

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

朱其广¹ 杨志¹ 唐会元¹ 樊寒冰² 胡莲¹¹

(1. 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,

水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北 武汉 430079;

2. 中国三峡建设管理有限公司, 四川 成都 610023)

【摘要】: 基于 2012~2017 年在金沙江中下游干流两个区域江段(攀枝花和巧家)的渔获物调查, 对两个区域内长江上游特有鱼类的生物学和生态学特征进行了研究, 并在此基础上, 探讨了适用于金沙江中下游特有鱼类的保护措施。结果显示: 2012~2017 年间, 共采集到特有鱼类 25 种, 隶属于 4 科 17 属; 向家坝和溪洛渡蓄水后, 各调查区域主要特有鱼类的资源丰度均明显下降; 除西昌白鱼外, 24 种鱼类均为适应流水、砾石生境的种类。基于生物学和生态学特征的分析, 认为金沙江中下游干支流的梯级开发以及持续的过度捕捞是影响该区域特有鱼类资源变动的主要因素, 因此建议在尽量延长各干流水库回水变动区流水生境江段长度的同时, 应在流域规划层面上, 保证重要支流生境的自然化; 此外, 应在重要生境区域加强渔业管理, 并同时加快特有鱼类的全人工繁殖工作。

【关键词】: 种群丰度 梯级水电开发 金沙江中下游

【中图分类号】: S932.4 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)07-1593-10

金沙江作为长江干流的上游部分, 跨越青海、西藏、四川、云南、贵州五省(区), 为我国鱼类物种多样性较高的区域之一。据资料记载^[1~5], 金沙江流域在历史上共分布有鱼类 214 种, 分属 6 目 17 科 89 属。同时, 金沙江河道狭窄, 谷坡陡峻, 水量丰沛而稳定, 干流可开发水能资源达 72000MW, 其水能资源的富集程度堪称世界之最, 是我国最大的水电能源基地。由于特有鱼类对区域内生境的特殊适应性以及梯级水电开发对自然生境的显著改变性, 金沙江干支流的水电开发不可避免地对区域内的特有鱼类资源造成影响, 并很可能对部分种类的物种生存构成明显威胁^[6,7]。根据蒋志刚等^[8]的研究结果, 金沙江干支流分布的 186 种鱼类中, 该区域分布近危(Near Threatened, NT)等级以上的鱼类共计 73 种, 占总种类数的 39.25%。

针对长江上游梯级开发对长江水生生物特别是鱼类栖息繁殖生境的影响, 国务院办公厅发布的《关于加强长江水生生物保护工作的意见》明确要求“实施生态修复工程”“构建生态廊道和生物多样性保护网络”、“优化完善生态调度”“开展基于水生生物需求、兼顾其他重要功能的统筹综合调度”、“科学开展增殖放流”“加快恢复水生生物种群适宜规模”以“全面加

作者简介: 朱其广(1985~), 男, 工程师, 主要研究方向为鱼类生态学。E-mail: zhuqiguang@mail.ihe.ac.cn;

胡莲 E-mail: hulian@mail.ihe.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(51379134); 中国三峡建设管理有限公司技术服务项目(JG/10917B)

强水生生物多样性保护”。为保证上述保护措施的实施，其首要前提是要摸清保护对象的资源现状、生物学特征及其生境需求。然而，由于政策、经济因素，长期以来，关于长江上游特别是金沙江中下游特有鱼类的生物学特征、生态学特征及其资源状况是缺乏系统研究的^[7]，这必然会对以特有鱼类为中心的保护措施的实施造成明显的影响。本文基于 2013~2017 年在金沙江中下游两个典型区域对长江上游特有鱼类的调查与研究，获取长江上游特有鱼类在金沙江中下游典型区域的生物学、生态学特征及资源变动状况，并结合梯级水电开发及其它人为干扰对鱼类生活史过程关键阶段生境特征的影响，提出适用于金沙江中下游特有鱼类的保护措施。

1 材料与方法

1.1 采样区域与采样时间

2012~2017 年 6~8 月和 11~12 月在金沙江中下游的两个区域江段开展特有鱼类样本采集，包括：(1) 攀枝花区域江段，涉及金沙江中游攀枝花干流及其附近支流雅砻江下游约 10km 江段(调查区域 A)；(2) 巧家区域江段，涉及金沙江下游巧家干流及其附近支流黑水河下游约 30km 江段(调查区域 B)。其中，攀枝花金沙江中游干流江段位于雅砻江与金沙江汇口以上、观音岩大坝以下，雅砻江下游江段包括桐梓林水电站坝下至雅砻江河口江段；巧家金沙江下游干流江段位于黑水河与金沙江汇口以上、蒙姑乡以下，黑水河下游江段包括老木河水电站坝下至黑水河口江段。调查区域 A 上游干流已建成的水电站有观音岩、鲁地拉、龙开口、金安桥、阿海和梨园，而调查区域 B 下游已建成的水电站有向家坝和溪洛渡，在建的有白鹤滩。调查区域 A 下游以及调查区域 B 上游在建的水电站为乌东德水电站。

