

2020年湘江长沙段仔稚鱼资源现状及其对水文环境的响应

吴启藩¹, 高峰¹, 彭治桃¹, 左之良¹, 李金龙², 程小飞², 苏东旭¹, 李跃辉¹, 向劲¹

(1. 湖南省水产原种场, 长沙 410153; 2. 湖南省水产科学研究所, 长沙 410153)

摘要: 研究仔稚鱼资源时空分布及其与水文环境的关系, 为湘江仔稚鱼资源监测及长江十年禁渔效果评估提供本底数据及理论参考。2020年5-6月, 在湘江下游长沙香炉洲江段进行为期57 d的仔稚鱼资源调查, 以弉网采集鱼卵及仔稚鱼, 每周采样2 d, 每次采样时长15 min。结果显示: (1) 采集点共出现苗汛7次, 第一次为5月22日, 最后一次为6月29日, 7次鱼汛平均水温为(26.5±0.57) °C, 网口平均流速为(0.237±0.095) m/s; (2) 共采集仔稚鱼547 831尾, 隶属5目8科41种, 以产沉性卵鱼类(23种)和广适性鱼类(24种)为主, 分别占56.1%、58.5%, 鲤科鱼类31种、占比75.6%, 优势种9种: 子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、瓢鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)、大鳍鱮(*Acheilognathus macropterus*)、银鲌(*Xenocypris argentea*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、黄尾鲌(*Xenocypris davidi*)、鲫(*Carassius auratus*)和麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*); (3) 白天时段仔稚鱼总密度(0.093尾/m³)仅为夜间(0.567尾/m³)的1/6, 鲌类的昼夜差异更加明显, 夜晚为白天的25倍, 大鳍鱮、子陵吻虾虎鱼、银鲌及草鱼(*Ctenopharyngodon diellus*)昼夜分布存在显著差异; (4) 表层仔稚鱼密度(0.548尾/m³)为中下层(1.048尾/m³)的1/2, 且子陵吻虾虎鱼、银鲌、鲤(*Cyprinus carpio*)及草鱼垂直分布存在显著差异; (5) 流速对方差的贡献率为90.8%, 与仔稚鱼总密度变化呈显著性相关($P=0.042$), 但与优势种及家鱼种类未表现出显著相关性, 水温贡献率为9.2%, 未表现出显著相关性。应进一步完善湘江长沙段仔稚鱼资源时空分布规律及其对水文环境响应的调查研究。

关键词: 仔稚鱼; 资源监测; 水文环境; 湘江长沙段

中图分类号: S932.4, Q142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2022)05-0099-07

湘江是湖南省最大的河流, 发源于广西灵川县的海洋山, 流经永州、衡阳、湘潭、长沙等城市, 由湘阴县濠河口汇入洞庭湖, 是长江第5大支流(隆院男等, 2018; 谢文星等, 2014; 刘艳佳等, 2019; 曹英华等, 2012)。湘江流域主要水源是降水, 年平均径流量 636.3×10^8 m³, 5-6月为其流量高峰时期, 约74%的水位变化最大值出现在该时期, 湘江径流量和水位变化受降雨量、降雨强度的影响明显, 且与降雨量具有很好的一致性(曹英华等, 2012; 李景保等, 1997; 钱湛等, 2014)。2014年的调查结果指出, 湘江产漂流性卵鱼类产卵场主要5个: 大堡、柏坊、松江、渔市和烟洲, 有资料记载湘江共有鱼类159种, 包括咸淡水洄游性、江湖半洄游性、定居性、短距离洄游性和山溪定居性5种类型, 其中在湘江湖南段有见记载鱼

类共142种, 分属10目24科, 由此可见, 湘江是洞庭湖及长江鱼类资源补充的主要来源之一(谢文星等, 2014; 曹英华等, 2012; 刘艳佳等, 2020), 对湘江仔稚鱼、幼鱼和成鱼资源的监测和调查具有重要意义。

随着长江十年禁渔拉开序幕, 对鱼类资源进行监测, 尤其是对仔稚鱼资源连续监测成为长江禁渔效果评估的重要手段之一。鱼类的繁殖能力与河道河态、气候环境以及水质等因素息息相关(谢文星等, 2014; 胡兴坤等, 2019; 陈宜瑜和许蕴珩, 1995)。作为洞庭湖及长江鱼类资源主要补充来源的湘江, 地貌为长条形盆地, 地质情况复杂, 河势河态多样, 且气候、日照和降雨等水文环境年变化较大(曹英华等, 2012), 因而, 研究不同水文环境与湘江仔稚鱼资源的相关性对评估其资源量及鱼类产卵场位置具有重要意义。目前对湘江仔稚鱼资源监测及其与水文环境之间关系的相关文献较少, 仅见祁阳-衡阳、汨罗及洞庭湖通道等江段有相关报道(谢文星等, 2014; 刘艳佳等, 2019; 刘艳佳等, 2020)。本研究于2020年5-6月对湘江长沙段仔稚鱼资源的时空分布及其与水文环境之间的关系进行调查分析, 以期对长江十年禁渔及湘江仔稚鱼资源监测提供本底数据及理论参考。

