DOI:10.15928/j.1674-3075.2019.06.002

银盘电站蓄水前后乌江下游产漂流性卵鱼类自然繁殖变化

徐 薇[1],杨 志[1],万 力[2],唐会元[1],陈小娟[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.长江中游水文水资源勘测局,湖北 武汉 430010)

摘要:为了探究水电开发对流域鱼类资源的影响,遏制生物多样性衰退的趋势,2009-2015年5-7月对乌江下游干流漂流性鱼卵进行阶段性调查,初步分析银盘电站蓄水前后产漂流性卵鱼类的自然繁殖变化。结果表明,调查期间共采集到鱼卵12种,包括犁头鳅(*Lepturichthys fimbriata*)、中华金沙鳅(*Jinsha sinensis*)、中华沙鳅(*Botia superciliaris*)、圆筒吻鮈(*Rhinogobio cylindricus*)、吻鮈(*Rhinogobio typus*)、长鳍吻鮈(*Rhinogobio ventralis*)、蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)、花斑副沙鳅(*Parabotia fasciata*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)和蒙古鲌(*Culter mongolicus*)。漂流性鱼卵年资源量为1 012.99万~18 673.97万粒,鱼类产卵场自上而下分布有彭水、高谷、江口(杨家沱)、武隆(石鼻子)、土坎(桃子沟)、羊角共6处。银盘电站蓄水后,乌江下游产漂流性卵鱼类的自然繁殖较蓄水前发生了显著变化。种类组成中,典型的流水生境繁殖类群减少,缓静水生境繁殖类群增加;产卵规模显著下降,以长鳍吻鮈、铜鱼、圆筒吻鮈、中华金沙鳅的减少尤为显著;产卵场减少并逐步往坝下压缩,数量由6处减少至3处,长度由35 km减少至18 km,位于银盘库区的彭水、高谷产卵场消失,江口产卵场规模显著缩小。产漂流性卵鱼类的大规模产卵都在涨水时发生,不同种类产卵对水文条件的要求有所差异,大坝建设引起的栖息地萎缩和水文情势改变是导致乌江下游漂流性卵鱼类早期资源衰退的主要原因。建议采用水库生态调度补偿措施,通过合理下泄生态流量,加大脉冲流量和流水江段长度来满足重要鱼类的繁殖和早期发育需求,并结合人工增殖放流、鱼类基础监测和生态学研究等综合手段,强化乌江下游鱼类资源的生态修复。

关键词:漂流性卵;乌江;银盘电站;生态调度

中图分类号:Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2019)06-0008-08

乌江为长江上游右岸最大的一级支流,横贯贵州省中北部,流经重庆市东南部,至涪陵区汇入长江,乌江干流全长1 037 km,流域水资源总量为551亿 m^3,是全国十大水电基地之一(中国河湖大典,2010)。乌江干流规划12级开发方案,目前除了最后一个梯级白马水电站未建以外,上游其他梯级已全部建成发电。乌江干流自思南以下为下游河段,包括沙沱、彭水、银盘和白马4座梯级水电站,其中银盘水电站位于杨家沱河段,坝址位于重庆市武隆县江口镇上游4 km处,银盘水库库尾达到其上游53 km处的彭水水电站,其下游有规划中的白马梯级,是兼顾彭水水电站的反调节任务和渠化航道的枢纽工程。彭水水电站于2008年下闸蓄水,银盘水电站于2011年4月初下闸蓄水,2012年5月完成终期蓄水。受彭水水库调度运行的影响,银盘坝下江段水位变化更为频繁,加之梯级水电开发带来的阻隔和生境破碎化,对生存于此的鱼类等水生生物的影响值得进一步关注。

20世纪90年代的《四川鱼类志》记载,乌江下游分布着114种鱼类(丁瑞华,1994);之后,但胜国等(2004)在乌江下游不同江段累计采集到55种鱼类;水工程生态研究所基于2006-2013年渔获物调查,共采集到105种(肖琼等,2015)。当前,受经济发展和人类活动的影响,乌江下游的生态环境发生了很大变化,其鱼类群落结构受到严重干扰。例如,彭水电站蓄水前后,急流性鱼类的优势种地位丧失,Margalef丰富度指数大幅下降,加上不合理的捕捞方式,生物多样性处于衰退趋势(杨志等,2011)。以往对乌江鱼类的研究侧重于渔民捕捞渔获物的调

收稿日期:2018-04-27

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0402204);国家自然科学基金(51609156);国家重大水利工程建设基金安排项目(12620200600018J001;12620200600018J003);水利部公益性行业科研专项经费项目(201501001);水利部三峡工程管理司委托项目"三峡库区鱼类资源保护的生态调度综合技术研究(2018年度)"。

作者简介:徐薇,1984年生,女,副研究员,主要从事鱼类早期资源研究,E-mail: betty3115@126.com

通信作者:杨志。E-mail: yangzhi4626@163.com

查，而鱼类早期资源调查更能真实、全面反映出鱼类资源的变动情况。为了进一步探究水电开发对该区域鱼类资源的影响，利用网具采集漂流性鱼卵的方法，在银盘水电站蓄水前后，对乌江下游彭水至白马江段的鱼类早期资源开展了较为系统的调查，旨在掌握产漂流性卵鱼类早期资源的变化趋势，以期为缓解水电开发对乌江下游鱼类资源的影响提出科学决策依据。

