

金沙江下游中华金沙鳅自然繁殖的生态水文需求研究

张登成¹, 王孟¹, 李斐¹, 樊皓¹, 于江², 阮娅¹, 张可可¹

(1. 长江水资源保护科学研究所, 湖北 武汉 430051;

2. 中国三峡建工(集团)有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 开展中华金沙鳅的生态需求研究, 在此基础上制定有针对性的生态调度方案, 为国内外水利水电工程的生态调度提供参考与借鉴。2017–2019年5–7月在金沙江下游巧家断面进行鱼类早期资源调查, 分析中华金沙鳅卵苗径流量与同期水温、流量日上涨量、涨水持续时间等生态水文指标之间的响应关系, 掌握刺激中华金沙鳅自然繁殖的生态水文指标和水温阈值, 在此基础上提出乌东德水电站生态调度运行要求。结果表明: 巧家江段中华金沙鳅产卵高峰期为5月下旬至6月中下旬, 产卵高峰期起始水温不高于19.0°C; 对应的洪峰过程流量日上涨量平均为358 m³/s, 涨水持续天数平均为5 d, 洪峰过程2–3 d后开始大规模产卵; 偏相关分析表明中华金沙鳅卵苗径流量与起始水位呈负相关关系, 与水位日上涨量、涨水持续时间呈正相关关系, 推荐人造洪峰的起始(3–7月)流量为1 160 m³/s, 此时对应的乌东德水电站水位为791.1 m。加大流量日增长率以及增加涨水持续时间, 可有效促进中华金沙鳅产卵繁殖。

关键词: 中华金沙鳅; 繁殖; 生态水文指标; 乌东德水电站

中图分类号: X176 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2024)01-0096-07

中华金沙鳅(*Jinshaia sinensis*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)平鳍鳅科(Balitoridae)金沙鳅属(*Jinshaia*), 为激流底栖小型鱼类, 主要分布于长江上游干支流、金沙江及其支流、雅砻江、岷江、沱江、嘉陵江、乌江、赤水河、大宁河等, 食物组成包括藻类、高等植物碎片、水生昆虫、软体动物等(贾砾, 2013; Zhu & Yang, 2016)。中华金沙鳅为典型的产漂流性卵鱼类, 其产卵对水流涨落和水温变化较为敏感, 产出的受精卵需顺水漂流孵化方可顺利孵化和完成仔幼鱼发育过程(吴金明等, 2010)。中华金沙鳅是乌东德水电站坝下江段重要保护对象(张登成等, 2022)。

乌东德水电站位于金沙江下游干流, 电站装机容量10 200 MW, 多年平均发电量389.3亿kW·h, 工程建设在产生巨大经济效益的同时, 也将对中华金沙鳅等鱼类产卵繁殖造成不利影响, 如坝下江段洪峰弱化对产漂流性卵鱼类繁殖不利, 低温水下泄导致鱼类繁殖期推迟和当年生长期缩短等(Yang et al, 2020)。为减缓电站建设对中华金沙鳅等产漂流

性卵鱼类的不利影响, 《金沙江乌东德水电站环境影响报告书》(长江水资源保护科学研究所, 2015)提出了实施基荷发电、开展人造洪峰、采取叠梁门分层取水等保护措施, 其目的就是通过优化水库调度创造适宜的水温和下泄流量过程, 以满足坝下游江段鱼类产卵繁殖的需求。2015年3月, 原环境保护部以环审[2015]78号文批复了环评报告书, 明确要求在乌东德水电站运行期开展促进鱼类繁殖的生态调度试验。

由于生态调度方案都是针对特定的鱼类种类和繁殖类群而制定的(Sinnathamby et al, 2018; Qiu et al, 2019), 需要对目标鱼类繁殖生态需求有较为深入的研究, 包括鱼类繁殖适宜的水温、水深、流速、流量或水位变化过程以及河床底质、黏附基质、生物群落结构等因子(朱正伟, 2013; Wang et al, 2017)。目前, 国内除中华鲟、四大家鱼等少量鱼类繁殖生态需求相关研究较为深入外(陈永柏等, 2009; 张晓敏等, 2009; Yang et al, 2021), 中华金沙鳅等长江上游特有鱼类自然繁殖需求的研究较为匮乏, 制约了乌东德水电站生态调度方案的制定。此外, 同种鱼类由于地处不同的江段, 其繁殖生态需求也有所不同(刘淑伟等, 2013)。基于此, 本研究通过分析代表性河段水文节律、水温等和中华金沙鳅卵苗径流量响应关系, 开展中华金沙鳅的生态需求研究, 在此基础上制定有针对性的生态调度方案, 以期为国内外水利水电工程的生态调度提供参考与借鉴。

