

嘉陵江渠化对主要经济鱼类产卵场的影响

田佳佳¹, 冯兴无², 蒲德永¹, 刘 玥¹, 解崇友¹, 蔡瑞钰¹, 王亚利¹, 黄 静¹, 王志坚¹

(1. 西南大学生命科学学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 水产科学重庆市重点实验室, 重庆 400715;

2. 西南大学水产学院, 重庆 400715)

摘要: 为探究嘉陵江渠化对主要经济鱼类产卵场的影响, 2019年3-4月, 采用历史资料搜集、访问调查和实地勘察的方法, 并结合DNA条形码技术鉴定野外采集的鱼类样品。结果显示, 原有60个主要经济鱼类产卵场中, 41个已经消失, 14个存在但已经发生改变, 只有5个基本未改变; 从产卵场数量、类型和规模来看, 均呈减少趋势, 仍存在的主要为鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)产卵场。共鉴定鱼卵1362粒、鱼苗539尾, 隶属2目2科12种。鱼卵仅3种, 其中, 鲤1039粒, 占比76.28%; 鲫312粒, 占比22.91%; 红鳍原鲃(*Cultrichthys erythropterus*)11粒, 占比0.81%。鱼苗11种, 包括鲤、鲫、马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、峨眉鲮(*Acheilognathus omeiensis*)、大鳍鲮(*Acheilognathus macropterus*)、兴凯鲮(*Acheilognathus chankaensis*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、短须颌须鲃(*Gnathopogon imberbis*)、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、粘皮鲃虎鱼(*Mugilogobius myxodermus*); 其中, 兴凯鲮最多, 有372尾, 占比69.02%; 其次为鲫59尾, 占比10.95%; 鲤57尾, 占比10.58%; 其他占比仅9.46%。研究表明, 产卵场的改变主要集中在水文情势、河床底质和水生植物等方面, 梯级水电站开发和采砂作业导致河道变宽、水位上升、流速降低、卵石漫滩等生境消失、水生植物生物量减少, 是原有产卵场消失或改变的主要原因。

关键词: 嘉陵江; 渠化工程; 经济鱼类; 产卵场

中图分类号: X835 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2022)03-0009-09

嘉陵江源自陕西省秦岭山麓, 系长江水系中流域面积最大的支流, 流域面积约16万km², 流经陕西省、甘肃省、四川省和重庆市, 于重庆朝天门与长江汇合, 全长1119km; 流域内地形复杂多变, 依据地貌特征分为上、中、下3段。从上游到下游, 嘉陵江大小支流众多, 形成了复杂多样的流域生境, 丰富的饵料生物为多种水生生物提供了良好的生存环境, 特别是种类繁多的鱼类(何学福和邓其祥, 1979; 四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组, 1980; 曾燊等, 2014)。

嘉陵江干流自20世纪末开始了大规模的水利工程建设, 截至2016年底, 中下游已经建成15级梯级水利枢纽工程, 利泽枢纽目前在建。16级电站全部建成蓄水后, 库区回水长度将达到638.1km, 其中亭子口和草街的回水分别达到126.6km和83.5km, 仅凤仪和东西关保留约21.7km的天然河道(刘扬扬等, 2014)。梯级水库蓄水后水位上升, 将导致干流

较长河段周边环境被大面积淹没, 水域自然形态、径流量、水位和流速变化, 必然导致嘉陵江鱼类原有的自然生存环境发生巨变。

鱼类早期资源调查是以早期生活史阶段的鱼卵、仔鱼为研究对象, 不仅可以对鱼类繁殖群体进行估量, 还可对其种群数量变动进行预测, 对渔业资源的合理开发与利用具有重要意义(曹文宣等, 2007)。产卵场是鱼类繁殖的基础条件, 其水生环境的优劣直接决定鱼类繁殖效果, 产卵场自然成为鱼类早期资源调查的重点。了解产卵场的繁殖规模、繁殖群体数量和种类组成及水文条件, 能有效估算并预测鱼类早期资源的年补充量, 为鱼类资源保护提供参考。

四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组(1980)曾对嘉陵江主要经济鱼类越冬场、产卵场、索饵场开展过一次全面摸底调查。此后40多年来, 仅对嘉陵江河口-合川段的鱼类产卵场有过一些局部调查(何滔等, 2016; 李天才等, 2019); 对嘉陵江主要经济鱼类产卵场没有进行全面调查。嘉陵江干流实现高度梯级水利工程开发后, 其水生生境较20世纪80年代有很大变化, 对水生生物特别是对鱼类的影响较大, 但未见相关的调查与评价。为了解嘉陵江渠化对主要经济鱼类早期资源的影响, 开展了鱼类产卵场的现状调查, 可为今后嘉陵江水系鱼类资源的合理利用和鱼类增殖保护提供基础资料。

收稿日期: 2020-11-05 修回日期: 2022-04-06

基金项目: 农业部财政专项-长江渔业资源与环境调查(CJDC-2017-12)。

作者简介: 田佳佳, 1995年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类早期资源。E-mail: Tianjj1995@163.com

通信作者: 王志坚, 1969年生, 男, 教授, 主要从事资源动物学教研工作。E-mail: wangzj1969@126.com

1 材料与方法

1.1 调查时间和区域

2019年3~4月,对嘉陵江水系原有主要经济鱼类产卵场开展25 d的连续调查。根据资料记载、实地勘察和访问调查(四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组,1980),本次调查产卵场的数量为60个,其中干流43个,东河15个,西河2个。

