

黄河上游茨哈峡至羊曲河段生态调度目标鱼类筛选

潘文光¹, 石文良², 杨志³, 侯轶群³, 李平¹

(1. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065;

2. 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002;

3. 水利部中国科学研究院水工程生态研究所,
水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 湖北 武汉 430079)

摘要: 选择黄河上游茨哈峡至羊曲干支流河段内生态调度目标鱼类并明确其需求次序, 可为生态调度方案的制订提供决策依据。采用2005–2006年、2011–2012年、2014–2017年、2022年茨哈峡至羊曲干支流河段渔获物调查结果, 考虑不同鱼类繁殖活动对生态水文过程的需求以及数据可得性, 选择反映鱼类生活史特征、地理分布特征、保护必要性、种质资源价值和资源量现状等信息的10个指标构建评价体系, 采用聚类分析与非维度排序方法对茨哈峡至羊曲干支流河段分布的21种土著鱼类生态调度需求次序进行分组分析。结果显示, 生态需求等级最高的有厚唇裸重唇鱼(*Gymnodiptychus pachycheilus*)、黄河高原鳅(*Triplophysa pappenheimi*)、黄河裸裂尻鱼(*Schizopygopsis pylzovi*)、拟鲇高原鳅(*T. siluroides*)、花斑裸鲤(*Gymnocypris eckloni*)、刺鲃(*Acanthogobio guentheri*)、骨唇黄河鱼(*Chuanchia labiosa*)、极边扁咽齿鱼(*Platypharodon extremus*) 8种鱼, 主要为适应缓流生境且均为砂砾产卵类型鱼类; 根据评价体系综合结果分析, 这8种鱼为茨哈峡至羊曲河段的主要生态调度目标鱼类, 其他13种鱼作为该河段生态调度的兼顾对象。

关键词: 生态调度; 目标鱼类; 聚类分析; 非维度排序; 黄河上游; 茨哈峡至羊曲干支流河段

中图分类号: S932.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2024)01-0120-07

黄河上游茨哈峡至羊曲河段为宽谷河段, 河道曲折蜿蜒, 近岸多漫滩和湾沱, 江心多沙洲, 滩潭交替, 流态复杂多样, 分布着适应流水栖息生境的高原土著鱼类, 是许多产沉性卵鱼类产卵场的集中分布区域, 目前该江段规划有3座水电站, 分别为茨哈峡水电站(未建)、班多水电站(已建)和羊曲水电站(在建)。规划中的茨哈峡水电站正常蓄水位2 990 m, 具有季调节性能, 最大坝高257.5 m, 装机容量4 200 MW。水库上游与规划的尔多梯级尾水衔接, 下游为已建班多水电站库尾, 班多水电站正常蓄水位2 760 m, 相应库容1 500万m³, 死水位2 757 m, 无调节能力, 为径流式电站。班多水电站下游为羊曲水电站, 目前处于在建状态, 正常蓄水位2 715 m, 死水位2 710 m, 生态限制水位2 710 m, 水库无调节特性。

水利工程的运行在带来巨大综合效益的同时也对生态环境尤其是河段内鱼类资源带来了一些不利影

响, 主要表现为: 大坝建设阻隔了鱼类的洄游路线使其不能有效完成生活史, 造成洄游型鱼类资源的严重下降; 在河流上游产卵的鱼类其幼鱼下行时由于活动能力较差在通过大坝时很容易被吸入水轮机而受到伤害; 在水库生长的鱼类也很容易在大坝泄洪时受到高速水流和高水位落差的伤害; 大坝修建使原有连续的河流生态系统被分隔成不连续的环境单元, 在造成了生态景观破坏的同时也导致鱼类种群遗传多样性下降; 高坝溢流时, 流水翻滚卷入大量空气, 引起氮气过饱和, 使鱼患气泡病而死(陈庆伟等, 2007; 陈小娟, 2014)。

