

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.16385

长江中游宜昌江段鱼类早期资源现状

刘明典, 高雷, 田辉伍, 朱峰跃, 汪登强, 陈大庆, 刘绍平, 段辛斌

中国水产科学研究院 长江水产研究所, 农业部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站, 湖北 武汉 430223

摘要: 为了探明长江中游宜昌江段鱼类早期资源状况, 2014年和2015年连续两年于5—7月在长江中游宜昌江段对产漂流性卵鱼类进行监测, 期间共采集鱼卵 12209粒。通过分子生物学方法共鉴定出 27种鱼类, 隶属于 2目、4科。其中鲤科鱼类种类数最多, 占 77%; 其次是鳅科, 占 15%; 平鳍鳅科和银鱼科最少, 均为 4%。鉴定出的 27种鱼类中, 产漂流性卵鱼类有 22种。2014年和 2015年长江中游宜昌江段产漂流性卵鱼类的产卵量分别为 79.1×10^8 粒和 70.9×10^8 粒, 其中四大家鱼产卵量分别为 5.65×10^8 粒和 6.13×10^8 粒。监测期间共出现 7次产卵高峰(2014年 4次, 2015年 3次), 集中在 6月初及 6月中下旬。四大家鱼产卵量日变化与长江流量日变化关联性较强。2014年宜昌断面采集的四大家鱼鱼卵来自采样点上游的葛洲坝下(坝下-庙咀)、宜昌(胭脂坝-云池)和白洋(白洋镇-关州)三处产卵江段, 2015年的四大家鱼鱼卵则来自葛洲坝下(坝下-庙咀)、宜昌(胭脂坝-红花套)两个产卵场。和历史资料相比, 长江中游宜昌江段四大家鱼产卵场位置略有下移, 规模呈减少趋势。建议继续科学适宜地开展生态调度和增殖放流, 满足长江中游鱼类繁殖需求。

关键词: 长江中游; 宜昌江段; 产卵场; 四大家鱼; 鱼类早期资源

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)01-0147-12

长江中游浅滩沙洲众多, 河道蜿蜒曲折, 是青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthy nobilis*)(合称“四大家鱼”)等多种经济鱼类的重要栖息和繁殖场所, 根据易伯鲁等^[1]的调查结果, 20世纪 60年代长江干流重庆至江西彭泽长达 1700 km 干流江段分布有四大家鱼产卵场 36处, 其中长江中游宜昌至城陵矶江段有 11处, 产卵规模最大的产卵场位于宜昌江段。三峡工程建成后, 随着三峡水库调蓄, 下泄不饱和水流使中游河床冲刷, 主要集中在宜昌至城陵矶河段^[2], 产卵场的水文和水力学条件发生了改变(输沙量和含沙量均大幅下降, 达 50%~98%; 悬移质中值粒径和平均粒径减幅超过 50%; 宜昌、监利等站同流量

枯水位下降明显, 均超过 1 m), 四大家鱼产卵规模持续下降, 部分产卵场范围缩小或迁移^[3]。李世健等^[4]在长江中游监利江段的研究表明, 相比于三峡工程蓄水前, 监利江段监测到的鱼卵及仔稚鱼种类减少了 16种, 四大家鱼仔鱼丰度也明显下降。相对长江中游其他江段, 宜昌江段更靠近葛洲坝和三峡大坝, 受大坝建设后水文情势改变的影响更明显。鱼类早期资源是指处在早期生活史阶段(从胚胎到稚鱼期)的鱼类资源。鱼类早期资源状况的变化也是反映大坝建设对长江渔业资源影响的一个方面。为此, 本研究于 2014年和 2015年的 5—7月在长江中游宜昌断面开展鱼类早期资源调查, 旨在评价宜昌江段的鱼类早期资源现状, 为长江鱼类资源保护以及水利工程生态调度提供科学依据。

收稿日期: 2017-03-16; 修订日期: 2017-07-26.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51579247); 农业部财政项目; 中国水产科学研究院公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2017HY-ZD0101).

作者简介: 刘明典(1980-), 男, 助理研究员, 从事鱼类生态保护研究. E-mail: liumd@yfi.ac.cn

通信作者: 段辛斌, 研究员. E-mail: duan@yfi.ac.cn

1 材料与方法

1.1 监测时间和采样区域

2014 年和 2015 年的 5—7 月在长江中游宜昌市宜都县龙窝断面开展鱼类早期资源监测。宜都地处江汉平原向鄂西南山地过渡地带,地势西南高、东北低,由西南向东北倾斜,是一个丘陵起伏的半山区,海拔约 50 m。龙窝断面距葛洲坝约 55 km,距清江汇入口约 12 km,位于宜都弯道河段下游(图 1)。该河段的河道平面形态和洲滩格局长期以来基本保持不变,呈现沿城宽窄相间的特征。两岸植被较丰富,河床底质多为卵石。在龙窝断面的左岸、江中和右岸分别设置 3 个鱼卵鱼苗采集点,每个采集点在江水表层、中层和底层通过网具收集鱼卵和鱼苗,每次采集时间为 10 min,同时记录水位、流速、溶解氧、水温等参数,以 LS45A 型流速仪记录网口流速,以 YSI 550 型溶氧仪记录调查江段溶解氧和水温。采集网具为圆锥网(50 目,网长 2.5 m,网口面积 0.196 m²),网后接圆柱形集苗器(长 20 cm,直径 12 cm),水文数据来源于全国水雨情信息网(<http://xxfb.hydroinfo.gov.cn/index.html>)。



图 1 本研究调查断面示意图

Fig. 1 Sketch map of sampling site in the study

1.2 监测方法

监测按照《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[5]的方法,同时参考易伯鲁、长江四大家鱼产卵场调查队等的研究方法^[1,6-7]进行。对采集的卵苗进行分类,通过观察及测量卵径、胚体长、卵色泽、发育期等特征进行鉴定,对于当场不能鉴定种类

的鱼卵和仔鱼,需要在室内培养至能鉴定种类为止。鉴定过的鱼卵和仔鱼保存于 95% 的乙醇,提取鱼卵 DNA,PCR 扩增细胞色素 B 并测序后进行比照鉴定与核实。

1.3 数据处理

1.3.1 产卵场位置推测 根据所采卵苗的发育时期,并结合调查江段水流速度来计算卵苗的漂流距离,由此推算出产卵场位置。计算公式如下:

$$L=V \times T$$

式中, L 表示卵苗的漂流距离,单位为 m; V 表示调查江段水流速度,单位为 m/s; T 表示胚胎发育所经历的时间,单位为 s。

1.3.2 产卵规模估算 一昼夜漂流通过调查断面的卵苗总径流量(N_m),是 24 h 内定时采集的卵苗径流量之和($\sum M$)与前后两次采集之间非采集时间内推算出的卵苗径流量之和($\sum M'$)的总和,即

$$N_m = \sum M + \sum M'$$

一次定时采集的断面卵苗径流量(M),计算公式如下:

$$M = (Q/q) \cdot m \cdot C$$

式中, Q 表示采集点断面的平均江水流量(m³/s); q 表示流经网口的江水流量(m³/s); m 表示断面固定点一次采到的卵苗数量(粒或尾); C 表示断面卵苗流量系数。

