

doi: 10.7541/2015.125

三峡库区丰都江段鱼类早期资源现状

王红丽^{1,2,3} 黎明政^{1,2} 高欣^{1,2} 刘焕章^{1,2} 曹文宣^{1,2}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 2014年4—7月鱼类主要繁殖季节于三峡库区(重庆丰都县)进行鱼类早期资源调查, 以了解三峡库区鱼类早期资源现状, 四大家鱼在库区是否仍有产卵场等问题。调查共采集到鱼类 50 种, 分属 5 目 9 科。采集时, 卵汛出现在 6 月后流速较高的时段, 其中贝氏鲮的数量最多, 占 86.24%。仔鱼出现的高峰期为 6 月上旬至 7 月中旬, 太湖新银鱼的数量最多, 占 58.36%, 其次为子陵吻鮡虎鱼, 占 27.04%。在仔鱼中, 种类组成呈明显的月份差异, 4 月鲤、鲫占数量优势; 5 月太湖新银鱼、子陵吻鮡虎鱼占数量优势; 6 月后鮠亚科、鳅科、鳊等种类开始出现, 种类明显增多。通过估算, 调查期间流经丰都断面的鱼卵总量为 4.37×10^8 粒, 四大家鱼鱼卵为 0.21×10^7 粒; 仔鱼总量为 111.98×10^8 尾, 四大家鱼仔鱼为 0.21×10^8 尾。通过产卵场的推算, 丰都断面采集的四大家鱼来自涪陵城区江段和三峡库区上游的重庆巴南区至朱沱镇江段的产卵场。通过对卵苗漂流密度的昼夜规律分析, 6 月之前夜间仔鱼密度显著高于白天, 而 6 月后仔鱼昼夜漂流密度无显著差异。本研究表明, 从三峡库尾进入三峡水库的鱼类早期资源丰富, 大部分鱼类繁殖发生在 6 月以后水温较高、入库流量大、库区流速较高的时段, 库尾部分江段在流速较高时期, 仍存在四大家鱼的产卵场。

关键词: 三峡库区; 鱼类早期资源; 四大家鱼

中图分类号: S932.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2015)05-0954-11

三峡大坝自 2003 年蓄水以来, 在防洪、发电、航运等方面发挥了巨大的效益。同时, 三峡大坝蓄水后形成巨大的河道型水库——三峡水库, 改变了原有生境, 对原库区江段的水生生物群落造成影响, 也为众多水生生物提供了广阔的生存空间。例如, 喜流水性鱼类如圆口铜鱼 *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry)、长鳍吻鮡 *Rhinogobio ventralis* (Sauvage et Dabry) 的数量减少, 而喜缓流水黄颡鱼 *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson)、光泽黄颡鱼 *Pelteobagrus nitidus* (Sauvage et Dabry) 的数量增加^[1]。此外, 三峡库区渔业捕捞量自 2006 年以来呈上升的趋势, 2012 年达 5917 吨^[2], 表明当前三峡库区渔业资源较为丰富。

近些年的研究表明, 从三峡水库以上及库尾江

段进入三峡库区的鱼类早期资源量丰富, 对三峡水库鱼类资源起到很好的补充作用。2007—2008 年调查表明, 通过库尾珞璜断面的卵苗径流量年均为 153.5 亿^[3], 2011—2012 年洛碛断面的鱼类早期资源量年均为 96.85 亿^[4]。因此, 三峡水库鱼类早期资源补充量丰富, 对三峡生态系统的维护有重要作用, 需要深入研究。但这些鱼类早期资源研究局限在库尾和洄水变动区江段, 对鱼类资源丰富的库区内部尚未调查, 再加上三峡库区形成后原有鱼类产卵场的变化、库区内鱼类繁殖现状等基础资料较缺乏。本研究选择三峡库区丰都江段开展鱼类早期资源调查, 以期对三峡库区鱼类早期资源现状有全面的认识 and 了解, 为三峡库区鱼类资源保护提供科学依据。

收稿日期: 2015-03-02; 修订日期: 2015-06-21

基金项目: 长江三峡生态与环境监测系统(JJ [2013]-10); 中国长江三峡集团公司科研项目(CT-12-08-01); 中国长江三峡集团公司科研项目(0799522)资助

作者简介: 王红丽(1990—), 女, 湖北潜江人; 博士研究生; 研究方向为鱼类生态学。E-mail: 295174334@qq.com

通信作者: 曹文宣, E-mail: wxcao@ihb.ac.cn

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点设置

2014 年 4 月 19 日至 7 月 27 日于丰都江段开展

鱼类早期资源调查, 该时段也是长江上游鱼类繁殖的主要时段^[3, 4]。采样点位于三峡库区的丰都港(E 107.7253, N 29.8752), 处在三峡大坝上游 429 km, 重庆市下游 170 km (图 1)。

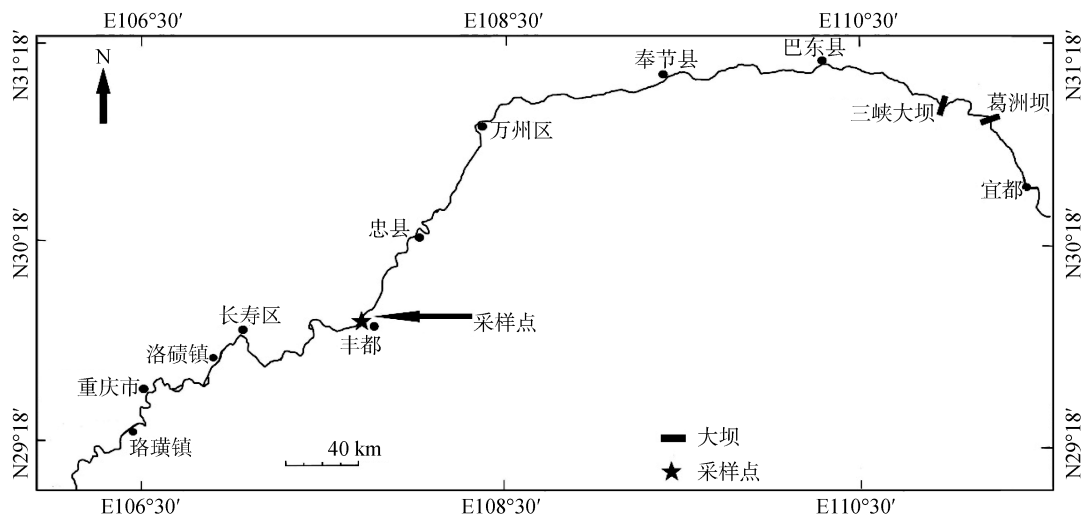


图 1 2014 年 4—7 月三峡库区鱼类早期资源采样点设置

Fig. 1 The sampling sites of the early-stage fish resources in the Three Gorges Reservoir from April to July in 2014