生态调度作为缓解水电工程对鱼类不利影响的有效保护措施, 其作用是在鱼类繁殖期通过实施基荷发电、制造洪峰过程等调度措施, 满足刺激鱼类产卵以及保障受精卵孵化所需的水文条件(袁超和陈永柏, 2011)。研究表明开展水库生态调度, 制订科学合理的调度运行方案, 可以使工程在发挥其功能和效益的同时, 减少对河流生态系统造成的影响和破坏, 是当前大型河流生态恢复中的一项重要举措(郭文献等, 2009; 张登成等, 2022)。同时, 水库生态调度是一个系统工程, 涉及到保护物种识别、生态需求分析、调度方案制定、跟踪监测及效果评估等方面(Wang et al, 2021)。确定水库生态调度目标, 识别关键保护物种

收稿日期: 2023-12-05

基金项目: 国家自然科学基金长江水科学研究联合基金(U2340218)。

作者简介: 潘文光, 主要从事水利水电工程环境影响评价、环境科学与资源利用研究。E-mail: pwg_xs@qq.com

通信作者: 李平。E-mail: yogol@nwh.cn

是首要步骤。刘军(2004)首次从受威胁程度、遗传多样性损失大小及物种价值3个方面对长江上游16种特有鱼类的优先保护顺序进行了定量分析;Zhang等(2014)构建了包含8个评价指标的评价体系,使用线性评级系统计算长江上游64种鱼类的灭绝风险指数和保护优先指数;徐薇等(2013)采用模糊评价法,构建了包括物种珍稀性、物种价值和人为干扰程度3个子系统组成的鱼类优先保护等级评估体系,并对长江上游46种受威胁特有鱼类的优先保护等级进行了分析;宋一清等(2018)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;李雷等(2019)采用珍稀性、物种价值和人为干扰3个评价指标对西藏雅鲁藏布江中游6种裂腹鱼类的资源状况及濒危状况进行评价,确定了裂腹鱼类的优先保护等级。上述关于鱼类优先保护等级的研究对各地区的鱼类保护提供了重要依据和参考价值。但是由于不同研究涉及不同的研究对象、研究区域,所面临的环境也存在较大差异,因此,构建的鱼类优先保护等级评价体系以及评价方法也都有所差异。在实际应用中也应该根据不同研究区域的实际情况进行合理调整(朱挺兵等,2021)。

本文通过资料收集与调研,并综合考虑了鱼类的的生活史特征是否受水电工程调度运行的严重影响,构建了生态调度评价体系,对黄河上游茨哈峡至羊曲干支流河段内鱼类生态调度需求次序进行分析,以期筛选出生态调度的主要目标鱼类,为生态调度方案的制订和实施提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

研究区域为黄河上游茨哈峡至羊曲干支流河段,调查区域包括干流拉家镇(军功水文站所在地)、大米滩、班多、唐乃亥、野狐峡、拉干村及支流切木曲、巴沟河、曲什安河、大河坝河、茫拉河等。根据中国水产科学研究院黄河水产研究所、青海省渔业环境监测站以及水利部中国科学院水工程生态研究所等单位,2005–2006年、2011–2012年、2014–2017年和2022年等在茨哈峡至羊曲干支流河段获取的鱼类资源数据(水利部中国科学院水工程生态研究所,2023),综合文献和历史资料(蔡文仙,2013;李思忠,2017)以及唐文家和何德奎(2013)于2005–2010年在黄河上游茨哈峡至积石峡段鱼类资源调查的结果,茨哈峡至羊曲干支流河段内分布有26种非土著鱼类,21种土著鱼类(表1),包括极危(CR)鱼类1种、濒危(EN)鱼类5

种、易危(VU)鱼类5种、无危(LC)鱼类7种;国家二级保护动物4种(乐佩琦和陈宜瑜,1998;蒋志刚等,2016;蒋志刚,2023),将这21种土著鱼类作为生态调度目标鱼类筛选的对象。

表1 研究江段分布的土著鱼类种类及其濒危等级、国家重点保护动物保护等级

Tab.1 Indigenous fish species distributed in the river study section with endangered and protection levels for national key protected animals