收稿日期: 2022-05-15 修回日期: 2023-10-23

基金项目: 中国长江三峡集团有限公司科研项目(JG/20041B)。

作者简介: 张登成, 男, 工程师, 主要从事水利水电工程环境影响评价、水生态保护与修复研究。E-mail: 569095890@qq.com

通信作者: 王孟, 男, 教授级高级工程师, 主要从事流域水资源保护规划研究。E-mail: 280342187@qq.com

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究选用金沙江乌东德至白鹤滩坝址之间的巧家断面(图1)($110^{\circ}47'58''E, 26^{\circ}36'35''N$)2017–2019年中华金沙鳅早期资源调查数据。巧家断面早期资源调查根据《内陆水域渔业自然资源调查手册》以及相关文献进行,监测网具为圆锥网,调查时间为每年的5–7月,在河流的表层(0.5 m)、中层(1.5 m)、下层(3 m)进行卵苗采集,期间每日持续进行2次监测,分别为上午(7:30–9:30)和下午(16:30–18:30),每次采集10~15 min。漂流经过巧家断面的卵、苗总量计算方法参考易伯鲁等调查方法,相关调查结果引自《金沙江下游流域水生生态监测(2016–2018年)》(中国水产科学研究院长江水产研究所,2018)《金沙江下游流域水生生态监测(2019年)》(水利部中国科学院水工程生态研究所,2019)。

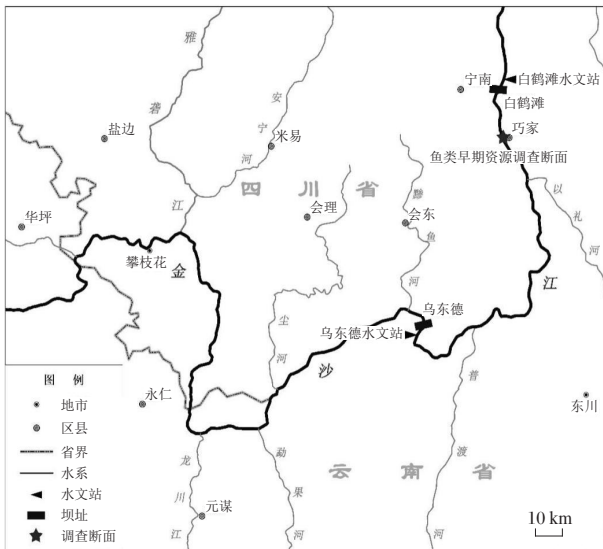


图1 研究区域示意

Fig.1 Schematic diagram of the study area

根据调查,金沙江乌东德坝址至巧家断面之间主要支流有普渡河、小江和以礼河3条,其河口处多年平均流量分别为74.7、49.1、120.8 m^3/s ,而金沙江乌东德坝址处多年平均流量为3 850 m^3/s 。3条支流多年平均流量占巧家断面多年平均来流量的比例仅为5.97%,可见巧家断面的来流量主要取决于金沙江干流乌东德坝址处的来流量。考虑到人造洪峰调度过程主要通过乌东德水电站持续加大下泄流量来实现,因此本研究选取乌东德水文站2017–2019年的逐日流量、水温等基础数据,以此分析刺激中华金沙鳅等产卵繁殖所需的水温条件以及下泄流量过程要求。

1.2 分析方法

根据巧家断面2017–2019年中华金沙鳅产卵高峰期对应监测时段水文资料,参考张晓敏等(2009)、王珂等(2019),将洪水过程分成不同的要素以模拟鱼类自然繁殖所需要的水文条件,选择洪峰初始流量、洪峰期末流量、流量日上涨量、洪峰初始水位、洪峰期末水位、水位日上涨量、涨水持续时间等生态水文指标进行研究。考虑到各年份参与产卵繁殖的中华金沙鳅亲本数量的差异,本研究采用偏相关分析中华金沙鳅卵苗径流量与生态水文指标之间的相关性。在此基础上,统计中华金沙鳅产卵高峰期的卵苗径流量、产卵高峰起止时间以及同期乌东德水文站的涨水起止时间、洪峰起始流量、期末流量、流量日上涨量、初始水位、期末水位、水位日上涨量等,以卵苗径流量为权重对生态水文指标进行加权处理,求得刺激中华金沙鳅自然繁殖的水文过程条件。

由于水温是影响鱼类产卵时机以及产卵规模等的关键生态因子(Tonkin et al, 2019),本研究除了对生态水文指标进行分析外,同时也对刺激中华金沙鳅自然繁殖的水温因子进行分析。对应于中华金沙鳅集中产卵繁殖期,分析同期乌东德水文站的水温资料,并结合已有的关于中华金沙鳅产卵水温需求的研究成果,综合确定其产卵繁殖期对水温的需求。统计分析通过Excel 2016和SPSS 19.0软件完成。

