

DOI: 10.12264/JFSC2020-0156

长江湖口段四大家鱼卵资源及其产卵场分布

何晓辉¹, 谈龙飞¹, 彭云鑫¹, 方弟安^{1,2}, 徐东坡^{1,2}

1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 江苏 无锡 214081

摘要: 为了解长江湖口段四大家鱼卵的资源现状和产卵场位置与产卵规模, 本研究于 2019 年 4 月 19 日至 8 月 5 日利用浮游生物网对湖口江段设置的 4 个采样断面进行逐日调查。调查结果显示: 采集到家鱼卵 93 粒, 其中以鲢为绝对优势, 占家鱼卵总数的 80.65%。本次研究采集到的受精卵瞬时发育时期共 9 期, 主要是尾芽出现期、囊胚期和原肠早期, 分别占总家鱼卵数的 32.26%、24.73%和 15.05%, 结合水流情况, 推算出四大家鱼产卵场分布于湖口江州、武穴龙坪和黄冈蕲州 3 个江段附近, 产卵规模分别为 0.49×10^8 ind、 0.68×10^8 ind 和 0.38×10^8 ind, 与历史资料相比其位置无明显变化, 但产卵规模显著下降。研究期间, 1 号断面的鱼卵平均日丰度为 1.52 ind/1000 m³, 显著高于 2 号(0.88 ind/1000 m³)和 3 号断面(0.43 ind/1000 m³)。运用 Pearson 检验分析表明, 四大家鱼卵日丰度与水流流量日上涨率呈极显著正相关($P < 0.01$), 与水位日上涨率和流速呈显著正相关($P < 0.05$)。时隔 50 余年, 本研究再次报道了长江中下游衔接水域四大家鱼产卵场位置与产卵规模, 为四大家鱼资源保护提供基础资料。

关键词: 湖口江段; 四大家鱼; 产卵场; 时空分布; 长江中下游

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)04-0420-11

“四大家鱼”是中国主要的淡水经济鱼类, 曾占中国淡水鱼总产量的 60%^[1]。长江中游江段四大家鱼产卵量占全江产卵量的 70.4%, 是家鱼早期资源量最丰富的江段^[2]; 2014 年和 2015 年长江中游洪湖江段调查到四个家鱼产卵场, 产卵总规模分别为 1.1×10^8 ind、 0.95×10^8 ind^[3]; 2015 年和 2016 年黄石江段四大家鱼产卵场主要分布在团风李家洲、鄂州城区、鄂州戴家洲和黄石道士袱四个江段, 两年间产卵总规模分别为 0.2×10^8 ind 和 4.69×10^8 ind^[4]。较历史资料比较, 长江中游四大家鱼产卵场位置均无明显变化, 而产卵规模普遍下降。对于长江下游的四大家鱼产卵场仅有历史资料中的湖口、彭泽两个产卵场, 其产卵规模分别为 5.63×10^8 ind 和 3.96×10^8 ind^[2], 近几十年间未见报道。

鄱阳湖是长江下游最大的通江湖泊, 水生生物资源丰富。鄱阳湖特殊的江湖复合型生态系统对湖区渔业资源的维持和补充有着极其重要的意义, 湖口水域鱼类群落结构的变化影响着湖区渔业功能及生态系统自我调控功能^[5-7]。四大家鱼是典型的半洄游鱼类, 长江湖口段家鱼幼鱼主要于 7 月中旬至 8 月底经通江水道进入鄱阳湖育肥^[8-9]。刘熠等^[10]在 2016 年对长江湖口江段鱼类早期资源的研究发现, 湖口江段四大家鱼仔稚鱼丰度在 7 月上旬达到峰值, 但未进行详细研究。本研究在长江湖口江段开展四大家鱼的早期资源调查, 对掌握湖口江段家鱼资源有着重要的支撑作用, 亦可了解长江下游湖口江段四大家鱼的产卵场分布和产卵规模, 为长江下游湖口江段四大家鱼资源保护和四大家鱼产卵场的动态数据库建

收稿日期: 2020-06-22; 修订日期: 2020-12-09.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900903); 农业农村部物种资源保护项目(213013500804).

作者简介: 何晓辉(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类早期资源. E-mail: 1542256389@qq.com

通信作者: 徐东坡, 研究员, 研究方向为渔业资源评估和保护利用. E-mail: xudp@ffrc.cn

设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间和地点

基于本课题组前期研究积累的数据资料^[10], 依据《河流漂流性鱼卵、仔鱼采样技术规范》^[11]和《河流漂流性鱼卵和仔鱼资源评估方法》^[12]等关于鱼类早期资源的研究方法, 本研究于2019年4月至8月间, 在长江湖口江段选取八里江、桂营村、江州镇大湾洲、鄱阳湖通江水道等四个采样断面, 分别标注为1、2、3、4号断面, 逐日开展四大家鱼的早期资源调查。四个断面各设南岸、北岸和江心三个点位进行采集, 其中3号断面有沙洲阻隔, 加设一个夹江点, 如图1所示。

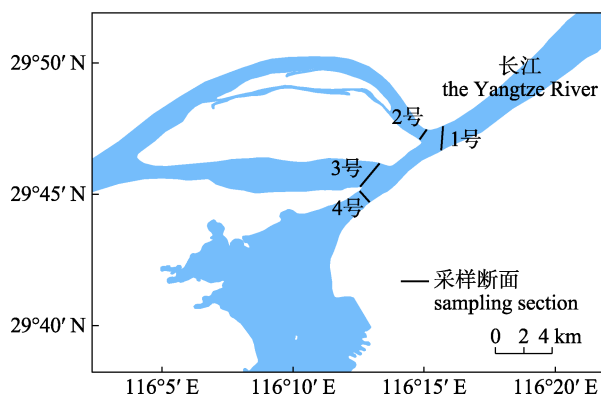


图1 长江湖口江段鱼类早期资源采样点设置

Fig. 1 The location of sampling sites on fisheries of early life history stages in Hukou section of the Yangtze River

