

# 长江宜昌段鲢的繁殖生物学特征

郜星晨<sup>①②</sup> 姜伟<sup>①②\*</sup> 白云钦<sup>①②</sup> 朱佳志<sup>①②</sup> 张琪<sup>①②</sup>  
刘绍平<sup>③</sup> 段辛斌<sup>③</sup> 唐锡良<sup>④</sup>

① 中国长江三峡集团公司中华鲟研究所 宜昌 443100; ② 三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室 宜昌 443100; ③ 农业部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站 中国水产科学研究院长江水产研究所 武汉 430223;

④ 中国三峡建设管理有限公司 成都 610000

**摘要:** 2014年3月至2016年9月在长江中下游宜昌江段共收集鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 样本433尾, 进行繁殖生物学研究。该江段鲢的繁殖时间为每年的5月下旬至8月上旬, 以6~7月为盛产期。繁殖群体体长310~927 mm, 体重600~17 090 g, 由3~7龄共5个年龄组组成, 3龄群体数量上占绝对优势, 占繁殖群体的45.2%。雌雄性比为1.43:1, 雌雄群体间体长-体重关系存在显著性差异 ( $0.01 < P < 0.05$ )。采用Logistic方程推算出初次性成熟雌性个体体长为482.3 mm, 体重为2 206.7 g; 初次性成熟雄性个体体长为484.0 mm, 体重1 677.5 g。卵径 ( $1.01 \pm 0.12$ ) mm, 大小分布呈单峰型, 为单批产卵型鱼类。绝对繁殖力 ( $477\ 662 \pm 9\ 631$ ) 粒, 相对繁殖力为 ( $93.38 \pm 5.92$ ) 粒/g, 绝对繁殖力随着鱼体长、体重增长而增大。与其他地理种群相比较, 宜昌江段鲢总体表现为卵径相对较小而繁殖力较大。

**关键词:** 鲢; 繁殖特征; 繁殖力; 繁殖期; 宜昌江段

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2018) 02-198-09

## Reproductive Biology of *Hypophthalmichthys molitrix* in the Yichang of the Yangtze River

GAO Xing-Chen<sup>①②</sup> JIANG Wei<sup>①②\*</sup> BAI Yun-Qin<sup>①②</sup> ZHU Jia-Zhi<sup>①②</sup> ZHANG Qi<sup>①②</sup>  
LIU Shao-Ping<sup>③</sup> DUAN Xin-Bin<sup>③</sup> TANG Xi-Liang<sup>④</sup>

① *Chinese Sturgeon Research Institute, China Three Gorges Corporation, Yichang 443100*; ② *Hubei Key Laboratory of Three Gorges Project for Conservation of Fishes, Yichang 443100*; ③ *Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Upper and Middle Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Yangtze River Fishery Resources Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223*; ④ *China Three Gorges Projects Development Ltd., Chengdu 610000, China*

**Abstract:** In order to study reproductive characteristics of *Hypophthalmichthys molitrix*, 433 samples were collected at the Yichang section in the Yangtze River during March 2014 to September 2016. The data for

基金项目 农业部长江中上游渔业资源环境科学观测站资助项目;

\* 通讯作者, E-mail: 106635291@qq.com;

第一作者介绍 郜星晨, 男, 硕士研究生; 研究方向: 鱼类分子生态学; E-mail: 13039829682@126.com.

收稿日期: 2017-08-11, 修回日期: 2017-11-25 DOI: 10.13859/j.cjz.201802005

standard length, body weight, net body weight and gonad weight of each specimen, and eggs' diameter of 10 females in IV stage were measured. Egg diameters were measured with the Image-Pro Plus 6.0 software. The gonads' stage was divided into six stages according to the method of YIN Ming-Cheng (1995). Statistic analysis of all data were taken by Microsoft excel 2007 and SPSS 16.0. The results proved that females spawned from May to August, peaked in June and July. The age of reproductive group consisted of 3, 4, 5, 6 and 7 years, while those at 3 years were consisted a highest percentage. The sex-ratio of females to males was 1.43 : 1 ( $\chi^2$ ,  $P < 0.01$ ). A significant differences were found between males and females by the body length to body weight equation ( $0.01 < P < 0.05$ , Fig. 2). The Logistic equation was used to calculate the characteristics of the first maturity and found out the minimum size of mature female was 482.3 mm in length and 2 206.7 g in weight, while that of mature male was 484.0 mm in length and 1 677.5 g in weight (Fig. 3). The average egg-diameter in ovary at stage IV was from 0.57 to 1.332 mm (average  $1.01 \pm 0.12$  mm) and the distribution of eggs diameter showed a one peak curve (Fig. 6). *H. molitrix* belonged to total spawners based on the gonadosomatic index curve (Fig. 5) and the distribution of the diameter of mature eggs. The absolute fecundity ranged from 102 351 to 767 200 eggs (average  $477\ 662 \pm 9\ 631$  eggs) and the relative fecundity per gram ranged from 44.89 to 139.75 eggs (average  $93.38 \pm 5.92$  eggs). The absolute fecundity was power correlated to body length and body weight (Fig. 4). Contrary to the reproductive population of fish in other section of Yangtze River, the average egg-diameter of *H. molitrix* was relatively smaller, but the fecundity was relatively higher.