2 结果与分析

2.1 巧家断面中华金沙鳅早期资源

采用形态学和分子生物学手段对采集的鱼卵和鱼苗种类进行鉴定,2017年巧家断面共鉴定出产漂流性卵鱼类8种,分别为短身金沙鳅(*Jinshaia bbreviata*)、寡鳞飘鱼(*Pseudolaubuca engraulis*)、红唇薄鳅(*Leptobotia rubrilaris*)、犁头鳅(*Lepturichthys fimbriata*)、圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、长薄鳅(*Leptobotia elongata*)、中华金沙鳅、中华沙鳅(*Botia superciliaris*);2018年共鉴定出产漂流性卵鱼类12种,分别为短身金沙鳅、犁头鳅、银飘鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)、圆筒吻鮡(*Rhinogobio cylindricus*)、异鳔鳅鲃(*Xenophysogobio boulengeri*)、中华金沙鳅、寡鳞飘鱼、长薄鳅、红唇薄鳅、中华沙鳅、圆口铜鱼、圆尾拟鲢(*Pseudobagrus tenuis*);2019年共鉴定出产漂流性卵鱼类10种,分别为长鳍吻鮡(*Rhinogobio ventralis*)、中华金沙鳅、寡鳞飘鱼、翘嘴鲃(*Culter alburnus*)、长薄鳅、中华沙鳅、圆口铜鱼、裸体异鳔鳅鲃(*Xenophysogobio nudicorpa*)、犁头鳅、红唇薄鳅。其中,2017–2019年巧家断面均监

测到的产漂流性卵鱼类包括寡鳞飘鱼、红唇薄鳅、犁头鳅、圆口铜鱼、长薄鳅、中华金沙鳅、中华沙鳅等 7 种。

2017–2019 年通过巧家断面的鱼类卵苗径流量分别为 1.29×10^7 、 1.56×10^8 、 1.51×10^8 粒(尾), 其中中华金沙鳅卵苗径流量呈增加趋势, 2017–2019 年中华金沙鳅卵苗径流量分别为 1.29×10^6 、 1.57×10^7 、 3.29×10^7 粒(尾), 占比分别为 10%、10.1% 和 21.8%, 见表 1。

表 1 金沙江巧家断面鱼类早期资源卵苗径流量结果

Tab.1 Egg and fry runoff in the Qiaojia section of Jinsha River (2017–2019)

年份	漂流性卵鱼类 卵苗径流量/粒(尾)	中华金沙鳅 卵苗径流量/粒(尾)	中华金沙鳅卵苗 径流量占比/%
2017	1.29×10^7	1.29×10^6	10.0
2018	1.56×10^8	1.57×10^7	10.1
2019	1.51×10^8	3.29×10^7	21.8

2.2 中华金沙鳅自然繁殖对水温的需求

2017–2019 年巧家断面中华金沙鳅产卵高峰期对应的水温统计结果见图 2。2017–2019 年巧家断面中华金沙鳅共出现了 6 次产卵高峰过程, 集中在 5 月下旬至 6 月中下旬, 每次持续时间为 2~5 d, 卵苗径流量

为 $5.64 \times 10^5 \sim 6.11 \times 10^6$ 粒(尾), 产卵高峰期对应的乌东德水文站水温均在 19.0°C 以上, 且不超过 22.7°C 。

2.3 中华金沙鳅自然繁殖对水文过程的需求

2017–2019 年调查期间, 巧家断面分别出现 2、1 和 3 次产卵高峰(图 3), 卵苗径流量分别为 251.4、590、1 341 万粒(尾), 卵苗径流量呈现逐年增加趋势, 2019 年鱼卵总量比 2018 年增加了 56%。

中华金沙鳅产卵高峰期期间巧家断面均出现了不同程度的洪峰过程(图 4), 且变化趋势存在一定的相似性。通过构建洪峰期间中华金沙鳅卵苗径流量与同期日均流量、日均水位等的响应关系曲线, 可以发现 2017–2019 年中华金沙鳅产卵高峰期均伴随有明显的洪峰过程, 通常在洪峰过程中或洪峰后出现产卵高峰期。中华金沙鳅产卵高峰期通常出现在水位开始上涨后 1~4 d, 平均滞后洪峰过程 2 d 左右。