1.2 调查方法和样品的保存鉴定

早期资源定量采集使用的网具主要为大型浮游生物网, 是直径0.8 m, 网深2.5 m, 网目40目, 孔径0.25 mm的圆锥网。在调查期间, 每日的7:00~11:00进行定量采集, 采样同时记录HYDRO-BIOS公司生产的流量计(型号438115)转子的转数、采集时间、水温、浊度以及流速等水环境因子数据。采样断面的水位和江水径流量数据从网站(江西省水利厅—江河水清(<http://www.jxwrd.gov.cn/slxhwh/jhsq/index.html>))进行记录。

浮游生物网采集到的鱼卵样品由冰水保存, 带回实验室将卵挑拣至培养皿内, 在奥林巴斯解剖镜SZX16下进行拍照确定鱼卵发育时期, 完成

后使用无水乙醇保存, 进行分子鉴定。具体步骤是: 提取鱼卵的基因组DNA, 基于线粒体细胞色素C氧化酶亚基I (cytochrome C oxidase subunit I, COI) 基因条形码, 运用PCR扩增目的条带并进行测序, 然后将所测结果同已经用成鱼建立的长江鱼类条形码数据库进行比对得到种类鉴定的结果^[13]。

1.3 产卵江段计算方法

1.3.1 产卵场位置计算

$$L = V \times T$$

式中, L 为鱼卵的漂流距离(m), V 为采集到鱼卵时的江水平均流速(m/s), T 为当时水文条件下鱼卵所发育到各个时期所需要的时间(s)。

1.3.2 鱼卵密度计算 采集点鱼卵密度计算方法按照易伯鲁等^[2]和曹文宣等^[14]的计算方法, 依据所采集四大家鱼卵的数量、采集所用的时间、采集期间流量计的差值和圆锥网网口面积按下列公式处理:

$$Q_i = (0.3 \times S \times a_i) / t_i$$

$$D_i = \frac{N_i}{Q_i \times t_i}$$

式中, Q_i 为第 i 个采集点采集网具网口的过水流量(m^3/s), 0.3 为流量计转子的螺距(m/r), S 为主动网具网口面积(m^2), a_i 为第 i 个采集点采集流量计转子的转数(r), t_i 为第 i 个采集点采集所用的时间(s), D_i 为第 i 个采集点家鱼卵的密度(ind/ m^3), N_i 为第 i 个采集点采集到的家鱼卵的数量(ind)。

1.3.3 断面系数计算

有关计算公式如下列所示:

$$\bar{D} = \left(\sum_{i=1}^n D_i \right) / n$$

$$C_i = \bar{D} / D_i$$

式中, $\bar{D}$ 为采集断面内所有采集点鱼卵的平均密度(ind/ m^3), C_i 为断面系数。

1.3.4 鱼卵径流量计算

采集期间鱼卵径流量为:

$$M_i = Q \times D_i \times C_i \times t_i$$

非采集期间鱼卵径流量为:

$$M' = \left(\frac{M_1}{t_1} + \frac{M_2}{t_2} \right) \times \frac{t'}{2}$$

式中, Q 为采集当天江水径流量(m^3/s), M_1 、 M_2 分别为前后两次采集的鱼卵径流量(ind), t_1 、 t_2 分

别为前后两次采集的持续时间(s), t' 为前后两次采集的间隔时间(s)。

采集江段的鱼卵总径流量为:

$$M = \sum M_i + \sum M'$$

为检验鱼卵日丰度规律与环境因子之间的相关关系, 本研究使用 SPSS 20.0 软件中的 Pearson 相关性检验进行分析, 其他数据处理与图形制作使用 Microsoft Excel 2010 软件进行。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2019 年采样调查期间, 共采集鱼卵 589 粒, 经 COI 测序分析, 鉴定出家鱼卵 93 粒, 其中以鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)卵数量最多, 有 75 粒, 占家鱼卵总数的 80.65%; 青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)次之, 有 7 粒, 占家鱼卵数的 7.52%; 草鱼

(*Ctenopharynodon idellus*)卵数量较少, 有 6 粒, 占家鱼卵数量的 6.45%; 鳙(*Aristichthys nobilis*)卵数量最少, 只有 5 粒, 占家鱼卵数量的 5.38% (表 1)。由此可见, 湖口江段采样调查到的四大家鱼卵主要以鲢卵为主。

表 1 长江湖口江段四大家鱼卵种类组成
Tab. 1 Species composition of the four major Chinese carp eggs in Hukou section of the Yangtze River

种类 species	数量/ind number	比例/% ratio
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	75	80.65
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	7	7.52
草鱼 <i>Ctenopharynodon idellus</i>	6	6.45
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	5	5.38
合计 total	93	100