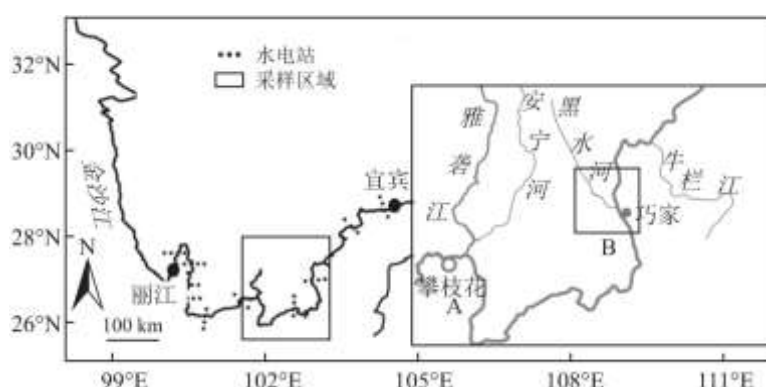


图 1 采样区域示意图

1.2 样本采集

雇佣当地渔民，使用当地渔民的渔具或提供渔具给当地渔民，并按照我们制定的样本采集时间(每次采样持续约 4~6h)，开展鱼类样本采集^[9,10]。主要渔具类型为刺网(包括定置刺网和流刺网)以及电捕器，其中刺网网目大小为 2~12cm，网高为 2~10m，网长为 30~120m；电捕器为背负式电捕鱼器(电瓶：20A, 12V；电鱼器功率：3000W)。现场采样时记录采样区域的水温，并实地观测采样江段的流速、底质类型等生境特征。

鱼类样本采集后，参考《四川鱼类志》^[2]进行种类鉴定，并逐尾测量其全长(精确到 1mm)、体长(精确到 1mm)、体重(精确到 0.1g)。逐尾进行年龄材料取样，年龄材料为臀鳞与微耳石。鳞片从肛门两侧选取，左右两侧各取 5~10 枚；再生鳞不得用于鉴定鱼类年龄；取下的鳞片置于鳞片袋中，带回实验室进一步处理^[11]。耳石通过剪破额骨，从脑后部的内耳球囊中取出，然后经 95%乙醇清洗、晾干后置于 96 孔培养板中后编号保存^[12]。年龄材料取样时应记录取样样本个体的全长、体长、体质量、性别、取样地点、取样时间、取样人等信息。同时，抽样部分样本进行现场解剖，测量其空壳重和性腺重(精确到 0.1g)并判别其性别。

和性腺发育期。性别和性腺发育期的判别参考殷名称^[13]和王剑伟^[14]的文献进行。性腺发育期处于 IV 期及其以上的个体被认为性成熟的个体。在 IV 期卵巢的前、中、后段分别取 2~3g 卵巢或取整个卵巢固定于 7%~8% 的福尔马林溶液中，然后带回实验室进行卵粒计数。

1.3 数据分析

首先，按采样江段统计不同特有鱼类在渔获物中的尾数百分比和重量百分比，然后逐年计算不同特有鱼类的单位捕捞努力量的渔获量 (Catch Per Unit Effort, CPUE)^[13]：

$$CPUE_i = W_i / d_i \quad (1)$$

式中：W_i 分别为第 i 年采集到的特有鱼类尾数；d_i 为第 i 年总采样努力量 (船·d)。

随后，比较不同江段特有鱼类在向家坝和溪洛渡蓄水前 (2012~2013) 后 (2014~2017) CPUE 的变动特征。

将两个采样江段所有年份的特有鱼类数据合并，计算不同特有鱼类的生物学特征：

体长-体重关系。应用公式 $W=a \times L^b$ 对体长和体重关系进行拟合，其中 W 为体重，L 为体长，a 和 b 为常数^[13]。

生长方程。基于体长-年龄数据，采用最小二乘法 (Least Square Method, LSQ) 拟合 VonBertalan 方程 (体长-年龄关系)： $L_t=L_{\infty}(1-e^{-k(t-t_0)})$ ；然后，基于体长-体重关系，获得体重-年龄生长方程： $W_t=W_{\infty}(1-e^{-k(t-t_0)})^b$ 。上式中，L_t(mm) 和 W_t(g) 分别为 t 龄时的体长和体重，L_∞ 和 W_∞ 分别为渐进体长和体重，k 为生长系数，t₀ 为理论生长起点年龄，t 表示时间 (以年为单位)^[13]。

