

长江中游宜昌江段鱼卵时空分布特征研究

周雪¹ 汪登强¹ 段辛斌¹ 刘绍平¹ 陈大庆¹ 郭杰^{1, 2} 王珂¹¹

(1. 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 武汉 430233;

2. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081)

【摘要】: 为了解长江中游宜昌江段鱼类早期资源现状,并探究漂流性鱼卵空间分布特征,于2018~2019年5~7月在长江中游宜昌江段进行了鱼类早期资源调查,同时对采集到的漂流性鱼卵进行空间分布差异性分析。结果显示,调查期间共采集鱼卵15963粒,通过分子生物学方法共鉴定出漂流性鱼卵24种,隶属于1目3科,鱼卵优势种为鲢,占总量的32.94%,其次是鳊鱼和草鱼,分别占30.80%、12.65%。2018年和2019年平均鱼卵密度分别为 $5.61 \pm 9.72 \text{ ind.}/100\text{m}^3$, $9.80 \pm 16.09 \text{ ind.}/100\text{m}^3$,不同种类鱼卵主要出现的时间也具有明显差异。差异性分析结果显示,宜昌江段鱼卵密度在空间分布上有显著差异($P < 0.05$),水平分布特征表现为江心(2018年为 $7.54 \pm 20.04 \text{ ind.}/100\text{m}^3$, 2019年为 $13.15 \pm 25.49 \text{ ind.}/100\text{m}^3$) > 南岸(2018年为 $6.20 \pm 7.92 \text{ ind.}/100\text{m}^3$, 2019年为 $9.25 \pm 14.12 \text{ ind.}/100\text{m}^3$) > 北岸(2018年为 $3.07 \pm 4.71 \text{ ind.}/100\text{m}^3$, 2019年为 $7.00 \pm 11.65 \text{ ind.}/100\text{m}^3$),垂直分布特征表现为中下层高于表层。该研究中获取的鱼卵在河流中的分布特征可为宜昌产卵场定位和产卵规模估算等提供数据支撑。

【关键词】: 长江中游 宜昌江段 鱼类早期资源 时空分布

【中图分类号】: S931.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)04-0861-08

由于鱼类早期群体对种群资源量补充的重要性^[1,2],国内外许多科研工作者对鱼类早期资源开展了调查研究。鱼类早期资源调查聚焦于揭示鱼卵苗的时空分布特征、鱼类种类组成、产卵场推算以及鱼类早期生活史特征等^[3~7]。产漂流性卵鱼类胚胎期的个体自产卵场向下游育幼场的漂流是一个非常重要的行为机制,保证了鱼类种群在河流生态系统中的分布扩散和生长、存活^[8]。长江中游产漂流性卵鱼类资源丰富,相关研究显示,宜昌江段产漂流性卵鱼类有22种^[9],监利江段12种^[10],黄石江段15种^[11],武穴江段11种^[12],不同江段产漂流卵鱼类种类组成各不相同,其中宜昌江段鱼类种类最多。

对鱼卵空间分布的研究有助于了解鱼卵在江河中的漂流特征。鱼类早期资源时空分布与河道形态及流速分布有重大关系^[5]。有研究表明,仔鱼的时空分布特征是江河两岸表层的密度更高,且夜间密度高于白天^[13,14]。鱼类由于避光、集中选择在夜间产卵,夜间鱼卵密度高于白天^[15]。漂流性鱼卵空间分布除了受自身形状及密度影响,还会因鱼卵没有主动游泳能力完全处于被动漂流状态,受河流的水文状况影响会更大。目前对产漂流性鱼卵的空间分布研究较少,有人采用标志物对自然条件下大流量河流漂流性鱼卵的漂流方式进行模拟实验,认为在水平方向上标志物的分布以主流水域的漂流密度高于缓流水域,缓流水域未采集到标志物^[16]。而已有的研究缺乏漂流性鱼卵的实地采集验证,也未对鱼卵在垂直方向分布情况进行研究。本文基于2018~2019年宜昌江段鱼类早期资源的调查数据,初步分析了宜昌江段鱼卵的种类组成、密度变化和产卵时间差异,并分析了鱼卵采集断面

作者简介: 周雪(1990~),女,硕士研究生,工程师,主要研究方向为渔业水生态修复.E-mail:zhouxue0106@126.com.
王珂 E-mail:wangke@yfi.ac.cn

