

DOI: 10.12264/JFSC2022-0346

湘江下游长沙段鳊早期资源的时空分布特征及与环境因子关系

向劲¹, 吴启藩¹, 谢敏¹, 左之良¹, 向建国², 宋锐¹, 程小飞¹, 彭治桃¹, 高峰¹

1. 湖南省水产科学研究所, 湖南 长沙 410153;

2. 湖南农业大学, 湖南 长沙 410128

摘要: 为掌握鳊[*Siniperca chuatsi* (Basilewsky)]早期资源在湘江下游的时空分布特征及与生境特征的关联, 2020 年和 2021 年 5–7 月在湘江长沙段使用圆锥网对鳊早期资源进行隔日采样, 统计分析了鳊鱼苗发育阶段的时间分布、水层分布及水文环境因子变化, 研究了湘江中鳊主要繁殖时期及苗汛高峰期的水文特征, 以公式计算了鱼苗群体对圆锥网的逃逸能力, 并利用冗余分析(RDA)对鳊鱼苗丰度和环境因子进行了关联分析。结果表明: 鳊在湘江的繁殖高峰期为 5 月中旬到 6 月下旬, 产卵场位置分散且规模不等; 鳊鱼苗样品中弯曲期仔鱼占比较大且倾向于表层, 导致鱼苗整体丰度在表层大于中下层($P<0.05$), 但卵黄囊期仔鱼更倾向于中下层, 分布差异主要由游泳能力及流速所致; 各阶段鳊仔鱼的群体逃逸能力未在流速上表现出差异, 即无结构性的鱼苗逃逸现象; 鳊鱼在湘江中繁殖主要受洪水刺激, 鱼苗丰度与水温正相关($P<0.05$), 与透明度负相关($P<0.05$); 繁殖高峰期水温在 19.3~28.0 °C, 透明度小于 30 cm, 目前湘江中水温、透明度、流速及溶氧等条件均符合鳊鱼繁殖生境要求, 2021 年鳊鱼苗丰度较 2020 年提高一倍以上, 饵料鱼资源恢复或是鳊群体繁殖能力提升的重要原因。建议在湘江水域进一步加强鳊鱼及其他鱼类的早期资源保护与监测, 促进鱼类群落的生态稳定性恢复, 充分发挥其对湘江—洞庭湖—长江水域的鱼类资源补充作用。

关键词: 湘江; 鳊; 早期资源; 时空分布; 环境因子

中图分类号: Q959; S931

文献标志码: A

文章编号: 1005–8737–(2023)01–0106–09

湘江是湖南省境内最大的河流, 由南向北穿过湖南省经洞庭湖城陵矶汇入长江, 也是长江的五大支流之一。湘江流域位于 24°~29° N、110°30′~114° E 范围, 主要水源为降水, 流量变化与降雨的多寡及强度大小有着密切关联。多年来, 湘江流域平均径流量为 $636.3 \times 10^8 \text{ m}^3$, 5–6 月为其流量高峰, 水位变化规律与此一致, 约 74% 的水位变化最大值出现于 5–6 月, 致使每年这一时期, 以四大家鱼为首的喜流水生境繁殖鱼类出现苗汛高峰, 成为洞庭湖乃至长江干流重要的鱼类资源补充来源^[1–3]。下游长沙段河谷宽阔, 地形平坦, 多边滩、沙洲, 自清朝中期起已有沿江捕捞鱼苗的

记载。20 世纪 90 年代以来, 由于涉水工程建设、过度捕捞及水质污染等原因, 湘江鱼类资源逐渐衰退, 早期资源补充量锐减^[4–5]。相比成鱼或亲鱼资源调查, 鱼类早期资源调查具备采样更集中、样本量更稳定、生态影响更小等优势^[6], 将在“长江流域十年禁渔”大背景下的湘江鱼类资源恢复监测工作中发挥更加重要的作用。

鳊[*Siniperca chuatsi* (Basilewsky)]隶属于鲈形目(Perciformes), 鲴科, 鳊属, 为广布型定居性鱼类, 是湘江的极常见种^[7]。鳊的性成熟时期多为 2 冬龄, 为周期型繁殖策略^[8]。每年丰水季节, 鳊在流水环境中集群靠岸产卵, 受精卵含油球, 在

收稿日期: 2022-09-30; **修订日期:** 2022-10-26.