自然死亡系数。自然死亡系数 M 采用下列公式进行计算^[15]：

$$\ln(M_L) = -0.0152 - 0.279 \ln(L_{\infty}) + 0.6543 \ln(K) + 0.463 \ln(T) \quad (2)$$

$$\ln(M_W) = -0.4851 - 0.0824 \ln(W_{\infty}) + 0.6757 \ln(K) + 0.4687 \ln(T) \quad (3)$$

$$M = (M_L + M_W) / 2 \quad (4)$$

式中：N 为每一个体长组的尾数；Δt 为对应体长组上限经体长转换年龄后的年龄减去该体长组下限经体长转换年龄后的年龄；a 为拟合截距；b 为拟合方程的斜率；M_L—基于体长的自然死亡系数；M_W—基于体重的自然死亡系数；L_∞—渐近体长；W_∞—渐近体重；K—生长系数；T—区域年均水温，℃，采用调查年份的周年平均水温；M—自然死亡系数。

最大生物量年龄采用 Alverson 和 Carney 模型估算^[16]：

$$T_{maxb} = (1/k) * \ln [(m+3k)/m]$$

式中：T_{maxb} 为最大生物量年龄；M 为自然死亡系数；k 为生长系数。

初次性成熟年龄及其平均体长和平均体重。统计各种鱼类的初次性成熟年龄 T_m ，本文以最小性成熟年龄作为初次性成熟年龄。基于初次性成熟年龄及生长方程估计初次性成熟时的平均体长 L_t 和平均体重 W_t 。

平均相对繁殖力。计算相对繁殖力：相对繁殖力(RF)=绝对繁殖力/体质量(g)，然后取平均值，得到平均相对繁殖力 $MRF^{[13]}$ 。

随后，根据现场调查结果与其它文献研究结果^[10, 17, 18]，对特有鱼类的食性、水流偏好、产卵类型、产卵区域、幼鱼庇护所和产卵时水温等生态学特征进行归纳与总结。

本文采用 excel2003、R 软件 3.0.1、PRIMER6 (版本 1.0.6) 以及 CorelDRAW12 进行数据录入、处理分析和绘图。本文的显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 种类组成及其相对丰度

2012~2017 年在调查区域共采集渔获物 509.03kg, 19996 尾，共鉴定出长江上游特有鱼类 25 种，隶属于 4 科 17 属。其中，鲤科鱼类比例最高，共有 10 属 15 种，占总种类数的 60.00%; 鲃科次之，共 3 属 5 种，占 20.00%; 平鳍鲃科再次之，3 属 4 种，占 16.00%; 最少为鮡科，仅有 1 属 1 种，占 4.00%。在攀枝花江段，中华金沙鲃 *Jinshaia sinensis* 的尾数百分比最高(7.26%)，其次为圆口铜鱼 *Coreius guichenoti* (4.54%)，圆口铜鱼的重量百分比最高(22.25%)，其次为细鳞裂腹鱼 *Schizothorax chongi* (15.80%); 在巧家江段，短体副鲃 *Paracobitis potanini* 的尾数百分比最高(22.94%)，其次为前鳍高原鲃 *Triplophysa anterodorsalis* (16.90%)，圆口铜鱼的重量百分比最高(33.06%)，其次为齐口裂腹鱼 *Schizothorax prenanti* (15.22%)。特有鱼类在两个江段渔获物中的尾数和重量比例分别为攀枝花 23.33% 和 65.18%，巧家 54.08% 和 65.60%。

2.2 蓄水前后种群丰度变动特征

向家坝和溪洛渡蓄水后，两个采样区域主要特有鱼类(剔除各年 CPUE 均小于 0.5 尾/d·船的种类)的 CPUE 均较之向家坝和溪洛渡蓄水前的 CPUE 有不同程度的下降，其中在攀枝花江段，鲈鲤的 CPUE 下降程度最大(100%)，其次为长鳍吻鲈和昆明裂腹鱼(分别下降 95.69% 和 95.17%)，下降最少的为峨眉后平鲃(35.56%); 在巧家江段，黄石爬鮡的 CPUE 下降程度最大(100%)，其次为短须裂腹鱼和中华金沙鲃(83.04% 和 76.77%)，下降最少的为短体副鲃(6.19%) (图 2)。