1.2 调查方法

对鱼类产卵场调查分为4个步骤:第一,依据文献资料结合访问确定产卵场位置;第二,实地勘察,记录产卵场现状的相关信息,并采集鱼卵和鱼苗;第三,根据调查资料初步判定产卵场现状,现状分为消失、存在但改变和存在且基本未改变3种,并拍摄生境照;第四,室内鉴定鱼卵和鱼苗标本,整理、修正资料并得出结论。产卵场功能现状判定标准是对比产卵场今昔环境变化、河床底质和水文条件,参照鱼类繁殖习性,最终确定产卵场是否仍具备相应功能。

产卵场调查参照《内陆水域渔业自然资源调查手册》(张觉民和何志辉,1991)进行,查明产卵场环境现状并测定基本水质指标。用经纬度标定产卵场位置,并测定水温、流速、溶解氧、pH、氨氮含量、透明度,观察河床底质、水生植物生长情况等;使用哈希便携式溶解氧测定仪(型号:HQ40d)、南京卓玛便携式流速测算仪(型号:LS300-A)、中国台湾衡欣高精度手持式pH测试笔(型号:AZ8601)、上海海争电子科技有限公司便携式氨氮检测仪(型号:AD-100)、塞氏盘测定相应指标。采集黏附在产卵场水生植株上的鱼卵,手抄网捕捞周边鱼苗,用镊子将鱼卵或鱼苗置于离心管中,编号后加无水乙醇固定,室内进行定性分析。

1.3 种类鉴定

参照李洋(2016)的方法提取样品总DNA。使用通用引物(引物编号及序列为 *cytb*L14724: 5'-GACTTGAAAAACACCGTTG-3'、*cytb*H15915: 5'-CTCCGATCTCCGGATTACAAGAC-3')扩增样品 *mt* DNA 的 *cyt b* (细胞色素b) 基因,扩增目的片段长度为1 140 bp(郭新红等,2004;王绪祯等,2016)。PCR扩增目的基因,将质量合格的未纯化PCR产物送出测序;将测序结果上传至NCBI(National Center for Biotechnology Information)数据库中进行序列比对以鉴定种类。

1.4 数据处理

使用Excel 2010对相关数据进行统计分析。

2 结果

2.1 产卵场水文指标

调查期间,干流产卵场透明度在60~300 cm,河宽110~1 900 m,平均618 m,龙爪滩濠、毛子滩、西河口、搬罾溪濠、小龙门滩河宽均在1 000 m以上;除北碚乌木浩、毛背沱、三圣庙-水土沱的流速较快外,其他产卵场近乎静水;水温13.7~29.5℃;溶解氧7.04~13.88 mg/L;氨氮含量0.27~3.18 mg/L,其中含量在1.00 mg/L以上的有乌木濠、大坭溪、搬罾溪濠等5个产卵场,其余产卵场均在1.00 mg/L以下;pH值7.0~8.5,pH值在8.0以上的产卵场有江口、鸳溪、塔山湾等15个,其中鸳溪和东津沱较高。

东河、西河产卵场透明度在50~400 cm,苟滩、倒梨子滩下口和青岩子透明度在200 cm以上,其余样点的透明度均在100 cm以下;河宽103~290 m,朱角庙、康溪滩、油房滩等6个产卵场河宽在200 m以上;流速0.01~0.30 m/s,近乎静水;水温14.8~24.7℃;溶解氧7.50~10.68 mg/L;氨氮含量0.35~1.23 mg/L;pH为7.0~8.1。

2.2 鱼卵与鱼苗鉴定

通过分子生物学方法共鉴定鱼卵1 362粒、鱼苗539尾,隶属2目2科12种。鱼卵的种类有鲤、鲫、红鳍原鲃;其中,鲤1 039粒,鲫312粒,红鳍原鲃11粒。鱼卵以鲤、鲫居多,特别是鲤,占比达76.28%。鱼苗有鲤、鲫、马口鱼、麦穗鱼、峨眉鲃、大鳍鲃、兴凯鲃、鳡、短须颌须鲷、子陵吻虾虎鱼、粘皮鲃虾虎鱼共11种;其中,兴凯鲃最多,有372尾,占69.02%;其次为鲫59尾,占10.95%;鲤57尾,占10.58%;其他种类占比仅9.46%。

2.3 产卵场现存情况

2.3.1 原有产卵场现状 调查的60个产卵场中,已消失的产卵场有41个,存在但改变的产卵场14个,存在且基本未改变的产卵场仅5个。产卵场的分布位置及其与嘉陵江流域各水电站或水库的相对位置见图1。

2.3.2 产卵场变化 本次调查结果见表1。影响产卵场功能的因素主要有水电站修建、沿江岸线开发、河道采砂作业等。从现场生境来看,电站建设后,河道渠化使水位上升、流速减缓,岸线开发、大量采砂作业也使得河道形态发生巨变。通过比较发现,文献中所描述适合鱼类繁殖的多元化水生生态环境已大量消失,仅剩几个产卵场能较好地维持原有功能。

