

三峡水库蓄水后长江中游宜昌江段 鱼类早期资源群聚动态

常涛 段中华 黎明政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, 湖北 武汉 430072)

【摘要】: 基于 2007~2018 年葛洲坝下宜昌江段鱼类早期资源调查资料的整理分析, 采用群落生态学方法对 12 年来长江中游鱼类早期资源群聚特性和年际变化趋势进行了研究, 探讨了三峡水库蓄水后鱼类早期资源的优势种更替过程和群落结构变异。结果显示: 12 年间共采集到鱼卵 5 目 9 科 49 种, 其中产漂流性卵鱼类 28 种。鱼卵物种数的年际变化趋势不显著, 但年间变幅较大 (18~30 种/a)。鱼卵丰度的年际变化表现出明显的趋势性上升, 其中“四大家鱼”采集数量和密度呈先下降后上升的“U”型变化趋势。群落结构分析显示, 12 年间宜昌江段鱼卵物种多样性指数均呈缓慢下降趋势, 并在 2007~2008、2009~2013 和 2014~2018 年形成三组不同的时间聚类, 组间差异显著。SIMPER 分析表明, 各时期鱼卵群落差异主要受优势种和重要种所决定。2013 年前, 贝氏鲮 (*Hemiculter bleekeri*)、银鲌 (*Squalidus argentatus*)、银鲴 (*Xenocypris macrolepis*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 等交替出现成为主要优势物种; 2013 年后, 贝氏鲮成为主要优势物种, 优势种和重要种的鱼卵数量占比进一步上升 (大于 90%)。研究结果指出, 2003 年三峡水库蓄水后, 葛洲坝下宜昌江段鱼类早期资源优势种更替现象逐渐消失, 群落结构趋于稳定, 繁殖鱼类群落结构正向“单一化”发展。

【关键词】: 长江中游 鱼卵 群聚 优势种

【中图分类号】: S931.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)01-0137-10

鱼类种群的动态变化通常取决于它们早期生活史阶段的补充状态^[1,2]。研究表明, 鱼类早期生活史阶段是其生命周期中形态、行为和生境利用快速变化时期, 也是对环境变化敏感性最强的阶段, 小规模环境变化也可能对其资源补充过程产生剧烈影响^[3]。因此, 鱼卵、仔稚鱼调查是研究鱼类种群动态机制的基础, 对渔业资源的增殖与管理, 以及鱼类物种多样性的保护有重要意义。

长江中游是鱼类繁殖的重要场所, 尤其是产漂流性卵种类重要的栖息地和产卵场, 如我国重要的经济鱼类“四大家鱼”(青鱼 *Mylopharyngodon piceus*、草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*、鲢 *Hypophthalmichthys molitrix* 和鳙 *Hypophthalmichthys nobilis*)。根据 20 世纪 60 年代易伯鲁等^[4]的调查结果, 长江中上游共分布有四大家鱼产卵场 36 处, 其中规模最大的为宜昌产卵场, 约占整个干流产卵总量的 6.83%。但随着葛洲坝截流(1981 年)以及三峡水库蓄水(2003 年), 长江中下游的水文情势发生了改变, 对中下游鱼类资源带来了明显的影响。段辛斌等^[5]研究发现, 相比于三峡水库蓄水前, 长江中游产漂流性卵的种类数量减少了

作者简介: 常涛(1989~), 男, 助理研究员, 主要研究方向为鱼类生态学. E-mail: changtao@ihb.ac.cn

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA23040402); 三峡工程后续工作资助项目(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

10 余种;李世健等^[6]监测到监利江段鱼卵及仔稚鱼种类减少了 16 种;四大家鱼仔鱼丰度相比蓄水前也明显下降^[7]。因此。鱼类早期资源变化也从不同角度反映了大坝建设对长江渔业资源的影响。

环境扰动对鱼类种群的影响通常是长期和持续的,尤其是对较敏感的鱼类早期补充群体。三峡水库蓄水后,诸多学者针对宜昌江段鱼类早期资源变动开展了相关研究。如环境影响方面,Wang 等^[8,9]证明了三峡水库蓄水和滞温效应对四大家鱼繁殖时间及早期资源的影响,随后提出了适合四大家鱼繁殖的生态调度方案;资源变动方面,Li 等^[10]指出三峡蓄水后监利江段四大家鱼早期资源显著低于期望值;空间分布上,Song 等^[11]发现距离三峡大坝越近,其产生的环境扰动对四大家鱼早期资源丰度变化和摄食生长的影响越大。但目前多数研究仍主要集中于四大家鱼^[8~13],缺乏对鱼类早期资源群聚特性及其时序变化规律的探讨。因此,本研究拟基于历史以及近年来在宜昌江段宜都断面的调查结果,分析该江段 12 年来的鱼卵种类组成和丰度变化规律,探讨三峡水库蓄水对宜昌江段鱼类早期资源群落结构的影响,为进一步揭示长江中游鱼类繁殖群体资源变动提供参考,并为长江渔业资源的合理开发利用及相关鱼类保护措施的制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 样点设置