**Key words:** *Hypophthalmichthys molitrix*; Reproduction biology; Fecundity; Breeding season; The Yichang of the Yangtze River

鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 属鲤形目 (Cypriniformes) 鲤科 (Cyprinidae) 鲢亚科 (Hypophthalmichthyinae) 鲢属, 俗称鲢子、白鲢, 与草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 和鳊 (*Aristichthys nobilis*) 并称为我国的“四大家鱼” (李思忠等 1990)。鲢一直是我国池塘养殖的重要品种, 具有生长快、易养殖且产量高的特点, 在水产养殖中占有重要地位 (曾祥琮 1990)。同时, 鲢作为适应长江中下游江湖复合生态系统的典型物种, 其资源动态是水生态系统健康状况的重要表征 (刘绍平等 2004, Duan et al. 2009)。

20 世纪 60 年代长江宜昌段四大家鱼年均产卵量 80 亿粒 (占干流总产量的 7%), 是历史记录中长江最大的产卵场 (易伯鲁等 1988a)。该江段水利枢纽的兴建和运行改变了原有的自然生态, 加之长期的过度捕捞、环境

污染和江湖阻隔等因素影响, 使鲢的卵苗总量逐年下降, 且在四大家鱼中的相对比例也显著下降 (于悦 2016)。产卵场调查 (刘绍平等 2004) 发现, 鲢的产卵场地理分布与 20 世纪 60 年代基本相同, 但产卵总量下降 94.3%, 资源量严重衰减。1964 年鲢卵苗占四大家鱼卵苗总量的 13.5%, 近年来一直未超过 3%, 低的年份只有约 0.3%, 2001 年仅占 2.4% (于悦 2016)。此外, 繁殖群体个体小型化、低龄鱼占主导地位的现象也较为严重 (易伯鲁等 1988b)。目前, 对鲢的研究多限于形态学 (林志春等 2014)、年龄与生长 (Kamilov 2014)、群体遗传结构 (Wang et al. 2003, 于悦 2016)、早期生活史 (张国等 2013) 等方面, 缺乏野生群体繁殖生物学系统性的研究, 涉及该江段的历史资料也较为分散。本文以长江宜昌段鲢为研究对象, 对其性比、年龄结构、初次性成熟体长、繁殖力和产卵类型等生活史特征进行研究,

旨在分析研究区域鲢的繁殖生物学特征变化,从而为长江鲢的增殖保护及合理开发提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样本采集与收集

2014 年 3 月至 2016 年 9 月,通过向渔民购买、流刺网捕捞等方式共采集 433 尾鲢标本。在新鲜状态下进行常规生物学测量,卷尺测量体长(精度 1 mm),BW3200S 电子天平称量体重(精度 0.1 g)。取侧线上方与背鳍之间矩形区域内 3~4 行的鳞片,用 4% NaOH 处理后载玻片固定,在解剖镜下判别年龄。解剖后称量性腺重、空壳重(去除腹腔内所有内脏后的体重)。性腺发育分期参照殷名称(1995)。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 初次性成熟体长、体重** 发育期 IV 期及以上为性成熟个体(殷名称 1995),以 50% 个体达到性成熟时的体长作为该鱼的初次性成熟体长(Tafur et al. 2001),即分别将雌、雄性成熟个体数和总个体数以 20 mm 的体长间距进行统计,用 Logistic 方程  $P_i = 100/[1 + e^{(a+bL_i)}]$  拟合,再推算雌、雄鱼的初次性成熟体长  $L_{50\%} = -a/b$ ,式中,  $P_i$  为第  $i$  组成熟个体占组内样本的相对频率,  $L_i$  为第  $i$  组体长组中值(mm),  $a$  和  $b$  为常数。初次性成熟体重根据体长( $L$ )与体重( $W$ )关系式  $W = cL^d$  推算,其中  $c$ 、 $d$  为常数。