卵苗流量系数(C)是调查断面各采集点(一般为左、中、右和表、中、底层 6 个点)的卵苗平均密度(\bar{D})与常规采集点的卵苗密度(d)之比,即:

$$C = \bar{D} / d$$

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n d_i / n$$

式中, $\sum_{i=1}^n d_i$ 表示调查断面所设各点密度之和; n 表示调查断面所设采集点的数量。

由于采样不能 24 h 进行连续采样,非采样时间的卵苗径流量 M' 用插补法计算,即:

$$M' = t' / 2 (M_1 / t_1 + M_2 / t_2)$$

式中, t' 表示前后两次采样之间的时间间隔; t_1 , t_2 表示前后两次采集的持续时间; M_1 , M_2 表示前后两次采样的卵苗数量。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2014 和 2015 年在长江中游宜昌的龙窝断面定点采样累计采集鱼卵 12209 颗(其中 2014 年 9782 颗, 2015 年 2427 颗), 卵膜径范围为 2~7 mm。随机选择 1210 粒鱼卵(其中包括卵径大于 3.5 mm 的鱼卵 1163 颗)通过分子生物学方法进行鉴定, 共鉴定出种类 27 种, 隶属 2 目、4 科。其中鲤形目(Cypriniformes)鱼类 26 种, 鲑形目(Salmoniforme) 1 种。4 科分别为银鱼科(Neosalanx)、鲤科(Cyprinidae)、平鳍鳅科(Homalopteridae)和鳅科(Cobitidae), 鲤科鱼类种类数最多, 占 77%, 其次是鳅科, 占 15%, 平鳍鳅科和银鱼科最少, 各占 4%。鉴定出的 27 种鱼有产漂流性卵鱼类 22 种, 占总种类的 81%(表 1)。

2.2 优势种群落结构及时间变化

根据鱼卵相对丰度统计结果(图 2), 2014 年 5 月最主要的优势种是贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)和瓢鱼(*Pseudolaubuca sinensis*), 6 月则为贝氏鲮、四大家鱼和银鲴(*Squalidus argentatus*); 2015 年 5 月和 6 月最主要的优势种均为贝氏鲮、寡鳞瓢鱼(*Pseudolaubuca engraulis*)和四大家鱼。从主要的优势种来看, 贝氏鲮 2014—2015 年 5、6 月均为优势种。2014 年 5 月寡鳞瓢鱼为主要优势种之一, 到了 6 月其相对丰度急剧下降, 而四大家鱼和银鲴的相对丰度增大; 2015 年寡鳞瓢鱼和贝氏鲮 5 月较 6 月高, 四大家鱼则 5 月较 6 月低。采集的主要种类鱼卵相对丰度在 5 月和 6 月呈现一定的差异性。

就四大家鱼而言, 在鉴定的 1210 粒鱼卵中, 四大家鱼鱼卵数量为 460 粒(2014 年 258 粒, 2015 年 202 粒), 其中鲢最多, 占 62.4%。其次是草鱼, 占 27.8%。青鱼和鳊相对较少, 分别占 5.7%和 4.15%(表 2)。

2.3 四大家鱼产卵规模和产卵场

2014 年及 2015 年调查期间, 通过长江中游宜昌江段的鱼类产卵总规模分别为 79.1×10^8 粒和 70.9×10^8 粒, 其中四大家鱼产卵规模分别为 5.65×10^8 粒和 6.13×10^8 粒。2014 年所获得的四大家鱼

鱼卵中, 48%介于囊胚晚期到原肠早期阶段; 2015 年获得的四大家鱼鱼卵 82%介于桑椹期到胚孔封闭阶段(图 3)。

表 1 2014 年和 2015 年长江中游宜昌江段鱼类早期资源种类组成

Tab. 1 Species composition of fishes at early life history stage at Yichang section in the middle reaches of Yangtze River in 2014 and 2015

目 order	科 families	种类 species
鲑形目 Salmoniforme	银鱼科 Neosalanx	太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	*银鲴 <i>Squalidus argentatus</i> *吻鲴 <i>Rhinogobio typus</i> *铜鱼 <i>Coreius heterodon</i> *鳊 <i>Aristichthys nobilis</i> *银鲴 <i>Squalidus argentatus</i> *贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i> *蛇鲴 <i>Saurogobio dabryi</i> *宜昌鳅鲇 <i>Gobiobotia filifer</i> *草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> *青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i> *鳊 <i>Elopichthys bambusa</i> *鳊 <i>Parabramis pekinensis</i> 马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i> *似鳊 <i>Pseudobrama simony</i> 麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i> 华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i> *赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i> 翘嘴鲌 <i>Erythroculter ilishaeformis</i> *寡鳞瓢鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i> *瓢鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i> *鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>
	平鳍鳅科 Homalopteridae	*犁头鳅 <i>Lepturichthys fimbriata</i>
	鳅科 Cobitidae	*汉水扁尾薄鳅 <i>Leptobotia tientaiensis</i> *花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i> *紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniops</i> (Sauvag) *花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>

注: *代表产漂流性卵鱼类。

Note: * represents the fishes laying pelagic eggs.

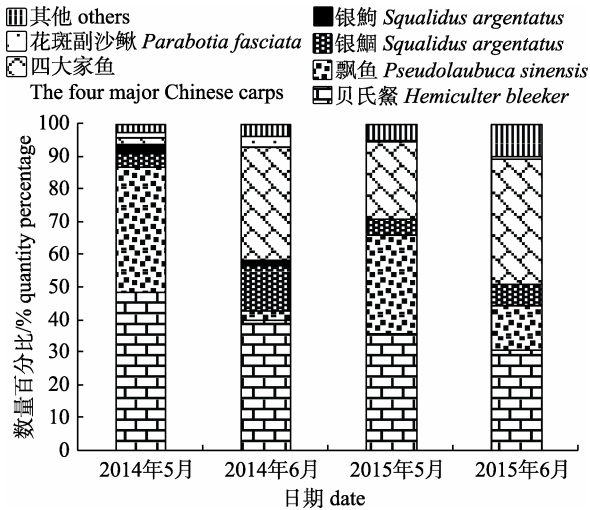


图 2 2014 年和 2015 年 5—6 月长江宜昌江段主要种类鱼卵相对丰度

Fig. 2 Numerical percentage of the dominant species collected at Yichang section in the middle reaches of Yangtze River in May and June in 2014 and 2015

根据采集到的四大家鱼鱼卵的发育期, 结合该时段采样点上游流速条件, 推算出 2014 年所采集的四大家鱼鱼卵来自采样点上游葛洲坝下(坝下-庙咀)、宜昌(胭脂坝-云池)和白洋(白洋镇-关州)3 个产卵场(图 4), 2015 年为葛洲坝下(坝下-庙咀)、宜昌(胭脂坝-红花套)两个产卵场(图 5)。

2.4 鱼卵密度与环境因子的关系

2014 年及 2015 年监测期间, 累计出现 7 次产卵高峰(2014 年 4 次, 2015 年 3 次), 累计产卵 75.65×10^8 粒, 占两年产卵总规模的 66%。产卵高峰主要集中在 6 月初和 6 月中下旬。对包括洪峰过程数、洪峰的初始水位、水位的日上涨率、断面初始流量以及流量日增长率等 7 个生态水文指标进行分析显示, 2014 年及 2015 年监测期间共出现 6 次较大洪水过程, 在洪峰过程中或洪峰后均出现了产卵高峰(表 3)。