2.2 产卵场位置及产卵规模

2019 年采集到的四大家鱼卵中, 瞬时发育时期范围是细胞期至出膜前期(图 2)。结合采集到鱼

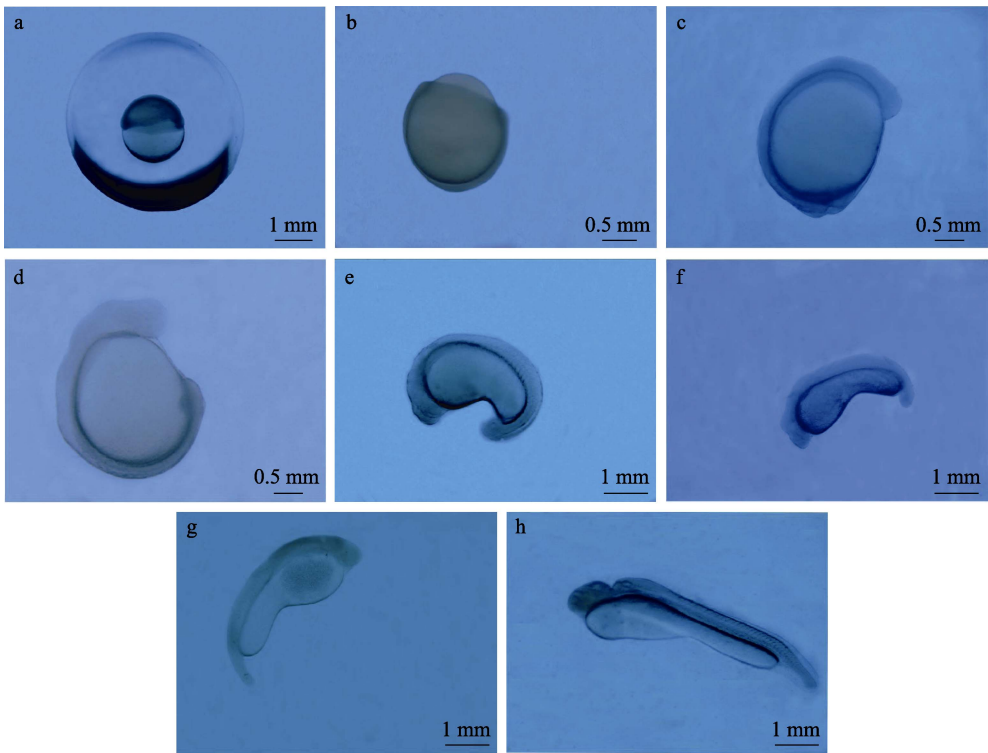


图 2 四大家鱼卵发育时期

a: 鳙卵, 囊胚期; b: 草鱼卵, 原肠早期; c: 草鱼卵, 眼原基出现期; d: 鲢卵, 尾芽出现期; e: 青鱼卵, 肌肉效应期; f: 鲢卵, 心脏原基期; g: 鲢卵, 心脏搏动期; h: 鲢卵, 出膜前期。

Fig. 2 Four major Chinese carps eggs development stages
a: *Aristichthys nobilis* eggs, stage of blastula; b: *Ctenopharynodon idella* eggs, early stage of gastrula;
c: *Ctenopharynodon idella* eggs, eye primordium formation; d: *Hypophthalmichthys molitrix* eggs, stage of tail bud appearance;
e: *Mylopharyngodon piceus* eggs, muscle effect period; f: *Hypophthalmichthys molitrix* eggs, primary cardiac stage;
g: *Hypophthalmichthys molitrix* eggs, heart beating stage; h: *Hypophthalmichthys molitrix* eggs, hatching stage.

卵时的江水流速以及家鱼卵发育时期所需的发育时长可以推算出产卵场位置, 2019 年湖口江段采集到的四大家鱼卵来自湖口采样断面上游 18~123 km 江段附近(表 2)。

经推算, 湖口江段采集到的四大家鱼卵的产卵水域主要集中在采样断面上游湖口江州、武穴龙坪及黄冈蕪州 3 个江段附近(图 3), 按时间顺序来看, 家鱼产卵按产卵场自下而上的位置顺序先后产卵(表 3)。其中龙坪附近江段产卵规模占总规模的 44.1% (表 4), 是湖口江段采集到的四大家鱼

表 2 2019 年湖口江段四大家鱼卵发育时长与漂流距离
Tab. 2 Development period and drift distance of four major Chinese carps eggs in Hukou section of the Yangtze River in 2019

种类 species	发育时期 development stage	数量/ind number	发育时长 ^[4] /h development period ^[4]	漂流距离/km drift distance
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	囊胚期 stage of blastula	18	6.67	22.57
	原肠早期 early stage of gastrula	12	8.67	29.34
	尾芽出现期 stage of tail bud appearance	30	19.30	65.31
	肌肉效应期 muscle effect period	1	24.40	82.57
	心脏原基期 primary cardiac stage	4	33.00	103.36
	心脏搏动期 heart beating stage	2	33.74	106.89
	出膜前期 hatching stage	8	34.25	115.90
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	细胞期 cell stage	2	5.32	18.00
	囊胚期 stage of blastula	2	6.81	23.05
	眼原基出现期 eye primordium formation	1	16.33	51.15
	肌肉效应期 muscle effect period	1	24.49	76.70
	出膜前期 hatching stage	1	36.53	123.62
草鱼 <i>Ctenopharynodon idella</i>	原肠早期 early stage of gastrula	2	6.79	22.98
	眼原基出现期 eye primordium formation	3	15.96	54.01
	肌肉效应期 muscle effect period	1	22.36	70.84
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	囊胚期 stage of blastula	3	5.53	18.71
	肌肉效应期 muscle effect period	2	23.13	78.27

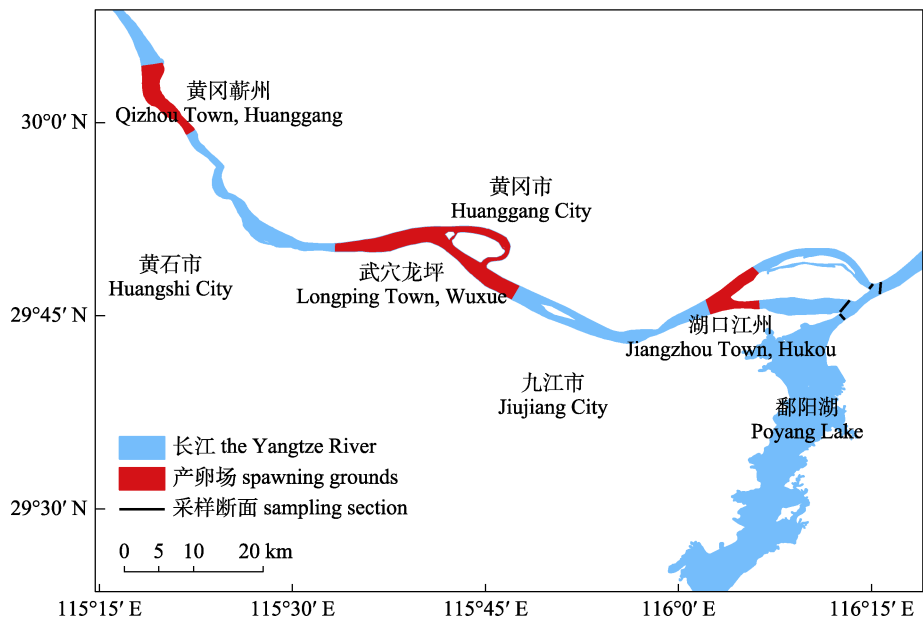


图 3 长江湖口江段四大家鱼产卵场位置
Fig. 3 Location of four major Chinese carps spawning grounds in Hukou section of the Yangtze River

表 3 长江湖口江段四个月家鱼产卵场位置变化

Tab. 3 Changes of four major Chinese carps location of spawning grounds in the Hukou section of the Yangtze River for four months