收稿日期: 2021-08-16

基金项目: 农业农村部2018年物种品种资源保护费项目(171821301354052393); 长沙市自然科学基金(kq2202354)。

作者简介: 吴启藩, 1989年生, 男, 水产工程师, 主要从事原种培育和流域生态学研究。E-mail: wuqifan@foxmail.com

通信作者: 向劲, 1986年生, 男, 水产工程师, 主要从事渔业资源研究。xiangjin1023@163.com

1 材料与方法

1.1 样点及采样

2020 年 5 月 7 日至 6 月 30 日,在湘江下游长沙香炉洲段(112°53'5"E,28°20'17"N)左岸 5 m 处,以网口面积 0.22 m²的筛网采集鱼卵及仔稚鱼。每周采样 2 d,每天采样时间分为白天(08:00–09:00、12:00–13:00、16:00–17:00)、晚上(20:00–21:00、00:00–01:00、04:00–05:00),采样水层为表层(水深 0–0.5 m)和中层(水深 2.5–3 m)。常规采样时长为每次 15 min,苗汛期视情况调整采集时长与频率。当出现降雨、涨潮等情况时,酌情增加采样天数。

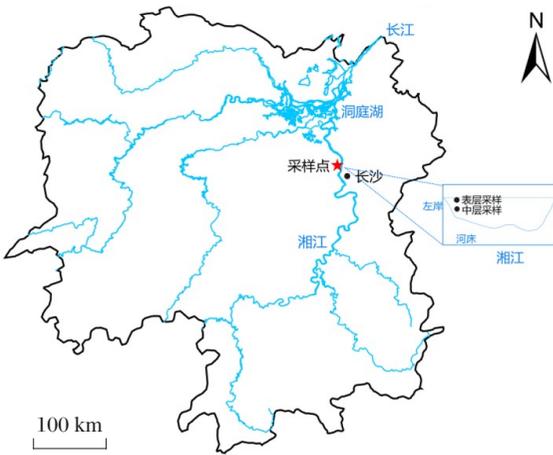


图 1 湘江长沙香炉洲段采样点

Fig.1 Location of the sampling site at Xianggluzhou section of Xiangjiang River in Changsha City

1.2 样品处理及分析

将收集的鱼卵及仔稚鱼样品保存于 5% 中性福尔马林溶液中,带回实验室用显微镜及解剖镜进行观察、鉴定及统计。种类鉴定及发育阶段划分方法参照《长江鱼类早期资源》(曹文宣等,2007)。

1.3 水文水质数据采集

采用超声波多普勒流速仪流速仪(厦门博意达科技股份有限公司 LSH10~1A 手持式)测定筛网口中央区域的水流速度。使用 YSI ProQuatro 便携式水质分析仪现场测定水温、pH、氨氮、溶氧,采用黑白透明盘测定透明度。

1.4 指标计算

1.4.1 仔稚鱼密度 依据采集仔稚鱼数量对应的筛网水下开口面积、网口流速、采集时长进行计算,计算公式(曹文宣等,2007):

$$D_i = N_i / Q_i \quad (1)$$

$$Q_i = S \cdot V_i \cdot n \cdot t \quad (2)$$

式中: D_i 为第*i*次采集仔稚鱼的密度, N_i 为第*i*次采集仔稚鱼的总数量(尾), Q_i 为第*i*次采集仔稚鱼期间过网流量(m³/s), S 为筛网水下开口面积(m²), V_i 为网口即时流速(m³/s), n 为同时采集的筛网数量(个), t 为该次采集仔稚鱼的时长(s)。

1.4.2 相对重要性指数 根据各种类仔稚鱼的采集数量和出现频率,计算相对重要性指数(Index of Relative Importance, IRI),计算公式(Pinkas et al, 1970):

$$IRI = n \cdot F \cdot 10000 \quad (3)$$

式中: n 为某种仔稚鱼数量占采集仔稚鱼总数的比值, F 为该种仔稚鱼在采样期间出现的频率。IRI≥100 为优势种,IRI≥10 为常见种,IRI<10 为少见种。