表 2 2014 年和 2015 年长江中游宜昌断面四大家鱼鱼卵种类组成
Tab. 2 Species composition of four major Chinese carps at Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River in 2014 and 2015

种类 species	2014		2015		合计 total	
	数量/ind. number	比例/% ratio	数量/ind. number	比例/% ratio	数量/ind. number	比例/% ratio
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	147	60.0	140	69.3	287	62.4
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	83	32.0	45	22.3	128	27.8
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	23	8.9	3	1.5	26	5.7
鳊 <i>Aristichthy nobilis</i>	5	1.9	14	6.9	19	4.1
合计 total	258	100	202	100	460	100

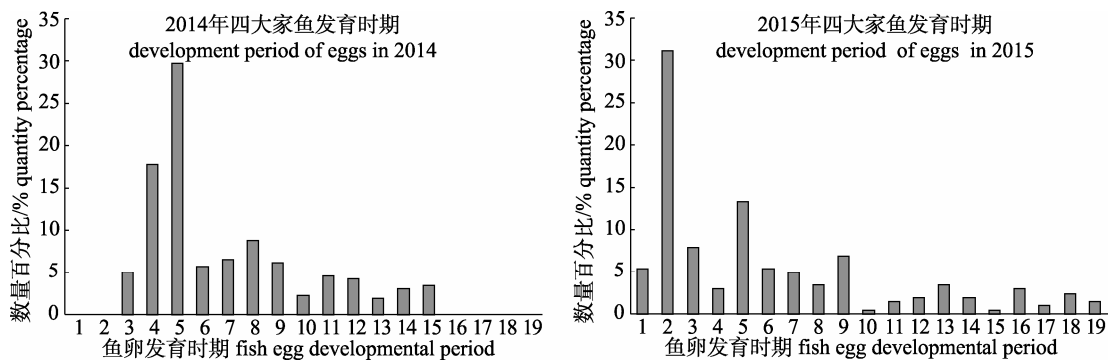


图 3 2014 年和 2015 年长江宜昌断面四大家鱼鱼卵发育期分布

- 1: 桑椹期; 2: 囊胚早期; 3: 囊胚中期; 4: 囊胚晚期; 5: 原肠早期; 6: 原肠中期; 7: 原肠晚期; 8: 神经胚期;
- 9: 胚孔封闭; 10: 肌节出现; 11: 眼基出现; 12: 嗅板期; 13: 尾芽期; 14: 听囊期; 15: 尾泡出现;
- 16: 尾鳍出现; 17: 晶体形成; 18: 肌肉效应; 19: 耳石出现; 20: 心脏搏动。

Fig. 3 Numerical percentage of eggs at different development stages captured at Yichang section in the middle reaches of Yangtze River in May and June in 2014 and 2015

- 1: morula; 2: early blastocyst; 3: middle blastocyst; 4: late blastocyst; 5: early stage of the intestine; 6: middle stage of the intestine; 7: late stage of the intestine; 8: neural embryonic stage; 9: blastopore closed period; 10: sarcomere in period; 11: eye base appears; 12: olfactory phase plate; 13: tail bud; 14: otic vesicle; 15: tail bubble appears; 16: tail fin appears; 17: crystallizing; 18: muscle effector; 19: otolith appears; 20: cardiac impulse.

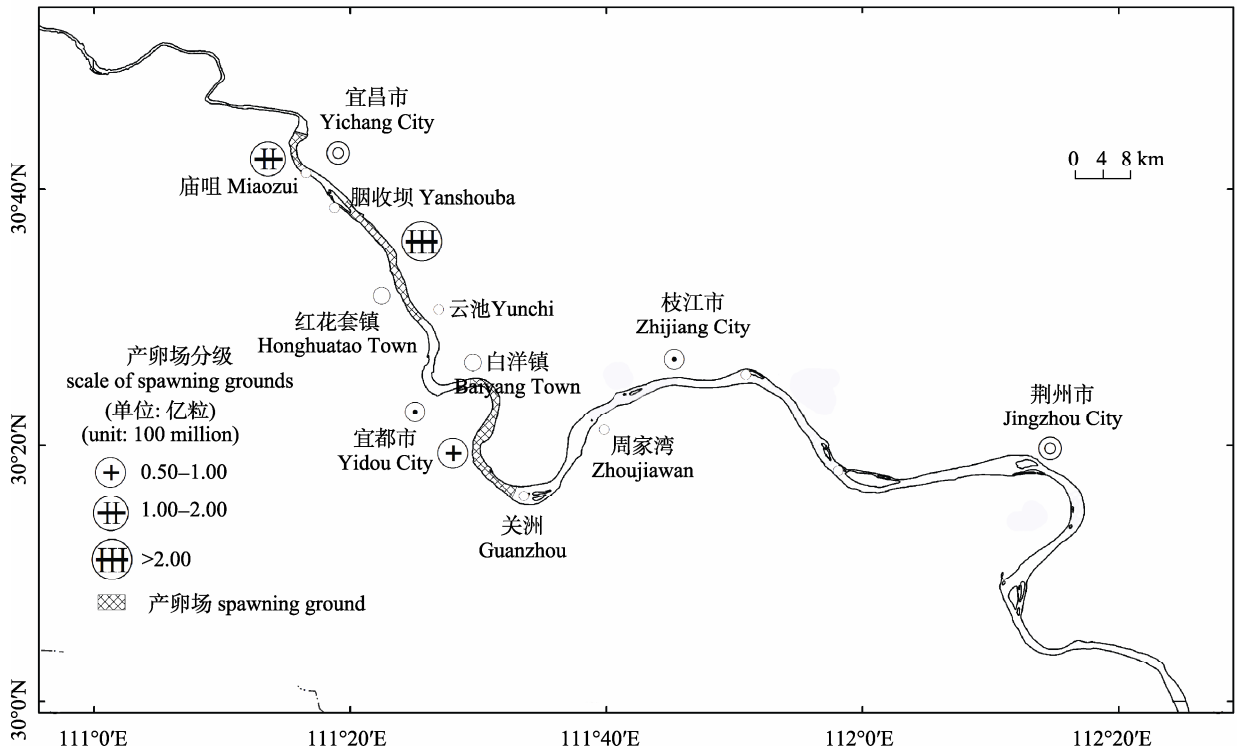


图 4 2014 年长江中游四大家鱼产卵场分布

Fig. 4 The locations of the spawning grounds of the major four Chinese carps in the middle reaches of the Yangtze River in 2014