2007~2018 年,每年 5~7 月在长江中游宜昌江段宜都断面进行鱼类早期资源调查。断面设置在清江河口上游约 1~4km 处(111° 25' 51" E;30° 24' 59" N~111° 26' 57" E;30° 24' 00" N 之间),断面距离上游的葛洲坝约 45km,距离三峡大坝约 85km(图 1),期间利用科考船将网具固定在离江左岸 40~50m 处进行采样。由于涨水过程和水温是促进长江鱼类繁殖的主要环境因子,因此会根据采样期间的水位和水温变化调整采样时间,年均采样天数 79d,最短为 67d,最长为 86d(图 2)。



图 1 长江中游宜都断面采样点设置

采样方式为定点定量采集,网具为弥网,网口呈半圆形,网口直径 1m,网口面积 0.393m²,网衣长 2m,网目 0.7mm,网的末端连接 1 个相同网目,长、宽、高分别为 50、30、30cm 的网箱收集样本。采集频率为每日采集 2 次,每次采集一般为 60min,当遇到大雨天气或洪水事件时,会根据鱼卵数量以及水中悬移物的多少将采集持续时间缩短为 45 或 30min。

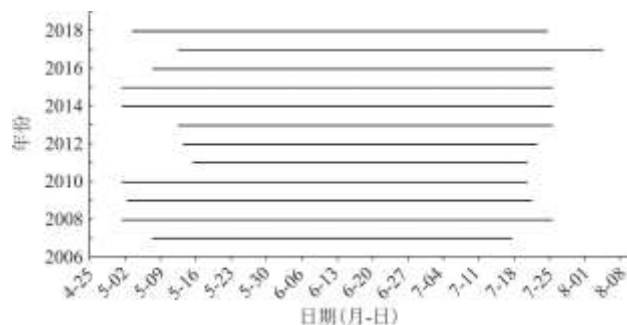


图 2 年采样时间分布

1.2 培养及鉴定

采集到的样品先在调查船上整理,通过肉眼进行初步分类和计数。随后将样品带回室内,在体视显微镜(MoticSmz-168)下通过观察及测量卵径、胚体长、卵色泽、发育期及其他特征进行鉴定。对于无法通过肉眼、镜检或者培养鉴定种类鱼卵则用无水乙醇保存,带回实验室提取其 DNA,经 PCR 扩增细胞色素 b 后测序,然后通过本实验室建立的数据库进行比对,确定鱼卵种类。

由于采样期间存在死卵、坏卵以及样品量过多时无法逐一鉴定的情况,每年采集到的鱼卵均采用随机抽样的方式进行培养和鉴定,并按等比例推算。

1.3 数据分析

1.3.1 鱼卵丰度

鱼卵密度依据采集数量、采集时间、网口流速进行计算,公式如下:

$$\text{采集水体积: } V_i = 60 \times a_i \times c_i \times t_i$$

$$\text{鱼卵密度: } d_i = \sum N_i / \sum V_i$$

式中: N_i :第 i 次采集的鱼卵数量(粒); a :定制网具的网口面积(m^2); c_i :第 i 次采集的网口流速(m/s); t_i :第 i 次采集的采集时间(min); d_i :第 i 次采集的鱼卵密度(粒·尾/ m^3)。

1.3.2 物种优势度

物种优势度利用 Pinkas 相对重要性指数(IRI, Index of relative abundance)确定种类在群落中的重要性^[4],计算公式如下:

式中: N 为某一类鱼卵数量占采集鱼卵总数的百分比; W 为某种鱼卵生物量比例; F 为某一类出现的次数占调查总次数的百分比。由于鱼卵重量小,因此不考虑生物量,只考虑数量这一因素,IRI 的计算公式可以简化为:

$$\text{IRI} = N\% \times F\%$$

将 IRI 值大于等于 1000 的种类定义为优势种,IRI 值在 100~1000 之间的种类定义为重要种。

1.3.3 群落结构分析

对 2007~2018 年间鱼卵物种多样性指数(Margalrf 种类丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数)进行分析计算。分别以年份为样本,鱼卵种类为变量,建立鱼卵丰度的原始矩阵,对数据进行平方根转换后计算 Bray-Curtis 相似性指数,建立相似性三角矩阵。根据年份间的相似性指数用组平均连接法(Group-average linkage)进行等级聚类(Cluster analysis)和 nMDS(Non-metric multidimensional scaling)排序,由于这两种方法的自然互补,它们可共同成为分析群落格局的有效工具,并互相验证两种方法分析结果的正确性。检验 nMDS 分析结果的优劣用胁迫系数(Stress)来衡量,通常认为 $\text{Stress} < 0.2$ 时,其图形有一定的解释意义; $\text{Stress} < 0.1$ 时,可以认为是一个好的排序; $\text{Stress} < 0.05$ 时,具有很好的代表性。采用 ANOSIM 来检