序号	种类	濒危等级	国家重点保护动物
1	拟硬刺高原鳅 <i>Triplophysa pseudoscleroptera</i> (Zhu et Wu)	无数据	
2	硬鳍高原鳅 <i>Triplophysa scleroptera</i> (Herzenstein)	无危	
3	东方高原鳅 <i>Triplophysa orientalis</i> (Herzenstein)	无危	
4	黄河高原鳅 <i>Triplophysa pappenheimi</i> (Fang)	易危	
5	粗壮高原鳅 <i>Triplophysa robusta</i> (Kassler)	无危	
6	梭形高原鳅 <i>Triplophysa leptosoma</i> (Herzenstein)	无危	
7	拟鲌高原鳅 <i>Triplophysa siluroides</i> (Herzenstein)	易危	二级
8	短尾高原鳅 <i>Trilophya breviviuda</i> (Herzenstein)	无数据	
9	细尾高原鳅 <i>Triplophysa stenura</i> (Herzenstein)	无危	
10	窄尾高原鳅 <i>Triplophysa tenuicauda</i> (Steindachner)	无数据	
11	斯氏高原鳅 <i>Triplophysa stolickai</i> (Steindachner)	无危	
12	北方花鳅 <i>Cobitis sibirica</i> (Gladkov)	无危	
13	黄河雅罗鱼 <i>Leuciscus chuanchicus</i> (Kessler)	极危	
14	刺鲃 <i>Acanthogobio guentheri</i> (Herzenstein)	濒危	
15	黄河鲃 <i>Gobio huanghensis</i> (Luo Le et Chen)	濒危	
16	厚唇裸重唇鱼 <i>Gymnodiptychus pachycheilus</i> (Herzenstein)	易危	二级
17	花斑裸鲤 <i>Gymnocypris eckloni</i> (Herzenstein)	易危	
18	骨唇黄河鱼 <i>Chuanchia labiosa</i> (Herzenstein)	濒危	二级
19	黄河裸裂尻鱼 <i>Schizopygopsis pylzovi</i> (Kessler)	易危	
20	极边扁咽齿鱼 <i>Platypharodon extremus</i> (Herzenstein)	濒危	二级
21	兰州鲃 <i>Silurus lanzhouensis</i> (Chen)	濒危	

1.2 生态调度需求优先等级评价指标体系

通过资料收集和调研,参考有关鱼类优先保护等级评价指标体系的构建(徐薇等,2013;宋一清等,2018;李雷等,2019),确定 10 个备选二级指标(表 2),这些指标反映了鱼类的生活史特征、地理分布特征、保护必要性、种质资源价值和资源量现状等鱼类繁殖

的调度需求和物种保护重要性的信息。这些指标被赋予 1 分(生态调度需求最低级)到 3 分(生态调度需求最高级),然后由 10 个指标按照专家打分确定的权重累加得到鱼类生态调度需求的得分。鱼类数据来源于现有研究文献、数据库以及课题组未公开发表的研究成果。部分鱼类数据缺失,用其近缘种来替代。

表 2 生态调度需求评价指标体系赋分标准及权重

Tab.2 Scoring criteria and weighting of the index system for ecological regulation demand evaluation

一级评估指标	二级评价指标	评估等级及得分			权重
		低级(1分)	中级(2分)	高级(3分)	
生活史特征	产卵类型	静缓流产卵类型		流水产卵类型	0.1
	初次性成熟年龄/龄	1	2~3	>4	0.05
	水流偏好	湖沼型	广适型	喜流性	0.1
地理特有性	评价河段生境维持在鱼类种群维系中的地理特有性	低	中	高	0.1
保护必要性	濒危等级	LC	VU和NT	DD、EN及以上	0.15
	保护等级	非国家重点保护动物	国家二级重点保护动物	国家一级重点保护动物	0.15
	全人工繁殖实现情况	已实现	部分实现	未实现	0.05
建坝影响	建坝影响程度	低	中	高	0.15
物种价值	种质资源价值	低	中	高	0.05
	生态价值	少见种	常见种	优势种	0.1

体现生活史特征的有产卵类型、初次性成熟年龄和水流偏好等 3 个指标。(1)产卵类型。由于水库的削峰效应以及蓄水倒灌导致坝下和库区水文情势的改变,导致许多依赖自然水文过程繁殖的鱼类自然繁殖过程受到较为明显的影响,特别是对流水产卵类型的鱼类影响较大,因此,流水产卵类型鱼类设为 3 分,静缓流产卵类型鱼类设为 1 分;权重为 0.1。(2)初次性成熟年龄。通常地初次性成熟年龄较大的鱼类,个体繁殖力较弱,种群恢复较慢,其产卵需要更高的水文情势条件,因此更需要采取生态调度来恢复;初次性成熟年龄大于 4 龄的设为 3 分,2~3 龄的设为 2 分,1 龄的设为 1 分;权重为 0.05。(3)水流偏好。该指标可分为湖沼型、广适型和喜流型 3 个类型,其中湖沼型为在库区生境能够自然繁殖的种群,设为 1 分;广适型为能够适应流水生境和静缓流生境,其在库区或微流水中均能够自然繁殖的种群,设为 2 分;而喜流型鱼类为适应流水生境,只能在流水生境中才能自然繁殖的种群,设为 3 分;权重为 0.1。