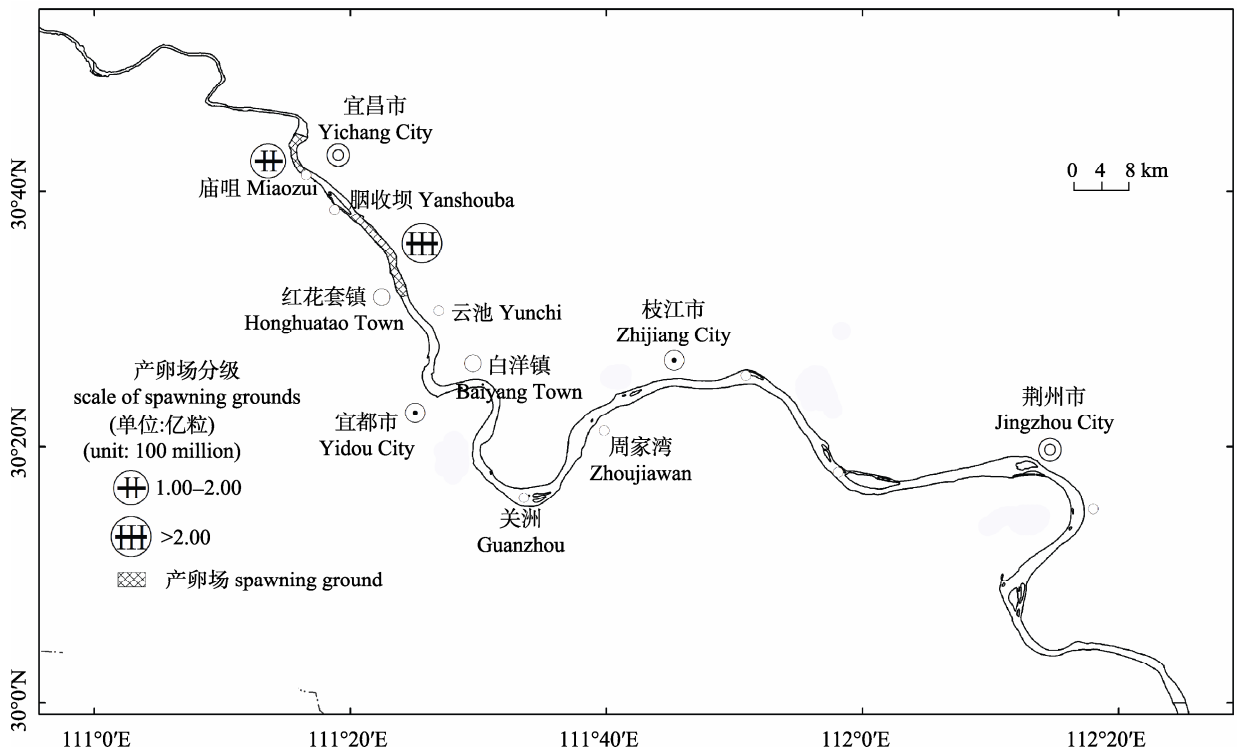


图 5 2015 年长江中游四大家鱼产卵场分布

Fig. 5 The locations of the spawning grounds of the major four Chinese carps in the middle reaches of the Yangtze River in 2015

在调查期间, 长江中游宜昌江段流量呈逐渐增加的趋势, 特别是 2015 年, 其流量增长较明显, 而鱼卵产卵高峰均伴随有涨水过程(图 6)。如 2014 年的 5 月 25 日, 6 月 6 日, 6 月 23 日, 以及 2015 年的 6 月 9 日、18 日、27 日, 大幅涨水后的 2~3 d,

均出现了产卵高峰。

就四大家鱼而言, 在 2014 年和 2015 年调查期间, 分别出现了 2 次和 3 次产卵高峰, 两年发生的时间均为 6 月初和 6 月中下旬。四大家鱼鱼卵产卵高峰均伴随有涨水过程(图 7)。说明涨水过程

表 3 涨水过程与产卵量关系
Tab. 3 Relationship between flood peak and egg quantity

洪峰过程 flood peak	2014			2015		
	1	2	3	1	2	3
水位上涨日期 date of water level rising	5.21	6.15	6.22	6.7	6.15	6.25
初始水位/m initial water level	42.07	42.90	44.03	39.93	44.92	43.18
水位日上涨率/(m/d) daily increasing rate of water level	0.19	0.39	0.44	0.87	0.21	0.92
初始流量/m ³ initial flow	11500	15700	17400	6960	19100	14200
流量日上涨率/(m ³ /d) daily increasing rate of flow	361.54	200.00	137.50	2140.54	600.00	2875.00
高峰间隔时间/d time interval between two flood peaks		16	12		8	8
高峰初始时间 starting time of flood peak	5.30	6.18	6.29	6.10	6.17	6.27
高峰持续时间/d duration of flood peak	4	1	2	3	4	2
高峰期产卵量/(×10 ⁸ ind) egg laying amount during flood peak	3.00	0.42	0.61	3.20	15.21	16.80
高峰期日均产卵量/(×10 ⁸ ind/d) average daily egg laying amount during flood peak	0.75	0.42	0.30	1.07	6.08	8.40

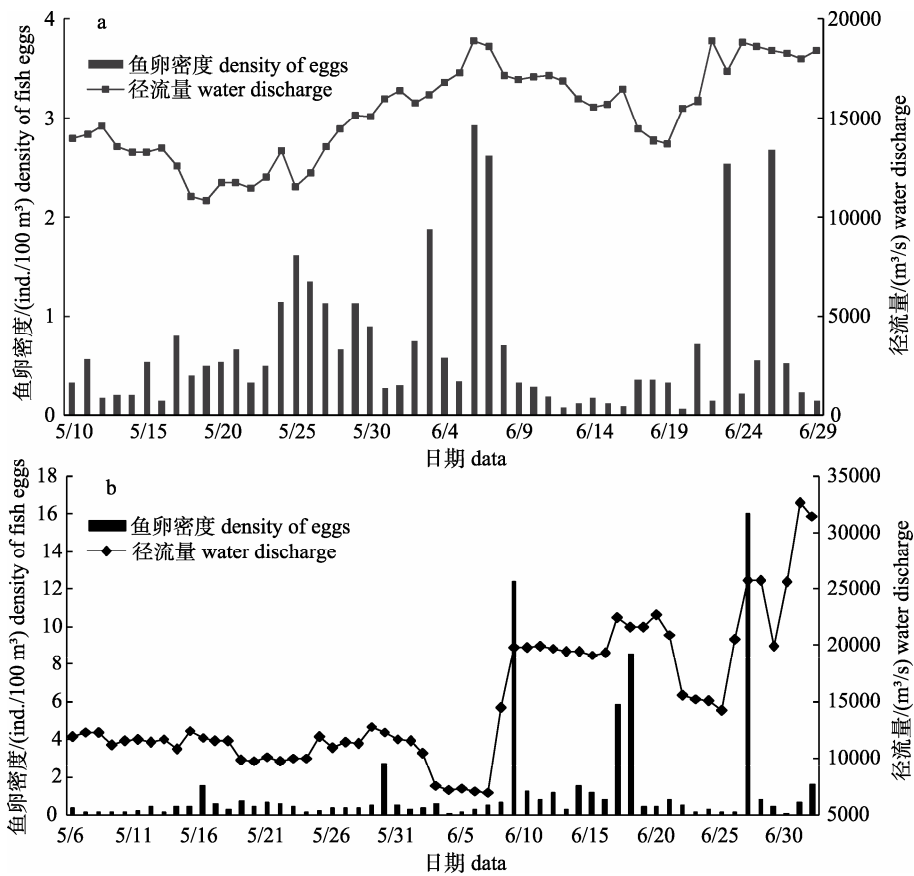


图 6 2014(a)及 2015 年(b)长江中游宜昌江段鱼卵密度日变化

Fig. 6 The diurnal variation of eggs density at Yichang section in the middle reaches of Yangtze River in 2014 (a) and 2015(b)