验不同群落矩阵间差异显著性,利用相似性百分比程序(Similarity percentage procedure,简称 SIMPER)来识别造成组间差异的物种,综合探讨长江中游鱼卵群落结构随时间变化的特征。多样性指数、CLUSTER、nMDS、ANOSIM 和 SIMPER 分析采用软件 PRIMER6.0 软件包完成。其余数据的分析与作图在 Excel2010 及 SPSS18.0 中完成。

2 结果与分析

2.1 种类组成

12 年间共采集漂流性卵 91987 粒,鉴定出鱼类 49 种,隶属于 5 目 9 科。其中鲤形目鱼类最多 41 种,占总种类数的 83.6%;从科级水平来看,鲤科鱼类最多 33 种,占总种类数的 67.3%,其次为鳅科 7 种,占总种类数的 14.3%。从产卵类型看,产漂流性卵鱼类 28 种,占总种类数的 57.1%;其次为产沉黏性卵鱼类 16 种,占总种类数的 32.6%(附表 1)。鱼卵物种数的年际变化趋势不显著,但年间变幅较大,最低 18 种(2013 年),最高 30 种(2008 年);鲤科鱼类物种数从 2008 年开始逐渐下降,至 2013 年达到最低值(14 种),随后有一定上升趋势。同样,产漂流性鱼卵物种数在 2013 年降至最低值(15 种)后逐渐上升(图 3)。鉴定的 49 种鱼卵中有 11 种鱼卵在每年均有出现,分别是四大家鱼、鳊(Parabramis pekinensis)、贝氏鲌(Hemiculter bleekeri)、鳙(Elopichthys bambusa)、鳊(Siniperca chuatsi)、铜鱼(Coreius heterodon)、银鲌(Xenocypris macrolepis)和银鮡(Squalidus argentatus)。

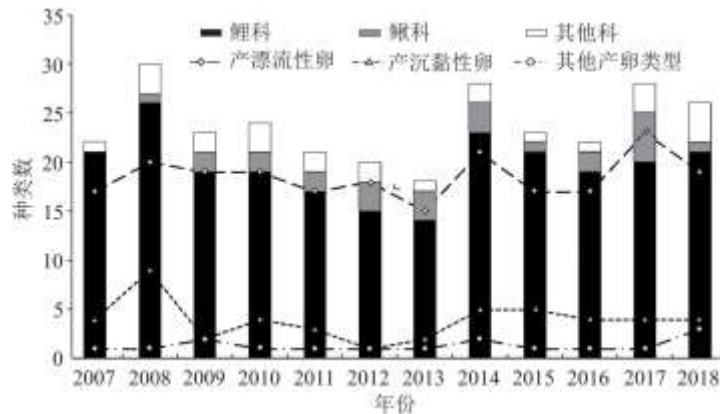


图 3 2007~2018 年宜都断面鱼卵种类组成变化

2.2 丰度变化

2.2.1 数量变化

2007~2018 年间,鱼卵采集数量的年际变化表现出明显的上升趋势,以 2014 年最高(15945 粒),2008 年最低(2415 粒);就四大家鱼而言,其鱼卵数量占比表现出先下降后上升的“U”型变化趋势,谷值出现在 2011 年(占比 8.3%);而非四大家鱼鱼卵数量占比在 2011 年达到峰值(91.7%)后开始逐步下降(图 4)。四种家鱼相对丰度的年际变化趋势也有所不同,其中草鱼卵和青鱼卵数量占比波动下降,鲢卵数量占比逐年增加,鳊卵数量占比年际变化不显著(图 5)。

2.2.2 密度变化

受流量、流速和采集时间等因素的影响,长江中游鱼卵漂流密度的年际变化表现出波动上升的趋势,其中峰值出现在 2017 年(112 粒/1000m³),谷值出现在 2012 年(32 粒/1000m³)。2012 年后,四大家鱼鱼卵年密度呈现缓慢上升的趋势,而非四大家鱼鱼卵密度变化与鱼卵总密度变化一致(图 5)。