反映地理特有性的指标有 1 个,即评价河段生境维持在鱼类种群维系中的地理独有性。该指标主要反映鱼类在地理上的分布特征,如果某种鱼类在评价区域所属的流域范围内,仅分布在评价区域河段干流内,则评价区域河段流水生境的维持对于该种鱼类种群的维系具有重要的意义,那么该种鱼类在评价区域河段的地理

特有性就为高,设为 3 分;如果某种鱼类在评价区域所属的流域范围内,分布在评价区域河段干支流内,则该种鱼类的地理特有性为中等,设为 2 分;如果某种鱼类在评价区域所属的流域范围内,既分布在评价河段干支流河段,也分布在评价河段以外的干支流河段内,则该种鱼类的地理特有性为低,设为 1 分;权重为 0.1。

体现保护必要性的有物种的濒危等级、保护等级和全人工繁殖实现情况等 3 个指标。(1)物种的濒危等级。濒危(EN)及以上等级鱼类具有高的保护必要性,设为 3 分,易危(VU)及近危(NT)等级鱼类具有中等的保护必要性,设为 2 分,无危(LC)等级鱼类具有低的保护必要性,设为 1 分;濒危等级指标参考生态环境部(2023)发布的中国生物多样性红色名录一脊椎动物卷进行等级划分,本文将无数据 DD 等级认定为濒危以上等级;权重为 0.15。(2)保护等级。该指标反映物种需要保护的程 度,国家一级重点保护动物设为 3 分,国家二级保护动物设为 2 分,非国家重点保护动物设为 1 分;该指标的等级根据农业部(2021)颁布的《国家重点保护野生动物名录》确定;权重为 0.15。(3)全人工繁殖实现情况。主要反映评估鱼类是否能够实现全人工繁殖,如果全人工繁殖技术已完全突破,该种鱼类已实现规模化养殖,那么其生态调度的需求等级为低,反之,则为高。将未实现全人工繁殖的设为 3 分,部分实现的设为 2 分,全部实现的设为 1 分;权重为 0.05。

建坝影响专门用于体现本流域建坝对区域内不同鱼类的影响程度。本文根据目前不同鱼类种类在黄河上游自然栖息生境缩减的大小来确定建坝影响的等级,其中自然生境减少50%以上的设为3分;自然生境减少20%~50%的设为2分;自然生境减少20%以下的设为1分;权重为0.15。

反映物种价值的有种质资源价值和生态价值2个指标。(1)种质资源价值。该指标反映物种在水产养殖种质资源上的潜力,划分为3个等级,种质资源价值高的鱼类设为3分,非种质资源鱼类中的中大型鱼类设为2分,非种质资源中的小型鱼类设为1分;种质资源鱼类的确定根据农业部颁布的相关文件确定,包括种质资源鱼类名录及水产种质资源保护区名录等;本文中大型鱼类指极限体长达到25 cm及以上长度的种类,而小型鱼类指极限体长不到25 cm的种类;权重为0.05。(2)生态价值。根据相对重要性指数(IRI)进行确定,IRI≥500优势种为3分,100≤IRI<500常见种为2分,IRI<100少见种为1分(王家樵等,2017);权重为0.1。

相对重要性指数(IRI)计算公式如下:

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

式中:IRI为相对重要性指数, N 为某一种类的尾数占总尾数的百分比, W 为某一种类的重量占总重量的百分比, F 为发现某一种类的样点数占总调查样点数的百分比。