月份 month	江水流速/(m/s) water velocity	发育时期 development stage	产卵场位置 location of spawning ground
4 月 April	0.85±0.34	原肠早期 early stage of gastrula	湖口江州附近 Jiangzhou Town, Hukou County
		尾芽出现期 stage of tail bud appearance	武穴龙坪附近 Longping Town, Wuxue City
5 月 May	0.96±0.21	细胞期-原肠早期 cell stage-early stage of gastrula	湖口江州附近 Jiangzhou Town, Hukou County
		眼原基出现期-肌肉效应期 eye primordium formation-muscle effect period	武穴龙坪附近 Longping Town, Wuxue City
		心脏原基期-出膜前期 primary cardiac stage-hatching stage	黄冈蕲州附近 Qizhou Town, Huanggang City
6 月 June	0.88±0.16	囊胚期 stage of blastula	湖口江州附近 Jiangzhou Town, Hukou County
		眼原基出现期-肌肉效应期 eye primordium formation-muscle effect period	武穴龙坪附近 Longping Town, Wuxue City
		心脏原基期-出膜前期 primary cardiac stage-hatching stage	黄冈蕲州附近 Qizhou Town, Huanggang City
7 月 July	0.89±0.16	肌肉效应期 muscle effect period	武穴龙坪附近 Longping Town, Wuxue City
		心脏原基期-出膜前期 primary cardiac stage-hatching stage	黄冈蕲州附近 Qizhou Town, Huanggang City

表 4 湖口江段四大家鱼产卵规模

Tab. 4 Size of four major Chinese carps spawning grounds in the Hukou section of the Yangtze River

发育时期 development stage	产卵场位置 location of spawning ground	产卵规模/(×10 ⁸ ind) size of spawning ground	比例/% ratio
细胞期-原肠早期 cell stage-early stage of gastrula	湖口江州附近 Jiangzhou Town, Hukou County	0.49	31.5
眼原基出现期-肌肉效应期 eye primordium formation-muscle effect period	武穴龙坪附近 Longping Town, Wuxue City	0.68	44.1
心脏原基期-出膜前期 primary cardiac stage-hatching stage	黄冈蕲州附近 Qizhou Town, Huanggang City	0.38	24.4

卵的主要分布江段。

2.3 四大家鱼卵的丰度日变化

2019 年湖口江段四大家鱼卵平均日丰度为 (1.14±2.80) ind/1000 m³, 四大家鱼卵自 4 月下旬开始出现到 7 月下旬呈波动性变化, 共出现 3 个峰值, 分别为 5 月 16 日、6 月 22 日和 7 月 13 日, 对应的鱼卵日丰度为 11.63 ind/1000 m³、17.84 ind/1000 m³和 10.70 ind/1000 m³。从图 4 可以看出四大家鱼卵峰值均发生在江水径流量上涨期间。

2.4 四大家鱼卵的空间分布特征

2019 年湖口共计采样 104 d, 其中仅 28 d 采

集到四大家鱼卵。采样期间 4 号断面全程未采集到四大家鱼卵, 其他 3 个断面同时采集到家鱼卵的时间只有四天, 分别是 5 月 3 日、5 月 14 日、5 月 16 日和 5 月 18 日。由图 5 可以看出 1 号断面家鱼卵主要有两个峰值, 分别在 5 月 16 日和 6 月 22 日, 对应的四大家鱼卵日丰度分别为 14.98 ind/1000 m³和 17.84 ind/1000 m³; 而 2 号断面在 5 月 14 日和 5 月 16 日出现峰值, 对应的四大家鱼卵日丰度分别为 13.00 ind/1000 m³和 12.76 ind/1000 m³; 3 号断面仅有 1 个峰值, 其出现在 5 月 16 日, 对应的四大家鱼卵日丰度为 8.27 ind/1000 m³。

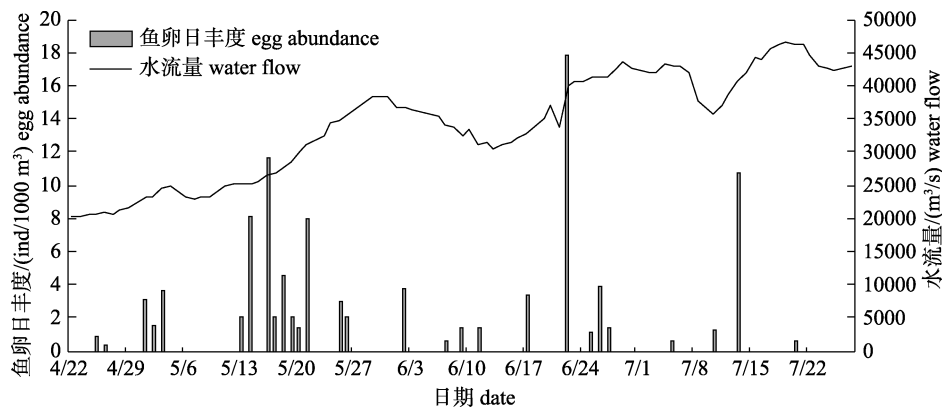


图 4 长江湖口江段四大家鱼卵丰度变化

Fig. 4 Four major Chinese carps eggs abundance change in Hukou section of the Yangtze River

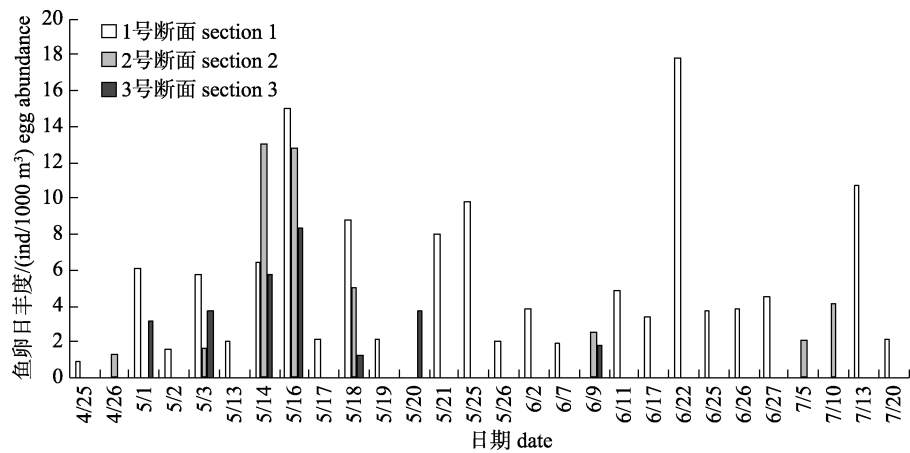


图 5 长江湖口江段四大家鱼卵断面分布

Fig. 5 Section distribution of the four major Chinese carps eggs in Hutou section of the Yangtze River