1　材料和方法

1.1　采样方法和步骤

采用常规的江河鱼类早期资源调查方法，在重庆市武隆县白马镇江段设置固定断面采集漂流性鱼卵，了解产漂流性卵鱼类的自然繁殖变化。该断面距离上游银盘坝址约 40 km，距离下游乌江河口约 45 km。用弶网进行表层定量采集，网口呈半圆形，网衣为圆锥体形，直径 1.0m，网长 2.0 m，网口面积 0.4 m^2，网眼 40 目。收集鱼卵的网箱长 0.4 m，宽、高均为 0.3 m，由矩形木框支撑成长方体形状，网箱的近底部开一个圆形口，用于与弶网尾端连接。

采样时间包括银盘水电站蓄水前 2009 年、蓄水期 2011 年、蓄水后 2013－2015 年，监测时间主要在每年的 5 月中旬至 7 月中旬，持续 40 d 以上。分为定点定量采集和断面定量采集两部分。定点监测在白马镇江段设置 1 个固定采样点，每日早、晚分 2 次采集鱼卵，每次采样 30～60 min，记录采集时间、卵苗数量、发育期等，同步测量网口流速、水温、透明度等水文数据。

断面监测是在鱼卵出现高峰时期对采样点所在断面进行采样，获得鱼卵数量及其断面分布情况。野外采集到的鱼卵带回室内，放在合适的器皿中进行培养，5～7 d 后孵化出仔鱼，培育至能够通过形态特征鉴定到种类（通常为鳔一室期），仔鱼的种类鉴定参考相关文献（易伯鲁等，1988；曹文宣等，2007）。

1.2　数据处理和分析

根据逐日采集的卵苗数量、采集时间、网口面积和流速数据计算卵苗密度，以逐日断面平均流量数据推算卵苗日径流量，用来反映卵苗资源量的日变化。监测期间，逐日卵苗资源量的加和，用来反映鱼类的产卵规模。根据鱼卵发育时间和江段的平均流速反推鱼卵的漂流距离，用来反映鱼类的产卵江段。参考曹文宣等（2007）的方法，鱼类卵苗资源量估算方法如下。

（1）采集期间卵苗密度：

$$d=\frac{n}{S\times v\times t}$$

式中：d 为采集过程中单位水体体积通过网口的卵苗密度（个/m^3）；n 为采集过程中累计获得的卵苗数量（个）；S 为网口面积（m^2）；v 为网口流速（m/s）；t 为采集持续时间（s）。

（2）卵苗断面流量系数：

$$C=\frac{\sum\overline{d}}{d_1}$$

式中：C 为卵苗平均密度相比系数；d_1 为固定采样点的卵苗密度（个/m^3）；$\overline{d}$ 为某断面各采样点的卵苗平均密度（个/m^3）。

（3）采集期间的卵苗径流量：

$$M_i=d_i\times Q_i\times C$$

式中：M_i 为第 i 次采集时段内通过该江断面的卵苗数（个）；d_i 为第 i 次采集的卵苗密度（个/m^3）；Q_i 为第 i 次采集时的断面流量（m^3/s）；C 为卵苗平均密度相比系数。

（4）非采集期间的卵苗径流量（用相邻两次采集的卵苗径流量及其间隔时间进行插补计算）：

$$M_{i,i+1}=(M_i/t_i+M_i+1/t_{i+1})t_{i,i+1}/2$$

式中：$M_{i,i+1}$ 为第 i 与第 $i+1$ 次采集时间间隔内的卵苗径流量（个）；$t_{i,i+1}$ 为第 i 次和第 $i+1$ 次采集时间间隔（min）。

（5）卵苗总径流量（M）：

$$M=\sum M_i+\sum M_{i,i+1}$$

式中：M 为某一时间段内卵苗总径流量。

（6）产卵场位置：

$$D=V\times T\times 3.6$$

式中：D 为鱼卵漂流距离（km）；V 为江段平均流速（m/s）；T 为相应水温条件下“四大家鱼”胚胎发育时长（h）。早期资源监测断面以上距离 D（km）的位置即为推算的产卵场。