权重的分配:权重分配是根据各评价系数的相对重要程度而确定的。本研究的权重分配采取专家咨询法确定(谢季坚,1992)。

1.3 聚类分析和非维度排序

结合权重进行系统聚类分析,对目标鱼类进行分组。本文基于物种10个指标得分的加权距离矩阵和平方欧式距离,利用R语言R i386 4.0.3进行Q型样本聚类分析,得到不同鱼类种类的分组,随后进行非维度排序,得到不同组别的生态调度需求排序结果。

2 结果与分析

2.1 生态调度需求得分

对不同鱼类的各项评价指标得分按照权重累加,得到不同鱼类的生态调度需求得分(图1),厚唇裸重唇鱼(*Gymnodiptychus pachycheilus*)的生态调度需求得分最高(2.10分),其次为黄河高原鳅(*Triplophysa pappenheimi*)、骨唇黄河鱼(*Chuanichia labiosa*)、拟鲌高原鳅(*T. siluroides*)、黄河雅罗鱼(*Leuciscus chuanchicus*)和极边扁咽齿鱼(*Platypharodon ex-*

tremus),得分分别为2.05分、1.90分、1.85分、1.85分和1.85分,得分最低的种类为北方花鳅(*Cobitis sibirica*),1.05分。

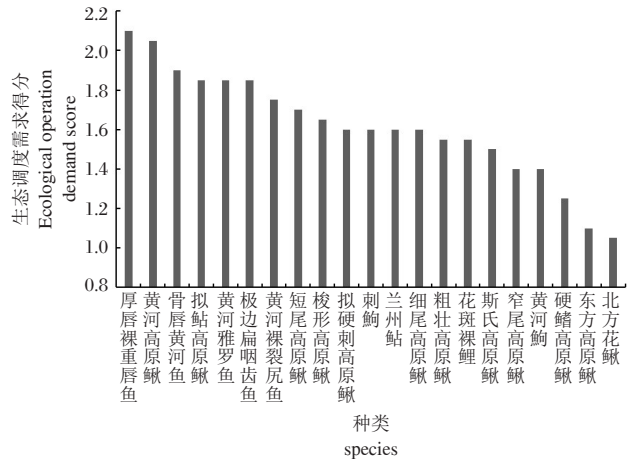


图1 不同鱼类种类的生态调度需求得分

Fig.1 Ecological operation demand scores for the 21 indigenous fish species

2.2 生态调度需求等级划分

根据不同鱼类生态需求得分结果对茨哈峡至羊曲河段的鱼类生态调度需求等级进行分级。设定2个假想物种(MAX和MIN)作为参照,MAX代表生态调度需求等级最高的物种,其各项评估指标的得分均取最大值;相反,MIN为假设的生态调度需求等级最低的物种,各项评估指标的得分均赋予最小值。随后,基于物种的距离矩阵和平方欧式距离对打分结果进行聚类分析,并绘制聚类分析树状图。然后,对分组结果采用ANOSIM进行显著性检验,检验分组结果是否良好;采用非维度排序方法对分组结果进行排序,最终确定不同鱼类种类的生态调度需求等级。

聚类分析(图2)结果显示:具有不同生态调度需求等级的21种土著鱼类可以通过聚类分成3个组,其中A组包括8种鱼,为厚唇裸重唇鱼、黄河高原鳅、黄河裸裂尻鱼(*Schizopygopsis pylzovi*)、拟鲌高原鳅、花斑裸鲤(*Gymnocypris eckloni*)、刺鲃(*Acanthogobio guentheri*)、骨唇黄河鱼和极边扁咽齿鱼;B组包括3种鱼,为兰州鲌(*Silurus lanzhouensis*)、黄河雅罗鱼和黄河鲶(*Gobio huanghensis*);C组包括其他10种鱼,为东方高原鳅(*T. orientalis*)、北方花鳅(*Cobitis sibirica*)、窄尾高原鳅(*T. tenuicauda*)、拟硬刺高原鳅(*T. pseudoscleroptera*)、硬鳍高原鳅(*T. scleroptera*)、粗壮高原鳅(*T. robusta*)、短尾高原鳅(*T. brevviuda*)、梭形高原鳅(*T. leptosoma*)、细尾高原鳅(*T. stenura*)、斯氏高原鳅(*T. stolickai*)。