1.5 数据处理及分析

昼夜及不同水层对仔稚鱼密度的差异性影响分析采用 Spearman 秩相关系数检验,流速及水温与仔稚鱼密度的相关性分析采用去趋势对应分析(DCA)和冗余分析法(RDA)进行分析。

2 结果与分析

调查期间,仔稚鱼采集点的平均水温(26.9±1.56)℃,最低 23.0℃,最高 31.6℃;网口平均流速(0.174±0.094) m/s,最快 0.425 m/s,最慢 0.037 m/s。调查期间共出现苗汛 7 次,第 1 次在 5 月 22 日(25.5℃,0.145 m/s),第 7 次在 6 月 29 日(27.4℃,0.129 m/s),7 次鱼汛期的平均水温(26.5±0.57)℃,网口平均流速(0.237±0.095)m/s。

2.1 仔稚鱼种类组成及优势种

2020 年 5–6 月共采到集仔稚鱼 547 831 尾,隶属 5 目 8 科 41 种(表 1)。鲤科 31 种,占 75.6%;鳅科、鲮科和鲢科各 2 种;银鱼科、鲈科、鰕虎鱼科和鱮科各 1 种。产漂浮性卵鱼类 15 种,产沉性卵鱼类 23 种,产其他类型卵鱼类 3 种。广适性鱼类 24 种,定居型鱼类 11 种,流水性鱼类 6 种。

根据相对重要性指数(IRI)(表 1),鱼类优势种有 9 种:子陵吻虾虎鱼、瓢鱼、大鳍鱮、银鲴、鲤、鳊、黄尾鲴、鲫、麦穗鱼;常见种 12 种,稀有种 20 种。

2.2 仔稚鱼时空分布特征

2.2.1 分布规律 采集的仔稚鱼总密度,白天时段为 0.093 尾/m³,夜间时段为 0.567 尾/m³,夜间为白天的 6.1 倍;表层为 0.548 尾/m³,中下层为 1.048 尾/m³,中下层是表层的 1.9 倍。

9 个优势种仔稚鱼密度占比在昼夜及不同水层分布见表 2。大鳍鱮仔稚鱼密度占比白天约为夜间的 2 倍,子陵吻虾虎鱼和鲫在白天稍高于夜间;其他优势种白天则远低于夜间,其中银鲴和黄尾鲴仔稚

鱼密度占比总和夜间约是白天的25倍。除麦穗鱼外,其余优势种均是表层密度占比略高,其中大鳍鲮、银鲴和黄尾鲴在中下层水层均未采集到。

表1 2020年湘江下游长沙段仔稚鱼种类组成

Tab.1 Species composition of larvae and juveniles collected in the Changsha section of the lower Xiangjiang River in 2020

鱼类	卵特性	流水偏好	相对重要性指数
鲤形目			
鲤科			
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	漂浮性	广适性	17.9
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	漂浮性	广适性	7.1
鲫 <i>Carassius auratus</i>	沉性	广适性	179.9
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	沉性	广适性	314.6
银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	漂浮性	广适性	321.9
黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	沉性	广适性	206.2
细鳞鲴 <i>Xenocypris microlepis</i>	沉性	流水型	22.3
宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	沉性	流水型	0.2
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	漂浮性	广适性	0.3
草鱼 <i>Ctenopharyngodon diellus</i>	漂浮性	广适性	15.8
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	漂浮性	广适性	8.7
鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	漂浮性	广适性	3.6
鳊 <i>Hemiculter leucisculus</i>	沉性	定居型	219.1
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	漂浮性	定居型	0.7
红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	沉性	定居型	58
鳊 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	沉性	广适性	1507
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	沉性	定居型	21.4
厚唇鲂 <i>Megalobrama pellegrini</i>	沉性	定居型	21.7
鲂 <i>Megalobrama skolkovii</i>	沉性	定居型	1.9
翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	沉性	定居型	1
大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	其他	定居型	451.5
越南鲮 <i>Acheilognathus tonkinensis</i>	其他	定居型	0.1
鲮 <i>Cirrhinus molitorella</i>	沉性	广适性	68.3
瓣结鱼 <i>Tor brevifilis brevifilis</i>	沉性	广适性	7.9
光唇鱼属一种 <i>Acrossocheilus</i> sp	沉性	流水型	1.4
花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	沉性	广适性	18.8
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	沉性	广适性	158.7
华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	漂浮性	广适性	15.6
银鲴 <i>Squalidus argentatus</i>	漂浮性	广适性	55.7
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	沉性	广适性	10.7
蛇鲴 <i>Saurogobio dabryi</i>	漂浮性	广适性	0.1
鳅科			
壮体沙鳅 <i>Biotia robusta</i>	漂浮性	流水型	0.1
花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciatus</i>	漂浮性	流水型	2
鲢形目			
银鱼科			
太湖新银鱼 <i>Salangichthys tangkahkeii</i>	沉性	定居型	0.1
鲢形目			
鲢科			
鲢 <i>Silurus asotus</i>	沉性	广适性	0.1
鮠科			
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	沉性	广适性	0.3
拟鲮属一种 <i>Pseudobagrus</i> sp	沉性	流水型	0.1
鲈形目			
鲈科			
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	漂浮性	广适性	24.9
斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>	漂浮性	广适性	0.1
虾虎鱼科			
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	沉性	广适性	2416.9
颌针鱼目			
鱖科			
九州鱖 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	其他	定居型	0.5