2　结果和分析

2.1　种类组成及变化

2009 年、2011 年、2013－2015 年 5－7 月调查期间，各年采集到漂流性鱼卵分别为 3 052 粒、479 粒、386 粒、462 粒和 578 粒，经鉴定共有 12 种，分别为犁头鳅（*Lepturichthys fimbriata*）、中华金沙鳅（*Jinshaia sinensis*）、中华沙鳅（*Botia superciliaris*）、圆筒吻鮈（*Rhinogobio cylindricus*）、吻鮈（*Rhinogobio typus*）、长鳍吻鮈（*Rhinogobio ventra-*

lis)、蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)、花斑副沙鳅(*Parabotia fasciata*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)和蒙古鲌(*Culter mongolicus*);其中,翘嘴鲌、蒙古鲌的卵为弱黏性,在流水中可漂流发育。根据鱼卵种类组成年际变化可知(表1),银盘水库蓄水前的2009年产漂流性卵鱼类共有11种,2011年开始蓄水运行时,漂流性鱼卵下降到7种,减少的种类包括圆筒吻鮈、长鳍吻鮈、铜鱼、中华倒刺鲃;银盘蓄水运行的2013-2015年,产漂流性卵鱼类维持在7~8种,其中犁头鳅、吻鮈、蛇鮈、花斑副沙鳅、翘嘴鲌和蒙古鲌在每年均有出现。总之,与蓄水前相比,中华沙鳅、铜鱼、长鳍吻鮈的产卵场在银盘水库蓄水运行后基本消失,而银盘水库蓄水运行后,蒙古鲌在该区域形成新的产卵场。

表1 乌江下游白马断面漂流性鱼卵种类组成及其年际变化

Tab.1 Species composition of pelagic eggs in different years in the Baima section of lower Wujiang River

种类	2009年	2011年	2013年	2014年	2015年
犁头鳅	+	+	+	+	+
中华金沙鳅	+	+		+	
中华沙鳅	+	+			
圆筒吻鮈	+			+	
吻鮈	+	+	+	+	+
长鳍吻鮈	+				
蛇鮈	+	+	+	+	+
中华倒刺鲃	+		+		+
花斑副沙鳅	+	+	+	+	+
铜鱼	+				+
翘嘴鲌	+	+	+	+	+
蒙古鲌			+	+	+
合计/种	11	7	7	8	8

注:+表示采集到该物种的鱼卵。

Note: "+" indicates pelagic eggs of this species were sampled.

2.2 产卵场分布及变化

推算2009年、2011年、2013-2015年彭水至白马江段产漂流性鱼类产卵场分布的位置、长度等变化情况,如表2和图1所示。

2009年银盘水库蓄水以前,乌江下游彭水至白马江段共分布有产卵场6处,总长度为35 km。

(1)彭水产卵场:自彭水县城至水泥厂附近6 km江段;

(2)高谷产卵场:距上方产卵场15 km,自彭水县高谷镇至共和村乌江江段,长8 km;

(3)江口产卵场:距上方产卵场22 km,自武隆县江口镇至银盘坝上乌江江段,长5 km;

(4)武隆产卵场:距上方产卵场10 km,位于武隆县城长约8 km乌江江段;

(5)土坎产卵场:距上方产卵场11 km,自武隆县土坎镇至羊角镇长约4 km乌江江段;

(6)羊角产卵场:距上方产卵场5 km,自武隆县羊角镇至白马镇长约4 km乌江江段。

2011年银盘水库蓄水期间,彭水至白马江段共分布有产卵场4处,总长度为26.5 km。蓄水后的2013-2014年,产卵场位置和范围基本没有变化。

(1)羊角产卵场:距离白马镇采样点9.0~15.5 km,该产卵场自武隆县羊角镇-土坎镇约6 km江段;

(2)桃子沟产卵场:距离白马镇采样点18~25 km,该产卵场自武隆县桃子沟村-武隆县城共7 km江段;

(3)石鼻子产卵场:距离白马镇采样点29~33 km,该产卵场自武隆县石鼻子村-九里坨村共4 km江段;

(4)杨家沱产卵场:距离白马镇采样点43~52 km,该产卵场自江口镇杨家坨村-荆竹坝村共9 km江段。

2015年为银盘水库蓄水后的第3年,彭水至白马江段分布的产卵场缩减为3处,总长度为18 km。

(1)羊角产卵场:距离白马镇采样点8~15 km,该产卵场自武隆县羊角镇-土坎镇共7 km江段;

(2)桃子沟产卵场:距离白马镇采样点18~25 km,该产卵场自武隆县桃子沟村-武隆县城共7 km江段;

(3)石鼻子产卵场:距离白马镇采样点29~33 km,该产卵场自武隆县石鼻子村-九里坨村共4 km江段。

总体而言,位于银盘库区内的彭水、高谷产卵场在2011年蓄水后即被淹没而不复存在;位于坝址的江口产卵场下移至银盘坝下。位于下游的武隆(石鼻子)、土坎(桃子沟)、羊角3处产卵场在蓄水后逐渐稳定,但较蓄水前相比,位置有所上移。

2.3 产卵规模及变化

估算2009年、2011年、2013年、2014年、2015年监测期间乌江下游彭水至白马江段漂流性鱼卵资源量(产卵规模)分别为18 673.97万粒、1 541.69万粒、1 012.99万粒、2 994.50万粒、3 033.60万粒。由图2可知,银盘水库蓄水前后相比,产漂流性卵鱼类的产卵规模呈明显的下降趋势,尤其是在刚刚蓄水运行的2011年,产卵规模急剧下降,不到蓄水前的10%,2013年产卵规模进一步减少,而后在2014年和2015年稍有增加,维持在3 000万粒左右。