1.2 采样方法及物种鉴定

鱼类早期资源调查使用圆网进行采集, 网口呈圆形, 网目 0.5 mm, 网口面积 0.196 m², 网衣长 2.2 m, 网的尾部连接一集苗筒, 用以样本的收集。采样时, 网口固定流速仪, 用以测量流经网口的流量。采集时, 将网具固定在离岸 60—80 m 的船体一侧, 网口保持与水流方向垂直。

调查期间, 逐日采样, 进行昼夜连续采样, 每日的 8:00 和 18:00 收集样本各一次。在水体浑浊度较高, 浮渣较多的时段, 减少每次采集的时间, 以免网具被堵塞。采样的同时, 测量采样点气温、水温、DO、电导率、网口流速、江水流速、透明度等环境参数。

采集后, 对采集的样本进行分拣, 并分别处理鱼卵、仔鱼和稚鱼。鱼卵根据卵膜性质(黏性、漂流性、浮性)分类, 观察及记录发育期后进行培养, 直至孵出发育至分类特征明显的阶段。采集的仔鱼, 直接鉴定种类, 鉴定后使用甲醛浓度为 5% 的福尔马林溶液和 95% 的酒精分别保存。种类的形态鉴别根据易伯鲁等^[5]及曹文宣等^[6]文献资料进行。尚不能鉴别的种类用 95% 酒精保持, 带回实验室进行鉴定。采用线粒体细胞色素 *b* 基因和 *CO* 基因对形态鉴定结果进行复核, 分子实验方法参照高雷^[7]的方

法进行。

1.3 数据分析

调查期间, 鱼类早期资源的丰度用每 1000 m³ 通过采样网具的水体内所含的鱼卵、仔鱼的数量来表示。漂流经过采样断面的鱼卵、仔鱼总量的计算方法参照易伯鲁等^[5]的方法进行, 具体计算方法如下:

$$d = a / (q \times t \times 60)$$

$$q = s \times \cos(3.14 \times A / 180) \times v$$

$$M = (Q / q) \times a \times C_i$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n d_j / (n \times d_i)$$

式中, d 表示卵苗密度, a 表示一次采样采集到的卵苗数量; t 表示采集时间(min); q 表示入网水流量(m³/s), A 表示采集网口与水流垂直面的夹角(°); s 表示网口面积(圆锥网 0.196 m²); v 表示网口水流速度(m/s); M 指一次采样中流经采样断面的卵苗总量; Q 表示采集点断面的流量(m³/s); C_i 表示断面系数, 是断面的几个采集点的卵苗密度(d_j)之和与常规采样点的卵苗密度(d_i)的几倍之比。

卵苗径流量(M')的估算则参考易伯鲁等^[12]的插补法。

$$M' = (t' / 2) \times [(M_1 / t_1) + (M_2 / t_2)]$$

式中, t' 表示前后两次采集之间的时间间隔(min); t_1 、 t_2 表示前后两次采集的持续时间(min); M_1 、 M_2 表示

前后两次采集的卵苗数量。

产卵场位置(L)的计算公式为:

$$L=V \times T$$

T -采集到的卵或早期仔鱼的发育时间, 根据胚胎发育时序来确定; V -采样期间采样点上游江段平均流速。

为了比较鱼类早期资源漂流的昼夜差异, 使用配对 t -检验的方法对白天和夜间的仔鱼漂流密度进行分析。其他连续数据的相关性检验使用 Pearson 相关性检验。方差检验和相关性检验使用 SPSS 18.0 软件进行, 其他数据的处理和图形制作使用 Excel 2010 软件进行。

2 结果

2.1 种类组成

2014 年 4—7 月丰都断面圆网共采集鱼卵 2517 粒, 仔鱼 52711 尾, 稚鱼 63301 尾。通过鉴定, 共采集鱼类 50 种, 分属于 5 目 9 科, 其中鲤科有 35 种, 鲮科 4 种, 鳅科 3 种, 鲴科、鰕虎鱼科各 2 种, 银鱼科、鲇科、鳊科、平鳍鳅科各 1 种。根据卵的性质, 产漂流性卵鱼类有 21 种, 产沉性卵鱼类 16 种, 产黏性卵鱼类 10 种, 产浮性卵鱼类 2 种(表 1)。

采集到鱼卵的种类有贝氏鲮 (*Hemiculter bleekeri* Warpachowski)、宜昌鳊 (*Gobiobotia filifer* (Garman))、银鲴 (*Squalidus argentatus* (Sauvage et Dabry))、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus* (Cuvier et Valenciennes))、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix* (Cuvier et Valenciennes))、鳊 (*Parabramis pekinensis* (Basilewsky)) 等种类。贝氏鲮占总数量的 86%, 其次是银鲴占 6%, 宜昌鳊 5%, 而草鱼、鲢、鳊等种类的数量较少。

采集到仔鱼的种类组成如图 2。太湖新银鱼 (*Neosalanx taihuensis* (Chen)) 占总仔鱼数的 58.36%; 鰕虎鱼科 14173 尾, 占总数的 27.04%, 主要为子陵吻鰕虎鱼 (*Rhinogobius giurinus* (Rutter)); 鮠亚科鱼类 3147 尾, 占总数的 5.97%, 其中翘嘴鮠 (*Culter alburnus* Basilewsky)、鲮 (*Hemiculter leucisculus* (Basilewsky))、贝氏鲮的数量较多; 鳅亚科占总仔鱼数的 2.30%, 主要为宜昌鳊; 鳅科占 1.56%, 主要包括薄鳅属鱼类、壮体沙鳅 (*Botia robusta* Wu)、花斑副沙鳅 (*Parabotia fasciata* Dabry) 等种类; 鲤 (*Cyprinus carpio* Linnaeus)、鲫 (*Carassius auratus* (Linnaeus)) 占 1.16%。四大家鱼数量较少, 仅占仔鱼

总数的 0.21%。

2.2 鱼类早期资源时间动态

2014 年 4—7 月, 所采集的仔鱼中各类群的数量呈现明显的月份差异(图 3)。4 月采集仔鱼以鲤、鲫为主。自 5 月起, 太湖新银鱼成为主要优势种类。鰕虎鱼科种类在调查期间有一定数量, 其相对比例在 5 月最高, 之后逐渐减小。鮠亚科在 6—7 月占有一定比例, 而鳅科鱼类的比例在 7 月份明显增加。

