DOI:10.15928/j.1674－3075.2018.06.010

黑水河鱼类优先保护次序的定量分析

宋一清[1,2]，成必新[1]，胡　伟[1]

（1.上海勘测设计研究院有限公司，上海　200434；
2.中国科学院水生生物研究所，湖北 武汉　430072）

摘要：在金沙江下游干流大规模水电开发的背景下，干流开发与支流保护是生态环境保护的有效措施。黑水河是白鹤滩库区鱼类的优先保护支流，确定其鱼类优先保护次序和保护物种是进行鱼类栖息地修复和保护工作的首要任务和前提基础。在野外调查和查阅相关文献资料的基础上，运用濒危系数、遗传价值系数和物种价值系数对黑水河 35 种鱼类进行优先保护次序的定量分析，并结合黑水河栖息地实际情况，确定保护目标鱼类。结果显示，达到黑水河 1 级保护的鱼类只有 1 种，为长江上游特有鱼类长薄鳅（*Leptobotia elongata*）；达到 2 级保护的种类有 12 种，其中昆明裂腹鱼（*Schizothorax grahami*）、黄石爬鮡（*Euchiloglanis kishinouyei*）、短须裂腹鱼（*Schizothorax wangchiachii*）和长鳍吻鮈（*Rhinogobio ventralis*）为长江上游特有鱼类；处于 3 级保护的鱼类有 17 种，其中钝吻棒花鱼（*Abbottina obtusirostris*）和张氏䱗（*Hemiculter tchangi*）是长江上游特有鱼类；4 级保护鱼类有 5 种，其中短体副鳅（*Paracobitis potanini*）为长江上游特有鱼类，评价结果基本反映了黑水河鱼类的实际情况。结合白鹤滩水库蓄水后黑水河栖息地生境改变的情况，最终确定昆明裂腹鱼、黄石爬鮡、短须裂腹鱼为黑水河栖息地修复和保护的目标鱼类，长薄鳅和长鳍吻鮈为备选保护鱼类。

关键词：黑水河；优先保护；特有鱼类

中图分类号：X176　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1674－3075(2018)06－0065－08

金沙江下游是指攀枝花到宜宾大约 782 km 的江段，鱼类多样性丰富，142 种（亚种）鱼类生活在此江段，其中长江上游特有种有 58 种，占长江上游特有鱼类总数的 47%（刘建康和曹文宣，1992；Fu et al，2003）；此江段是这些鱼类重要的产卵场和育幼场，尤其是产漂流性卵的种类（如长薄鳅和长鳍吻鮈）和喜流水生境产粘性卵的种类（如裂腹鱼），是长江上游珍稀特有鱼类重要的保护基地（吴江，1989；曹文宣，2011；高少波等，2013）；同时，金沙江下游是我国最大的水电基地和“西电东送”重要能源基地，将建成乌东德、白鹤滩、溪洛渡和向家坝 4 级电站（王俊等，2017；张超然等，2007）。梯级大坝的建设将导致原本连续性的河流片段化，流水环境变为静水或者缓流水的水库环境，引起鱼类等水生生物栖息地环境剧烈改变，阻断鱼类的洄游通道，严重威胁土著及喜流水性鱼类的生存，将导致生物多样性丧失（Cheng et al，2015）。

确定优先保护物种，是开展生物多样性保护的首要任务（陈灵芝和马克平，2001）。在鱼类群落中，每个种（种群）的重要性不同，保护价值也不同；同时，用于保护的资金、人力和物力也有限。因此，构建科学合理的评价指标体系和方法对鱼类保护等级进行评价，确定保护优先次序，有针对性地采取合理有效的保护和恢复措施，才能达到最佳的保护效果（崔国发和成克武，2000）。物种优先保护评价已经广泛应用于珍稀濒危植物保护研究（杨帮华等，2008；翁梅等，2012）。刘军（2004）首次借鉴植物评价体系对长江上游特有鱼类进行了优先保护顺序的定量分析；等级评估也应用于各流域，如黄河（蒋晓辉等，2005）、河口及邻近海域（彭涛等，2011）、新疆哈巴河（牛建功等，2012）、东江（张豫等，2013）和长江上游（徐建新等，2014；徐薇等，2014）。

在金沙江下游干流大规模水电开发的背景下，干流开发与支流保护为尽可能减缓水利工程对生态环境的不利影响、避免造成不可逆的生态系统损害提供了新的思路与策略。支流保护是指通过支流的生境替代或补偿干流受水电开发影响的水生生物的保护（高婷等，2012）。对金沙江下游 12 条支流进行鱼类栖息地保护优先级评估发现，黑水河可作为白鹤滩库区的鱼类优先保护支流（张雄等，2014）。黑水河是金沙江下游左岸一级支流，位于白鹤滩水电