表 2　不同年份彭水至白马段产漂流性卵鱼类产卵场的分布位置及江段长度

Tab.2　Spawning ground distribution of pelagic eggs in the Pengshui to Baima reach by survey period

2009 年			2011－2014 年			2015 年		
产卵场	位置	长度/km	产卵场	位置	长度/km	产卵场	位置	长度/km
羊角	武隆县白马镇-羊角镇	5	羊角	武隆县羊角镇-土坎镇	6	羊角	武隆县羊角镇-土坎镇	7
土坎	武隆县羊角镇-土坎镇	4	桃子沟	武隆县桃子沟村-武隆县城	7	桃子沟	武隆县桃子沟村-武隆县城	7
武隆	武隆县县城	8	石鼻子	武隆县石鼻子村-九里坨村	4	石鼻子	武隆县石鼻子村-九里坨村	4
江口	武隆县江口镇－银盘坝上	5	杨家沱	江口镇杨家坨村-荆竹坝村	9			
高谷	武隆县高谷镇－共和村	8						
彭水	彭水县城－水泥厂	6						

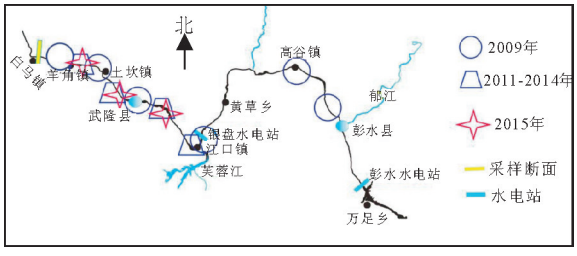

图 1　不同年份彭水至白马段产漂流性卵鱼类产卵场分布位置

Fig.1　Spawning ground locations for fish producing pelagic eggs for each period of the study

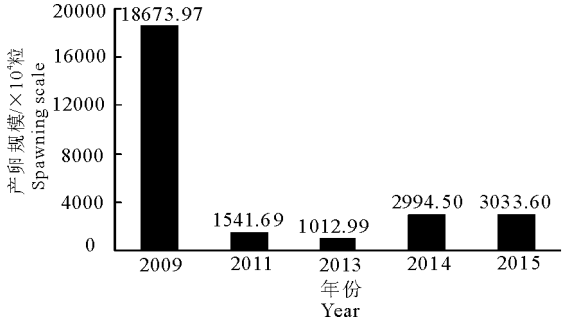

图 2　不同年份彭水至白马段产漂流性卵鱼类的产卵规模

Fig.2　Total abundance of pelagic eggs in different years

进一步统计了 12 种产漂流性卵鱼类在不同年份的产卵规模。由图 3 可知，银盘水库蓄水前，长鳍吻鮈在彭水至白马段的产卵规模为 923.36 万粒，然而在蓄水后，随着其产卵场在该区域的消失，其产卵规模变为 0；圆筒吻鮈、中华金沙鳅、铜鱼、中华倒刺鲃、中华沙鳅的产卵规模在银盘水库蓄水后呈明显的下降趋势，产卵规模均不到原来的 10%；蛇鮈、吻鮈、犁头鳅、翘嘴鲌的产卵规模在银盘水库蓄水后也出现一定程度的下降，但能够保持在原来的 10%～20%。与上述鱼类相反，蒙古鲌的产卵规模在银盘蓄水后呈现逐年上升的趋势；花斑副沙鳅的产卵规模在蓄水后先呈现显著下降的趋势，2013 年达到最低值，然后又呈现明显上升的趋势。

进一步统计了各年份不同产卵场的产卵规模。由图 4 看出，武隆和江口产卵场在银盘蓄水运行前后产卵规模显著减少，羊角和土坎产卵场在 2011 年、2013 年产卵规模显著减少，2014－2015 年有所增加，成为该江段规模稳定的产卵场。就繁殖种类而言，武隆和江口产卵场在银盘蓄水运行前后繁殖种类明显减少，减少的种类包括圆筒吻鮈、长鳍吻鮈、铜鱼、中华沙鳅、中华倒刺鲃；土坎产卵场的繁殖

