

基于鱼类资源调查的增殖放流方案前期研究 ——以扎敦水利枢纽为例

张志明¹, 杨 洋¹, 丁慧萍², 常秀岭¹, 梁银铨¹, 翟占英³, 陈 锋¹

(1. 水利部中国科学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;

2. 武汉轻工业大学, 湖北 武汉 430023;

3. 内蒙古扎敦水利水电有限责任公司, 内蒙古 牙克石 022150)

摘要:进行扎敦枢纽鱼类增殖放流方案设计, 为科学开展水利水电工程鱼类增殖放流提供理论依据和技术支撑。2019年10月和2020年4-5月, 对呼伦贝尔市扎敦河鱼类资源开展2次系统调查, 经综合分析确定增殖放流的种类, 并对放流规模、时间、地点、周期及时序等放流方案进行规划设计。结果表明, 扎敦河共分布有16种鱼类, 隶属于2纲5目8科15属。其中, 珍稀保护鱼类4种, 占总种数的25%。现场调查共采集到鱼类13种, 共计2 899尾, 重37 188.9 g。参考生物完整性指数(IBM), 通过对保护地位、经济价值、洄游习性、种群资源量、受工程影响程度及人工繁育技术突破情况等6方面综合分析, 将细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)、哲罗鲑(*Hucho taimen*)、黑龙江茴鱼(*Thymallus grubii*)、瓦氏雅罗鱼(*Leuciscus waleckii*)、黑斑狗鱼(*Esox reichertii*)、江鳕(*Lota lota*)等6种珍稀保护、重要经济鱼类作为本工程近期放流对象。将东北七鳃鳗(*Lampetra morii*)作为远期放流对象, 近期主要开展人工驯养、繁育技术和栖息地保护研究。基于类比分析, 推荐放流数量为16万尾/a。

关键词:鱼类资源调查; 增殖放流; 扎敦河

中图分类号:S932.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2023)01-0041-08

鱼类增殖放流作为水利水电开发中的重要水生生态保护措施之一, 在鱼类种群资源恢复、珍稀濒危物种保护和鱼类生物多样性维护等方面发挥了重要的作用(朱春霞和丁厚灿, 2012)。鱼类增殖放流是一项复杂的系统工程, 包括放流方案的规划设计、增殖放流站的工艺和工程设计、施工建设、运行管理及维护、放流效果评估, 以及后期放流方案的优化调整和设施设备的升级改造等, 涉及面广、技术含量高、运行管理复杂, 对水域生态系统影响深远。其中, 放流方案(包括放流对象、数量、规格、地点、时序和周期等)的规划和设计是开展鱼类增殖放流的前提和基础, 选择合理的放流对象是关键(罗刚等, 2016), 而放流数量的确定则是其重要内容和关键技术(张东亚和牛天祥, 2010)。

扎敦水利枢纽工程是以城市供水为主, 兼顾防洪、森林灭火、灌溉、旅游、养殖、发电等功能的综合性水利枢纽工程。工程位于海拉尔河一级支流免渡河上源扎敦河上, 规模为中型, 装机容量2 500 kW, 总库容0.9306亿m³, 最大坝高26.3 m, 水库回水长度8.85 km。扎敦河发源于牙克石市东南部大兴安岭南段西坡, 干流全长125.7 km, 流域面积约2 750.8 km²。扎敦枢纽工程建成后, 大坝阻隔、库区淹没、水文情势改变等将给鱼类资源带来一定不利影响。查明工程影响河段鱼类种类组成及其资源分布现状是制定针对性保护措施的前提。根据《内蒙古自治区呼伦贝尔市扎敦水利枢纽工程环境影响报告书》(内蒙古自治区水利水电勘测设计院, 2012), 免渡河优势鱼种有5目13科40余种。扎敦河为免渡河支流, 海拔较高、流量较小, 水温更低, 鱼类种类组成、资源量及分布与免渡河是否一致存在较大疑问。截至目前, 尚无有关扎敦河流域鱼类种类组成、分布及资源量调查研究等方面的文献报道。

本研究首次对扎敦河流域鱼类资源进行系统调查, 查明了扎敦河流域鱼类种类组成、资源及分布现状, 通过对保护地位、经济价值、生态特性、种群资源现状、受工程影响程度及人工繁育技术突破情况等6个方面综合分析确定了增殖放流的种类, 并对放流规模、时间、地点、周期及时序等放流方案进行规划设计, 为有

收稿日期: 2021-08-20 修回日期: 2022-09-08

基金项目:国家自然科学基金青年基金(31800391); 水电工程鱼类栖息地保护监测和信息化管理关键技术研究与示范应用(DJ-ZDXM-2020-02)。

作者简介:张志明, 1985年生, 男, 副研究员, 主要从事鱼类生态学 research。E-mail: zhangzm@mail.ihe.ac.cn

通信作者:陈锋, 1981年生, 男, 研究员, 主要从事鱼类生态学、水利水电工程水生态影响评价研究。E-mail: chenfeng@mail.ihe.ac.cn

