

# 金沙江下游宜宾段产漂流性卵鱼类早期资源动态变化

胡兴坤<sup>1</sup>, 邵科<sup>1</sup>, 阙廷福<sup>1</sup>, 朱滨<sup>1</sup>, 叶卿<sup>2</sup>, 陈志刚<sup>3</sup>, 李成成<sup>3</sup>, 徐火清<sup>4</sup>, 李伟涛<sup>1</sup>

- (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, 湖北省水生态保护与修复工程技术研究中心, 湖北 武汉 430079;
2. 上海市水生野生动植物保护研究中心, 上海 202162;
3. 湖北中水长江生态保护研究院有限公司, 湖北 武汉 430079;
4. 中国三峡建设管理有限公司, 四川 成都 610023)

**摘要:**为探讨金沙江下游溪洛渡和向家坝水电站蓄水运行对下游江段鱼类早期资源群聚动态的影响, 基于2016–2020年宜宾江段鱼类早期资源调查数据, 探究其资源种群结构与年际变化趋势。使用半圆筛网采集漂流性卵, 通过分子生物学方法进行种类鉴定, 并计算鱼卵丰度。结果表明, 宜宾江段共计采集鱼卵20种, 主要优势种为吻鮡(*Rhinogobio typus*)和寡鳞瓢鱼(*Pseudolaubuca engraulis*); 估算出鱼卵年均径流量为 $15.07 \times 10^6$ 粒, 其中漂流性卵为 $9.89 \times 10^6$ 粒, 年际间总体呈增加趋势; 推算采样点以上分布有产漂流性卵鱼类产卵场3处; 从多样性指数和相似度指数看, 宜宾江段鱼卵种类组成结构较为稳定, 年际间变化不大。尽管受金沙江下游水电工程开发的影响, 宜宾江段作为长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区的重要组成部分, 仍是产漂流性卵鱼类产卵繁殖的重要分布区, 但以小型鱼类为主, 圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、长鳍吻鮡(*Rhinogobio ventralis*)等长距离洄游性鱼类鱼卵没有监测到。建议继续加强圆口铜鱼、长鳍吻鮡等鱼类的增殖放流; 针对产漂流性卵小型鱼类的生态需求, 开展金沙江下游梯级水电开发对其生态效应影响的监测研究。

**关键词:**鱼类早期资源; 漂流性卵; 金沙江; 宜宾江段

**中图分类号:**X835 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2023)02-0073-08

金沙江下游地处青藏高原向四川盆地过渡地带, 复杂多样的水域和沿岸带生境孕育了多样性的水生生物, 是青藏高原鱼类与江河平原鱼类的过渡分布水域, 鱼类种类丰富, 特有鱼类多, 分布有数量较多的鱼类产卵场(丁瑞华, 1994); 同时, 金沙江下游也是我国重要的水电能源基地, 规划有溪洛渡、向家坝、乌东德和白鹤滩4个梯级电站(长江水利委员会, 2009)。金沙江下游水电工程的建设运行势必引起坝上坝下水文情势的变化, 导致生境破碎化, 已成为影响金沙江下游鱼类多样性最主要的因素之一(陈锋等, 2019)。

水电工程的开发使得自然河流非连续化, 改变了河流的水动力特性, 阻隔了鱼类洄游通道, 对鱼类产

卵繁殖、生长等生活史过程具有较大的胁迫作用。金沙江下游水域紧邻“长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区”(以下简称“保护区”), 为保护区的重要组成部分, 溪洛渡、向家坝水电站的蓄水运行, 造成金沙江下游生境破碎化, 阻隔了长江上游珍稀特有鱼类、重要经济鱼类的生殖洄游通道以及补充作用, 改变了向家坝坝下江段水文情势, 使得圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、长鳍吻鮡(*Rhinogobio ventralis*)、四大家鱼等产漂流性卵鱼类产卵繁殖所需的流量、流速等水文要素难以得到满足, 导致鱼类产卵场消失、产卵规模下降, 鱼类群落结构发生改变, 危及鱼类生存(陈大庆等, 2005; 高少波等, 2015; 曹文宣, 2019)。当前, 随着乌东德、白鹤滩水电站相继完成蓄水发电以及金沙江中上游梯级水库群的逐步建成与运行, 将会对金沙江下游鱼类造成累积效应, 导致鱼类生物多样性丧失, 对保护区水生生态系统的完整性及其生态功能发挥产生较大影响。

鱼类早期资源是影响鱼类种群数量变动的重要基础, 受水电工程开发运行引起的水文情势变化影响较大。目前, 金沙江下游区域关于鱼类早期资源的调查研究已有一些报道(肖琼, 2015; 高天珩, 2016; 王涵等, 2017), 但在宜宾江段开展的相关研究资料

收稿日期: 2021-07-05 修回日期: 2022-08-18

基金项目: 农业财政专项(CJDC-2017); 中国三峡集团有限公司(SXSN14577); 中国三峡建设管理有限公司技术服务项目(JG/10917B); 中国三峡集团有限公司(0799570); 水利部政府性基金项目(12620200600020J005)。

作者简介: 胡兴坤, 1991年生, 男, 助理研究员, 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: huxingkun@mail.ihe.ac.cn