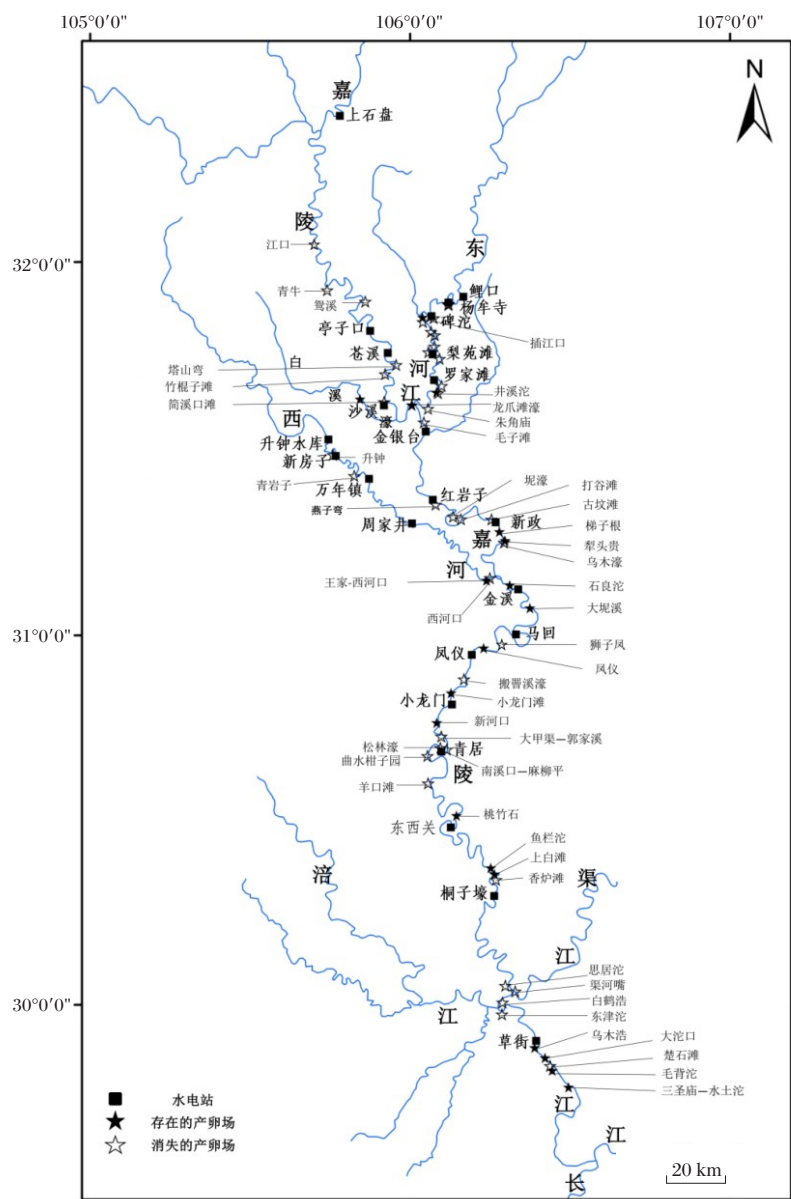


图1 嘉陵江干流、东河、西河原有主要经济鱼类产卵场现状及水电站分布

Fig.1 Current status of the original spawning grounds of major commercial fish species and the distribution of hydropower stations on the stem of Jialing River, Donghe River and Xihe River

江口、青牛、鸳溪3个产卵场位于嘉陵江干流大型水利枢纽亭子口回水区,被完全淹没,不复存在;简溪口滩、西河口、狮子凤等10个产卵场,因位于电站库区,产卵场的卵石漫滩、流水、内濠等利于鱼类繁殖的环境消失,致使其生态功能随之丧失;燕子弯、梯子根、松林濠、楚石滩位于电站的库尾段,河道环境变化大,且受人为调度水体干扰较强;龙爪滩濠、白溪濠、乌木濠、大沱口、毛背沱的环境条件基本不变,产卵场功能良好;梯子根、乌木濠、西河口-王家场等7个产卵场规模缩小,功能退化;石梁沱仍适于鲤、鲫等静水草上产粘性卵的鱼类繁殖,而适于喜流水滩上产粘性卵的鲴类产卵繁殖面积缩小。小龙门滩的卵石河床上

淤泥沉积,水生植物茂密,是产粘性卵鱼类较好的繁殖场所;鱼栏沱水生植物茂密,除鲤外,鲫也在此产卵繁殖,产卵场功能加强;上白滩原有的卵石漫滩消失,水草茂密,产卵场功能发生改变。

閬中段毛子滩已变成人工养殖区,与江水的连通性几乎完全被阻断,不再具备天然产卵场的功能;合川段东津沱受沿江岸线开发的人为干扰较强,右岸沿线被全部修整,河岸地貌变化较大,导致产卵场功能丧失。受挖砂采石影响的产卵场包括塔山弯、竹棍子滩、打谷滩等,采砂船作业严重破坏河道的河床形态,导致鱼类产卵场面积逐渐缩小或甚至彻底消失。

干流产卵场的河床底质有卵石、泥沙和卵石夹沙 3 种。其中,燕子弯、曲水-柑子园、上白滩等 4 个产卵场的河床底质为卵石;江口、青牛、鸳溪等 17 个产卵场的河床底质为泥沙;塔山弯、竹棍子滩、简溪口滩等 22

个产卵场的河床底质为卵石夹沙。水生植物主要有菹草、喜旱莲子草、篦齿眼子菜,在各产卵场分布较广泛,这些水生植物是静水草上产粘性卵鱼类的良好附卵基质,也是仔稚鱼生长和育肥的优质场所。

表 1 嘉陵江干流、东河、西河原有主要经济鱼类产卵场及现状

Tab.1 Current status of the original spawning grounds of major commercial fish species in the stem of Jialing River, the Donghe River and the Xihe River