**1.2.2 繁殖期** 通过性腺发育的周年变化趋势来确定繁殖期。成熟系数  $I_{GS} = (W_g/W_o) \cdot 100\%$ 。其中,  $W_g$  为性腺重(g),  $W_o$  为鱼体空壳重(g),

**1.2.3 繁殖力** 绝对繁殖力  $F$ (粒)为每克卵巢卵粒数与卵巢重(g)的乘积,相对繁殖力  $F_w$ (粒/g) =  $F/W$ ,  $W$  为鱼体体重(g)。

**1.2.4 产卵类型** 选择 10 尾性腺发育至 IV 期雌鱼的卵巢,5%中性福尔马林固定 24 h 后,随机挑取一定量的卵粒(多于 100 粒)在解剖镜下观察并拍照,Image-Pro Plus 6.0 软件测量卵粒直径(精确到 0.1 mm),作频率分布图(殷

名称 1995),以卵径分布频率法判定产卵类型。

### 1.3 数据整理与分析

利用 SPSS 16.0 对数据进行相关统计分析并作图,同一年龄组的雌雄群体体长、体重平均值差异用  $T$  检验来分析,雌雄群体曲线关系通过协方差分析(ANCOVA)来比较,采用  $\chi^2$  检验来判断雌雄性比是否符合 1:1。

## 2 结果与分析

共采集鲢 433 尾,年龄分布从 1 龄至 7 龄。可鉴别雌雄的个体 342 尾,其中,雌鱼 189 尾,雄鱼 153 尾,此部分个体的体长范围为 150~950 mm,平均体长为 560 mm,优势体长集中在 350~550 mm,占样本量(342 尾)的 54.1%;体重范围为 76~10 090 g,平均体重为 2 267 g,优势体重集中在 1 000~3 000 g,占样本量(342 尾)的 55.6%(图 1)。

### 2.1 繁殖群体特征

**2.1.1 年龄分布与生长参数** 繁殖群体为性腺发育至 IV 期及以上个体,共计 73 尾,体长 310~927 mm,体重 600~17 090 g(表 1)。其中,雌鱼 43 尾,雄鱼 30 尾,雌雄比为 1.43:1( $\chi^2$ ,  $P < 0.01$ )。由 3、4、5、6、7 龄 5 个年龄组构成,数量分别占繁殖群体的 45.2%、21.9%、17.8%、9.6%和 5.5%。各年龄组的雌雄之间,体长和体重均存在显著差异( $0.01 < P < 0.05$ )。

**2.1.2 生长特征** 雌雄群体分别作体长-体重曲线,拟合曲线呈幂函数关系(图 2),回归方程,雌性  $W = 0.00002 L^{2.9973}$  ( $R^2 = 0.9247$ ,  $n = 189$ ),雄性  $W = 0.00003 L^{2.9059}$  ( $R^2 = 0.9531$ ,  $n = 153$ )。将雌雄群体曲线关系进行协方差分析(ANCOVA),雌雄繁殖群体间存在显著差异( $F = 5.84$ ,  $P < 0.05$ )。

**2.1.3 初次性成熟个体** 雌、雄鲢性成熟体长的 Logistic 曲线分别为,雌性  $P_i = 100/[1 + e^{(26.8988 - 0.0558L_i)}]$  ( $R^2 = 0.9884$ ),雄性  $P_i = 100/[1 + e^{(27.1477 - 0.0585L_i)}]$  ( $R^2 = 0.9975$ ) (图 3)。雌性初次性成熟体长  $L_{50\%} = 481.9$  mm,根据体长-体重关系式推算对应体重为 2 206.7 g;雄性初