2.3 生物学特征

25 种特有鱼类的生物学特征见表 1。部分鱼类的生物学信息来源于文献资料。细鳞裂腹鱼、圆口铜鱼和岩原鲤的渐进体长 L_∞ 和渐进体重 W_∞ 明显大于其它特有鱼类；生长系数 K 以前鳍高原鲃最大，为 0.67/a。以岩原鲤最小，为 0.08/a; 初次性成熟年龄 T_m 集中在 1~3 龄；平均相对繁殖力 MRF 以前鳍高原鲃最高，为 535 粒/g，以细鳞裂腹鱼最低，为 5 粒/g (表 1)。

2.4 生态学特征

调查到的鱼类中，多数鱼类以着生藻类或底栖动物为主要食物，共 16 种，占总种类数的 65.38%; 除西昌白鱼水流偏好未知外，其它 24 种鱼类均为喜流水性鱼类种类；产粘沉性卵鱼类 17 种，占 68.00%，其它产漂流性卵鱼类 8 种，占 32.00%; 产卵区域主要分布在干流的鱼类有 4 种，占 16.00%，主要分布在支流的有 10 种，占 40.00%，在干支流均有分布的有 11 种，占 44.00%; 幼鱼庇护所主要分布在干流的鱼类有 5 种，占 20.00%，主要分布在支流的有 9 种，占 36.00%，在干支流均有分布的有 11 种，占 44.00%; 许多鱼类的产卵水温位于 20℃ 以下 (表 2)。

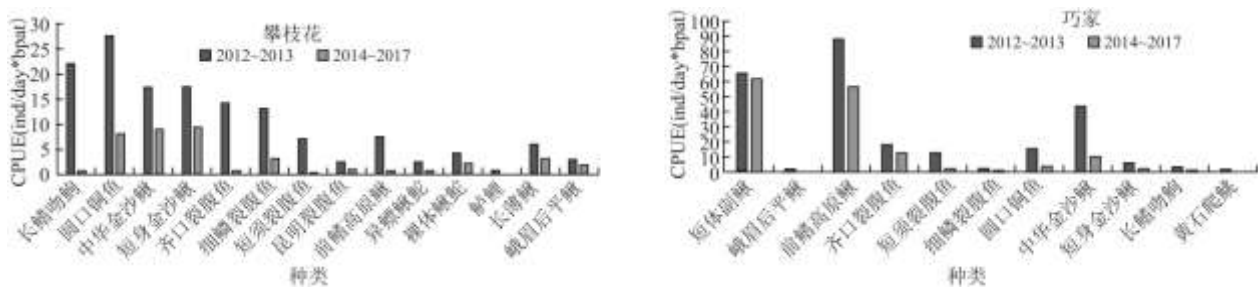


图2 金沙江中下游特有鱼类种群丰度在向家坝和溪洛渡水库蓄水前后(2012~2013 和 2014~2017)的变动

3 讨论

3.1 种类组成及其分布特征

吴江等^[1]归纳报道金沙江中下游干流共分布有鱼类 115 种或亚种, 其中长江上游特有鱼类 29 种。丁瑞华^[2]归纳总结金沙江干流分布有鱼类 152 种, 其中金沙江中下游分布有鱼类约 120 余种, 包括长江上游特有鱼类 48 种。于晓东等^[3]通过对现有鱼类志及其它相关文献的总结, 发现金沙江中下游流域(包括支流和湖泊)共分布有鱼类 166 种, 其中长江上游特有鱼类 78 种。鱼类和珍稀水生动物监测重点站 1997~2012 年在金沙江中下游的鱼类监测结果发现金沙江中下游干流共分布有鱼类 152 种, 其中长江上游特有鱼类 46 种^[24]。综合以上结果, 可发现主要分布在金沙江中下游干支流(不包括湖泊)的长江上游特有鱼类为 58 种。本研究结果显示, 在金沙江中游的攀枝花、巧家及其附近支流雅砻江、黑水河下游共发现长江上游特有鱼类 25 种, 其占该区域总特有鱼类种类数的 43.10%, 表明这两个采样区域具有较高的长江上游特有鱼类丰富度。在金沙江中下游干流梯级开发的背景下, 应重点保护或恢复这两个采样区域的特有鱼类栖息生境。

