

云南李仙江流域水电开发中的鱼类资源保护

杨永宏¹, 杨君兴^{2,*}, 潘晓赋², 周伟³, 杨美临¹

(1. 云南省环境工程评估中心, 云南 昆明 650032; 2. 中国科学院昆明动物研究所 遗传资源与进化国家重点实验室, 云南 昆明 650223;
3. 西南林学大学 保护生物学学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 水电工程的开发对江河道鱼类资源产生了诸多不利影响, 在保护和恢复日益增多的濒危鱼类种群的实践中, 孕育和逐渐形成了保护水产学。该文对李仙江流域水电开发与流域内珍稀鱼类异鱧、越鱧、软鳍新光唇鱼和暗色唇鱼人工增殖保护实践中的实施效果和存在问题进行了分析。李仙江水电开发与鱼类增殖保护为河流鱼类的增殖保护提供了一个参考模式。但是增殖放流不是简单地一项任务, 要保证整个过程得以顺利进行, 需要提前进行繁育规划, 提前委托, 监测和增殖技术研究先行, 资源保护与当地经济发展相结合。

关键词: 水电开发; 鱼类; 增殖放流; 李仙江; 云南

中图分类号: S937; TV752 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-5853-(2011)02-0188-08

Fishery resource protection by artificial propagation in hydroelectric development: Lixianjiang River drainage in Yunnan as an example

YANG Yong-Hong¹, YANG Jun-Xing^{2,*}, PAN Xiao-Fu², ZHOU Wei³, YANG Mei-Lin¹

(1. Yunnan Provincial Appraisal Center for Environmental Engineering, Kunming 650032, China; 2. State Key Laboratory of Genetic Resources and Evolution, Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; 3. Faculty of Conservation Biology, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: Hydroelectric developments can result in a number of negative environmental consequences. Conservation aquaculture is a branch of science derived from conservation and population recovery studies on endangered fishes. Here we discuss the impacts on fishes caused by hydropower projects in Lixianjiang, and evaluate effects and problems on the propagation of *Parazacco spilurus*, *Hemibagrus pluriradiatus*, *Neolissochilus benasi* and *Semilabeo obscurus*. A successful propagation project includes foraging ecology in fields, pond cultivation, juvenile fish raising, prevention and curing on fish disease, genetic management, artificial releasing and population monitoring. Artificial propagation is the practicable act on genetic intercommunication, preventing population deterioration for fishes in upper and lower reaches of the dam. For long-term planning, fish stocks are not suitable for many kind of fishes, but can prevent fishes from going extinct in the wild. Basic data collection on fish ecology, parent fish hunting, prevention on fish disease are the most important factors on artificial propagation. Strengthening the genetic management of stock population for keeping a higher genetic diversity can increase the success of stock enhancement. The works on Lixianjiang provide a new model for river fish protection. To make sure the complicated project works well, project plans, commission contracts, base line monitoring and techniques on artificial reproduction must be considered early. Last, fishery conservation should be considered alongside location development.

Key words: Hydroelectric development; Fishes; Fish propagation; Lixianjiang; Yunnan

水电工程的建设对江河鱼类资源产生了诸多不利影响(Zhong & Power, 1996)。由于水电站建设规划的不同, 以及河流地质、水文和水生态环境的差异, 对江河鱼类资源的影响程度有所不同。为了

减少水电建设对鱼类资源的影响, 诞生了多种不同的鱼类保护措施。保护水产学(conservation aquaculture)是在保护和恢复日益增多的濒危鱼类种群的实践中孕育和形成的, 是指利用水产学的理

收稿日期: 2010-10-14; 接受日期: 2011-01-26

基金项目: 云南大唐国际李仙江流域水电开发有限公司委托项目; 国家电力公司云南阿墨江发电有限公司委托项目

*通讯作者(Corresponding author), E-mail: yangjx@mail.kiz.ac.cn

论与实践保护和恢复受到灭绝危胁的鱼类种群 (Anders, 1998; Helfman, 2007)。保护水产学最核心的内容是利用保护生物学与水产学的基本理论、原理, 采用鱼类繁育计划逐步恢复濒危物种的野外种群。而迁地保育技术和人工繁殖是当前国际上保护和恢复重要鱼类种群的最主要方式之一 (Helfman, 2007)。这种方法的应用在名贵的鲑、鳟等鱼类种群恢复工作中取得了十分明显的效果。在欧洲, 几乎每一条主要河流都建有土著鱼类繁殖放流基地, 其主要任务是对欧洲近 10 种特有鲑、鳟鱼类进行实施人工繁殖和放流研究工作 (Helfman, 2007)。印度通过建立基因库和提供人工繁殖技术给私人养殖场, 很好地保护了濒危物种帕布甸鲑 (*Ompok pabo*) 和易危物种长须鳊 (*Mystus gulio*), 并恢复了它们的野外种群 (Mijkherjee et al, 2002)。如果没有人工繁育计划, 美国哥伦比亚河流一带的红大马哈鱼 (*Oncorhynchus nerka*) 可能已经灭绝 (Hebdon et al, 2004)。近年来, 在防止南美鲑形目鱼类种群数量的衰退中, 鱼类人工繁殖迅速扮演了另外一个角色, 即促进了鱼类种群的保护, 如果银大麻哈鱼 (*Oncorhynchus kisutch*) 没有及时制定周详的种群恢复计划, 银大麻哈鱼可能在几十年前就消失了 (National Marine Fisheries Service, 2010)。