表2 2020年湘江下游长沙段优势种仔稚鱼密度占比 %
Tab.2 Density proportion composition of dominant larval and juvenile species in the Changsha section of Xiangjiang River in 2020

优势种类	昼夜		水层	
	白天	夜间	中下层	表层
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	31.04	25.55	19.12	25.60
鳊 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	4.61	17.04	13.54	16.96
大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	8.99	4.69	0	16.28
银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	0.30	7.29	0	7.25
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	1.34	4.74	0.71	4.72
鳊 <i>Hemiculter leucisculus</i>	0.71	5.67	0.71	5.64
黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	0.14	3.74	0	3.72
鲫 <i>Carassius auratus</i>	1.04	1.00	1.43	2.95
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	1.51	2.87	5.58	3.03

2.2.2 分布差异 对9种优势种、四大家鱼密度的昼夜及不同水层分布进行 Spearman 秩相关系数检验,结果见表3。

昼夜分布,大鳍鲮存在极显著差异,子陵吻虾虎鱼、银鲴及草鱼存在显著差异,其他种类差异不显著。不同水层分布,子陵吻虾虎鱼存在极显著差异,银鲴、鲤及草鱼存在显著差异,其他种类差异不显著。

2.3 水文环境对仔稚鱼密度的影响

将优势种及四大家鱼的密度与水温、流速变化进行去趋势对应分析(DCA)得到第一轴梯度特征值小于3,因此选用冗余分析法(RDA)对仔稚鱼密度与水温、流速进行排序分析,结果见图3。流速对方差的贡献率为90.8%,远远高于水温的9.2%,流速与仔稚鱼密度变化呈显著性相关($P=0.042$),但流速和水温与各优势种及四大家鱼密度之间相关性不高,无显著性。各种仔稚鱼密度与环境因子相关性表现为:麦穗鱼与水温的相关性相对较高,鲤与水温表现出负相关;与流速相关性最高为草鱼,其次为青鱼及大鳍鲮,鲤、子陵吻虾虎鱼、黄尾鲴、银鲴、鳊、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)对流速也表现出一定的响应效果。

3 讨论

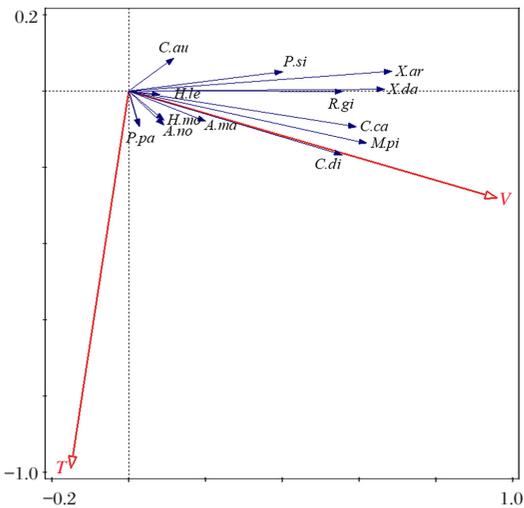
3.1 仔稚鱼多样性分析

统计近几年湘江长沙段(本研究)、汨罗江段(刘艳佳等,2019)、洞庭湖通道(刘艳佳等,2020)鱼类资源调查结果,共采集鱼类67种,隶属于鲤科、鳅科、银鱼科、鲢科、鮠科、鳊科、虾虎鱼科、塘鲤科、鳊科、鱖科和鲈科11科,与湘江湖南段历年记载鱼类10目24科142种(曹英华等,2012;刘艳佳等,2019;刘艳佳