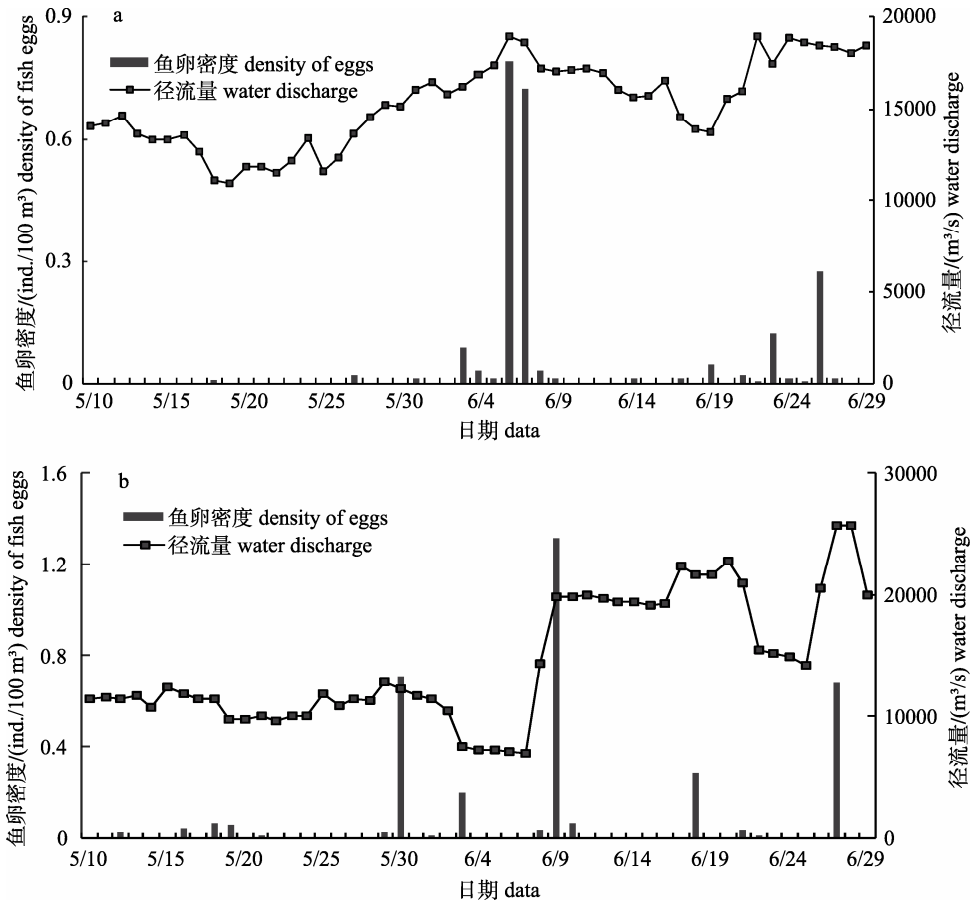


图 7 2014(a)和 2015 年(b)长江中游宜昌江段四大家鱼鱼卵密度日变化

Fig. 7 The diurnal variation of fish eggs density of four major Chinese carps at Yichang section in the Yangtze River in 2014 (a) and 2015 (b)

对四大家鱼产卵是有利的。

2014 年和 2015 年的 5 月 10 号至 6 月 30 号期间, 宜都断面的水温、水位逐渐增高, 透明度逐渐下降(图 8, 图 9)。其中, 2014 年水温 18.1~23.1℃, 平均值为 20.8℃; 2015 年水温 18.8~22.9℃, 平均值为 21.2℃; 2014 年水位 41.7~47.5 m, 平均值为 43.7 m; 2015 年水位 39.9~46.8 m, 平均值为 43.1 m。2014 年透明度 30~175 cm, 平均值为 126.6 cm; 2015 年透明度 34.0~113.5 cm, 平均值为 81.5 cm。2014 年溶解氧 5.7~8.5 mg/L, 平均值为 7.1 mg/L, 其变化规律表现为 5 月 10 号到 6 月 16 号逐渐降低, 以后逐渐升高; 2015 年溶解氧 6.2~9.1 mg/L, 平均值为 7.4 mg/L, 没有表现出明显的变化规律; 总体来看, 水位、水温和溶解氧均表现为调查前期相对较低, 后期逐渐增高, 而透明度则表现为前期相对较高, 后期逐渐降低。

3 讨论

3.1 鱼卵种类组成变化

关于长江中游产漂流性卵鱼类种类, 自 20 世纪 70 年代就有过调查报道, 根据国家水产总局长江水产研究所的调查结果^[8], 20 世纪 70 年代长江中游干支流产漂流性卵鱼类不少于 25 种。三峡工程建成蓄水后, 也有不少学者对长江中游的产漂流性卵鱼类种类进行调查, 其中段辛斌等^[9]2003—2006 年在长江中游监利断面监测到 13 种, 黎明政等^[10]2008 年在长江中游武穴断面采集到 11 种, 徐薇等^[11]2012 年在长江中游沙市断面采集到 16 种。与 20 世纪 70 年代相比, 近年长江中游产漂流性卵鱼类种类明显减少。三峡工程建成运行后导致长江中游水文情势发生显著变化, 对产漂流性卵鱼类的繁殖有一定的不利影响。2015—2016 年, 本研究在宜昌江段调查共采集到