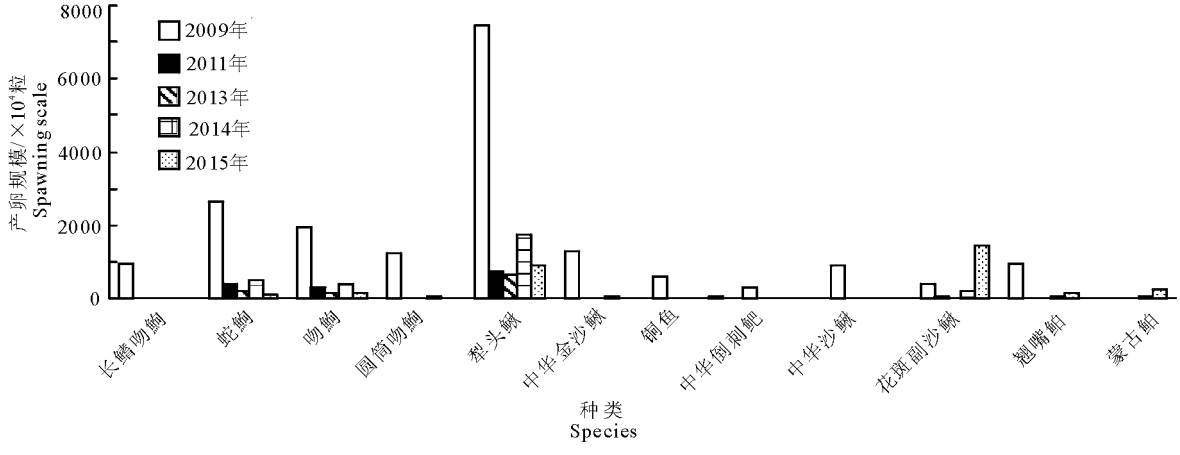

图 3　不同鱼类产卵规模年际变动情况

Fig.3　Yearly variation of the total pelagic egg abundance for different fish species (2009－2015)

种类有所增加，增加的种类包括蛇鮈和中华金沙鳅，但规模不大；羊角产卵场的繁殖种类数量变化不大。不同产卵场的繁殖种类都以犁头鳅、蛇鮈、吻鮈为主。

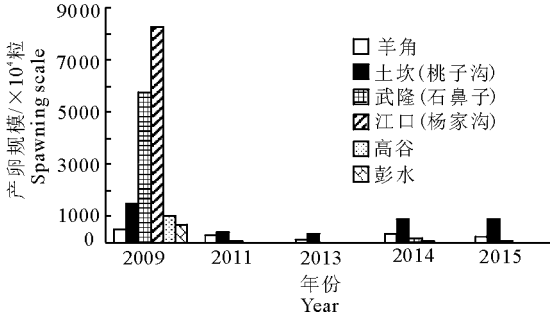

图4　不同年份彭水至白马段各产卵场的产卵规模

Fig.4　Yearly variation in egg production at different spawning grounds (2009－2015年)

2.4　不同种类繁殖对流量变化的响应

将不同鱼类的逐日产卵量与银盘水库日均下泄流量一一对应，分析两者的响应关系。由于2011年、2013年蓄水期间涨水特征与鱼类总产卵量之间的对应关系不明显，且铜鱼、圆筒吻鮈、中华金沙鳅的数据缺失，故仅用蓄水前2009年与蓄水运行后2014年这两年的数据进行描述性分析。银盘电站蓄水前，6种鱼类均在明显涨水的水文条件下出现大规模产卵。

图5表明，涨水幅度越大，产卵种类越多。不同鱼类大规模产卵对涨水过程的响应时间有所差异，从早到晚排列为犁头鳅、蛇鮈、吻鮈、中华金沙鳅、圆筒吻鮈、铜鱼。犁头鳅产卵频次最高，退水阶段也能产卵，对涨水的要求最低，故对涨水的响应时间最短；铜鱼仅在最后两次涨水中产卵，在涨水后3～4 d