我国曾利用迁地保育和人工繁殖技术成功地提高了中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 这一长江特有鱼类的种群数量 (Li, 2001; Liu et al, 2007)。近年来各地科研院所纷纷开展了胭脂鱼 (*Myxocyprinus asiaticus*)、齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*)、光泽黄颡鱼 (*Pseudobagrus nitidus*)、滇池金线鲃 (*Sinocyclocheilus grahami*) 等野生鱼类的人工增殖研究 (Ruo et al, 2001; Wan et al, 2002; Huang & Wei, 2002; Yang et al, 2007)。这些事例说明, 迁地保育和人工繁殖技术也已成为我国土著鱼类保护和恢复技术发展的主要方向, 为大量其它土著鱼类的迁地保育和人工繁殖积累经验、提供方法。云南水电建设已在澜沧江、元江、南盘江和金沙江等流域展开 (Ma, 2003)。全省水电建设中所涉及鱼类增殖保护措施这一问题, 各水电公司都以不同的方式执行着不同程度的鱼类保护措施, 但目前尚无十分统一明确的方案规划和详细的实施规划。本文在李仙江流域珍稀濒危土著鱼类实施增殖放流保护工作取得成效的基础上, 旨在探讨鱼类人工增殖放流珍稀特有鱼类的模式, 为水电开发与鱼类物种多样性保

护和管理提供一定的参考。

1 李仙江流域概况

1.1 自然概况与电站布局

李仙江流域发源于云南省大理州南涧县宝华乡石丫口山, 经把边江 (龙马江) 与阿墨江汇流后称李仙江, 由西北向东南, 沿江城县东北部, 经曲水乡出境流入越南。流入越南后称沱江 (又称黑水河), 在越池附近汇入红河。李仙江为红河水系的一级支流, 在云南境内河道长 427 km, 天然落差 1980 m, 流域面积 20140 km², 年平均流量 470 m³/s。李仙江干流段的主要支流有绿春县大黑山镇的坝沙河和江城县曲水镇的土卡河 (Department of Water Resources and Hydroelectric of Yunnan Province, 1998)。李仙江干流共有 7 座梯级电站的规划: 崖羊山—石门坎—新平寨—龙马—居甫渡—戈兰滩—土卡河 (图 1)。

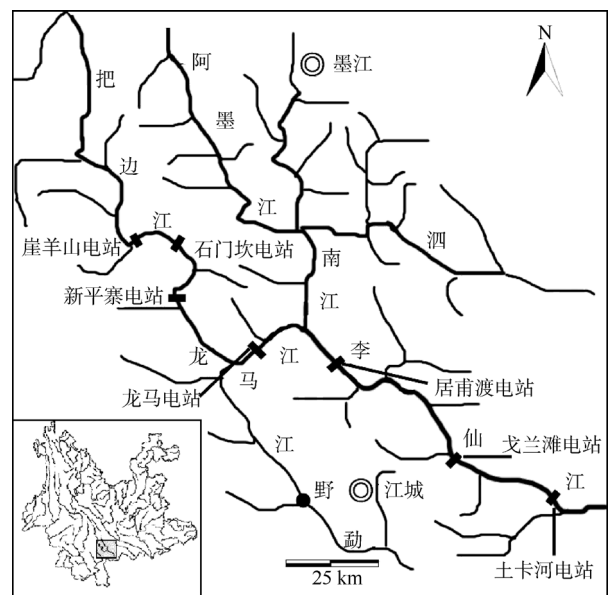


图 1 李仙江干流水电站分布

Fig. 1 Map showing the locations of hydroelectric dams in main Lixianjiang river

1.2 鱼类资源现状

通过 2003 年 5 月至 2008 年 4 月的调查, 李仙江干、支流共有鱼类 64 种 (亚种), 隶属于 6 目 14 科 43 属 (Yang et al, 2010)。近年来, 李仙江鱼类资源呈现下降趋势。在电站建成之前, 渔获物主要以红鲃 (*Bagarius rutilus*)、华南鲤 (*Cyprinus rubrofusculus*) 等中大型鱼类为主; 水库蓄水后, 主

要渔获物个体呈小型化,急流型鱼类显著减少,湖泊型鱼类增多,华南鲤和鲃 (*Silurus asotus*) 数量显著增加,这是捕捞过度、资源衰退的表象。流域渔业主要集中在沿岸的傣族村寨,渔业收入,占部分家庭的经济总收入的 30%左右。随着外来人口的增加和交通日益便捷,对李仙江流域野生鱼类的需求也急剧增长,鱼类价格大幅攀升,进一步加剧过度捕捞。

随着电鱼机数量的激增,干支流鱼类资源遭受极大的破坏。在库区实行的网箱养殖罗非鱼 (*Oreochromis* spp.) 替代沿岸居民的传统农业,使得外来鱼类已在库区定居,主要外来鱼类有麦穗鱼 (*Pseudorasbora parva*)、食蚊鱼 (*Gambusia affinis*)、高体鳊 (*Rhodeus ocellatus*)、波氏吻鰕虎鱼 (*Rhinogobius cliffordpopei*)、褐吻鰕虎鱼 (*Rhinogobius brunneus*) 和莫桑比克罗非鱼 (*O. mossambica*) 等 6 种(Yang et al, 2010)。

1.3 渔业发展状况

建库前,李仙江流域的渔业生产仅是天然捕捞,渔获的品种复杂,且产量小,容易受季节等因素影响,难以形成规模(Yang et al, 2010)。建库蓄水后,随着库区浮游植物、浮游动物和底栖动物等的数量的增加,这为发展库区渔业提供了条件。目前,李仙江鱼类养殖业主要以水库网箱养殖为主,养殖的品种以罗非鱼养殖为主。由于养殖密度高,一些养殖户养殖的网箱鱼病滋生,造成养殖鱼类大量死亡,零散养殖,难以形成高品质的渔产品。库区养殖户对于养殖当地特有的经济鱼类热情极高,并尝试一些种类的驯养。库区养殖的罗非鱼已经发生罗非鱼链球菌病,该病是一种高感染率和高致死率的鱼病,一旦感染对象扩散至李仙江流域的土著鱼类,将对当地的本来就脆弱的渔业资源造成毁灭性的打击。