效降低扎敦水利枢纽工程建设对鱼类资源的不利影响提供科学建议,同时也为其他水利水电工程鱼类增殖放流方案的规划及设计提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 样本采集

2019年10月和2020年4-5月各开展1次野外调查,每次调查时间不少于20 d。调查范围为扎敦河干流三根河林场上游5 km至扎敦河口下游2 km,共计约50 km河段,以及区间主要支流银岭沟、北大河(图1)。

渔获物调查采用自捕和雇请渔民捕捞,与市场购买和访问调查相结合的方式。采用渔具包括地笼(15 m×0.5 m×0.5 m,网目1 cm)和定置刺网(网目3~4、6~7、8~10 cm)。对采集的新鲜样本进行种类鉴定和常规生物学测量,包括全长(TL)、体长(SL)和体重(BW)等,长度精确到1 mm,体重精确到0.1 g。鱼类种类鉴定及分类参考《黑龙江鱼类志》(张觉民,1998)和《东北地区淡水鱼类》(解玉浩,2007)。

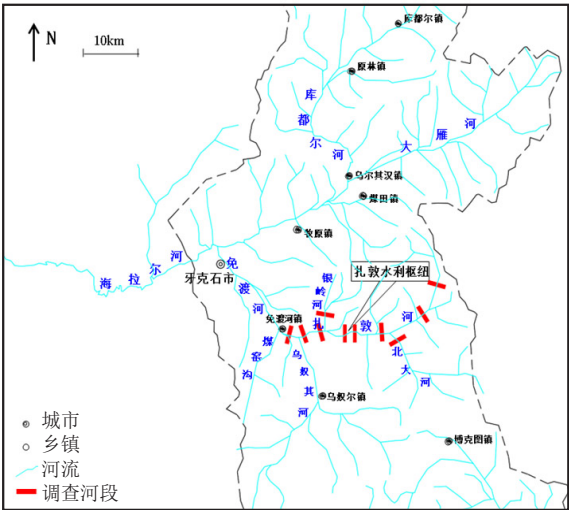


图1 扎敦河鱼类资源调查河段

Fig.1 Location of sampling sites for fish resource investigation of Zhadun River in Hulun Buir, Inner Mongolia

1.2 放流对象确定

参考生物完整性指数(index of biological integrity, IBI)评价体系计算方法(Karr, 1981; 郑海涛, 2006),对扎敦水利枢纽工程影响河段分布鱼类保护地位、经济价值、洄游习性、受工程影响程度、资源量现状、人工繁殖技术是突破情况等6项放流期望指标进行赋值,赋值标准见表1。6项指标总和满分30分,本研究以高于15分(即满分30分的一半)作为增殖放流对象的确定标准。

表1 增殖放流期望指标和赋分标准

Tab.1 Expectation indicators and scoring standards for fish breeding and release scheme design

指标	赋值		
	5	3	1
保护地位	濒危、易危	地方特有种	无危
经济价值	名贵	一般	无
洄游习性	长距离洄游型	短距离洄游型	定居型
受工程影响程度	较大	一般	较小
资源量现状	较少	一般	丰富
繁殖技术突破情况	已突破	相近种突破	未突破

1.3 放流数量及比例确定

放流数量及比例的确定采用类比法,通过与相邻水域(嫩江流域)引绰济辽工程(中国水利水电科学研究院,2016)以及同属我国东北地区、生境条件、鱼类组成相似的(松花江流域)黑龙江省鹤岗市关门嘴子水库工程(中国水利水电科学研究院,2017)和(牡丹江流域)黑龙江省牡丹江市林海水库工程(新疆博衍水利水电环境科技有限公司,2017)等3个增殖放流站放流数量及比例进行类比,并结合鱼类保护地位、受工程影响程度、资源现状、种间竞争或捕食关系、水域生境条件、放流苗种的成活率等方面综合分析确定。

2 结果与分析

2.1 鱼类种类组成

2次调查在研究河段共采集到鱼类13种,分别为东北七鳃鳗(*Lampetra morii*)、细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)、黑龙江茴鱼(*Thymallus grubii*)、黑斑狗鱼(*Esox reichertii*)、江鳕(*Lota lota*)、拉氏鲢 *Rhynchocypris lagowskii*)、真鲢(*Phoxinus phoxinus*)、北方须鳊(*Barbatula barbatula*)、北方花鳊(*Cobitis taenia*)、犬首鮡(*Gobio cynocephalus*)、葛氏鲈塘鳢(*Perccottus glenii*)、黑龙江鲌(*Rhodeus sericeus*)、鲫(*Carassius auratus*)。此外,通过走访当地有经验的渔民获知该河段还存在哲罗鲑(*Hucho taimen*)、银鲫(*Carassius gibelio*)和瓦氏雅罗鱼(*Leuciscus waleckii*),但资源量较小,未采集到样本。因此,研究河段共有鱼类16种,分别隶属于2纲5目8科15属。其中,鲤形目种类数最多,有2科8属9种,占总种数的56.25%;鲑形目次之,有3科3属4种,占总种数的25.00%;七鳃鳗目、鲱形目、鲈形目各1科1属1种,分别占总种数的6.25%(表2)。