基金项目: 长沙市自然科学基金项目(kq2202354).

作者简介: 向劲(1986–), 男, 硕士研究生, 主要从事水生生物监测与渔业资源评估. E-mail: xiangjin1023@163.com

通信作者: 高峰, 工程师, 研究方向为水产养殖与水生生物监测. E-mail: 270349754@qq.com;

彭治桃, 高级工程师, 研究方向为渔业资源评估. E-mail: lmqpzt5201314@qq.com

流水中呈漂浮状态。自然水域中, 鳊等肉食性鱼类可通过捕食调控鱼类群落结构, 对生态平衡及稳定性有重要影响^[9-10]。目前, 关于鳊的研究主要有分子生物学、人工繁殖、生长发育、病害防治、捕食、生态调查等方面^[11-16], 其中围绕鳊早期资源补充量的生态研究较为罕见, 仅薛慧敏等^[17] 2007–2012 年在珠江开展了水温对鳊属鱼类早期资源的影响研究, 关于湘江流域鳊早期资源调查的研究处于空白状态。

本研究通过对湘江长沙段 2020 和 2021 年 5–7 月的鳊早期资源补充量时间变化、水层变化、生境因子、不同发育阶段分布及逃逸能力进行分析,

旨在了解湘江中下游鳊早期资源的时空分布规律, 探究其补充量与环境因子的关联, 以期为进一步合理开发、保护鳊资源及长江流域 10 年禁渔评估提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 调查时间与地点

2020 年和 2021 年 5–7 月于湘江长沙段香炉洲江段(28°20'17" N, 112°53'5" E)西岸进行鳊早期资源调查(图 1)。采样时间为隔日上午 9:00–10:00, 若遇洪水、暴雨等特殊天气则进行适当调整, 两年间共采样 87 次。