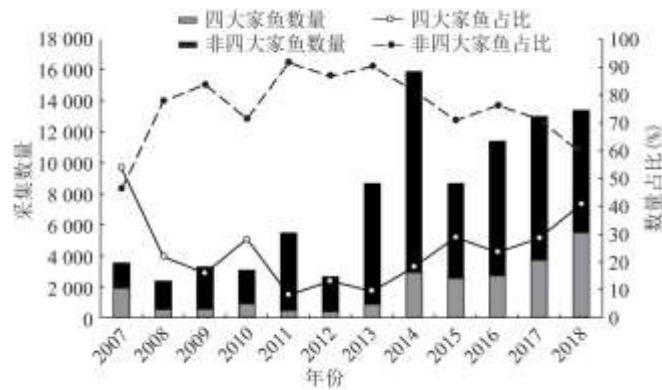


图 4 2007~2018 年宜都断面鱼卵采集数量变化

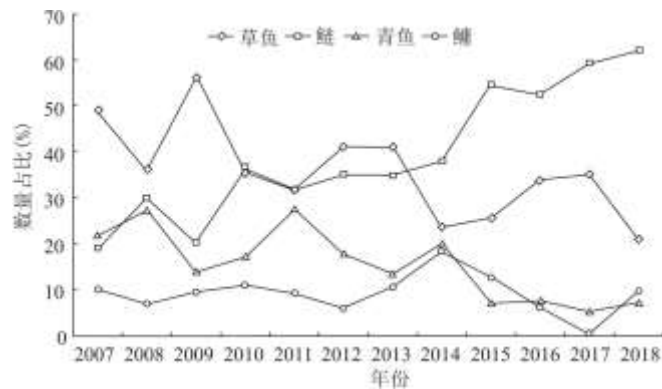


图 5 2007~2018 年宜都断面四大家鱼鱼卵采集数量的相对比例变化

2.3 鱼卵群落结构特征

2.3.1 优势种变化

12 年间共采集到贝氏^鳊卵 24367 粒, 占总卵量的 26.5%, 为第一优势物种 (IRI=2649), 鲢 (IRI=1204) 和银^鳊 (IRI=1030) 分别为第二和第三优势种; 重要种 (1000>IRI>100) 有 8 种, 依次为银^鳊、鳊、草鱼、花斑副沙^鳊 (*Parabotia fasciata*)、青鱼、鳊、鳊和鳊; 余下 38 种鱼卵优势度均小于 100, 12 年的总采集数量不足 10% (表 1)。除花斑副沙^鳊外, 其他优势种和重要种的年出现频率为 100%, 即每年均有出现。

物种年内优势度变化与总优势度存在一定的差异。2007~2012 年, 草鱼、贝氏^鳊、银^鳊和银^鳊交替出现成为主要优势物种。2013 年开始, 贝氏^鳊成为第一或唯一优势种, 银^鳊、银^鳊和鲢分别是 2014、2017 和 2018 年第二优势物种。优势种和重要种每年所占鱼卵数量比例均超过 60%, 其中有 8 年超过 90% (表 2)。

2.3.2 物种多样性

2007~2018 年宜都断面鱼卵丰富度指数 (D_{obs}) 和多样性指数 (H_c') 呈波动变化, 总体趋势递减; D_{obs} 和 H_c' 指数均在 2008 年最高 (3.72 和 2.66), 2013 年最低 (1.87 和 1.89)。鱼卵均匀度指数 (J_c) 下降趋势相对平缓, 最小值为 0.64 (2018 年), 最大值为 0.80 (2007

年)(图7)。

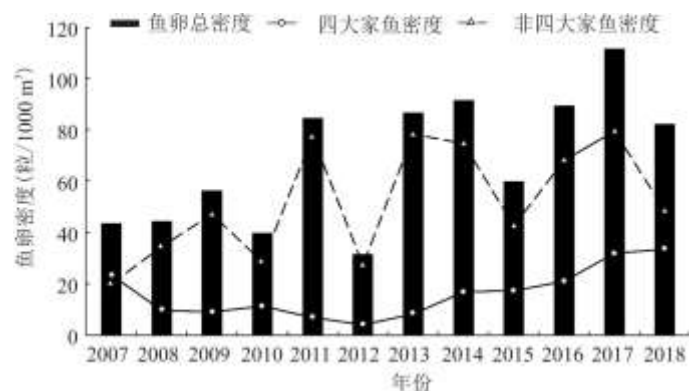


图6 2007~2018年宜都断面鱼卵密度变化

表1 长江中游鱼卵优势种和重要种

种	拉丁名	数量	F(%)	N(%)	IRI	产卵类型
贝氏	<i>H. bleeker</i>	24367	100.0	26.5	2648.9	漂流性卵
鲢	<i>H. molitrix</i>	11074	100.0	12.0	1203.9	漂流性卵
银鮡	<i>S. argentatus</i>	9478	100.0	10.3	1030.3	漂流性卵
银鲴	<i>X. macrolepis</i>	9145	100.0	9.9	994.1	漂流性卵
鳊	<i>P. pekinensis</i>	7548	100.0	8.2	820.6	漂流性卵
草鱼	<i>C. idellus</i>	7126	100.0	7.7	774.7	漂流性卵
花斑副沙鳅	<i>P. fasciata</i>	6572	83.3	7.1	595.4	漂流性卵
青鱼	<i>M. piceus</i>	2672	100.0	2.9	290.5	漂流性卵
鳊	<i>S. chuatsi</i>	2175	100.0	2.4	236.4	浮性卵
鳙	<i>H. nobilis</i>	2110	100.0	2.3	229.4	漂流性卵
鳊	<i>E. bambusa</i>	1527	100.0	1.7	166.0	漂流性卵