在采样期间, 1 号、2 号和 3 号断面的鱼卵平均日丰度分别为 $1.52 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$ 、 $0.88 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$ 和 $0.43 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$, 1 号断面和 3 号断面南岸均未采集到四大家鱼卵, 1 号断面四大家鱼卵日丰度横向分布为江心($6.08 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$)>北岸($5.52 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$)>南岸; 2 号断面四大家鱼卵日丰度横向分布为江心($9.27 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$)>南岸($1.16 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$)>北岸($1.12 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$); 3 号四

大家鱼卵日丰度横向分布为江心($7.54 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$)>北岸($0.33 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$)>南岸。

2.5 家鱼卵密度与环境因子的相关关系

2019 年调查期间, 湖口江段环境因子变化如表 5 所示。

江段径流量变化范围为 $20200\sim46700 \text{ m}^3/\text{s}$, 径流量日上涨率最大值为 $6110 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{d})$; 水位变化范围为 $12.96\sim20.77 \text{ m}$, 水位日上涨率最大值为

表 5 湖口江段环境因子变化

Tab. 5 Changes of environmental factors in Hukou section of the Yangtze River

采样断面 sampling section	$T/^{\circ}\text{C}$	pH	$\text{DO}/(\text{mg}/\text{L})$	$v/(\text{m}/\text{s})$	SD/cm	TUB/NTU
1	24.16	7.71	8.86	0.87	50.43	30.06
2	23.51	7.90	8.89	0.88	44.41	36.66
3	23.72	7.93	8.74	0.98	49.47	32.73
4	25.54	7.75	8.69	0.84	52.43	27.16

0.44 m/d。通过对四大家鱼卵日丰度与环境因子进行 Pearson 相关性分析发现,四大家鱼卵日丰度与径流量日上涨率呈极显著正相关($P<0.01$)(图 6),和 水位日上涨率呈显著正相关($P<0.05$)(图 7),和 流速呈显著正相关($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 长江下游湖口江段四大家鱼产卵场

本次调查到四大家鱼产卵场位于采样断面上游 18~123 km 处的湖口江州、武穴龙坪和黄冈蕲州 3 个江段附近。黄冈蕲州附近的产卵场与道士袱产卵场^[4]存在重合,而湖口江州和武穴龙坪这两个产卵场仅在历史资料^[2]中有介绍,位置无明显变化,湖口江州附近的产卵场延伸里程从历史

上的 5 km 变为了如今的 10 km。推测是由于长江中上游三峡大坝等水电站的修建,阻隔了四大家鱼洄游通道,导致水文条件发生了一定的变化,部分四大家鱼在远离大坝的江段寻找新的生存环境,形成新的适应机制,使湖口江州附近的产卵场延伸里程加长。2012—2018 年长江中游沙市江段的产卵规模是 1965 年的 3.94%^[15],2003—2006 年长江中游监利江段的产卵规模是 1965 年的 4.00%^[16]。本研究中湖口江州、武穴龙坪和黄冈蕲州附近的产卵规模分别是 1965 年的 12.37%、8.59%和 4.80%。整体来说,长江中下游四大家鱼繁殖规模在持续下降,但相较而言,长江下游江段四大家鱼繁殖规模下降幅度较中游江段更小。长江中下游由于江湖阻隔等阻碍了家鱼的洄游

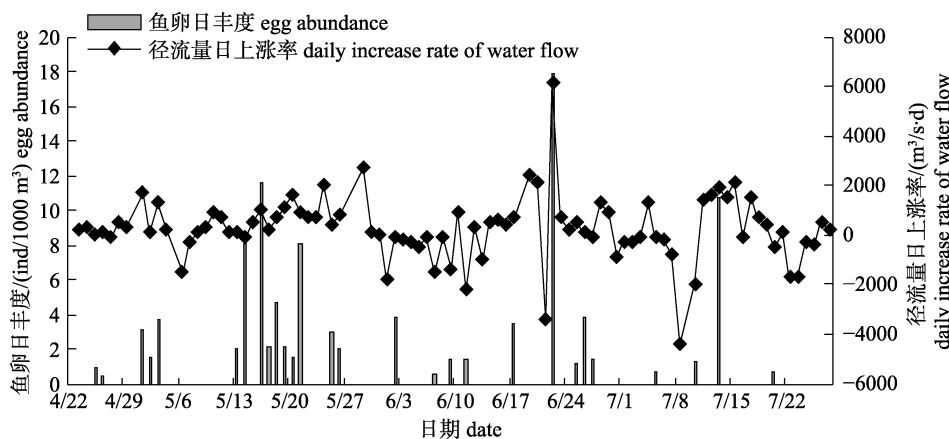


图 6 长江湖口江段四大家鱼卵密度与径流量日上涨率相关关系

Fig. 6 Relationship between the four major Chinese carps eggs abundance and daily increase rate of water flow of Hukou section of the Yangtze River

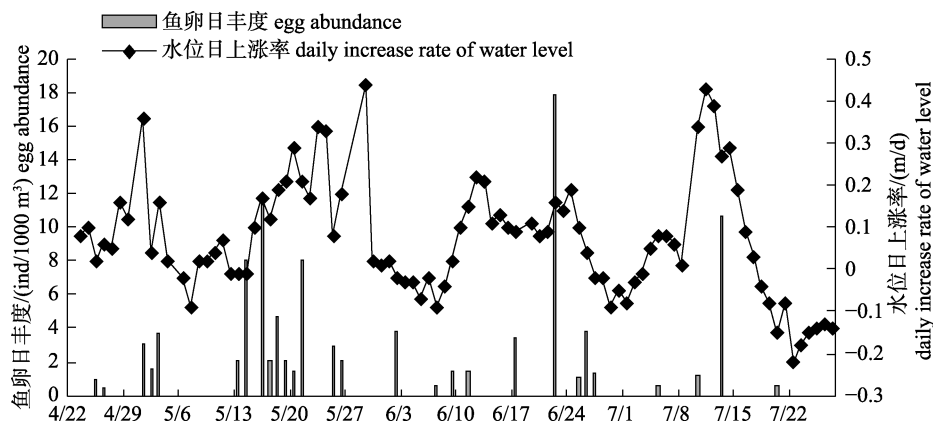


图 7 长江湖口江段四大家鱼卵密度与水位日上涨率相关关系

Fig. 7 Relationship between the four major Chinese carps eggs abundance and daily increase rate of water level of Hukou section of the Yangtze River