2 方法

2.1 鱼类资源保护增殖依据

依据《云南省李仙江干流梯级水电开发环境影响报告书》、《李仙江戈兰滩水电站环境影响报告书》、《李仙江居甫渡水电站环境影响报告书》、《李仙江龙马水电站环境影响报告书》和《李仙江土卡河水电站环境影响报告书》以及云南省建设项目环境审核受理中心的云环评函 ([2006]5 号文件) 和《云南省环境保护局关于审查李仙江流域鱼类繁殖鱼苗放流和保护实施方案请示的复函》(云环函

[2007]366 号),确定软鳍新光唇 (*Neolissochilus benasi*)、暗色唇鱼 (*Semilabeo obscurus*) 和异鱧 (*Parazacco spilurus*) 为最优先保护的對象,通过对 3 种鱼人工繁殖技术的攻关,最终实现每种年投放全长 1.5~5.0 mm 的 1~2 万尾到库区适宜的河段。

根据《阿墨江普西桥水电站环境影响报告书》技术评审会会议纪要和云南省建设项目环境审核受理中心关于阿墨江水电站规划环评审查意见(云环评函[2008]102 号),确定应尽早开展鱼类增殖放流技术和增殖放流站的建设工作,确定异鱧、软鳍新光唇鱼、越鳊 (*Hemibagrus pluriradiatus*) 等 3 种鱼类为最优先保护的對象,最终实现每种年投放全长 3.0~5.0 mm 的 1~2 万尾到库区适宜的河段。

2.2 鱼类增殖方案

2.2.1 增殖站的布局 参照动物迁地保护机构和设施的设计原则(Chen & Ma, 2001),增殖站的布局需要满足迁地种群正常生存和繁衍的需要,方便管理者对迁地种群实施最大限度地保存其遗传多样性的管理,同时依然保存迁地种群野外正常生存所必需的生存技能和保存个体间正常进行繁衍的行为模式,保证迁地种群重新引入后能够适应原来的自然生存环境。

2.2.2 野生亲鱼种源收集 亲鱼采集地选择与数量确定:选择繁殖用的亲鱼的分类地位是明确的,依据动物迁地保护的理論,迁地种群维持正常生存和繁衍需要,按确定有效种群大小的 50/500 法则,确定引种种群的数量,最大限度的保存和管理增殖鱼类的遗传多样性(Franklin, 1980)。

就地选择与异地选择相结合:根据进化显著单元(ESA, evolutionarily significant unit)确定种内管理单元(McClure et al, 2008),基于可交换性定义,即根据种群在最近或历史上是否具有生态或遗传互换性来对种群进行分类,对不同种群进行分别管理(Crandall et al, 2000);在实践中,尽可能多地收集不同的地方种群,分开饲养,科学管理,适时进行或避免种群间杂交,防止种群发生种质退化。

遗传管理与防止外来种入侵:由于迁地保育或就地保育珍稀鱼类种群通常是小种群,随机事件对小种群的影响很大;如何降低饲养种群的选择压力,圈养种群退化的方式主要包括遗传多样性的丧失、近交衰退、新的有害突变的积累和对圈养的遗传适应等方面。圈养种群的退化还表现在影响增殖放流的成功率,为了保证增殖放流成功率,就必须保持

种群遗传多样性的维持, 通过野外调查采集野生亲鱼, 及时补充人工繁殖亲鱼群体避免种群衰退。建立基因库, 通过冷冻精液和胚胎, 进行濒危鱼类物种有效保护和管理, 并做相应的 DNA 遗传多样性分析与评估。

基础生物学资料收集与积累: 人工增殖对象的基础生物资料主要从历次引种考察中获得, 针对繁殖工作出现的问题, 采用专题的形式进行野外调查与室内实验。辅助采用查阅相关文献资料, 了解需要增殖鱼类的野外摄食和繁殖生态等内容(Chu & Chen, 1989, 1990; Yang et al, 2010); 同时, 通过解剖中国科学院昆明动物研究所鱼类标本库历年积累的馆藏标本, 了解鱼类的性腺发育情况、雌雄性比等内容, 以期完善鱼类繁育方案。

2.2.3 人工增殖方案 人工增殖在鱼类种群恢复计划中占有十分重要的地位。人工增殖方案包括: 选择繁殖亲鱼、亲鱼的采集与繁殖、日常饲养管理、放流技术、监测与评估、捕获亲鱼计划等内容(Hard et al, 1992)。要充分认识到项目实施过程中可能遇到的主要风险, 增殖站选择是否适合亲鱼繁殖, 亲鱼寻找和收集、鱼病问题、外来种问题, 以及支持项目运作所需的经费等等; 有 1~2 套应对问题的对策或方法。

2.2.4 鱼苗流放与监测 实施鱼类人工繁育需要经常性的进行监测和评估, 监测的内容应包括评估自然种群和圈养种群遗传与生态适应之间的关系。需要每年对阶段性成果进行一次评估并根据研究进展对繁育计划进行调整。许多科学问题存在不确定性, 繁育计划就需要灵活地与项目管理相协调。

2.3 访问调查

李仙江流域的沿岸的渔民和水产站工作人员询问当地渔获物、渔业发展的情况。在访问过程中, 对当地了解需要人工增殖的鱼类生物学资料的渔民, 重点访问这些鱼类的繁殖时间、繁殖场、鱼卵性质、仔鱼出现的时间等方面的内容。