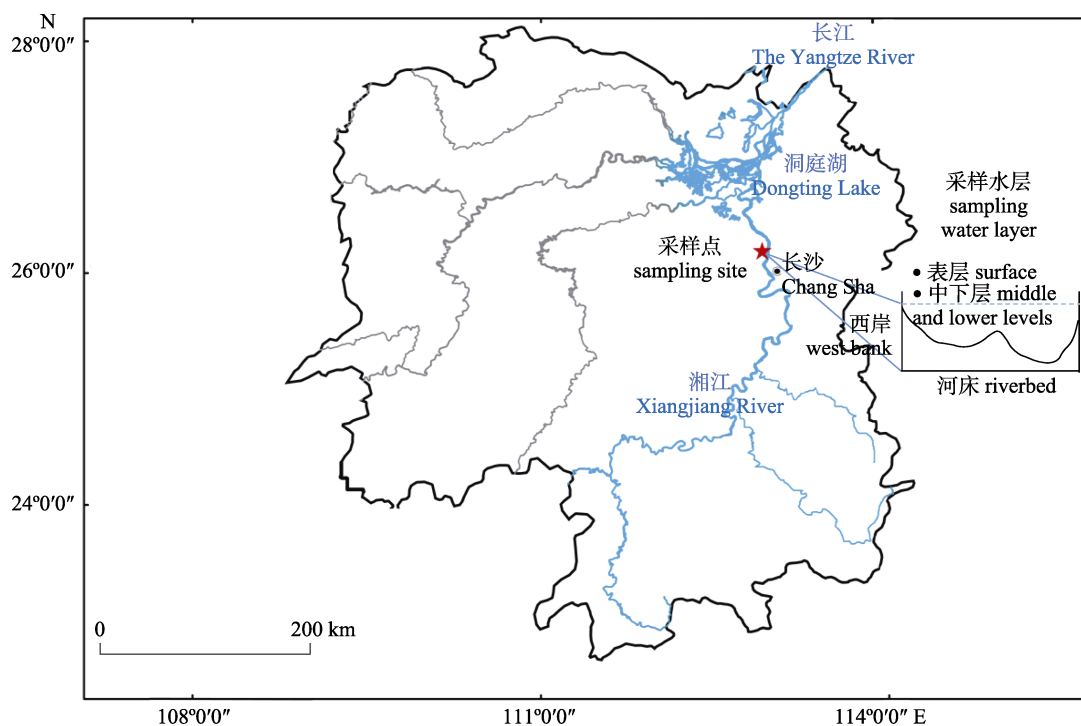


图 1 湘江长沙段鱼类早期资源采样点设置

Fig. 1 The location of sampling sites of early life history stages in Changsha section of Xiangjiang River

1.2 样品采集及处理

采集方法参照《长江鱼类早期资源》进行^[1], 采样点位于水深 3~4 m 的靠岸缓坡上, 采用圆锥网(孔径 0.5 mm, 网长 2.6 m, 网口直径 0.54 m)对表层(水深 0~0.5 m)及中下水层(水深 2.5~3 m)分别进行被动采集。水温与溶氧通过 YSI ProQuatro 便携式水质分析仪(美国维赛)进行现场测定, 透明度采用黑白透明盘进行测量, 网口平均流速采

用超声波多普勒式流速仪(厦门博意达 LSH10-1A)测量。将收集的鱼卵及鱼苗样品保存于甲醛浓度 5% 的中性甲醛溶液中, 带回实验室使用解剖镜观察、鉴定及计数, 鳊种类鉴定参照《江河鱼类早期发育图志》进行^[18], 鱼苗发育阶段参照 Kendall 等^[19]的划分方法, 即卵黄囊阶段仔鱼、前弯曲阶段仔鱼、弯曲阶段仔鱼、后弯曲阶段仔鱼及稚鱼共 5 个阶段。

1.3 数据计算及处理

1.3.1 丰度计算 仔稚鱼丰度计算参照易伯鲁等^[20], 公式具体如下:

$$D = \frac{N}{100 \times v \times t \times \pi R^2}$$

式中, N 为鱼苗采集数量(ind), v 为网口流速(单位 m/s), t 为采集时间(s), R 为网口半径(m)。仔稚鱼丰度 D 的单位为 ind/100m³。

1.3.2 群体逃逸能力计算 为检验较成熟个体在流速较慢时是否有系统性逃逸现象导致采集结果出现误差, 现根据仔鱼不同发育阶段的游泳能力差异, 计算每批样品中鳊仔鱼群体的逃逸能力 EC (escape capability), 以便分析网口平均流速与鳊仔鱼逃逸能力之间的关系, 进而量化反映鳊仔鱼不同发育阶段在缓流水中对被动型网具的逃逸能力, 公式如下:

$$EC = f_1 \cdot S_1 + f_2 \cdot S_2 + f_3 \cdot S_3 + f_4 \cdot S_4$$

式中, f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 分别代表卵黄囊期、前弯曲期、弯曲期、后弯曲期仔鱼在该次鳊仔鱼样品中的百分比, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 分别代表 4 个阶段的平游能力, 依次赋值为常数 1、2、3、4。EC 值越大, 说明该批鳊仔鱼发育阶段整体越成熟, 逃逸能力越强。

1.3.3 数据处理及分析 数据整理及表格制作使用 WPS Office 软件进行, 矢量图使用 Origin

2021 绘制, Pearson 相关性分析及 ANOVA 单因素方差分析使用 SPSS 22.0 完成, 鳊仔鱼不同阶段丰度与环境因子的冗余分析(RDA)使用 Conoco 5.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 仔稚鱼丰度及发育阶段的时间分布