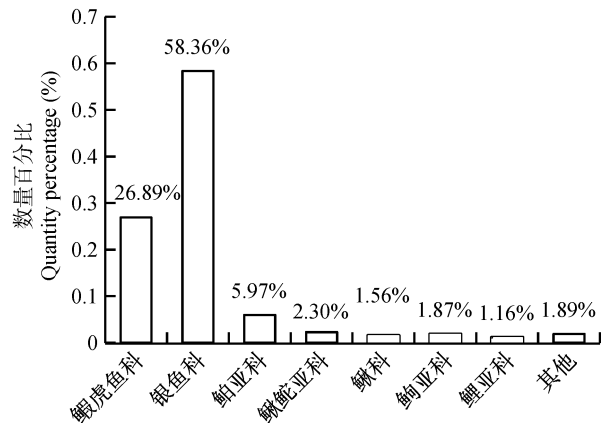


图2 2014 年 4—7 月丰都江段采集仔鱼数量组成

Fig. 2 The species composition of larval fish in the Fengdu section from April to July in 2014

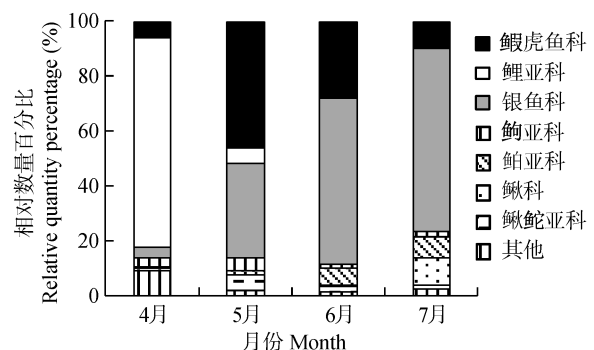


图3 2014 年丰都断面仔鱼主要类群的数量百分比时间动态

Fig. 3 The percentage variation of the drifting larval fish in the Fengdu section from April to July in 2014

整个调查期间, 卵的密度为 (7.05 ± 23.28) 粒/1000 m^3 , 整体较低, 尤其是在 6 月之前的时段, 采集到鱼卵的数量较少。3 次鱼卵密度高峰出现在流速增大时期, 分别是 6 月 6 日、6 月 22 日和 7 月 5 日, 鱼卵密度分别为 133.92、137.26 和 94.77 粒/1000 m^3 。采集的仔鱼平均密度为 (226.41 ± 277.17) 尾/1000 m^3 , 在 6 月及 7 月出现两次峰值, 一次为 6 月 14 日, 一次为 7 月 14 日, 其密度分别为 1128.24 和 1699.7 尾/1000 m^3 , 优势种为太湖新银鱼、子陵吻鰕虎、翘嘴鮠、蛇鮠

表 1 2014 年 4—7 月三峡库区丰都断面鱼类早期资源种类组成
Tab. 1 The species composition of early-stage fish in the Fengdu section from April to July in 2014

序号 Number	目 Order	科 Family	种 Species	卵类型 Egg type
1	鲑形目 Salmoniformes	银鱼科 Salangidae	太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	沉性
2	鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	沉性
3			马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	沉性
4			青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	漂流性
5			草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	漂流性
6			赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	漂流性
7			鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	漂流性
8			鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	黏性
9			贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	漂流性
10			寡鳞鲮 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	漂流性
11			鲮 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	黏性
12			翘嘴鲮 <i>Culter alburnus</i>	漂流性
13			达氏鲮 <i>Culter dabryi</i>	黏性
14			蒙古鲮 <i>Culter mongolicus</i>	黏性
15			红鳍原鲮 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	黏性
16			鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	漂流性
17			鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	漂流性
18			唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	黏性
19			银鲮 <i>Squalidus argentatus</i>	漂流性
20			蛇鲮 <i>Saurogobio dabryi</i>	漂流性
21			黑鳍鳊 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	沉性
22			华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	沉性
23			麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	黏性
24			棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	沉性
25			吻鲮 <i>Rhinogobio typus</i>	漂流性
26			圆筒吻鲮 <i>Rhinogobio cylindricus</i>	漂流性
27			铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	漂流性
28			鲤 <i>Cyprinus capio</i>	黏性
29			鲫 <i>Carassius auratus</i>	黏性
30			银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	漂流性
31			黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	黏性
32			似鳊 <i>Pseudobrama simony</i>	漂流性
33			大鳍鱮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	沉性
34			高体鳊 <i>Rhodeus ocellatus</i>	沉性
35			兴凯鳊 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	沉性
36			宜昌鳊 <i>Gobiobotia filifer</i>	漂流性
37		鳊科 Cobitidae	花斑副沙鳊 <i>Parabotia fasciata</i>	漂流性
38			壮体沙鳊 <i>Botia robusta</i>	漂流性
39			长薄鳊 <i>Leptobotia elongate</i>	漂流性
40		平鳍鳊科 Homalopteridae	中华金沙鳊 <i>Jinshaia sinensis</i>	漂流性
41	颌针鱼目 Beloniformes	鳊科 Hemiramphidae	间下鳊 <i>Hyporamphus intermedius</i>	--
42	鲇形目 Siluriformes	鲇科 Siluridae	大口鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	沉性
43		鲿科 Bagridae	黄颡鱼 <i>Parabotia fasciata</i>	沉性
44			瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	沉性
45			细体拟鲿 <i>Pseudobagrus pratti</i>	沉性
46			粗唇鲿 <i>Leiocassis crassilabris</i>	沉性
47	鲈形目 Perciformes	鲈科 Serranidae	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	浮性
48			大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	浮性
49		鰕虎鱼科 Gobiidae	子陵吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	沉性
50			褐吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius brunneus</i>	沉性

(*Saurogobio dabryi* Bleeker)、鲮、薄鳅属鱼类、鳊(*Siniperca chuatsi* (Basilewsky))、鲤、鲫等(图 4)。

通过对主要种类仔鱼漂流密度的分析, 鲤、鲫 4—5 月就开始大量出现, 整个调查期间均有一定数量; 太湖新银鱼自 5 月下旬开始大量出现, 持续至 7 月中旬; 子陵吻鰕虎鱼在 5 月下旬和 6 月下旬较集中出现; 四大家鱼、鳊、翘嘴鲌 6 月后才开始出现, 持续至 7 月下旬(图 5)。

2.3 鱼类早期资源量

通过对流经丰都断面的鱼类资源量的估算, 仔鱼总量为 111.98×10^8 尾, 鱼卵总量为 4.37×10^8 粒。在仔鱼中, 太湖新银鱼和子陵吻鰕虎鱼最多, 分别为 62.38×10^8 尾和 23.68×10^8 尾。产漂流性卵鱼类翘嘴鲌的仔鱼总量为 4.49×10^8 尾, 宜昌鳊鲴为

1.78×10^8 尾, 薄鳅属鱼类为 9.73×10^8 尾, 银鲴为 0.49×10^8 尾, 蛇鲴为 0.31×10^8 尾。重要经济鱼类鲤、鲫的仔鱼径流量为 0.94×10^8 尾, 鳊为 0.54×10^8 尾(表 2)。