表 3 仔稚鱼密度与水层分布及昼夜分布的相关性

Tab.3 Correlation between density of larvae and juveniles and water layer, and diurnal distribution

秩相关因子	子陵吻虾虎鱼	瓢鱼	大鳍鱮	银鲴	鲤	鳊	黄尾鲴	鲫	麦穗鱼	草鱼	青鱼	鲢	鳙
水层分布	r 0.539**	0.189	0.278	0.338*	0.348*	0.27	0.048	0.195	0.24	0.36*	0.093	0	0.134
	P 0.001	0.278	0.106	0.047	0.041	0.117	0.785	0.261	0.166	0.034	0.594	1	0.443
昼夜分布	r 0.343*	0.058	0.453**	0.344*	0.221	0.038	0.113	0.259	0.205	0.38*	0.124	0.259	0.178
	P 0.044	0.74	0.006	0.043	0.201	0.827	0.519	0.133	0.237	0.024	0.478	0.133	0.307



T 代表水温, V 代表流速, $R.gi$ 代表子陵吻虾虎鱼, $P.si$ 代表瓢鱼, $A.ma$ 代表大鳍鱮, $X.ar$ 代表银鲴, $C.ca$ 代表鲤, $H.le$ 代表鳊, $X.da$ 代表黄尾鲴, $C.au$ 代表鲫, $P.pa$ 代表麦穗鱼, $C.di$ 代表草鱼, $M.pi$ 代表青鱼, $H.mo$ 代表鲢, $A.no$ 代表鳙

图 2 仔稚鱼密度与水温及流速 RDA 分析

T : water temperature, V : water velocity, $R.gi$: *Rhinogobius giurinus*, $P.si$: *Pseudolaubuca sinensis*, $A.ma$: *Acheilognathus macropterus*, $X.ar$: *Xenocypris argentea*, $C.ca$: *Cyprinus carpio*, $H.le$: *Hemiculter leucisculus*, $X.da$: *Xenocypris davidi*, $C.au$: *Carassius auratus*, $P.pa$: *Pseudorasbora parva*, $C.di$: *Ctenopharyngodon idellus*, $M.pi$: *Mylopharyngodon piceus*, $H.mo$: *Hypophthalmichthys molitrix*, $A.no$: *Aristichthys nobilis*

Fig.2 Redundancy analysis (RDA) between larval and juvenile fish density and water temperature and water velocity

等, 2020)存在较大差异。本研究共采集到仔稚鱼 41 种, 分别是汨罗江段 12 种(刘艳佳等, 2019)的 3.42 倍、洞庭湖通水道 19 种(刘艳佳等, 2020)的 2.16 倍; 其中, 与汨罗江段共同发现的种类有鲢、赤眼鲟 (*Squaliobarbus curriculus*)、鳊、鳊 (*Parabramis pekinensis*)、翘嘴鲌 (*Culter alburnus*)、银鲴 (*Squalidus argentatus*)、子陵吻虾虎鱼 7 种, 与洞庭湖通水道共同发现的有鲢、鲤、银鲴、草鱼、鳊 (*Elopichthys bambusa*)、鳊、鳊、翘嘴鲌、华鲮 (*Sarcocheilichthys sinensis*)、银鲴 10 种; 3 个江段均有发现的仔稚鱼有鲢、鳊、鳊、翘嘴鲌、银鲴 5 种; 本次调查发现的鳊、鲫、黄尾鲴、团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*)、鲃 (*Silurus asotus*)、

花鲢 (*Hemibarbus maculatus*)、麦穗鱼、蛇鲃 (*Saurogobio dabryi*)、斑鳊 (*Siniperca scherzeri*) 和鳊 (*Siniperca chuatsi*) 等 30 种在汨罗及洞庭通水道江段未见到。推测出现以上差异可能与调查江段的产卵场数量、增殖放流力度、水文环境以及调查采用的网具、采样的时间及频率等因素有关。

关于长江部分江段采集仔稚鱼的情况, 有报道黄石江段采集到 34 种(胡兴坤等, 2019), 武穴江段采集到 27 种(黎明政等, 2010), 监利江段 2010 年发现 51 种(李世健等, 2011)、2018 和 2019 年发现 54 种(产漂浮性卵鱼类 26 种)(孟秋等, 2020), 宜昌江段采集到产漂浮性卵仔稚鱼 24 种(周雪等, 2021)。比较分析发现, 本研究湘江长沙段与长江上述江段采集到的相同仔稚鱼种类有鲢、鳊、鲫、鲤等 28 种, 但在湘江长沙江段采集到的细鳞鲴、宽鳍鳊、厚颌鲂、越南鳊、瓣结鱼、棒花鱼、状体沙鳊、斑鳊和九州鳊等 13 种仔稚鱼在长江上述江段调查中未发现。