本调查共发现鳊仔稚鱼 3005 尾, 其中, 2020 年丰度为 2.84 ind/100 m³, 2021 年达到了 7.34 ind/100 m³, 是 2020 年的 2.6 倍。对鳊发育阶段进行分析发现, 前弯曲期仔鱼占比最高、达 52.17%, 弯曲期仔鱼次之、为 35.65%, 卵黄囊期与后弯曲期仔鱼相对较少、仅分别占比 11.78%和 0.4%, 而胚胎期及稚鱼期鳊在本次调查中并未发现。根据采样期间湘江中下游水温变化情况推算鱼苗发育时间^[21], 鳊受精卵自产卵场漂流至采样点的时间范围为 81.3~200 h, 其中发育时间 126 h 阶段仔鱼(前弯曲期)占比相对较多。

图 2 显示, 2020 年 5~7 月间, 鳊仔稚鱼在 5 月上、中旬数量较少, 高峰期为 5 月下旬及 6 月上旬, 6 月中旬相对较少, 但于 6 月下旬又出现了一个小高峰, 7 月上旬未发现鳊鱼苗; 2021 年 5~7 月间, 5 月上旬未发现鳊鱼苗, 高峰期为 5 月中旬至 6 月上旬, 自 6 月中旬之后逐渐减少, 7 月上旬仍有鳊鱼苗出现, 但量已相对较少。总体来看,

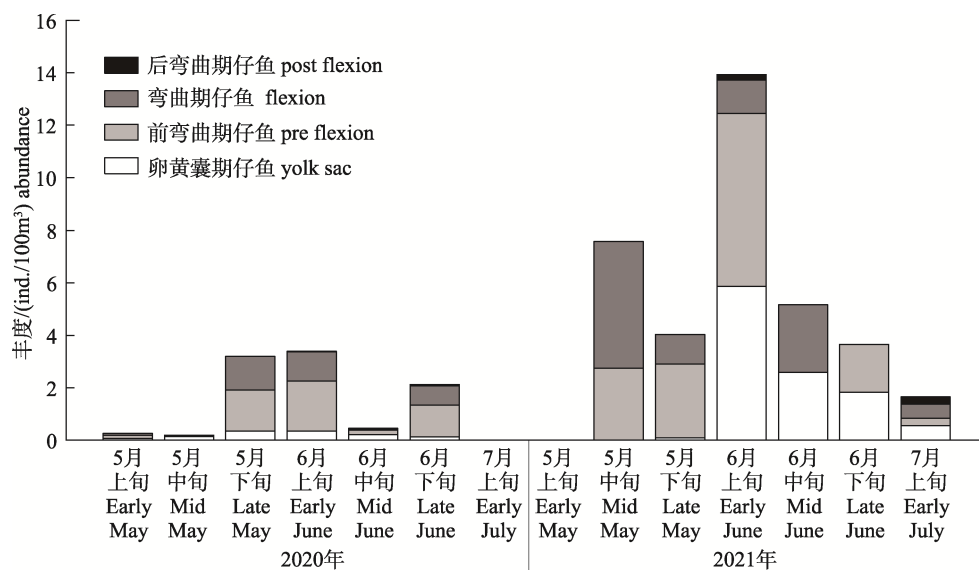


图 2 各阶段鳊仔稚鱼丰度的时间分布

Fig. 2 Temporal distribution of larval and juvenile fish abundance at different stages

2021 年的鳊鱼繁殖期较 2020 年晚。分析不同发育期仔稚鱼的时间分布发现, 鳊仔鱼发育阶段分布在 2020 年苗汛期间无明显变化, 整体以前弯曲期和弯曲期阶段为主。2021 年各阶段仔鱼的占比随时间变化发现了较明显的差异, 卵黄囊期仔鱼在 5 月基本未出现, 自 6 月上旬起才出现较大丰度。此外, 后弯曲期仔鱼仅出现于 6 月之后。

2.2 水层分布特征

鳊仔稚鱼在表层的丰度为 $1.08 \text{ ind}/100\text{m}^3$, 是中下层($0.78 \text{ ind}/100\text{m}^3$)的 1.38 倍。单因素方差分析(ANOVA)发现, 表层仔稚鱼丰度显著高于中下层($P<0.05$, $F=6.045$)。

