

doi: 10.7541/2019.171

三峡水库产漂流性卵鱼类繁殖现状及水文需求研究

黎明政¹ 马琴² 陈林^{1,3} 刘焕章¹

(1. 中国科学院水生生物研究所水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072;

2. 南昌师范学院, 南昌 330032; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为了解三峡库区产漂流性卵鱼类的自然繁殖对三峡水库调蓄的响应, 研究于2016和2017年5—7月在三峡库区忠县江段进行鱼类早期资源调查。结果表明, 三峡库区鱼类早期资源物种多样性较高, 共采集到鱼类60种, 其中产漂流性卵鱼类30种。鱼卵中贝氏鲮*Hemiculter bleekeri*、银鲃*Squalidus argentatus*数量占优势, 仔鱼中鲃亚科的鲃属和鲃属数量占优势。三峡库区鱼类早期资源量丰富, 2016年和2017年调查期间流经忠县断面鱼卵的估算总量分别为70.41和34.54亿粒; 仔鱼总量为1037.63和344.27亿尾; 四大家鱼卵苗总量分别为29.09和21.17亿粒/尾。产漂流性卵鱼类在三峡库区忠县至涪陵江段的繁殖高峰在6月中旬至7月中旬, 即三峡水库调蓄至防洪限制水位145 m之后的时段, 而在6月上旬之前仅有少量繁殖活动发生; 在涪陵以上, 尤其是长寿以上江段5月中旬即有较大规模的繁殖。通过对三峡库区忠县至涪陵江段产漂流性卵鱼类繁殖水文需求的分析, 表明四大家鱼仅在持续涨水的条件下繁殖, 而贝氏鲮和银鲃对涨水的依赖程度很小。研究表明, 三峡水库的鱼类早期资源物种多样、资源丰富, 产漂流性卵鱼类在库区涪陵以下江段的繁殖时间主要在6月上旬以后, 且产卵规模较小, 而库尾及上游江段是三峡库区鱼类早期资源的主要来源地。在金沙江下游梯级开发的形势下, 需要加强对三峡库尾及上游江段产漂流性卵鱼类繁殖所需水文条件的维护以及对产卵场的保护。

关键词: 鱼类早期资源; 分类回归树; 四大家鱼

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2019)增-0084-13

三峡库区上邻长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区, 下接长江中下游江湖复合生态系统, 对长江生态系统服务功能的发挥具有重要作用。在三峡水库蓄水后, 库区水文环境和生物群落均发生巨大改变。这种变化不仅导致库区鱼类组成由喜流水鱼类向喜静水鱼类转变^[1, 2], 也可能对库区鱼类早期资源补充带来影响^[3]。相关研究表明, 在三峡水库建成后, 鱼类栖息地已发生明显变化, 尤其是产漂流性卵鱼类(在流水中产卵, 受精卵需流水维持漂流并向下游扩散, 逐步完成孵化、发育的鱼类, 例如四大家鱼)的产卵场发生明显变化, 原分布于库区内“四大家鱼”的产卵场被淹没, 上游江段

成为主要产卵场^[4, 5]。

已有研究表明, 2007—2008年通过三峡库尾珞璜断面的卵苗径流总量年均达153.5亿粒/尾^[6], 2011—2012年库区洛碛断面卵苗径流量年均均为96.85亿粒/尾^[7], 2014年通过库区丰都断面的卵苗总量为116.35亿粒/尾^[8], 这些补充进入三峡库区的鱼类早期资源对三峡水库生态系统的维护具有重要作用。同时, 有研究初步表明三峡库区内尤其是涪陵以上江段在一定时期仍具备产漂流性卵鱼类繁殖的水文条件, 也对库区鱼类资源起到一定的补充作用^[8, 9], 且三峡库区的鱼类早期资源对长江中游起到一定的补充作用^[10]。三峡水库水生生态系统的

收稿日期: 2018-10-09; 修订日期: 2019-06-14

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0402005); 中国科学院特色研究所项目(支撑长江经济带可持续发展的生态环境保护战略对策研究); 三峡工程后续工作(2136902); 中国生物多样性监测与研究网络-内陆水体鱼类多样性监测专项网资助 [Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFC0402005); the Programme for Feature Institutes of Chinese Academy of Sciences (the Strategic Countermeasures of Ecological and Environmental Protection in Supporting Sustainable Development of the Yangtze Economic Belt); the Follow-up Work of the Three Gorges Project (2136902); Sino BON-Inland Water Fish Diversity Observation Network]

作者简介: 黎明政(1985—), 男, 湖南株洲人; 博士; 主要研究方向为鱼类生态学。Email: liming_189@ihb.ac.cn

通信作者: 刘焕章, E-mail: hzliu@ihb.ac.cn

变动将经历一个长期的过程, 如何对三峡库区鱼类资源补充过程进行合理的管理和科学的保护并最终提高三峡库区生态系统的整体服务功能具有重要意义。但是, 已有关于三峡库区鱼类资源补充过程的研究没有深入库区, 尤其是关于三峡库区内产漂流性卵鱼类的繁殖对库区水文变动的响应。

本研究以三峡库区产漂流性卵鱼类的鱼卵和仔鱼为研究对象, 分析早期资源补充规律和水文需求, 并结合三峡水库的调蓄过程, 阐明三峡库区产漂流性卵鱼类繁殖对库区水文变动的响应, 为三峡水库鱼类资源保护与管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样时间与采样地点

分别于2016年5月6日至7月25日和2017年5月4日至7月30日开展鱼类早期资源调查, 该时段是三峡库区产漂流性卵鱼类繁殖的主要时期^[8]。采样断面(30°17'08"N, 108°01'30"E)位于三峡大坝上游367 km, 库区中部的忠县江段(图1)。根据前期调查, 忠县江段的流速条件在产漂流性卵鱼类主要繁殖时期(5—7月)基本能够达到维持漂流性卵漂流(>0.25 m/s)的流速需求^[11], 采样河段较顺直。

1.2 调查方法

使用筛网^[12]定量采集鱼类早期资源样本, 网口呈半圆形, 直径1 m, 网长2 m, 网目为500 μm , 网口面积为0.393 m^2 。在筛网的后部接一个集苗箱, 集苗箱长40 cm, 宽和高均为30 cm, 使用与筛网相同的网布制作, 其上部敞口, 便于鱼卵与仔鱼的搜集。在采集时, 将网具固定在离岸40—60 m的船体一侧, 网口保持与水流方向垂直。筛网网口固定一流速仪, 用

于计算滤水体积, 测量仪器为LS1206B型旋桨式流速仪(测量流速范围0.07—7 m/s)。在调查期间, 进行逐日的定量采样, 每日7:00—8:00和19:00—20:00各采集一次, 每次采集时间一般为60 min, 在水体浑浊度高, 浮渣较多时, 减少采样持续时间至30—45 min, 以免网具堵塞。为了计算调查期间流经采样断面的鱼类早期资源量, 在开展日常定量采样之外, 调查期间于不同时段在定量采样断面上开展断面调查, 采样方法参考相关文献进行^[10, 12]。

采样时测定采样点的气温、水温、pH、溶氧、电导率、江水流速、网口流速、透明度等环境指标。水位及流量数据来源于全国水雨情信息网站<http://xxfb.hydroinfo.gov.cn/ssIndex.html>和中国长江三峡集团公司水情信息<http://www.ctg.com.cn/inc/sqsk.php>。本文采用忠县水文站的水位以及忠县上游清溪场水文站(离采样断面约105 km, 中间无大型支流汇入)的流量数据作为采样断面水文指标。

在采样结束后, 对样本进行分拣, 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, 观察及记录发育时期后培养, 培养至分类特征明显的阶段后根据形态特征进行物种鉴定。采集的仔鱼直接通过形态特征鉴定种类, 鉴定后使用5%的福尔马林溶液和95%的酒精分别保存。样品观察鉴定使用体视解剖镜进行, 种类形态鉴定参考曹文宣等^[12]、王昌燮^[13]和易伯鲁等^[14]文献资料进行。尚不能鉴别的种类用95%的酒精保存后带回实验室, 采用线粒体细胞色素**b**基因和CO I 基因进行物种鉴定, 所有形态鉴定的物种也通过相同方法进行物种核定。