表1 2014~2017 年金沙江中下游 25 种特有鱼类的生物学特征

种类	平均体重(g)	L_{∞} (mm)	W_{∞} (g)	K(a)	M(a)	T_n	T_{maxb}	L_F (mm)	W_F (g)	MRF(粒/g)
短体副鳅	3.7	133.4	45.4	0.45	0.99	1	1.91	58	3.8	51
宽体沙鳅 ^[a]	33.5	145.1	51.2	0.41	0.91	2	2.09	115	20.5	232
长薄鳅 ^[b]	39.1	682.2	3921.2	0.14	0.29	2	6.40	173	56.8	57
红唇薄鳅 ^[c]	44.8	220.2	100.1	0.23	0.56	3	3.49	123	17.6	161
前鳍高原鳅	3.7	141.1	31.4	0.67	1.26	1	1.42	66	3.2	535
半鳊	29.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
钝吻棒花鱼	5.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
西昌白鱼	3.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
圆口铜鱼	231.6	796.2	9679.4	0.11	0.24	3	7.86	409	573.5	20
长鳍吻鲈	36.6	312.8	526.1	0.29	0.59	3	3.12	152	57.2	164
异鳔鲈 ^[d]	6.3	195.5	136.1	0.16	0.45	1	4.54	82	9.1	282

裸体鳅鮡	6.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鲈鲤	2685.7	—	—	—	—	3	—	—	—	—
齐口裂腹鱼	93.7	607.1	3219.9	0.14	0.31	2	6.12	226	186.1	9
短须裂腹鱼	115.9	544.0	2558.1	0.16	0.35	2	5.40	219	182.9	10
四川裂腹鱼 ^[e]	273.5	598.4	3134.7	0.09	0.23	3	8.63	261	270.9	15
细鳞裂腹鱼	307.0	774.7	10276.7	0.13	0.28	3	6.71	237	255.5	5
长丝裂腹鱼	605.9	—	—	—	—	3	—	—	—	—
昆明裂腹鱼	188.9	—	—	—	—	—	—	320	725.0	10
岩原鲤 ^[f]	48.8	929.4	6876.7	0.08	0.19	3	10.21	235	350.0	32
中华金沙鳅	7.4	170.5	58.0	0.34	0.77	2	2.48	91	8.7	30
短身金沙鳅	5.3	161.8	49.2	0.32	0.75	2	2.58	82	6.1	35
峨眉后平鳅	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
西昌华吸鳅	1.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
黄石爬鮡	18.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—

河流连续统理论认为从源头到任何河流的河口都存在一个连续的物理条件梯度，这一连续的物理条件梯调节着河流中的生物过程，从而使得鱼类群落的结构也沿物理梯度呈现一定规律的排列方式^[25]。Gao 等^[26] (2015) 也发现鱼类物种丰富性沿纵向梯度呈增加趋势。本文的结果显示上游攀枝花江段采集到的特有鱼类种类数明显多于其下游巧家江段采集到的特有鱼类种类数，该结果与鱼类物种丰富度的变动趋势是相反的，但与金沙江生境纵向分布规律相匹配：攀枝花以上的金沙江中游属于典型的峡谷激流生境，特有性的青藏高原鱼类比例较高，而攀枝花以下江段属于西南山地急流生境，以江河平原鱼类为主^[1]。李浩林^[27]通过分析也认为金沙江干流鱼类的时空分布格局应以虎跳峡、攀枝花和新市镇为节点分为 4 段，也进一步证明了特有鱼类空间分布格局在两个采样区域间存在显著性差异。

表 2 2012~2017 年金沙江中下游特有鱼类的生态学特征

种类	食性	水流偏好	产卵类型	产卵区域	幼鱼庇护所	产卵时水温
短体副鳅	ZB, PB	R	SDE	M&T	M&T	10~16
宽体沙鳅	ZB, PB	R	SDE	M&T	M&T	≥18
长薄鳅	C	R	DRE	M&T	M&T	≥18
红唇薄鳅	ZB	R	DRE	M&T	M&T	≥18
前鳍高原鳅	ZB, PB	R	SDE	T	T	≥10

半髯	ZB	R	SDE	M&T	M&T	≥ 16
钝吻棒花鱼	ZB	R	SDE	M&T	M&T	≥ 16
西昌白鱼	-	-	SDE	T	T	-
圆口铜鱼	O, ZB	R	DRE	M	M	18~26
长鳍吻鮡	ZB	R	DRE	M	M	14.5~23
异鳔鮡	ZB	R	DRE	M	M	≥ 16
裸体鮡	ZB	R	DRE	M	M	≥ 16
鲈鲤	C	R	SDE	M&T	M&T	14~18
齐口裂腹鱼	PB	R	SDE	T	T	10~19
短须裂腹鱼	PB	R	SDE	T	T	11~16
四川裂腹鱼	PB	R	SDE	T	T	≥ 10
细鳞裂腹鱼	PB	R	SDE	T	T	13~18
长丝裂腹鱼	PB	R	SDE	T	T	≥ 10
昆明裂腹鱼	PB	R	SDE	T	T	≥ 10
岩原鲤	O	R	SDE	T	M&T	18~26
中华金沙鳅	PB	R	DRE	M&T	M&T	18~26
短身金沙鳅	PB	R	DRE	M&T	M&T	17~26
峨眉后平鳅	PB	R	SDE	M&T	M&T	≥ 16
西昌华吸鳅	PB	R	SDE	T	T	≥ 16
黄石爬鮠	ZB, PB	R	SDE	M&T	M&T	17~28