四大家鱼鱼卵径流量为 0.21×10^7 粒, 仔鱼径流量为 0.21×10^8 尾。在仔鱼中, 鲢的资源量最多, 为 0.12×10^8 尾, 占四大家鱼总量的 58.05%; 草鱼其次, 为 4.44×10^6 尾, 占 21.38%; 青鱼 *Mylopharyngodon piceus* (Richardson) 为 4.16×10^6 尾, 占 20.01%; 鳙 *Aristichthys nobilis* (Richardson) 最少, 仅为 0.12×10^6 尾, 占 0.56% (表 3)。

2.4 四大家鱼产卵场

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, 推算所采集的四大家鱼鱼卵来自采样点上游 0.9—11.6 km 和 43.2—56.7 km

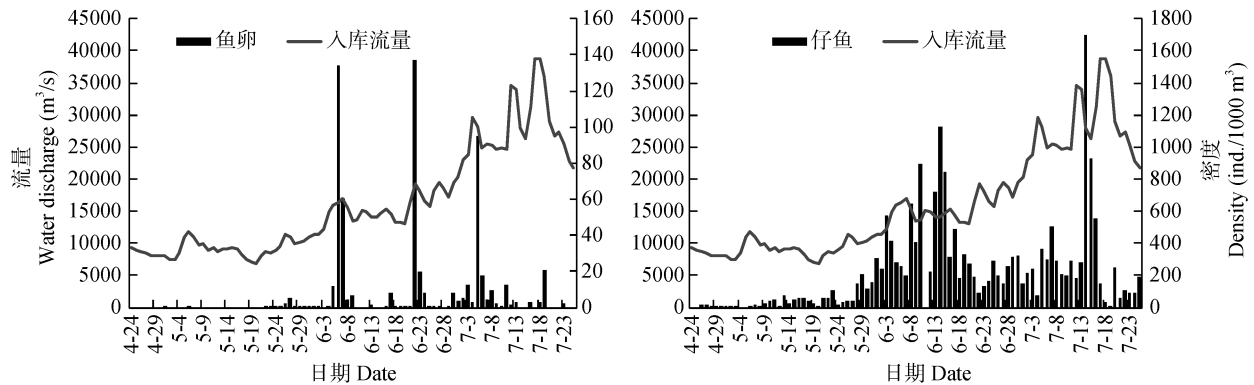


图 4 2014 年 4—7 月三峡库区丰都断面鱼卵、仔鱼漂流密度时间变化

Fig. 4 The daily variation in the density of drifting eggs and larvae in the Fengdu section of the TGR from April to July in 2014

表 2 2014 年 4—7 月丰都断面主要鱼卵及仔鱼径流量

Tab. 2 The amount of major fish eggs and larvae drifting through Fengdu from April to July in 2014

种类 Species	资源量 Amount($\times10^8$)	种类 Species	资源量 Amount ($\times10^8$)
仔鱼总量 Larvae resources	111.98	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	0.54
鱼卵总量 Egg resources	4.37	翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	4.49
太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	62.38	宜昌鳊鲴 <i>Gobiobotia filifer</i>	1.78
子陵吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	23.68	薄鳅 <i>Leptobotia</i> Bleeker	9.73
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	4.45	银鲴 <i>Squalidus argentatus</i>	0.49
鲤、鲫 <i>Cyprinus capio</i> , <i>Carassius auratus</i>	0.94	蛇鲴 <i>Saurogobio dabryi</i>	0.31

表 3 2014 年 4—7 月丰都断面四大家鱼仔鱼径流量

Tab. 3 The amount of larval fish of the major four Chinese carps drifting through Fengdu from April to July in 2014

种类 Species	采集数量(尾) Captured number	资源量($\times10^8$ 尾) Amount	百分比 Percentage (%)
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	19	0.0444	21.38
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	21	0.0416	20.01
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	70	0.1206	58.05
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	1	0.0012	0.56

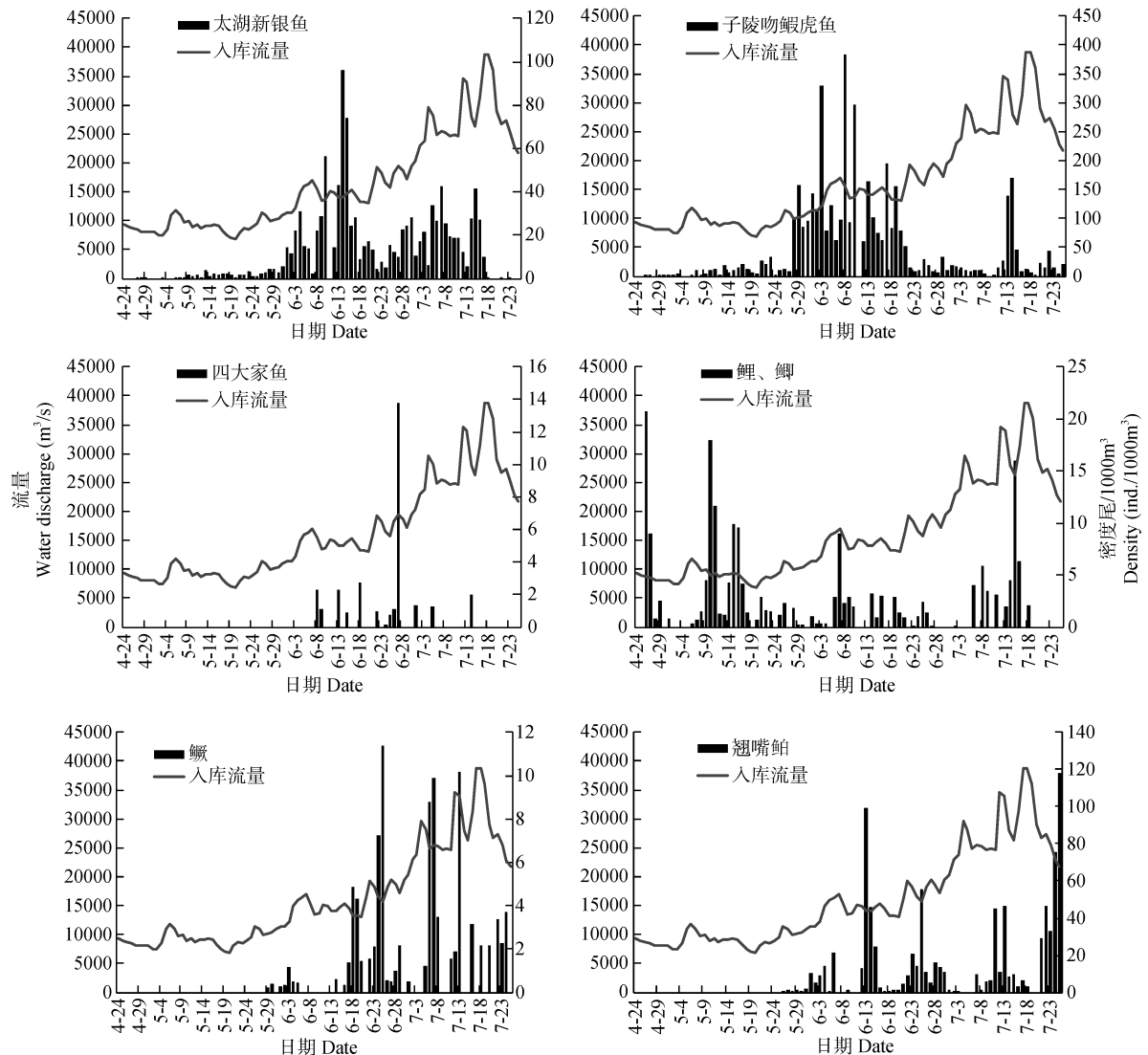


图5 2014年4—7月三峡库区丰都断面主要种类漂流密度时间特征

Fig. 5 The daily variation in the density of drifting larvae of major species in the Fengdu section of the TGR from April to July in 2014