通信作者: 李伟涛, 1980年生, 男, 副研究员, 主要从事分子生态学研究。E-mail: 94526694@qq.com

缺乏,主要集中在鱼类资源量和鱼类种群结构研究方面(高少波等,2013;李浩林等,2014;唐会元等,2014;王俊等,2017)。宜宾江段紧邻向家坝水电站下游,受水电工程蓄水运行的影响较大,也最为直接,同时也会受到中上游水电开发的累积效应影响。因此,迫切需要了解宜宾江段鱼类早期资源现状,以便准确评估水电工程梯级开发对鱼类早期资源的生态学影响。本研究基于2016–2020年连续5年的调查资料,旨在查明溪洛渡、向家坝水电站蓄水运行后金沙江下游宜宾江段鱼类早期资源种类组成、产卵场分布和产卵规模等现状,以期为长江上游珍稀、特有鱼类的保护提供数据支撑,维系金沙江下游鱼类物种多样性和河流生态健康。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

金沙江下游宜宾江段位于向家坝坝轴线以下1.8 km至宜宾市河段范围内,是长江流域水生态环境优先保护区域(长江水利委员会,2009),同时也是长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区的重要组成部分,鱼类资源丰富,分布有长鳍吻鮡、长薄鳅(*Lepotobotia elongata*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)、圆口铜鱼和异鳔鳅鲃(*Xenophysogobio boulengeri*)等众多长江上游珍稀特有鱼类和重要经济鱼类(成都勘测设计研究院等,2003)。宜宾江段鱼类早期资源采样断面具体设置在宜宾市区戎州大桥附近(104.63°E, 28.76°N),位于金沙江左岸的主泓一侧,该采样断面上距金沙江下游向家坝水电站坝址约40 km。

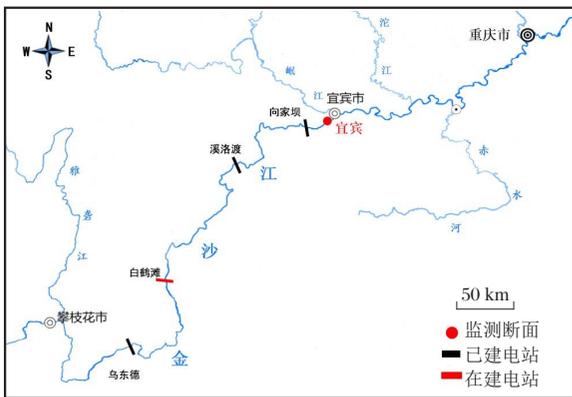


图1 鱼类早期资源调查断面

Fig.1 Sketch map of the sampling sites for the early fish resource investigation

### 1.2 样品采集

分别于2016年5月21日至6月30日(41 d)、2017年5月25日至7月10日(47 d)、2018年5月23

日至7月9日(48 d)、2019年5月1日至7月3日(64 d)和2020年5月9日至6月30日(53 d)在金沙江下游宜宾江段开展产漂流性卵鱼类早期资源监测,5年累计监测时长253 d。使用半圆筛网(网口直径1 m、网长2 m、网口面积0.39 m<sup>2</sup>)于每日上午和下午在采样点逐日采集断面表层顺水漂流的鱼卵和鱼苗,每次采集时间根据卵苗规模和水中的杂质多少进行确定(15~30 min),每天采集8~10次。采样时,记录采样日期、天气状况、起止时间、卵苗数量等信息,同时测量采样断面水温、流速等环境因子(曹文宣等,2007)。采样断面实时水文数据采用向家坝出库流量,数据来源水利部发布的全国水雨情信息网(<http://xxfb.mwr.cn/>)。

### 1.3 样品保存和种类鉴定

因宜宾江段紧邻向家坝水电站,且离产漂流性卵鱼类产卵场较近,仅采集到处于早期发育阶段的鱼卵,几乎没有采集到鱼苗,故本文不对鱼苗进行分析。采集到的鱼卵首先在野外利用光学显微镜观察其发育期并测量卵径,根据卵径大小、胚体形态等典型特征进行初步分拣;然后将采集的全部鱼卵带回室内进行培育,孵化出的鱼苗参照曹文宣等(2007)方法进行,通过鱼苗色素分布、体型、鳃等外部形态特征以及肌节数目进行种类鉴定。

### 1.4 数据分析

1.4.1 鱼卵丰度及产卵场推算 鱼卵丰度用卵密度和径流量进行描述,计算方法参照相关文献(易伯鲁等,1988;曹文宣等,2007)。卵密度( $d$ )计算公式如下:

$$d = n / (a \times v \times t) \quad (1)$$

式中: $n$ 为某一次采集到的鱼卵数量(粒), $a$ 为采集网具的网口面积(m<sup>2</sup>), $v$ 为采集时网口处的江水流速(m/s), $t$ 为采集时间(s)。

径流量计算公式如下:

$$M = Q \times d \times T \quad (2)$$

$$M' = (M_1 / t_1 + M_2 / t_2) \times t' / 2 \quad (3)$$

$$N_m = M + M' \quad (4)$$

式中: $M$ 为一次采集的断面鱼卵径流量, $Q$ 为采样断面江水流量(m<sup>3</sup>/s), $T$ 为一昼夜采集的时间, $M_1$ 、 $M_2$ 为前后两次采样时间 $t_1$ 、 $t_2$ 的鱼卵径流量, $t'$ 为前后2次采集的时间间隔, $N_m$ 为一昼夜通过调查断面的鱼卵径流量。