3.2 仔稚鱼密度时空分布特征

调查期间, 湘江长沙段仔稚鱼密度昼夜差异较大, 白天时段的仔稚鱼密度占比仅为夜间的 1/6。9 种优势种中, 除大鳍鱮、子陵吻虾虎鱼和鲫外, 其余 6 种夜间密度占比占比远高于白天, 鲴类(银鲴和黄尾鲴)夜间密度占比为白天的 25 倍。研究人员对西江肇庆江段、三峡库区丰都江段, 以及长江的宜都、武穴、江津和监利等江段的研究中也观察到了类似现象(李世健等, 2011; 谭细畅等, 2007; 唐锡良等, 2010; 王红丽等, 2015; Li et al, 2011), 推测与采集到的仔稚鱼所处的生长期、江段的透明度、水流速和游泳能力有关(Araújo-Lima et al, 2001): (1) 仔稚鱼在高光强时为避免强光伤害而主动下沉, 在弱光时则呈现出弱趋光性, 或是因饵料控制游泳方向等(Araújo-Lima et al, 2001; Pavlov, 1994; Bulkowski et al, 1983); (2) 仔稚鱼具有一定游泳能力, 在流速较慢时可以自主选择游泳方向(Jones et al, 2015); (3) 夜间光线较白天弱, 鱼类视觉减弱或迷失, 因而降低了其逃逸能力(Olsen et al, 2000)。

本研究,湘江长沙段中下层仔稚鱼密度占比是表层的1.9倍,与长江江津、宜昌和监利江段的研究结果(李世健等,2011;周雪等,2021;唐锡良等,2010)相似,这也初步验证了仔稚鱼具有一定的垂直游泳能力,为避免强光伤害而选择主动下沉到光照较弱的中下水层(唐锡良等,2010; Araújo-Lima et al, 2001; Pavlov, 1994; Bulkowski et al, 1983)。仔稚鱼在中下层密度较大还可能与仔稚鱼的生活习性和游泳能力及河道的复杂程度有关:一是湘江长沙江段优势仔稚鱼种类主要以产沉性卵、广适性鱼类为主;二是湘江长沙段河道流速较慢、流速较为平缓,具有游泳能力的仔稚鱼可以根据上下水层饵料及水文等因素变化而自主游动(唐锡良等,2010; Olsen et al, 2000; Hsieh et al, 2007)。

3.3 水文环境对仔稚鱼密度的影响

鱼类繁殖与水文环境具有密切联系,水位、流量、流速、透明度以及流态等水文因子的变化和相互作用均会对鱼类产卵产生特异性影响(谢文星等,2014;胡兴坤等,2019;陈宜瑜和许蕴珩,1995)，“最佳环境窗口”假说指出,不同物种为确保繁殖的数量和质量通常会选择在最适宜的特异环境中进行繁殖(Cury & Roy, 1989; Roy et al, 1992; Baumgartner G et al, 2008),且对繁殖条件要求的严格程度也存在明显差异(Johannes, 1978; Humphries 1999)。本研究通过冗余分析发现,仔稚鱼密度与水流速呈显著性正相关,与水温无显著相关;不同种类对水文环境(水温、流速)的响应也存在适应性分化,水温与麦穗鱼密度呈正相关,与鲫密度呈现负相关,其余优势种及四大家鱼密度与水文环境(流速、水温)相关性不显著,流速的相关性呈现出草鱼>青鱼及大鳍鱮。水流速与仔稚鱼密度的相关性与对三峡库区丰都江段研究结果(胡兴坤等,2019)相似,但水温的研究结果却与三峡丰都(胡兴坤等,2019)、长江黄石江段(王红丽等,2015)及安庆新洲江段(田佳丽等,2020)研究结果存在差异,推测其原因可能是:(1)本次调查,前期随着水温升高鱼类密度相应提高,但当水温高于鱼类繁殖的适宜温度范围后,仔稚鱼密度与水温的相关度降低;(2)仔稚鱼繁殖受到复杂的水文环境影响,不能仅单一地分析流速和水温;(3)湘江长沙段水流速变化差异较大,仔稚鱼受到水流速的影响大于水温,且在流速较小时仔稚鱼游动能力较强,削弱了水温对其的影响。