江段的产卵场, 即普子沱至涪陵城区江段。而根据所采集的四大家鱼仔鱼的发育期推算, 四大家鱼仔鱼来自采样点上游 198.6—321.0 km 江段的产卵场, 即重庆巴南区至朱沱镇江段(图 6)。

2.5 仔鱼漂流昼夜规律

通过对采样期间白天和夜间仔鱼漂流密度的比较分析, 结果表明在 6 月 1 日之前夜间漂流密度显著大于白天, 而 6 月之后时段昼夜漂流密度无显著差异(图 7、表 4)。昼夜漂流密度最大相差(30.65 ± 26.69) 尾/1000 m^3 , 出现在 5 月下旬, 夜间密度明显高于白天($t = -3.632, n=9, P=0.005$)。6 月中旬以后, 白天漂流密度略高于夜间, 但无显著差异。

2.6 鱼类早期资源漂流密度与环境因子关系

2014 年 4—7 月三峡入库流量呈逐渐增加趋势, 到

7 月中旬达到峰值, 日均最大在 7 月 17 日, 为 38750 m^3/s , 最小在 5 月 20 日, 为 6925 m^3/s , 平均值为(15093.03 ± 7650.83) m^3/s 。采样点江水流速与入库流量的变化显著正相关($r=0.960, P<0.001$)。最大流速在 7 月 18 日, 为 1.282 m/s, 最小流速在 4 月 27 日, 为 0.1865 m/s。流速自 6 月 1 日后, 基本保持在 0.4 m/s 以上, 整个调查期间平均流速为(0.5737 ± 0.3191) m/s (图 8)。

2014 年 4 月 24 至 7 月 25 日期间, 丰都断面水温逐渐升高, 电导率、溶氧、透明度逐渐下降(图 9)。水温介于 18.5—26.0 $^{\circ}C$, 平均值为(21.65 ± 1.90) $^{\circ}C$; 溶氧介于 6.35—8.58 mg/L, 平均值(7.72 ± 0.56) mg/L; 电导率介于 287—340 $\mu S/cm$, 平均值为(316.64 ± 13.94) $\mu S/cm$; 透明度介于 5—248 cm, 平均值为(58.01 ± 61.67) cm。总体上, 6 月前流速较低、流量小、透

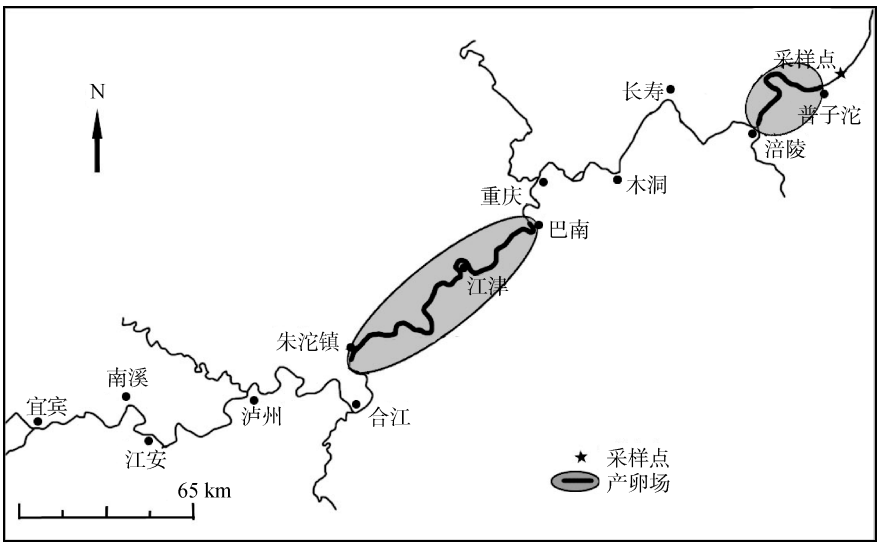


图 6 2014 年丰都以上江段四大家鱼产卵场分布

Fig. 6 The locations of the spawning grounds of the major four Chinese carps in upper Fengdu section

表 4 2014 年 4—7 月三峡库区丰都断面仔鱼漂流密度昼夜差异分析

Tab. 4 Paired *t*-test of the drifting density of larval fish in the daytime and nighttime

时段 Date	均值差 Mean difference	标准差 SD	均值的标准误 SE of Mean
4.26—5.10	-3.78	3.89	1.12
5.11—5.20	-14.21	8.08	2.56
5.20—5.31	-30.65	26.69	8.44
6.1—6.10	-13.20	83.76	26.49
6.11—6.20	7.24	82.93	27.64
6.21—7.4	7.23	35.09	9.38

时段 Date	95% 置信区间 Confidence interval		<i>t</i>	<i>n</i>	<i>P</i>
	下限 Upper limit	上限 Lower limit			
4.26—5.10	-6.25	-1.31	-3.367	11	0.006
5.11—5.20	-19.99	-8.43	-5.562	9	0.000
5.20—5.31	-49.75	-11.56	-3.632	9	0.005
6.1—6.10	-73.12	46.72	-0.498	9	0.630
6.11—6.20	-56.50	70.99	0.262	8	0.800
6.21—7.4	-13.03	27.49	0.771	13	0.454

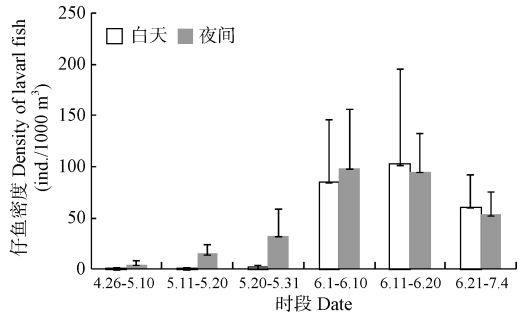


图 7 2014 年 4—7 月丰都断面表层仔鱼昼夜漂流密度分析

Fig. 7 The diel drifting density of larval fish in the Fengdu section from April to July in 2014