序号	产卵场	1980 年 原有种类	现状(1980 年原状)	河床 底质	水生 植物	主要 种类	调查 结果	现有 种类
1	江口	鲤、鲫、鲢	库区,被完全淹没(无)	泥沙	无	无	消失	-
2	青牛	鲤、鲫、鲢	库区,被完全淹没(无)	泥沙	无	无	消失	-
3	鸳溪	鲮、鮠	库区,被完全淹没(无)	泥沙	无	无	消失	-
4	塔山弯	鲤、鲢、鲮	江面变宽,有采砂船作业(鲤产卵在龙埂内,鲢、鲮在龙埂外卵石滩产卵)	卵石夹沙	无	无	消失	-
5	竹棍子滩	鲢、鲮	所在江段有 3 个采砂厂(卵石底质流水滩,水流较急,产卵靠龙干侧)	卵石夹沙	无	无	消失	-
6	简溪口滩	无	库区,原有产卵场基本被淹没(无)	卵石夹沙	无	无	消失	-
7	龙爪滩濠	鲤	库区(位龙爪滩顺水龙埂内濠,水深 2~10 m,卵石底,静水,无水生植物,多丝藻)	泥沙	一般	菹草、喜旱莲子草	存在且未改变	-
8	毛子滩	鲤、鲢、鮠、鲮	内濠已成养殖场(卵石滩,滩长水急,右侧龙埂内为鲤产卵场,规模渐小)	卵石夹沙	稀疏	喜旱莲子草、水蓼、篦齿眼子菜	消失	-
9	白溪濠	鲤	库尾(长 20 km,沙泥底河口内濠,水生植物较多)	泥沙	茂密	喜旱莲子草、菹草	存在且未改变	鲤、鲫
10	燕子弯	鲤	库尾,已无龙埂,变化较大(县城外码头龙埂内,卵石夹砂底,渐沉淤泥)	卵石	无	无	消失	-
11	坭濠	鲤、鲢、鲮	石板滩已消失(坭濠位于石板滩上,弯沱内为鲤产卵场,沱外滩上为卵石,鲮产卵地)	卵石夹沙	无	无	消失	-
12	打谷滩	鲤、鲢、鲮、鮠	变为采砂厂(无)	卵石夹沙	无	无	消失	-
13	梯子根	鲤、鲢	水草大量减少(新政场上游顺水龙干形成内濠,濠内鲤产卵场,浩浩龙干侧细卵石龙埂漏流水处为鲢产卵场)	卵石夹沙	稀疏	喜旱莲子草	存在但改变	鲤、鲫
14	犁头贵	鲤	下游 100 m 处有采砂厂,河道变化巨大(龙埂内濠型)	卵石夹沙	无	无	消失	-
15	乌木濠	鲤	产卵场面积变小,已无内濠(龙干内濠,靠新政侧,濠内有较多水草)	卵石夹沙	稀疏	喜旱莲子草、水绵	存在但改变	-
16	古坟滩	鲢、鲮	变为采砂厂(无)	卵石夹沙	无	无	消失	-
17	西河口-王家场	鲤	产卵场规模变小,该河段有 3 个采砂厂(无)	泥沙	稀疏	喜旱莲子草、菹草、水葫芦	存在但改变	鲤
18	西河口	鲢、鲮、鮠	深沱,不再是卵石漫滩(卵石漫滩)	卵石夹沙	茂密	菹草	消失	鲤、鲫
19	石良沱	鲤、鲮	鲤、鲫居多,鲮产卵场消失(沱内沙泥岸侧为鲤产卵场,枯水期趋于静水)	泥沙	茂密	喜旱莲子草、香蒲	存在但改变	鲤、鲫
20	大坭溪	鲤、鲢	水生植物稀疏,鲤产卵场缩小,鲢产卵场消失(靠主流为卵石滩,西侧为倒濠,生长少数植物,岩岸侧多水网藻类)	泥沙	稀疏	菹草	存在但改变	鲤、鲫
21	狮子凤	鲢、鲮	库区,水位上升,不再是卵石漫滩(卵石漫滩形成浅流水,浩为鲮产卵场,漫滩主流侧为河鲢产卵处)	卵石夹沙	无	无	消失	-
22	凤仪	鲤、鲢、鲮	水草大量减少,鲤在此产卵,鲢、鲮产卵场消失(靠公社侧内濠为鲤,濠外卵石流水滩为鲢、鲮产场)	泥沙	一般	喜旱莲子草、菹草、水葫芦	存在但改变	鲤、鲫