收稿日期：2017－08－11

基金项目：国家重点研发计划重点专项（2016YFC0502210）。

作者简介：宋一清，1988 年生，女，博士，主要从事鱼类生态学研究。E-mail：y-tsing@163.com

站上游约30 km,全长173 km,调查发现有43种鱼类(中国电建集团华东勘测设计研究院,2014),占金沙江下游干流调查鱼类(2008-2011年)总数的55%,其中特有鱼类12种,占金沙江下游特有种21%(高少波等,2013)。通过对黑水河干流的栖息地保护与修复可发挥其流水生境对长江上游特有鱼类的保护作用,也为白鹤滩库区喜缓流和静水生境但需流水刺激产卵的鱼类提供适宜的栖息地。确定黑水河鱼类优先保护次序,是鱼类栖息地恢复与保护工作的首要任务和前提基础,也是恢复和保护黑水河生态系统的关键。本文以前人研究为基础,结合黑水河的实际情况,初步对鱼类优先保护等级进行定量分析和保护目标确定,以期为黑水河鱼类栖息地恢复和保护措施制定提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文使用的鱼类数据主要来源于2014年《金沙江白鹤滩水电站环境影响报告书》中2008年5-6月、2011年5-6月、2012年5-6月和9-10月的黑水河渔获物调查以及2017年5月本项目组进行的鱼类资源调查数据。

综合以上数据共发现有43种鱼类,隶属于3目8科33属。本文选取其中资料齐全的35种鱼类进行优先保护顺序的研究,包括长江上游特有种8种,分别是短体副鳅、长薄鳅、张氏鲨、长鳍吻鮈、钝吻棒花鱼、短须裂腹鱼、昆明裂腹鱼和黄石爬鮡。黑水河优先等级鱼类名录见表1。

表1 黑水河优先等级分析鱼类名录

Tab.1 Fish species included in the analysis of conservation priority in the Heishui River

序号	鱼名	长江上游特有种	保护地位	受威胁程度
1	红尾副鳅 *Homatula variegata*			
2	短体副鳅 *Paracobitis potanini*	是		
3	横纹南鳅 *Schistura fasciolata*			
4	贝氏高原鳅 *Triplophysa bleekeri*			
5	长薄鳅 *Leptobotia elongata*	是	重庆市重点	易危
6	泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus*			
7	宽鳍鱲 *Zacco platypus*			
8	似鳊 *Pseudobrama simoni*			
9	彩石鳑鲏 *Rhodeus lighti*			
10	高体鳑鲏 *Rhodeus ocellatus*			
11	银飘鱼 *Pseudolaubuca sinensis*			
12	张氏鲨 *Hemiculter tchangi*	是		
13	唇鲭 *Hemibarbus labeo*			
14	麦穗鱼 *Pseudorasbora parva*			
15	长鳍吻鮈 *Rhinogobio ventralis*	是		濒危
16	钝吻棒花鱼 *Abbottina obtusirostris*	是		
17	蛇鮈 *Saurogobio dabryi*			
18	中华倒刺鲃 *Spinibarbus sinensis*			
19	白甲鱼 *Onychostoma simum*			
20	墨头鱼 *Garra pingi pingi*			
21	短须裂腹鱼 *Schizothorax wangchiachii*	是		
22	昆明裂腹鱼 *Schizothorax grahami*	是	贵州省重点	濒危
23	鲤 *Cyprinus carpio*			
24	鲫 *Carassius auratus*			
25	犁头鳅 *Lepturichthys fimbriata*			
26	鲇 *Silurus asotus*			
27	南方鲇 *Silurus meridionalis*			
28	瓦氏黄颡鱼 *Pseudobagrus vachellii*			
29	粗唇鮠 *Pseudobagrus crassilabris*			
30	切尾拟鲿 *Pseudobagrus truncatus*			
31	白缘鮠 *Liobagrus marginatus*			
32	中华纹胸鮡 *Glyptothorax sinensis*			
33	福建纹胸鮡 *Glyptothorax fokiensis*			
34	黄石爬鮡 *Euchiloglanis kishinouyei*	是		濒危
35	子陵吻鰕虎鱼 *Rhinogobius giurinus*			

1.2　优先保护等级评价方法

本研究参考他人的优先保护等级评价方法（刘军，2004；牛建功等，2012），评价体系由物种濒危系数（Threatened coefficient，C_t）、遗传价值系数（Genetic coefficient，C_g）和物种价值系数（Specific value coefficient，C_s）组成。研究物种的优先保护顺序由以上 3 个系数按一定权重计算后累加得到的综合评价值进行排序。有关数据来源于 2008－2017 年黑水河野外鱼类资源调查和相关文献（丁瑞华，1994；中国电建集团华东勘测设计研究院，2014）。