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900901);中国水产科学研究院创新团队项目(2020TD09);中国水产科学研究院基本科研业务费(2021CG02)

的水平和垂直分布特征，研究结果可对更加精确地估算资源量和定位产卵场有所帮助。

1 材料与方法

1.1 采样点位和采样时间

采样点位设在长江中游宜昌市宜都江段，该断面位于湖北省宜昌市宜都清江口上游处(111° 26' 36" E, 30° 24' 27" N), 距三峡大坝约 82km。

2018 和 2019 年的 5~7 月在断面的北岸(距北岸距离 80m)、江中(距南岸距离 750m)和南岸(距岸距离为 250m)分别设置 3 个早期资源采集点，通过网具收集表层(水深 0.5m)卵苗，每次采集时间为 15min。卵苗高峰期间进行昼夜采集，间隔 2h 采样 1 次，采样点位见图 1。

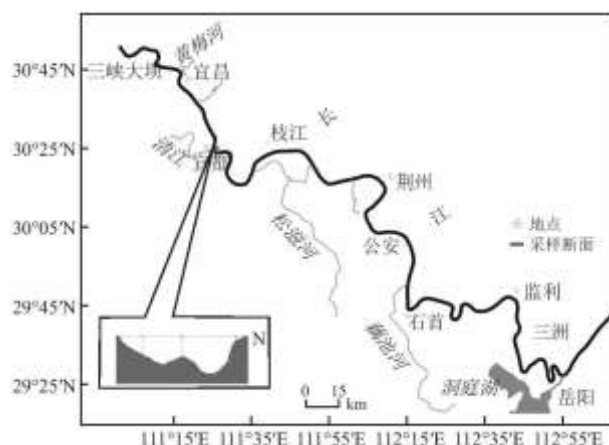


图 1 鱼类早期资源调查采样点

鱼卵分层采集实验于 2018 年 6 月 29 日至 7 月 11 日在宜都断面的南岸进行，收集表层(水深 0.5m)、中层(水深 5m)和下层(8~10m)的鱼卵。

1.2 采集方法

采集网具为圆锥网，网口面积 0.19m²，由网目为 0.776mm 的尼龙筛绢制成。采样点坐标由 GPS12XLC 记录，网口流速使用 LS45A 型流速仪测定。采样同时记录采样点水温、溶解氧等环境数据。流量数据参考宜昌水文站，数据来源于水利部全国水雨情信息网站(<http://xxfb.hydroinfo.gov.cn/ssIndex.html>)。

采集到的鱼卵使用奥林巴斯解剖镜 SZX16 进行观察，记录鱼卵发育时期，测定其卵径、膜径。鱼卵发育时期鉴定参考王昌燮^[17]、曹文宣等^[1]的方法。同时将鱼卵用无水乙醇保存，返回实验室提取 DNA，经 PCR 扩增细胞色素 B 进行测序，使用 DNASTAR 软件包中的 Seqman 对返回序列进行检查，然后在 NCBI 网站(<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)中进行比对，以序列相似度最高为鉴定标准。

1.4 数据处理

鱼卵、仔稚鱼的规模计算参照易伯鲁等的调查计算方法^[18],相关公式:

(1)网口单位时间的卵苗密度:

$$d=\frac{n}{S\times V\times t}\tag{1}$$

式中: d 为卵苗单位时间进网密度[(粒或尾)/m³];S 为网口面积(m²);V 为网口流速(m/s);n 为采集时段内进网卵苗数(粒或尾);t 为采集时间(s)。

(2)采样断面卵苗平均密度与定点卵苗密度相比系数:

$$C=\frac{\sum \bar{d}}{d_1}\tag{2}$$

式中: C 为卵苗平均密度相比系数; d₁为固定采样点的卵苗密度; d 为某断面各采样点卵苗的平均密度。

用 Office Excel 软件进行数据处理, SPSS22 软件进行统计分析, 水平鱼卵密度差异采用 T 检验分析, 垂直鱼卵密度差异采用 W 检验分析。用 Office Excel 和 AutoCAD 2013 进行制图。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2018~2019 年, 在长江中游宜昌市宜都断面累计采集鱼卵 15963 粒(2018 年 2938 粒, 2019 年 13025 粒)。随机抽样分子生物学鉴定 2292 粒鱼卵(2018 年 896 粒, 2019 年 1396 粒), 隶属于 1 目 3 科 24 种(表 1)。鲤科鱼类最多, 有 18 种, 占种数的 96. 51%, 其次是鳅科, 有 6 种, 占 3. 45%, 平鳍鳅科 1 种, 占 0. 04%。鱼卵以鲢数量最多, 占总量的 32. 94%, 其次是飘鱼和草鱼, 分别占 30. 80%、12. 65%(图 2)。