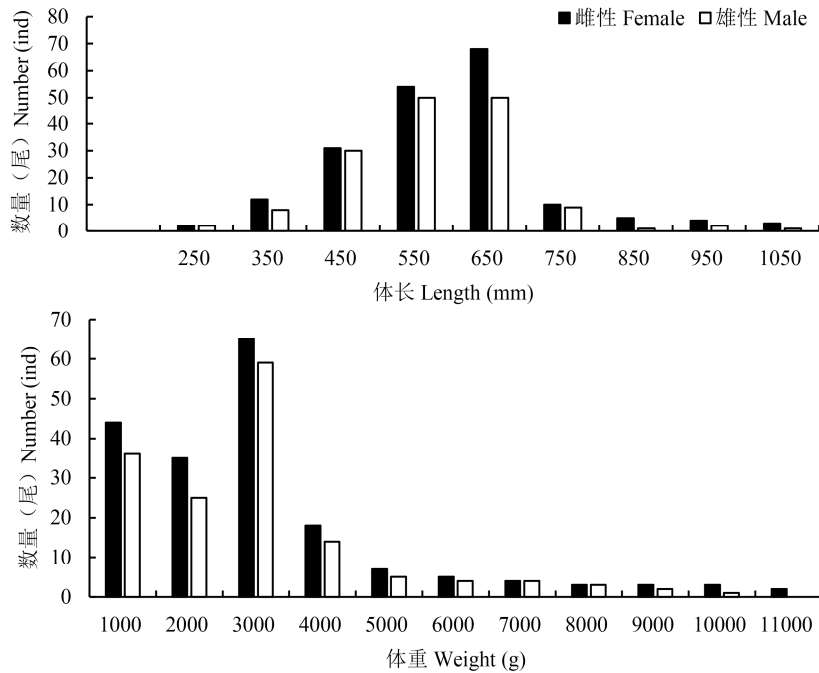


图 1 宜昌江段鲢体长、体重的组成 (n = 342)

Fig. 1 The body length and the body weight of *Hypophthalmichthys molitrix* in the Yichang of the Yangtze River (n = 342)

表 1 不同年龄组鲢繁殖群体体长及体重组成

Table 1 The body length and body weight in different ages of reproductive group of *Hypophthalmichthys molitrix*

性别 Sex	年龄 Age	个体数 Number	体长 Body length (mm)		体重 Body weight (g)	
			范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	范围 Range	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
雌 Female	3	20	450 - 541	492.85 ± 32.46	1 100 - 2 500	1 997.50 ± 435.13
	4	8	545 - 666	624.25 ± 50.45	2 705 - 7 550	5 156.88 ± 1 550.47
	5	5	600 - 702	653.60 ± 45.59	3 200 - 8 800	5 741.00 ± 2 691.31
	6	6	630 - 823	710.50 ± 64.37	4 600 - 15 090	7 590.00 ± 3 889.27
	7	4	695 - 927	811.25 ± 72.93	4 524 - 17 090	10 993.75 ± 4 065.77
雄 Male	3	13	310 - 540	418.23 ± 82.24	600 - 2 700	1 334.48 ± 776.59
	4	8	522 - 600	556.50 ± 26.31	2 200 - 4 300	3 037.50 ± 630.62
	5	8	570 - 650	605.00 ± 28.78	3 350 - 6 500	4 231.25 ± 1 049.47
	6	1	694	694	5 500	5 500

次性成熟体长  $L_{50\%} = 464.0$  mm, 对应体重为 1 677.5 g。

**2.1.4 繁殖力** 计算 43 尾雌鱼的繁殖力, 其中绝对繁殖力为 102 351 ~ 767 200 粒, 平均  $(477 662 \pm 9 631)$  粒。相对繁殖力为 44.89 ~ 139.75 粒/g, 平

均  $(93.38 \pm 5.92)$  粒/g。绝对繁殖力随体长、体重的增加而增加 (图 4), 均呈线性相关。绝对繁殖力 ( $F$ ) 与体长 ( $L$ ) 的相关方程为  $F = 1551.8 L - 548604$  ( $R^2 = 0.8809$ ,  $P < 0.01$ ); 绝对繁殖力 ( $F$ ) 与体重 ( $W$ ) 的相关方程为  $F =$