中华金沙鳅卵苗径流量与水文过程响应关系见表 3。卵苗高峰期对应的乌东德水文站起始流量为 $1\ 860 \sim 2\ 950\ \text{m}^3/\text{s}$, 平均 $2\ 385\ \text{m}^3/\text{s}$; 涨水期末流量为 $2\ 910 \sim 8\ 710\ \text{m}^3/\text{s}$, 平均期末流量为 $4\ 186\ \text{m}^3/\text{s}$; 流量日上涨量为 $130 \sim 960\ \text{m}^3/\text{s}$, 平均 $358\ \text{m}^3/\text{s}$; 起始水位为 $792.9 \sim$

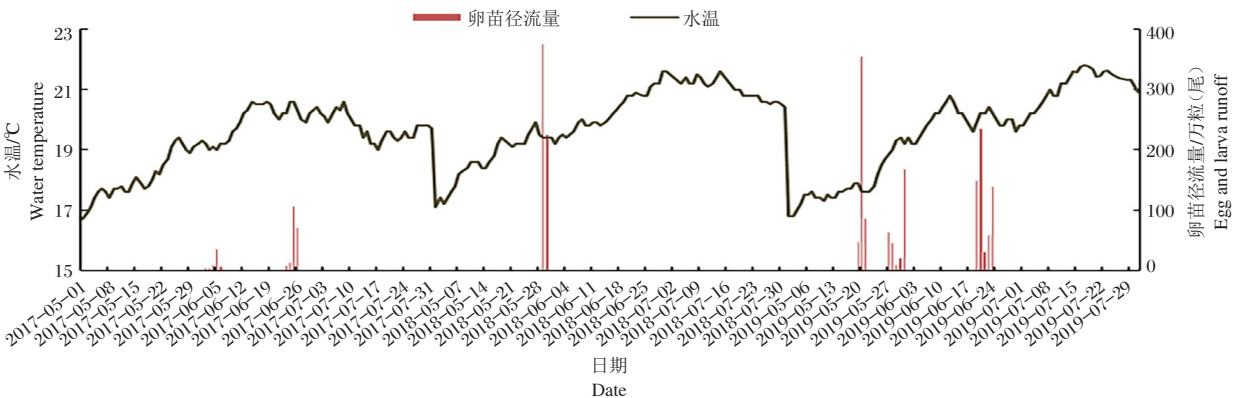


图 2 乌东德水文站 2017–2019 年日均水温过程

Fig.2 Daily variation of average water temperature at Wudongde Hydrological Station during 2017 to 2019

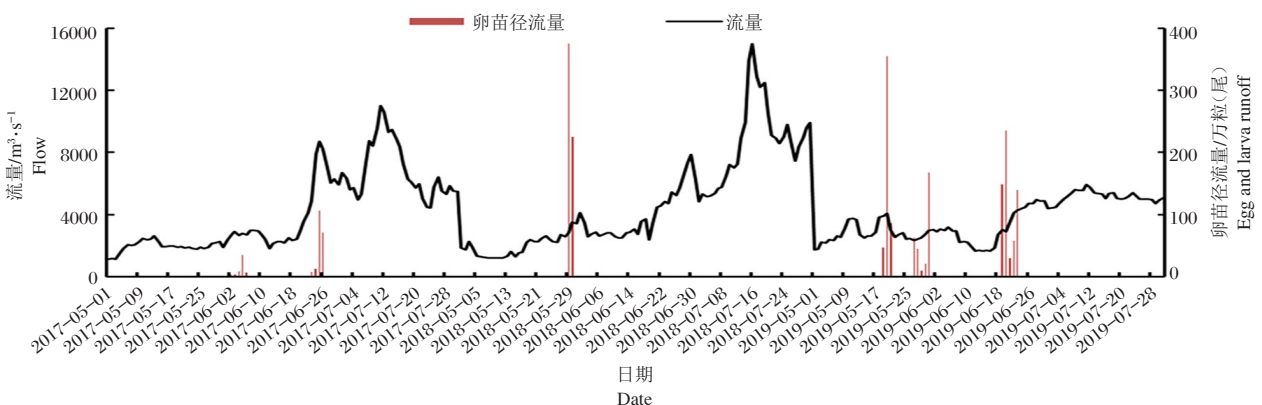


图 3 乌东德水文站 2017–2019 年日均流量过程

Fig.3 Daily variation of average flow at Wudongde Hydrological Station during 2017 to 2019