续表 1

23	搬罾溪濠	鲤、鲢、鮑	有采砂厂,搬罾溪汇入处有零星水草(鲤、土鲮产卵场,冲刷形成内浩,上有搬罾溪注入为鮑类)	泥沙	稀疏	喜旱莲子草、水蓼	消失	鲤、鲫
24	小龙门滩	鲢	卵石漫滩基本消失,右岸水草茂密,有荆溪汇入(卵石漫滩靠河心,龙埂两侧为鲢产场)	卵石夹沙	茂盛	菹草、篦齿眼子菜	存在但改变	鲤、鲫
25	新河口	鲤、鲢	库尾,水草一般(原旧河道内静水区,水草多,沙坭底质,水质肥,饵料丰富)	泥沙	一般	菹草	存在但改变	鲤、鲫
26	大甲渠-郭家溪	鲤、鲢	库尾,基本被淹没(均为龙埂内浩,岸边生长水草金鱼藻、狐狸藻以及水网藻、水绵)	卵石夹沙	无	无	消失	-
27	南溪口-麻柳平	鲢	库尾,被淹没(位主流上,河心有细卵石丘,余为卵石漫滩,流态紊乱)	卵石夹沙	无	无	消失	-
28	松林濠	鲢	库区,被淹没(位安乐坝外旧河道改治后形成濠,下口与主流相通,沙泥底)	卵石夹沙	无	无	消失	-
29	曲水-柑子园	鲢	卵石漫滩,水流缓,有采砂厂,河道环境变化大(两岸为卵石漫滩,北岸细卵石、缓流,下为青居下码头)	卵石	无	无	消失	-
30	羊口滩	鲢	滩消失成沱,有大量采砂作业(两岸为卵石漫滩)	卵石夹沙	无	无	消失	-
31	桃竹石	鲤、鲢	内濠淹没,鲤产卵场面积减小,水草面积小(卵石漫滩河心是鲢产卵处,龙埂内为鲤产卵场)	泥沙	稀疏	喜旱莲子草、菹草	存在但改变	鲤、鲫
32	鱼栏沱	鲤	水生植物茂密,鲫在此产卵(沙坭底,有水生植物、水网藻等)	泥沙	茂密	菹草、水蓼、篦齿眼子菜	存在但改变	鲤、鲫
33	上白滩	鲢	下游 500 m 有支流汇入,水草茂密,离岸约 3 m,长约 1100 m,适合鲢产卵场的滩面积减小(卵石漫滩)	卵石	茂密	苦草、菹草、水绵、莎草	存在但改变	鲤、鲫
34	香炉滩	鲢	库区(无)	卵石夹沙	无	无	消失	-
35	思居沱	鲤	现为思居码头,有采砂船作业(位于思居公社侧,主流为卵石,沱位曲流凹岸)	卵石夹沙	无	无	消失	-
36	渠河嘴	鲤	深沱,无水生植物(渠河冲刷形成濠,近年修筑龙埂形成三面乱石、卵石的倒浩,渠河入口段亦是)	泥沙	无	无	消失	-
37	东津沱	鲤	人为干扰强,修建沿江风光带、广场;水流较缓,几乎无水生植物(河道向东曲流,西面凹岸为沱,沱内岩盘分隔为上下浩,水绵、水网、藻类生长)	卵石夹沙	无	无	消失	-
38	白鹤浩	鲢	深沱,基本无水生植物,仅河底卵石着生少量水绵(河心细卵石丘分流为浩,浩内水深 0.5~1.5 m,水流较缓)	泥沙	稀疏	水绵	消失	-
39	乌木浩	鲤	新建动车轨道桥,仍为卵石漫滩(位澄江公社上游,河心卵石漫滩与岸形成倒濠,长约 500 m)	卵石	稀疏	石块着生藻类,水绵	存在且未改变	鲤
40	楚石滩	鲢	在建沿江步道,河道变化大(两侧皆为卵石漫滩,水流急)	泥沙	无	无	消失	-
41	大沱口	鲤	基本无变化(位温塘峡出口两侧弯沱,砂泥底,深沱面积大,约 1 km ²)	泥沙	稀疏	水绵	存在且未改变	鲤
42	毛背沱	鲤	库尾,下游 100 m 有龙凤溪汇入(位龙凤溪汇入处,呈口袋形,面积约 1km ² ,最深 10 m)	卵石夹沙	无	无	存在且未改变	鲤
43	三圣庙-水土沱	鲤	在建嘉陵江水土大桥,江面被挖宽挖深(土沱镇对岸,沱岸为泥沙质,北岸为石灰岩,最深 2 m,多砾石,生长藻类)	卵石夹沙	无	无	存在但改变	鲤
44	朱角庙	黄尾鲴、斜颌鲴、宜宾鲴	已成库区,有采砂厂(主航道左侧的横龙埂下,水深 50~80 cm,龙埂翻水冲下形成人工瀑布)	泥沙	稀疏	喜旱莲子草	消失	-

续表 1

45	胡家滩	鲴、鮠、鲶、鳊	库尾(主航道左侧、井溪沱下面的卵石流水滩、水深 0.5~2.0 m)	泥沙	无	无	消失	-
46	井溪沱	鲤、鲫	静水,水深,水草少(主航道右侧、井溪沱近岸水草丛生静水区)	泥沙	稀疏	喜旱莲子草	存在但改变	鲤、鲫
47	康溪滩	华鲮、鲴类	已成库区,距坝址 3.3 km,静水,无卵石滩(主航道左侧流水卵石滩,水深 1~2 m)	泥沙	无	无	消失	-
48	王渡河鲢场	南方鲇	已被采砂厂取缔(主航道右侧的流水细卵石滩,水深 0.8~1.5 m)	泥沙	无	无	消失	-
49	油房滩	鲴类	已成库区,静水(主航道上,为卵石浅滩,0.8~2.0 m)	泥沙	无	无	消失	-
50	杨坪滩-白滩	白甲鱼、中华倒刺鲃	成片河沙堆积,基本无水生植物(两个卵石漫滩上下交替出现,卵石底质河床,水深 1~3 m,流速较快)	泥沙	稀疏	喜旱莲子草	消失	-
51	老君滩	华鲮、鲴类、南方鲇	河中心有一块较大陆地,植物茂密,左岸有采砂厂(元坝一侧为卵石漫滩,主航道一侧为龙埂,形成流速较大的卵石底质浅滩 1.0~1.5 m)	泥沙	稀疏	喜旱莲子草	消失	-
52	张滩	华鲮、鲴类、南方鲇	静水,沿岸无水生植物,沿岸为泥沙,有采砂迹象,但还未成规模(元坝一侧长达 1 km 里的卵石沙洲,对侧岩岸形卵石岩盘底质的河槽,在急滩下统为其产卵场)	卵石夹沙	无	无	消失	-
53	汉江口	鲤、鲫	产卵场面积变小,岸边仅少量水草,捞到少量鱼苗,上游右岸约 0.4 km 有一个采砂厂(汉江入东河的河口下侧主航道两侧静缓水区,玻璃藻、狐尾藻、丝藻丛生处)	泥沙	稀疏	喜旱莲子草、水蓼	存在但改变	鲤、鲫
54	苟滩	南方鲇	库尾(老旋沱出口处的浅滩)	卵石夹沙	无	无	消失	-
55	倒梨子滩下口	南方鲇、华鲮	库区,被淹没(4 个卵石漫滩交替出现形成弯曲河槽的出口处,水深 1.0~2.5 m)	卵石夹沙	无	无	消失	-
56	羊毛滩	鲴类	库尾,被淹没(右侧为宽长的卵石沙洲、左侧为卵石浅滩,水深 0.1~1.5 m)	卵石夹沙	无	无	消失	-
57	黄良滩	南方鲇	库尾(无)	卵石夹沙	无	无	消失	-
58	掏井滩	黄尾鲴、华鲮	库区(主航道上为卵石浅滩 0.8~2.0 m)	卵石夹沙	无	无	消失	-
59	升钟	鲴、鮠	已成库区,为鲤、鲫产卵场(无)	泥沙	一般	喜旱莲子草、水绵	消失	鲤、鲫、红鳍原鲃
60	青岩子	鲴、鮠	产卵鱼类发生改变,为鲤、鲫产卵场(无)	泥沙	稀疏	水绵、菹草	消失	鲤、鲫