1.2.1　物种濒危系数　物种濒危系数（C_t）表示某种鱼类的受威胁程度，确定以下 6 项定量评价指标：

（1）河段长度：根据鱼类在黑水河中分布长度，按 3 级进行评分；

（2）出现频率：根据渔获物中各种类在黑水河的出现频率，按 5 级进行评分；

（3）相对数量比例：根据渔获物中某种鱼类数量占总数量比例的大小，按 6 级进行评分；

（4）相对怀卵量：根据相对怀卵量的大小，按 5 级进行评分；

（5）繁殖年龄：根据雌性最小繁殖年龄的大小，按 3 级进行评分；

（6）繁殖方式：根据繁殖方式确定分值，反应了鱼类对栖息地生境范围需求的大小，按 2 级进行评分（表 2）。

1.2.2　遗传价值系数　遗传价值系数（C_g）表示某一种鱼类在灭绝后，对生物多样性可能产生的遗传基因损失程度，是对其潜在遗传价值的定量评价，一般情况下依据其所属情况和其所含种数量按 3 级进行评分；特有情况时根据相关资料，统计了黑水河鱼类的分布情况，根据在这些水域的分布情况按 3 级进行评分（表 2）。

1.2.3　物种价值系数　物种价值系数（C_s）是用来表示某种鱼类所具有科学研究价值和经济价值的大小，主要通过生态价值和经济价值指标按 3 级进行评分。生态价值根据某种鱼类在黑水河鱼类群落中的重要性评分；经济价值根据某种鱼类的在当地经济价值高低而评分（表 2）。

1.3　评价系数计算值及综合评价值

1.3.1　评价系数计算　各评价指标计算公式如下：

$$C=\sum_{i=1}^{n} x_i / \sum_{i=1}^{n} X_i \qquad (1)$$

式中：C 分别代表 C_t、C_g、C_s 各评价系数的实际得分；x_i 为各评价系数的实际得分；X_i 为各评价系数指标规定的最高分值；n 为各评价系数的指标总个数。

1.3.2　综合评价值　计算得到黑水河 35 种鱼类的濒危系数、遗传价值系数和物种价值系数后，则可按一定的权重分配上述 3 个系数，其乘积之和即为综合评价值（Synthetic assessing value，V_s）。权重分配是根据各评价指标的相对重要程度而定，经过专业人员对相关文献资料反复研讨，本研究最终借鉴刘军（2004）和牛建功等（2012）权重分配进行综合评价值计算，濒危系数的权重为 60%，遗传价值系数的权重为 25%，物种价值系数的权重为 15%；再依据其综合评价值大小确定优先保护顺序。综合评价值（V_s）计算公式如下：

$$V_s=60\%\times C_t+25\%\times C_g+15\%\times C_s \qquad (2)$$

根据计算得到的 V_s，将黑水河 35 种鱼的优先保护顺序划分为 4 级：$V_s\geqslant 0.80$，为 1 级保护；$0.65\leqslant V_s<0.80$，为 2 级保护；$0.50\leqslant V_s<0.65$，为 3 级保护；$V_s<0.50$，为 4 级保护，即不需要加以特殊保护。

表 2　黑水河 35 种鱼类优先等级评价指标和评价标准

Tab.2　Evaluation indicators and standards used to analyze the conservation priority for 35 fish species in Heishui River

评价系数		评价指标	评分标准					
			6 分	5 分	4 分	3 分	2 分	1 分
物种濒危系数	x_1	分布范围/km	–	–	–	$x_1\leqslant 30$	$30<x_1\leqslant 50$	$x_1>50$
	x_2	出现频率/%	–	$x_2\leqslant 20$	$20<x_2\leqslant 40$	$40<x_2\leqslant 60$	$60<x_2\leqslant 80$	$x_2>80$
	x_3	相对数量比例/%	$x_3\leqslant 0.1$	$0.1<x_3\leqslant 0.5$	$0.5<x_3\leqslant 1.0$	$1.0<x_3\leqslant 5.0$	$5.0<x_3\leqslant 10.0$	$x_3>10.0$
	x_4	相对怀卵量/粒·g^{-1}	–	$x_4\leqslant 50$	$50<x_4\leqslant 100$	$100<x_4\leqslant 200$	$200<x_4\leqslant 300$	$x_4>300$
	x_5	繁殖年龄	–	–	–	≥5	3～4	1～2
	x_6	繁殖方式	–	–	–	–	产漂流性卵	产沉粘性卵
遗传价值系数	x_7	种型情况	–	–	–	单型属或特有属	所在属含 2～3 种	所在属含 3 种以上
	x_8	特有情况	–	–	–	本流域特有种	2～3 个水域分布	分布广泛
物种价值系数	x_9	生态价值	–	–	–	优势种	常见种	罕见种
	x_{10}	经济价值	–	–	–	珍贵经济物种	有一定的经济价值	经济价值很低

2 评价结果

根据综合评价值对黑水河鱼类优先保护顺序进行分级，结果见表3。

1级保护鱼类只有1种，为长江上游特有鱼类长薄鳅，仅占黑水河研究鱼类总种类数的2.9%。

表3 黑水河35种鱼类优先保护等级综合评估结果

Tab.3 Classification of conservation priority for 35 fish species in Heishui River