表 1 宜昌江段与监利^[10]、黄石^[11]、武穴^[12]江段鱼类种类组成比较

目	科	亚科	种类		宜昌	监利	黄石	武穴
鲤形目	鳅科	沙鳅亚科	1	小眼薄鳅	+			
			2	紫薄鳅	+		+	+
			3	汉水扁尾薄鳅	+			
			4	武昌副沙鳅	+			
			5	花斑副沙鳅	+			+
	鲤科	鳅鲇科	6	宜昌鳅鲇	+		+	

		鮡亚科	7	吻鮡	+	+	+	
			8	圆筒吻鮡	+			
			9	铜鱼	+	+		+
			10	银鮡	+		+	+
			11	蛇鮡	+	+	+	+
		鮠亚科	12	飘鱼	+			+
			13	贝氏	+	+	+	
			14	翘嘴鮠	+	+	+	+
			15	鳊	+	+	+	+
		鲢亚科	16	鲢	+	+	+	+
			17	鳙	+	+	+	
		鲴亚科	18	银鲴	+		+	
			19	似鳊	+			
		雅罗鱼亚科	20	草鱼	+	+	+	
			21	青鱼	+	+	+	+
			22	赤眼鳟	+	+	+	
			23	鳊	+	+	+	+
	平鳍鳅科		24	犁头鳅	+			

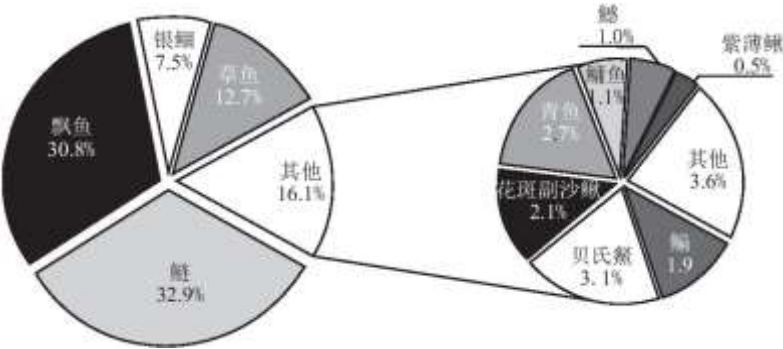


图 2 2018~2019 年宜昌江段鱼卵种类组成

2. 2 鱼卵组成和密度的时间变化

2.2.1 鱼卵密度的时间变化

2018 年调查期间, 长江中游宜昌江段的平均鱼卵密度为 $5.61 \pm 9.72 \text{ ind./}100\text{m}^3$, 最大密度出现在 5 月 19 日, 为 $66.38 \text{ ind./}100\text{m}^3$ 。4 次鱼卵高峰出现在 5 月 19 日, 5 月 24~26 日, 6 月 24 日, 7 月 4~5 日, 密度分别为 $66.38 \text{ ind./}100\text{m}^3$ 、 $15.78 \text{ ind./}100\text{m}^3$ 、 $32.36 \text{ ind./}100\text{m}^3$ 、 $9.78 \text{ ind./}100\text{m}^3$ 。

2019 年调查期间, 长江中游宜昌江段的平均鱼卵密度为 $9.80 \pm 16.09 \text{ ind./}100\text{m}^3$, 最大密度出现在 6 月 24 日, 为 $88.50 \text{ ind./}100\text{m}^3$ 。5 次鱼卵高峰出现在 5 月 17~20 日, 6 月 1 日, 6 月 12~13 日, 6 月 23~24 日, 6 月 30 日~7 月 1 日, 密度分别为 17.52、70.13、41.71、54.08、24.36 $\text{ind./}100\text{m}^3$ 。