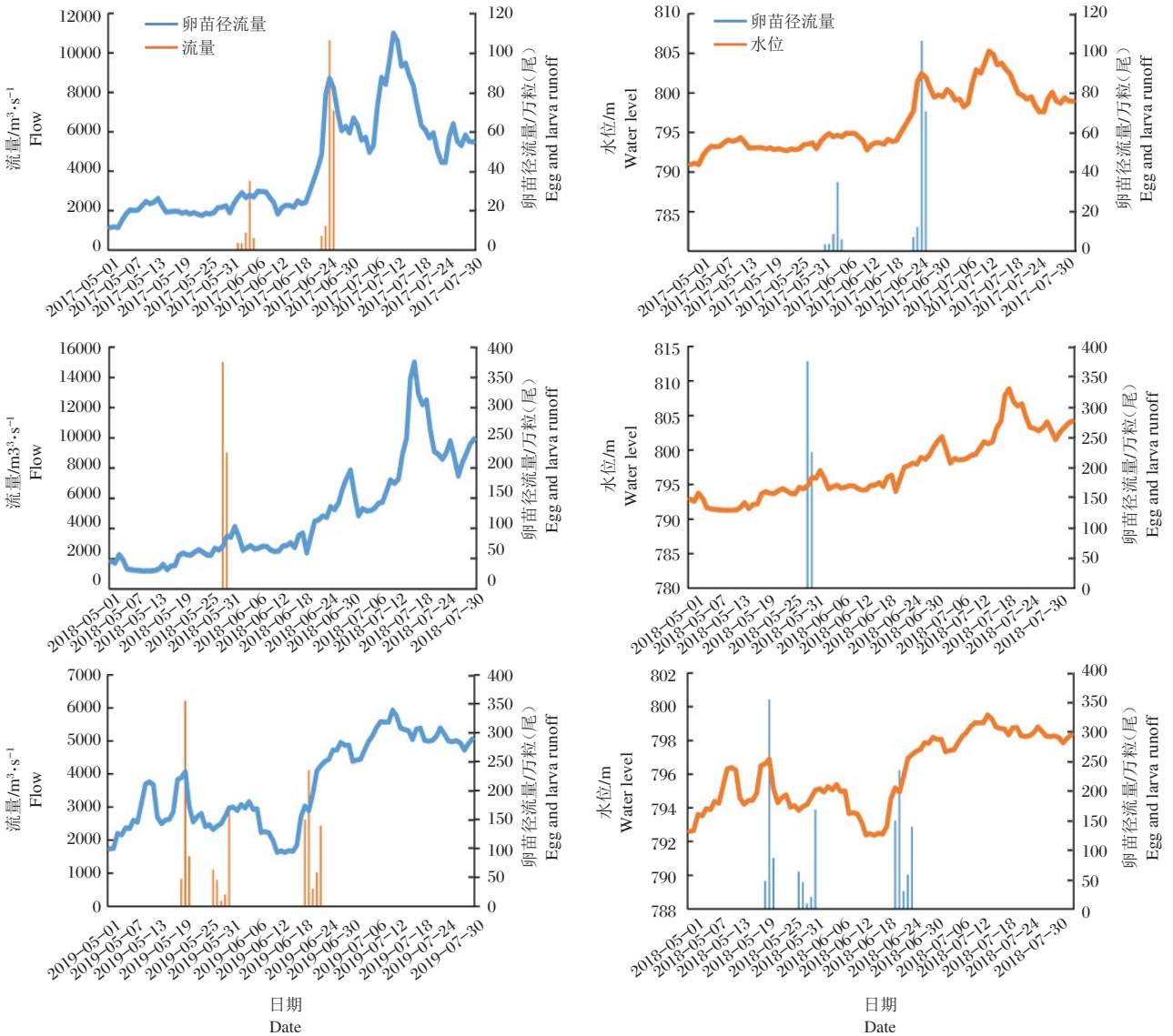


图4 巧家断面中华金沙鲈卵苗径流量与日均流量和日均水位的响应关系

Fig.4 Response relationship between egg and fry runoff of *J. sinensis* and the daily average flow and daily average water level

表3 中华金沙鲈卵苗径流量与水文过程响应分析

Tab.3 Response analysis of egg and fry runoff of *J. sinensis* to the hydrological parameters

年份	高峰 起止日期	卵苗径流量 /万粒(尾)	涨水 起止时间	产卵 滞时/d	起始 流量/m ³ ·s ⁻¹	期末 流量/m ³ ·s ⁻¹	流量 上涨量/m ³ ·s ⁻¹	起始 水位/m	期末 水位/m	日上 涨水位/m	涨水 时长/d
2017	06.02-06.06	56.43	06.01-06.03	1	2360	2910	183	793.88	794.88	0.33	3
2017	06.23-06.26	195	06.20-06.25	3	2950	8710	960	794.94	802.46	1.25	6
2018	05.29-05.30	590	05.28-05.30	1	2570	3500	310	794.38	796.01	0.54	3
2019	05.19-05.21	488	05.16-05.20	4	2630	4070	288	794.45	796.89	0.49	5
2019	05.28-05.30	242	05.27-05.31	1	2320	2970	130	793.85	795.06	0.24	5
2019	06.19-06.23	611	06.17-06.22	3	1860	4100	373	792.90	796.92	0.67	6