3 结 果

3.1 鱼类增殖站的建设

2008 年至 2010 年 12 月在中国科学院昆明动物研究所珍稀鱼类繁育研究基地、普洱江城基地和文山西畴基地对软鳍新光唇鱼、暗色唇鱼、异鱧和越鳢等四种鱼类的饲养和人工繁殖的实践。三地共计有大小鱼池 42 个, 20 010 余 m^2 , 其中鱼类精养池

31 个, 6 670 m^2 。

3.2 野生亲鱼种源收集

2008 年 4 月至 2010 年 12 月, 中国科学院昆明动物研究所在进行李仙江流域鱼类增殖项目中, 先后对云南李仙江流域、文山西畴阳河, 广西十万大山、北仑河等进行的 25 次鱼类引种和生态生物学调查。

目前, 圈养的软鳍新光唇鱼保存有普洱江城和文山西畴两个种群, 2 500 余尾; 暗色唇鱼保存有普洱江城和红河弥勒两个种群, 400 余尾; 异鱧保存有广西十万大山南坡和北坡两个种群, 250 余尾; 越鳢保存有红河墨江和广西北仑河两个种群, 100 余尾。

3.3 主要研发技术内容

3.3.1 摄食生态 采用野外实地调查、室内食性分析和性腺分析等方法, 详细而准确地获取各种土著鱼类(尤其是异鱧、软鳍新光唇鱼、暗色唇鱼和越鳢等 4 种鱼类)的摄食生态习性和繁殖生态习性资料。以改良的悬浮式食性分析法研究鱼类胃肠道残留食物, 快速并准确地获取鱼类食谱构成。

3.3.2 驯养繁育 确定满足这些鱼类生长和繁殖所必需的人工饲养条件。实施模拟自然环境进行驯养; 筛选合适的饲料和驯养条件。判定鱼类性腺发育的程度、产卵时间, 结合野外资料, 进一步确定这些鱼类在自然状态下繁殖所需要的水温、水流、溶氧等重要繁殖生态资料。通过准确掌握其在自然状态下的繁殖条件, 采用结合优质亲鱼培育、激素催熟、激素催情等的先进人工繁殖技术, 实施繁殖异鱧、软鳍新光唇鱼、暗色唇鱼和越鳢等珍稀特有鱼类人工繁殖技术研究。

3.3.3 苗种饲养 详细分析阿墨江天然饵料, 并广泛采集野生鱼苗鱼种, 对其食性进行分析。在此基础上, 配制适用于人工培育鱼苗鱼种的饵料, 以使鱼苗鱼种顺利度过高死亡率时期, 达到适合放流规格的鱼种。

3.3.4 鱼病防治 相对于“四大家鱼”比较, 野生鱼类在池塘驯养过程中, 由于栖息环境的变化, 诱发其对外界的反应(例如: 声音、人的活动等)十分敏感; 驯化过程中的野生鱼类患细菌、真菌性和寄生虫疾病的风险增加, 常常使驯养种群遭受“灭顶之灾”。李仙江流域珍稀特有鱼类的主要疾病种类和发病规律都可能与普通的养殖鱼类不同, 需要在实际养殖过程中探索和寻找相应的治疗措施。

3.3.5 遗传管理 为了保证增殖放流成功率, 保持

种群遗传多样性的维持,通过野外调查采集野生亲鱼,及时补充人工繁殖亲鱼群体来避免种群衰退。此外,通过人工冷冻精液等方法,长期保持李仙江流域增殖的鱼类的遗传多样性。

3.3.6 人工放流 池塘的环境条件与李仙江流域各电站水库的环境存在一定差异。池塘养成的鱼苗鱼种在投放李仙江流域各电站水库前,需要进行适应性训练和试验。通过野化训练和试验,还需确定最佳的放流时间和放流地点。

3.3.7 种群监测 监测内容主要包括种群数量与遗传多样性变动两个方面,通过渔获物来调查评价各放流鱼类种群数量的变化,以及鱼类早期资源调查获得放流鱼类自然繁殖状况的有关信息,加上渔获物所获得的 DNA 材料,进行种群遗传结构与遗传多样性分析。具体研究包括分子标记的选择和筛选、自然种群的遗传多样性水平和遗传结构研究、人工增殖放流对种群遗传多样性的影响评价等方面的内容。

3.4 鱼类人工增殖实践

显然,依靠大量捕获天然亲鱼来繁殖和放流李仙江珍稀鱼类的鱼苗是不可靠和难以持久的措施。只有突破软鳍新光唇鱼、越鳢、暗色唇鱼和异鱧的人工繁殖技术,建立一定规模的人工繁育种群,大规模地生产适合放流的鱼苗,确实保护鱼类栖息地、提高鱼苗放流的存活率,才能达到有效保护软鳍新光唇鱼等物种,恢复其种群的目的。越鳢等鱼类需要的繁育条件较苛刻,其资源的保护和恢复将是一项耗资巨大和花费时间较长的一项系统工程。

3.4.1 基础资料的收集 鱼类的生活史,尤其是早期生活史比较复杂。在以往的调查往往忽视鱼类生活史的调查。许多鱼类生活史中尚未了解的关键问题,成为开展珍稀鱼类人工增殖放流的瓶颈。例如异鱧的繁殖时间、繁殖生物学、摄食生态学和早期行为生态学等资料均十分匮乏,导致人工驯化繁殖工作滞后。软鳍新光唇鱼的野外资料收集工作也是项目立项后才逐步展开的。经过数年的资料积累,目前已掌握软鳍新光唇鱼和暗色唇鱼的繁殖时间、雌性成熟时间、鱼卵性质、胚胎发育条件、仔稚鱼的食性及食性转化机制等方面的内容。调查前期,忽视软鳍新光唇鱼性比,加上亲鱼可供区分性别的外部特征少,很难断定适合繁殖的亲鱼性别,所以在人工繁殖实践中,可用于繁殖的雄鱼多,雌鱼少。基础资料缺乏,致使人工繁殖工作一度中断。