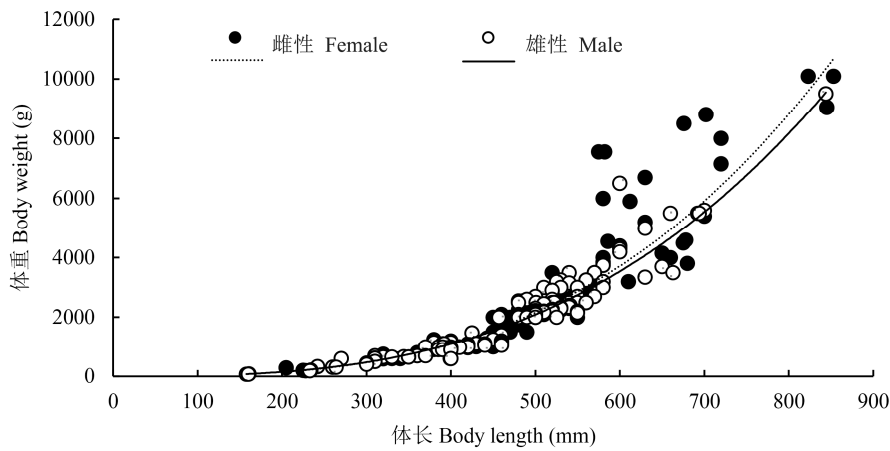


图2 鲢的体长-体重关系

Fig. 2 Relationships between body length and body weight of *Hypophthalmichthys molitrix*

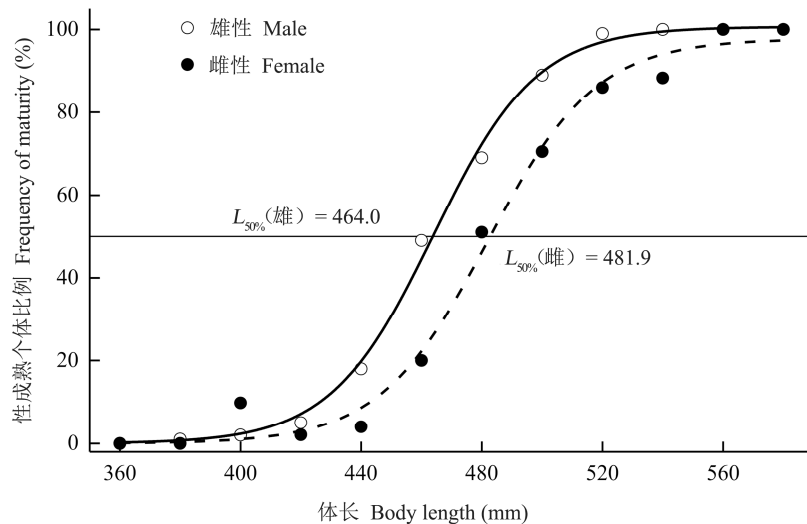


图3 鲢初次性成熟体长

Fig. 3 Body length at first maturity of *Hypophthalmichthys molitrix*

67.252  $W + 81103$  ( $R^2 = 0.9101$ ,  $P < 0.01$ )。

### 2.2 成熟系数

雌雄群体成熟系数的周年变化曲线(图5)基本相似,都只有一个峰值。卵巢从3月开始发育,成熟系数显著上升,平均为0.51%,卵巢普遍达到III期;4至5月为卵巢快速发育阶段,卵巢由III期迅速向IV期过渡,性腺成熟系数平均达5.41%;6月份卵巢基本处于IV期,达到全年中成熟系数最高值,平均值达到16.71%;7月份性腺成熟系数仍处于较高水平,

但与6月份比已明显下降,卵巢仍普遍处于IV期,成熟系数平均值可达13.61%;8至9月份雌鱼成熟系数开始迅速下降,为产后退化阶段,8月份大部分个体已经完成产卵活动,成熟系数为6.63%,9月份卵巢普遍退化,成熟系数降为2.18%,未产出的卵粒逐渐被吸收,卵巢逐渐萎缩;10月卵巢退化吸收基本结束,至次年2月雌鱼的性腺成熟系数处于全年较低水平,为0.07%~0.32%。