产卵场位置的推算依据所采集鱼卵的发育时期,结合调查江段江水平均流速来推算鱼卵漂流距离(易伯鲁等,1988)。计算公式如下:

$$L = V \times T \quad (5)$$

式中: $L$ 表示鱼卵的漂流距离(m), $V$ 表示调查江

段水体平均流速(m/s), $T$ 表示胚胎发育所经历的时间(s)。

1.4.2 物种优势度 物种优势度利用Pinkas相对重要性指数(IRI)进行描述,计算公式如下:

$$IRI=(N+W)\times F \quad (6)$$

式中: $N$ 为某一种类鱼卵数量占采集总卵数的百分比, $W$ 为某一种鱼卵重量所占的比例(由于鱼卵重量小,此处不考虑 $W$ 值), $F$ 为某一种类出现的次数占调查总次数的百分比。IRI值大于500时定义为优势种,IRI值在500~100定义为重要种。

1.4.3 群落多样性分析 对鱼卵Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、Margalef种类丰富度指数( $D'$ )、Pielou均匀度指数( $J$ )进行分析计算,公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i \quad (7)$$

$$D' = (S-1)/\ln N \quad (8)$$

$$J = H'/\ln S \quad (9)$$

式中: $P_i$ 为统计时段内物种*i*的数量在该时段内占总数量的比例, $S$ 为统计时段内物种的总数量, $N$ 为统计时段内个体数量。

1.4.4 群落相似度 采用Jaccard相似性指数( $q$ )计算宜宾江段不同年份间鱼类群落相似度,公式如下:

$$q = c/(a+b-c) \quad (10)$$

式中: $c$ 为2年间共有的鱼类物种数, $a$ 和 $b$ 分别为2年各自特有的鱼类物种数。 $q$ 值在0~0.25时为极不相似,0.25~0.50时为轻度相似,0.50~0.75时为中度相似,0.75~1时为极相似。

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成

2016~2020年金沙江下游宜宾江段共采集鱼卵1 139粒,鉴定出鱼卵783粒,共有20种,隶属于2目、4科(表1),以鲤科鱼类最多,共11种,其次是鳅科5种,平鳍鳅科3种,鲃科仅1种,5年间采集的鱼卵数量和种类数存在较明显的差异,以2018~2020年采集的数量较多(图2)。2016~2020年共采集吻鮠(*Rhinogobio typus*)鱼卵461粒,为最大优势种,寡鳞瓢鱼(*Pseudolaubuca engraulis*)为第二大优势种,中华沙鳅(*Botia superciliaris*)、鲮(*Hemiculter bleekeri*)和宜昌鳅鲇(*Gobiobotia ichangensi*)等7种鱼类为重要种。

根据鱼卵性质,调查到产漂流性卵鱼类17种,产黏沉性卵鱼类3种。采集到的鱼卵中,长江上游特有鱼类有7种,分别为异鳔鳅鲇、圆筒吻鮠(*Rhinogobio*

*cylindricus*)、长薄鳅、宽体沙鳅(*Botia reevesae*)、红唇薄鳅(*Leptobotia rubrilaris*)、中华金沙鳅(*Jinshaia sinensis*)和短身金沙鳅(*Jinshaia abbreviata*)。

表1 2016~2020年宜宾江段鱼卵种类组成  
Tab.1 Species composition of fish eggs in the Yibin section of Jinsha River 2016-2020

序号	种类	数量/粒	IRI
鲤形目 Cypriniformes			
鲤科 Cyprinidae			
1	★▲异鳔鳅鲇 <i>Xenophysogobio boulengeri</i>	9	46
2	▲宜昌鳅鲇 <i>Gobiobotia ichangensi</i>	27	207
3	▲吻鮠 <i>Rhinogobio typus</i>	461	4710
4	▲铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	17	174
5	▲蛇鮈 <i>Saugogobio dabryi</i>	1	3
6	★▲圆筒吻鮠 <i>Rhinogobio cylindricus</i>	15	38
7	▲银飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	2	10
8	▲寡鳞瓢鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	63	805
9	鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	31	238
10	▲草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	9	46
11	高体鳊 <i>Rhodeus ocellatus</i>	1	3
鳅科 Cobitidae			
12	★▲长薄鳅 <i>Leptobotia elongate</i>	16	41
13	★▲红唇薄鳅 <i>Leptobotia rubrilaris</i>	1	3
14	▲中华沙鳅 <i>Botia superciliaris</i>	75	383
15	★▲宽体沙鳅 <i>Botia reevesae</i>	1	3
16	▲花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	23	117
平鳍鳅科 Homalopteridae			
17	▲犁头鳅 <i>Lepturichthys fimbriata</i>	15	153
18	★▲中华金沙鳅 <i>Jinshaia sinensis</i>	11	112
19	★▲短身金沙鳅 <i>Jinshaia abbreviata</i>	1	3
鲈形目 Perciformes			
鲃科 Sisoridae			
20	中华纹胸鲃 <i>Glyptothorax sinensis</i>	4	20

注:★为长江上游特有鱼类;▲为产漂流性卵鱼类。

Note:★ rare and endemic fish in the upper Yangtze River; ▲ fish species with drifting eggs.