注:产卵场名称、原状和繁殖种类引自《嘉陵江水系鱼类资源调查报告》。序号 1~43 为嘉陵江干流产卵场,44~58 为东河产卵场,59~60 为西河产卵场。

Note: The name, original state and breeding species of spawning grounds are quoted from the Fish Resources survey report of Jialing River. Spawning grounds 1-43 are in the Jialing River, spawning grounds 44-58 are in the Donghe River and spawning grounds 59-60 are in the Xihe River.

表 1 可见,东河、西河有 15 个产卵场消失;井溪沱、汉江口 2 个产卵场存在但已发生改变,且水草较以前有所减少,产卵场面积缩小、功能退化。东河 15 个产卵场受水电站渠化影响较大,除羊毛滩、黄良滩、苟滩外,其余产卵场被淹没的程度较高,水体趋于静水,失去原有的龙埂、卵石流水滩、沱口处浅滩、卵石浅滩、卵石岩盘等多样化生境,产卵场功能难以维继,基本不再具备原有产卵场的功能。羊毛滩、黄良滩位于杨牟寺水电站的库尾,调查时水量较少,河床裸露面积大,基本失去原有产卵场特性,不再具备其应有功能。苟滩位于碑沱电站下游,水量较少,水位下降明显,河床部分裸露,据当地渔民反映,已多年未见鱼类在此繁殖。西河升

钟产卵场下游为新房子电站,上游已成库区,原有产卵场被淹没,环境变化较大。但近岸区有水草,有鲤、鲫、红鳍原鲃的鱼卵附着在水草上,形成新的产卵场。西河青岩子近岸有菹草、水绵散布,右岸曾为采砂厂,虽已停止营运,但未见原有产卵场踪迹。朱角庙、胡家滩、康溪滩等 15 个产卵场曾是鲴类(*Xenocypris*)、鮠类(*Culter*)、白甲鱼(*Onychostoma sima*)、华鲮(*Spinibarbus sinensis*)、鲇(*Silurus asotus*)或南方鲇(*Silurus meridionalis*)的产卵场,其河床底质原来几乎全为卵石漫滩或卵石浅滩,多年来河床底质发生了较大变化,现已基本变成泥沙或卵石夹沙,水流速降低,河流生态环境多样性降低、趋于单一。

3 讨论

3.1 渠化工程改变了鱼类适宜繁殖生境

20世纪80年代,嘉陵江流域基本保持着天然状态,地形复杂,可以形成多样化流态。但本次调查发现,嘉陵江水生生境已发生很大变化,特别是鱼类产卵场的变化十分明显,情况不容乐观。

从数量来看,原有的主要经济鱼类产卵场数量大幅减少;从规模来看,仍存在的产卵场规模大多缩小;从产卵场类型来看,消失的产卵场类型主要为流水滩上产粘性卵型、流水浅滩或支流尾水上产粘性卵以及流水滩上产漂浮性卵这3种类型,现存产卵场主要为静水草上产卵型(何学福和邓其祥,1979),因为鲤、鲫适应性强,在流水或静水中均能产卵,水位和流速变化对其影响不大;从产卵场分布特点来看,原有产卵场多分布在卵石滩、沱、浩、濠、河湾、内濠、倒濠、河口等非规则的水体环境,但目前渠化工程建成后,导致这些复杂的河道环境发生变化,适宜繁殖生境减少。

3.2 渠化工程对鱼类产卵场的影响

3.2.1 水文情势变化 鱼类根据流速、水温、水位等信息获得产卵信号,因此河流流态的改变必然会影响鱼类的产卵和生长(朱瑶,2005;司源,2012)。由于嘉陵江渠化工程建设,库区水流速度降低,流态稳定,原有河道失去急流、浅滩和较大的弯曲度,喜急流性鱼类的栖息环境发生变化,库区急流性鱼类产卵场的数量必然减少;相反,水库静水区面积增大,静水性鱼类产卵场的数量可能会占优势。

良好的河道环境是鱼类赖以生存和繁衍的基础。水电站建设改变了流速,破坏了河道自然形态,进而影响水生生物的种群稳定性,会使鱼类种群数量减少、分布范围逐渐萎缩、群落结构简化(杨丽虎等,2007)。电站拦水大坝的修建,阻断了鱼类栖息地的连续性,对洄游性鱼类的影响最大,切断了洄游习性鱼类的洄游通道,如鲟、胭脂鱼、鲂等,且不可逆,使需要洄游到上游产卵的鱼类无法正常产卵繁殖而数量明显下降(王丹,2011;王春晨,2019);此外,大坝下泄流量通常依赖人工调节,使得径流受到控制,导致汛期流量减少,而非汛期流量却有所增加(杨丽虎等,2007)。鱼类依赖特定的水文情势信息启动产卵,如果在繁殖季节未达到诱发产卵的条件,就会推迟产卵甚至不产卵,影响鱼类的自然增殖,对其资源量补充极为不利。水坝对水流的控制和河流连续性的片段化对其下游的生态影响最为显著,除