通道,能够洄游到长江进行产卵的亲鱼数量减少^[17]。而近年来长江下游各省市大力开展增殖放流,下游的家鱼资源量可能较中游更多。中游靠近三峡等水利工程,水文节律和理化特征已经明显改变,抑制了家鱼产卵活动,产卵规模变小^[18-19],而长江下游远离水利工程,又有湖泊及沿江支流的汇入,水文条件更接近自然状态,有利于家鱼的产卵繁殖。

本研究中,家鱼产卵场产卵时间不一致,可能是各产卵场满足亲本产卵条件的时间不一致。蔡玉鹏等分析往年数据表明,四大家鱼在繁殖季节只有当产卵江段水温达到甚至大于 18℃才会产卵,而长江中游由于三峡大坝的蓄水运行,导致水温首次达到 18℃的时间推迟^[20]。蒲灵等^[21]的研究表明天然河流干流水温从上游至下游呈沿程递增的趋势。因此,同一时间靠近下游的江水温度较中游江水温度稍高,靠近下游部分的产卵场先满足家鱼产卵水温,最先出现产卵活动。

调查表明,四大家鱼在分汊型、矶头型和弯曲线等具有特殊形态的河道水流中更易产卵繁殖^[22]。本研究调查到的湖口江州、武穴龙坪和黄冈蕲州产卵场均位于江心有沙洲、有矶头漩涡或有弯道的江段。柏海霞等^[23]的研究表明,长江四大家鱼产卵场通常位于地形变化大、水流复杂的江段,表现为江心有沙洲或矶头伸入江中、河道弯曲多变的江段,这些江段水流湍急、流速梯度波动大、流态复杂,极易形成泡漩水,是成熟亲鱼的最佳产卵场所。

3.2 影响四大家鱼卵时空分布的主要因素

李建等发现在鱼类繁殖期间,四大家鱼卵主要分布于白天^[22]。四大家鱼产卵繁殖的水温一般要求在 18℃以上,其最适产卵水温在 21.5~23.0℃^[2,24-27]。本研究中湖口采样断面鱼卵集中出现在 5 月下旬,期间水温波动范围在 20.4~24.7℃。在鱼类繁殖季节,江河水文的情况变化如水流增大、水位上涨和江水流速加快等情况,是引起四大家鱼产卵高峰期的重要因素^[28-31]。2019 年湖口江段在 5 月下旬径流量和水位开始上涨,持续至 7 月中旬,出现三次鱼卵高峰,期间均伴随着采样断面的江水径流量和水位大幅上涨。本研究

结果表明,湖口江段四大家鱼卵日丰度与水流量日上涨率呈极显著正相关,与江水流速和水位日上涨率均呈显著正相关,这与郭国忠^[32]、唐锡良^[3]在长江中上游所得到的结果基本一致。

江河鱼类在早期阶段很容易受各种各样的因素影响,鱼类早期阶段的漂流密度也会存在一定的差异规律。本研究为确定长江湖口江段和鄱阳湖之间的家鱼资源相互补充关系,在长江干流和鄱阳湖通江水道共设置四个采样断面。研究表明,调查期间四大家鱼卵在各采样断面分布存在较大差异,其中,1 号断面鱼卵密度明显高于 2 号和 3 号断面,是因为 2 号和 3 号断面汇合于 1 号断面。在整个采样过程中,除通江水道外,其他 3 个断面均采集到四大家鱼卵,可能是调查期间长江江水未发生倒灌。长期以来,自西而来的浑浊江水与清澈通明的鄱阳湖水于两者交汇处,形成一条长长的清浊分明的分界线^[33]。在本研究采样过程中,终日可见清浊分明的分界线位于长江干流中,故推测调查期间长江江水未发生倒灌。易伯鲁等认为由于断面上各个点位之间的河床形态、江水流速和流域动态等自然条件的不同,鱼类早期资源的漂流密度在同一江河断面上的不同位置之间差异极大^[2]。在采集到四大家鱼卵的 3 个断面中,江心的鱼卵密度都明显高于两岸的鱼卵密度。姜伟等^[34]发现江心主流水域的漂流密度高于沿岸缓流水域,符合鱼卵漂流密度与江水流速呈正相关的规律。

3.3 对长江湖口江段四大家鱼早期资源及生境保护的建议

鄱阳湖承接长江中下游区域,是维持长江中下游生态的关键,为保护湖口江段四大家鱼早期资源及生境,结合以往和本研究结果建议:(1)加强渔业资源监测,探究鄱阳湖对长江干流家鱼资源的补充关系,为湖口江段家鱼资源的进一步研究提供基础数据;(2)持续开展增殖放流工作,保护和补充家鱼资源量,逐渐恢复原有的家鱼群落结构;(3)减少采砂、造船厂、码头等涉水工程,建立保护区,保证产卵场的自然状态。

4 小结与展望

2019 年长江湖口江段采集到的家鱼受精卵共

93 粒, 鲢为绝对优势, 有 75 粒。瞬时发育时期共九期, 主要是尾芽出现期、囊胚期和原肠早期, 分别占总鱼卵数的 35.48%、24.73% 和 15.05%; 2019 年推算出的湖口江段四大家鱼产卵场主要有湖口江州、武穴龙坪和黄冈蕲州 3 个江段, 其产卵规模分别为 0.49×10^8 ind、 0.68×10^8 ind 和 0.38×10^8 ind。本次采集通江水道断面未采集到四大家鱼卵, 可能是调查期间长江江水未发生倒灌, 1 号断面的鱼卵平均密度明显高于 2 号和 3 号断面密度, 是因为 2、3 号断面汇合于 1 号断面。三个断面均是江心密度大于南北两岸密度, 是由于鱼卵漂流密度与流速呈正相关关系, 本研究采样期间江心流速明显高于两岸。在繁殖季节内, 四大家鱼卵日丰度与水流量日上涨率呈极显著正相关, 与江水流速、水位日上涨率均呈显著正相关。