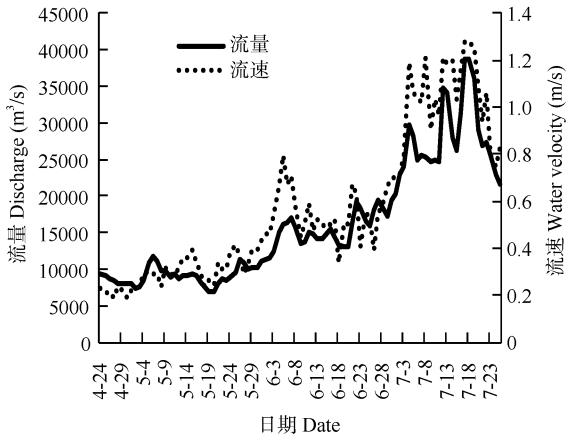


图 8 2014 年 4—7 月三峡库区入库流量及丰都断面流速变化

Fig. 8 The daily variation in the water discharge and velocity from April to July in 2014

明度高, 后期流速增加, 流量加大, 水体浑浊度增加。

对主要种类仔鱼漂流密度与环境因子的关系分析表明, 不同种类的早期资源漂流密度与环境因子的关系略有差异。总仔鱼密度与流速、流量、水温显著正相关, 与透明度、溶氧、电导率显著负相关。翘嘴鲇和鲢的仔鱼漂流密度与流速、流量、水温显著正相关, 与透明度、溶氧、电导率显著负相关。鳊鱼苗漂流密度与流速、流量、水温显著正相关, 与透明度、电导率显著负相关。蛇鲇鱼苗漂流密度与流速、流量、水温显著负相关, 与溶氧和电导率显著正相关。子陵吻鰕虎鱼与流速、流量、水温、电导率无明显相关性(表 5)。

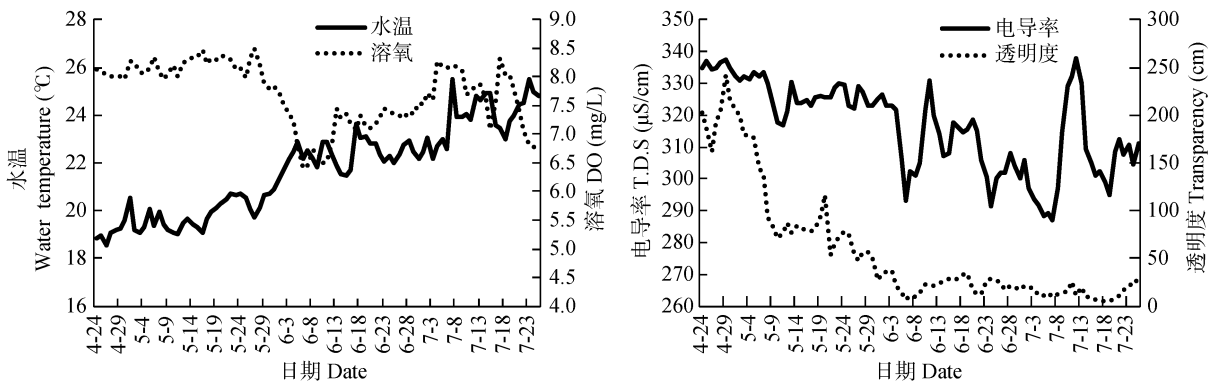


图9 2014年4—7月丰都断面水环境因子变化图

Fig. 9 The daily variation in environmental variables in the Fengdu section from April to July in 2014

表5 主要种类鱼卵、仔鱼漂流密度与环境因子的关系

Tab. 5 Correlation analysis of the drifting density of eggs and larvae and environmental factors

水文因子 Environmental variables	总仔鱼 Total larval fish	鱼卵 Total eggs	太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	子陵吻鰕虎 <i>Rhinogobius giurinus</i>	翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>
水温	0.341**	0.071	0.248**	0.112	0.339**	0.295**	0.408**	-0.288**
溶氧	-0.390**	-0.209**	-0.332**	-0.360**	-0.350**	-0.119	-0.259**	0.255**
透明度	-0.371**	-0.168*	-0.336**	-0.219**	-0.232**	-0.216**	-0.284**	0.153
电导率	-0.250**	-0.290**	-0.297**	-0.32	-0.156*	-0.239**	-0.236**	0.203**
流速	0.309**	0.132	0.216**	0.015	0.217**	0.257**	0.397**	-0.207**
流量	0.221**	0.123	0.150	-0.047	0.216**	0.282**	0.319**	-0.193*

注: **:在 0.01 水平上显著相关, *:在 0.05 水平上显著相关

Note: **: Showed significant correlation at 0.01 level, *: Showed significant correlation at 0.05 level

3 讨论

3.1 三峡库区鱼类早期资源种类与数量

三峡库区鱼类早期资源物种丰富, 小型鱼类占数量优势。资料表明, 三峡库尾洛碛江段 2011 和 2012 年鱼类早期资源调查各采集到鱼类 46 和 43 种, 优势种类为鰕虎鱼类, 瓢鱼(*Pseudolaubuca sinensis* Bleeker)、鲮、银鮈、花斑副沙鳅等种类, 例如鰕虎鱼科鱼类 2011 和 2012 年各占仔鱼总数的 28.5%和 63.9%^[4]。在本研究中, 共调查到鱼类 50 种, 太湖新银鱼和子陵吻鰕虎鱼各占总仔鱼数的 58.36%和 27.04%。相比三峡库区上游江段, 三峡库区内鱼类早期资源物种更为丰富, 种类组成也略有差异, 尤其是库区内太湖新银鱼的数量比例明显增加。例如 2007 年珞璜江段调查鱼类 39 种, 瓢鱼、寡鳞瓢鱼(*Pseudolaubuca engraulis* (Nichols))、鲮等鲃亚科种类(23.8%), 中华沙鳅(*Botia superciliaris* Günther)、长薄鳅(*Leptobotia elongata* (Bleeker))等鳅科种类(12.1%)以及子陵吻鰕虎鱼(占 11.8%)占主要优势^[3],

江津江段的调查结果与珞璜江段的结果类似, 如子陵吻鰕虎鱼占 10.8^[8](表 6)。

研究表明, 补充进入三峡库区的鱼类早期资源量非常大, 对库区渔业资源的补充及三峡生态系统的维护有重要作用。近年的调查中, 2007年和2009年流经江津断面的卵苗总量分别为37×10⁸ 尾^[9]和26.8×10⁸ 尾^[8], 2007和2008年流经珞璜断面的卵苗总量分别为165×10⁸ 尾和142×10⁸ 尾^[3], 2011和2012年流经洛碛断面的卵苗总量分别为121.9×10⁸ 尾和71.8×10⁸ 尾^[4](表 6)。在本研究中, 卵苗总量为116.35×10⁸ 尾, 可见从库尾及以上江段进入库区的鱼类早期资源量维持在100亿左右的规模。