图 3 显示, 表层前弯曲期仔鱼分布较多、占比超过 50%, 弯曲期次之。中下层卵黄囊期仔鱼与前弯曲期仔鱼相对较多且占比接近。相关性分析结果显示, 卵黄囊期仔鱼倾向于中下层水体($P<0.05$, $F=5.15$), 而弯曲期仔鱼更倾向于表层水体($P<0.01$, $F=10.50$)。

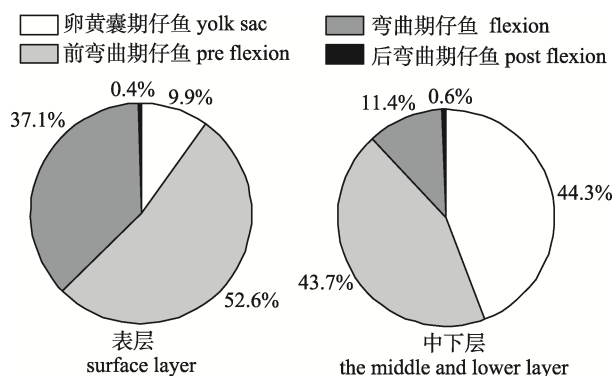


图 3 各阶段仔稚鱼的水层分布

Fig. 3 Water layer distribution of larvae and juveniles at different stages

2.3 网口流速对不同发育阶段鳊鱼苗的影响

调查期间共采集到鳊仔鱼样品 44 次, 对鳊仔鱼群体的逃逸能力与网口平均流速关联作图(图 4), 可见平均流速峰值与鳊仔鱼群体逃逸能力 EC 值峰值的重叠度较低。对两组数据进行配对样品 T 检验发现, 每次采集到鳊仔鱼样品的网口平均流速与采集样品的群体逃逸能力无显著性关联。

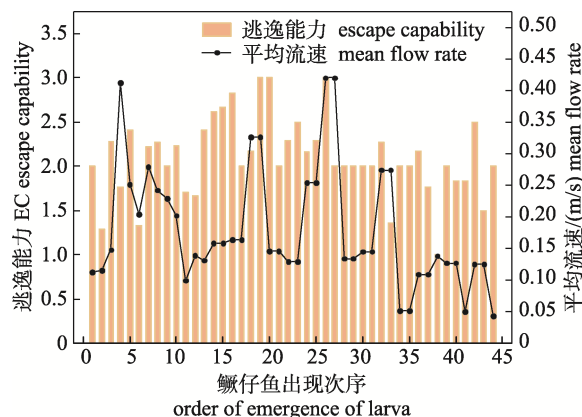


图 4 鳊仔鱼逃逸能力与平均流速变化

Fig. 4 Escape capability of *Siniperca chuatsi* fry and the changes of average velocity

2.4 鳊仔稚鱼苗汛期间的环境因子变化

鳊仔稚鱼出现期间水文环境变化情况如表 1 所示, 水温为 $19.3\sim 28.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、均值(24.41 ± 2.40) $^{\circ}\text{C}$; 溶氧为 $5.38\sim 7.54 \text{ mg/L}$ 、均值(6.59 ± 0.50) mg/L ; 透明度为 $13\sim 84 \text{ cm}$ 、均值(26.4 ± 14.0) cm ; 网口流速为 $0.043\sim 0.412 \text{ m/s}$ 、均值(0.18 ± 0.09) m/s 。

2020 年发生鳊鱼苗汛高峰期 5 次, 2021 年发生鳊鱼苗汛高峰期 6 次(表 1)。水温在 2020 年高峰期的均值为(26.52 ± 0.49) $^{\circ}\text{C}$, 集中于较小范围($25.7\sim 27.3\text{ }^{\circ}\text{C}$), 2021 年变幅较大($19.3\sim 28.0\text{ }^{\circ}\text{C}$), 均值为(23.73 ± 2.45) $^{\circ}\text{C}$; 溶氧始终保持在充足状态且较稳定, 均值(6.58 ± 0.45) mg/L ; 透明度多分布于 30 cm 以下, 相对较浑浊; 由于采样点固定设于江岸缓坡附近, 水流较稳定, 网口流速整体较小, 2020 年为(0.21 ± 0.05) m/s , 2021 年为(0.15 ± 0.09) m/s 。