2.2 放流对象确定

2.2.1 保护地位 16种鱼类中,细鳞鲑、哲罗鲑、东北七鳃鳗和黑龙江茴鱼在《国家重点保护野生动物名录》中 被列为二级保护动物,占鱼类总种数的25.00%(表2)。

表 2 扎敦河鱼类种类组成及分类统计

Tab.2 Species composition and taxonomic statistics of Zhadun River

纲	目	科	属	种名	拉丁名	保护级别	
圆口纲	七鳃鳗目	七鳃鳗科	七鳃鳗属	东北七鳃鳗	<i>Lampetra morii</i>	国家二级	
硬骨鱼纲	鲑形目	鲑科	细鳞鱼属	细鳞鲑	<i>Brachymystax lenok</i>	国家二级	
			哲罗鲑属	哲罗鲑	<i>Hucho taimen</i>	国家二级	
		茴鱼科	茴鱼属	黑龙江茴鱼	<i>Thymallus grubii</i>	国家二级	
			狗鱼科	狗鱼属	黑斑狗鱼	<i>Esox reichertii</i>	
	鲤形目	鲤科	大吻鲃属	拉氏鲃	<i>Rhynchocypris lagowskii</i>		
			鲃属	真鲃	<i>Phoxinus phoxinus</i>		
			雅罗鱼属	瓦氏雅罗鱼	<i>Leuciscus waleckii</i>		
			鲮鱼属	黑龙江鲮鱼	<i>Rhodeus sericeus</i>		
			鮡属	犬首鮡	<i>Gobio cynocephalus</i>		
			鲫属	鲫	<i>Carassius auratus</i>		
				银鲫	<i>Carassius gibelio</i>		
			鳊科	须鳊属	北方须鳊	<i>Barbatula barbatula</i>	
				花鳊属	北方花鳊	<i>Cobitis taenia</i>	
	鳊形目	鳊科	江鳊属	江鳊	<i>Lota lota</i>		
	鲈形目	塘鳢科	鲈塘鳢属	葛氏鲈塘鳢	<i>Perccottus glenii</i>		
合计	5	8	15	16		4	

细鳞鲑在《中国脊椎动物红色名录》中被列为濒危种(EN);东北七鳃鳗、黑龙江茴鱼和哲罗鲑在《中国脊椎动物红色名录》(生物多样性)被列为易危种(VU),其他 12 种鱼类处无危(LC)级别(蒋志刚等,2016)。

2.2.2 生态类型划分 依据流水依赖性可分为 3 类:喜流水类群 10 种,占总种数的 62.50%;半流水类群 3 种,占 18.75%;静缓流水类群 3 种,占 18.75%。依据洄游习性可分为 3 类:长距离洄游类群 5 种,占 31.25%;短距离洄游类群 2 种,占 12.50%;定居类群 9 种,占 56.25%。依据产卵类型可分为 3 类:产粘、沉性卵类群 13 种,占

81.25%;筑巢产卵类群 2 种,占 12.50%;产卵于软体动物(河蚌)类群 1 种,占 6.25%。依据食性可分为 3 类:鱼、虾类食性 5 种,占 31.25%;底栖动物食性 3 种,占 18.75%;杂食性 8 种,占 50.00%。依据栖息水层可分为 3 类:底层、洞穴类群 6 种,占 37.50%;中下层类群 9 种,占 56.25%;中上层类群 1 种,占 6.25%(表 3)。

2.2.3 资源量及分布情况 2 次调查共采集到鱼类 13 种,共计 2 899 尾,重 37 188.9 g。其中,2019 年 10 月采集 11 种,共计 779 尾,重 16 640.9 g;2020 年 4-5 月采集 13 种,共计 2 120 尾,重 20 548.0 g。

表 3 鱼类生态类群划分

Tab.3 Ecological groups of the fish community in Zhadun River

种名	流水依赖性			产卵类型		食性			洄游习性			栖息水层			
	喜流水	半流水	静缓流	沉粘性	筑巢	产卵于蚌	鱼、虾类	底栖动物	杂食性	长距离洄游	短距离洄游	不洄游	中上层	中下层	底层/洞穴
东北七鳃鳗	√				√				√	√					√
细鳞鲑	√			√			√			√				√	
哲罗鲑	√				√		√			√				√	
黑龙江茴鱼	√			√				√		√				√	
江鲚		√		√			√				√				√
葛氏鲈塘鳢			√	√			√					√			√
拉氏鲿	√			√				√				√			√
真鲿	√			√					√			√		√	
黑龙江鲌			√			√			√			√	√		
黑斑狗鱼		√		√			√					√		√	
北方花鳊	√			√					√			√			√
北方须鳊	√			√					√			√			√
犬首鮡	√			√				√				√		√	
鲫			√	√					√			√		√	
瓦氏雅罗鱼	√			√					√	√				√	
银鲫		√		√					√		√			√	
合计/种	10	3	3	13	2	1	5	3	8	5	2	9	1	9	6
百分比/%	62.50	18.75	18.75	81.25	12.50	6.25	31.25	18.75	50.00	31.25	12.50	56.25	6.25	56.25	37.50