### 2.2 丰度变化

2016~2020年金沙江下游宜宾江段鱼卵漂流密度年际变化呈现波动增加的趋势,但总体差异不大。年均密度最大值出现在2019年,为 $1.67\times 10^{-3}$ 粒/ $m^3$ ,最低密度出现在2017年,为 $0.33\times 10^{-3}$ 粒/ $m^3$ 。在鱼卵径流量方面,估算2016~2020年通过金沙江下游宜宾江段的鱼卵径流量分别为 $7.39\times 10^6$ 粒、 $4.26\times 10^6$ 粒、 $13.86\times 10^6$ 粒、 $30.65\times 10^6$ 粒和 $19.20\times 10^6$ 粒(图3)。从

漂流性卵鱼类群落组成上看(表2),吻鮠、中华沙鳅和寡鳞飘鱼卵径流量较大,为主要组成部分,几乎每年都可以采到;草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、铜鱼等鱼类产卵量年际间总体呈逐年增加趋势;花斑副沙鳅(*Parabotia fasciata*)在2019年和2020年被监测到。

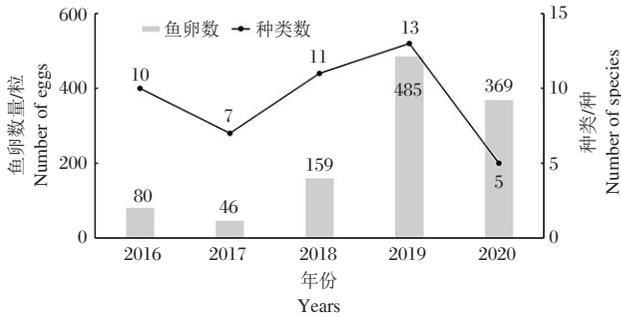


图2 宜宾江段采集鱼卵数量和种类年际变化

Fig.2 Annual variation of abundance and species number of fish eggs in the Yibin section (2016-2020)

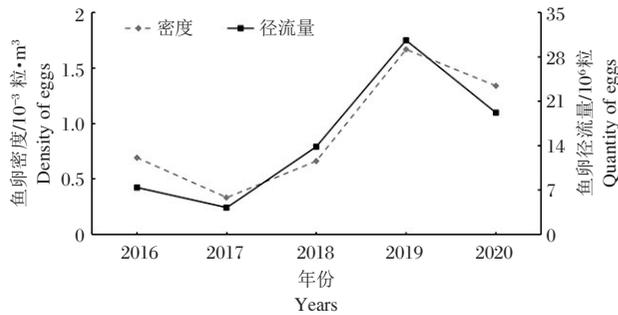


图3 宜宾江段鱼卵密度和径流量年际变化

Fig.3 Annual variation of egg quantity and density in the Yibin section of Jinsha River (2016-2020)

表2 宜宾江段漂流性卵密度年际变化

Tab.2 Density variation of drifting eggs in the Yibin section of Jinsha River (2016-2020)

鱼名	各调查年份的卵密度/10 <sup>-3</sup> 粒·m <sup>3</sup>					合计
	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	
中华金沙鳅	0.28	0.09	0.35	0.19	0	0.91
中华沙鳅	0.09	0	6.45	0	0	6.54
寡鳞飘鱼	1.48	0.46	0.26	2.28	0.16	4.63
草鱼	0	0	0.26	0.38	0	0.64
铜鱼	0.18	0	0.44	0.44	0.16	1.22
吻鮠	1.20	1.48	0	12.07	12.54	27.30
花斑副沙鳅	0	0	0	1.39	0.05	1.44
犁头鳅	0.46	0.09	0.52	0.19	0	1.27
其他种类	1.11	0.56	1.83	1.20	0.78	5.48
总计	4.80	2.69	10.11	18.14	13.69	49.43

## 2.3 群落结构特征

2016-2020年金沙江下游宜宾江段鱼卵丰富度指数( $D'$ )和多样性指数( $H'$ )呈现波动变化,总体呈递减趋势(表3)。以2016年指数值最高(分别为2.256、1.862),2020最低(分别为0.718、0.367)。鱼卵均匀度指数( $J$ )相对丰富度指数和多样性指数波动较小,下降趋势相对平缓。最小值出现在2020年度,为0.228,以2016年指数最大,为0.809。从年际间相似度指数看(表4),2016年与2019年鱼卵种类相似度最高,相似度指数为0.53,属极为相似范畴,2016-2020年间除2018年与2020年间相似度指数小于0.25外,其余年间均大于0.25,属中等相似范畴。

表3 2016-2020年宜宾江段不同年份鱼卵多样性指数

Tab.3 Biodiversity indices of fish eggs in the Yibin section of Jinsha River (2016-2020)

年份	Shannon-Wiener 多样性指数	Margalef 丰富度指数	Pielou 均匀度指数
2016	1.862	2.256	0.809
2017	1.386	1.764	0.712
2018	1.580	2.007	0.659
2019	1.289	2.116	0.503
2020	0.367	0.718	0.228

表4 2016-2020年宜宾江段不同年份鱼卵种类相似度

Tab.4 Similarity index of fish eggs in the Yibin section of Jinsha River (2016-2020)