随着水利工程建设完成后,软鳍新光唇鱼、越鳢、暗色唇鱼和异鱧的生存和繁殖条件将有较大的改变。大坝一方面加剧了阻隔作用,阻断了坝上下鱼类的基因交流。另一方面,由于改变了库区的水文格局,坝上流速减缓,以软鳍新光唇鱼为代表等鱼类原有产卵场被彻底破坏,这些因素都直接或间接影响软鳍新光唇鱼的活动,特别是自然繁殖,其自然繁殖群体可能有进一步萎缩的趋势。这一点在调查中也有所验证,也直接加剧了野外调查和引种的难度。

3.4.2 亲鱼寻找与收集 如果圈养鱼类野生群体的数量较少,又缺乏周密的繁育计划,常常会导致人工增殖对象配子质量下降,进而影响人工繁殖的催产成功率、受精率和孵化率。需要人工增殖的鱼类主要是一些珍稀濒危的种类,它们的主要特点是分布区狭小、数量稀少;因此,在收集种质资源时十分困难,很难保证圈养种群满足人工增殖任务所需亲鱼的最低数量。例如异鱧在 2003 年 5 月至 2008 年 4 月对李仙江的鱼类资源进行 8 次调查中,仅采集到一尾。而在后续引种调查中,一尾也未采集到。历史上,越鳢是李仙江下游的主要渔获对象,但水库蓄水后,捕捞引种难度增大。

3.4.3 鱼病的控制问题 相对于“四大家鱼”比较,野生鱼类在池塘驯养过程中,由于栖息环境的变化,诱发其对外界的反应(例如:声音、人的活动等)十分敏感;驯化过程中的野生鱼类患细菌、真菌性和寄生虫疾病的风险增加,常常使圈养种群遭受“灭顶之灾”。珍稀特有鱼类的主要疾病种类和发病规律都可能与普通的养殖鱼类不同,需要在实际养殖过程中探索和寻找相应的治疗措施。在人工环境下,异鱧极易感染小瓜虫病,一经感染,往往全部个体死亡,给下一步的驯化和人工繁殖等工作带来不可挽回的损失。

3.4.4 驯养与人工繁殖 通过三年的技术攻关,越鳢和异鱧等鱼类适应池塘养殖。目前已成功突破软鳍新光唇鱼和暗色唇鱼的亲鱼培育、人工繁殖和鱼苗培育等关键性技术环节,但离规模化生产还有一定距离,仍有一些关键性的技术问题尚待解决。

4 讨论

4.1 鱼类资源保护措施比较

目前,在水电建设中对鱼类进行保护的主要措施有:建立土著鱼类资源自然保护区、重点保护鱼

类的人工增殖放流和过鱼的措施等方法。目前, 运用比较多的措施主要是重点保护鱼类的人工增殖放流, 而另两种措施国内鲜有研究报道。

自然保护区的建立, 保护了土著鱼类赖以生存的环境, 从而保存了丰富的土著鱼类物种。也可以通过工程措施对已被破坏的鱼类栖息地进行改造, 完全或部分恢复原有其生态系统功能, 也可以在其它区域选取宜保护物种生存环境较相似的水域(如支流)进行改造; 但再造或恢复的栖息地对那些鲑、鳟等仅在祖先产卵的地方产卵的鱼类是无用的, 而且费用较高, 存在效果不明显的风险 (Zhu, 2005)。在过去的三十年里, 欧洲和北美洲致力于恢复包括恢复鲑鱼产卵场在内的渔业健康(Brookes, 1996), 但是很多设计缺乏科学的设计, 往往收效甚微(Wheaton et al, 2004a)。基于生态学、水文地貌学和工程学原理建立起来的产卵场的综合恢复方法(spawning habitat integrated rehabilitation approach, SHIRA)很好地恢复了大鳞大马哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*) 的产卵场(Wheaton et al, 2004b; Merz et al, 2006)。不管鱼类自然保护区的效果如何, 但它的建立使得许多土著鱼类能在最后的庇护所里繁衍生息, 同时也为人工圈养种群提供必要的野外种群补充。

鱼类人工增殖放流是使鱼类种群得以恢复的方法。由于大坝的阻隔和随之形成的水库效应, 使得过去连续分布的居群被水坝分隔为多个相互隔离的小种群。部分鱼类丧失了全部或部分的生存空间。因此, 开展土著珍稀濒危鱼类的人工繁殖研究, 进行增殖放流是保存鱼类种质资源, 保持当地土著鱼类的物种多样性有效途径之一。由于增殖放流的效果建立在对拟增植物种生态习性具有一定研究的基础之上, 增殖放流技术研究需要数年, 甚至是数十年的探索, 因此, 增殖放流研究必须提前进行, 以确保这一保护措施与大坝工程进度相协调。在鱼苗放流的环境, 一般人工繁殖出苗种的繁殖成功率较自然种群低(Fleming & Gross, 1993), 而且人工增殖个体更具攻击性, 与自然增殖的群体之间存在激烈的生存竞争(Buhle et al, 2009), 可能会降低野外个体的生存的几率 (Nickelson, 1986)。即使是同一进化显著单元的小种群增殖的群体可能危害原本健康的野外种群, 圈养种群与野外种群相比, 圈养种群繁殖出的子代具有更低的杂合性和等位基因丰富度(Blanchet et al, 2008); 大量释放其繁殖出来