种名	物种濒危系数				遗传价值系数					物种价值系数				综合评价值	保护等级
	分布江段长度	日出现频率	相对数量比例	相对怀卵量	繁殖年龄	繁殖方式	得分	种型情况	稀有性	得分	经济价值	生态价值	得分		
长薄鳅	3	4	6	5	3	2	0.96	1	3	0.67	3	1	0.67	0.84	1级
昆明裂腹鱼	3	4	5	5	3	1	0.88	1	3	0.67	3	1	0.67	0.79	2级
黄石爬鮡	3	5	5	5	3	1	0.92	2	2	0.67	2	1	0.50	0.79	2级
中华倒刺鲃	3	4	6	5	2	1	0.88	1	3	0.67	2	1	0.50	0.77	2级
犁头鳅	3	3	5	5	1	2	0.79	2	3	0.83	1	1	0.33	0.73	2级
短须裂腹鱼	2	2	3	5	3	1	0.67	1	3	0.67	3	3	1.00	0.72	2级
粗唇鮠	3	5	5	5	1	1	0.83	1	2	0.50	2	1	0.50	0.70	2级
唇鱊	3	5	6	5	1	1	0.88	1	1	0.33	2	1	0.50	0.68	2级
白甲鱼	3	4	4	5	2	1	0.79	1	2	0.50	2	1	0.50	0.68	2级
长鳍吻鮈	3	2	5	3	2	2	0.71	1	3	0.67	2	1	0.50	0.67	2级
切尾拟鲿	3	5	5	3	1	1	0.75	1	3	0.67	1	1	0.33	0.67	2级
南方鲇	3	4	6	3	2	1	0.79	1	1	0.33	2	2	0.67	0.66	2级
银飘鱼	3	5	6	3	1	1	0.79	2	1	0.50	1	1	0.33	0.65	2级
似鳊	2	5	6	1	1	2	0.71	3	1	0.67	1	1	0.33	0.64	3级
福建纹胸鮡	3	4	4	4	1	1	0.71	1	2	0.50	2	1	0.50	0.63	3级
墨头鱼	2	2	4	5	2	1	0.67	1	2	0.50	3	1	0.67	0.63	3级
钝吻棒花鱼	3	5	5	1	1	1	0.67	1	3	0.67	1	1	0.33	0.62	3级
高体鳑鲏	3	5	6	3	1	1	0.79	1	1	0.33	1	1	0.33	0.61	3级
瓦氏黄颡鱼	3	4	5	4	1	1	0.75	1	1	0.33	2	1	0.50	0.61	3级
横纹南鳅	3	4	2	4	1	1	0.63	1	2	0.50	1	2	0.50	0.58	3级
宽鳍鱲	3	2	4	4	1	1	0.63	1	1	0.33	2	2	0.67	0.56	3级
彩石鳑鲏	3	5	6	1	1	1	0.71	1	1	0.33	1	1	0.33	0.56	3级
张氏䱗	3	4	6	2	1	1	0.71	1	1	0.33	1	1	0.33	0.56	3级
鲤	2	3	5	3	1	1	0.63	1	1	0.33	2	2	0.67	0.56	3级
鲇	3	2	4	4	1	1	0.63	1	1	0.33	2	2	0.67	0.56	3级
麦穗鱼	1	5	6	1	1	1	0.63	2	1	0.50	1	1	0.33	0.55	3级
蛇鮈	3	3	5	1	1	2	0.63	1	1	0.33	2	1	0.50	0.53	3级
白缘鱼央	3	2	4	4	1	1	0.63	1	1	0.33	1	2	0.50	0.53	3级
中华纹胸鮡	3	2	2	5	1	1	0.58	1	1	0.33	1	3	0.67	0.53	3级
红尾副鳅	2	1	1	5	1	1	0.46	1	2	0.50	2	3	0.83	0.53	3级
短体副鳅	2	1	1	4	1	1	0.42	1	2	0.50	2	3	0.83	0.50	4级
子陵吻鰕虎鱼	1	3	5	2	1	1	0.54	1	1	0.33	1	1	0.33	0.46	4级
鲫	3	1	3	2	1	1	0.46	1	1	0.33	2	2	0.67	0.46	4级
贝氏高原鳅	2	2	2	1	1	1	0.38	1	2	0.50	2	2	0.67	0.45	4级
泥鳅	1	1	5	1	1	1	0.42	1	1	0.33	2	1	0.50	0.41	4级

2级保护的种类有12种，占34.3%，分别为昆明裂腹鱼、黄石爬鮡、短须裂腹鱼、长鳍吻鮈、中华倒刺鲃（*Spinibarbus sinensis*）、犁头鳅（*Lepturichthys fimbriata*）、粗唇鮠（*Leiocassis crassilabris*）、唇鱊（*Hemibarbus labeo*）、白甲鱼（*Onychostoma sima*）、切尾拟鲿（*Pseudobagrus truncatus*）、南方鲇（*Silurus meridionalis*）、银飘鱼（*Pseudolaubuca sinensis*），其中昆明裂腹鱼、黄石爬鮡、短须裂腹鱼和长鳍吻鮈为长江上游特有鱼类。