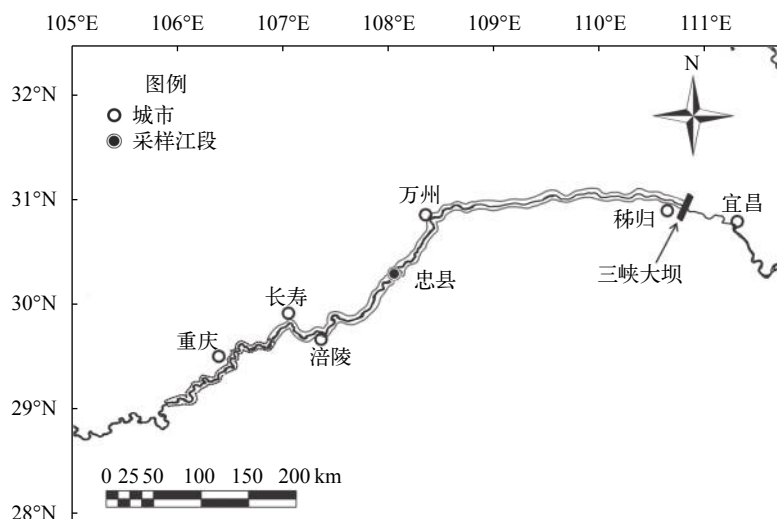


图1 2016—2017年5—7月三峡库区鱼类早期资源采样江段

Fig. 1 The sampling sites of the early-stage fish resources in the Three Gorges Reservoir from May to July in 2016 and 2017

1.3 数据分析

在调查期间, 鱼类早期资源的丰度用密度表示(每1000 m²通过采样网具的水体内所含鱼卵、仔鱼的数量)。漂流经过断面的鱼卵、仔鱼的总量的计算方法参照相关文献计算^[10, 14]。

产卵场位置距离采样断面的距离(L)的计算公式为:

$$L = V \times T$$

式中, T 指采集到的卵或仔鱼的发育时间, 根据不同鱼类的胚胎发育时序确定; V 指采样期间采样点上游江段平均流速。

采用分类回归树的方法(Classification and regression trees analysis, CART)对主要种类繁殖活动与环境因子间的关系进行定量分析。CART是一种基于二元递归分离法的非参统计方法^[15]。根据定义的划分原则, 将原始数据集连续的分成两部分, 使得被分开的两部分的不相似性最大化。当响应变量(Response variable)为定义的类型型变量(如产卵或不产卵)时, 则是分类树, 当响应变量为数量型变量时, 则是回归树^[16]。CART分析一般由树的构建、树的停止、树的修剪和最适合树的选择四步构成^[17]。将原始数据集称为根节点(Roots node), 之后根据每个可能的预测变量的某个数值进行二元分离, 将每个分枝称为子节点(Children nodes), 经过连续分支直至终节点(Terminal node)的出现, 在一个节点内当所有的响应值都一样或者数据不能进行更多划分时, 就意味着树的构建完成^[18]。每个终节点表示了该节点内样本的响应值, 即样本特征。CART方法对非线性数据以及相互影响的数据具有很强的处理能力, 成为一种用于分析生态数据强大而有效的工具^[16], 并且得到了广泛的推广与应用。

本研究中进行分类树分析时, 鱼类繁殖活动(基于卵的出现或不出现)定义为响应变量, 而水文因子定义为预测变量, 以此做分类树的分析。本研究考虑的水文因子包括水温、透明度、溶解氧、pH、水硬度、水流量、水位、以及水流量和水位的日变化量(反映涨水幅度)。在进行分类树分析时, 将2年的调查数据看作一个整体, 以天为单位, 共包括162d的数据。CART计算时, 将繁殖活动发生的日期定义为“1”, 而不发生定义为“0”, 选择Gini系数估算环境变量在预测模型中的相对重要性, 并用PRE(Proportional reduction of error)作为子节点分裂的参数(本计算将PRE设置为0.05), 将终节点中最小样本数设置为5个, 由此决定树的形状。

为了检验鱼卵、仔鱼漂流规律与环境因子的关系, 使用Pearson相关性检验进行分析。相关性检

验使用SPSS 20.0软件进行, CART分析与树图输出使用SYSTAT 12.0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

2016—2017年在忠县断面共采集到鱼卵2214粒, 仔鱼37524尾。分属于60种5目8科(表1), 其中鲤科鱼类种类数最多, 有37种, 鳅科7种, 鲢科5种, 虾虎鱼科4种, 鳊科3种, 爬鳅科2种, 银鱼科和鱖科各1种。根据鱼类所产卵的性质, 产漂流性卵的种类有30种, 产沉性卵鱼类16种, 产黏性卵鱼类有11种, 产浮性卵鱼类3种。

采集的鱼卵属于贝氏鲮、银鲃、蛇鲃*Saurogobio dabryi*、赤眼鲮*Squaliobarbus curriculus*、草鱼*Ctenopharyngodon idella*、鲢*Hypophthalmichthys molitrix*等15种鱼类。其中, 以贝氏鲮的数量最多, 2016年占总鱼卵数的84.78%, 2017年占78.57%; 银鲃其次, 2016年和2017年分别占7.45%和10.88%。四大家鱼鱼卵的数量较少, 2016年和2017年分别占1.86%和0.34%(图2)。

采集的仔鱼共有56种, 其中鲃亚科鱼类(主要为鲮属和瓢鱼属)数量最多, 2016和2017年分别占总仔鱼数量的70.09%和58.60%, 鲃亚科、鳅科和虾虎鱼科的种类也有一定数量。四大家鱼仔鱼2016年和2017年分别占总仔鱼数量的1.86%和5.91%(图3)。

2.2 鱼类早期资源量

2016年和2017年, 估算通过忠县断面的仔鱼总量分别为1037.63和344.27亿尾, 鱼卵总量分别为70.41和34.54亿粒。在仔鱼中, 鲮属和瓢鱼属最多, 鲮属2016年和2017年分别为403.17和65.45亿尾, 瓢鱼属2016年和2017年分别为283.6和84.64亿尾。在鱼卵中, 贝氏鲮最多, 2016年和2017年分别为53.2和23.12亿粒(表2)。

2016年和2017年, 估算通过忠县断面的四大家鱼仔鱼径流量分别为27.61和21.07亿尾, 鱼卵径流量分别为1.48和0.1亿粒。仔鱼中, 鲢和草鱼最多, 2016年和2017年鲢平均占四大家鱼总量的49.64%, 草鱼平均占47.10%, 青鱼占2.23%, 鳊*Aristichthys nobilis*仅占1.03%(表3)。

2.3 鱼类早期资源的时间动态

在调查期间, 忠县断面的鱼卵数量较少, 且出现的时间较集中, 高峰期在6月下旬和7月初, 在6月之前流量较小时段采集到卵的数量较少。2016年鱼卵平均密度为(110.26±257.62)粒/1000 m³, 2017年

表 1 2016年和2017年5—7月三峡库区忠县断面鱼类早期资源物种名录

Tab. 1 List of fish species of early-stage fish collected in Zhongxian section from May to July in 2016 and 2017