的鱼苗, 补充野外群体, 可能稀释野外群体的遗传多样性。而不是同一进化显著单元繁殖出来的个体, 存在“外来种”入侵, 混淆地理种群的界线。

一座完善的过鱼设施必须以拟通过设施鱼类的行为学、游泳能力、水利学和生态流量管理为设计依据(Katopodis, 2005; Novak et al, 2007)。该类方法的应用还受可供利用的资金, 公众的态度及水电等部门的努力影响(Helfman, 2007)。而且, 鱼道的设计非常复杂, 实际使用的效果很难进行评价。过鱼效果的研究主要集中在鲑形目 (Salmoniformes), 60%以上研究主要集中在成鱼通过鱼道的效果, 且大多仅集中在生活时的某一阶段(Roscoe & Hinch, 2010)。国内大多在论述如何减少水电建设对鱼类影响的措施上, 提到水电项目相应建设过鱼设施, 但很少涉及过鱼效果方面的讨论(Huang, 2006; Han et al, 2009)。

4.2 增殖保护对象的确立

目前, 我国多数鱼类的人工增殖工作还处于比较无序状态, 急需出台一部类似美国 1973 年出台的《联邦濒危动物保护法案》保护处于灭绝危险的物种, 科学指导和规范列入名录的濒危动物恢复计划的实施, 使实施物种恢复计划有法可依。我国目前考虑流域增殖保护对象时大多以 1989 年颁布的《中华人民共和国野生动物保护法》(Yue & Chen, 1998)、《中国濒危动物红皮书·鱼类》(Yue & Chen, 1998)和《中国物种红色名录·第一卷》(Wang & Xie, 2004)等所列的名录进行参考, 并结合流域内具有经济、科研和开发价值的种类来确定需要增殖保护的對象, 保护对象的确立, 基于历史状况较多, 而历史资料与现状差异大, 且增殖对象的生态、生物学资料十分欠缺, 对流域增殖任务的开展不具参考性; 由此由此确立的增殖保护对象名录操作性差。因此, 有必要在项目初期进行详尽的增殖保护对象的生态专项调查, 以确立合理的增殖保护对象。

4.3 实施方案与技术措施的重要性

鱼类增殖实施方案包括硬件和软件两个部分, 硬件包括能持续养殖足够亲鱼、生产足够数量苗种的鱼池和配套设施的鱼类增殖站; 软件部分包括拟保护鱼类的繁殖生物学和人工繁殖技术研究及其相应的技术准备。软件和硬件两部分是相互依赖、共同配合才能真正发挥增殖保护作用。而软件部分所涵盖的鱼类繁殖生物学、人工繁殖技术及相应的技术储备是鱼类增殖保护的基础, 并最终影响硬件

部分中的鱼池、水流和养殖密度设计。

多数鱼类人工繁育计划的目标是降低鱼类一个或多个生活史阶段的死亡率,尽可能多得获得鱼苗。如何长期保证圈养种群始终与自然种群是进化显著单元是人工繁育计划成功与否的关键。当自然种群数量很少时,人工繁育计划能够满足野外种群数量的增加,从而缓解濒危种群即将发生的灭绝危险(McClure et al, 2008)。圈养环境与野外环境是很不一致的,由于自然选择的作用,圈养环境所支持的遗传变量也将与野外环境所支持的很不一致(Vrijenhoek, 1998; Gustafson et al, 2007; Frankham, 2008)。以能够在野外建立一个长期自我维持的种群为标准评价了2000年以前12种主要的国际科学杂志报道的180例迁地保育案例,其中成功的案例仅有26%,而且研究结果认为这种成功率并没有提高的趋势(Fischer & Lindermayer, 2000)。圈养繁殖大多是短期的繁育计划,仅仅一代。从长远看,圈养繁殖并不适合多数鱼类的种群恢复,但可作为防止鱼类野外种群灭绝的最后的庇护地。因此,如何建立准确的评定人工增殖鱼类的品质的体系,例如健康、遗传多样性,以提高迁地保护与放流成功的概率。放流后如何评价重新引入计划的实施效果,这些均是鱼类增殖任务所要面临的风险。因此,水电开发规划批准后及时进行流域内珍稀特有鱼类繁殖育苗放流项目的委托,委托专业单位开展研究,提前介入,保护措施的效果才有保障。

4.4 李仙江保护模式的思考

4.4.1 提前规划,提前委托 目前,鱼类人工增殖项目往往滞后于水电开发。人工增殖任务往往在水电项目完工后才开始进行规划和委托,这时河流水文条件发生了根本性改变,使得鱼类种类和数量发生了改变,增加引种难度。人工增殖需要一个较长时期的研发,如能在项目环评或项目规划一起开展,

可以避免重复开展野外调查,摸清流域鱼类资源现状,为人工增殖提供科学的理论指导和技术保障。

4.4.2 增殖技术研究先行 电站建设的同时就应有相关的鱼类增殖保护措施的实施。鱼类增殖放流过程复杂,主要有亲鱼的采集、野外生态学调查、基本生物学特性研究、人工繁殖、放流技术以及放流后的监测等。这此工作都应由专门的具有专业研究人员的研究机构完成。部分水电站根据实际情况,建设有鱼类增殖站,由于缺乏专业技术人员,往往不能很好地运作。建议对新建成的增殖站进行委托管理。

4.4.3 资源保护与当地经济发展相结合 从长远展望,一个成功的增殖放流项目不仅仅能够形成成熟的技术确保物种的生存,还可以往产业化方向发展,从而带动当地经济的发展。土著特有鱼类(如软鳍新光唇鱼、越鳢、暗色唇鱼、红鲃和越鳢等)的经济价值数倍于外地引入的罗非鱼等鱼类,而随着土著鱼类资源的进一步匮乏,其价值亦会进一步攀升。因此,开展土著特有鱼类人工繁殖和产业化前期生产研究,有助于促进云南省的水产养殖业从以引进种为主向以土著种为主的方向转变,品种的独特性将使产品具有不可替代性,从而获取市场竞争优势,能为养殖者带来很好的经济效益。另外,繁殖成功的土著特有鱼苗将投放到流域内的适合水域,增加鱼类存量,提高捕鱼者经济收入。