从数量百分比来看,拉氏𩚰和真𩚰最多,分别占总数的47.12%和33.53%;其次为北方须𩚰,占11.52%;葛氏鲈塘鳢、江鳕、黑龙江鲌鲂次之,分别占总数的2.28%、1.97%和1.45%,其他鱼类所占比例较小,均小于1%。

从重量百分比来看,拉氏𩚰和江鳕最高,分别占总重的33.91%和33.12%;其次为黑斑狗鱼、北方须𩚰、黑龙江茴鱼、真𩚰和细鳞鲚,分别占7.98%、5.95%、5.85%、5.18%和4.86%,其他鱼类所占比例较小(表4)。

表 4 扎敦河渔获物统计

Tab.4 Fish catch statistics for Zhadun River

编号	鱼种	体长/cm		体重/g		合计	体重比/%	尾数	数量比/%
		范围	均值	范围	均值				
1	北方花𩚰	2.8~10.0	7.3	0.2~4.2	4.2	12.6	0.03	3	0.10
2	北方须𩚰	4.5~11.1	8.6	3.1~13.9	6.6	2212.4	5.95	334	11.52
3	东北七鳃鳗	15.7~18.6	17.3	4.8~8.6	7.0	42.2	0.11	6	0.21
4	葛氏鲈塘鳢	2.9~13.0	5.8	0.4~77.3	7.7	508.0	1.37	66	2.28
5	黑斑狗鱼	29.5~48.5	40.6	226.7~851	593.8	2968.9	7.98	5	0.17
6	黑龙江茴鱼	8.1~24.1	16.7	6.1~174.2	83.7	2176.4	5.85	26	0.90
7	黑龙江鲌鲂	4~6.5	5.0	1.8~6.8	3.6	146.3	0.39	42	1.45
8	鲫	11.8~13.6	12.7	71.9~102.3	87.3	174.5	0.47	2	0.07
9	江鳕	7.5~46.5	26.8	4~880.5	216.1	12315.2	33.12	57	1.97
10	拉氏𩚰	2.3~14.9	8.9	0.1~42.9	11.1	12609.7	33.91	1366	47.12
11	犬首鮡	6.5~13.6	10.2	4.6~82.1	24.3	291.0	0.78	12	0.41
12	细鳞鲚	8.4~33.1	22.3	6.6~554	225.7	1805.7	4.86	8	0.28
13	真𩚰	0~7.8	5.1	0.1~5.2	2.2	1926.0	5.18	972	33.53
合计						37188.9	100.00	2899	100.00

16种鱼类中,拉氏𩚰、真𩚰、北方须𩚰等3种小型鱼类资源量较大,在干流坝址上下游及其支流均有分布;葛氏鲈塘鳢、黑龙江鲌鲂为静缓流类型鱼类,有一定的资源量,主要分布在坝址上、下游附属水体,主河道分布较少;黑斑狗鱼、江鳕主要分布在坝址上、下游附属水体,主河道分布较少;细鳞鲚资源量较少,黑龙江茴鱼相对较高,但渔获物以小型个体为主,主要分布在干流及支流银岭沟河;犬首鮡、东北七鳃鳗、银鲫、鲫、北方花𩚰资源量较为有限;瓦氏雅罗鱼和哲罗鲑的资源量极少或工程影响水域非上述鱼类集中分布水域,仅在特定时期(如繁殖季节)洄游至此(表5)。

表 5 扎敦河鱼类资源及其分布情况

Tab.5 Fish resource distribution in Zhadun River

种类	资源量现状	分布情况
拉氏𩚰、真𩚰、北方须𩚰	丰富	坝址上、下游的干、支流
葛氏鲈塘鳢	丰富	坝址上、下游附属水体
黑龙江鲌鲂	丰富	坝址上、下游的干、支流
黑斑狗鱼、江鳕	丰富	坝址上、下游干流
细鳞鲚	一般	坝址上游干流及支流银岭沟河
黑龙江茴鱼	丰富	坝址上游干流及支流银岭沟河
东北七鳃鳗、银鲫、北方花𩚰、犬首鮡	一般	坝址上、下游干流
鲫	一般	坝址上游附属水体
哲罗鲑、瓦氏雅罗鱼	极少	现场未采集到

2.2.4 经济价值 细鳞鲚、哲罗鲑、黑龙江茴鱼为名贵经济鱼类,市场价300~400元/kg;黑斑狗鱼和江鳕经济价值较高,市场价60~80元/kg;瓦氏雅罗鱼、葛氏鲈塘鳢、拉氏𩚰、鲫、犬首鮡、银鲫具备一定经济价值,市场价在20~40元/kg;真𩚰、北方须𩚰、北方花𩚰、黑龙江鲌鲂经济价值较小,市场价10~20元/kg;东北七鳃鳗无经济价值。