年份	2016	2017	2018	2019	2020
2016		0.42	0.31	0.53	0.25
2017	0.42		0.29	0.43	0.20
2018	0.31	0.29		0.41	0.14
2019	0.53	0.43	0.41		0.20
2020	0.25	0.20	0.14	0.29	

## 2.4 产卵场分布

根据漂流性卵的发育期和江水流速,推算采样点以上至向家坝坝下区域主要分布有3个产漂流性卵的鱼类产卵场,分别为大地坡、东岳庙和鸣鸭溪码头产卵场,其中产卵规模最大的是东岳庙产卵场,为3 354.76万粒,占产卵总规模的53.42%(表5)。2016-2020年产漂流性卵鱼类产卵场在年际间分布无明显差异。

对部分重要产漂流性卵鱼类产卵场位置进行推算,宜宾江段采样点以上江段主要分布有吻鮠、中华沙鳅和寡鳞飘鱼的产卵场,采集到的鱼卵发育期全部在囊胚期至原肠期范围内,产卵场主要有大地坡和东岳庙产卵场,分布范围位于宜宾公铁路桥上至甘坝上之间;其他产漂流性卵的鱼类产卵场仅有零星分布。

表5 采样断面以上产漂流性卵鱼类产卵场分布及产卵规模

Tab.5 Spawning ground distribution and scale of drifting eggs upstream of the Yibin section

序号	鱼卵发育期	产卵场	漂流距离/km	产卵场范围	产卵规模/万粒	比例/%
1	多细胞期-囊胚期	大地坡	3.6~5.0	观江茶园-大运学校	2785.71	44.36
2	原肠期-神经胚期	东岳庙	6.6~8.4	公铁路桥-甘坝上	3354.76	53.42
3	胚孔封闭期-晶体出现期	马鸣溪码头	8.9~12.9	宜宾职院-普和大桥	138.95	2.21
	合计				6279.42	100

## 2.5 水文情势变化

2016–2020年监测期间,金沙江下游宜宾江段径流量总体呈逐渐增大的趋势(图4-a),平均径流量分别为 $(3\ 834\pm 1\ 083)\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $(4\ 341\pm 1\ 810)\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $(4\ 393\pm 1\ 635)\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $(3\ 695\pm 1\ 391)\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $(4\ 164\pm 1\ 315)\text{ m}^3/\text{s}$ 。从洪峰出现次数和连续涨水过程看,2016年、2017年和2018年均仅出现1次较大的洪峰过程,分别为6月22–26日、6月25日–7月1日和6月26日–7月9日;2019年出现3次较为明显的洪峰过程,分别为5月18–22日、5月26–29日和6月27日–7月3日;2020年也出现3次较为明显的洪峰过程,分别为6月4–10日、6月18–24日和6月28–30日。总体上2019年和2020年洪峰出现的次数较多,且涨水持续天数更多。

2016–2020年宜宾江段监测期间平均水温分别为 $(20.5\pm 1.1)^\circ\text{C}$ 、 $(20.6\pm 0.9)^\circ\text{C}$ 、 $(21.5\pm 0.9)^\circ\text{C}$ 、 $(19.9\pm 1.7)^\circ\text{C}$ 、 $(20.0\pm 1.1)^\circ\text{C}$ ,总体上呈逐渐增大的趋势。从同期水温上看,2018–2020年水温过程较高于2016年和2017年同期(图4-b)。

## 3 讨论

### 3.1 宜宾江段鱼类早期资源多样性

根据文献资料对比,金沙江下游溪洛渡、向家坝水电站蓄水前长江上游宜昌以上江段分布有产漂流性卵鱼类30余种(唐锡良,2010;危起伟,2012),远高

于本研究江段,且种类组成也发生了明显变化。本研究调查结果与攀枝花(7种)、巧家(12种)等江段同期数据相比(王导群等,2019;周湖海等,2019),种类组成具有一定的相似性,如犁头鳅、中华金沙鳅、吻鮰等种类在金沙江下游江段均有分布,而在岷江下游段、长江上游江段也均有采集(吕浩等,2019),说明这些种类繁殖生境分布较多,为典型广布种类,宜宾江段当前生境条件能够满足这些种类的栖息生存和产卵繁殖活动,已成为该江段鱼类早期资源的重要补充种类。金沙江下游溪洛渡、向家坝水电站的蓄水运行导致下游河段水文情势发生了较大改变,阻隔了圆口铜鱼、长鳍吻鮰等重要鱼类的洄游通道,使得部分产漂流性卵鱼类的繁殖需求难以满足,原有产卵场消失(陈大庆等,2005),是导致本江段未调查到圆口铜鱼、长鳍吻鮰鱼卵的重要原因之一,这与宜宾江段渔获物种组成存在较大差异(高天珩等,2013),说明圆口铜鱼、长鳍吻鮰等特有鱼类产卵繁殖活动受溪洛渡、向家坝水电站的影响较大(高少波等,2015);随着乌东德、白鹤滩水电站相继完成蓄水运行,这些特有物种的生存空间可能会进一步被压缩,加剧其生存危机。综合对比历史资料和其他江段的调查结果,宜宾江段鱼类早期资源多样性下降明显,组成结构也发生了较大变化,主要以小型产漂流性卵鱼类为主。从鱼卵多样性指数年际变化上来