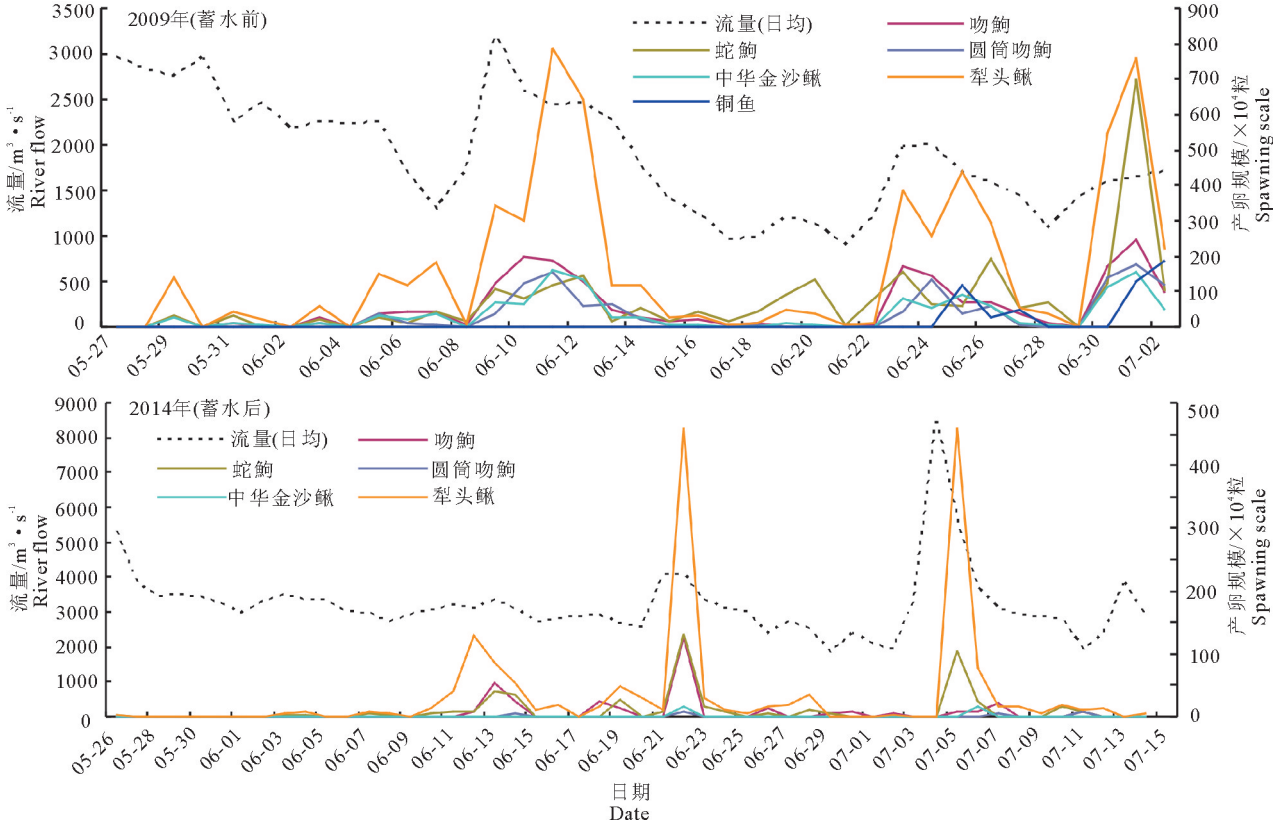

图5　蓄水前(2009年)和蓄水后(2014年)银盘坝下流量与不同鱼类产卵规模变化

Fig.5　Correlation between the egg production, by species, and flow below Yin-pan dam before (2009) and after (2014) water impoundment

才产卵，表明其需要持续性涨水的刺激才能繁殖。银盘水库蓄水后，鱼类产卵对涨水过程同样响应明显。犁头鳅、蛇鮈、吻鮈等小型鱼类成为优势类群，圆筒吻鮈、中华金沙鳅仅零星产卵。

3　讨论

3.1　乌江下游产漂流性卵鱼类早期资源现状

关于乌江下游产漂流性卵鱼类的种类组成和繁殖时间，仅有零星研究报道。据张轶超(2009)调查，

乌江下游产漂流性卵鱼类有 10 多种，其中以犁头鳅、中华沙鳅、长鳍吻鮈、蛇鮈这 4 种鱼类种群数量较多，鱼类繁殖期相对较长，以 5－7 月为主，9 月还可以采集到一定数量的卵。本研究结果与之相比，漂流性卵的种类组成变化不大，但适应流水生境的鱼类种群明显减少，如以往的优势种长鳍吻鮈近年来在乌江下游江段几乎消失，偏静缓流生境的鲌类在银盘蓄水后首次出现。类似的情况也出现在丹江口、三峡等大型水库（Gao et al，2010；伦峰等，2016）。银盘水库蓄水对鱼类产卵场的直接影响就是淹没了原分布于库区彭水、高谷的产卵场；其次，位于坝址的江口产卵场位置下移至银盘坝下，产卵规模由 2009 年 825.26 万粒急剧减少到 2014 年 54.13 万粒，除了大坝阻隔因素外，银盘水电站日调度运行改变了水文条件，也直接影响了鱼类的自然繁殖。

漂流性的鱼卵本身属于沉性卵，其比重略大于水，但产出后卵膜吸水膨胀，在水流的外力作用下，鱼卵悬浮在水层中随水漂流（殷名称，1995）。早期仔鱼要顺水漂流上百千米到达下游开阔河段，从而为种群生存提供更广阔的空间（Brown & Armstrong，1985）。对于长江“四大家鱼”、圆口铜鱼、长鳍吻鮈等典型产漂流性卵的鱼类而言，其完成关键生活史需要的栖息空间更大（具有洄游习性），并且与水文情势联系紧密（Xu et al，2015；熊飞等，2016；Yang et al，2017）。例如，涨水过程中流速的增大对促使上述鱼类产卵起着主要作用（周春生等，1980）。本研究中，乌江下游产漂流性卵鱼类的大规模产卵都是在涨水时出现（图 4），不同的产漂流性卵种类对产卵时水文条件的要求有所差异。对比银盘电站蓄水前后，长鳍吻鮈、铜鱼、圆筒吻鮈、中华金沙鳅这 4 种鱼类的资源量显著下降，尤其是蓄水期间几乎没有出现产卵，表明其对水文条件要求较严格，受到蓄水后生境改变的影响较大；而吻鮈、蛇鮈、犁头鳅这 3 种鱼类，每年都能保持一定的产卵规模，表明其对水文条件要求不严格，故受到银盘蓄水的影响程度较低。总体而言，银盘蓄水后产漂流性卵鱼类早期资源量显著下降，体型较大、喜流水生境的长江上游特有鱼类逐渐被体型较小的广布性鱼类取代，喜静缓流生境的肉食性鱼类（翘嘴鲌、蒙古鲌）占据一定的比例。

3.2　乌江下游鱼类早期资源面临的主要威胁

近 10 年间，乌江下游鱼类多样性下降，群落结构受到严重干扰（肖琼等，2015）。本次调查研究表明，漂流性鱼卵资源量显著减少，以长鳍吻鮈、圆筒吻鮈、中华金沙鳅为代表的流水性特有鱼类几近消失。作者结合文献，初步分析主要有以下几个方面原因。