3.2 鱼类早期资源时间动态及其与环境因子的关系

鱼类早期资源的时间动态是鱼类繁殖时间最直接的反映^[10], 对渔业管理和保护有重要意义^[11]。鱼类的繁殖受外界环境因子的影响, 例如水温、水文情势变化等^[12], 因此, 繁殖时间随环境而变化会引起鱼类早期资源的时间变化。在本研究中, 4月水温、

流量及流速相对偏低,繁殖的种类较少,主要为鲤、鲫等繁殖水温需求相对较低的鱼类;6月之后水温、流量、流速增加,大多数鱼类进入繁殖期,鱼类物种数明显增加,翘嘴鲇、鳊等繁殖活动对水温、水流的需求相对较高的鱼类开始繁殖。鰕虎鱼类适应性强,分布范围广,具有机会策略的繁殖习性^[13],故本研究中子陵吻鰕虎鱼的漂流密度与水温、流量及流速无明显关系。

三峡库区丰都断面表层水体仔鱼的昼夜漂流密度在6月前后呈现不同的规律,这应是鱼类早期生物学特性对环境响应的结果。仔鱼对光照的响应影响其在水体中的分布。研究表明,白天光照强度大,仔鱼表现出避强光性而偏向分布在中下层水体;夜间光照弱,仔鱼表现出一定的趋弱光性,故表层仔鱼数量增加^[14, 15]。在本研究中,6月之前时段夜间仔鱼漂流密度显著大于白天,应是仔鱼对光照响应的结果,这一现象在长江中游的宜都、武穴江段的监

测中也有观察到^[16]。此外,仔鱼具有一定主动游泳能力,在一定流速环境下,能够通过克服流速调整其在水体中的分布,但流速一旦大于其自身克流能力则只能随水被动漂流^[17]。在本研究中,6月后,仔鱼漂流密度没有出现明显的昼夜差异,这可能与流速增加,透明度下降有关,类似的现象在长江珞璜江段也有观察到^[3]。

3.3 四大家鱼资源量及产卵场分布

研究表明,三峡水库形成后,库尾的部分江段在一定时间内仍存在四大家鱼产卵场。历史上,长江干流宜昌以上江段是四大家鱼重要的产卵场,例如1986年分布有11个产卵场^[5],2002—2003年云阳至江津江段有数个产卵场^[9]。在三峡水库蓄水后,根据预测原分布于库区内的产卵场将被淹没,鱼类将上溯至库区上游繁殖^[18]。根据调查,三峡库区上游逐渐成为长江上游四大家鱼主要产卵场江段^[3, 8, 9],与之前预测相符(表7)。此外,三峡大坝蓄水后,虽

表 6 三峡库区及上游鱼类早期资源种类及数量
Tab. 6 The species composition and the amount of fish eggs and larvae in upper Yangtze River

年份 Year	地点 Location	种类数 Species number	卵苗总量($\times 10^8$) Amount	优势种类 Dominant species	数据来源 Data source
2007	江津		37	—	段辛斌 ^[9]
2007	珞璜	39	165	鲢鱼、鳙鱼、鳊鱼、中华沙鳊、长薄鳊、子陵吻鰕虎鱼	姜伟 ^[3]
2008	珞璜		142	—	姜伟 ^[3]
2009	江津	35	26.8	鲢鱼、鳙鱼、鳊鱼、中华沙鳊、长薄鳊、子陵吻鰕虎鱼	唐锡良 ^[8]
2011	洛碛	46	121.9	鰕虎鱼类、鲢鱼、鳊鱼、银鲴、花斑副沙鳊等	母红霞 ^[4]
2012	洛碛	43	71.8		母红霞 ^[4]
2014	丰都	50	116.35	太湖新银鱼、子陵吻鰕虎鱼、鳊鱼、宜昌鳊鲴、翘嘴鲇等	本研究

表 7 长江上游四大家鱼繁殖规模及产卵场分布
Tab. 7 The amount of eggs and larvae and the locations of the spawning grounds of the major four Chinese carps in upper Yangtze River

年份 Year	地点 Location	卵苗总量 Amount (10^8)	相对百分比 Percentage (%)				产卵场位置 Location of spawning grounds
			鲢 Silver carp	草鱼 Grass carp	鳙 Big head carp	青鱼 Black carp	
2002	云阳	3.56	12.0	86.7	1.3		江津-木洞, 丰都-涪陵
2003	云阳	2.9	76.1	18.6	5.3		忠县, 万州-云阳 ^a
2007	江津	7.42					合江-弥陀 ^a
2007	珞璜	12	63.30	29.7	0.80	6.30	江津-合江 ^b
2008	珞璜	8.8	59.40	38.80	0.90	0.90	朱沱-弥陀 ^b
2009	江津	3.76	64.40	34.50	1.10		朱杨镇-弥陀镇 ^c
2011	洛碛	0.21*					峡口-江津 ^d
2012	洛碛	0.22*					峡口-江津 ^d
2014	丰都	0.23	58.05	21.38	0.56	21.01	涪陵、巴南区-朱沱 ^e

注: *洛碛四大家鱼资源量仅为鱼卵资源量, 其余调查为卵苗总量。a数据来自段辛斌^[9]; b数据来自姜伟^[3], c数据来自唐锡良^[8], d数据来自母红霞^[4], e为本研究

Note: *the resources of four Chinese major carps of Luoqi means only the eggs resources, but the other is the eggs and larvae resources. the data of a is from Duan Xinbin^[9], the data of b is from Jiang Wei^[3], the data of c is from Tang Xiliang^[8], the data of d is from Mu Hongxia^[4], the data of e is this study

然原分布于库区的产卵场被淹没,但是在库尾部分江段仍存在四大家鱼产卵场,例如峡口江段^[4, 19]以及本研究中的涪陵江段。

在三峡蓄水后,库区上游江段成为长江上游四大家鱼主要产卵江段,繁殖规模较大,而库尾江段的产卵场繁殖规模较小。研究表明,江津、珞璜江段四大家鱼卵苗总量为数亿规模,最大为12亿^[3, 8, 9],而库尾江段的产量规模不到1亿^[4],在本研究中涪陵江段产卵场的产卵规模也仅为 0.021×10^8 粒(表7)。此外,在三峡蓄水后,长江上游四大家鱼组成由草鱼占主要优势逐步变为鲢占主要优势。例如,2002年草鱼占86.7%,而鲢仅占12.0%^[9],而蓄水后鲢占数量优势,2007—2014年鲢占58.05%—64.4%,而草鱼仅占21.38%—38.80%,鳙和青鱼的数量仍较少(表7)。

三峡库区形成仅十余年,处于从河流生态系统向水库生态系统演变的过程中,受到的影响因素复杂多样,如何对其进行合理的管理和科学的保护对充分发挥三峡水库的生态系统服务功能极其重要。本研究结果表明,三峡库区鱼类早期资源物种丰富,资源量大,对库区鱼类资源的补充及三峡水库生态系统的维护有重要作用。同时,早期资源中占优势的为小型鱼类,其在生态系统中扮演的角色值得进一步研究,而库区某些时段仍具备重要经济鱼类四大家鱼的产卵条件,应该在鱼类资源保护中得到更多重视。

致谢:

中国科学院水生生物研究所生态组王腾和西南大学荣昌分校向梦斌在样本采集上给予很大帮助,温州医学院丁雪云和孟帅在室内实验上给予的支持,谨致谢意!