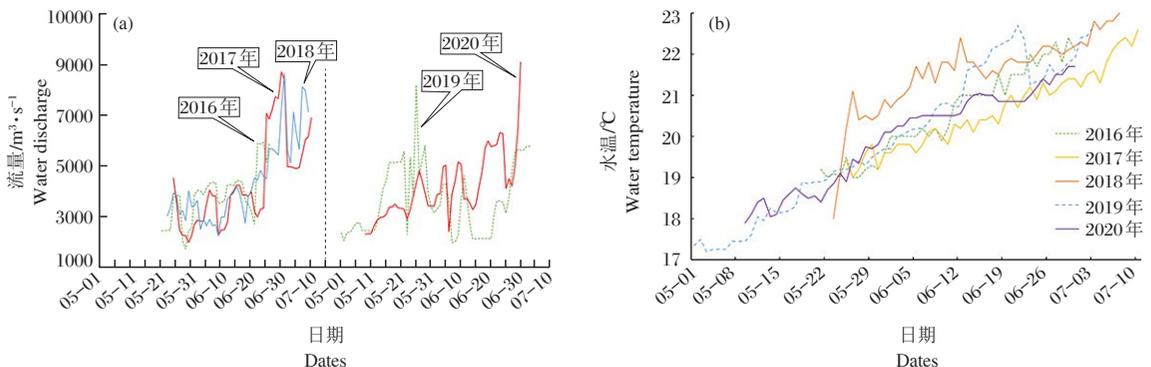


图4 宜宾江段流量(a)和水温(b)变化过程

Fig.4 Variations of water discharge (a) and water temperature(b) in the Yibin section of Jinsha River during the investigation period

看,除2020年丰富度指数和多样性指数处于较低水平外,其他年份多样性指数总体趋势波动不大,且2016–2020年的年际间相似度指数均大于0.25,种类组成较为相似,说明在溪洛渡、向家坝水电站蓄水运行后,宜宾江段鱼类早期资源群落结构已趋于稳定。

### 3.2 宜宾江段漂流性卵的规模变化

本研究估算的宜宾江段产漂流性卵鱼类年径流量平均值为 $9.89 \times 10^6$ 粒,维持了一定规模的繁殖群体,表明溪洛渡、向家坝水电站蓄水后该江段能够满足部分产漂流性卵鱼类产卵繁殖的生态需求,有利于鱼卵的漂流发育,可能与该江段仍然保留了部分流水生境有关,但与向家坝蓄水前数据相比,产卵规模下降明显(李祥艳等,2022),也明显低于金沙江下游攀枝花江段的 $31.43 \times 10^6$ 粒(王导群等,2019)和巧家江段的 $90.03 \times 10^6$ 粒(周湖海等,2019),主要是因为溪洛渡、向家坝水电站蓄水阻碍了上游河段鱼类早期资源向下漂流的途径,补充作用基本消失,阻隔了坝上、坝下河段鱼类的交流,加之库区淹没作用以及水文情势的改变,造成金沙江下游部分原有产卵场失去功能,是导致宜宾江段鱼卵径流量相对较低的重要原因,而宜宾江段采集到漂流性鱼卵的发育期大部分处于多细胞期至原肠期之间,均漂流来自向家坝坝下江段,也验证了这一结论。

宜宾江段产漂流性卵鱼类的卵径流量在年际间总体呈逐步增加趋势,特别是在2019年后增幅较大,一方面与2019年和2020年采集时间较长有关,另一方面通过2016–2020年监测期间宜宾江段流量变化情况看,2019年和2020年洪峰出现的次数较多,且涨水持续天数更多,可能是和2017年以后溪洛渡–向家坝持续开展了生态调度试验有关,从2019年和2020年鱼卵年平均密度和径流量均高于2016–2018年也能反映出来。生态调度通过营造人造洪峰,以促进四大家鱼、铜鱼等产漂流性卵鱼类产卵繁殖活动的发生。根据已开展的三峡水库和汉江中下游生态调度试验的生态效果,生态调度有效促进了坝下河段鱼类产卵繁殖活动发生和产卵规模的增加(汪登强等,2019;周雪等,2019;徐薇等,2020)。但从宜宾江段产漂流性卵鱼类种群结构上看,主要是以中华沙鳅、吻鮡等产漂流性卵小型鱼类产卵规模增加较为明显,而对水文要素要求较高的圆口铜鱼、长鳍吻鮡、长薄鳅等长距离产漂流性卵鱼类并未监测到,尽管草鱼、铜鱼卵有监测到,但仅为零星分布,与20世纪80年代相比,产卵规模较小(吴国犀等,1988),尚未形成稳定的产卵场和产卵规模,从这方面说明溪

洛渡–向家坝生态调度的实施效果尚需要持续进行长期的监测和评估,且仍需要进一步优化和完善生态调度方案。

### 3.3 宜宾江段鱼类自然繁殖的动态变化

宜宾江段产漂流性卵鱼类自然繁殖活动从5月初开始,此时水温已超过 $18^\circ\text{C}$ ,高峰期主要集中在5月中下旬至6月初,这与长江上游干流其他江段的调查结论基本一致(唐锡良,2010;王红丽等,2015;吕浩等,2019)。从本研究年际变化上看,2018–2020年鱼类自然繁殖高峰期时间相比于2016–2017年有所提前,且繁殖高峰期持续时间延长(图5),可能是自2017年开始,溪洛渡–向家坝–三峡水库开展了联合生态调度试验以及溪洛渡叠梁门分层取水,人造洪峰过程和下泄低温水调控,使得该江段不同年份间水温、流量等发生了较大变化,能够满足鱼类产卵繁殖需求,这与四大家鱼、铜鱼等洄游性鱼类产卵繁殖需要一定涨水过程和水温需求的结论是一致的(易伯鲁和梁秩桑,1964;邱顺林等,2002),表明这些产漂流性卵鱼类的产卵繁殖需要一定的水文条件,而通过生态调度的实施对于促进鱼类繁殖具有重要作用。