2.5 密度与水文环境因子关系

采用 Canoco 5.0 软件量化分析环境因子对鳊鱼各阶段仔鱼资源量变化的影响, 首先去趋势对应分析(DCA)得到第一轴梯度特征值小于 3, 故选用冗余分析法(RDA)进行物种与环境的关联分析(图 5)。结果中, 前两轴的特征值分别为 0.2979 和 0.0006, 透明度($F=11.5$, $P<0.05$)和水温($F=3.8$, $P<0.05$)对鳊仔鱼资源量变化表现出显著性影响, 对坐标轴的解釋度分别为 60.1%和 24.3%。图 4 显示, 鳊仔鱼各阶段的生境适性较为接近, 与水温 T 、流速 v 均呈现出正相关趋势, 与透明度 SD 和溶氧 DO 呈负相关趋势。

表 1 鳊鱼苗出现及高峰期的环境因子变化
Tab. 1 Environmental factors of emergence and peak season of *Siniperca chuatsi* fry

时期 period	批次	日期 date	水温/℃ temperature	DO/(mg/L)	透明度/cm transparency	网口流速/(m·s) flow rate
2020–2021 鱼苗出现期间 fry	/	/	19.3–28.3	5.38–7.54	13–84	0.043–0.412
2020 苗汛高峰 fry in high density	1	5.22	25.7	6.56	13	0.148
	2	5.27	26.6	6.34	22	0.251
	3	6.3–6.4	26.4–26.8	5.73–6.15	14–20	0.242–0.279
	4	6.9	26.3	6.22	21	0.202
	5	6.30	27.3	7.11	23	0.131
2021 苗汛高峰 fry in high density	1	5.20	20.3	7.50	14	0.326
	2	5.24–5.25	19.3–21.4	6.07–6.37	13–18	0.129–0.254
	3	6.1	23.4	7.28	25	0.134
	4	6.3–6.5	24–26.5	6.32–7.12	15–33	0.051–0.274
	5	6.7–6.9	24–24.8	6.45–6.82	21–28	0.05–0.138
	6	6.15	28.0	6.48	39	0.043

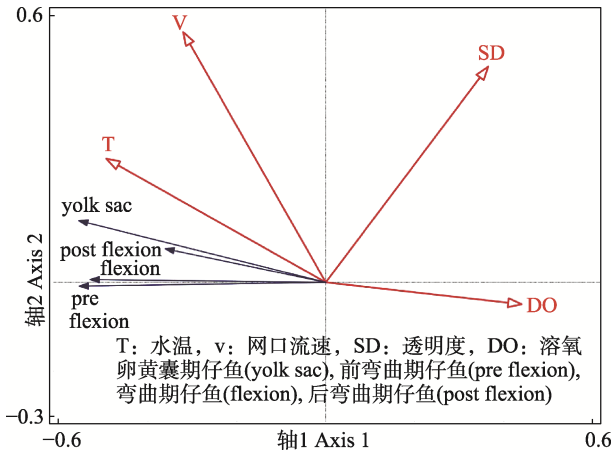


图 5 湘江长沙段鳊仔鱼各阶段丰度—环境因子的冗余分析(RDA)结果

Fig. 5 Redundancy analysis (RDA) on the abundance of *Siniperca chuatsi* fry at different stages and environmental variables in Changsha section of Xiangjiang River

3 讨论

3.1 湘江鳊鱼繁殖时间及年际变化

20 世纪 90 年代以前, 湘江生态流量情况为天然状态, 后由于水土保持、航电枢纽等工程建设, 湘江生态流量发生较大变化, 对鱼类早期资源补充量产生了一定的影响, 且受到了广泛关注。1959—2016 年在湘江中下游开展的水生动物敏感需水期(4–9 月)生态流量调查结果显示, 湘江生态流量整体变化等级为中等, 符合生态流量生境