### 2.3 卵径分布

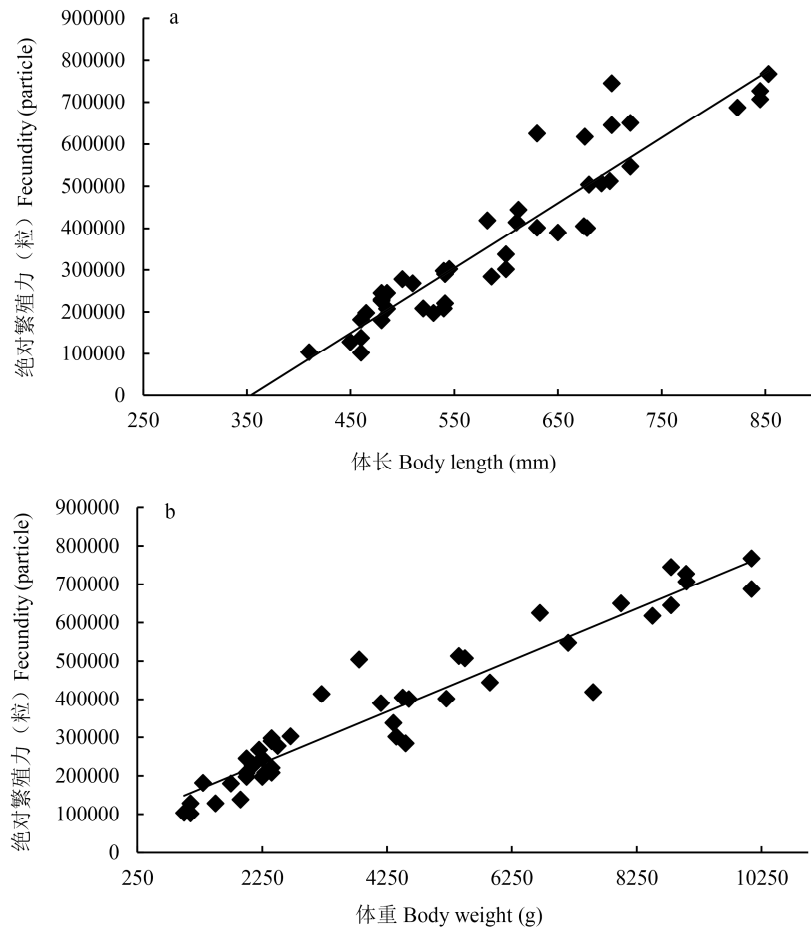


图4 宜昌江段鲢绝对繁殖力与体长 (a)、体重 (b) 的关系

Fig. 4 The relationship between fecundity and body length (a), body weight (b) for *Hypophthalmichthys molitrix* in the Yichang of the Yangtze River

测量 10 尾 IV 期个体卵巢中卵粒的卵径 ( $n = 1\ 000$ , 每尾鱼测量 100 粒卵), 卵径范围为 0.570 ~ 1.332 mm, 平均  $(1.01 \pm 0.12)$  mm, 卵径分布呈单峰型 (图 6)。

### 3 讨论

#### 3.1 宜昌江段鲢繁殖期和产卵类型

成熟系数随着性腺发育期的不同而不同, 同时性腺发育又同季节有着密切的关系 (刘明典等 2015)。宜昌江段鲢鱼的性腺发育呈现明显的周期性变化: 成熟系数 5 月份开始增大, 6 月和 7 月处于较高水平, 到 8 月之后急剧下降。从实际采集的 433 尾样本来看, 5 月份采集的

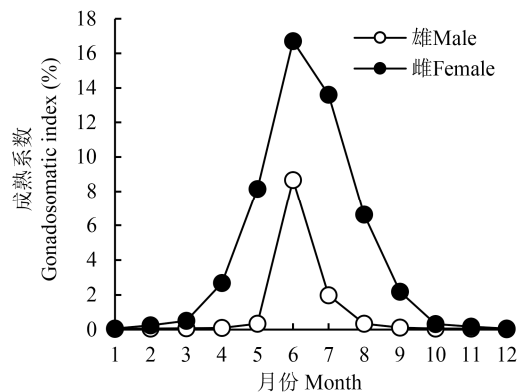


图5 鲢鱼雌、雄性成熟系数的季节变化

Fig. 5 Seasonal changes of *Hypophthalmichthys molitrix* gonadosomatic index ( $I_{GS}$ )

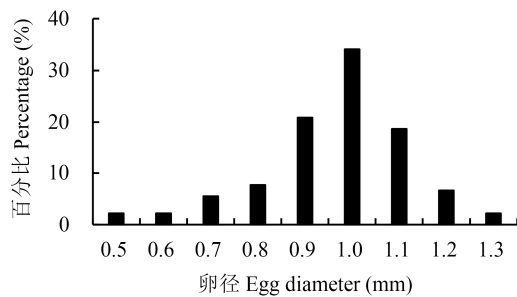


图6 鲢鱼IV期卵巢的卵径分布

Fig. 6 The distribution of egg-diameter in ovary at stage IV of *Hypophthalmichthys molitrix*

