河源溪流的鱼类群落及其纵向梯度格局 [J]. 生态学报, 2015, **35**(3): 900-910.]
- [22] Wang B. Study on optimal operation method of cascade reservoirs based on suitable habitat control of river fish [D]. Wuhan: Wuhan University, 2016. [王琲. 基于河流鱼类适宜生境控制的梯级水库优化调度方法研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2016.]
- [23] 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 [J]. 水生生物学报, 2007, **31**(4): 532-539.]
- [24] Wang Y M, Cao W X. The strategies of aquatic invasive alien species (IAS) in China [J]. *Journal of Agro-Environ-*

- ment Science, 2006, **25**(1): 7-13. [王亚民, 曹文宣. 中国水生外来入侵物种对策研究 [J]. 农业环境科学学报, 2006, **25**(1): 7-13.]
- [25] Xu X, Kong Q, Ren X Q, *et al.* Enhancement and releasing and conservation of fishery population genetic diversity [J]. *Journal of Aquaculture*, 2022, **43**(6): 17-22. [徐鑫, 孔清, 任晓强, 等. 增殖放流与渔业种群遗传多样性保护 [J]. 水产养殖, 2022, **43**(6): 17-22.]
- [26] Teng H, Tian H W, Liu H W, *et al.* Fish resources status in Heishui River, a tributary of the lower reaches of Jinsha River [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, **40**(5): 1499-1511. [滕航, 田辉伍, 刘寒文, 等. 金沙江下游支流黑水河鱼类资源现状 [J]. 生态学杂志, 2021, **40**(5): 1499-1511.]
- [27] Li D, Yang Z, Zhu Q, Jin Y, Xu W. Research and progress on measures for protecting fish resources in the Yangtze River based on the operational impact of the Three Gorges Project [J]. *China Water Conservancy*, 2023(19): 40-46. [李德旺, 杨志, 朱其广, 金瑶, 徐薇. 基于三峡工程运行影响效应的长江鱼类资源保护措施研究与进展 [J]. 中国水利, 2023(19): 40-46.]
- [28] He Y F, Zhu Y J, Gong J L, *et al.* Genetic diversity and population demography of *Coreius guichenoti* from the middle and lower reaches of the Jinsha River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, **46**(1): 37-47. [何勇凤, 朱永久, 龚进玲, 等. 金沙江中下游圆口铜鱼遗传多样性与种群历史动态分析 [J]. 水生生物学报, 2022, **46**(1): 37-47.]
- [29] Zhang H. Eco-environmental impact assessment of cascade hydropower stations in the main stream of Shuiluo River [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011. [张华. 水洛河干流梯级水电站的生态环境影响评价 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011.]
- [30] Luan L, Zhang L L, Jiang Y L, *et al.* Exploration on ecosystem characteristics and fish habitat of reservoir-type lake [J]. *Water Power*, 2016, **42**(1): 10-13. [栾丽, 张陆良, 姜跃良, 等. 水库形成的湖库生态系统特征及其鱼类栖息地 [J]. 水力发电, 2016, **42**(1): 10-13.]

THE CURRENT STATUS OF FISHERY RESOURCES IN THE MIDDLE REACHES OF JINSHA RIVER AND THE IMPACT OF CASCADE DEVELOPMENT

WANG Yu-Dong¹, CUI Lei², LI Qian¹ and ZHANG Hong-Wei¹

(1. Chengdu Engineering Coproration Limited, Chengdu 611100, China; 2. China Renewable Energy Engineering Insitute, Beijing 100032, China)

Abstract: In order to investigate the characteristics of fish resources in the middle reaches of the Jinsha River, surveys were conducted in the mainstreams and its tributaries in December 2021 (dry season), March—April 2022 (normal season), and July—August 2022 (wet season). The results showed a total of 47 fish species, belonging to 3 orders, 9 families, and 34 genera. Among them, 8 species were classified as national second level key protected species, and 14 were identified as alian species. This study analyzed the species composition, ecological types, community similarity, and biodiversity of fish. The mainstream of the middle reaches of the Jinsha River can be divided into three groups: the Liyuan-Longkaikou section, the Ludila-Guanyinyan section, and the Jinsha-Yinjiang section. Significant differences in fish communities were observed in these groups ($P < 0.05$). The Liyuan, Ahai, Jinanqiao, and Longkaikou sections predominantly featured indigenous hydrophilic fish, with dominant species such as *Schizothorax chongi*, *Schizothorax wangchiachii*, and *Coreius guichenoti*. The Rudila and Guanyinyan sections are mainly composed of indigenous riffle fish and alian Eurytopic fish, with dominant species including *Carassius auratus auratus*, *Hemiculter leucisculus*, and *Schizothorax wangchiachii*. The Jinsha and Yinjiang river sections exhibited a fish composition primarily composed of small, exotic, calm water and Eurytopic species, with dominant species like *Pseudorasbora parva* and *Rhodeus sinensis*. Compared with the historical data, a trend of miniaturization in fish and a transition from plateau flora to plain flora in the middle reaches of the Jinsha River were observed. This study supplements the basic data on the current status of fish resources and proposes protection suggestions, aiming to provide a scientific basis for the management and protection of fish resources in the specified section of the river.