794.94 m, 平均 793.96 m; 涨水期末水位为 794.88~802.46 m, 平均为 796.9 m; 水位日上涨量为 0.24~1.25 m, 平均 0.59 m; 涨水持续天数为 3~6 d, 平均涨水天数 5 d。

考虑到不同年份参与产卵繁殖的亲本量可能存在差异, 进而对卵苗径流量产生影响, 因此本研究采取偏相关分析了卵苗径流量与水文指标之间的关系

(表 4)。结果表明,中华金沙鳅的卵苗径流量与起始水位呈负相关关系,与水位日上涨量、涨水持续时间呈正相关关系。2017 年第 2 次产卵高峰期洪峰过程的水位日上涨量、涨水持续时间为第 1 次产卵高峰期的 3.8 倍和 2 倍,而卵苗径流量为第 1 次产卵高峰期的 3.5 倍;2019 年第 3 次产卵高峰期洪峰过程的水位日上涨量、涨水持续时间分别为第 1 次和第 2 次产卵高峰期的 1.4 倍、1.2 倍和 2.8 倍、2 倍,而卵苗径流量分别为前 2 次产卵高峰期的 1.3 倍和 2.5 倍。说明当金沙江下游水温达到中华金沙鳅产卵水温阈值后,适当降低乌东德水电站出库流量、加大流量日增长率并延长涨水持续时间,有助于更好地刺激中华金沙鳅产卵繁殖。

表 4 中华金沙鳅卵苗径流量与生态水文指标的偏相关分析

Tab.4 Partial correlation analysis between egg and fry runoff of *J. sinensis* and eco-hydrological parameters

水文指标	起始流量	期末流量	流量日上涨量	起始水位	期末水位	水位日上涨量	涨水持续时间
偏相关系数	-0.112	0.531	0.614	-0.153*	0.574	0.710*	0.912*

注:* $P < 0.05$ 。

Note:* denotes a significant correlation $P < 0.05$ 。

3 讨论

3.1 中华金沙鳅自然繁殖水温需求

水温是鱼类进行繁殖活动的必要条件(Tonkin et al, 2019),不同鱼类均有其产卵下限温度(王导群等,2019)。本研究指出金沙江下游中华金沙鳅产卵高峰起始水温不低于 19.0℃,这与王导群等(2019)的报道较为一致,王导群等于 2016–2018 年在金沙江攀枝花市银江镇开展鱼类早期资源调查,采集到中华金沙鳅等产漂流性卵鱼类的受精卵和仔幼鱼,结合同期江水水温判断该江段中华金沙鳅繁殖期集中在 6 月中旬至 7 月,对应的水温变动范围为 18.6~21.7℃,繁殖盛期为 20.4~21℃。

不同江段中华金沙鳅繁殖水温有所不同,总体上看中华金沙鳅繁殖时期和繁殖适宜水温从上游至下游呈沿程递增趋势。王芊芊(2008)研究表明,中华金沙鳅在赤水河的繁殖时间集中在 6 月上旬至 7 月下旬,水温和水位涨落是影响繁殖的主要环境因素,其繁殖期水温为 19.4~27.8℃,高于本研究结果,这可能与赤水河位于本研究区域的下游、同期水温相对较高有关;刘淑伟等(2013)在云南省玉龙县大具乡渡口断面开展鱼类早期资源调查,调查期间中

华金沙鳅出现卵汛 2 次,分别为 8 月 1 日–8 月 4 日以及 8 月 9 日–8 月 13 日,根据胚胎发育经历时间以及江段平均流速推算,虎跳峡以上的金沙江中、上游江段分布有中华金沙鳅的产卵场,其繁殖期集中在 8 月。根据石鼓水文站多年(1960–2009 年)实测长系列水温资料,石鼓水文站断面 8 月多年平均水温为 17.2℃,据此可初步判断金沙江上游中华金沙鳅群体繁殖水温阈值低于 17.2℃,相对于金沙江下游、赤水河等繁殖群体繁殖期较晚,其原因可能是金沙江上游江段海拔较高,同期水温上升滞后于金沙江下游江段以及赤水河等支流,故其繁殖期相应推迟。