参考文献:

- [1] Gao X, Zeng Y, Wang J, *et al.* Immediate impacts of the second impoundment on fish communities in the Three Gorges Reservoir [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2010, 87(2): 163—173
- [2] The Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Three Gorges Bulletin [R]. Beijing. 1998—2011 [国家环境保护局. 长江三峡工程生态与环境监测公报. 北京. 1998—2011]
- [3] Jiang W. Studies on Fish early resources in the main stream of state-level natural protection area for rare and endemic fishes in the upper Yangtze River [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2009 [姜伟. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流江段鱼类早期资源研究. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2009]
- [4] Mu H X. Study on fish early resources at the end of Three Gorges Reservoir and below the Three Gorges Dam [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2014 [母红霞. 长江三峡水库库尾江段及三峡坝下鱼类早期资源生态学研究. 博士学位论文. 中国科学院水生生物研究所. 武汉. 2014]
- [5] 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 [A]. In: Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, *et al.* Gezhouba Water Control Project and Four Famous Fishes in Yangtze River [C]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press. 1988, 1—46 [易伯鲁, 余志堂, 梁秩荣, 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. 见: 易伯鲁, 余志堂, 梁秩荣, 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]
- [6] 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, 2—5 [曹文宣, 常剑波, 乔晔, 等. 长江鱼类早期资源. 北京: 中国水利水电出版社. 2007, 2—5]
- [7] Gao L. Diversity and temporal and spatial patterns of larval fish assemblages in the south branch of Yangtze Estuary [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2014 [高雷. 长江口南支鱼类早期资源多样性与时空格局研究. 博士学位论文. 中国科学院水生生物研究所. 武汉. 2014]
- [8] Tang X L. Studies on early fish resources in Jiangjin cross-section in the upstream of Yangtze River [D]. Thesis for Master of Science. Southwest University, Chongqing. 2010 [唐锡良. 长江上游江津江段鱼类早期资源研究. 硕士学位论文, 西南大学, 重庆. 2010]
- [9] Duan X B. Studies on fish resources and the fishes of early life history stage in the upper Yangtze River [D]. Thesis for Master of professional degree in agricultural extension. Huazhong Agricultural University, Wuhan. 2008 [段辛斌. 长江上游鱼类资源现状及早期资源调查研究. 硕士学位论文, 华中农业大学, 武汉. 2008]
- [10] Doyle M J, Morse W W, Kendall Jr A W. A comparison of larval fish assemblages in the temperate zone of northeast Pacific and the northwest Atlantic ocean [J]. *Bulletin of Marine Science*, 1992, 53: 588—644
- [11] King M. Fisheries Biology, Assessment and Management [M]. Oxford: Fishing News Books. 1995, 247—248
- [12] Li M Z, Gao X, Yang S, *et al.* Effects of Environmental Factors on Natural Reproduction of the Four Major Chinese Carps in the Yangtze River, China [J]. *Zoological Science*, 2013, 30: 296—303

- [13] Zitek A, Schmutz S, Ploner A. Fish drift in a Danube sidearm-system: II. Seasonal and diurnal patterns [J]. *Journal of Fish Biology*, 2004, **65**: 1339—1357
- [14] Bulkowski L, Meade J W. Changes in phototaxis during early development of walleye [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1983, **112**: 445—447
- [15] Araújo-Lima C, Silva v, Petry P, *et al.* Diel variation of larval fish abundance in the Amazon and Rio Negro [J]. *Brazilian Journal of Biology*, 2001, **61**: 357—362
- [16] 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 Basin*, 2011, **20**: 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. 长江流域资源与环境, 2011, **20**: 957—962]
- [17] Jones N E, Petreman I C. Environmental influences on fish migration in a hydropeaking river [J]. *River Research and Applications*, 2014 (DOI: 10.1002/rra.2810)
- [18] Yu Z T. Preliminary assessment of impacts of large hydraulic project on fish resources of Yangtze River [J]. *Fishery in Water Conservancy*, 1988, **2**: 38—41 [余志堂. 大型水利工程对长江鱼类资源影响的初步评价. 水利渔业, 1988, **2**: 38—41]
- [19] Mu H X, Li M Z, Liu H Z, *et al.* Analysis of fish eggs and larvae flowing into the Three Gorges Reservoir on the Yangtze River, China [J]. *Fisheries Science*, 2014, **80**(3): 505—515

THE STATUS OF THE EARLY STAGE FISH RESOURCES IN THE FENGDU SECTION OF THE THREE GORGES RESERVOIR

WANG Hong-Li^{1, 2, 3}, LI Ming-Zheng^{1, 2}, GAO Xin^{1, 2}, LIU Huan-Zhang^{1, 2} and CAO Wen-Xuan^{1, 2}

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. The Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In this study, we evaluated the early-stage fish resources and the spawning grounds of major four Chinese carps in the Three Gorges Reservoir (TGR). We collected samples of fish eggs and larvae in the Fengdu section from April to July of 2014. There were 50 fish species that belonged to nine families and five orders. The fish eggs were abundant after June 1st, and the larvae were abundant from early June to mid July. The dominant eggs were from *Hemiculter bleekeri* (86.24%), and the dominant larvae were from *Neosalanx taihuensis* and *Rhinogobius giurinus*. The species composition of larvae varied in different months: *Cyprinus capio* and *Carassius auratus* were abundant in April, *Neosalanx taihuensis* and *Rhinogobius giurinus* were the most abundant species after May, and the proportion of Cultrinae and Cobitidae increased after June. We estimated that there were 0.437 billion eggs and 11.198 billion larvae drifting through the Fengdu section, including approximately 2.1 million eggs and 21 million larvae of the major four Chinese carps. The spawning grounds of the major four Chinese carps could be located in the Fuling reach and the passage from Banan to Zhutuo. The density of the larvae in the nighttime was significantly higher than in daytime before June 1st, but there was no difference after June 1st. This study suggested that a large amount of fish eggs and larvae drifted through the Fengdu section and flew into the TGR, which provided massive resources for the fishery in the TGR. The spawning time for most fishes in the TGR was post June when the water temperature, discharge and velocity were relatively higher. Moreover, there were also some spawning grounds of the major four Chinese carps at the end of the TGR.

Key words: Three Gorges Reservoir; Early-stage fish resources; The major four Chinese carps