表2 2007~2018年宜都断面主要鱼卵优势度变化

年份	贝氏	鲢	银鮡	银鲴	鳊	草鱼	花斑副沙鳅	青鱼	鳊	鳙	鳊	数量占比(%)
2007	52.1	243.1	1.3	96.5	17.4	902.8	-	231.5	0.3	70.7	63.7	67.8

2008	878.9	256.4	1213.4	71.3	215.8	358.2	-	219.0	1.1	26.9	178.4	74.1
2009	2480.8	70.6	1228.8	33.2	511.0	412.9	185.6	65.0	0.1	23.5	17.2	86.2
2010	259.1	425.6	1249.3	464.6	463.9	446.6	521.9	138.1	3.9	76.8	51.4	91.0
2011	1961.0	78.4	1013.6	787.8	374.5	78.4	46.5	68.3	136.0	13.7	14.5	90.7
2012	866.1	177.2	935.3	944.1	119.8	207.1	246.0	69.9	17.7	8.9	4.6	76.8
2013	1606.8	113.4	758.8	829.7	53.4	144.6	22.1	33.5	34.0	13.9	18.8	91.9
2014	1715.7	302.5	750.8	1338.4	770.3	222.1	490.7	133.6	432.4	83.1	20.9	92.3
2015	1391.0	609.1	816.8	911.3	753.3	319.9	487.5	57.5	105.5	60.0	34.8	94.7
2016	1922.7	469.6	338.0	196.0	974.8	335.6	509.0	43.0	113.6	30.7	58.6	96.0
2017	2560.4	625.8	1354.6	90.6	42.1	423.7	413.1	29.8	165.1	0.5	23.4	90.3
2018	2181.9	1000.5	236.1	144.1	758.5	361.7	224.7	90.2	67.4	83.7	74.8	95.5

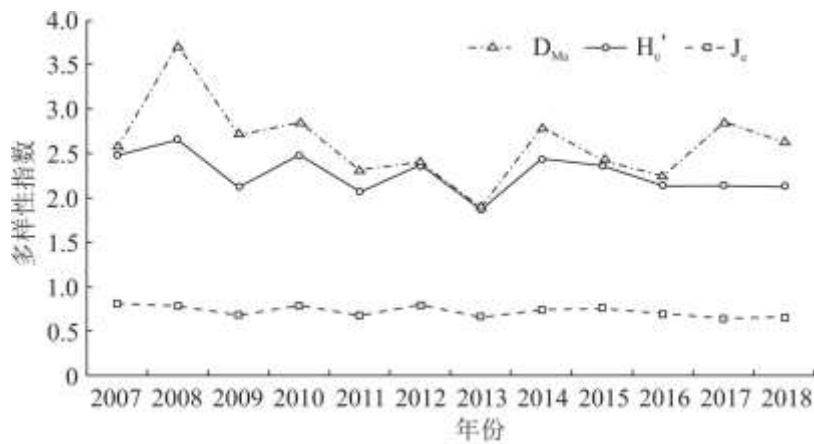


图 7 2007~2018 年宜都断面鱼卵多样性指数变化

2.3.3 聚类和时间分布

聚类分析显示,在 65%的相似性水平上,12 年间鱼卵群落结构的时间变异可划分为 3 个阶段组:群组 A(2007~2008 年);群组 B(2009~2013 年)和群组 C(2014~2018 年)(图 8)。nMDS 排序的胁强系数(stress)为 0.06,表明 nMDS 排序结果很好,可以用二维点阵图表示(图 9)。ANOSIM 分析结果表明 3 个群组间存在显著差异(GlobalR=0.877, p=0.001)。

SIMPER 分析显示,群组 A、群组 B 和群组 C 的组内平均相似性分别为 67.87%、69.86%和 77.74%。各群组间的特征种存在一定的差异,群组 A(2007~2008 年)贡献率排在前三的特征种为草鱼、鲢、贝氏鲮;群组 B(2009~2013 年)贡献率排在前三的特征种为贝氏鲮、银鲌、鳊;群组 C(2014~2018 年)贡献率排在前三的特征种为贝氏鲮、鲢、花斑副沙鳅。每个群组均出现的特征种有鳊、贝氏鲮、草鱼、鲢、青鱼和银鲌 6 种鱼类。各组内相似度的主要特征种类及其贡献率见表 3。