3.2 金沙江中下游特有鱼类资源变动的影响因素分析

表 1 显示绝大部分种类的平均体重小于初次性成熟时的平均体重,表明采样区域的多数鱼类物种为幼鱼个体,采样区域已面临严重的过度捕捞。高少波等^[28]基于渔获物结构的分析以及杨志等^[9]基于鱼类群落结构年际变动的研究均发现金沙江中下游许多江段存在明显的过度捕捞现象。早在金沙江中下游干流未修建水电站时,吴江等^[1]已发现不择手段的酷渔滥捕、工业废物造成的水体污染等人类活动已对金沙江中下游江段鱼类资源产生了相当严重的影响。显而易见地,本文采样区域的过度捕捞情况是长期存在的。在许多鱼类作为重要产卵与栖息生境的支流河段中,特别是可涉水支流中,严重的电捕捞作业是普遍可见的。作者在 2014 年黑水河采样期间,在白天就观察到数组人在不超过 3km 的江段进行电捕捞作业。Snyder^[29]归纳总结到电捕作业不仅会导致鱼类直接的死亡,而且也会导致鱼类个体脊柱的损伤、鳃部的出血、产卵场内鱼类胚胎的死亡以及施加过度的生理压力。上述有害的影响均会影响鱼类补充群体的数量和组成结构,从而导致许多鱼类退出部分分布生境(特别是在小型支流中)或种群数量急剧变小。

谢平^[30]指出节制闸和水电站等水利工程的修建是导致长江流域水生生物多样性危机的首要因素,而酷渔乱捕是帮凶。许多在金沙江中下游的研究也发现水利工程对该区域的鱼类资源造成了明显的影响,这些影响主要体现在蓄水倒灌对原有自然生境特征的显著改变以及生境阻隔导致的洄游通道的阻断^[7,9,28]。在本文中,特有鱼类(除西昌白鱼外)均为适应流水栖息生境的种类,其摄食类型多为着生藻类、底栖无脊椎动物,产卵基质以及幼鱼庇护所基质均为砂砾底质。此外,许多特有鱼类还有生殖迁徙或洄游的特征。研究表明,具有上述生态特征的鱼类容易受到水电站成库倒灌的影响^[17,31,32],因为这些鱼类的食物组成、产卵及幼鱼庇护所基质以及生殖洄游通道均会受到水库倒灌及坝体阻隔的影响^[7,33]。本文图2的结果已显示向家坝和溪洛渡蓄水后,两个采样区域主要特有鱼类的资源丰度均呈较大程度下降的趋势,表明蓄水前后的特有鱼类群落结构已发生明显的变动。唐会元等^[34]和杨志等^[9]的研究结果表明向家坝和溪洛渡蓄水前(调查时间分别为2006~2012和2009~2012年),巧家和攀枝花江段各年间的鱼类群落结构没有显著性的差异,各年度间特有鱼类丰度的差异也较小。由于在向家坝和溪洛渡蓄水前,采样区域的过度捕捞已持续存在^[1],因此可以认为金沙江中下游梯级水库的修建对该区域特有鱼类资源的影响是严重的。

He等^[35]研究发现海拔、比降、河流长度、流量、径流量、耕地、高山与亚高山草甸是影响特有鱼类群聚结构的重要环境因素,而海拔、流域面积、流量、径流量、耕地、坡地草地是影响特有鱼类丰富度的重要环境因素。因此,金沙江中下游特有鱼类的资源变动除与该区域的水电工程有关(如与流量相关的流量过程与大小改变、与比降相关的流速改变、与海拔相关的水温改变等)以外,也很可能与区域内沿岸的土地利用模式以及陆源污染物的输入有关。

3.4 金沙江中下游特有鱼类保护措施分析

刘建康等^[36]建议长江上游江段应以维护生物多样性、保护特有种为主,需要建立鱼类自然保护区,开展就地保护。常剑波等^[37]认为在针对各种不同的影响开展相应的保护措施前,应首先在流域层面上对河流的开发与保护进行统筹规划,并从规划的角度避免对水域生态系统的不良影响。张雄等^[6]基于河流栖息地整体评估模型,建议在金沙江干流梯级水库开发的背景下,将乌东德库区的龙川江和鲹鱼河、白鹤滩库区的黑水河和普渡河、溪洛渡库区的牛栏江和西溪河,以及向家坝库区的西宁河作为金沙江下游鱼类优先保护的支流。Cheng等^[7]在充分分析金沙江梯级水电开发对特有鱼类的影响背景下,建议采取加强长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保护区的管理、自然水文情势的恢复以及受威胁物种的增殖放流这3种措施,以期实现对长江上游特有鱼类资源的保护。