序号Serial number	目Order	科Family	种Species	卵类型Egg type
1	鲤形目Cypriniformes	鲤科Cyprinidae	宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	沉性
2			马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	沉性
3			青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	漂流性
4			草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	漂流性
5			赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	漂流性
6			鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	漂流性
7			寡鳞鳊 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	漂流性
8			鳊 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	黏性
9			鲮 <i>Hemiculter leuciscus</i>	黏性
10			贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	漂流性
11			翘嘴鲮 <i>Culter alburnus</i>	漂流性
12			蒙古鲮 <i>Chanodichthys mongolicus</i>	黏性
13			红鳍原鲮 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	黏性
14			黑尾近红鲮 <i>Ancherythroculter nigrocauda</i>	黏性
15			高体近红鲮 <i>Ancherythroculter kurematsui</i>	黏性
16			鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	漂流性
17			厚颌鲂 <i>Megalobrama pellegrini</i>	黏性
18			银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	漂流性
19			黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	黏性
20			似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	漂流性
21			鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	漂流性
22			鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	漂流性
23			花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>	沉性
24			银鲴 <i>Squalidus argentatus</i>	漂流性
25			铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	漂流性
26			吻鲴 <i>Rhinogobio typus</i>	漂流性
27			圆筒吻鲴 <i>Rhinogobio cylindricus</i>	漂流性
28			长鳍吻鲴 <i>Rhinogobio ventralis</i>	漂流性
29			蛇鲴 <i>Saurogobio dabryi</i>	漂流性
30			光唇蛇鲴 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	漂流性
31			宜昌鳊鲂 <i>Gobiobotia filifer</i>	漂流性
32			异鳊 <i>Xenophysogobio boulengeri</i>	漂流性
33			越南鳊 <i>Acheilognathus tonkinensis</i>	沉性
34			高体鳊 <i>Rhodeus ocellatus</i>	沉性
35			中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	沉性
36			鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	黏性
37			鲫 <i>Carassius auratus</i>	黏性
38		爬鳅科Balitoridae	犁头鳅 <i>Lepturichthys fimbriata</i>	漂流性
39			中华金沙鳅 <i>Jinshaia sinensis</i>	漂流性
40		鳅科Cobitidae	壮体沙鳅 <i>Botia robusta</i>	漂流性
41			中华沙鳅 <i>Botia superciliaris</i>	漂流性
42			花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	漂流性
43			长薄鳅 <i>Leptobotia elongata</i>	漂流性
44			紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniops</i>	漂流性
45			红唇薄鳅 <i>Leptobotia rubrilabris</i>	漂流性
46			小眼薄鳅 <i>Leptobotia microphthalrna</i>	漂流性
47	鲇形目Siluriformes	鲇科Bagridae	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	沉性
48			瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	沉性
49			光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	沉性
50			粗唇鲇 <i>Leiocassis crassilabris</i>	沉性
51			短尾拟鲇 <i>Pseudobagrus brevicaudatus</i>	沉性
52	胡瓜鱼目Osmeriformes	银鱼科Salangidae	太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	沉性
53	颌针鱼目Beloniformes	鱈科Hemiramphidae	间下鱈 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	黏性
54	鲈形目Perciformes	鳊科Siniperca	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	浮性
55			斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>	浮性
56			大眼鳊 <i>Siniperca kneri Garman</i>	浮性
57		虾虎鱼科Gobiidae	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	沉性
58			褐吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius brunneus</i>	沉性
59			波氏吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	沉性
60			黏皮鰕虾虎鱼 <i>Mugilogobius myxodermus</i>	沉性

平均密度为 (23.49 ± 70.32) 粒/ 1000 m^3 。通过检验, 鱼卵漂流密度与清溪场流量显著正相关(Pearson相关: 2016年, $r=0.397$, $P=0.000$; 2017年, $r=0.373$, $P=0.001$)。

忠县江段的仔鱼资源较丰富, 在整个调查期间均有一定数量。2016年仔鱼的平均密度为 (1394.36 ± 1797.84) ind./ 1000 m^3 , 2017年为 (286.58 ± 275.89) ind./ 1000 m^3 。仔鱼漂流密度与水温显著正相关(Pearson相关: 2016年, $r=0.238$, $P=0.035$; 2017年, $r=0.404$, $P=0.000$, 图4)。

通过对仔鱼组成的分析, 不同种类的繁殖时间存在一定差异(图5)。鲃亚科仔鱼在整个调查时期均为优势种类, 主要是瓢鱼属和鲃属种类, 7月中下旬占比最高, 2016年最高占仔鱼总数的85.4%, 2017年最高占78.4%。在其他鱼类中, 5月中旬鲃亚科(主要为银鲃、蛇鲃)、虾虎鱼科和银鱼科是主要种类。5月下旬至6月上旬, 鲃亚科数量逐渐增多, 成为除鲃亚科鱼类外的优势类群。四大家鱼的仔鱼从5月中旬至7月中旬均有一定数量。

2.4 产漂流性卵鱼类繁殖的时空格局

涪陵至忠县江段 根据采集鱼卵的发育时

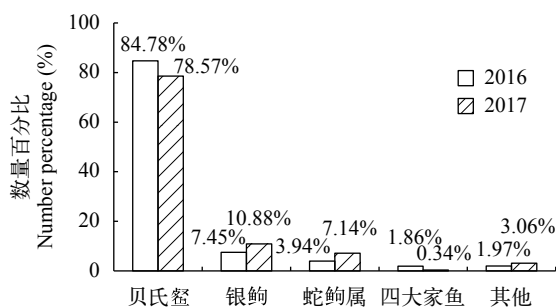


图2 2016—2017年忠县江段鱼卵种类组成

Fig. 2 Species composition of fish eggs in Zhongxian section from 2016 and 2017

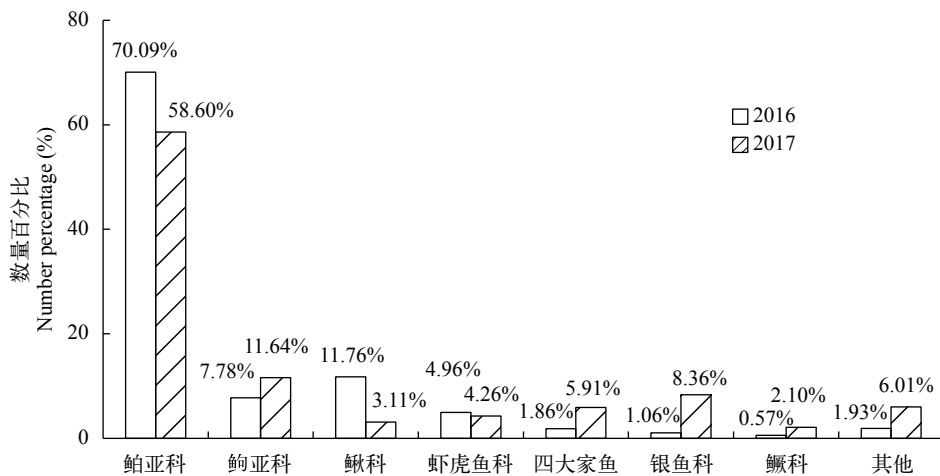


图3 2016—2017年忠县江段仔鱼种类组成

Fig. 3 Species composition of larval fish in Zhongxian section from 2016 and 2017

期及上游的流速条件, 在忠县断面所采集的鱼卵绝大部分来自忠县至涪陵江段。根据鱼卵的采集时间分析(图6), 6月10日之前所采集的鱼卵数量很少, 仅占整个调查期间总数的7.39%; 在具体种类中, 6月10日之前采集的贝氏鲃鱼卵占5.05%, 银鲃占15.58%, 四大家鱼占4.76%(出现在6月10日, 在之前没有采集到)。以不同时段产卵规模计算, 6月10日前鱼卵总量仅占整个调查期间的1.73%, 贝氏鲃占1.33, 银鲃占4.8%。可见, 涪陵至忠县江段鱼类繁殖的时间绝大多数都在6月10日之后。

涪陵以上的库区江段 根据所采集仔鱼的发育时期及采集期间采样断面上游的流速条件, 在忠县断面所采集的仔鱼绝大部分来自涪陵珍溪镇以上江段。以四大家鱼仔鱼为对象, 所采集的四大家鱼仔鱼有约19.22%来自长寿至涪陵珍溪镇江段的产卵场, 而其余均来自长寿以上江段的产卵场。而产自长寿至涪陵珍溪镇江段的样本中又有约87.7%的样本采集时间为5月中旬至6月上旬, 由此可见5月中旬至6月上旬期间涪陵珍溪镇至长寿江段具备四大家鱼和其他产漂流性卵鱼类繁殖的条件, 但是其产卵量仅占流经忠县断面仔鱼总量的少部分(图7)。

2.5 代表性种类繁殖生境需求

调查期间水文特征 为了了解三峡水库调度运行对库区江段鱼类繁殖的影响, 对调查期间三峡水库水位及流量变化进行分析(图8)。2016—2017年4—7月期间, 三峡库区水位从4月下旬至6月10日为快速消落期, 水位从165 m左右下降至145 m左右, 7月后随着上游较大洪水来临, 水位存在一定涨落波动。三峡入库流量两年的变化趋势一致, 6月初流量逐渐增大, 6月下旬洪水来临, 其中2016年洪峰的时间略早于2017年。