2.2.5 受工程影响程度分析 细鳞鲚、哲罗鲑、黑龙江茴鱼、东北七鳃鳗、瓦氏雅罗鱼、银鲫以及江鳕具洄游产卵习性,扎敦枢纽坝址上游为鱼类重要的产卵水域,大坝的建设,将会对上述7种鱼类的洄游产卵形成阻隔效应,对其生存繁衍产生较大影响。因银鲫主要分布在大坝下游,只在繁殖季节洄游至坝址附近繁殖,所受该影响较其他6种鱼类小。此外,细鳞鲚、哲罗鲑、黑龙江茴鱼、东北七鳃鳗、拉氏𩚰、真𩚰、北方花𩚰、北方须𩚰、犬首鮡等10种鱼类为流水依赖性鱼类,大坝建成蓄水,导致水文情势及水动力学条件发生显著改变,库区由原来的流水生境变为缓静流水生境,导致上述鱼类会逐渐向库尾上游、支流北大河等流水河段退缩,栖息空间萎缩,种群资源量将较自然条件下有所减少。相反的,大坝建设将对黑斑狗鱼、葛氏鲈塘鳢、黑龙江鲌鲂、鲫等5种定居型、静缓流水生境鱼类较为有利。黑斑狗鱼为凶猛肉食性鱼类,大坝建设会对其饵料鱼类造成影响,间接影响其摄食、生长及种群分布。

2.2.6 人工繁育技术突破情况 据调研, 鲫作为常见的经济鱼类, 其人工繁殖技术已较为成熟; 黑龙江、吉林、辽宁、河北以及新疆维吾尔自治区等省的多家科研单位已针对细鳞鲑、哲罗鲑、黑龙江茴鱼、黑斑狗鱼、拉氏鲮、北方须鲈、瓦氏雅罗鱼开展多年人工驯养和繁殖研究, 人工繁殖技术也较为成熟。新疆、吉林相关科研单位已开展江鳕、银鲫人工繁殖研究实验, 取得了一定突破, 但技术尚未成熟, 人工授精及苗种培育阶段的研究有待加强。葛氏鲈塘鳢、黑龙江鲌的人工繁殖技术尚未成功, 但相近种沙塘鳢、中华鲌人工繁殖技术已突破; 北方花鲈、真鲮、犬首鲈的人工繁殖技术尚无成果, 且无相近种繁殖经验借鉴。东北七鳃鳗野外资源量较少, 人工驯养难度大, 辽宁师范大学、中山大学等院校及相关科研、技术推广单位利用繁殖季节捕捞野生亲鱼开展了相关的人工繁育研究, 但未达到规模化生产。

2.2.7 放流对象确定 评价区分布鱼类增殖放流期望值的考量指标及赋分见表 6。增殖放流期望赋值>15 的有细鳞鲑、哲罗鲑、黑龙江茴鱼、瓦氏雅罗鱼、江鳕、黑斑狗鱼和东北七鳃鳗等 7 种鱼。因此, 建议将上述 7 种珍稀保护、重要经济鱼类作为本工程增殖放流对象。其中, 东北七鳃鳗人工繁殖技术尚未突破, 且该鱼环境适应能力较强, 可作为本增殖放流站远期放流对象, 近期主要开展驯养繁殖技术及栖息地保护研究。

2.3 放流规模

由类比分析可知(表 7), 与本工程所在流域相近和生境相似的 3 个工程的增殖放流量约为每亿 m³ 库容 5 万尾。考虑到增殖放流量除了与库容有关外, 还与水库淹没河段长度、减水河段长度以及阻隔效应等因素密切联系, 而仅从增殖放流量与库容之比来确定增殖放流规模可能会造成增殖放流量的低估。同时, 扎敦枢纽为扎敦河上修建的第一个枢纽工程, 且坝上河段为受影响鱼类重要产卵水域, 而工程未配套建设过鱼设施。因此, 为尽可能地补偿工程对鱼类种群资源的不利影响, 维持鱼类资源的可持续发展, 建议本增

殖放流站放流细鳞鲑、黑龙江茴鱼各 4 万尾/a、瓦氏雅罗鱼、黑斑狗鱼和江鳕各 2 万尾/a, 哲罗鲑、东北七鳃鳗各 1 万尾/a, 合计 16 万尾/a。

表 6 增殖放流期望赋值

Tab.6 Expectation scores of each fish species for fish breeding and release project							
鱼类	保护地位	经济价值	洄游习性	受影响程度	资源量现状	繁育技术是否突破	总得分
细鳞鲑	5	5	5	5	5	5	30
哲罗鲑	5	5	5	5	5	5	30
黑龙江茴鱼	5	5	5	5	3	5	28
瓦氏雅罗鱼	1	3	5	5	5	5	24
东北七鳃鳗	5	1	5	5	3	1	20
江鳕	1	3	3	5	1	5	18
黑斑狗鱼	1	3	1	3	3	5	16
拉氏鲮	1	3	1	3	1	5	14
银鲫	1	3	3	1	1	3	12
鲫	1	3	1	1	1	5	12
北方须鲈	1	1	1	3	1	5	12
葛氏鲈塘鳢	1	3	1	1	1	3	10
犬首鲈	1	3	1	3	1	1	10
黑龙江鲌	1	1	1	1	1	3	8
北方花鲈	1	1	1	3	1	1	8
真鲮	1	1	1	3	1	1	8