金沙江中下游干流的梯级水库成首尾相连的排列形式,导致金沙江中下游干流的流水江段主要局限在库尾江段及其部分支流河口及上游河段(通常呈分散分布)。就金沙江下游干流而言,当下游干流4个梯级水电站蓄水运行后,其在低水位运行时的流水江段主要包括以下4个江段:(1)松溪镇至永善县城江段;(2)金阳县对坪镇至白鹤滩电站坝址江段;(3)普渡河口至乌东德电站坝址江段;(4)鱼鲊乡至金沙江与雅砻江交汇处江段。上述四个江段,特别是白鹤滩和乌东德库尾回水变动区及上游江段(对应第3和第4个江段,为圆口铜鱼、长鳍吻鲈、中华金沙鳅、长薄鳅等许多特有鱼类的产卵场^[38,39])为金沙江中下游干流特有鱼类关键的栖息生境,应予以重点保护。这些江段除了应加强非法捕捞管理以及水域污染控制外,建议实施水文调度形成人造洪峰过程,促进坝下产漂流性卵特有鱼类的自然繁殖,提高其繁殖规模,并通过库区水位调度尽量延长这些江段流水生境的长度,以提升这些漂流性卵鱼类早期补充群体的存活率。另外,还可以通过叠梁门分层取水的方式,减缓低温水下泄对坝下江段鱼类自然繁殖的影响。

对于能够在支流进行栖息繁殖的种类如裂腹鱼类、鲃科等鱼类而言,建议增加部分支流进行关键生境保护。目前,尽管黑水河已作为白鹤滩库区干流鱼类的替代生境,但是该区域的生境特征(水深、流量、岸滩分布面积等)决定了其仅能够维持部分支流栖息繁殖鱼类的部分种群,而对典型干流河道型鱼类如圆口铜鱼、长鳍吻鲈、鲈鲤等的保护作用有限。张雄等的调查发现,相较之黑水河,牛栏江分布有更多的特有鱼类,特别是中大型个体规格的特有鱼类^[6]。因此,在金沙江流域规划层面上,看是否能够保证牛栏江具有较长长度的自然流水江段(减少梯级水电站的数量),增加这些特有鱼类在金沙江下游的生存空间。

本文的生物学结果表明采样区域存在持续的过度捕捞现象,因此在长江流域全面禁渔后,应加强各关键生境区域的禁渔管

理,在重要生境区域建立禁渔管理队伍,投入更多监管设备,完善监管奖惩制度,保证在每年各个时刻(特别是晚上)能够对干支流重要水域进行实时监控。由于金沙江干支流普遍的梯级水电开发,特有鱼类在金沙江干支流的适宜栖息繁殖生境预计将最终减少90%以上,因此在禁渔管理加强的同时,应加快特有鱼类全人工繁殖工作的进行以及室内基因物种的保存。否则,当我们要对某些物种进行人工繁殖试验时,可能在野外已难以找到充足数量的亲鱼样本。

参考文献:

- [1]吴江,吴明森.关于金沙江石鼓到宜宾段鱼类资源的概况及其利用问题[J].西南师范学院学报,1985(1):80-87.
- [2]丁瑞华.四川鱼类志[M].成都:四川科学技术出版社,1994.
- [3]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[J].生物多样性,2005,13(6):473-495.
- [4]张春光,杨君兴,赵亚辉,等.金沙江流域鱼类[M].北京,科学出版社,2019.
- [5]孙赫英,隋晓云,何德奎,等.金沙江流域鱼类的系统保护规划研究[J/OL].水生生物学报.<http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1230.Q.20200122.1643.028.html>.
- [6]张雄,刘飞,林鹏程,等.金沙江下游鱼类栖息地评估和保护优先级研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(4):496-503.
- [7]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.
- [8]蒋志刚,江建平,王跃招,等.2016.中国脊椎动物红色名录.生物多样性,24(5):500-551.
- [9]杨志,唐会元,朱迪,等.金沙江干流攀枝花江段鱼类种类组成和群落结构研究[J].水生态学杂志,2014,35(5):43-51.
- [10]杨志,龚云,董纯,等.2017.黑水河下游鱼类资源现状及其保护措施[J].长江流域资源与环境,26(6):847-855.
- [11]李忠利,胡思玉,陈永祥,等.乌江上游四川裂腹鱼的年龄结构与生长特性[J].水生态学杂志,2015,36(2):75-80.
- [12]SHIMOSE T,TANABE T,CHEN K S,et al.Age determination and growth of Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, off Japan and Taiwan [J].Fisheries Research,2009,100(2):134-139.
- [13]殷名称.鱼类生态学[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [14]王剑伟.稀有鮡鲫的繁殖生物学[J].水生生物学报,1992,16(2):165-174.
- [15]PAULY,1980.On the interrelationships between natural mortality growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks [J].ICES Journal of Marine Science,39(2):175-192.
- [16]ALVERSON D L,CARNEY M J.A graphic review of the growth and decay of population cohorts [J].ICES Journal of Marine Science,1975,36(2):133-143.