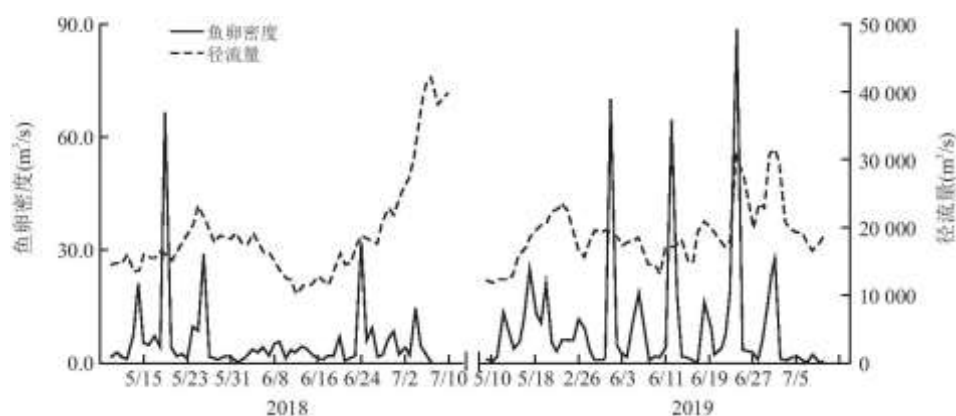


图 3 2018~2019 年长江中游宜昌江段鱼卵密度的日变化

年际对比发现, 2018 年长江中游宜昌江段鱼卵密度明显低于 2019 年。

2.2.2 鱼卵种类组成的时间变化

对不同月份鱼卵种类组成的分析表明, 不同种类鱼卵主要出现的时间具有明显差异。鲢、鳊鱼在整个调查期间均占有绝对优势。鲢开始出现在 5 月中旬, 在 2018 年 5 月中下旬、6 月中下旬、7 月均占较高比例, 在 2019 年 6 月、7 月上旬占较高比例; 草鱼开始出现在 5 月中旬, 并贯穿在 5 月中下旬、6 月和 7 月上旬; 鳊鱼贯穿整个调查期; 银鲴开始出现在 5 月中旬, 但占比较小, 到 6 月下旬和 7 月上旬, 银鲴所占比例提高; 鳊主要出现在 6 月中下旬、7 月上旬。

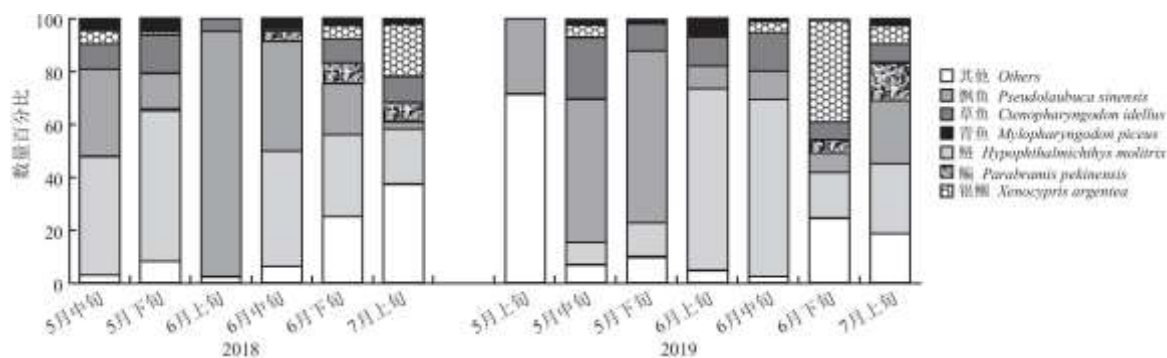


图 4 2018~2019 年长江中游宜昌江段鱼卵数量百分比

2.3 鱼卵分布的空间变化

2.3.1 鱼卵水平分布差异

对 2018 年和 2019 年调查期间采集的鱼卵进行水平分布比较,并对南岸、江心、北岸采集的鱼卵密度数据进行两两配对 t 检验分析。结果表明,2018 年南岸和北岸鱼卵密度有显著差异 ($n=62, p=0.000$),江心和北岸鱼卵密度有显著性差异 ($n=62, p=0.062$),南岸和江心鱼卵密度无显著性差异 ($n=62, p=0.497$),江心的平均鱼卵密度 ($7.54 \pm 20.04 \text{ ind./}100\text{m}^3$) 明显大于北岸 ($3.07 \pm 4.71 \text{ ind./}100\text{m}^3$),南岸的平均鱼卵密度 ($6.20 \pm 7.92 \text{ ind./}100\text{m}^3$) 也明显大于北岸。2019 年南岸和江心鱼卵密度有差异 ($n=63, p=0.041$),南岸和北岸鱼卵密度有差异 ($n=63, p=0.022$),江心和北岸鱼卵密度有显著性差异 ($n=63, p=0.012$),江心的平均鱼卵密度 ($13.15 \pm 25.49 \text{ ind./}100\text{m}^3$) 大于南岸 ($9.25 \pm 14.12 \text{ ind./}100\text{m}^3$),南岸的平均鱼卵密度大于北岸 ($7.00 \pm 11.65 \text{ ind./}100\text{m}^3$)。