4 建议

湘江是洞庭湖及长江鱼类资源补充的重要来源之一。湘江长沙段仔稚鱼资源丰富,可作为湘江禁渔效果评估的重要监测点。建议进一步加强对湘江长沙段仔稚鱼资源连续监测工作的经费及项目支持,进一步完善考察方案,并将监测工作纳入长江十年禁渔效果评估的重要组成部分。继续加强增殖放流力度,丰富增殖放流种类,全面完善湘江水生生态保护工作,进一步推进种质资源保护,完善湘江的特色及地方鱼类原良种场建设,为湘江鱼类种质资源的保护及研究提供基础保障。

参考文献

- 曹文宣,常剑波,乔晔,等,2007.长江鱼类早期资源[M].北京:中国水利水电出版社.
- 曹英华,廖伏初,伍远安,2012.湘江水生动物志[M].长沙:湖南科学技术出版社.
- 陈宜瑜,许蕴珩,1995.洪湖水生生物及其资源开发[M].北京:科学出版社.
- 胡兴坤,高雷,杨浩,等,2019.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,28(1):60-67.
- 李景保,吴桂生,刘晓清,1997.近数十年湘江流域河流水文变化规律[J].热带地理,17(3):295-302.
- 李世健,陈大庆,刘绍平等,2011.长江中游监利江段鱼卵及仔稚鱼时空分布[J].淡水渔业,41(2):18-24.
- 黎明政,姜伟,高欣,等,2010.长江武穴江段鱼类早期资源现状[J].水生生物学报,34(6):1211-1217.
- 刘艳佳,高雷,郑永华,等,2019.湘江汨罗江段鱼类资源季节变化及洄游特征研究[J].淡水渔业,49(2):51-58.
- 刘艳佳,高雷,郑永华,等,2020.洞庭湖通江水道鱼类资源周年动态及其洄游特征研究[J].长江流域资源与环境,29(2):376-385.
- 隆院男,唐蓉,蒋昌波,等,2018.近60年湘江流域水沙特性及其对人类活动的响应[J].农业工程学报,34(24):132-143.
- 孟秋,高雷,汪登强,等,2020.长江中游监利江段鱼类早期资源及生态调度对鱼类繁殖的影响[J].中国水产科学,27(7):824-833.
- 钱湛,张双虎,卓志宇,2014.四水入洞庭湖水量变化趋势及周期分析[J].人民长江,45(15):39-42.
- 谭细畅,李新辉,陶江平等,2007.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,37(4):37-40.
- 唐锡良,陈大庆,王珂,等,2010.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,40(5):27-31.
- 田佳丽,代培,任鹏,等,2020.长江安庆新洲江段仔稚鱼的群聚特征[J].中国水产科学,27(8):916-926.
- 王红丽,黎明政,高欣,等,2015.三峡库区丰都江段鱼类早期

- 资源现状[J]. 水生生物学报, 39(5): 954-964.
- 谢文星, 唐会元, 黄道明, 等, 2014. 湘江祁阳-衡南江段产漂流性卵鱼类产卵场现状的初步研究[J]. 水产科学, 33(2): 39-43.
- 周雪, 汪登强, 段辛斌, 等, 2021. 长江中游宜昌江段鱼卵时空分布特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 30(4): 861-868.
- Araújo-Lima C, Da Silva V V, Petry P, et al, 2001. Diel variation of larval fish abundance in the Amazon and Rio Negro[J]. Brazilian Journal of Biology, 61: 357-362.
- Baumgartner G, Nakatani K, Gomes L C, et al, 2008. Fish larvae from the upper Paraná river: do abiotic factors affect larval density?[J]. Neotropical Ichthyology, 6(4): 551-558.
- Bulkowski L, Meade J W, 1983. Changes in phototaxis during early development of walleye [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 112(3): 445-447.
- Cury P, Roy C, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 46(4): 670-680.
- Hsieh H Y, Lo W T, Liu D C, et al, 2007. Winter spatial distribution of fish larvae assemblages relative to the hydrography of the waters surrounding Taiwan[J]. Environmental biology of fishes, 78(4): 333-346.
- Humphries P, King A J, Koehn J D, 1999. Fish, flows and flood plains: links between freshwater fishes and their environment in the Murray-Darling River system, Australia[J]. Environmental biology of fishes, 56(1): 129-151.
- Johannes R E, 1978. Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics[J]. Environmental biology of fishes, 3(1): 65-84.
- Jones N E, Petreman I C, 2015. Environmental influences on fish migration in a hydropeaking river[J]. River Research and Applications, 31(9): 1109-1118.
- Li M Z, Duan Z H, Jiang W, et al, 2011. 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, 20(8): 957-962.
- Olsen A I, Attramadal Y, Reitan K I, et al, 2000 Food selection and digestion characteristics of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) larvae fed cultivated prey organisms [J]. Aquaculture, 181(3/4): 293-310.
- Pavlov D S, 1994. The downstream migration of young fishes in rivers: mechanisms and distribution[J]. Folia Zoologica, 43(3): 193-208.
- Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K, 1970. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. Fish Bulletin, 152: 1-105.
- Reichard M, Jurajda P, Ondraková M, 2002. The effect of light intensity on the drift of young-of-the-year cyprinid fishes[J]. Journal of Fish Biology, 61(4): 1063-1066.
- Roy C, Cury P, Kifani S, 1992. Pelagic fish recruitment success and reproductive strategy in upwelling areas: environmental compromises[J]. South African Journal of Marine Science, 12(1): 135-146.