对于在本研究中推算出的四大家鱼产卵场, 后期仍然需要对其生境、地形进行切实详细的实地调查, 以验证本研究的调查结果。江水未发生倒灌对四大家鱼的入湖育幼情况有何影响, 这还需要进一步的深入研究。干流南岸和南夹江南岸均未采集到四大家鱼卵, 估计是四大家鱼卵在南岸分布较少, 需要进一步探究生境异质性对四大家鱼卵分布的影响。

参考文献:

- [1] 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(1): 13-22.
- [2] 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.]
- [3] Tang X L. Studies on early fish resources in Jiangjin cross-section in the upstream of Yangtze River[D]. Chongqing: Southwest University, 2010. [唐锡良. 长江上游江津江段鱼类早期资源研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.]
- [4] Gao L, Hu X K, Yang H, et al. Resources of the four major Chinese carps of early life history stages at Huangshi section in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(6): 1498-1506. [高雷, 胡兴坤, 杨浩, 等. 长江中游黄石江段四大家鱼早期资源现状[J]. 水产学报, 2019, 43(6): 1498-1506.]
- [5] Hu M L, Wu Z Q, Liu Y L. Fish diversity and community structure in Hukou area of Lake Poyang[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(2): 246-250. [胡茂林, 吴志强, 刘引兰. 鄱阳湖湖口水域鱼类群落结构及种类多样性[J]. 湖泊科学, 2011, 23(2): 246-250.]
- [6] Scheffer M, Carpenter S, Foley J A, et al. Catastrophic shifts in ecosystems[J]. *Nature*, 2001, 413(6856): 591-596.
- [7] Ren P, He H, Song Y Q, et al. The spatial pattern of larval fish assemblages in the lower reach of the Yangtze River: potential influences of river-lake connectivity and tidal intrusion[J]. *Hydrobiologia*, 2016, 766(1): 365-379.
- [8] Hu M L, Wu Z Q, Liu Y L. Time course of the juvenile major Chinese carps in the Hukou waters of Poyang lake[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(5): 534-539. [胡茂林, 吴志强, 刘引兰. 鄱阳湖湖口水域四大家鱼幼鱼出现的时间过程[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(5): 534-539.]
- [9] He G, Fang C L, Chen W J, et al. Characteristics of four major Chinese carps communities and pattern of young fish entering lake in Poyang Lake waterway[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2016, 44(2): 297-299. [贺刚, 方春林, 陈文静, 等. 鄱阳湖水道四大家鱼群落特征及幼鱼入湖格局[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(2): 297-299.]
- [10] Liu Y, Yang X W, Ren P, et al. Community characteristics of larvae and juvenile fish in Hukou section of the Yangtze River in spring and summer[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(1): 142-154. [刘熠, 杨习文, 任鹏, 等. 长江湖口段春夏季稚鱼群落结构研究[J]. 水生生物学报, 2019, 43(1): 142-154.]
- [11] Pearl River Fisheries Research Institute. SC/T 9407~2012 Technical specification for drifting fish eggs and larvae sampling in river[S]. China: Industry standard-Aquatic products, 2012. [中国水产科学研究院珠江水产研究所. SC/T 9407~2012 河流漂流性鱼卵、仔鱼采样技术规范[S]. 中国: 行业标准-水产, 2012.]
- [12] Pearl River Fisheries Research Institute. SC/T 9427~2016 Stock assessment for drifting fish eggs and larvae in river[S]. China: Industry standard-Aquatic products, 2016. [中国水产科学研究院珠江水产研究所. SC/T 9427~2016 河流漂流性鱼卵和仔鱼资源评估方法[S]. 中国: 行业标准-水产, 2016.]
- [13] Gao L. Diversity and temporal and spatial patterns of larval fish assemblages in the south branch of Yangtze Estuary[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, 2014. [高雷. 长江口南支鱼类早期资源多样性与时空格局研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2014.]
- [14] Cao W X, Chang J B, Qiao Y, et al. Fish Resources of Early