3.2.1　水电开发　乌江流域共规划 12 座梯级水电站，目前仅最下游的白马尚未建成，生境阻隔和破碎化明显，大坝阻隔的叠加效应已经对长江上游干流 26 种产漂流性卵鱼类的种群补充造成了不利影响（Cheng et al，2015）；大量研究表明，金沙江下游梯级水电工程也对长江上游的长鳍吻鮈、圆口铜鱼等特有鱼类造成了严重威胁（刘军，2004；熊飞等，2016；Yang et al，2017）。

3.2.2　三峡蓄水倒灌　2010 年 10 月底三峡水库首次正常蓄水至 175 m 时，乌江回水至武隆中咀（距河口 80 km）。三峡蓄水倒灌使得乌江下游流水江段减少，三峡库区的流水性鱼类被迫向上游迁移，使得从长江进入乌江河口的鱼类随之减少，加上银盘水库 2011 年进一步蓄水，这些因素叠加起来造成了 2011 年乌江下游产漂流性卵鱼类资源的急剧下降。另有调查数据表明，175 m 试验性蓄水对三峡水库库尾涪陵江段（乌江河口）的鱼类群落结构已经产生影响（杨志等，2015），表现为逐渐趋同于库中静水的云阳江段，而非库尾以上流水的江津江段。

3.2.3　其他人为干扰　过度捕捞是造成长江渔业资源减少的主要原因之一（陈大庆，2003）。对乌江下游渔获物及其群落结构研究表明，鱼类资源已处于过度捕捞状况，表现为经济鱼类个体小型化、品种结构单一、物种多样性下降（杨志等，2011；肖琼等，2015）。近年来乌江中游的水污染问题突出，据水利部门 2014 年第二季度监测报告，乌江Ⅱ类水质河段占总长的 33.5%，劣Ⅴ类占 58.2%，局部水质无法满足水功能规定的要求。长期以来，乌江流域的矿产资源开采对生态环境造成破坏，导致水土流失和石漠化严重，大量的泥沙淤积直接威胁到乌江下游的生态安全。乌江流域的水污染和泥沙淤积问题都会对下游鱼类造成间接的不利影响。

3.3　乌江鱼类资源保护对策与生态补偿措施

乌江是长江流域人文地理、自然景观和生物多样性较为丰富的地区，其鱼类区系组成也呈现复杂性和多样化特点。乌江下游的梯级开发，将进一步削弱与长江干流的生态联系，分布于乌江的长江上游特有鱼类，由于栖息生境缩减，种群交流被阻隔，卵苗发育漂流流程不够，种群生存已面临严重威胁，当前亟需采取必要的措施来保护和恢复乌江下游重

要的鱼类资源。针对乌江下游梯级水库运行对产漂流性卵鱼类的不利影响,建议采用水库生态调度的补偿措施,在鱼类繁殖季节适时加大下泄流量,营造适宜的涨水条件,一方面促进鱼类性腺发育和产卵活动,另一方面扩大流水江段长度,保证卵苗发育足够的漂程,提高其成活率。

在实际操作中,应在弄清目标鱼类繁殖生态需求的基础上,综合考虑水电站调度运行规程及其水文条件满足的难易程度,制定适宜的生态流量下泄方案,减少生态调度可能带来的经济效益损失;同时,应采取人工增殖放流措施来补充乌江下游重要鱼类的种群规模,加强乌江下游鱼类资源监测和基础性研究,在摸清家底、辨析影响、完善措施的基础上,提出更为科学全面的保护对策。

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.

陈大庆,2003. 长江渔业资源现状与增殖保护对策[J]. 中国水产,2003(3):17-19.

但胜国,王剑伟,谭德清,2004. 乌江下游鱼类资源现状调查和分析[A]. 中国海洋湖沼学会鱼类学分会、中国动物学会鱼类学分会2004年学术研讨会摘要汇编.

丁瑞华,1994. 四川鱼类志[M]. 成都:四川科学技术出版社,1994.

刘军,2004. 长江上游特有鱼类受威胁及优先保护顺序的定量分析[J]. 中国环境科学,24(4):395-399.

伦峰,李峥,周本翔,等,2016. 丹江口水库(河南辖区)鱼类资源调查[J]. 河南农业科学,45(2):150-155.

肖琼,杨志,唐会元,等,2015. 乌江下游干流鱼类物种多样性及其资源保护[J]. 生物多样性,23(4):499-506.

熊飞,刘红艳,段辛斌,等,2016. 长江上游特有种长鳍吻鮈种群数量和资源利用评估[J]. 生物多样性,24(3):304-312.

杨志,唐会元,朱迪,等,2015. 三峡水库175 m试验性蓄水期库区及其上游江段鱼类群落结构时空分布格局[J]. 生态学报,35(15):5064-5075.

杨志,郑海涛,熊美华,等,2011. 彭水电站蓄水前后鱼类群落多样性特征[J]. 环境科学与技术,34(8):22-29.