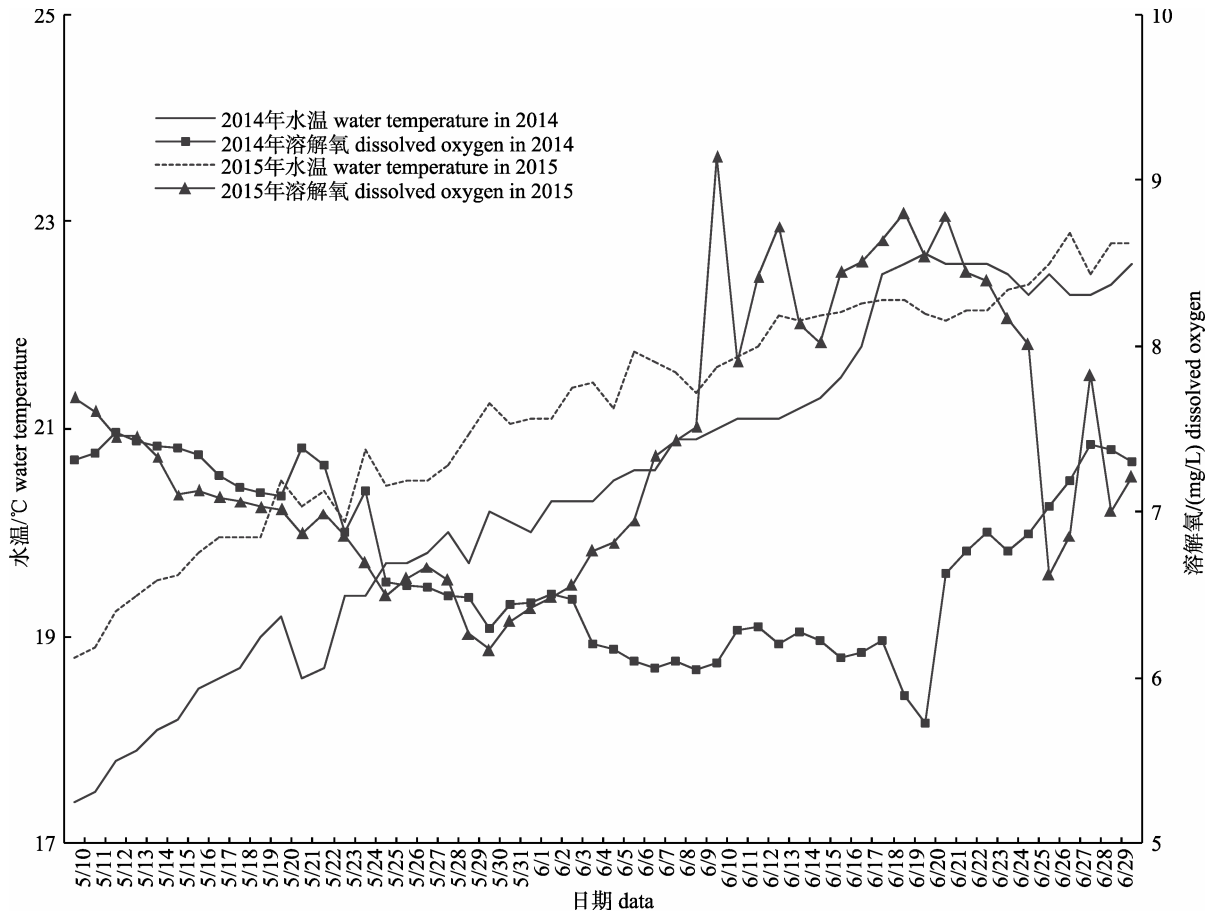


图 8 2014 年和 2015 年 5—6 月间长江宜昌断面水温及溶解氧变化趋势图

Fig.8 Water temperature and dissolved oxygen at Yichang section in the Yangtze River in May and June in 2014 and 2015

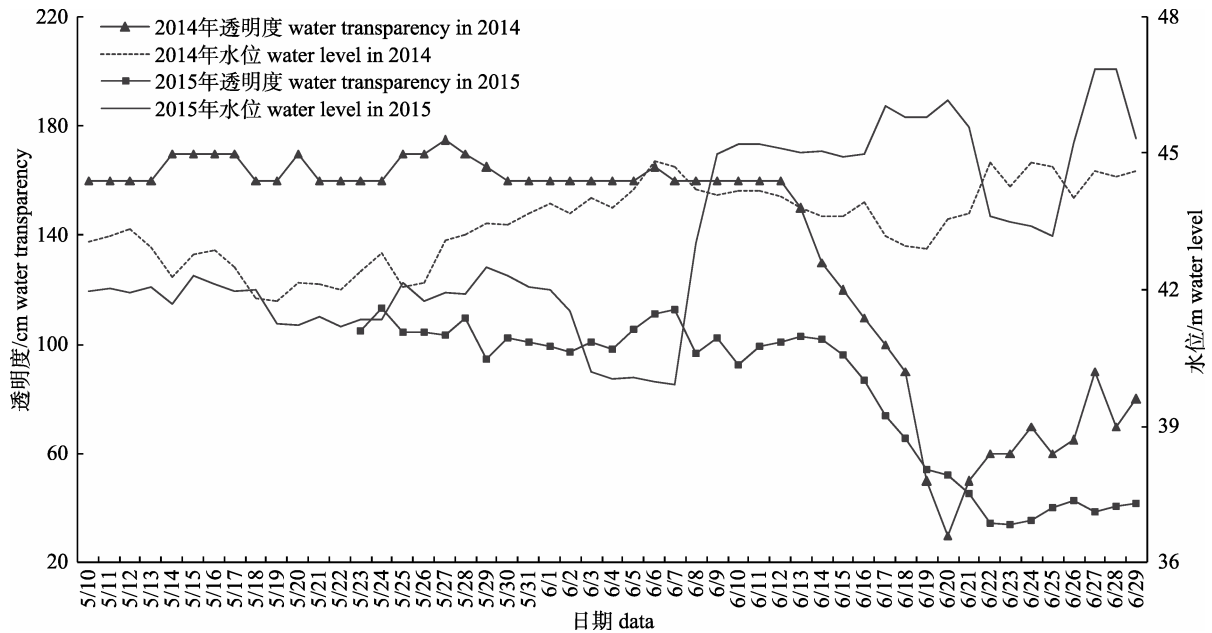


图 9 2014—2015 年 5—6 月间长江宜昌断面水位及透明度变化趋势图

Fig.9 Water level and transparency at Yichang section in the Yangtze River in May and June in 2014 and 2015

产漂流性卵鱼类 22 种, 相比段辛斌等(2003—2006 年)、黎明政等(2008 年)调查采集的种类数量有所增加。其原因一方面有调查时间和地点的差异导致结果不同; 另一方面, 也与近年来长江中游开展的多项鱼类资源保护措施有关, 如三峡水库生态调度、增殖放流等都有助于鱼类种群的逐步恢复。

就四大家鱼种类组成而言, 三峡大坝蓄水以前长江中游四大家鱼以草鱼为主^[8,12], 比例波动范围为 67.50%~85.30%^[13]。根据段辛斌等^[9]的调查结果, 2003 年三峡大坝蓄水后长江中游的四大家鱼以鲢为主, 2005 年鲢的比例占 66.11%。2015—2016 年在宜昌江段监测采集四大家鱼鱼卵数量以鲢最多(占 62.4%), 与 2005 年相比变化不大, 草鱼比例则下降至 27.8%。表明三峡水库调蓄对草鱼的影响较为严重。

3.2 宜昌江段四大家鱼产卵场位置和规模的变化

宜昌市上游 4 km 是葛洲坝水利枢纽, 上游约 50 km 即为三峡大坝。两座大坝的截流及运行发电都导致坝下江段的自然环境发生改变。大坝对该江段鱼类产卵场的影响程度如何, 是人们较为关注的重要渔业问题。根据 20 世纪 70 年代的调查结果^[8], 长江中游宜昌江段分布有秭归(泄滩至秭归)、宜昌(三斗坪至十里红)和虎牙滩(仙人桥至虎牙滩)3 个产卵场, 产卵场范围分别有 6 km、46 km 和 3 km。其中宜昌产卵场的产卵量约为 80 亿。1981 年葛洲坝建成以后, 由于大坝建设导致的水文情势显著改变, 宜昌江段的四大家鱼产卵场经历重大变迁。根据余志堂等^[14]的调查结果, 葛洲坝水利枢纽截流后宜昌江段产卵场位置为葛洲坝坝址至虎牙滩 22 km 江段。与葛洲坝截流前相比, 位于葛洲坝库区的三斗坪至十里红产卵场几乎消失, 坝下江段的产卵场规模相对建坝前有所扩大。众所周知, 由于大坝阻隔, 坝下江段的待产亲鱼无法上溯到坝上的产卵场。葛洲坝水利枢纽属低水头径流式水电站, 不具备调节能力, 在三峡大坝截流前, 葛洲坝水利枢纽的正常运行不会显著削减坝下江段的洪峰, 所以坝下江段仍满足四大家鱼产卵所需涨水的条件, 因而在坝下适宜江段形成了新的产卵场。2003 年三峡大坝截流后,

根据段辛斌等^[9]的调查结果, 宜昌江段四大家鱼产卵场位置为十里红至古老背 24 km 江段, 与葛洲坝截流后余志堂等^[14]调查结果比较, 四大家鱼产卵场范围略有下移, 产卵场江段长度变化不大, 但长江中游的四大家鱼产卵规模显著减少, 产卵规模为 10.8×10^8 粒(宜昌江段约占 70%), 仅为 1997—2002 年平均值的 42.82%。