2016—2017年三峡库区忠县江段水温在4月下旬到达18℃, 其中2016年为4月21日, 2017年为4月18, 水温最高出现在7月下旬, 约26℃(图9)。

表2 2016—2017年5—7月三峡库区忠县断面鱼卵及仔鱼资源量
Tab. 2 The amount of fish eggs and larvae drifting through Zhongxian section from May to July in 2016 and 2017

类别 Category	分类单元Taxonomic groups	资源量Amount (×10 ⁸)	
		2016年	2017年
仔鱼Larvae	总量	1037.6	344.27
	太湖新银鱼	6.35	32.15
	吻虾虎鱼属	30.83	14.67
	鲈属	403.17	65.45
	鳊鱼属	283.6	84.64
	鲤、鲫	0.62	0.41
	鳊	6.54	7.77
	薄鳊属	161.63	3.01
	翘嘴鲌	29.83	13.66
	银鲌	37.05	21.11
	蛇鲌	4.04	0.15
	花斑副沙鳅	12.92	8.61
	沙鳅属	1.78	1.78
	蒙古鲌	3.87	26.54
鱼卵Eggs	总量	70.41	34.54
	鲌属	6.28	0.29
	贝氏鲌	53.2	23.12
	银鲌	3	2.88
	蛇鲌	1.72	1.91

主要种类繁殖条件需求 根据CART的分析结果, 流量的日增量是影响四大家鱼繁殖的重要因子, 在分类树第一次(Gini系数=0.065)和第四次(Gini系数=0.163)均被选为分裂因子。分类树显示(图10), 三峡库区忠县至涪陵江段四大家鱼繁殖主要发生在流量日增量>840 m³/s, 且水位介于149.78—151.6 m的时期。

三峡库区忠县至涪陵江段四大家鱼繁殖时间最早在6月10日(忠县水位146.65 m), 均发生在三峡库区水位消落至防洪限制水位之后, 并持续涨水

表3 2016—2017年忠县断面四大家鱼鱼卵及仔鱼径流量
Tab. 3 The amount of eggs and larvae of the four major Chinese carps drifting through Zhongxian section from May to July in 2016 and 2017

类别 Category	种类 Species	2016		2017	
		径流量 Amount (×10 ⁸)	百分比 Percentage (%)	径流量 Amount (×10 ⁸)	百分比 Percentage (%)
仔鱼 Larvae	总量	27.61		21.07	
	青鱼	0.38	1.38	0.65	3.08
	草鱼	13.48	48.82	9.56	45.37
	鲢	13.55	49.08	10.58	50.21
	鳙	0.2	0.72	0.28	1.33
鱼卵Eggs	总量	1.48		0.1	
	青鱼	0.09	6.08	—	
	草鱼	0.61	41.22	0.1	100
	鲢	0.78	52.70	—	

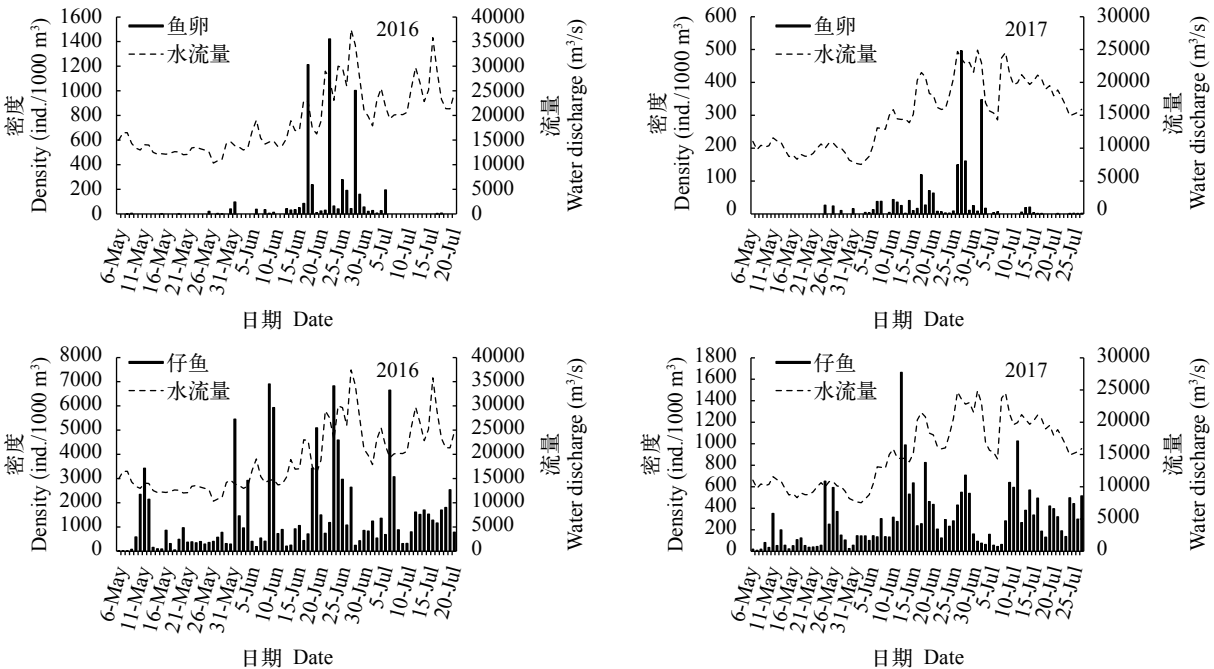


图4 2016—2017年5—7月忠县断面鱼卵、仔鱼密度变化
Fig. 4 The variation of the density of drifting eggs and larvae in Zhongxian section of the TGR from May to July in 2016 and 2017

2—4天的时段。以2016年调查结果为例,监测到5次四大家鱼繁殖活动。第一次繁殖活动发生在2016年6月21日,此前清溪镇水文站的流量从6月17日的 $17200\text{ m}^3/\text{s}$ 持续增加至6月21日的 $24800\text{ m}^3/\text{s}$,持续涨水4d。第二次繁殖活动发生在6月26日,流量从6月23日的 $16200\text{ m}^3/\text{s}$ 增加至6月26日的 $29600\text{ m}^3/\text{s}$,持续涨水3d。第三次繁殖活动发生在6月29日,

流量从6月27日的 $22600\text{ m}^3/\text{s}$ 持续增加至 $32400\text{ m}^3/\text{s}$,持续上涨2d。第四次繁殖活动发生在7月2日,流量从6月30日的 $26400\text{ m}^3/\text{s}$ 增加至 $32400\text{ m}^3/\text{s}$,持续涨水2d。第五次繁殖活动发生在7月8日,流量从7月6日的 $19300\text{ m}^3/\text{s}$ 增加至 $25400\text{ m}^3/\text{s}$,持续上涨2d。