Key words: Fish resources; Diversity index; the middle reaches of Jinsha River; Cascade Development

附表 S1 金沙江中游鱼类分布及生态类型

Appendix S1 Fish species distrutution and ecological type in Jinsha River

学名 Scientific name	分布河段Distribution reach								生态类型 Ecological type
	梨园 Reach A	阿海 Reach B	金安桥 Reach C	龙开口 Reach D	鲁地拉 Reach E	观音岩 Reach F	金沙 Reach G	银江 Reach H	
鲤形目Cypriniformes									
鲤科Cyprinidae									
雅罗鱼亚科Leuciscinae									
★草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> ◆		+							Dr; P; R
鲢亚科Hypophthalmichthyinae									
★鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> ◆			+	+	+		+		Dr; O; R
鲮亚科Acheilognathinae									
高体鲮 <i>Rhodeus sinensis</i> ◆		+	+	+	+		+D	+	V; O; R
鲃亚科Cultrinae									
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>					+	+D	+	+	V; O; R
张氏鲮 <i>Hemiculter tchangi</i> Fang						+			V; O; G
★西昌白鱼 <i>Anabarilius liui liui</i>							+		D; O; G
★团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i> ◆							+		V; O; S
★翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i> ◆							+		V; C; R
★红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i> ◆								+	V; C; R
野鲮亚科Labeoninae									
泉水鱼 <i>Semilabeo prochilus</i>		+	+	+			+		D; O; R
鲃亚科Gobioninae									
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i> ◆	+	+	+	+	+	+	+D	+	V; O; S
圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>		+D	+	+D	+				Dr; O; R
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i> ◆	+		+	+	+	+	+		D; C; S
蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>				+	+			+	Dr; O; R
长鳍吻鲃 <i>Rhinogobio ventralis</i>				+	+				Dr; P; R
★黑鳍鲃 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>							+		D; O; G
鲃亚科Barbinae									
金沙鲈鲤 <i>Percocypris pingi pingi</i>	+	+	+	+	+	+			D; C; R
白甲鱼 <i>Onychostoma sima</i>							+	+	V; P; R
裂腹鱼亚科Schizothoracinae									
短须裂腹鱼 <i>Schizothorax wangchiachii</i>	+	+	+	+D	+D	+D	+	+	D; P; R
长丝裂腹鱼 <i>Schizothorax dolichonema</i>	+D	+D	+	+	+			+	V; O; R
齐口裂腹鱼 <i>Schizothorax prenanti</i>	+	+	+D	+	+	+			D; P; R
细鳞裂腹鱼 <i>Schizothorax chongi</i>	+D	+	+D	+D	+D	+	+	+	V; O; R
四川裂腹鱼 <i>Schizothorax kozlovi Nikolsky</i>		+D	+	+	+	+			V; O; R
鲤亚科Cyprininae									
岩原鲤 <i>Procypris rabaudi</i>				+	+		+		V; O; G
鲤 <i>Cyprinus (Cyprinus) carpio</i> ◆	+			+	+	+	+	+	D; O; G
★镜鲤 <i>Cyprinus carpio</i> var								+	D; O; G
鲫 <i>Carassius auratus auratus</i> ◆		+		+	+D	+	+	+D	V; O; G
鲃科Cobitidae									
条鲃亚科Nemacheilinae									D; O; R
细尾高原鲃 <i>Triplophysa (Triplophysa) stenura</i>	+								D; O; R
★秀丽高原鲃 <i>Triplophysa (Triplophysa) venusta</i>					+				D; O; R
沙鲃亚科Botiinae									
长薄鲃 <i>Leptobotia elongata</i>				+	+				Dr; C; R

续表 S1

学名 Scientific name	分布河段Distribution reach								生态类型 Ecological type
	梨园 Reach A	阿海 Reach B	金安桥 Reach C	龙开口 Reach D	鲁地拉 Reach E	观音岩 Reach F	金沙 Reach G	银江 Reach H	
花鳅亚科Gobitinae									
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>				+	+	+	+		V; O; G
平鳍鳅科Homalopteridae									
平鳍鳅亚科Homalopterinae									
犁头鳅 <i>Lepturichthys fimbriata</i>							+	+	Dr; P; R
中华金沙鳅 <i>Jinshaia sinensis</i>		+			+		+		Dr; P; R
短身金沙鳅 <i>Jinshaia abbreviata</i>								+	Dr; O; R
鲇形目Siluriformes									
鲇科Siluridae									
鲇 <i>Silurus asotus</i>				+	+		+	+	V; C; G
大口鲇 <i>Silurus meridionalis</i>							+		V; C; G
鲿科Bagridae									
★黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>				+	+	+	+		V; O; R
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>					+		+	+D	V; O; R
★光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>					+	+	+		V; O; R
粗唇鲿 <i>Leiocassis crassilabris</i>							+		V; O; R
钝头鲿科Amblycipitidae									
白缘鲿 <i>Liobagrus marginatus</i>				+	+	+	+	+	D; C; R
鲢科Sisoridae									
中华纹胸鲢 <i>Glyptothorax sinense</i>			+	+	+	+			D; O; R
鲈形目Perciformes									
沙塘鳢科Eleotridae									
小黄鲈鱼 <i>Microperops swinhonis</i>			+		+		+		V; C; G
慈鲷科Cichlidae									
★尼罗罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i> ◆							+	+	D; O; G
鳢科Channidae									
★乌鳢 <i>Channa argus</i>							+		V; C; S
鰕鳃鱼科Gobiidae									
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhenogobius giurinus</i> ◆					+	+	+		D; C; G
波氏吻虾虎鱼 <i>Rhenogobius cliffordpopei</i> ◆					+		+		D; C; G
总物种数Total species	9	13	14	23	30	17	31	18	