2.4 放流规格、时间及地点

根据相关研究报道, 放流鱼类的产卵、孵化及达到放流规格的时间如下: 细鳞鲑、哲罗鲑繁殖期在 5~7 月, 水温 8~12 ℃时, 孵化期约 17 d, 7~8 月可长至 5~7 cm(孙玉芝等, 2011; 陈春山等, 2017); 黑龙江茴鱼、瓦氏雅罗鱼繁殖期在 4~6 月, 水温 8~10 ℃时, 孵化期 15~20 d, 7~8 月可长至 3~5 cm(徐革锋等, 2006; 李志明等, 2008); 黑斑狗鱼产卵季节在 4~5 月, 水温 6~10 ℃时, 孵化期约 10 d, 经过 10~15 d 可长至 3 cm, 7~8 月体长可达 6~8 cm(张向军, 2017); 江鳕产卵季节在 12 月至翌年 2 月, 集中在 1 月, 水温 2~4 ℃时, 孵化期 40~50 d, 3 月初出膜, 7~8 月可长至 5~6 cm(韩骥, 2017); 东北七鳃鳗繁殖期一般在 5~6 月, 水温 8~12 ℃左右, 7~8 月可长至 3~4 cm(李军等, 2019)。因此, 为

表 7 增殖放流数量类比分析

Tab.7 Analogical analysis of fish release quantity				
工程	库容/亿 m ³	合计放流数量/万尾·a ⁻¹	平均/万尾·(a ⁻¹ ·亿 m ⁻³)	放流对象
引绰济辽工程	18.88	78	4.13	哲罗鲑、细鳞鲑、黑龙江茴鱼、黑斑狗鱼、乌苏里白鲑
关门嘴子水库工程	4.03	24	5.96	细鳞鲑、哲罗鲑、黑斑狗鱼、江鳕
林海水库工程	1.27	11	8.66	哲罗鲑、细鳞鲑、黑龙江茴鱼、江鳕、东北雅罗鱼
平均	8.06	37.67	6.25	

保证一定的成活率,选择在每年的7~8月实施放流,鱼体长3~8 cm(表8)。

根据放流鱼类的生态习性,鱼类放流地点主要考虑在扎敦水库库区、库尾及坝下干流及支流银岭沟。其中,黑斑狗鱼、江鳕可适应缓流水生境,且该两种鱼为凶猛肉食性鱼类,为尽量避免对其他放流

鱼类的捕食及竞争关系,应选择在库区放流;细鳞鲑、哲罗鲑、黑龙江茴鱼、瓦氏雅罗鱼、东北七鳃鳗对流水生境要求较高,仔幼鱼的游泳能力尚弱,为保证其成活率选择在坝下及库尾以上河段,以及主要支流银岭沟、北大河等水流缓慢、饵料较丰富的河段放流。增殖放流数量、规格、时间及地点见表8。

表 8 增殖放流规格、时间、数量及地点
Tab.8 Fish release size, time, quantity and location

规划	种类	数量/万尾·a ⁻¹	放流规格/cm	时间	放流数量/万尾·a ⁻¹			
					支流	坝下	库区	库尾
近期放流	细鳞鲑	4.0	5~7	7~8月	1.5	1.5	-	1.0
	黑龙江茴鱼	4.0	3~5		1.5	1.5	-	1.0
	瓦氏雅罗鱼	2.0	3~5		0.5	1.0	-	0.5
	黑斑狗鱼	2.0	6~8		-	-	2.0	-
	江鳕	2.0	5~6		-	-	2.0	-
	哲罗鲑	1.0	5~7		0.5	0.5	-	0.0
远期放流	东北七鳃鳗	1.0	3~4		-	0.5	-	0.5
合计		16.0			4.0	5.0	4.0	3.0

2.5 放流时序和周期

增殖放流从2021年开始,增殖站建设期间可采用从当地具有资质的鱼苗良种场购买的方式开展部分鱼类(如瓦氏雅罗鱼、哲罗鲑、细鳞鲑、黑龙江茴鱼等)的放流。试运行阶段,首先开展现阶段人工繁育技术较为成熟的鱼类(如细鳞鲑、哲罗鲑、黑龙江茴鱼、瓦氏雅罗鱼、黑斑狗鱼)的放流工作,同时开展江鳕和东北七鳃鳗亲鱼驯养和人工繁育技术前期研究。2021年放流4.5万尾鱼苗,随后逐年增加,2025年达到本增殖放流站设定的放流数量(表9)。