图 5 和图 6 呈现了两年调查期间断面不同点位鱼卵的密度,2018 年和 2019 年繁殖高峰时期,江心鱼卵密度明显大于南岸和北岸,而在鱼类繁殖低谷期,江心、南岸与北岸的鱼类密度差异并不大,且在每年的 6 月底及 7 月初会出现两岸鱼卵密度高于江心的现象。

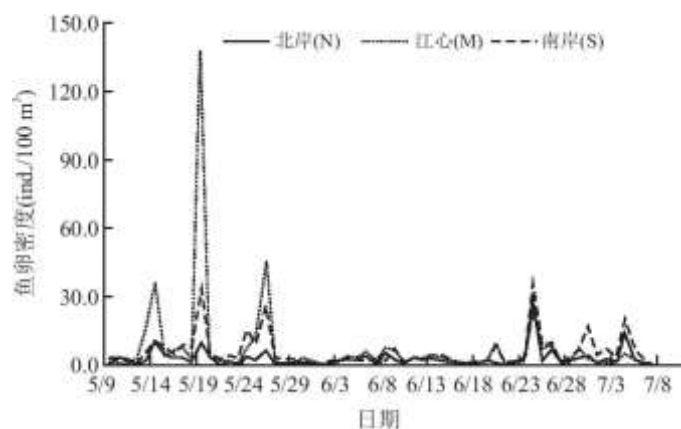


图 5 2018 年宜昌江段鱼卵密度水平分布特征

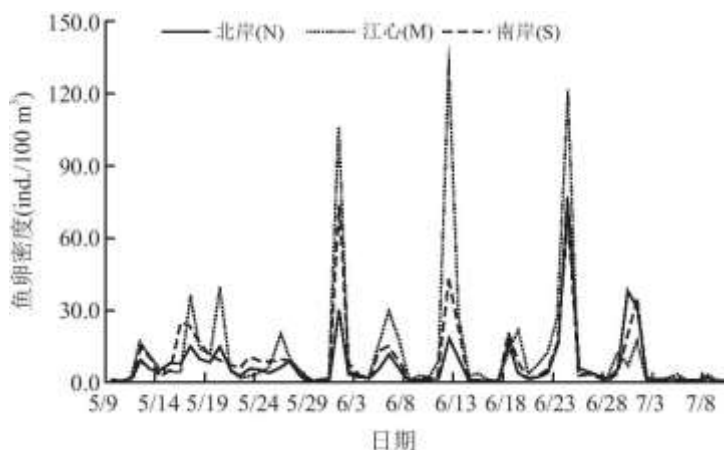


图 6 2019 年宜昌江段鱼卵密度水平分布特征

综合两年的鱼卵水平分布分析,江心鱼卵密度普遍高于南北两岸,2019 年江心的鱼卵密度与南岸、北岸鱼卵密度比值平均分别为 1.71、2.02。2018 年江心的鱼卵密度与南岸、北岸比值平均分别为 1.12、2.74。

2.3.2 鱼卵垂直分布

2018 年 6 月 29 日至 7 月 11 日期间在调查江段南岸进行了鱼卵的分层采集试验,分为表层,中层,下层采集,并对采集的鱼卵数据进行正态检验,结果表明不符合正态分布,选取 W 符号秩检验,经检验,下层鱼卵密度与中层鱼卵密度、表层鱼卵密度均存在差异显著($p=0.001$),中层鱼卵密度与表层鱼卵密度差异显著($P=0.016$)。在垂直分布上,鱼卵密度呈现下层($12.54 \pm 13.41 \text{ ind.}/100\text{m}^3$)>表层($6.02 \pm 7.03 \text{ ind.}/100\text{m}^3$)>中层($4.29 \pm 5.69 \text{ ind.}/100\text{m}^3$)。