ANOSIM 检验结果显示,生态调度需求等级在不同鱼类组间存在显著的差异(总体 $R=0.777, P=0.1\%$; A 组 vs B 组: $R=0.755, P=0.6\%$; A 组 vs C 组: $R=0.750, P=0.1\%$; B 组 vs C 组: $R=0.878, P=0.3\%$)。ANOSIM 检验结果表示聚类分析结果良好。

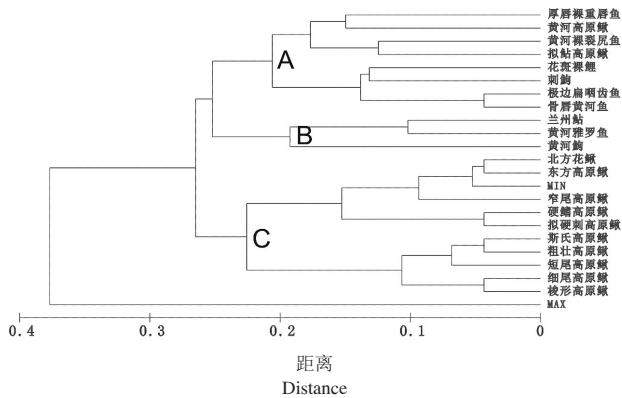


图 2 基于生态调度需求得分的 21 种土著鱼类聚类

Fig.2 Cluster analysis of the 21 indigenous fish species based on ecological operation demand scores

非维度排序结果可以更加直观地显示生态调度需求等级在不同鱼类种类间的差异(图 3), stress=0.09, 表明排序结果良好。A 组的质心与假定物种 MAX 更近, 而 C 组的质心与假定物种 MIN 更近, 表明生态调度需求等级最高的鱼类为 A 组的鱼类, 其次为 B 组的鱼类, C 组最低。因此, 在开展生态调度时, A 组鱼类栖息繁殖所需的生境条件需优先满足。

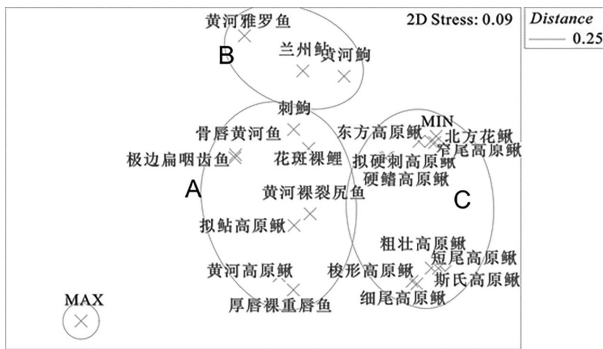


图 3 生态调度需求等级的非维度排序

Fig.3 Non-dimensional ranking diagram of ecological operation demand level for the 21 indigenous fish species

2.3 生态调度目标鱼类筛选

生态调度需求等级划分结果显示,生态调度需求等级最高的为 A 组的 8 种鱼, 需求等级处于中间的为 B 组的 3 种鱼, 需求等级最低的为 C 组的 10 种鱼。因此, 将 A 组的 8 种鱼作为生态调度的主要目标鱼类, 将其余 13 种鱼作为生态调度的兼顾对象。

3 讨论

3.1 黄河上游茨哈峡至羊曲江段鱼类种群现状

根据 2005–2022 年间在黄河上游茨哈峡至羊曲干支流河段进行的鱼类资源调查结果以及相关文献记载(蔡文仙,2013;李思忠,2017),黄河上游茨哈峡至羊曲河段共计分布有土著鱼类 21 种,除刺鲃和黄河鲃 2 种鱼在支流分布概率较低以外,其余土著鱼类在干支流均有分布。非土著的鱼类共 26 种,包括鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)、鲃(*Silurus asotus*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)等。茨哈峡至羊曲河段渔获物中基于 IRI 值的优势种有 12 种,分别为花斑裸鲤、极边扁咽齿鱼、骨唇黄河鱼、刺鲃、拟鲌高原鳅、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、池沼公鱼(*Hypomesus olidus Pallas*)、鲫、黄河裸裂尻鱼、黄河高原鳅、硬鳍高原鳅和拟硬刺高原鳅,其中土著鱼类 9 种,非土著鱼类 3 种。这些鱼类在渔获物中的尾数百分比均在 2% 以上,是调查区域最为常见的种类。从栖息生境特征来看,这些鱼类多栖息在流水环境、有砾石的河段;从食性上看,这些鱼类主要以藻类和小型昆虫为主;从产卵类型来看,产沉性卵和黏性卵的鱼类均有分布(王恒山等,2016;权全等,2018)。