3.2 中华金沙鳅繁殖水文过程需求

鱼类的繁殖活动与其所处的生境密切相关,其产卵受到江水流量、水位、流速、水温等多方面影响(段辛斌等,2008),其中持续流量和水位上涨过程是刺激中华金沙鳅产卵的重要条件。本研究中,2017 年 2 次产卵高峰、2018 年 1 次产卵高峰、2019 年 3 次产卵高峰期间,流量、水位维持一定的日上涨量,涨水持续时间 3~6 d。这表明,特定时段流量持续增加和水位持续上涨能在一定程度上有效促进金沙江下游江段中华金沙鳅的产卵繁殖。本研究结果与金沙江上游(刘淑伟等,2013)、金沙江中游(王导群等,2019)、赤水河(王芊芊,2008)等江段的研究结论一致。同时,由于中华金沙鳅为产漂流性卵鱼类,其受精卵产出后吸水膨胀,比重略大于水,因此需要有一定的流速维持其漂流状态,否则鱼卵将下沉导致缺氧死亡(吴金明等,2010)。特定时段流量的持续增加促进了江水流速的增加,有助于鱼卵顺水漂流孵化并完成仔幼鱼发育。

本研究的流量数据来源于乌东德水文站(位于乌东德坝下 4.8 km 处),并不能直接代表巧家江段的流量变化情况,但通过流量与鱼卵苗径流量的变化图可以发现,巧家断面的卵苗径流量会在乌东德水文站断面涨水之后 1~4 d 出现高峰期。因此,巧家断面中华金沙鳅产卵繁殖与一定的洪水过程刺激是密切相关的。

本研究采用的鱼类早期资源调查资料时限为 2017–2019 年,建议下阶段以长序列鱼类卵苗径流量与生态水文因子之间的响应关系为基础,进一步复核中华金沙鳅产卵繁殖对水温和水文过程的需求。此外,通过在生态调度期间同步进行鱼类早期资源以及水温、水文过程等的监测,并开展效果评估,可据此优化乌东德水电站生态调度方案,从而使生态调度方案日益完善。

需要指出的是,本次生态调度方案仅考虑乌东德水电站调度运行,实际上人造洪峰过程还受到下游梯级调度运行的影响。尤其是实施人造洪峰后,乌东德坝下江段产漂流性卵鱼类受精卵漂流孵化所需要的 $>0.2\text{ m/s}$ 流水江段长度会受到下游白鹤滩水电站调度运行的影响。为切实保护中华金沙鳅等特有鱼类资源,建议下阶段开展金沙江下游梯级联合生态调度研究。

4 结论

(1)金沙江下游巧家江段中华金沙鳅卵苗高峰期在5月底至6月中下旬,产卵高峰起始水温不低于 19.0°C ,且适宜水温不超过 22.7°C 。

(2)通常在乌东德水文站洪峰过程2~3 d后中华金沙鳅开始大规模产卵,其产卵规模与洪峰起始水位、水位日上涨量、涨水持续时间等特征要素有关。通过适当降低洪峰过程的起始流量、加大流量日增长率以及增加涨水持续时间,更有利于刺激中华金沙鳅产卵繁殖。

(3)为满足乌东德坝下江段中华金沙鳅等产漂流性卵鱼类繁殖需求,在5月底至6月底之间,当坝下江段水温达到 19.0°C 以上时,即可伺机开展人造洪峰生态调度试验,推荐洪峰过程起始流量为 $1\ 160\text{ m}^3/\text{s}$ (即乌东德水电站3~7月的生态基流,此时对应的乌东德水文站水位为 791.1 m),流量日上涨量为 $358\text{ m}^3/\text{s}$,涨水持续天数5 d。

参考文献

长江水资源保护科学研究所,2015.金沙江乌东德水电站环境影响报告书[R].武汉:长江水资源保护科学研究所.

陈永柏,廖文根,彭期冬,等,2009.四大家鱼产卵水文水动力特性研究综述[J].水生态学杂志,2(2):130-133.

段辛斌,陈大庆,李志华,等,2008.三峡水库蓄水后长江中游产漂流性卵鱼类产卵场现状[J].中国水产科学,15(4):523-532.

贾砾,2013.长江宜宾段中华金沙鳅食性与生长研究[D].重庆:西南大学.

刘淑伟,杨君兴,陈小勇,2013.金沙江中上游中华金沙鳅(*Jinshaia sinensis*)产卵场的发现及意义[J].动物学研究,34(6):626-630.

水利部中国科学院水工程生态研究所,2019.金沙江下游流域水生生态监测(2019年)[R].武汉:水利部中国科学院水工程生态研究所.

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.

王珂,周雪,陈大庆,等,2019.四大家鱼自然繁殖对水文过程的响应关系研究[J].淡水渔业,49(1):66-70.