3 讨论

3.1 鱼卵种类和密度的沿江变化

长江中游宜昌江段调查到漂流性鱼卵 24 种,采集到的种类数量较监利江段^[10]、黄石江段^[11]、武穴江段^[12]均要多(表 1)。与监利江段对比发现,相同种类为青鱼、草鱼、鲢、鳙等 12 种鱼类,监利江段未发现紫薄鳅、圆筒吻鮡、小眼薄鳅等鱼类;与黄石江段对比发现,相同种类为青鱼、草鱼、鲢、鳙、鳊等 15 种鱼类,黄石江段未发现圆筒吻鮡、小眼薄鳅、犁头鳅、汉水扁尾薄鳅等鱼类;与武穴江段相比,相同种类为青鱼、鲢、鳊、铜鱼等 11 种鱼类,武穴未发现圆筒吻鮡、小眼薄鳅、犁头鳅、汉水扁尾薄鳅等鱼类。

本研究 2018 年和 2019 年宜昌江段鱼卵平均密度分别为 5.61 ± 9.72 、 $9.80 \pm 16.09 \text{ ind.}/100\text{m}^3$,明显高于沙市、监利、黄石江段^[19,10,11],鱼卵高峰期密度也明显高于 2014~2015 年的宜昌高峰期鱼卵密度^[9]。2018~2019 年的鱼卵密度高于 2014~2015 年,其原因可能与近年长江中游开展的多项鱼类资源保护措施有关,如三峡水库生态调度、增殖放流等都有助于鱼类种群资源的逐步恢复。

沿江鱼卵种类和资源量的差异,宜昌相对较监利、黄石、武穴种类和资源量均要多,其原因可能是:(1)长江中游实施了增殖放流、生态调度等修复措施有关,宜昌距三峡水库最近,生态调度对宜昌江段的产漂流性卵鱼类的繁殖效果更佳;(2)水产种质资源保护区内全面禁渔,2018 年开始,宜都清江口以上长江江段禁渔已全面落实。(3)鱼类上溯繁殖的特性以及宜昌江段的水文特性有关,在石首江段放流的四大家鱼每到繁殖期有上溯到宜昌江段繁殖特性^[20]。

3.2 鱼类繁殖时间的差异

鱼类繁殖时间是对自然环境适应选择的过程,其在时间动态上具有一定差异性^[11]。外界环境因子如水温、流量等的变化能够影响鱼类的繁殖时间^[21]。四大家鱼在 18°C 以上才开始产卵^[18],水温在超过 20°C 之后,甚至更高水温 21°C 以后,家鱼的性腺发育将快速完成,性成熟的四大家鱼亲鱼开始集中繁殖^[22];在满足水温条件下,有效的涨水过程会刺激四大家鱼集中繁殖且繁殖时间往往在涨水过程的后期或者在涨水后 $1\sim 2\text{d}$ ^[20,23]。统计 2018 和 2019 年鱼卵资源量高峰期的水温情况,鱼卵高峰期水温均达到 20°C 。根据图 3 和图 4 可知,鱼卵高峰均伴随着一次涨水过程,而每次高峰的鱼卵密度存在一定差异,其原因可能是与涨水过程的水文指标的差异有关^[23]。本文中,总体上鱼卵主要集中在 5 月中下旬与 6 月份,该时段水温和涨水过程均达到产漂流性卵鱼类繁殖的基本需求,鱼类进入繁殖期。

不同种类鱼类对环境变化具有明显的适应性分化。其中贝氏鲌、鳊鱼等鱼类具有生命周期短,初次性成熟年龄早的特点^[15],以及因个体小而采取延长繁殖期和分批产卵策略来增加繁殖力的特征,所以该类鱼类在整个调查期间均占据明显的种群优势。四大家鱼是典型的产漂流性卵鱼类,其繁殖行为和适宜的环境变化具有同步性^[15],在水温条件达到要求情况下,需要涨水驱动才

能集中繁殖^[23],所以四大家鱼的繁殖高峰时间会跟随当年水文条件变化。鳊繁殖高峰期主要在6月中下旬和7月上旬^[24],这可能与其性腺发育时间有关^[25,26]。以此特征,不同时期的鱼类保护可选择注重的保护对象,给出相应的保护措施,例如四大家鱼注重在5月中下旬和6月提出繁殖保护措施,而针对鳊的繁殖保护措施可延迟到6月中下旬。