分析结果表明贝氏鲮的繁殖活动发生对涨水过程的依赖程度较小(图 11),主要发生在水位低于

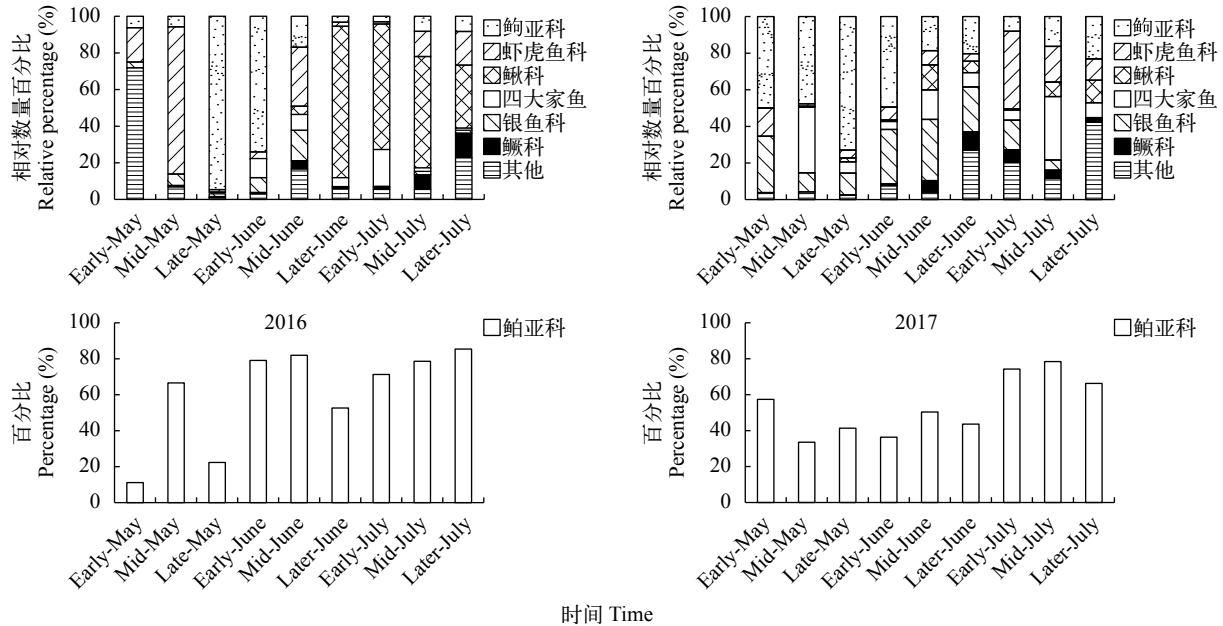


图 5 2016—2017年5—7月忠县断面仔鱼组成时间规律

Fig. 5 The variation of drifting larval fish in Zhongxian section from May to July in 2016 and 2017

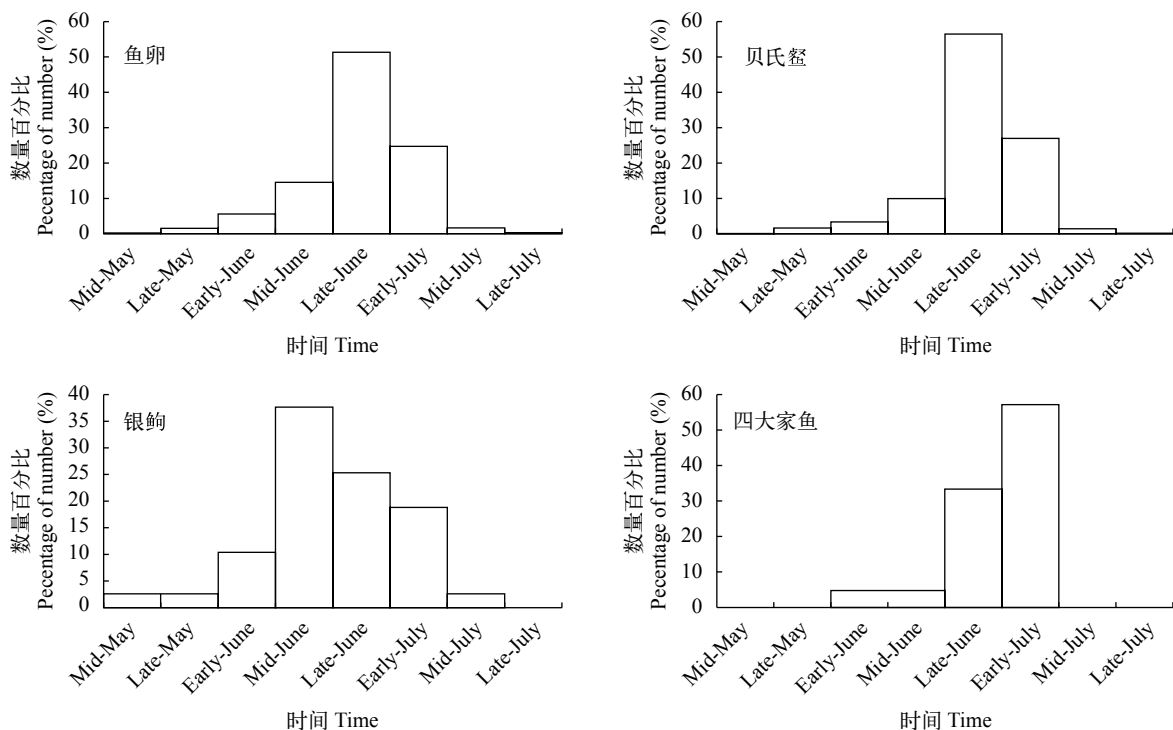


图 6 2016—2017年忠县断面所采集鱼卵的时间分布特征

Fig. 6 The variation of drifting eggs in Zhongxian section from May to July in 2016 and 2017

150.25 m的时期, 不过在水位大于150.25 m时且水温介于21.2—24.0℃时也有繁殖活动发生。

银鮡的繁殖活动发生对涨水过程的依赖程度也较小(图12), 繁殖主要发生在水位低于148.56 m、流量>18166 m³/s的时期。

3 讨论

3.1 三峡库区产漂流性卵鱼类早期资源现状

综合本研究和已有文献资料, 当前三峡库区鱼类早期资源物种组成丰富, 包括较多产漂流性卵的

鱼类。2014年丰都江段采集到鱼类50种, 其中产漂流性卵鱼类有21种^[8]。本研究调查到鱼类60种, 而其中产漂流性卵鱼类就有30种。三峡库区鱼类早期资源的优势种类主要为飘鱼属、鲢属、银鮡等小型鱼类(表4), 这些种类也成了当前库区渔获物的优势种类, 例如银鮡、蛇鮡、贝氏鲮在万州和云阳江段均为优势种类^[19]。

三峡库区的鱼类早期资源量非常大, 有研究表明, 2014年流经丰都断面的卵苗总量为116.35亿粒/尾^[8], 而2016—2017年流经忠县断面的卵苗径流总量平均达743.43亿粒/尾。这些鱼类早期资源是库区渔业资源的重要补充。

3.2 四大家鱼资源量及产卵场分布

本研究表明, 三峡库区部分江段在一定时间内仍存在四大家鱼产卵场(表5)。历史资料显示宜昌以上江段在1986年分布有11个四大家鱼产卵场^[20], 在三峡蓄水前的2002—2003年, 云阳至江津江段仍有产卵场分布^[4]。根据预测, 在三峡水库运行后, 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^[21]。已有研究证实三峡库区上游成为长江上游四大家鱼主要产卵场江段^[4, 5, 22]。但是, 当前研究表明三峡库区部分江段在流速合适时仍存在四大家鱼产卵场, 不过其繁殖规模相比上游段较小, 例如2016年忠县断面四大家鱼鱼卵径流量为1.48亿粒, 而同时期流经该断面的仔鱼径流量为27.61亿尾。随着补充进入三峡库区的四大家鱼早期资源量增加, 加上库区缓流生境利于四大家鱼的索饵育肥, 三峡水库四大家鱼的资源量相比2003年以前有明显的增加趋势, 例如万州江段鲢的重量百分比由2000—2002年的7.73%—8.95%增加至2004—2006年的12.41%—49.54%^[4], 2015年三峡库区干流四大家鱼的重量百分比达24.34%^[23]。

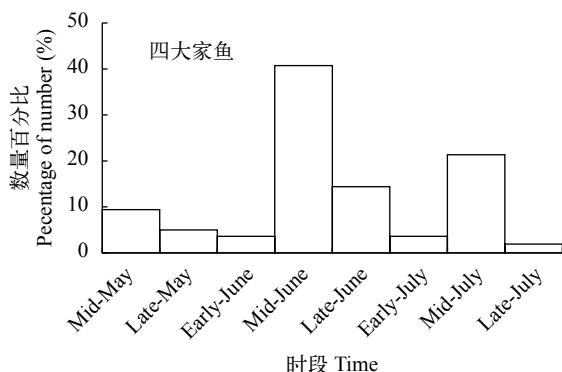


图7 2016—2017年5—7月忠县断面所采集四大家鱼仔鱼的时间分布

Fig. 7 The variation of larvae of the four major Chinese carps in Zhongxian section from May to July in 2016 and 2017