性成熟(性腺发育至IV期及以上)个体4尾,6月份性成熟个体45尾,7月份性成熟个体23尾,而8月份仅采集到1尾性成熟个体。通过性成熟个体数的月份统计,推断宜昌江段鲢繁殖高峰为6~7月,与性腺成熟系数周年变化规律(图5)相吻合。依上述现象判断,宜昌江段鲢繁殖活动集中在5月下旬至8月上旬,高峰期为6~7月。本研究结果较历史记录产卵期略推迟(陈佩薰等1978),但与易伯鲁等(1988b)和周春生(1980)等的研究结论相符合。作为典型的产漂流性卵的鱼类,有学者根据其自然繁殖需求提出了鲢自然繁殖的生态水文目标:水温达18℃以上,持续涨水过程刺激性腺发育(彭期冬等2012)。宜昌江段葛洲坝、三峡大坝等大型水利工程建设运行,改变了原有的自然水文节律(袁超等2011)。水库巨大的热量调蓄作用,使得坝下水温过程平坦化及延滞化(邓云等2016),推测产卵特征水温出现时间会相对滞后。此外,建坝后涨水过程中洪峰减小、涨幅降低,也会直接影响鲢的产卵时间。

雌性成熟系数在达到顶峰后急剧下降,说明雌鱼在一个繁殖季节内排出了全部成熟的卵。此外,IV期卵巢的卵径分布频率呈单峰,也表明长江鲢为单批产卵类型。因其特定的繁殖条件要求,每年中仅有较短的一段时间适合繁殖,因此集中一次产卵的策略,是其适应所生长环境和维持种群繁盛的必然需要。

### 3.2 不同地理群体鲢繁殖特征比较

鱼类的繁殖受自身遗传和外界环境的共同影响,不同的繁殖特征是自然选择的结果(蓝昭军等2015)。其中繁殖力可体现鱼类对外界环境的补偿性适应,卵径大小与早期发育和苗种成活息息相关(Mollet et al. 2000)。本研究中,长江宜昌段鲢的平均绝对繁殖力为477 662粒,相较历史记录451 324粒(陈佩薰等1978),有一定程度的增加。通常认为鱼类繁殖力与饵料条件和捕捞压力等环境因子密切相关(易伯鲁等1988b)。宜昌江段水流趋于平缓,饵料生物丰度较高,为以浮游生物为食的鲢鱼提供了良好的生长环境(Duan et al. 2009)。但作为长江中游地区主要的经济鱼类之一,鲢种群资源已被过度地开发和利用(刘绍平等2004)。本研究中鲢鱼的绝对繁殖力的波动范围较大,最高值与最低值之间相差约6倍,也表明其承受了较大的捕捞压力。比较不同地理群体鲢繁殖特征(表2)发现,长江宜昌段鲢鱼的绝对繁殖力低于赣州赣江江段(朱日财2010)而高于黑龙江绥滨江段(司凤云等2002),主要是由于不同群体或地理种群之间的差异造成的。这种现象在鱼类中普遍存在,光唇鱼(*Acrossocheilus parallens*) (蓝昭军等2015)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*) (李忠利等2017)和食蚊鱼(*Gambusia affinis*) (崔奕等2016)等均发现类似繁殖力变动。此外,宜昌江段成熟鲢卵径峰值集中在0.9~1.1 mm,平均卵径为1.0 mm。其平均卵径小于赣江群体(朱日财2010)、黑龙江群体(司凤云等2002)及宜昌江段的历史记录(陈佩薰等1978)。繁殖力相当的情况下,卵径较小的鱼类拥有较高怀卵量,相对数量上增大了子代存活的几率,有效地保证了种群的延续(李忠利等2017),与Mollet(2000)研究结论一致。

### 3.3 长江宜昌段鲢的资源保护

鉴于鲢的资源现状,增加资源量、保护性成熟群体是一项重要举措。可以严格执行长江禁渔期,限制针对幼鱼和繁殖亲鱼的捕捞,如

表 2 不同地理群体鲢繁殖特征比较

Table 2 Compare of reproductive characteristic from different populations of *Hypophthalmichthys molitrix*

种群 Population	卵径 (mm) Egg diameter	绝对繁殖力 (粒) Absolute fecundity (particle)	产卵时间 (月份) Spawning season (Month)	数据来源 Data sources
赣州赣江 Ganzhou reach of Ganjiang River	1.7	714 000	4 月至 6 月 April to June	朱日财 2010
黑龙江绥滨 Suibin reach of Heilongjiang River	1.2	445 593	6 月上旬至 7 月中旬 Early June to mid-July	司风云等 2002
宜昌江段历史记录 The record of the Yichang of the Yangtze River	1.6	451 324	4 月中旬至 7 月 Mid-April to July	陈佩薰等 1978
长江宜昌江段 The Yichang of the Yangtze River	1.0	477 662	5 月至 8 月 May to August	本研究