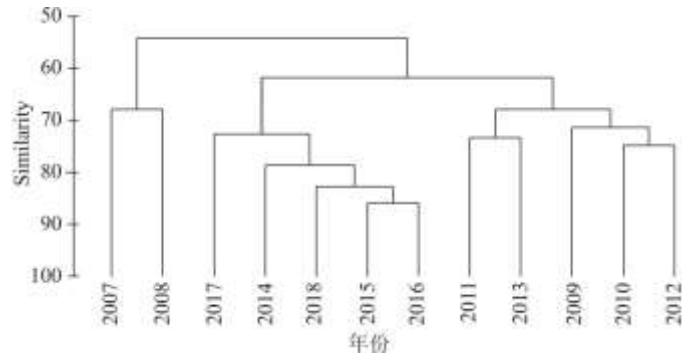


图 8 宜都断面鱼卵群落结构等级聚类图

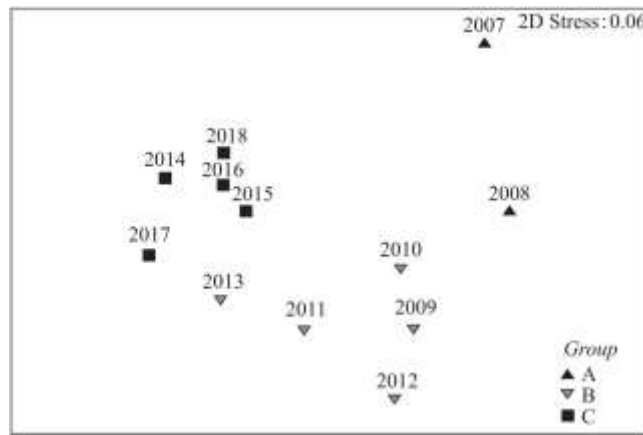


图 9 宜都断面鱼类群落结构 nMDS 排序图

表 3 宜都断面不同群组主要特征种的相似性贡献率

特征种	贡献率 (%)		
	2007~2008	2009~2013	2014~2018
鳊 <i>P. pekinensis</i>	5.8	9.41	8.58
贝氏 <i>H. bleeker</i>	8.23	14.86	16.66
草鱼 <i>C. idellus</i>	9.04	8.5	8.88
花斑副沙鳅 <i>P. fasciata</i>	-	7.44	9.29
鲢 <i>H. molitrix</i>	8.25	7.21	11.9
青鱼 <i>M. piceus</i>	7.88	5.57	-
银鲃 <i>S. argentatus</i>	-	13.81	8.27
银鲴 <i>X. argentea</i>	5.87	9.13	7.85

鳊 <i>E. bambusa</i>	7.83	-	-
麦穗鱼 <i>P. parva</i>	6.93	-	-
蛇鮈 <i>S. dabryi</i>	5.46	-	-

3 讨论

3.1 宜昌江段产卵鱼类群聚现状

长江中游蜿蜒曲折, 浅滩沙洲众多, 水流平激多变, 是多种长江重要经济鱼类的繁殖场所, 其大多数是产漂流性卵鱼类, 同时也包括在流水中产沉黏性和浮性卵的种类。葛洲坝截流后, 多数鱼类由于物理阻隔在坝下宜昌江段进行产卵^[15], 因此该江段鱼卵调查能很好的反映葛洲坝下繁殖鱼类的季节性群聚特征。12 年监测结果表明, 宜都断面鱼卵物种数的年际变化呈波动状态, 在 2013 年降至最低值 (18 种) 后开始回升, 多数年份保持在 23 种以上 (7 年), 其中四大家鱼、鳊、贝氏鲌、鳙、鳊、铜鱼、银鲴和银鲴等 11 种鱼类在每年均有产卵, 而其他物种则为偶发性产卵。

关于长江中游产漂流性卵鱼类种类, 在 20 世纪 70 年代就有过调查研究, 根据国家水产总局长江水产研究所的调查结果, 葛洲坝建坝前, 长江中游干支流每年仅产漂流性卵鱼类就不少于 25 种^[16]。但随着三峡水库蓄水, 导致长江中游水文情势发生变化, 对鱼类繁殖产生了不利影响, 尤其是产漂流性卵鱼类。研究结果显示, 产漂流性卵鱼类物种数年际变化为 14~22 种, 多数年份鱼卵物种数不超过 18 种 (9 年), 与 20 世纪 70 年代相比, 三峡水库蓄水后长江中游产漂流性卵鱼类种类明显减少, 这与段辛斌等^[5]、黎明政等^[17]、徐薇等^[18]、胡兴坤等^[19] 分别在监利 (13 种)、武穴 (11 种)、沙市 (16 种)、黄石 (13 种) 断面监测结果相似。