王芊芊,2008.赤水河鱼类早期资源调查及九种鱼类早期发育的研究[D].武汉:华中师范大学.

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.

张晓敏,黄道明,谢文星,等,2009.汉江中下游“四大家鱼”自然繁殖的生态水文特征[J].水生态学杂志,2(2):126-129.

中国水产科学研究院长江水产研究所,2018.金沙江下游流域水生生态监测(2016-2018年)[R].武汉:中国水产科学研究院长江水产研究所.

朱正伟,2013.长江中游四大家鱼典型产卵场的生态水力学特征空间变异研究[D].武汉:华中农业大学.

Qiu J, Wei J H, Jiang H, et al, 2019. Ecohydrological evaluation for fish spawning based on fluctuation identification algorithm (FIA)[J]. Ecological Modelling, 402:35-44.

Sinnathamby S, Douglas-Mankin K R, Mucche M E, et al, 2018. Ecohydrological index, native fish, and climate trends and relationships in the Kansas River basin[J]. Ecohydrology:e1909.

Tonkin Z, Stuart I, Kitchingman A, et al, 2019. Hydrology and water temperature influence recruitment dynamics of the threatened silver perch *Bidyanus bidyanus* in a regulated lowland river[J]. Marine and Freshwater Research, 70(9):1333-1344.

Wang P F, Shen Y X, Wang C, et al, 2017. An improved habitat model to evaluate the impact of water conservancy projects on Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) spawning sites in the Yangtze River, China [J]. Ecological Engineering, 104:165-176.

Yang B, Dou M, Xia R, et al, 2020. Effects of hydrological alteration on fish population structure and habitat in river system: A case study in the mid-downstream of the Hanjiang River in China[J]. Global Ecology and Conservation, 23(5):e01090.

Yang Z, Zhu Q, Cao J, et al, 2021. Using a hierarchical model framework to investigate the relationships between fish spawning and abiotic factors for environmental flow management[J]. Science of The Total Environment, 787:147618.

Zhu T B, Yang D G, 2016. Length-weight relationships of two fish species from the middle reaches of the Jinsha River, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 32(4):747-748.

Eco-hydrological Characteristics for Natural Reproduction of *Jinshaia sinensis* in the Lower Jinsha River

ZHANG Deng-cheng¹, WANG Meng¹, LI Fei¹, FAN Hao¹, YU Jiang², RUAN Ya¹, ZHANG Ke-ke¹

(1. Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, P.R. China;

2. China Three Gorges Construction Engineering Corporation, Chengdu 610041, P.R. China)

Abstract: *Jinshaia sinensis*, a key protected fish species in the river section below the dam of Wudongde Hydropower Station. *J. sinensis* is typical of the species producing pelagic eggs and spawning is sensitive to changes of water temperature and fluctuations of water flow. In this study, we analyzed the relationship of egg and fry emergence and eco-hydrological parameters during spawning season and identified the ecological conditions associated with *J. sinensis* spawning. Our aim was to identify the key eco-hydrological parameters and water temperature threshold that stimulates natural reproduction of *J. sinensis* in the lower reaches of Jinsha River and to provide a reference for the ecological operation of Wudongde Hydropower Station. The study was based on the early fish resource investigation carried out in the Qiaojia section of lower Jinsha River from 2017 to 2019. From May through July, daily sampling of eggs and fry was conducted at depths of 0.5 m, 1.5 m and 3 m below the water surface. Data on daily water flow and temperature were obtained from the Wudongde Hydrological Station. Results show that egg and fry runoff of *J. sinensis* in the Qiaojia section trended upward during 2017–2019, with respective egg counts of 1.29×10^6 , 1.57×10^7 , 3.29×10^7 . *J. sinensis* spawning in the Qiaojia section peaked six times during the investigation period, with peak values ranging from 5.64×10^5 to 6.11×10^6 eggs. The spawning peaks occurred from late May to late June and lasted 2–5 days. The initial water temperature for spawning peaks was at least 19.0°C , the average daily flow increase was $358 \text{ m}^3/\text{s}$, and the average flooding period was 5 days. Large scale spawning occurred 2–3 days after the flood peak. Partial correlation analysis shows a negative correlation between *J. sinensis* egg/fry runoff and initial water level, and a positive correlation with the daily increase in water level and the duration of flooding. Therefore, to effectively promote *J. sinensis* spawning, we recommend that the initial flow of the artificial flood peak and water level at Wudongde Hydrological Station should be set at $1\ 160 \text{ m}^3/\text{s}$ and 791.1 m, and that the daily increase in water flow be intensified and the duration time of flooding be extended.

Key words: *Jinshaia sinensis*; reproduction; eco-hydrology parameters; Wudongde Hydropower Station