了洄游鱼类外,对上游鱼类种群的生态影响却极少被关注(Dynesius & Nilsson, 1994; Baxter, 1977; Dudgeon, 2000)。水库建成蓄水后,从自由流动的水环境向由不同生物过程统治的静水态转变,对鱼类种群的影响也很大,甚至殃及非洄游性鱼类(Park et al, 2003)。嘉陵江原有主要经济鱼类产卵场大量消失,佐证了水流速度变低、河流由流水向库区生境的转变、河流连续性被阻断,使适于鱼类繁殖的自然生境大量消失,导致鱼类早期资源的补充量严重不足,正是渠化对嘉陵江鱼类种群多样性造成的主要威胁。

3.2.2 生物多样性锐减 鲤、鲫是嘉陵江产粘性卵的主要鱼类,茂密水草是产粘性卵鱼类的良好产卵场(四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组,1980;青弘,2007);原有产卵场仍存在的多为鲤、鲫等产卵场,水生植物分布的范围和数量减少,会使产卵场的规模有所改变(秦烜等,2014;贾振周,2019)。水库蓄水后的河道生态环境均质化,河流自然节律改变,这些变化可能引发库区生物物种多样性降低、特有性下降、时空分布异质性下降(王丹,2011;杨光,2019)。嘉陵江喜激流生活的鱼类,由于适合的生存空间减少或消失,个体数量急剧减少,如中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)、华鲮(*Spinibarbus sinensis*)、鳅类(Cobitidae)、鮡科(Sisoridae)等;而一些在缓流和静水区能较好生活的种类如鲤、鲫、鲃类等,其种群数量占比有所增加(蒋国福和何学福,2008)。

3.2.3 破坏鱼类正常生境 嘉陵江航道渠化工程全面启动至今已基本全线建成,经渠化后的嘉陵江由滩多水急变成一条拥有巨大通航能力和安全系数高的高等级航道,在带来巨大经济效益的同时,不可否认渠化工程也给嘉陵江水系优质的水生环境带来了巨大的改变。目前,嘉陵江干流四川、重庆段已建成的水电站达15级;此外,东河还有鲤鱼口、杨牟寺、碑沱等水电站,西河有升钟湖水库和新房子、万年镇、周家井等水电站。可见嘉陵江水系的水利工程开发程度高、覆盖面广,原有的卵石漫滩、龙埂、流水滩等水生环境减少或消失,不仅影响鱼类产卵场的自然环境,还会影响鱼卵孵化,对鱼类完成正常生活史造成多重影响(李天才等,2019);栖息地被破坏,动物区系就会受影响,而修建水坝造成的生境破碎正是导致这种困境的一个主要原因(Dudgeon, 2000)。

3.3 嘉陵江鱼类资源保护建议

3.3.1 大力保护现有产卵场 对功能良好的产卵场,实行繁殖区和繁殖期的精准保护,保证鱼类早期资源的有效补充(曾燊等,2014;刘玉莹,2019)。调查

时在某地湿地公园沿江一带发现多堆水草,发现水草上有大量未孵化的鱼卵,直接造成了鱼类早期资源自然补充量的损失。

3.3.2 保护与合理利用流水生境 保护支流和合理利用电站库尾水等流水生境,适量补充特定鱼类种群数量。嘉陵江流水生境大量减少,保护流水生境对喜激流生活的鱼类完成正常生活史十分重要,合理利用电站尾水,营造对鱼类有利的繁殖条件(郭文献等,2009;杜浩等,2015)。通过访问得知,凤仪、小龙门、草街等电站的库尾尾水段在鱼类繁殖季节能够吸引亲鱼逆流而上产卵繁殖;此外,科学增殖放流也能提高某些鱼类资源量(秦烜等,2014)。

3.3.3 全面调查鱼类产卵场 本次调查主要针对原有产卵场进行功能现状核查,并未对全江现有产卵场进行全面摸底调查,特别是对嘉陵江现有漂流性鱼类产卵场的调查十分欠缺。接下来的工作应该加强对嘉陵江产卵场的全面调查,便于准确分析判断该流域鱼类资源的变迁和发展,提出在渠化大背景下鱼类资源保护的具体措施。

参考文献

- 曹文宣,常剑波,乔晔,等,2007. 长江鱼类早期资源[M]. 北京:中国水利水电出版社:3-4.
- 杜浩,危起伟,张辉,等,2015. 三峡蓄水以来葛洲坝下中华鲟产卵场河床质特征变化[J]. 生态学报, 35(9):3124-3131.
- 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.
- 郭新红,刘少军,刘巧,等,2004. 鱼类线粒体 DNA 研究新进展[J]. 遗传学报, (9):983-1000.
- 何滔,黎学练,郑永华,等,2016. 长江重庆段干流与主要支流鱼类分布的比较分析[J]. 淡水渔业,46(3):47-51.
- 何学福,邓其祥,1979. 嘉陵江主要经济鱼类越冬场、产卵场、幼鱼索饵场调查及保护利用[J]. 西南师范学院学报(自然科学版), 2(5):27-41.
- 贾振周,2019. 水利水电工程建设对生态环境的影响分析[J]. 中国高新区, (14):167.
- 蒋国福,何学福,2008. 嘉陵江下游鱼类资源现状调查[J]. 淡水渔业,38(2):3-7.
- 李天才,刘中菊,郑秋松,等,2019. 嘉陵江北碚江段人工鱼巢增殖效果调查[J]. 淡水渔业,49(1):57-61.
- 李洋,2016. 基于 DNA 条形码的长江上游江津段鱼类早期资源种类鉴定[D]. 重庆:西南大学.