3.2 三峡水库蓄水后宜昌江段鱼卵丰度年际动态

渔业种群的变动主要由补充量变化驱动, 而补充群体的不足是渔业资源衰退的重要原因之一。自 20 世纪 90 年代以来我国乃至全球范围内, 渔业资源普遍衰退, 这在长江流域尤为突出, 表现为小型化、低龄化和性成熟提前以及后代成活率降低^[20, 21], 重要渔业资源已难以形成渔汛, 对长江渔业的支持功能日益衰退。不少学者对三峡水库蓄水后长江中游鱼类早期资源进行调查研究, 但多数仍为短期监测, 难以系统揭示鱼类早期补充群体的时序变化特征。本研究 12 年鱼卵调查一直沿用相同的调查网具和方法, 样品鉴定则利用传统形态学和分子鉴定, 保证了数据的一致性和标准化, 能够完整的反映三峡水库蓄水后长江中游鱼卵丰度年际动态。

研究结果显示, 尽管认为三峡水库蓄水对长江中游鱼类繁殖产生了一定的不利影响, 但鱼卵采集数量和密度变化在 12 年间反而表现出一定的上升趋势, 其中 2018 年四大家鱼鱼卵采集数量相比 2007 年增长了 2.8 倍, 采集密度增长了 1.4 倍; 非四大家鱼鱼卵采集数量相比 2007 年增长了 4.8 倍, 采集密度增长了 2.4 倍。这种变化可能与调查鱼类生活史类型主要属于周期策略和 r-选择有关, 这类型鱼类繁殖策略通常会对环境变化作出的补偿性适应, 即通过产生大量的卵来抵御环境压力, 以保证种群的延续^[15]。此外, 近些年长江流域大量的增殖放流同样会对鱼卵丰度的增长产生影响。

研究结果表明宜昌江段仍是长江中游四大家鱼重要产卵场之一。12 年间共采集到四大家鱼鱼卵 22983 粒, 占比 25.0%。但相对丰度的年际变化由 2007 年的 53.9%, 降至 2011 年的 8.3%, 随后又持续上升至 2018 年的 40.9%, 表现为“U”型变化趋势。其中鳊卵数量一直保持较低占比, 草鱼卵、青鱼卵比例有所下降, 而鲢卵比例持续上升, 并在 2013 年后成为主要家鱼鱼卵。根据长江四大家鱼产卵场调查队研究结果, 1981 年宜昌江段四大家鱼鱼卵仅占有所有鱼卵总数的 4.11%, 其中草鱼、青鱼、鲢和鳊的鱼卵数量占比分别为 62.07%、6.9%、29.31%和 1.72%^[22]。与历史资料相比, 本研究采集到的四大家鱼鱼卵占总卵数的比例有显著增加, 四种鱼卵的相对数量占比也有所变化。与 2018 年相比, 草鱼卵比例下降为 21.0%, 鳊卵和鲢卵增加为 9.7 和 62.0%, 青鱼卵占比则变

化不明显。该结论与刘明典等^[23]的研究结果一致。可见三峡水库蓄水后,长江中游四大家鱼仍存在一定的补充群体规模,但繁殖鱼类群落结构已发生了明显的变化。

3.3 三峡水库蓄水后宜昌江段鱼卵群落结构变异

渔业资源衰退通常伴随着资源结构的重大变化,表现为物种更替减弱、物种多样性下降、群落结构单一等。优势种更替是反映鱼类群落结构变化的最直接特征。三峡水库蓄水后,产漂流性卵鱼类仍是宜昌江段主要优势种。根据优势度变化可将鱼卵优势种时间格局划分为两个阶段:2007~2012年,贝氏鲮、银鮡、银鲴、草鱼等交替出现成为主要优势物种;2013~2018年,贝氏鲮优势度增加,上升成为第一或唯一优势种。这表明三峡水库蓄水后,葛洲坝下宜昌江段鱼类早期资源优势种更替现象逐渐减弱,群落结构趋于稳定。

尽管鱼类产卵量受亲鱼数量、个体差异、水文状况、温度等多方面因素影响,但在采样方法和强度基本保持一致的前提下,仍能一定程度的反映对应物种资源结构的时间变化特征。如卞晓东发现近30年渤海各季节鱼卵和仔稚鱼物种多样性水平呈现先降后升的年度变动趋势,年间种类更替现象明显,近年呈现明显加快趋势^[24]。本研究结果显示,三峡水库蓄水后,宜昌江段鱼卵物种多样性均呈缓慢下降趋势,并在2007~2008年、2009~2013年和2014~2018年形成三组不同的时间聚类,表明宜昌江段鱼卵群落结构存在时间上的动态变异。相似性百分比分析(SIMPER)指出,各时期鱼卵群落主要特征及年份间的差异主要是受各时期优势鱼卵所决定。结合优势度变化可以看出,优势种(IRI>1000)和重要种(1000>IRI>100)的鱼卵数量占比由2007~2008年的70.95%上升至2009~2013年的87.32%。其中广适型、非经济性鱼类的鱼卵优势度从2009年开始显著上升,如贝氏鲮、银鮡、银鲴等,而“四大家鱼”等重要经济鱼类的早期补充量在这一时期(2009~2013年)下降至最低值。2013年后,贝氏鲮优势度持续增加,优势种和重要种的鱼卵数量占比也进一步上升至93.76%,说明葛洲坝下繁殖鱼类群落结构正在向“单一化”发展。值得注意的是,鲢、鳊等经济鱼类的鱼卵数量在2013年后有所回升,推测可能与增殖放流有关。目前来看,亲鱼过度捕捞、环境变化等均会导致鱼卵群落结构发生变动,但仍不足以直接或清楚解释其长期变化规律,其时序变化特征则是对人类活动和生态环境变化的综合反映。