易伯鲁,余志堂,梁秩燊,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.

殷名称,1995. 鱼类生态学. 北京:中国农业出版社.

张轶超,2009. 大坝建设对长江上游圆口铜鱼和长鳍吻鮈自然繁殖的影响[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所.

中国河湖大典编纂委员会,2010. 中国河湖大典(长江卷)(上)[M]. 北京:中国水利水电出版社.

周春生,梁秩燊,黄鹤年,1980. 兴建水利枢纽后汉江产漂流性卵鱼类的繁殖生态[J]. 水生生物学报,7(2):175-188.

Brown A V, Armstrong M L, 1985. Propensity to drift downstream among various species of fish[J]. Journal of Freshwater Ecology, 3(1):3-17.

Cheng F, Li W, Castello L, et al, 2015. Potential effects of dam cascade on fish: lessons from the Yangtze River, Review of Fish Biology and Fisheries[J]. Reviews in Fish Biology & Fisheries, 25 (3):569-585.

Gao X, Zeng Y, Wang J W, et al, 2010. Immediate impacts of the second impoundment on fish communities in the Three Gorges Reservoir[J]. Environmental Biology of Fishes, 87(2):163-173.

Xu W, Qiao Y, Chen X J, et al, 2015. Spawning activity of the four major Chinese carps, in middle mainstream of the Yangtze River, responding to the three Gorges Reservoir operation[J]. Journal of Applied Ichthyology, 31 (5): 846-854.

Yang Z, Tang H Y, Tao J P, et al, 2017. The effect of cascaded huge dams on the downstream movement of *Coreius guichenoti* (Sauvage & Dabry de Thiersant, 1874) in the upper Yangtze River[J]. Environ Biol Fish, (S1): 1-10.

(责任编辑 万月华)

Natural Reproduction Status of Fish Species Producing Pelagic Eggs Before and After Impoundment of Yin-pan Hydropower Station in the Lower Wujiang River

XU Wei[1], YANG Zhi[1], WAN Li[2], TANG Hui-yuan[1], CHEN Xiao-juan[1]

(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.Middle Changjiang River Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Wuhan 430010, P.R.China)

Abstract: The Yinpan hydropower station is one of the cascaded power stations in the lower Wujiang River and began operation in April 2011. The backwater of Yinpan Reservoir extends 53 km upstream to the Pengshui hydropower station and the water level below Yinpan dam is influenced by Pengshui Reservoir. Frequent water level variation and habitat segmentation, resulting from the cascaded hydropower development, has seriously disturbed the fish community and biological diversity in the lower Wujiang River. In this study, we systematically investigated early stage fish resources in the lower reach of Wujiang River, from Pengshui to Baima. Floating eggs were collected with nets and the natural spawning status of fish producing pelagic eggs was analyzed before and after impoundment of Yinpan Reservoir. The objective was to explore the impact of hydroelectric development on fish resources and provide scientific data to support conservation of fish resources. Pelagic eggs were collected from May to July of 2009, 2011, 2013 – 2015, extending through pre-impoundment, impoundment and operation of the Yinpan hydropower station. Collection time, number and development stage of the pelagic eggs were recorded and hydrological parameters, including flow velocity, water temperature and transparency were measured. The number of pelagic eggs collected in 2009, 2011, 2013, 2014 and 2015 were, respectively, 3 052, 479, 386, 462 and 578, with an estimated annual abundance ranging from 10.13 million to 186.74 million eggs. A total of 12 fish species laying pelagic eggs were identified: *Lepturichthys fimbriata*, *Jinsha sinensis*, *Botia superciliaris*, *Rhinogobio cylindricus*, *Rhinogobio typus*, *Rhinogobio ventralis*, *Saurogobio dabryi*, *Parabotia fasciata*, *Coreius heterodon*, *Spinibarbus sinensis*, *Culter alburnus* and *Culter mongolicus*. Six spawning grounds were located in the reach investigated, located (upstream to downstream) in the Pengshui, Gaogu, Jiangkou (Yangjiatuo), Wulong (Shibizi), and Tukan (Taozigou) sections. Pelagic egg resources were drastically altered by impoundment of Yinpan Reservoir. The rheophilic breeding group decreased significantly, while the stagnophilic breeding group increased significantly. Furthermore, the spawning scale of each species declined sharply, especially for *Rhinogobio ventralis*, *Coreius heterokon*, *Rhinogobio cylindricus*, and *Jinsha sinensis*. The number of spawning grounds decreased from six to three after impoundment and the spawning grounds moved downstream, decreasing in total length from 35km to 18km. Spawning of fish species that produce pelagic eggs is dependent on distinct hydrological requirements and alteration of hydrology by dam construction is the primary cause of declining pelagic egg and larval fish resources in the lower Wujiang River. We suggest ecological reservoir operation to produce flows that are appropriate for fish spawning and early life development of pelagic species. Fish monitoring, artificial breeding and release, and continuing ecological research can strengthen fish resource protection and enhance restoration efforts in the lower Wujiang River.

Key words: pelagic eggs; Wujiang River; Yinpan hydropower station; ecological operation