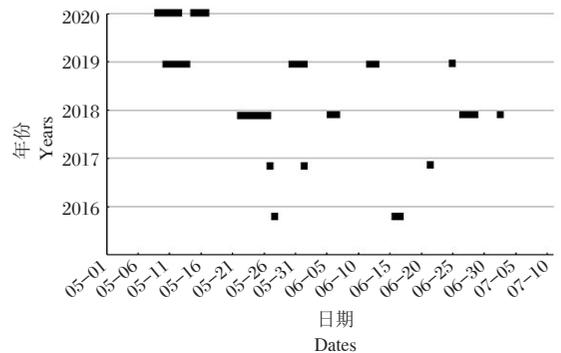


图5 2016–2020年宜宾江段鱼类繁殖时间动态  
Fig.5 Dynamics of fish reproduction time in the Yibin section of Jinsha River

## 4 结论与建议

金沙江下游溪洛渡、向家坝水电站蓄水后,由于生境阻隔和水文情势发生改变等原因,金沙江下游宜宾江段鱼类早期资源种类数减少、产卵量降低,虽然宜宾江段保留的流水生境能够满足部分鱼类产卵繁殖所需的水文条件,使得该江段仍有一定规模的繁殖群体,但主要以产漂流性卵小型鱼类为主。当前,随着金沙江下游乌东德、白鹤滩水电站的蓄水运行以及未来金沙江中上游、雅砻江流域梯级水库的逐步运行,将会进一步改变宜宾江段水温、流量等水文条件,是否会对鱼类产卵繁殖活动产生叠加影响,

值得关注。因此提出如下建议:

(1)持续加强宜宾江段鱼类早期资源监测,针对不同产卵类型和不同繁殖需求鱼类,研究金沙江下游梯级水电开发对其的叠加影响效应,评估生态调度以及“长江十年禁捕”措施实施后的生态效果。

(2)针对梯级水库蓄水运行带来的水温、流量等水文情势变化进行连续观测,并针对性的加强生态调度以及下泄水温调控等方面的基础研究。

(3)强化岷江—金沙江干支流关系的研究,对比在金沙江下游干流水电开发背景下干支流鱼类产卵繁殖特性的差异,加强干支流交汇区生境保护和修复。

### 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.

曹文宣,2019. 长江上游水电梯级开发的水域生态修复问题[J]. 长江技术经济,3(2):5-10.

陈大庆,常剑波,顾洪宾,2005. 金沙江一期工程对保护区生态环境的影响与对策[J]. 长江科学院院报,22(2):21-24.

陈锋,黄道明,赵先富,等,2019. 新时代长江鱼类多样性保护的思考[J]. 人民长江,50(2):13-18.

成都勘测设计研究院,中国科学院水生生物研究所,四川农业科学研究院水产研究所,2003. 金沙江溪洛渡水电站水生生态调查及影响评价专题报告[R].

丁瑞华,1994. 四川鱼类志[M]. 成都:四川科学技术出版社.

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.

高少波,唐会元,陈胜,等,2015. 金沙江一期工程对保护区圆口铜鱼早期资源补充的影响[J]. 水生态学杂志,36(2):6-10.

高天珩,田辉伍,叶超,等,2013. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流段鱼类组成及其多样性[J]. 淡水渔业,43(2):36-42.

高天珩,2016. 长江上游鮡亚科鱼类资源及生境选择策略研究[D]. 重庆:西南大学.

李浩林,赵亚辉,张洁,等,2014. 金沙江下游与长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保护区鱼类物种多样性比较[J]. 淡水渔业,44(6):104-108.

李祥艳,田辉伍,蒲艳,等,2022. 长江上游宜宾江段鱼类早期资源现状研究[J]. 渔业科学进展,43(4):93-104.

吕浩,田辉伍,申绍祎,等,2019. 岷江下游产漂流性卵鱼类早

期资源现状[J]. 长江流域资源与环境,28(3):586-593.

邱顺林,刘绍平,黄木桂,等,2002. 长江中游江段四大家鱼资源调查[J]. 水生生物学报,26(6):716-718.

唐会元,杨志,高少波,等,2014. 金沙江下游巧家江段鱼类生物多样性及群落结构的年际动态[J]. 水生态学杂志,35(6):7-15.

唐锡良,2010. 长江上游江津江段鱼类早期资源研究[D]. 重庆:西南大学.

汪登强,高雷,段辛斌,等,2019. 汉江下游鱼类早期资源及梯级联合生态调度对鱼类繁殖影响的初步分析[J]. 长江流域资源与环境,28(8):1909-1917.

王导群,田辉伍,唐锡良,等,2019. 金沙江攀枝花江段产漂流性卵鱼类早期资源现状[J]. 淡水渔业,49(6):41-47.