3.2 生态调度目标鱼类筛选

本研究参照了徐薇等(2013)、宋一清等(2018)构建的鱼类优先保护顺序评价体系来建立生态调度需求评价体系,通过多方面反映鱼类生态调度需求次序的指标以及对各指标不同的权重赋值使结果更加合理。

根据生态调度需求等级划分结果,黄河上游茨哈峡至羊曲河段生态调度的主要目标鱼类为厚唇裸重唇鱼、黄河高原鳅、黄河裸裂尻鱼、拟鲌高原鳅、花斑裸鲤、刺鲃、骨唇黄河鱼和极边扁咽齿鱼,除黄河高原鳅为适应流水生境鱼类,其他 7 种鱼均为适应缓流生境的鱼类;所有鱼类均以着生藻类或底栖无脊椎动物为食;所有鱼类均为砂砾产卵类型鱼类。生态调度主要目标鱼类中,极边扁咽齿鱼和骨唇黄河鱼是濒危(EN)鱼类且是国家二级重点保护动物,刺鲃是濒危(EN)鱼类;厚唇裸重唇鱼和拟鲌高原鳅是易危(VU)鱼类且是国家二级重点保护动物,黄河高原鳅、黄河裸裂尻鱼和花斑裸鲤是易危(VU)鱼类,濒危等级和保护等级高造成这些鱼类的生态调度需求得分较高。本研究中的评价指标数据基本来源于相关研究文献(乐佩琦和陈宜瑜,1998;蒋志刚等,2016;蒋志刚,2023),一些基础生物学和生态学数据

缺失的鱼类采用的是其近缘种进行替代(宋一清,2018),为了确保评价结果的可靠性,下一阶段应结合鱼类的基础生物学和生态学研究进展,对采用近缘种替代的鱼类评价指标赋分进行复核更新。

3.3 生态调度管理

通过对生态调度主要目标鱼类的栖息生境特征、食性、产卵类型、仔稚鱼出现时间分析,结果表明生态调度主要目标鱼类所需的关键生境为流水砾石区域(王恒山等,2016;权全等,2018)。在繁殖季节应通过生态调度制造洪峰来创造流水生境刺激目标鱼类繁殖。在非繁殖季节维持目标鱼类适宜的摄食生境十分重要,而目标鱼类的主要食物来源通常分布在浅水及砾石生境区域,应通过生态调度来保持一定的水位来维持目标鱼类适宜的摄食生境。

根据2000–2021年班多逐月入库流量在各年间和各月间的变动情况可知,月平均入库流量通常在7月和9月达到峰值,从4月开始直到月平均流量达到峰值期间月平均入库流量逐月递增。2022年4月至6月在曲什安镇曲什安河下游砾石滩涂开展鱼类早期资源调查结果,仔稚鱼出现的高峰期为5月下旬至6月下旬,5月下旬时,仔稚鱼开始能被采集到,6月初时,沿岸带仔稚鱼开始大量出现,这表明入库流量的递增在一定程度上能有效刺激茨哈峡至羊曲河段鱼类繁殖。

参考文献

陈庆伟,刘兰芬,刘昌明,2007.筑坝对河流生态系统的影响及水库生态调度研究[J].北京师范大学学报(自然科学版), (5):578–582.

蔡文仙,2013.黄河流域鱼类图志[M].陕西:西北农林科技大学出版社.

陈小娟,2014.水利水电工程建设运行对水生生物的影响与对策[J].人民长江,45(15):7–13.

郭文献,夏自强,王远坤,等,2009.三峡水库生态调度目标研究[J].水科学进展,20(4):554–559.

蒋志刚,江建平,王跃招,等,2016.中国脊椎动物红色名录[J].生物多样性,24(5):501–551,615.

蒋志刚,2023.中国生物多样性红色名录—脊椎动物卷[M].北京:科学出版社.

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,(4):12–16.

李思忠,2017.黄河鱼类志[M].北京:中国水产出版社.

李雷,马波,金星,等,2019.西藏雅鲁藏布江中游裂腹鱼类优先保护等级定量评价[J].中国水产科学,26(5):914–924.