根据本次调查结果, 宜昌江段四大家鱼产卵场为葛洲坝至庙咀(3 km)、胭脂坝至红花套(25 km)两处范围, 产卵规模为 $5.65 \times 10^8 \sim 6.13 \times 10^8$ 粒。与葛洲坝截流后的两次历史调查结果比较, 产卵场位置向下游移动, 产卵规模呈下降趋势。黄悦等^[15]研究了三峡工程建成后对中下游河流环境的影响, 认为三峡库区泥沙大量淤积、下泄不饱和水流冲刷河床改变了中下游的水深、流速、比降。而这些条件的变化也改变了四大家鱼产卵所需的自然条件, 这也是长江中游宜昌段四大家鱼产卵场位置逐渐变化的主要原因。此外, 由于过度捕捞和水域污染等自然和人为因素的影响, 原本较脆弱的鱼类栖息环境进一步遭到破坏, 鱼类资源量呈下降趋势, 使得四大家鱼产卵规模有进一步缩小的趋势, 应该受到重视, 及时采取适宜的保护措施。

3.3 长江中游四大家鱼繁殖保护

四大家鱼是长江中游主要的经济鱼类, 四种鱼类繁殖行为类似, 在大致相同的时段繁殖, 且对环境条件的需求类似, 因此这四种鱼通常被看作一个整体的研究对象。根据黎明政^[16]在长江宜都江段的研究结论, 河流水温与涨水过程是影响四大家鱼繁殖活动的关键因子。鱼类产卵需要一定的水温条件, Wootton^[17]也认为产卵场的水温是影响鱼类繁殖最重要的因子。黎明政^[16]研究认为宜都江段四大家鱼繁殖的下限温度是 18°C 。根据本次监测数据, 宜昌江段 2014 年及 2015 年在 5 月中旬开始江水温度即达到了 18°C , 往后逐步上升, 到 5 月中旬即满足四大家鱼产卵所需的水温条件。本次调查期间两年共出现的 7 次产卵高峰时的水温均介于 21.35°C 和 25.4°C 之间。由此推测 $21 \sim 25^\circ\text{C}$ 是长江宜昌江段鱼类繁殖适宜的水温范围, 与余志堂等^[18]提出四大家鱼繁殖盛期水温为 $20 \sim 24^\circ\text{C}$ 的结论相似。

当水温条件满足四大家鱼繁殖需求后, 河流涨水过程将成为诱发四大家鱼繁殖活动发生的重要因子。易伯鲁等^[1]、王尚玉等^[19]均认为水流的上涨对诱发四大家鱼繁殖极其重要, 既是促使性腺发育的重要条件, 也是诱发产卵行为的重要因子。黎明政^[16]也研究表明, 水位日增量的大小是四大家鱼繁殖活动的重要诱因。如果水位停止上涨, 雌鱼将不会产卵或只产出部分卵, 而未产的卵将再被吸收^[20]。本研究在 2014 年和 2015 年调查期间共出现 6 次较大洪水过程, 5 次四大家鱼产卵高峰, 产卵高峰出现在洪峰过程中或洪峰后, 这种现象很好地说明了宜昌江段涨水过程与四大家鱼产卵活动的关联性, 涨水过程有效刺激了四大家鱼的繁殖。然而近年来, 由于长江三峡大坝和葛洲坝的建成和运行改变了长江中游原有的水文条件, 大型水库人工调节会削减洪峰, 改变洪水的频次和强度, 长期的人为干扰会使得四大家鱼等典型产漂流性卵的鱼类产卵活动受到较大影响。人造洪峰被认为是促进鱼类繁殖活动发生的一个有效的手段^[21]。在合适时段的洪峰被认为是促发某些鱼类繁殖活动发生的关键因子^[22-23]。为了防止长江中游鱼类资源进一步减少, 建议在四大家鱼繁殖期间, 三峡大坝和葛洲坝水利工程结合上游涨水过程和降雨情况开展生态调度, 延长水流过程脉冲事件的持续时间, 水库持续增加放水量, 连续放水 3 天以上, 制造江水持续上涨过程, 为四大家鱼等产漂流性卵鱼类创造适宜产卵的水文条件。

影响四大家鱼自然繁殖效果的几个主要因素为: 亲鱼数量、合适的水温和涨水条件以及产卵场。鱼类繁殖季节宜昌江段的水温是适宜的, 通过科学地实施生态调度可以解决涨水条件。而渔业资源量的减少将影响亲鱼的数量。为有效缓解长江四大家鱼资源衰退趋势, 自 2010 年起, 农业部在长江中游持续开展了四大家鱼亲本原种放流活动, 辅以针对性的管理措施, 可有效弥补长江中游繁殖亲鱼数量减少的问题, 有助于实现长江中游生态保护及渔业资源的可持续利用。

参考文献:

- [1] Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, et al. The distribution natural conditions and breeding production of the spawning grounds of four famous freshwater fishes on the main stream on the Yangtze River[M]//Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, et al. Gezhouba Water Control Project and Four Famous Fishes in Yangtze River. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1988: 1-46. [易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 长江干流草青鲢鳙四大家鱼产卵场的分布, 规模和自然条件[M]//易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988: 1-46.]
- [2] Yang G L, Xiang H, Yu M H, et al. Changes in the middle and lower reaches of the Yangtze river low water and bed scouring and sedimentation[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2009, 42(1): 64-68. [杨国录, 向浩, 余明辉, 等. 长江中下游枯水位与河床冲淤变化[J]. 武汉大学学报工学版, 2009, 42(1): 64-68.]
- [3] Duan X B, Liu S P, Huang M G, et al. Changes in abundance of larvae of the four domestic Chinese carps in the middle reach of the Yangtze River, China, before and after closing of the Three Gorges Dam[J]. Environmental Biology of Fishes, 2009, 86: 13-22.
- [4] Li S J, Chen D Q, Liu S P, et al. Spatial and temporal distribution patterns of eggs and juveniles at Jianli cross-section in the middle fish larvae reaches of the Yangtze River[J]. Freshwater Fisheries, 2011, 41(2): 18-24, 9. [李世健, 陈大庆, 刘绍平, 等. 长江中游监利江段鱼卵及仔稚鱼时空分布[J]. 淡水渔业, 2011, 41(2): 18-24, 9.]
- [5] Zhang J M, He Z H. Handbook of Fisheries Natural Resources Investigation In Inland Waters[M]. Beijing: Agriculture Press of China, 1991. [张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.]
- [6] Yi B L, Liang Z S, Yu Z T, et al. Gezhouba Water Control Project and the Yangtze River the Four Major Chinese Carps[M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1988: 32-35. [易伯鲁, 梁秩桑, 余志堂, 等. 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, 1988: 32-35.]
- [7] Survey Team of Spawning Grounds of Domestic Fishes in Yangtze River. A survey the spawning grounds of the "four major Chinese carps" in the Yangtze River after ramified dammed by the key water control project at Gezhouba[J]. Journal of Fisheries of China, 1982, 6(4): 287-305. [长江四大家鱼产卵场调查队. 葛洲坝水利枢纽工程截流后长江四大家鱼产卵场调查[J]. 水产学报, 1982, 6(4): 287-305.]
- [8] Yangtze River Fisheries Research Institute. The Yangtze River Fish Spawning Survey Technology Reference[M].