-
- [17]PARK Y S, CHANG J B, LEK S, et al. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges dam[J]. Conservation Biology, 2003, 17(6):1748-1758.
- [18]杨少荣. 长江流域鱼类群落生态学研究[D]. 中国科学院水生生物研究所, 2012.
- [19]黄燕, 岳兴建, 王芳, 等. 沱江宽体沙鳅个体生殖力的研究[J]. 四川动物, 2011, 30(6):916-920.
- [20]田辉伍. 长江上游保护区长薄鳅和红唇薄鳅种群生态及遗传结构比较研究[D]. 西南大学博士学位论文, 2013.
- [21]曹玉琼. 异鳔鳅鲇的年龄与生长、繁殖生物学研究[D]. 华中农业大学, 2003.
- [22]陈永祥, 罗泉笙. 乌江上游四川裂腹鱼繁殖力的研究[J]. 动物学研究, 1995, 16(4):324-342.
- [23]蔡焰值, 蔡烨强, 何长仁, 等. 岩原鲤的生物学初步研究[J]. 水生态学杂志, 2003, 23(4):17-19.
- [24]中国科学院水生生物研究所. 长江三峡工程生态与环境监测系统鱼类和珍稀水生动物监测重点站年度技术报告(1997-2012年)[R]. 2013.
- [25]VANNOTE R L, MINSHALL G W, CUMMINS K W, et al. The river continuum concept [J]. Canadian Journal of Fishery & Aquatic Science, 1980, 37(2):130-137.
- [26]GAO X, ZHANG Y, DING S, et al. Response of fish communities to environmental changes in an agriculturally dominated watershed (Liao River Basin) in northeastern China[J]. Ecological Engineering, 2015, 76:130-141.
- [27]李浩林. 金沙江流域鱼类物种多样性及其分布格局[D]. 中国科学院大学硕士学位论文. 2015.
- [28]高少波, 唐会元, 乔晔, 等. 金沙江下游干流鱼类资源现状研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(1):44-49.
- [29]SNYDER D E. Invited overview: conclusions from a review of electrofishing and its harmful effects on fish [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2003, 13(4):445-453.
- [30]谢平. 长江的生物多样性危机——水利工程是祸首, 酷渔乱捕是帮凶[J]. 湖泊科学, 2017, 29(6):1279-1299.
- [31]GAO X, ZENG Y, WANG J W, et al. Immediate impacts of the second impoundment on fish communities in the Three Gorges [J]. Environmental Biology of Fishes, 2010, 87(2):163-173.
- [32]刘飞. 赤水河鱼类群落生态学研究[D]. 中国科学院水生生物研究所, 武汉, 2013.
- [33]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.
- [34]唐会元, 杨志, 高少波, 等. 金沙江下游巧家江段的鱼类生物多样性及其群落结构的年际动态[J]. 水生态学杂志,

2014, 35(6):7-15.

[35]HE Y F, WANG J W, LEK-ANG S, et al. Predicting assemblages and species richness of endemic fish in the upper Yangtze River [J]. Science of the Total Environment, 2010, 408(19):4211-4220.

[36]刘建康, 曹文宣. 长江流域的鱼类资源及其保护对策[J]. 长江流域资源与环境, 1992, 1(1):17-23.

[37]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[C]//国家环境保护总局环境影响评价管理司, 水利水电开发项目生态环境保护研究与实践. 北京: 中国环境科学出版社, 2006, 239-253.

[38]胡兴坤, 阙延福, 李伟涛, 等. 金沙江二期工程蓄水前下游皎平渡江段产漂流性卵鱼类产卵场现状[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(10):2200-2208.

[39]周湖海, 田辉伍, 何春, 等. 金沙江下游巧家江段产漂流性卵鱼类早期资源研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(12):2910-2920.