3级保护的鱼类最多，有17种，占48.6%，分别为似鳊（*Pseudobrama simoni*）、福建纹胸鮡（*Glyptothorax fukiensis*）、墨头鱼（*Garra pingi*）、钝吻棒花鱼、高体鳑鲏（*Rhodeus ocellatus*）、瓦氏黄颡鱼（*Pelteobagrus vachelli*）、横纹南鳅（*Schistura fasciolata*）、宽鳍鱲（*Zacco platypus*）、彩石鳑鲏（*Rhodeus lighti*）、张氏䱗、鲤（*Cyprinus carpio*）、鲇（*Silurus asotus*）、麦穗鱼（*Pseudorasbora parva*）、蛇鮈（*Saurogobio dabryi*）、白缘鱼央（*Liobagrus mar-*

ginatus)、中华纹胸鮡(*Glyptothorax sinense*)和红尾副鳅(*Paracobitis variegatus*)，其中钝吻棒花鱼和张氏鲻是长江上游特有鱼类。

4 级保护鱼类有 5 种，占 14.3%，分别为短体副鳅、鲫(*Carassius auratus*)、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、贝氏高原鳅(*Trilophysa bleekeri*)和泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)，其中短体副鳅为长江上游特有鱼类。

3　讨论

3.1　黑水河鱼类优先保护次序的等级差异

物种优先保护次序评价方法在珍稀濒危植物保护中的已广泛应用(曹伟等，2012；翁梅等，2012；张燕妮等，2013)；但在国内鱼类保护定量分析方面的应用还较少(刘军，2004；牛建功等，2012；徐薇等，2014)。本研究利用此评价方法，对黑水河 35 种鱼类的优先保护顺序和保护等级进行了分析，确定了鱼类优先保护序列；其中，长薄鳅在黑水河的评价等级与长江上游 2004 年和 2014 年的研究结果不一致(刘军，2004；徐薇等，2014)，在黑水河中比长江上游 2004 年高 2 个等级，比 2014 年高 1 个等级。长薄鳅是长江上游特有种，在长江上游分布广泛，而在黑水河中仅在河口分布，且数量少，出现频率低。这可能是长薄鳅在黑水河被评为 1 级保护对象的原因。长鳍吻鮈、黄石爬鮡和短体副鳅与 2014 年长江上游的评价结果一致，而长鳍吻鮈比长江上游 2004 年的评价结果低 1 个等级，短体副鳅比长江上游 2004 年的评价结果高 1 个等级。长鳍吻鮈在黑水河数量较少，而在长江上游 2004 年数量较多，这可能是其在黑水河评价结果高 1 个等级的原因。短体副鳅是黑水河的优势种，出现频率和相对数量都较高，而在长江上游 2004 年出现频率和相对数量都较低，这可能是黑水河评价等级低 1 个等级的原因。由此可见，由物种濒危系数、遗传价值系数和物种价值系数构成的物种优先保护次序的定量评价方法具有客观性和准确性，评价结果基本能反映黑水河鱼类的实际情况。

3.2　梯级水库对黑水河鱼类栖息地的影响

黑水河是典型的山区性河流，河谷两岸地势平坦，河谷宽阔，河道两岸多为缓坡，河道水流湍急、水深较浅，底质为大石块、砾石和细沙，无淤泥，着生藻类资源丰富。黑水河干流自上而下已建有苏家湾(坝址距河口的距离 69.6 km)、公德房(66.2 km)、松新(58.0 km)和老木河(41.2 km)4 座引水式电站，自然河流状态河段为老木河电站以下河段(傅菁菁等，2016)。前期的调查发现黑水河干流鱼类资源较丰富区域主要分布在老木河电站以下河段(中国电建集团华东勘测设计研究院，2014)。此河段是具有喜流水生境、产沉粘性卵、主要摄食着生藻类或底栖动物等习性鱼类的适宜栖息地(杨志等，2017)。然而，黑水河老木河电站下游鱼类栖息地研究的资料有限，仅见孙嘉宁(2013)对白鹤滩蓄水前后的鱼类栖息地进行了模拟评估。本文基于已有的研究结果对白鹤滩水库蓄水前后的黑水河老木河电站以下河段的鱼类栖息地进行了分析。