- Life History Stages in Yangtze River[M]. Beijing: China Water Power Press, 2007: 1-34. [曹文宣, 常剑波, 乔晔, 等. 长江鱼类早期资源[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 1-34.]
- [15] Xu W, Yang Z, Chen X J, et al. Three Gorges Reservoir ecological operation effect on the spawning of the four major Chinese carps[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(5): 1129-1139. [徐薇, 杨志, 陈小娟, 等. 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, 2020, 33(5): 1129-1139.]
- [16] Duan X B, Chen D Q, Li Z, 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.]
- [17] Wu B, Zhao Q, Ma F K. Study on restoration of the relationship between blocking lakes and Yangtze River[J]. Environmental Science Survey, 2019, 38(5): 10-14. [吴波, 赵强, 马方凯. 长江中下游江湖关系恢复研究[J]. 环境科学导刊, 2019, 38(5): 10-14.]
- [18] Ren P. Distribution and annual dynamics of early life history resources of fish in the lower reach of the Yangtze River, China[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, 2016. [任鹏. 长江下游鱼类早期资源的分布与周年动态研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2016.]
- [19] Yu Z T. Preliminary assessment of the impact of large water conservancy projects on fish resources in the Yangtze River (1)[J]. Journal of Hydroecology, 1988, 14(2): 38-41. [余志堂. 大型水利枢纽对长江鱼类资源影响的初步评价(一)[J]. 水生态学杂志, 1988, 14(2): 38-41.]
- [20] Cai Y P, Yang Z, Xu W. Effect of Water Temperature Variation After Impoundment of the Three Gorges Reservoir on Natural Reproduction of the Four Major Chinese Carps[J]. Advanced Engineering Sciences, 2017, 49(1): 70-77. [蔡玉鹏, 杨志, 徐薇. 三峡水库蓄水后水温变化对四大家鱼自然繁殖的影响[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(1): 70-77.]
- [21] Pu L, Li K F, Zhuang C Y, et al. Field Measurement of Distribution of water Temperature's Change Along a River[J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2006, 43(3): 614-617. [蒲灵, 李克锋, 庄春义, 等. 天然河流水温变化规律的原型观测研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2006, 43(3): 614-617.]
- [22] Li J, Xia Z Q, Wang Y K, et al. Study on river morphology and flow characteristics of four major Chinese carps spawning grounds in the middle reach of the Yangtze River[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2010, 42(4): 63-70. [李建, 夏自强, 王远坤, 等. 长江中游四大家鱼产卵场河段形态与水流特性研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010, 42(4): 63-70.]
- [23] Bai H X, Peng Q D, Li C, et al. A summary of topographical characteristics of the four major Chinese carps' spawning grounds and hydrodynamic conditions for natural propagation in the Yangtze River[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2014, 12(3): 249-257. [柏海霞, 彭期冬, 李翀, 等. 长江四大家鱼产卵场地形及其自然繁殖水动力条件研究综述[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2014, 12(3): 249-257.]
- [24] Li M Z, Duan Z H, Jiang W, et al. Preliminary analysis on the diel drifting behavior of fish eggs and larvae in different sections of main stream of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2011, 20(8): 957-962. [黎明政, 段中华, 姜伟等. 长江干流不同江段鱼卵及仔鱼漂流特征昼夜变化的初步分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(8): 957-962.]
- [25] Survey team of spawning grounds of domestic fishes in Changjiang River. A survey on the spawning grounds of the four famous China carps in the Changjiang River after 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.]
- [26] Research laboratory in institute of hydrobiology in Hubei. Fishes in Yangtze River[M]. Beijing: Science Press. 1976: 17-212. [湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 长江鱼类[M]. 北京: 科学出版社. 1976: 17-212.]
- [27] Wang K, Zhou X, Chen D Q, et al. Response relationship analysis on hydrological processes and spawning behavior of four major Chinese carps[J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(1): 66-70. [王珂, 周雪, 陈大庆, 等. 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, 2019, 49(1): 66-70.]
- [28] Tan X C, Li X H, Tao J P, et al. Spatial and temporal distribution of larval resources of fishes in Xijiang River[J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(4): 37-40. [谭细畅, 李新辉, 陶江平, 等. 西江肇庆江段鱼类早期资源时空分布特征研究[J]. 淡水渔业, 2007, 37(4): 37-40.]
- [29] Zhang X M, Huang D M, Xie W X, et al. Eco-hydrological characteristics of four major Chinese carps on nature spawning conditions in the mid-lower Hanjiang River[J]. Journal of Hydroecology, 2009, 30(2): 126-129. [张晓敏, 黄道明, 谢文星, 等. 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, 2009, 30(2): 126-129.]
- [30] Zhang G. Temporal and spatial patterns of early-life-history resource of the four major carps in the middle Yangtze River [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, 2012. [张国. 长江中游四大家鱼早期资源的时空格局研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2012.]
- [31] Li M Z, Gao X, Yang S R, et al. Effect of Environmental Factors on Natural Reproduction of the Four Major Chinese Carps in the Yangtze River, China[J]. Zoological Science, 2013, 30(4): 296-303.
- [32] Guo G Z. Study on fish early resources at Honghu section in

- the middle reaches of the Yangtze River[D]. Chongqing: Southwest University, 2017. [郭国忠. 长江中游洪湖江段鱼类早期资源研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017.]
- [33] Wu G F, Cui L J, Ji W T. An analysis of inversion of clear-turbid water in the Poyang Lake and the Yangtze River based remote sensing techniques[J]. Resources and Environment in the Yangtze River Basin, 2009, 18(8): 777-782. [鄢国锋, 崔丽娟, 纪伟涛. 基于遥感技术的鄱阳湖-长江水体清浊倒置现象的分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(8): 777-782.]
- [34] Jiang W, Liu H Z, Duan Z H, et al. Studies on the drift pattern of drifting fish eggs with tracers in upper Yangtze River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(6): 1172-1178. [姜伟, 刘焕章, 段中华, 等. 以标志物对长江上游漂流性鱼卵漂流方式的研究[J]. 水生生物学报, 2010, 34(6): 1172-1178.]

Four major Chinese carps eggs resources and spawning grounds distribution at Hukou section of the Yangtze River

HE Xiaohui¹, TAN Longfei¹, PENG Yunxin¹, FANG Di'an^{1,2}, XU Dongpo^{1,2}

1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China

Abstract: In this study, we sought to determine the status of resources and the spawning ground location and egg production of four major Chinese carp species along the Hukou section of the Yangtze River. Surveys were conducted from April 19 to August 5, 2019 at four sampling sections set up along the Hukou section, at which daily collections were made using a plankton net. We accordingly collected 93 eggs of the four major Chinese carp resources, the majority of which were the eggs of *Hypophthalmichthys molitrix*, accounting for 80.65% of the total egg numbers. The fertilized eggs collected during the study period were found to be at one of nine stages of development; the majority of them were at the tail bud appearance, blastula, and early gastrula stages, accounting for 32.26%, 24.73% and 15.05% of the total number of fish eggs, respectively. Taking into consideration the direction of water flow, we inferred that the locations of the spawning grounds of the four carp species were in the vicinity of three river stretches, namely, the Hukou Jiangzhou, Wuxue Longping, and Huanggang Qizhou sections. Moreover, we estimated that the numbers of eggs at the respective spawning grounds were 0.49×10^8 , 0.68×10^8 , and 0.38×10^8 ind. Compared with historical data, there were no obvious changes in the locations of these spawning grounds; however, there was a significant reduction in the numbers of eggs at each spawning location. The average density of fish eggs in section 1 was 1.52 ind./1000 m³, which was significantly higher than that in sections 2 (0.88 ind./1000 m³) and 3 (0.43 ind./1000 m³). The results of Pearson correlation analysis indicated that the abundance of eggs of the four carp species was significantly positively correlated with a daily increase in the rate of water flow ($P < 0.01$), and that there was also a significant positive correlation between the daily increase in water flow rate and water velocity ($P < 0.05$). After a period of more than 50 years, we have assessed the location and size of the spawning grounds of four major fish species in the middle and lower reaches of the Yangtze River. These findings provide basic information that will contribute to the protection of these fish resources in the Yangtze River.

Key words: Hukou section of the Yangtze River; four major Chinese carps; spawning ground; temporal and spatial distribution; the middle and lower reaches of Yangtze River

Corresponding author: XU Dongpo. E-mail: xudp@ffrc.cn