注: “★”表示该物种为新增种; “+”表示该物种出现; “+D”表示该物种为优势种; ◆表示外来物种; Dr. 漂流型; D. 沉性型; V. 黏性型; C. 肉食性; O. 杂食性; P. 植食性; R. 亲流型; G. 广适型; S. 静水型

Tip: “★” denotes new specie, “+” denotes observed specie, “+D” denotes the dominant species, ◆ indicates alien species, Dr. Drift; D. Demersal; V. viscous; C. carnivorous; O. omnivorous; P. Herbivore; R. Riffle; G. Eurytopic; S. slow current

附表 S2 金沙江中游各梯级电站主要指标及保护措施表
Appendix S2 Similarity of fish communities in the middle Jinsha River

项目	流域面积 (km ²)	正常蓄水 位 (m)	死水位 (m)	总库容 (m ³)	回水长度 (km)	装机容量 (MW)	实施情况	栖息地保护措施	过鱼措施	过鱼目标
龙盘	21.84	2010	1939	385.15	265	4200	未建			
两家人	21.84	1790	1790	0.0146	2	3250	未建			
梨园	22.01	1618	1605	8.05	58	2400	已建	将干流两家人坝址至厂房间约18 km的流水网捕过坝江段建立鱼类资源保护区。对格基河支流最后一级电站下只恩电站坝下9 km的河段规划建立鱼类生境保护区。	网捕过坝	长丝裂腹鱼、短须裂腹鱼、鲈鲤、四川裂腹鱼、硬刺松潘裸鲤、中华金沙鲈
阿海	23.54	1504	1492	8.79	75.3	2000	已建	在支流水洛河、翠依河和金棉河建立珍稀鱼类自然保护区,	网捕过坝	无具体捕捞目标
金安桥	23.74	1418	1398	9.13	100.1	2400	已建	金安桥水电站水库区及坝下分布的黑白水河、五郎河、漾弓江等主要支流已被开发利用,建有水坝不再推荐就地保护措施。	网捕过坝	金沙鲈鲤、圆口铜鱼、鲃鱼、江黄颡鱼、墨头鱼、齐口裂腹鱼、短须裂腹鱼、四川裂腹鱼、长须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、细鳞裂腹鱼、长鳍吻鲈、长薄鲹
龙开口	23.97	1298	1290	5.58	41.4	1800	已建	加强中江河(漾弓河)等支流生境的保护。	网捕过坝、集运鱼	短须裂腹鱼、鲈鲤、细鳞裂腹鱼、长鳍吻鲈、中华金沙鲈和长薄鲹
鲁地拉	24.73	1223	1212	17.18	99.1	2160	已建	渔泡江和漾弓江流量较大,流程长,是较好的鱼类栖息地,建议停止开发小水电,建立鱼类栖息地。	捕捞过坝	西昌白鱼、裸体异鰈鲃蛇、鲈鲤、短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、细鳞裂腹鱼、四川裂腹鱼、前鳍高原鲈、西昌华吸鲈、白缘、前臀鲃
观音岩	25.65	1134	1126	22.5	96	3000	已建	将渔泡江和塘坝河,马过河保留的10 km天然河道作为支流保护河段;在观音岩电站库尾、坝下以及支流马过河和塘坝河等具有一定的流水河段建立人工产卵场。	网捕过坝	圆口铜鱼、长鳍吻鲈、裸体异鰈鲃蛇、金沙鲈鲤、短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼、四川裂腹鱼、软刺裸裂尻鱼、前鳍高原鲈、长薄鲹、白缘、前臀鲃、四川白甲鱼、岩原鲤
金沙	25.89	1022	1021	1.08	28.9	560	已建	未对栖息地保护提出要求	鱼道	胭脂鱼、圆口铜鱼、长薄鲹、长鳍吻鲈、岩原鲤、鲈鲤、四川白甲鱼、泉水鱼
银江	25.93	998.5	998	0.594	21.39	390	在建	未对栖息地保护提出要求	鱼道	胭脂鱼、鲈鲤、四川白甲鱼、圆口铜鱼、岩原鲤、长薄鲹、长鳍吻鲈、吻鲈、泉水鱼