在自然径流情势下，此河段的鱼类有效栖息地面积占河流总面积 21%～67%，且鱼类喜好生境面积约占河流面积 50%以上。按照适宜性指数分级显示，此河段的栖息地质量多为中高等水平。在多年平均流量下，此河段急流生境占总有效栖息地面积 85%(孙嘉宁，2013)。白鹤滩水电站建成后，受金沙江干流回水顶托的影响，黑水河下游鱼类栖息地将发生剧烈的改变。黑水河老木河电站下游部分干流将根据不同蓄水水位处于常年回水区或变动回水区。例如：以死水位 765 m 运行时，在距金沙江汇口 20.5 km 河段将形成常年回水区；以正常蓄水位 825 m 运行时，在距金沙江汇口 30.2 km 河段将形成回水变动区。因此，黑水河老木河电站下游河段将形成常年回水河段、回水变动河段和自然流态河段 3 种生境类型。蓄水后，河道水面扩大，急流浅滩生境被淹没，逐渐变为静水深潭形式，鱼类有效栖息地面积大幅缩减，仅为蓄水前的 0.8%～25.3%，且质量较差，对鱼类的适宜性较低。变动回水区以下河段将有大量泥沙淤积，覆盖石块或砾石底质，影响在砾石底质产卵鱼类的繁殖，也影响着生藻类的存活，进而可能影响以着生藻类为食的鱼类摄食(孙嘉宁，2013)；同时，白鹤滩水库蓄水后，黑水河下游水面积增加将淹没大量土壤和植被，经过不断降解释放营养物质，回水区的水体初级生产力可能提高，这将为喜缓流或静水生境的鱼类提供良好的栖息地。

3.3　黑水河鱼类保护目标种的确定

黑水河的 1～2 级保护鱼类中，长薄鳅和长鳍吻鮈是产漂流性卵的鱼类，其受精卵发育一般需要一定距离的流水环境(刘淑伟等，2013)。根据这 2 种鱼类受精卵的孵化时间(长薄鳅：水温 2.5℃，34 h；长鳍吻鮈：水温为 17.6～18.3℃，56 h)，按黑水河下游沿岸平均流速 1 m/s 计算，粗略估计 2 种鱼类受

精卵孵化距离约为120 km和200 km(易伯鲁等,1988;梁银铨等,1999;孙嘉宁,2013;管敏等,2015)。白鹤滩水电站建成后将导致黑水河老木河电站以下流水生境将大部分消失,根据孵化距离推测,恢复黑水河电站的全部连通性可能也无法满足产漂流性鱼卵的发育需求。目前,仅在黑水河河口附近采集到这2种鱼类样本,未见黑水河的鱼类早期资源和产卵场等相关研究文献发表,以长薄鳅和长鳍吻鮈为代表的产漂流性卵鱼类在黑水河的孵化距离还应根据今后的实际现场调查进行验证(姜伟等,2010)。白鹤滩蓄水导致的生境发生变化将是一个长期的过程,在以后的研究中,需持续监测生境发生显著变化后产漂流性卵鱼类在黑水河的分布动态和生活史过程,进一步开展产漂流性卵鱼类在黑水河适应性变化过程的研究,可为今后开展重要物种生境重建提供参考。虽然长薄鳅是黑水河1级保护鱼类,长鳍吻鮈是黑水河2级保护鱼类,在白鹤滩水电站蓄水后,由于这2种鱼类在黑水河生境变化后适应的不确定性。因此,不考虑这2种鱼类作为黑水河的主要保护目标鱼类,将其作为备选保护种,并根据今后的研究结果进行适当调整。

黑水河的2级保护鱼类中,昆明裂腹鱼(濒危种,贵州省重点保护鱼类)、黄石爬鮡(濒危种)和短须裂腹鱼也是长江上游特有鱼类,其中昆明裂腹鱼和短须裂腹鱼具有短距离洄游习性,3种鱼类都适宜底栖生活,产沉粘性卵,适宜栖息于水流湍急、河床为砾石和沙质的水域(唐文家等,2011;詹会祥等,2011;颜文斌等,2017)。3级保护鱼类中只有钝吻棒花鱼和张氏鲻是长江上游特有鱼类,其适应静水生境。黑水河2～3级保护鱼类中适应流水生境的还有中华倒刺鲃、犁头鳅、白甲鱼、似鳊、福建纹胸鮡、墨头鱼、横纹南鳅、宽鳍鱲、蛇鮈、中华纹胸鮡和红尾副鳅;适应静水生境的鱼类有粗唇鮠、唇鲃、切尾拟鲿、南方鲇、银飘鱼、高体鳑鲏、瓦氏黄颡鱼、彩石鳑鲏、鲤、鲇、麦穗鱼和白缘鱊央(丁瑞华,1994)。由于资料不全,黑水河已调查到的43种鱼类中,有8种鱼类没有进行优先保护次序的定量分析,其中适应流水生境的有5种,分别是前鳍高原鳅(*Triplophysa anterodorsalis*)、短身金沙鳅(*Jinshaia abbreviata*)、中华金沙鳅(*Jinshaia sinensis*)、四川华吸鳅(*Sinogastromyzon szechuanensis*)和戴氏山鳅(*Oreias dabryi*),且前4种是长江上游特有鱼类,除短身金沙鳅和中华金沙鳅产漂流性卵外,另外3种鱼类产沉粘性卵;适应缓流水或静水生境的有3种,分别是凹尾拟鲿(*Pseudobagrus emarginatus*)、短尾拟鲿(*Pseudobagrus brevicaudatus*)和拟缘鱼央(*Liobagrus marginatoides*),皆产沉粘性卵(杨少荣,2012;杨志等,2017)。黑水河中1～3保护等级的长江上游特有鱼类的环境需求基本涵盖了余下的2级和3级鱼类及未进行优先保护次序定量分析的8种鱼类的环境需求。白鹤滩水电站建成后形成的水库静水生境将为喜静水生境的鱼类提供较好的栖息场所;因此,本研究中不考虑以钝吻棒花鱼和张氏鲻为代表的喜静水生境的鱼类作为黑水河栖息地修复的主要目标保护鱼类。短体副鳅是上游特有鱼类,黑水河保护等级分析显示为4级保护鱼类,不需要加以特殊保护(刘军,2004)。