- 刘扬扬,李斐,许秀贞,2014. 嘉陵江中下游干流水电开发对水文情势的影响[J]. 人民长江,45(5):10-15.
- 刘玉莹,曾燊,熊小琴,等,2019. 嘉陵江梯级水利工程开发下不同江段蛇鮈的繁殖生物学特性差异及适应[J]. 淡水渔业, 49(2):5-10.
- 秦烜,陈君,向芳,2014. 汉江中下游梯级开发对产漂流性卵鱼类繁殖的影响[J]. 环境科学与技术,37(S2):501-506.
- 青弘,2010. 嘉陵江流域鱼类多样性格局及中下游渔业资源变迁分析[D]. 重庆:西南大学:41-44.
- 司源,2012. 水利水电工程对生态环境的影响及保护对策[J]. 人民黄河, 34(2):126-127,130.
- 四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组,1980. 嘉陵江水系鱼类资源调查报告[M]. 成都:四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组:3-6, 76-79.
- 王春晨,2019. 水利水电工程建设与生态环境关系研究[J]. 科技与创新, (20):14-15.
- 王丹,2011. 水电工程建设对水生生物的影响评价—以金沙江乌东德水电站工程为例[D]. 北京:中国科学院研究生院.
- 王绪祯,甘小妮,李俊兵,等,2016. 鲤亚科多倍体物种独立起源及其与第三纪青藏高原隆升的关系[J]. 中国科学:生命科学, 46(11):1277-1295.
- 杨光,2019. 试论水利水电工程建设对生态环境的影响分析[J]. 中国高新区, (17):79.
- 杨丽虎,陈进,黄薇,等,2007. 长江上游梯级水电开发情况及对生态环境的影响初探[J]. 中国农村水利水电, (3):79-81.
- 张觉民,何志辉,1991. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京:农业出版社:289-290.
- 朱瑶,2005. 大坝对鱼类栖息地的影响及评价方法述评[J]. 中国水利水电科学研究院学报,3(2):100-103.
- 曾燊,陈永柏,李钟杰,2014. 嘉陵江鱼类资源利用与保护现状[J]. 天津农业科学, 20(2):60-62, 87.
- Baxter R M, 1977. Environmental effects of dams and impoundments[J]. Annual Review of Ecology & Systematics, 8:255-283.
- Dudgeon D, 2000. The ecology of tropical Asian Rivers and Streams in relation to biodiversity conservation[J]. Annual Review of Ecology & Systematics, 31(1):239-263.
- Dynesius M, Nilsson C, 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the Northern Third of the World[J]. Science, 266:753-762.
- Park Y S, Chang J B, Lek S, et al, 2003. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam[J]. Conservation Biology, 17(6):1748-1758.

(责任编辑 万月华)

Effects of Channelizing Jialing River on the Spawning Grounds
of Major Commercial Fish Species

TIAN Jia-jia¹, FENG Xing-wu², PU De-yong¹, LIU Yue¹, XIE Chong-you¹, CAI Rui-yu¹,
WANG Ya-li¹, HUANG Jing¹, WANG Zhi-jian¹

(1. Key Lab. of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education;
Key Lab. of Aquatic Science of Chongqing, School of Life Sciences, Southwest University,
Chongqing 400715, P.R. China;
2. College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400715, P.R. China)

Abstract: At the end of the 20th century, channelization of the Jialing River officially began. Currently, 15 hydropower stations are in operation, basically channelizing the entire river. From March to April 2019, the effects of channelizing the Jialing River on the spawning grounds of major commercial fish species were investigated using historical data, interviews, surveys, and field investigations. DNA barcoding was used to identify specimens collected in the field. Results show that among the original 60 primary spawning grounds of commercial fish species, 41 spawning grounds had disappeared, 14 spawning grounds were altered, and 5 remained basically unchanged. This represents a serious decrease in the number, type, and size of spawning grounds. The spawning grounds of *Cyprinus carpio* and *Carassius auratus* still exist. During the investigation, a total of 1 362 fish eggs and 539 fry were identified, belonging to 12 species, 2 families and 2 orders. There were only 3 kinds of fish eggs, consisting of 1 039 *Cyprinus carpio* eggs, 312 *Carassius auratus* eggs and 11 *Cultrichthys erythropterus* eggs, accounting respectively for 76.28%, 22.91% and 0.81% of the total eggs. There were 11 species of fish fry identified, including *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Opsariichthys bidens*, *Pseudorasbora parva*, *Acheilognathus omeiensis*, *Acheilogn Macropterus*, *Acheilognathus chankaensis*, *Hemiculter leucisculus*, *Gnathopogon Imberbis*, *Rhinogobi Giurinus* and *Mugilogobius myxodermus*. A total of 372 *Acheilognathus chankaensis* fry were collected, accounting for 69.02% of the fry collected, followed by *Carassius auratus* (59 fry, 10.95%) and *Cyprinus carpio* (57 fry, 10.58%). Other species, together, accounted for only 9.46%. The changes in spawning grounds result primarily from alterations in hydrological regime, riverbed substrate and aquatic plants. The development of cascaded hydropower stations and sand excavation have led to wider river channels, rising water levels, decreased flow velocity, disappearance of cobblestone floodplain and decreased aquatic plant biomass, and these changes are the primary factors leading to the disappearance and alteration of the original spawning grounds.

Key words: Jialing River; channelization; commercial fishes; spawning ground