3.3 鱼卵空间分布特征

水动力是鱼卵运动的力学基础和最直接影响因素^[27]。本研究认为鱼卵密度在一个断面水平分布和垂直分布存在一定的差异。其中宜都江段鱼卵密度水平分布特征表现出江心>南岸>北岸,这主要受该江段的水体流速、流向影响^[8]。调查的宜都江段是典型的弯曲型S河道,主流流向是江心偏左岸的^[20],所以此处的鱼卵漂流偏左岸方向集中,故江心和南岸鱼类密度大于北岸。

鱼卵的垂直分布受流态、流速及自身密度的影响^[14]。本研究认为鱼卵密度在垂直分布上存在较明显分层现象,出现分层现象有可能是鱼卵采集调查的断面离产卵场较近,距调查断面最近产卵场为产卵规模最大的红花套产卵场^[9,28]。鱼卵从产卵场随水流漂流至采集断面,鱼卵未完全混合,所以出现分层现象。2018年鱼卵密度在垂直分布特征是底层>表层>中层,出现这种中下层的鱼卵密度高于表层的原因可能是因为产漂流性卵鱼类在中上层产卵或者起初鱼卵在吸水微膨胀前,鱼卵的质量密度大于水密度,鱼卵下沉,也有可能和宜昌的河道地形起伏有关。

参考文献:

- [1]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.
- [2]COPP G H, FAULKNER H, DOHERTY S, et al. Diel drift Behaviour of fish eggs and larvae, in particular barbel, barbus (L.), in an English chalk stream[J]. Fisheries Management and Ecology, 2002, 9(2):95-103.
- [3]李跃飞,李新辉,杨计平,等.珠江干流长洲水利枢纽蓄水后珠江鳊鱼早期资源现状[J].湖泊科学, 2015, 27(5):917-924.
- [4]万力,蔡玉鹏,唐会元,等.汉江中下游产漂流性卵鱼类早期资源现状的初步研究[J].水生生态学杂志, 2011, 32(4):53-57.
- [5]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.
- [6]吴金明,王芊芊,刘飞,等.赤水河赤水段鱼类早期资源调查研究[J].长江流域资源与环境, 2010, 19(11):1270-1276.
- [7]FOSTER S J, VINCENT A C J. Life history and ecology of seahorses: Implications for conservation and management [J]. Journal of Fish Biology, 2004, 65:1-61.
- [8]胡兴坤,高雷,杨浩,等.长江中游黄石江段三种不同类型河道中仔鱼空间分布研究[J].淡水渔业, 2017, 47(6):65-73.
- [9]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.
- [10]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.
- [11]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, 28(1):60-67.

-
- [12]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.
- [13]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, 9.
- [14]唐锡良, 陈大庆, 王珂, 等. 长江上游江津江段鱼类早期资源时空分布特征研究[J]. 淡水渔业, 2010, 40(5):27-31.
- [15]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.
- [16]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.
- [17]王昌燮. 长江中游“野鱼苗”的种类鉴定[J]. 水生生物学集刊, 1959, 3:324-341.
- [18]易伯鲁, 余志堂. 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]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988:1-46.
- [19]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.
- [20]俞立雄. 长江中游四大家鱼典型产卵场地形及水动力特征研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [21]LI M Z, GAO X, YANG S R, 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.
- [22]沈忱. 长江上游鱼类保护区生态环境需水研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.
- [23]周雪, 王珂, 陈大庆, 等. 三峡水库生态调度对长江监利江段四大家鱼早期资源的影响[J]. 水产学报, 2019, 43(8):1781-1789.
- [24]刘思磊, 王银平, 李佩杰, 等. 长江镇江段鳊生长特征及种群参数估算[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(5):725-732.
- [25]余志堂, 谢洪高, 易伯鲁. 黑龙江流域鳊鱼的种内变异及其生活习性[J]. 水生生物学集刊, 1959(2):224-228.
- [26]刘襄河, 孔江红, 李修峰. 长春鳊的生物学特性及人工养殖技术[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(9):1699-1701.
- [27]余康, 陈永灿, 林俊强, 等. 鱼卵漂流的欧拉——拉格朗日模型与产卵量估算[J]. 水力发电学报, 2019, 38(6):56-68.
- [28]LI M Z, DUAN Z H, 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.