综上所述,结合黑水河栖息地实际情况,确定保护目标种为喜流水生境的昆明裂腹鱼、黄石爬鮡和短须裂腹鱼,备选保护种为产漂流性卵的长薄鳅和长鳍吻鮈。目标保护种和备选种的栖息地生境需求基本涵盖了适宜在黑水河生存的其他鱼类的生境需求。通过对鱼类进行优先保护次序定量分析确定的保护鱼类,是黑水河鱼类栖息地修复和保护开展有针对性措施的基础,如过鱼设施、人工栖息地和产卵场修复、生态调度和增殖放流等。修复后的黑水河生境也将为梯级大坝建设后金沙江干流喜流水生境鱼类提供潜在的替代生境,充分发挥"干流开发、支流保护"的生态环境保护优势。

参考文献

曹伟,李岩,丛欣欣,2012.中国东北濒危植物优先保护的定量评价[J].林业科学研究,25(2):190-194.

曹文宣,2011.长江鱼类资源的现状与保护对策[J].江西水产科技,(2):1-4.

陈灵芝,马克平,2001.生物多样性科学—原理与实践[M].上海:上海科学技术出版社.

崔国发,成克武,2000.北京喇叭沟门自然保护区植物濒危程度和保护级别研究[J].北京林业大学学报,22(4):8-13.

丁瑞华,1994.四川鱼类志[M].成都:四川科学技术出版社.

傅菁菁,黄滨,芮建良,等,2016.生境模拟法在黑水河鱼类栖息地保护中的应用[J].水生态学杂志,37(3):70-75.

高少波,唐会元,乔晔,等,2013.金沙江下游干流鱼类资源现状研究[J].水生态学杂志,34(1):44-49.

高婷,李翀,廖文根,2012.实施支流生境替代保护的基本原则[J].中国水利水电科学研究院学报,10(4):267-272.

管敏，曲焕韬，胡美洪，等，2015. 长鳍吻鮈人工繁育的初步研究[J]. 水产科学，34(5)：294－299.

姜伟，刘焕章，段中华，等，2010. 以标志物对长江上游漂流性鱼卵漂流方式的研究[J]. 水生生物学报，34(6)：1172－1178.

蒋晓辉，刘晓燕，张曙光，2005. 黄河干流水生态系统关键物种的识别[J]. 人民黄河，27(10)：1－4.

梁银铨，胡小建，黄道明，等，1999. 长薄鳅胚胎发育的观察[J]. 水生生物学报，23(6)：631－635.

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

刘军，2004. 长江上游特有鱼类受威胁及优先保护顺序的定量分析[J]. 中国环境科学，24(4)：395－399.

刘淑伟，杨君兴，陈小勇，2013. 金沙江中上游中华金沙鳅(*Jinshaia sinensis*)产卵场的发现及意义[J]. 动物学研究，34(6)：626－630.

牛建功，蔡林钢，刘建，等，2012. 哈巴河土著特有鱼类优先保护等级的定量研究[J]. 干旱区资源与环境，26(3)：172－176.

彭涛，陈晓宏，王高旭，等，2011. 河口及邻近海域鱼类优先保护次序的评价模型[J].长江流域资源与环境，20(4)：404－409.

孙嘉宁，2013. 白鹤滩水库回水支流黑水河的鱼类生境模拟研究[D]. 杭州：浙江大学.

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[J]. 河北渔业，(6)：19－21.

王俊，苏巍，杨少荣，等，2017. 金沙江一期工程蓄水前后绥江段鱼类群落多样性特征[J]. 长江流域资源与环境，26(3)：394－401.

翁梅，孙静，叶永忠，2012. 河南省重点保护植物优先保护等级划分研究[J]. 河南农业科学，41(1)：129－133.

吴江，1989. 金沙江鱼类及发展渔业雏议[J]. 淡水渔业，(5)：3－8.

吴江，吴明森，1990.金沙江的鱼类区系[J]. 四川动物，9(3)：23－26.