总之,李仙江水电开发与鱼类增殖保护模式,充分调动了各成员单位的工作积极性,这种模式的成功是多单位合作的结果,其成功之处主要表现在以下几方面:减少成本,节约资金,不用重复建设鱼类增殖站;团结协作,多方受益;既能进行科学研究,又能产生实际应用价值,使科学研究服务于社会;保护效果明显,可以直接增加重点保护鱼类的种群数量,可操作性强。

参考文献:

- Anders PJ. 1998. Conservation aquaculture and endangered species: can objective science prevail over risk anxiety?[J]. *Fisheries*, **23**(11): 28-31.
- Blanchet S, Pa'ez DJ, Bernatchez L, Dodson JJ. 2008. An integrated comparison of captive-bred and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*): Implications for supportive breeding programs[J]. *Biol Conserv*, **141**(8): 1989-1999.
- Brookes A. 1996. River Restoration Experience in Northern Europe[M]// Brookes A, Shields FD. River Channel Restoration: Guiding Principles for Sustainable Projects. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 75-101.
- Buhle ER, Holsman KK, Scheuerell MD, Albaugh A. 2009. Using an unplanned experiment to evaluate the effects of hatcheries and environmental variation on threatened populations of wild salmon[J]. *Biol Conserv*, **142**(11): 2449-2455.
- Chen LZ, Ma KP. 2001. Biodiversity of Science: Principle and Practice[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. [陈灵芝, 马克平. 2001. 生物多样性科学[M]: 原理与实践. 上海: 上海科学技术出版社.]
- Crandall KA, Bininda-Emonds ORP, Mace GM, Wayne RK. 2000. Considering evolutionary processes in conservation biology: An