表 9 增殖放流规模时序安排
Tab.9 Schedule of time and quantity of fish releases

鱼种	数量/万尾·a ⁻¹				
	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
细鳞鲑	1.0	2.0	3.0	4.0	4.0
黑龙江茴鱼	1.0	2.0	3.0	4.0	4.0
瓦氏雅罗鱼	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
黑斑狗鱼	-	1.0	1.0	2.0	2.0
江鳕	-	-	0.5	1.0	2.0
哲罗鲑	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
合计	4.5	7.5	10.0	14.0	15.0

3 讨论与建议

选择适宜的放流对象和合理的放流数量与比例是确保增殖放流效果落到实处、达到鱼类资源及其生物多样性保护和恢复效果、保障原有水域生态系统安全及资金投入发挥最大效益的前提和关键(谭

民强和梁学功,2007)。盲目放流不仅起不到保护或恢复鱼类种群资源的目的,反而可能造成生态失衡、种间关系破坏、生物多样性下降等负面效应(Mcdowell,2002)。前期工作中,水利水电行业鱼类增殖放流种类及数量的确定主要依据《水电工程鱼类增殖放流站设计规范》(中华人民共和国能源行业标准,2014)和《水库渔业设施配套规范》(中华人民共和国水利部,1994)。其中,前者仅提供了增殖放流对象和规模确定的一般性原则,未给出客观、量化的确定方法或依据(施家月等,2009);后者主要目的在于渔业增殖和经济效益提升,不适用于水利水电工程等补偿性增殖放流种类和数量的确定。因此,国内尚无统一的针对水利水电开发的增殖放流种类及数量确定的方法、标准和规范(刘喜,2015)。

理论上,所有受工程影响的鱼类均应放流,但增殖放流涉及工程量和资金投入具大,且对运行管理者的专业技术要求较高(张东亚和牛天祥,2010)。因此,为避免技术和资金投入浪费,需在系统调查和研究工程影响水域生境条件、鱼类种类组成和资源分布、生态特性的基础上,结合工程特性,科学规划布局,选择一种或几种作为放流对象。同时,放流种类的选择需具备一定的可操作性,考虑本种或相近种的人工繁育技术是否突破,采取近、远期相结合的方式,才能有效减缓工程建设对鱼类资源的不利影响。李陆嫔(2011)依据放流的原因、动机和目标将增殖放流大致分为恢复性放流、增殖性放流、补偿性

放流、保护性放流、研发性放流和构建新种群和新产业等6个基本类型。水利水电行业鱼类增殖放流的目标是补偿工程建设和运行对鱼类生存、繁衍以及鱼类种群资源造成的不利影响,从而保护鱼类生物多样性和维持鱼类种群的可持续发展,属补偿性增殖放流范畴。《水电工程鱼类增殖放流站设计规范》(NB/T 35307-2014)规定,增殖放流规模应根据放流水域生境条件、生态承载力、放流对象的种群生存力等因素,综合分析确定。这一方法是为了增加鱼类种群数量以达到能够维持鱼类平衡发展的目的。

依据前期相关工作经验,建议水利水电工程鱼类增殖放流数量的确定参考以下4个步骤:(1)开展系统全面的水生生态调查,包括水生生物、鱼类种类组成、资源及分布情况、水生生境等;(2)根据工程规模、特性及运行调度方式,分析工程建设运行后适宜生境(包括库尾、坝下、支流流水河段)的长度和规模变化情况;(3)预测工程建设和运行对鱼类资源的影响方式、范围和程度,准确预测受工程影响的鱼类资源量情况;(4)分析鱼类资源与水生生境的关系,结合受工程影响的鱼类资源量,以及种群间的捕食、竞争关系,系统综合的论证放流的规格、数量和比例。

参考文献

- 陈春山,郑伟,时晓,等,2017.图们江细鳞鲑人工繁殖技术研究[J].水生态学杂志,38(5):103-108.
- 韩骥,2017.黑龙江江鳕的人工繁殖技术[J].河北渔业,(1):40-41.
- 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):500-551.
- 李志明,张利,刘海涛,等,2008.盐度、pH对达里湖瓦氏雅罗鱼受精卵孵化的影响[J].内蒙古农业科技,(4):68.
- 李陆嫔,2011.我国水生生物资源增殖放流的初步研究——基于效果评价体系的管理[D].上海:上海海洋大学.
- 刘喜,2015.水电工程增殖放流规模估算方法探讨[J].低碳世界33:80-81.
- 罗刚,庄平,赵峰,等,2016.我国水生生物增殖放流物种选择发展现状,存在问题及对策[J].海洋渔业,38(5):551-560.
- 李军,马庆华,刘怀秀,等,2019.东北七鳃鳗早期发育研究