徐建新，党晓菲，肖伟华，2014，长江上游(宜宾至重庆段)梯级开发规划对鱼类的影响及保护措施研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版)，35(6)：1－5.

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[J]. 人民长江，44(10)：109－112.

颜文斌，朱挺兵，吴兴兵，等，2017. 短须裂腹鱼产卵行为观察[J]. 淡水渔业，47(3)：9－15.

杨帮华，李新贵，刘国碧，2008. 贵州省珍稀濒危植物优先保护等级的定量研究[J]. 贵州林业科技，36(1)：1－3.

杨少荣，2012. 长江流域鱼类群落生态学研究[D]. 武汉：中国科学院水生生物研究所.

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.

易伯鲁，梁秩燊，余志堂，1988. 长江干流草青鲢鳙四大家鱼产卵场的分布、规模和自然条件[C]//葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼[M]. 武汉：湖北科学技术出版社.

詹会祥，周礼敬，晏宏，等，2011. 昆明裂腹鱼生物学特性和流水养殖技术[J]. 中国水产，(9)：29－30.

张超然，戴会超，高季章，等，2007. 特大型水电工程建设和运行面临的主要科技问题[J]. 水利学报，(S1)：7－14.

张雄，刘飞，林鹏程，等，2014. 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，23(4)：496－503.

张燕妮，张志明，耿宇鹏，等，2013. 滇西北地区优先保护的植物群落类型[J]. 生物多样性，21(3)：296－305.

张豫，郭凤清，胡顺军，2013. 东江干流(惠州段)水生生态系统关键物种的优先保护顺序[J]. 安徽大学学报(自然科学版)，37(5)：100－108.

郑金秀，高少波，池仕运，等，2014. 金沙江下游水生态状况评价及保护战略[J]. 环境科学与技术，37(9)：174－179.

中国电建集团华东勘测设计研究院，2014. 金沙江白鹤滩水电站环境影响报告书[R]. 杭州：中国电建集团华东勘测设计研究院.

Cheng F，Li W，Castello L，et al，2015. Potential effects of dam cascade on fish：lessons from the Yangtze River [J]. Reviews in fish biology and fisheries，25 (3)：569－585.

Fu C Z，Wu J H，Chen J K，et al，2003. Freshwater fish biodiversity in the Yangtze River basin of China：patterns，threats and conservation[J]. Biodiversity and conservation，12 (8)：1649－1685.

(责任编辑　万月华)

Quantitative Analysis of Conservation Priority for Fish Species in Heishui River

SONG Yi-qing[1,2], CHENG Bi-xin[1], HU Wei[1]

(1.Shanghai Investigation, Design and Research Institute Co., Ltd, Shanghai 200434, P.R.China;
2.Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P.R.China)

Abstract: The lower reaches of Jinsha River support a large variety of aquatic organisms and provide critical habitat for fish species endemic to the upper Yangtze River. The four-cascaded dams (Wudongde, Baihetan, Xiluodu and Xiangjiaba dams) constructed on the lower Jinsha River will disrupt riverine connectivity and threaten fish resources. Given the large-scale hydropower development on the lower Jinsha River, developing the mainstream and protecting its tributaries can provide an effective means of protecting biodiversity. Heishui River is the primary habitat for fish in the Baihetan Reservoir area. In this study, the conservation priority order of 35 fish species in Heishui River was quantitatively analyzed by combining species distribution, degree of endangerment and protection status with measures of ecological and economic value. Fish species were targeted for protection based on conservation priority order and the existing condition of fish habitat in Heishui River. Data were based on a field investigation of fish resources conducted in May 2017 and literature research. Based on the resulting scores, the 35 species were assigned to four protection classes. Only one species (*Leptobotia elongata*), met the first-grade protection standard. Twelve species met the second-grade protection standard, including four endemic species (*Schizothorax grahami*, *Euchiloglanis kishinouyei*, *Schizothorax wangchiachii*, and *Rhinogobio ventralis*). Seventeen species met the third-grade protection standard, including two endemic species (*Abbottina obtusirostris* and *Abbottina obtusirostris*) and five species were classified as fourth-grade protection species, including one endemic species (*Paracobitis potanini*). The priority conservation order reflects the status of fish resources in Heishui River, but impoundment of Baihetan Reservoir dramatically changed habitat conditions. The habitat is now a combination of slow flow and lentic environments, thus fish species adapted to static conditions are not considered for protected status. Endemic species that are rheophilic and produces adhesive eggs, including *S. grahami*, *E. kishinouyei*, and *S. wangchiachii*, have been targeted for protection. Endemic rheophilic species that produce drifting eggs, including *L. elongate* and *R. ventralis*, need longer river sections to complete life history and have been classed as alternative species. This study provides fundamental knowledge that will support effective fish resource conservation and eco-restoration of Heishui River. The restored Heishui River will provide habitat for rheophilic fish species from Jinsha River after construction of the cascaded dams is complete.

Key words: Heishui River; fish conservation priority; endemic fish