的最低要求^[22]。有研究指出, 鱼类早期资源补充量还受到亲本群体规模、亲本质量、水温、溶氧、水质污染及捕食等影响。鳊鱼不喜长距离迁移, 属定居性鱼类, 亲本繁殖的水文生境阈值较低^[23], 且属于肉食性凶猛鱼类, 导致禁渔行动以来, 鳊在湘江中的繁殖和生长缺少天敌, 亲本群体规模不断扩大, 因而湘江中下游 2021 年鳊鱼苗丰度较 2020 年增长了一倍以上。此外, 饵料鱼资源的不断增多也对肉食性动物的性腺发育、受精率、孵化率及胚胎发育起到了促进作用^[24–25]。

仔稚鱼在时间分布上存在的较大差异主要与水温有关, 适宜的水温对亲鱼生殖洄游、性腺发育、繁殖行为及鱼苗早期发育具有重要影响^[24]。本研究发现鳊鱼苗首次出现时水温分别为 19.3 ℃(2021 年)与 23.3 ℃(2020 年), 与珠江下游的调查结果相近^[16]。湘江下游繁殖高峰期主要分布于 5 月中旬到 6 月下旬, 与长江干流基本一致^[25–26], 但明显短于珠江流域, 这可能与纬度差异相关^[27]。

本研究采集到的鳊鱼苗发育阶段分布较广且各阶段占比不一, 这可能是由于鳊繁殖的水文环境阈值较四大家鱼低^[28], 因而在湘江中存在多处产卵场且相对较分散。

3.2 鳊仔稚鱼的水层分布特征

本研究所设采样点位于湘江长沙段末的顺直

型河道中,发现鳊仔鱼的表层丰度显著高于中下层,与胡兴坤等^[29]指出在顺直型河道表层仔鱼丰度显著高于中下层的调查结果一致。不同发育阶段的鱼苗摄食、平游及垂直迁移能力存在较大差异,因而空间分布也存在差异^[20]。随着运动能力逐渐增强,较成熟的仔鱼会主动选择到不同水层进行索饵行为或逃避捕食^[30-31]。本次调查发现,鳊弯曲期仔鱼明显倾向于表层,说明鳊仔鱼自弯曲期开始具备一定的主动捕食能力。围绕弯曲期之前阶段仔鱼垂直分布倾向的研究中,刘全圣等^[31]通过在室内水柱系统中监测黄颡鱼苗的垂直分布情况,发现早期仔鱼由于游泳器官发育不完全,游泳能力不足,因此主要分布于中下层。本研究结果于与此一致,前弯曲期仔鱼在不同水层无显著差异,卵黄囊期仔鱼明显倾向于中下层。但胡丽娟等^[33]的研究结果显示,早期仔鱼并不倾向于中下层,而是随流水作用随机分布。造成不同结论具有分歧的主要原因在于水环境中是否存在流速及流速是否有效,尽管目前尚无鳊早期资源保持漂流的流速阈值相关研究,但本研究中网口流速在大多数情况下小于四大家鱼早期资源漂流的流速阈值 0.25 m/s ^[34],因此推测本研究中卵黄囊期仔鱼倾向于中下层主要是流速较慢所致。

段中华等^[35]用圆锥网采集仔稚鱼过程中发现,水流在网具内形成局部洄游易造成游泳能力较强的较大个体鱼苗发生逃逸。本研究根据不同发育阶段仔鱼的比例及游泳能力差异,评估了鳊仔鱼群体对圆锥网口不同流速的逃逸能力,发现不同流速对鳊仔鱼发育阶段占比的结构性变化无显著影响,推测鳊仔鱼对圆锥网的逃逸行为造成的误差在采样结果中可以忽略。

3.3 鳊仔稚鱼与环境因子的关联

长江中下游的相关研究结果中,鳊鱼苗与透明度表现为负相关关系^[36-37]。本次在湘江中调查结果与此一致,透明度是对鳊鱼早期资源补充量影响最显著的环境因子,透明度较低时常伴随着鳊鱼早期资源补充量的增多,说明鳊鱼繁殖需要一定的洪水刺激。