依法取缔电捕鱼, 限制捕捞体长达到 463.6 mm、体重超 1 677.5 g 的鲢个体。同时加强产卵场的修复和栖息地的保护, 定期实施合理的增殖放流, 切实有效地保护长江鲢种质资源。

## 参 考 文 献

- Duan X B, Liu S P, Huang M G, et al. 2009. 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. *Environmental Biology of Fishes*, 86(1): 13–22.
- Kamilov B G. 2014. Age and growth of the silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* val.) in Tudakul reservoir, Uzbekistan. *Croatian Journal of Fisheries*, 72(1): 12–16.
- Mollet H, Cliff G, Pratt Jr H, et al. 2000. Reproductive biology of the female shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* Rafinesque, 1810, with comments on the embryonic development of lamnoids. *Fishery Bulletin*, 98(2): 299–318.
- Tafur R, Villegas P, Rabi M, et al. 2001. Dynamics of maturation, seasonality of reproduction and spawning grounds of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in Peruvian waters. *Fisheries Research*, 54(1): 33–50.
- Wang Z, Wu Q, Zhou J, et al. 2003. Silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, in the Poyang Lake belong to the Ganjiang River population rather than the Changjiang River population. *Environmental Biology of Fishes*, 68(3): 261–267.
- 陈佩薰, 邓中彝, 余志堂, 等. 1978. 长江鱼类. 武汉: 湖北省水生生物学研究室, 142–150.
- 崔奕, 姚达章, 林小涛, 等. 2016. 广东从化地区不同生境食蚊鱼种群的繁殖生物学特征. *动物学杂志*, 51(1): 57–65.
- 邓云, 肖尧, 脱友才, 等. 2016. 三峡工程对宜昌-监利河段水温情势的影响分析. *水科学进展*, 27(4): 551–560.
- 蓝昭军, 徐嘉良, 李强, 等. 2015. 侧条光唇鱼两邻近种群繁殖生物学特征的差异. *动物学杂志*, 50(5): 735–743.
- 李思忠, 方芳. 1990. 鲢、鳙、青、草鱼地理分布的研究. *动物学报*, 36(3): 244–250.
- 李忠利, 冉辉, 杨马, 等. 2017. 锦江翘嘴鲌的繁殖生物学特征. *动物学杂志*, 52(2): 263–270.
- 林志春, 高振义. 2014. 鳙、鲢杂交种的形态学研究. *水产学报*, 2(4): 35–46.
- 刘明典, 黄福江, 朱佳志, 等. 2015. 大鳞裂峡鲃繁殖生物学特征. *动物学杂志*, 50(3): 405–414.
- 刘绍平, 陈大庆, 段辛斌, 等. 2004. 长江中上游四大家鱼资源监测与渔业管理. *长江流域资源与环境*, 13(2): 183–186.
- 彭期冬, 廖文根, 李翀, 等. 2012. 三峡工程蓄水以来对长江中游四大家鱼自然繁殖影响研究. *四川大学学报: 工程科学版*, 44(2): 228–232.
- 司风云, 董崇智, 赵春刚, 等. 2002. 黑龙江绥滨江段鲢渔业生物学研究. *水产学杂志*, 15(2): 16–20.
- 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊. 1988a. 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. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1–46.
- 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊. 1988b. 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, 310–329.
- 殷名称. 1995. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社, 142–159.
- 于悦. 2016. 长江、赣江、鄱阳湖鲢遗传多样性和群体遗传结构分析. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 1–3.



- 袁超, 陈永柏. 2011. 三峡水库生态调度的适应性管理研究. *长江流域资源与环境*, 20(3): 269-275.
- 曾祥琮. 1990. 长江水系渔业资源. 北京: 海洋出版社, 2-15.
- 张国, 吴朗, 段明, 等. 2013. 长江中游不同江段四大家鱼幼鱼孵化日期和早期生长的比较研究. *水生生物学报*, 37(2): 306-313.
- 周春生, 梁秩燊, 黄鹤年. 1980. 兴修水利枢纽后汉江产漂流性卵鱼类的繁殖生态. *水生生物学报*, 4(2): 175-188.
- 朱日财. 2010. 赣江赣州江段四大家鱼生物学特性及其遗传多样性研究. 南昌: 南昌大学硕士学位论文, 33-35.