参考文献:

- [1]HJORT J. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe: Viewed in the light of biological research[C]. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions, 1914:1-228.
- [2]TRIPPEL E A, CHAMBERS R C. Introduction: the early life history of fishes and its role in recruitment processes[J]. Fish and Fisheries Series, 1997, 21:21-29.
- [3]HOUDE E D, HOYT R D. Fish early life dynamics and recruitment variability[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1987:91-97.
- [4]易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊. 长江干流草、青、鲢、鳊四大家鱼产卵场的分布, 规模和自然条件[J]. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 湖北科学技术出版, 武汉: 1988:1-46.
- [5]段辛斌, 陈大庆, 李志华, 等. 三峡水库蓄水后长江中游产漂流性卵鱼类产卵场现状[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 523-532.
- [6]李世健, 陈大庆, 刘绍平, 等. 长江中游监利江段鱼卵及仔稚鱼时空分布[J]. 淡水渔业, 2011, 41(2):18-24.

-
- [7]DUAN X, LIU S, HUANG M, 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[M]. Chinese Fishes. Springer, Dordrecht, 2009:13-22.
- [8]WANG J N, LI C, DUAN X B, et al. The relationship between thermal regime alteration and spawning delay of the four major Chinese carps in the Yangtze River below the Three Gorges Dam[J]. River Research and Applications, 2014, 30(8):987-1001.
- [9]WANG J, LI C, DUAN X, et al. Variation in the significant environmental factors affecting larval abundance of four major Chinese carp species: fish spawning response to the Three Gorges Dam[J]. Freshwater Biology, 2014, 59(7):1343-1360.
- [10]LI M, DUAN Z, GAO X, et al. Impact of the Three Gorges Dam on reproduction of four major Chinese carps species in the middle reaches of the Changjiang River[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2016, 34(5):885-893.
- [11]SONG Y, CHENG F, MURPHY B R, et al. Downstream effects of the Three Gorges Dam on larval dispersal, spatial distribution, and growth of the four major Chinese carps call for reprioritizing conservation measures[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2017, 75(1):141-151.
- [12]ZHANG G, WU L, LI H, et al. Preliminary evidence of delayed spawning and suppressed larval growth and condition of the major carps in the Yangtze River below the Three Gorges Dam[J]. Environmental Biology of Fishes, 2012, 93(3):439-447.
- [13]LI M, 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(4):296-304.
- [14]PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food Habits of Albacore, Bluefin Tuna, and Bonito In California Waters[J]. Fish Bulletin. 1970:1-105.
- [15]黎明政. 长江鱼类生活史对策及其早期生活史阶段对环境的适应[D]. 中国科学院水生生物研究所, 武汉, 2012:1-165.
- [16]国家水产总局长江水产研究所. 长江家鱼产卵场调查技术参考资料[M]. 荆州: 国家水产总局长江水产研究所, 1981.
- [17]黎明政, 姜伟, 高欣, 等. 长江武穴江段鱼类早期资源现状[J]. 水生生物学报, 2010, 34(6):1211-1217.
- [18]徐薇, 刘宏高, 唐会元, 等. 三峡水库生态调度对沙市江段鱼卵和仔鱼的影响[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(2):1-8.
- [19]胡兴坤, 高雷, 杨浩, 等. 长江中游黄石江段鱼类早期资源现状[J]. 长江流域资源与环境, 2019 (1):60-67.
- [20]WAN R, BIAN X. Size variability and natural mortality dynamics of anchovy *Engraulis japonicus* eggs under high fishing pressure[J]. Marine Ecology Progress Series, 2012, 465:243-251.
- [21]WANG T, GAO X, JAKOVLI, et al. Life tables and elasticity analyses of Yangtze River fish species with

implications for conservation and management[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2017, 27(1):255-266.

[22] 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. *水产学报*, 1982, 6, 287-306.

[23] 刘明典, 高雷, 田辉伍, 等. 长江中游宜昌江段鱼类早期资源现状[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(1):147-158.

[24] 卞晓东, 万瑞景, 金显仕, 等. 近 30 年渤海鱼类种群早期补充群体群聚特性和结构更替[J]. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 1-15.