(责任编辑 张俊友)

Status of Larval and Juvenile Fish Resources and Their Response to the Hydrology in the Changsha Section of Xiangjiang River

WU Qi-fan¹, GAO Feng¹, PENG Zhi-tao¹, ZUO Zhi-liang¹, LI Jin-long², CHENG Xiao-fei²,
SU Dong-xu¹, LI Yue-hui¹, XIANG Jin¹

(1. Aquatic Products Seed Stock Station in Hunan Province, Changsha 410153, P.R. China;
2. Hunan Fisheries Science Institute, Changsha 410153, P.R. China)

Abstract: In this study, we analyzed the temporal and spatial distribution of larval and juvenile fish resources and their relationship with the hydrological environment in the Changsha Section of Xiangjiang River. The aim was to provide baseline data and a theoretical reference for monitoring larval and juvenile fish resources in Xiangjiang River and to evaluate the effect of the ten-year fishing ban in Yangtze River. A 57-day survey of larval and juvenile fish resources was conducted in the Xianggluzhou section of the lower Xiangjiang River in Changsha City during May and June of 2020. The fish eggs, larval and juvenile fish were collected with a special net, and the sampling was carried out 2 days per week with a sampling time of 15 min. Results show: (1) Seven batches of fish fry were observed during the survey, the first batch on May 22 and the last batch on June 29. The average water temperature and flow velocity during the seven fry peaks were $(26.5 \pm 0.57)^\circ\text{C}$ and $(0.237 \pm 0.095) \text{ m/s}$. (2) A total of 547 831 larval and juvenile fish were collected that included 41 species, belonging to 8 families and 5 orders. In terms of egg types, there were 23 fish species with demersal eggs, 15 species with floating eggs and 3 species with other types of eggs. In terms of the ecological habits, there were 24 widely adaptable species, 11 localized species and 6 species that prefer flowing water. Among the fish collected, there were 31 cyprinid species, accounting for 75.6% of the total fish species collected. A total of nine dominant species were observed: *Rhinogobius giurinus*, *Pseudolaubuca sinensis*, *Acheilognathus macropterus*, *Xenocypris argentea*, *Cyprinus carpio*, *Hemiculter leucisculus*, *Xenocypris davidi*, *Carassius auratus* and *Pseudorasbora parva*. (3) The total density of larval and juvenile fish was 0.093 ind/m^3 during the day and 0.567 ind/m^3 at night. There were significant differences in the diurnal distribution of *R. giurinus*, *A. macropterus*, *X. argentea* and *Ctenopharyngodon idella*. Diurnal variation of *Xenocypris* species was most pronounced, with density at night 25 times higher than that in the day. (4) The density of larval and juvenile fish in the surface layer (0.548 ind/m^3) was only half of that in the middle and lower layers (1.048 ind/m^3), and there were significant differences in the vertical distribution of *R. giurinus*, *X. argentea*, *Cyprinus carpio* and *C. idella*. (5) Flow velocity contributed 90.8% to the variance of larval and juvenile fish density and was significantly correlated with changes in the total density of larval and juvenile fish ($P=0.042$). However, there was no significant correlation between flow velocity and dominant species or domestic fish species. Water temperature contributed 9.2% to the variance of larval and juvenile fish density, indicating no significant correlation. In the future, research on the temporal and spatial distribution of larval and juvenile fish in the Changsha section of the Xiangjiang River, as well as their response to the hydrological environment should continue and be refined.

Key words: larval and juvenile fish; resource monitoring; hydrological environment; Changsha section of the Xiangjiang River