王涵,田辉伍,陈大庆,等,2017. 长江上游江津段寡鳞飘鱼早期资源研究[J]. 水生态学杂志,38(2):82-87.

王红丽,黎明政,高欣,等,2015. 三峡库区丰都江段鱼类早期资源现状[J]. 水生生物学报,39(5):954-964.

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.

危起伟,2012. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区科学考察报告[M]. 北京:科学出版社.

吴国犀,刘乐和,王志玲,等,1988. 长江上游金沙江江段草鱼自然繁殖的研究[J]. 淡水渔业,(1):3-6.

肖琼,2015. 金沙江下游水利工程对鳅科鱼类的变动影响[D]. 长沙:湖南农业大学.

徐薇,杨志,陈小娟,等,2020. 三峡水库生态调度试验对四大家鱼产卵的影响分析[J]. 环境科学研究,33(5):1129-1139.

易伯鲁,梁秩桑,1964. 长江家鱼产卵场的自然条件和促使产卵的主要外界因素[J]. 水生生物学集刊,(1):1-15.

易伯鲁,梁秩桑,余志堂,等,1988. 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.

长江水利委员会,2009. 长江流域综合规划(2009年修订)[R]. 武汉.

周湖海,田辉伍,何春,等,2019. 金沙江下游巧家江段产漂流性卵鱼类早期资源研究[J]. 长江流域资源与环境,28(12):2910-2920.

周雪,王珂,陈大庆,等,2019. 三峡水库生态调度对长江监利江段四大家鱼早期资源的影响[J]. 水产学报,43(8):1781-1789.

(责任编辑 万月华)

## Dynamic Changes of Early Stage Fish Resources with Drifting Eggs in Yibin Section of the Lower Jinsha River

HU Xing-kun<sup>1</sup>, SHAO Ke<sup>1</sup>, QUE Yan-fu<sup>1</sup>, ZHU Bin<sup>1</sup>, YE Qing<sup>2</sup>, CHEN Zhi-gang<sup>3</sup>, LI Cheng-cheng<sup>3</sup>,  
XU Huo-qing<sup>4</sup>, LI Wei-tao<sup>1</sup>

(1. Hubei Engineering Research Center of Hydroecology Protection and Restoration,  
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. Shanghai Aquatic Wildlife Conservation and Research Center, Shanghai 202162, P.R.China;

3. Institute of Changjiang Ecological Conservation Co. Ltd, MWR&CAS, Wuhan 430079, P.R.China;

4. Three Gorges Construction Management Co., Ltd, Chengdu 610023, P.R. China)

**Abstract:** The early stage fish resources are the important basis affecting the quantity dynamic of fish community, and they are largely influenced by the regime change resulting from the hydroelectric development. In this study, we explored the population structure and temporal trends of early fish resources at Yibin section of lower Jinsha River, focusing on the species composition, spawning ground distribution and spawning scale. It aimed to assess the ecological effect of the impoundment and operation of Xiluodu and Xiangjiaba hydro-power stations on the early stage fish resources, and provide data to support the native and rare fish species conservation in the upper Yangtze River, maintain the biodiversity of fish community in the lower Jinsha River and the river ecological health. The study was based on the monitoring of fish resources at Yibin section during May to July over five years (2016–2020). The drifting eggs were collected using semicircle nets, and then accounted and identified through molecular biological methods. Results show that a total of 1 139 eggs were collected during the investigation, and 20 fish species belonging to 4 families and 2 orders were identified, with absolute dominance by Cyprinidae (11 species), followed by Cobitidae (5 species). The dominant species were *Rhinogobio typus* and *Pseudolaubuca engraulis*. The number of fish species with drifting eggs was 17, among them, 7 fish species were endemic to the upper Yangtze River. Recruitment of fish eggs in the Yinbin section from 2016 to 2020 were estimated, respectively, as  $7.39 \times 10^6$ ,  $4.26 \times 10^6$ ,  $13.86 \times 10^6$ ,  $30.65 \times 10^6$  and  $19.20 \times 10^6$ , with the average annual recruitment of fish eggs of  $15.07 \times 10^6$  and the drifting eggs of  $9.89 \times 10^6$ , showing an increasing trend. The diversity and similarity indices of fish eggs indicated that the species composition of eggs in Yibin section was relatively stable, with little change between years. There were three spawning grounds of fish species with drifting eggs from the sampling section to the area below Xiangjiaba Dam according to the flow velocity and development of the eggs. Under the influence of cascade development of Jinsha River, Yibin section was still an important area for spawning and breeding of fish species with drifting eggs and comprises a crucial part of the national nature reserve of rare and endemic fish in the upper Yangtze River. However, the eggs collected in Yibin section were dominated by small fish species with pelagic eggs, and the eggs of the long distance migratory fish such as *Coreius guichenoti* and *Rhinogobio ventralis* were not collected. Therefore, we suggested to strengthen the proliferation and release research of fish species such as *Coreius guichenoti* and *Rhinogobio ventralis*, meanwhile, the ecological effect research of the cascade reservoirs in Jinsha River basin on the small fish spawning pelagic eggs should be continued based on their ecological requirements.

**Key words:** early stage fish resources; drifting eggs; Jinsha River; Yibin section