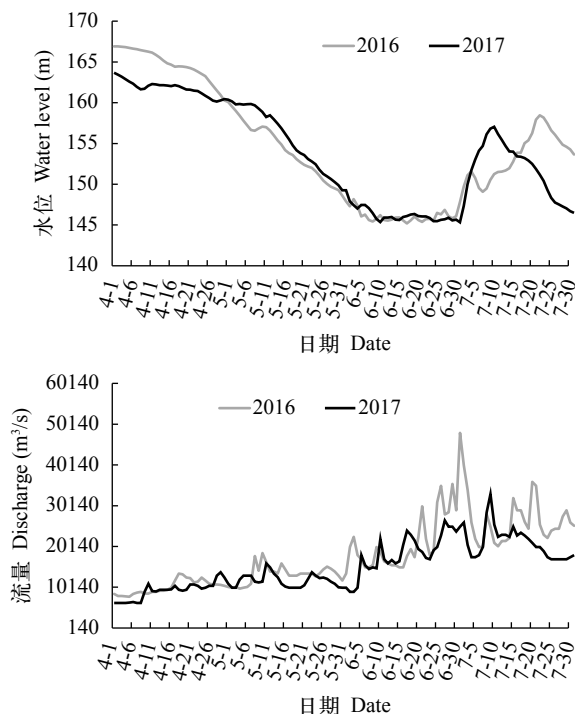


图8 2016和2017年4—7月三峡库区水位和入库流量变化

Fig. 8 The daily variation of water discharge and water level from April to July in 2016 and 2017

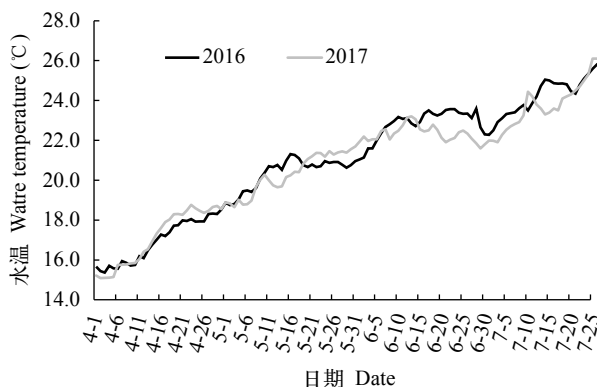


图9 2016和2017年4—7月忠县江段水温变化

Fig. 9 The daily variation of water temperature from April to July in 2016 and 2017 in Zhongxian section

结合文献资料,三峡库区及上游不同江段四大家鱼繁殖时间有一定差异。江津至泸州江段四大家鱼繁殖活动最早在4月初发生^[5, 22],而在峡口至江津江段最早发生在5月初^[9],本研究中涪陵以上江段从5月中旬开始繁殖,而涪陵至忠县江段的繁殖时间最晚,到6月中旬才有繁殖活动发生。这种产卵场时空特征的形成主要与不同江段的水流条件相关,在江津以上自然流水河段,流速较快,水流条件最好,繁殖时间也较早,而库区的涪陵至忠县江段受调蓄水位的影响,在6月中旬以前不具备四大家鱼繁殖的条件,这也与李翀等^[24]根据水动力学方法研究的结果一致,进一步证实了三峡水库蓄水运行对库区四大家鱼繁殖的影响时间主要集中在6月中旬以前。

3.3 三峡库区产漂流性卵鱼类繁殖水文需求

许多学者对季节性的洪水与鱼类繁殖及生长的关系做了深入的研究^[25-27],认为洪水发生的时间、持续时间以及影响范围对鱼类的繁殖与生长有着重要影响。季节性的洪水能够增加洪泛平原水体的连通性,并促进陆地与河流生态系统间营养物质、生物体和能量的交换^[28],这种作用能够为鱼

类提供更多的饵料生物和一些底幼场所。此外,在涨水的条件下繁殖能够降低种内、种间的竞争和捕食风险^[29],并能够增加后代进入洪泛平原的育幼场所进行育肥和寻找庇护所的机会^[30]。因此,适应于河流环境、在洪水时期进行繁殖对鱼类后代有诸多益处。在本研究中,三峡库区鱼类早期资源补充的高峰时段也主要集中在上游洪水发生的6月以后。

四大家鱼是一种典型的江湖洄游鱼类,本研究显示涨水过程是决定四大家鱼繁殖活动发生的关键因子,与大多学者的研究结论一致^[31, 32]。然而,三峡库区江段四大家鱼繁殖活动发生时的水文条件与其他自然河段仍存在一定差异。在三峡库区上游和长江中游一般在水温到达18℃后,有一定涨水条件即有四大家鱼繁殖活动发生^[22, 33],在本研究中,三峡库区水温在4月下旬已达到18℃,但是忠县至涪陵江段四大家鱼繁殖都发生在6月10日之后,这可能是该时期三峡水库水位仍较高,而上游入库流量较小,水流条件仍不满足四大家鱼的繁殖需求。

本研究也表明另外一些小型的产漂流性卵鱼类,例如贝氏鲮、银鲃其繁殖对涨水的依赖程度较

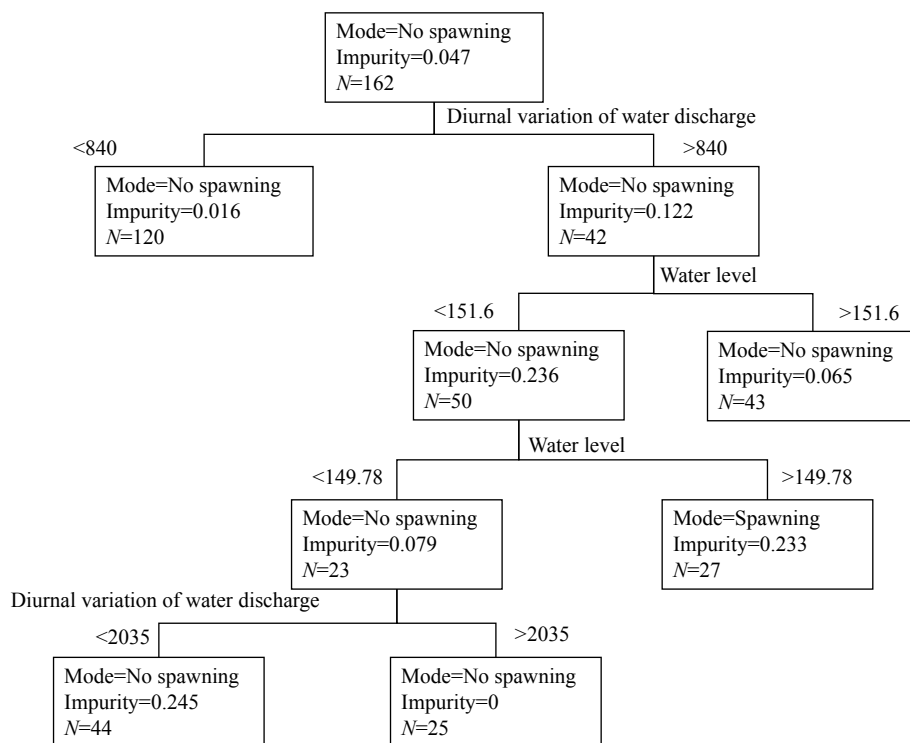


图 10 忠县至涪陵江段四大家鱼繁殖活动与环境因子间关系的分类树分析(PRE=0.303)

Fig. 10 Classification tree prediction spawning activities of the four major Chinese carps from environmental variables from Zhongxian to Fuling section (PRE=0.303)

每个节点的样本数(N), 属性以及不纯度(impurity)在方框内标出。树的解读从上至下, 最终无进一步分枝的节点为终节点, 用于对树模型进行解释

Each node (square) is labeled with the state of spawning and the number (N) of sample days in that group. The impurity of classification is presented at each node. The model runs from the top downward until terminal nodes appear

小, 在水温达到繁殖需求后即能够产卵。这种现象在国外一些河流有发现, 例如亚马逊河鱼类繁殖有两个典型类群, 一些选择在涨水时繁殖, 一些在退水时繁殖^[34]。

4 结论与建议

本研究结果表明, 三峡库区内繁殖的产漂流性

卵鱼类, 6月中旬以前的时段水文情势受三峡调蓄的影响, 仅有极少量的繁殖活动发生, 而6月中旬之后, 库区忠县以上江段的水文条件基本能满足大多数产漂流性卵鱼类的繁殖需求。此外, 三峡库区鱼类早期资源的补充来源以库尾及以上江段繁殖后流入库区的资源为主, 且资源量大, 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