- [J].水生生物学报,43(4):126-136.
- 内蒙古自治区水利水电勘测设计院,2012.内蒙古自治区呼伦贝尔市扎敦水利枢纽工程环境影响报告书[R].呼和浩特:内蒙古自治区水利水电勘测设计院.
- 施家月,廖琦琛,梁银铨,等,2009.功果桥和苗尾水电站鱼类增殖放流站设计中的关键技术研究[J].水生态学杂志,30(6):51-56.
- 孙玉芝,吴长春,叶远涛,等,2011.哲罗鱼人工孵化及育种技术研究[J].吉林农业,(6):272-273.
- 谭民强,梁学功,2007.水利水电建设中鱼类保护的有效措施——适宜生境的人工再造[J].环境保护,(24):73-74.
- 徐革锋,梁双,孙冬梅,等,2006.黑龙江茴鱼的人工繁殖技术研究初报[J].水产学杂志,(2):51-53.
- 解玉浩,2007.东北地区淡水鱼类[M].沈阳:辽宁科学技术出版社.
- 新疆博衍水利水电环境科技有限公司,2017.黑龙江省牡丹江市林海水库工程环境影响报告书[R].乌鲁木齐:新疆博衍水利水电环境科技有限公司.
- 张觉民,1998.黑龙江鱼类志[M].哈尔滨:黑龙江科学出版社.
- 张向军,2017.黑斑狗鱼人工繁育技术[J].黑龙江水产,(2):19-21.
- 张东亚,牛天祥,2010.水电工程鱼类增殖放流站工艺设计[J].西北水电,(4):9-13.
- 郑海涛,2006.怒江中上游鱼类生物完整性评价[D].武汉:华中农业大学.
- 中国水利水电科学研究院,2016.引绰济辽工程环境影响报告书[R].北京:中国水利水电科学研究院.
- 中国水利水电科学研究院,2017.黑龙江省鹤岗市关门嘴子水库工程环境影响报告书[R].北京:中国水利水电科学研究院.
- 中华人民共和国能源行业标准,2014.水电工程鱼类增殖放流站设计规范:NB/T35037-2014[S].北京:新华出版社.
- 中华人民共和国水利部,1994.水库渔业设施配套规范:SL95-94[S].北京:水利电力出版社.
- 朱春霞,丁厚灿,2012.河口地区水电开发的生态环境保护措施初探[C].成都:四川省环境科学学会学术年会.
- Karr J R, 1981. Ecological perspective on water quality goals [J]. Environmental Management, 5(1):55-68.
- Mcdowell N, 2002. Stream of escaped farm fish raises fears for wild salmon[J]. Nature, 416(6881):571-571.

(责任编辑 郑金秀)

Design of Fish Breeding and Release Schemes Based on Fish Resource Surveys: Case Study of Zhadun Water Control Project

ZHANG Zhi-ming¹, YANG Yang¹, DING Hui-ping², CHANG Xiu-ling¹,
LIANG Yin-quan¹, ZHAI Zhan-ying³, CHEN Feng¹

- (1. 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;
2. Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, P.R. China;
3. Inner Mongolia Zhadun Water Conservancy and Hydropower Co. Ltd, Yakeshi 022150, P. R. China)

Abstract: Fish breeding and release is an important method for alleviating the negative effects of hydropower development, playing vital roles for restoring fishery resources, conserving rare and endangered species, and maintaining fish biodiversity. We conducted two systematic investigations of fishery resources in Zhadun River in October 2019 and April–May 2020. Then, based on the results, a fish breeding and release scheme was designed for the Zhadun water control project, focusing on the fish species to be released, quantity, time, location and schedule for fish release. There are 16 fish species known to inhabit Zhadun River, belonging to 15 genera, 8 families, 5 orders and 2 classes. Among the species, four are rare, accounting for 25% of the total number. During the two investigations, a total of 2 899 individuals from 13 species were collected, weighing 37 188.9 g. Based on the fish index of biological integrity (F-IBI), we conducted a comprehensive analysis and evaluation of species collected in the river section affected by the Zhadun water control project. The F-IBI included conservation status, economic value, migratory habits, status of fish resources, degree of engineering influence, and whether artificial breeding technology had broken through. Six species were selected as short term release targets, including *Brachymystax lenok* (Pallas 1773), *Hucho taimen* (Pallas 1773), *Thymallus grubii* (Dybowski 1869), *Leuciscus waleckii* (Dybowski 1869), *Esox reichertii* (Dybowski 1869), and *Lota lota* (Linnaeus 1758). *Lampetra morii* (Berg 1931) was selected as the long term release target, and near term work should focus on artificial domestication and breeding technology of the target species and habitat conservation. Based on analogy analysis, we recommend releasing 160 000 fish per year to maintain the sustainable development of fish resources in Zhadun River, with the following species composition: *B. lenok* and *T. grubii*, 40 000 of each species; *L. waleckii*, *E. reichertii* and *L. lota*, 20 000 of each species; *H. taimen* and *L. morii*, 10 000 of each species. In addition, fish size, location and the schedule of fish release time and quantity were included in the design. In summary, this study provides an objective and quantitative method for determining the target species for fish breeding and release for the Zhadun hydro-junction project, and a detailed description of the steps in designing the fish breeding and release scheme. It provides theoretical and technical support for implementing fish breeding and release in water conservancy and hydropower projects, and will enhance the ecological benefit of fish breeding and release projects.

Key words: fish resource investigation; fish breeding and release; Zhadun River