农业部,2021.国家重点保护野生动物名录[J].野生动物学报, 42(2):605–640.

权全,王炎,田开迪,2018.黄河上游羊曲水电站对土著鱼类的影响与保护[J].环境影响评价,40(6):63–66.

宋一清,成必新,胡伟,2018.黑水河鱼类优先保护次序的定量分析[J].水生态学杂志,39(6):65–72.

水利部中国科学院水工程生态研究所,2023.黄河茨哈峡电站生态流量及生态调度方案研究报告[R].武汉:水利部中国科学院水工程生态研究所.

唐文家,何德奎,2013.黄河上游茨哈峡至积石峡段鱼类资源调查(2005–2010年)[J].湖泊科学,25(4):600–608.

王恒山,刘信利,王玫,2016.青海省黄河上游羊曲段水生生物调查研究[J].河北渔业,(9):17–21.

王家樵,黄良敏,李军,等,2017.闽江口及附近海域主要拖网鱼类的保护等级评价[J].海洋渔业,39(5):481–489.

谢季坚,1992.农业科学中的模糊数学方法[M].武汉:华中理工大学出版社.

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.

乐佩琦,陈宜瑜,1998.中国濒危动物红皮书·鱼类[M].北京:科学出版社.

袁超,陈永柏,2011.三峡水库生态调度的适应性管理研究[J].长江流域资源与环境,20(3):269–275.

朱挺兵,胡飞飞,龚进玲,等,2021.澜沧江西藏段鱼类优先保护等级评价[J].淡水渔业,51(2):40–46.

张登成,樊皓,王孟,等,2022.金沙江乌东德水电站生态调度目标鱼类筛选研究[J].水生态学杂志,43(5):73–82.

Wang Y, Liu P, Wu C, et al, 2021. Reservoir ecological operation by quantifying outflow disturbance to aquatic community dynamics[J]. Environmental Research Letters, 16: 074005.

Zhang X, Gao X, Wang J, et al, 2014. Extinction risk and conservation priority analyses for 64 endemic fishes in the Upper Yangtze River, China[J]. Environmental Biology of Fishes, 98:261–272.

(责任编辑 熊美华)

Target Fish Screening for the Ecological Operation of the Cihaxia–Yangqu Section of the Upper Yellow River

PAN Wen-guang¹, SHI Wen-liang², YANG Zhi³, HOU Yi-qun³, LI Ping¹

- (1. China Power Construction Group northwest Survey and design Research Institute limited company, Xi'an 710065, P.R. China;
2. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, P.R. China;
3. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic–Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R. China)

Abstract : The Cihaxia–Yangqu section of the upper Yellow River is home to many indigenous plateau fish species adapted to flowing habitats, and a concentrated distribution area for fish species that produce demersal eggs. In this study, we developed an evaluation index system to determine the conservation priority for 21 indigenous fish species distributed in the Cihaxia–Yangqu section, aiming to screen the target fish species for the ecological operation of that section and provide a reference for formulating and implementing ecological operation. Ten evaluation indices were selected for development of the evaluation index system that reflected the life history, geographical distribution, conservation necessity, germplasm resource value and current resource status of the fish. The evaluation indices were based on fish catch surveys in 2005–2006, 2011, 2012, 2014–2015, 2016, 2017 and 2022 in the study reach, and considered the ecohydrological differences in reproductive requirements of species and data availability. Cluster analysis and non-dimensional ranking were used to analyze the priority of ecological operation demand of the 21 indigenous species. There were 8 fish species with the highest ecological demand and they are the target fish species for ecological operation, including *Gymnodiptychus pachycheilus*, *Triplophysa pappenheimi*, *Schizopygopsis pylzovi*, *Triplophysa siluroides*, *Gymnocypris eckloni*, *Acanthogobio guentheri*, *Chuanchia labiosa*, *Platypharodon extremus*. These species are primarily adapted to slow flowing water and are all gritty spawning types. The other 13 species were in the second group with less ecological demand. The results of this study provide a basis for decision making about ecological operation in the Cihaxia–Yangqu reach of Yellow River.

Key words : ecological operation; target fish species; cluster analysis; non-dimensional sorting; upper Yellow River; Cihaxia–Yangqu section