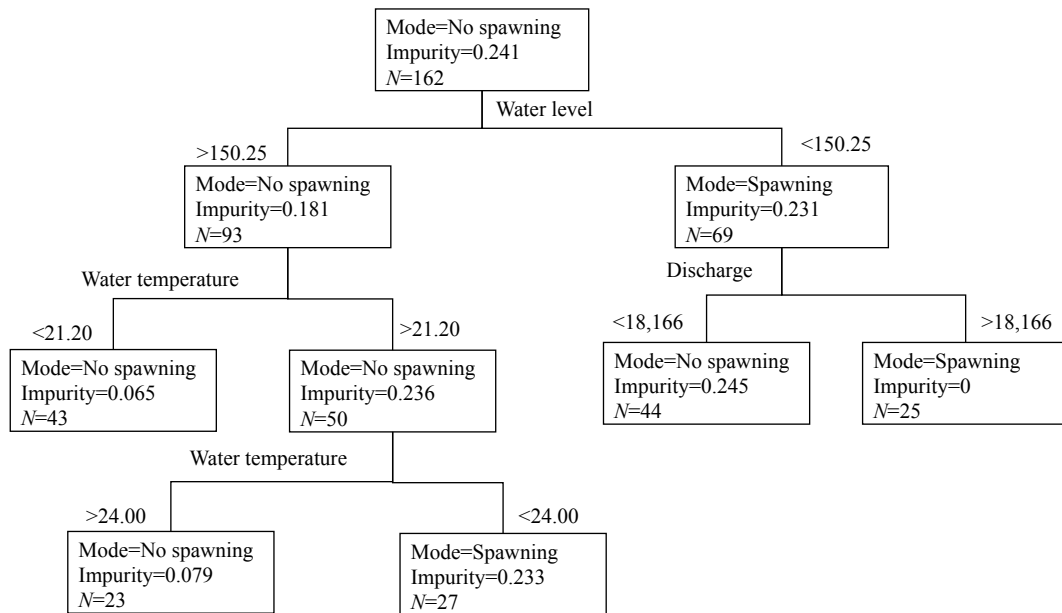


图 11 忠县至涪陵江段贝氏鲮繁殖活动与环境因子间关系的分类树分析(PRE=0.445)

Fig. 11 Classification tree prediction spawning activities of *H. bleekeri* from environmental variables from Zhongxian to Fuling section (PRE=0.445)

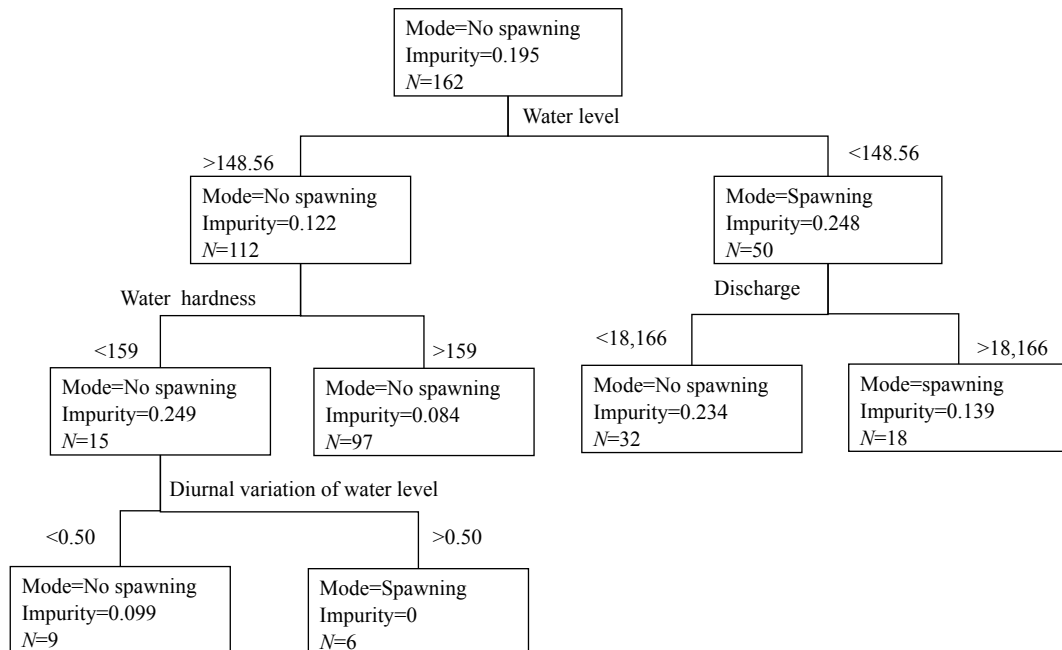


图 12 忠县至涪陵江段银鮡繁殖活动与环境因子间关系的分类树分析(PRE=0.397)

Fig. 12 Classification tree prediction spawning activities of *S. argentatus* from environmental variables from Zhongxian to Fuling section (PRE=0.397)

表 4 三峡库区及上游鱼类早期资源种类及数量

Tab. 4 Species composition and the amount of fish eggs and larvae in the upper Yangtze River

年份Year	地点Location	种类数Species number	卵苗总量Amount ($\times 10^8$)	优势种类Dominant speices	数据来源Data source
2007	珞璜	39	165	鲢鱼、寡鳞鲢鱼、鳙、中华沙鳅、长薄鳅、子陵吻虾虎鱼	姜伟 ^[22]
2008	珞璜		142	—	姜伟 ^[22]
2009	江津	35	26.8	鲢鱼、寡鳞鲢鱼、鳙、中华沙鳅、长薄鳅、子陵吻虾虎鱼	唐锡良 ^[5]
2011	洛碛	46	121.9	虾虎鱼类、鲢鱼、鳙、银鮡、花斑副沙鳅等	母红霞 ^[9]
2012	洛碛	43	71.8		母红霞 ^[9]
2014	丰都	50	116.35	太湖新银鱼、子陵吻虾虎鱼、鳙、宜昌鳅蛇、翘嘴鲇等	王红丽等 ^[8]
2016—2017	忠县	60	743.43	鲢鱼属、鳙属、薄鳅属、银鮡、子陵吻虾虎鱼等	本研究

表 5 长江上游四大家鱼繁殖规模及产卵场分布

Tab. 5 The amount of eggs and larvae and location of spawning grounds of the four Chinese major carps

年份Year	地点Location	卵苗总量Amount ($\times 10^8$)	相对百分比Percentage (%)				产卵场位置Location of spawning grounds
			鲢Silver carp	草鱼Grass carp	鳊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、忠县、万州-云阳 ^[4]
2003	云阳	2.9	76.1	18.6	5.3		
2007	江津	7.42					合江-弥陀 ^[4]
2007	珞璜	12	63.30	29.7	0.80	6.30	江津-合江 ^[20]
2008	珞璜	8.8	59.40	38.80	0.90	0.90	朱沱-弥陀 ^[20]
2009	江津	3.76	64.40	34.50	1.10		朱杨镇-弥陀镇 ^[5]
2011	洛碛	0.21*					峡口-江津 ^[9]
2012	洛碛	0.22*					峡口-江津 ^[9]
2014	丰都	0.23	58.05	21.38	0.56	21.01	涪陵、巴南区-朱沱 ^[8]
2016—2017	忠县	25.13	49.64	47.10	1.03	2.23	忠县、涪陵、长寿及以上江段

注: *洛碛四大家鱼资源量为仅为鱼卵资源量, 其余调查为鱼卵和仔鱼的总量

Note: * The data in Luoqi section only include fish eggs, but in other sections include fish eggs and larvae

用。同时,金沙江下游梯级开发对长江上游的水文条件也带来深远的影响。因此,为了更好地发挥三峡水库的生态系统服务功能,建议加强对三峡库尾及上游自然河段中鱼类产卵场及产卵所需水文条件的保护和修复。

参考文献:

- [1] Perera H A C C, Li Z J, S.S. De Silva, *et al.* Effect of the distance from the dam on river fish community structure and compositional trends, with reference to the three Gorges Dam, China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, **38**(3): 438—445 [H.A.C.C.Perera, 李钟杰, S.S. De Silva, 等. 三峡水库不同区域对鱼类群落结构和鱼类组成动态的影响. 水生生物学报, 2014, **38**(3): 438—445]
- [2] Gao X, Zeng Y, Wang J W, *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
- [3] Cao W X, Yu Z T. Preliminary Assessment of Impacts of the Three Gorges Project on Fish Resources of the Changjiang River and Approaches to the Resource Proliferation [A]. In: Symposium on Ecology and Environment Impact of the Three Gorges Project in Changjiang River and Its Countermeasures [C]. Beijing: Science Press. 1987, 3—18 [曹文宣, 余志堂. 三峡工程对长江鱼类资源影响的初步评价及资源增殖途径的研究. 见: 中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组, 长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集. 北京: 科学出版社. 1987, 3—18]
- [4] 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 Science. 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]
- [5] 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]
- [6] Jiang W, Liu H Z, Duan Z H, *et al.* Seasonal variation in

- drifting eggs and larvae in the Upper Yangtze, China [J]. *Zoological Science*, 2010, **27**(5): 402—409
- [7] 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 [J]. *Fisheries Science*, 2014, **80**(3): 505—515
- [8] Wang H L, Li M Z, Gao X, *et al.* Resources status of early life history of fish in Fengdu section of the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(5): 954—964 [王红丽, 黎明政, 高欣, 等. 三峡库区丰都江段鱼类早期资源现状. *水生生物学报*, 2015, **39**(5): 954—964]
- [9] 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即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]
- [10] Li M Z, Duan Z H, Gao X, *et al.* Impact of the Three Gorges Dam on reproduction of four major Chinese carps in the middle reaches of the Changjiang River [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2016, **34**(5): 885—893
- [11] Tang M Y, Huang D L, Huang L Z, *et al.* Preliminary study on incubation status and hydraulic characteristics of the eggs of the four major Chinese carps in the Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Hydroecology*, 1989, (4): 26—30 [唐明英, 黄德林, 黄立章, 等. 草、青、鲢、鳙鱼卵水力学特性试验及其在三峡库区孵化条件初步预测. *水利渔业*, 1989, (4): 26—30]
- [12] 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, 69—183 [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, 69—183]
- [13] Wang C X. Species identification of Laval in the middle Yangtze [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1959, **3**(1): 315—343 [王昌燮. 长江中游“野鱼苗”的种类鉴定. *水生生物学集刊*, 1959, **3**(1): 315—343]
- [14] Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, *et al.* Gezhouba Water Control Project and Four Famous Fishes in Yangtze River [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press. 1988, 1—117 [易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊, 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—117]
- [15] Breiman L. Classification and Regression Trees [M]. London: Chapman & Hall/CRC. 1984, 18—41
- [16] De'ath G, Fabricius K. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis [J]. *Ecology*, 2000, **81**(11): 3178—3192
- [17] Lewis R J. An introduction to classification and regression tree (CART) analysis [A]. In: Annual Meeting of the Society for Academic Emergency Medicine [C]. San Francisco, California: Citeseer. 2000, 2—14
- [18] Olden J, Jackson D. A comparison of statistical approaches for modelling fish species distributions [J]. *Freshwater Biology*, 2002, **47**(10): 1976—1995
- [19] Chen X W J. Studies on fish food web structure and function of Wanzhou section and Xiaojiang River in the Three Gorges Reservoir [D]. Thesis for Master of Science. Guizhou University, Guiyang. 2018 [陈薛伟杰. 三峡库区万州江段和小江鱼类食物网结构与功能研究. 硕士学位论文, 贵州大学, 贵阳. 2018]
- [20] 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, 梁秩燊, 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, 梁秩燊, 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]
- [21] 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]
- [22] 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]
- [23] Yang Z, Gong Y, Dong C, *et al.* Temporal and spatial distribution of the four major Chinese carp species in three Gorges Reservoir during the normal operation period [J]. *Journal of Hydroecology*, 2017, **38**(5): 72—79 [杨志, 龚云, 董纯, 等. 三峡水库正常运行期间四大家鱼的时空分布特征. *水生态学杂志*, 2017, **38**(5): 72—79]
- [24] Li C, Liao W G, Chen D Q, *et al.* Hydrodynamic effect of different regulation scenarios for Three Gorges Reservoir on four major Chinese carps spawning [J]. *Science & Technology Review*, 2008, **26**(17): 55—61 [李翀, 廖文根, 陈大庆, 等. 三峡水库不同运用情景对四大家鱼繁殖水动力学影响. *科技导报*, 2008, **26**(17): 55—61]
- [25] Welcomme R. Fisheries Ecology of Floodplain Rivers [M]. London: Longman. 1979, 317
- [26] Trifonova O. Changes in breeding conditions of spring-spawning fish in the middle Ob due to river flow regulation [J]. *The Soviet Journal of Ecology*, 1983, **13**(4): 273—277

- [27] Górski K, Winter H V, De Leeuw J J, *et al.* Fish spawning in a large temperate floodplain: the role of flooding and temperature [J]. *Freshwater Biology*, 2010, **55**(7): 1509—1519
- [28] Thomaz S, Bini L, Bozelli R. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems [J]. *Hydrobiologia*, 2007, **579**(1): 1—13
- [29] Lucas M C, Baras E, Thom T, *et al.* Migration of Freshwater Fishes [M]. Malden: Blackwell Science Ltd. 2001, 285
- [30] McConnell R, Lowe-McConnell R. Ecological Studies in Tropical Fish Communities [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 1987, 50—57
- [31] Yi B L, Liang Z S. Natural conditions of the spawning grounds of the domestic fishes in Yangtze River and essential external factor for spawning [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1964, **5**(1): 1—15 [易伯鲁, 梁秩桑. 长江家鱼产卵场的自然条件和促使产卵的主要外界因素. 水生生物学集刊, 1964, **5**(1): 1—15]
- [32] Qiu S L, Liu S P, Huang M G, *et al.* Monitoring of spawning sites of four major Chinese carps in the middle section of Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(6): 716—718 [邱顺林, 刘绍平, 黄木桂, 等. 长江中游江段四大家鱼资源调查. 水生生物学报, 2002, **26**(6): 716—718]
- [33] Li M Z, Gao X, Duan Z H, *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**(4): 296—303
- [34] Araújo-Lima C, Oliveira E. Transport of larval fish in the Amazon [J]. *Journal of Fish Biology*, 1998, **53**(sA): 297—306

NATURAL REPRODUCTION AND HYDROLOGIC REQUIREMENTS OF PELAGOPHIL FISH IN THE THREE GORGES RESERVOIR

LI Ming-Zheng¹, MA Qin², CHEN Lin^{1,3} and LIU Huan-Zhang¹

(1. The Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. Nanchang Normal University, Nanchang 330032, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To reveal the relationships between spawning activities of pelagophil fish and environmental factors in the Three Gorges Reservoir (TGR), fish eggs and larvae were sampled at Zhongxian section, from May to July in 2016 and 2017. 60 fish species including 30 pelagophil fishes were sampled. *Hemiculter bleekeri* and *Squalidus argentatus* were the dominant species in eggs, and *Hemiculter* and *Pseudolaubuca* were abundant in larvae. In 2016, 7.041 billion eggs and 103.763 billion larvae drifted through the sampling section, and in 2017, 3.454 billion eggs and 34.427 billion larvae drifted through the sampling section. The amount of eggs and larvae of the four major Chinese carps reached 2.909 billion in 2016 and 2.117 billion in 2017. Spawning activities of pelagophils fish varies temporally in different river reaches, which mainly occurred after early-June in the river reach from Zhongxian to Fuling but begun in mid-May in the river reach upstream of Changshou. Fish eggs and larvae from the river reach upstream of Changshou provided a large resource for recruitment to the fishery in TGR. Classification and regression trees (CART) analysis explored that spawning activities of the four major Chinese carps were favored when water discharge was rising. But, spawning activities of *Hemiculter bleekeri* and *Squalidus argentatus* had no relationship with water discharge. In order to protect the spawning grounds and meet environmental requirements for natural reproduction of pelagophils fish, we propose ecological regulation of the cascade hydro-power projects in the Jinsha River and maintenance of large free-flowing stretches upstream of TGR.

Key words: Fish resources of early life history stages; Classification and regression trees; The four major Chinese carps