- Jingzhou: Yangtze River Fisheries Research Institute, 1981. [国家水产总局长江水产研究所. 长江家鱼产卵场调查技术参考资料[M]. 荆州: 国家水产总局长江水产研究所, 1981.]
- [9] Duan X B, Chen D Q, Li Z H, et al. Current status of spawning grounds of fishes with pelagic eggs in the middle reaches of the Yangtze River after impoundment of the Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(4): 523-532. [段辛斌, 陈大庆, 李志华, 等. 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, 2008, 15(4): 523-532.]
- [10] Li M Z, Jiang W, Gao X, et al. Status quo of early life history stages at Wuxue cross-section of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(6): 1211-1217. [黎明政, 姜伟, 高欣, 等. 长江武穴江段鱼类早期资源现状[J]. 水生生物学报, 2010, 34(6): 1211-1217.]
- [11] Xu W, Liu H G, Tang H Y, et al. Effects of ecological operation of three gorges reservoir on fish eggs and larvae in Shashi section of the Yangtze River[J]. Reservoir Fisheries, 2014, 35(2): 1-8. [徐薇, 刘宏高, 唐会元, 等. 三峡水库生态调度对沙市江段鱼卵和仔鱼的影响[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(2): 1-8.]
- [12] Liu Y H, Wu G X, Cao W X, et al. Studies on the ecological effect on spawning of the black carp, the grass carp, the silver carp and the bighead carp in the Changjiang River after the constructions of the Gezhouba hydroelectric project[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1986, 10(4): 353-364. [刘乐和, 吴国犀, 曹维孝, 等. 葛洲坝水利枢纽建成后对青、草、鲢、鳙繁殖生态效应的研究[J]. 水生生物学报, 1986, 10(4): 353-364.]
- [13] Liu S P, Qiu S L, Chen D Q, et al. Germplasm resources protection and rational utilization of the four major Chinese carps in the Yangtze river system[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1997, 6(2): 127-131. [刘绍平, 邱顺林, 陈大庆, 等. 长江水系四大家鱼种质资源的保护和合理利用[J]. 长江流域资源与环境, 1997, 6(2): 127-131.]
- [14] Yu Z T, Zhou C S, Deng Z L, et al. The spawning grounds of the Chinese carps in the Yangtze River after ramified dammed by the key water control project at Gezhouba[C]// Proceedings of the Chinese Society of Fish (section fourth). Beijing: Science Press, 1985: 1-11. [余志堂, 周春生, 邓中彝, 等. 葛洲坝水利枢纽截流后的长江家鱼产卵场[C]//中国鱼类学会鱼类学论文集(第四辑). 北京: 科学出版社, 1985: 1-11.]
- [15] Huang Y, Fan B L. Influence of the Three Gorges project for the four major Chinese carps spawning environment in the middle and lower reaches of Yangtze River[J]. Yangtze River, 2008(19): 38-41. [黄悦, 范北林. 三峡工程对中下游四大家鱼产卵环境的影响[J]. 人民长江, 2008(19): 38-41.]
- [16] Li M Z. Study on the life history strategies of fishes in the yangtze river and its adaption to environment during early life history stage (doctoral dissertation)[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2012: 75-86. [黎明政. 长江鱼类生活史对策及其早期生活史阶段对环境的适应(博士学位论文)[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012: 75-86.]
- [17] Wootton R J. Ecology of Teleost Fish[M]. London: Chapman and Hall, 1990.
- [18] Yu Z T, Deng Z L, Xu Y G, et al. The current status of the spawning grounds of four famous freshwater fishes and the evaluation of the influence of the project on the breeding of fish in the Yangtze River after the construction of Gezhouba Water Control Project[M]//Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, et al. Gezhouba Water Control Project and Four Famous Fishes in Yangtze River. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1988, 47-68. [余志堂, 邓中彝, 许蕴珩, 等. 葛洲坝水利枢纽建成后长江干流四大家鱼产卵场的现状及工程对家鱼繁殖影响的评价[M]//易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988: 47-68.]
- [19] Wang S Y, Liao W G, Chen D Q, et al. Analysis of eco-hydrological characteristics of the four Chinese farmed carps' spawning grounds in the middle reach of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(6): 892-897. [王尚玉, 廖文根, 陈大庆, 等. 长江中游四大家鱼产卵场的生态水文特性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(6): 892-897.]
- [20] Gorbach E. Condition and fatness of the grass carp (*Ctenopharyngodon idella* (Val.)) in the Amur basin[J]. Journal of Ichthyology, 1971, 1(1): 880-889.
- [21] King A J, Wark K A, O'Connor P, et al. Adaptive management of an environmental watering event to enhance native fish spawning and recruitment[J]. Freshwater Biology, 2010, 55: 17-31.
- [22] Nesler T P, Muth R T, Wasowicz A F. Evidence for baseline flow spikes as spawning cues for Colorado squawfish in the Yampa River, Colorado[J]. Amer Fisheries Society, 1988, 5: 68-79.
- [23] King J, Cambray J A, DeanImpson N. Linked effects of dam-released floods and water temperature on spawning of the Clanwilliam yellowfish *Barbus capensis*[J]. Hydrobiologia, 1998, 384(1): 245-265.

Status of fishes at the early life history stage in the Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River

LIU Mingdian, GAO Lei, TIAN Huiwu, ZHU Fengyue, Wang Dengqiang, CHEN Daqing, LIU Shaoping, DUAN Xinbin

Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Upper and Middle Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture; Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

Abstract: Surveys were conducted in the Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River from May to June in 2014 and 2015 to reveal the current status of the spawning grounds of fishes with pelagic eggs. A total of 12209 eggs was collected in the Yichang section and the eggs were identified by molecular biological methods. The eggs belonged to 27 species in 4 families in 2 orders. Among them, most were Cyprinidae (77%), followed by Cobitidae, accounting for 15%, and Homalopteridae and Salangidae had the least frequent, each at 4%. Of the 27 identified species, 22 were middle drifting fish eggs or 81% of all species. The total of pelagic eggs in the middle reaches of the Yangtze River was estimated to be 79.1×10^8 individuals and 70.9×10^8 individuals, and that of the four major Chinese carp species was 5.65×10^8 individuals and 6.13×10^8 individuals during 2014 and 2015, respectively. During the surveys, fishes had a total of seven spawning peaks. Spawning peaks occurred in late May and early June. A series of strong tendencies were found for the four major Chinese carp species regarding the amount of daily fish spawning and the daily flow rate. In 2014, the spawning grounds of the four major Chinese carp species was located in the Gezhouba, Yichang, and Baiyang reaches. The four major Chinese carp species were located in the Gezhouba and Yichang reaches in 2015. Compared with historical data, the range of the spawning grounds of the four major Chinese carp species moved downstream and the number of eggs displayed a decreasing tendency in recent years in the Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River, where they have gradually decreased. It is suggested that scientific and suitable ecological reservoir reoperation and enhancement is needed, and fish release should be conducted to meet the demand of fish breeding in the middle reaches of the Yangtze River.

Key words: middle reaches of the Yangtze River; Yichang section; spawning ground; four major Chinese carp species; fish at early life history stages

Corresponding author: DUAN Xinbin. E-mail: duan@yfi.ac.cn