- alternative to "evolutionarily significant units" [J]. *Trends Ecol Evol*, **15**(7): 290-295.
- Chu XL, Chen YR. 1989. The Fishes of Yunnan, China; Part 1[M]. Beijing: Science Press, 28-29, 181-183, 241-243. [褚新洛, 陈银瑞. 1989. 云南鱼类志: 上册. 北京: 科学出版社. 28-29, 181-183, 241-243.]
- Chu XL, Chen YR. 1990. The Fishes of Yunnan, China; Part 2[M]. Beijing: Science Press, 165-166. [褚新洛, 陈银瑞. 1990. 云南鱼类志: 下册. 北京: 科学出版社. 165-166.]
- Department of Water Resources and Hydroelectric of Yunnan Province. 1998. Water Resources of Yunnan[M]. Kunming: Yunnan People's Publishing House. [云南省水利水电厅. 1998. 云南省志水利志. 昆明: 云南人民出版社.]
- Fischer J, Lindenmayer DB. 2000. An assessment of the published results of animal relocations[J]. *Biol Conserv*, **96**(1): 1-11.
- Fleming IA, Gross MR. 1993. Breeding success of hatchery and wild coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in competition[J]. *Ecol Appl*, **3**(2): 230-245.
- Franklin IR. 1980. Evolutionary change in small populations[M]//Soule ME, Wilcox BA. Conservation Biology: An Evolutionary-ecological Perspective. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 135-149.
- Frankham R. 2008. Genetic adaptation to captivity in species conservation programs[J]. *Mol Ecol*, **17**(1): 325-333.
- Gustafson RG, Waples RS, Myers JM, Weitkamp LA, Bryant GJ, Johnson OW, Hard JJ. 2007. Pacific salmon extinctions: Quantifying lost and remaining diversity[J]. *Conserv Biol*, **21**(4): 1009-1020.
- Han JC, Liu GY, Zhuge YS, Huang YP, Liu DF. 2009. Ecological protection of fishery resources based on development of hydropower in Yalona river[J]. *J Chn Three Gorges Univ.*, **31**(5): 15-19. [韩京成, 刘国勇, 诸葛亦斯, 黄应平, 刘德富. 2009. 水电开发背景下雅砻江鱼类资源的生态保护. 三峡大学学报, **31**(5): 15-19.]
- Hard JJ, Jones RP, Delarm MR, Waples RS. 1992. Pacific Salmon and Artificial Propagation Under the Endangered Species Act[M]. Seattle: NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-2, 1-40.
- Hebdon JL, Kline PA, Taki D, Flagg TA. 2004. Evaluating Reintroduction Strategies for Redfish Lake Sockeye Salmon Captive Broodstock Progeny[C]// Nickum M, Mazik P, Nickum J, MacKinley D. Propagated Fish in Resource Management. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, Symposium 44, 401-413.
- Helfman GS. 2007. Fish Conservation: A Guide to Understanding and Restoring Global Aquatic Biodiversity and Fishery Resources [M]. Washington: Island Press, 130-154.
- Huang L. 2006. Impacts of hydraulic works on fish biodiversity in the Yangtze river valley and counter measures[J]. *J Lake Sci*, **18**(5): 553-556. [黄亮. 2006. 水工程建设对长江流域鱼类生物多样性的影响及其对策. 湖泊科学, **18**(5): 553-556.]
- Huang L, Wei G. 2002. A preliminary study of the reproduction of *Pseudobagrus nitidus* [J]. *J Southwest Agric Univ*, **24**(1): 54-56. [黄林, 魏刚. 2002. 光泽黄颡鱼繁殖的初步研究. 西南农业大学学报, **24**(1): 54-56.]
- Katopodis C. 2005. Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works[J]. *J Hydraulic Res*, **43**(5): 451-467.
- Li SF. 2001. A Study on Biodiversity and its Conservation of Major Fishes in the Yangtze river [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1-170. [李思发. 2001. 长江重要鱼类生物多样性和保护研究. 上海: 上海科学技术出版社, 1-170.]
- Liu JY, Wei QW, Chen XH, Yang DG, Du H, Zhu YJ, Zheng WD, Gan F. 2007. Reproductive biology and artificial propagation of *Acipenser sinensis* below gezhouba dam [J]. *Chn J Appl Ecol*, **18**(6): 1397-1402. [刘鉴毅, 危起伟, 陈细华, 杨德国, 杜浩, 朱永久, 郑卫东, 甘芳. 2007. 葛州坝下游江段中华鲟繁殖生物学特征及其人工繁殖效果. 应用生态学报, **18**(6): 1397-1402.]
- Ma HQ. 2003. States, prospect and suggestion of hydro-power development in Yunnan[J]. *Yunnan Electr Power*, (11): 7-9. [马洪琪. 2003. 云南水电开发现状前景及建议. 云南电力, (11): 7-9.]
- Merz JE, Pasternack GB, Wheaton JM. 2006. Sediment budget for salmonid spawning habitat rehabilitation in a regulated river[J]. *Geomorphology*, **76**: (1) 207-228.
- McClure MM, Utter FM, Baldwin C, Carmichael RW, Hassemer PF, Howell PJ, Spruell P, Cooney TD, Schaller HA, Petrosky CE. 2008. Evolutionary effects of alternative artificial propagation programs: implications for viability of endangered anadromous salmonids[J]. *Evol Appl*, **1**(2): 356-375.
- Mijkherjee M, Prahara A, Das Shamik. 2002. Conservation of endangered fish stocks through artificial propagation and larval rearing technique in west Bengal, India [J]. *Aquac Asia*, **7**(2): 8-11.
- National Marine Fisheries Service. 2010. Public Draft Recovery Plan for Central California Coast coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) Evolutionarily Significant Unit[R]. California: National Marine Fisheries Service, Southwest Region, Santa Rosa.
- Nickelson TE. 1986. Influences of upwelling, ocean temperature, and smolt abundance on marine survival of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in the Oregon production area[J]. *Can Fish Aquat Sci*, **43**(3): 527-535.
- Novak P, Moffat AIB, Nalluri C, Narayanan R. 2007. Hydraulic structures[M]. London: Taylor & Francis Group, 1-700.
- Roscoe DW, Hinch SG. 2010. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions[J]. *Fish Fish*, **11**(1): 12-33.
- Ruo M, Wang HT, Yin QY, Fan XW, He X, Tang EZ, Duan CJ. 2001. Studied on artificial propagation of *Schizothorax prenanti* [J]. *Freshwat Fish*, **31**(6): 3-5. [若木, 王鸿泰, 殷启云, 范兴旺, 何曦, 唐恩柱, 段才军. 2001. 齐口裂腹鱼人工繁殖的研究. 淡水渔业, **31**(6): 3-5.]
- Vrijenhoek RC. 1998. Conservation genetics of freshwater fish[J]. *J Fish Biol*, **53**(Supp. A): 394-412.
- Wan SL, Qiu JT, Liu XG. 2002. Preliminary study on artificial propagation and larvae cultivation of *Myxocyprinus asiaticus* [J]. *Reserve Fish*, **22**(2): 1-3. [万松良, 裘家田, 刘兴国. 2002. 胭脂鱼人工繁殖和鱼苗培育的初步研究. 水利渔业, **22**(2): 1-3.]
- Wang S, Xie Y. 2004. China Species Red List; Vol. 1 [M]. Beijing: Higher Education Press. [汪松, 解焱. 2004. 中国物种红色名录: 第一卷. 北京: 高等教育出版社.]
- Wheaton JM, Pasternack GB, Merz JE. 2004a. Spawning habitat rehabilitation — I. Conceptual approach and methods[J]. *JRBM*, **2**(1): 3-20.
- Wheaton JM, Pasternack GB, MERZ JE. 2004b. Spawning habitat rehabilitation — II. Using hypothesis development and testing in design, Mokelumne River, California, U.S.A.[J]. *JRBM*, **2**(1): 21-37.
- Yang J, Pan XF, Chen XY, Yang JX. 2010. Status and conservation strategy of fish resources in Lixianjiang River[J]. *J Hydroecol*, **3**(2): 54-60. [杨剑, 潘晓斌, 陈小勇, 杨君兴. 2010. 李仙江鱼类资源的现状与保护对策. 水生态学杂志, **3**(2): 54-60.]
- Yang JX, Pan XF, Li ZY. 2007. Preliminary report on the successful breeding of the endangered fish *Sinocyclocheilus grahami* endemic to Dianchi lake [J]. *Zool Res*, **28**(3): 329-331. [杨君兴, 潘晓斌, 李再云. 2007. 云南滇池濒危特有种滇池金线鲃人工繁殖初报. 动物学研究, **28**(3): 329-331.]
- Yue PQ, Chen YY. 1998. China Red Data Book of Endangered Animals: Pisces [M]. Beijing: Science Press, 104-106. [乐佩琦, 陈宜瑜. 1998. 中国濒危动物红皮书(鱼类卷) [M]. 北京: 科学出版社, 104-106.]
- Zhong YG, Power G. 1996. Environmental impacts of hydroelectric projects on fish resources in China[J]. *Regul Rive: Res Manage*, **12**(1): 81-98.
- Zhu Y. 2005. Commentary on dam influence on fish habitat and evaluation on assessment method[J]. *J Chn Inst Water Resour Hydr Res*, **3**(2): 100-103. [朱瑶. 2005. 大坝对鱼类栖息地的影响及评价方法述评. 中国水利水电科学研究院学报, **3**(2): 100-103.]