与其他鱼类一样,鳊鱼苗丰度受到多种水文环境因子的共同影响。关于长江流域的仔稚鱼资源

调查中,多项调查结果均显示水温是影响鱼类早期资源发生时间及补充量的重要影响因子^[38-39]。薛慧敏等^[16]在珠江中下游的监测也表明,鳊早期资源补充受到水温升高的重要影响。RDA 分析结果显示,在湘江鳊鱼繁殖期间,鳊鱼苗丰度也随着水温升高而增多。在江河溶氧系统动力学研究中,水体溶氧主要受大气复氧作用、呼吸作用、光合作用、氮质耗氧及生化耗氧 5 个因素共同影响^[32]。本研究中,鳊鱼苗丰度与溶氧未表现出显著相关性,其主要原因或为湘江溶氧水平长期远高于鳊早期资源发育期间的溶氧需求,并未形成限制性环境因子。

4 结论

(1) 鳊仔鱼整体垂直分布表现为表层>中下层($P<0.05$),其中弯曲期仔鱼由于游泳能力相对较强倾向于表层捕食,卵黄囊期仔鱼由于流速较慢倾向于中下层。逃逸能力与流速的相关性分析显示鱼苗对圆锥网未发生明显逃逸行为。

(2) 根据鳊鱼苗各发育阶段的分布情况,说明湘江中游及以上分布有多处产卵场,且各产卵场的产卵规模差异较大。目前湘江生境满足鳊繁殖及鱼苗发育的水文环境需求,鳊在湘江主要受洪水刺激而产卵,鳊鱼苗丰度与透明度及水温显著相关($P<0.05$)。

(3) 湘江鳊鱼 2021 年早期资源补充量较 2020 年增长一倍以上,反映湘江渔业资源恢复情况良好。随着长江流域十年禁渔等水生态保护行动的继续推进,围绕湘江中鳊及其他鱼类早期资源补充量的持续监测将发挥更加重要的作用。

参考文献:

- [1] Long Y N, Tang R, Jiang C B, et al. Variability characteristics of runoff-sediment discharge and their response to human activities in Xiang River Basin in recent 60 years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(24): 132-143. [隆院男, 唐蓉, 蒋昌波, 等. 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, 2018, 34(24): 132-143.]
- [2] Dai L L, Lü J C, Zhou W C, et al. Phytoplankton's community structure and its relationships with environmental factors in three rivers with different nutrition levels[J]. Acta

- Ecologica Sinica, 2021, 41(3): 1242-1250. [代亮亮, 吕敬才, 周维成, 等. 3 种不同营养水平的河流浮游植物群落结构及其与环境因子的相关性[J]. 生态学报, 2021, 41(3): 1242-1250.]
- [3] Liu Y J, Gao L, Zheng Y H, et al. Annual dynamics and migration characteristics of fish resources in the Chenglingji, in the channel connecting Dongting Lake and the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(2): 376-385. [刘艳佳, 高雷, 郑永华, 等. 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, 2020, 29(2): 376-385.]
- [4] Tang J H, Chen X T. Influence of Xiangjiang River pollution on fish resources[J]. Freshwater Fisheries, 1983, 13(6): 15-18. [唐家汉, 陈锡涛. 湘江污染对鱼类资源的影响[J]. 淡水渔业, 1983, 13(6): 15-18.]
- [5] Xie W X, Tang H Y, Huang D M, et al. The Current status of spawning grounds for fishes spawning as pelagic eggs in reaches from Qiyang to Hengnan in Xiangjiang River[J]. Fisheries Science, 2014, 33(2): 103-107. [谢文星, 唐会元, 黄道明, 等. 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, 2014, 33(2): 103-107.]
- [6] Wang Z, Sathrajith A T, Xie S G, et al. Effect of the impoundment of dam cascade in Jinsha River and increased water level of the Three Gorges Reservoir on the distribution and abundance of *Pseudolaubuca engraulis* (nichols) larvae in the upper mainstem of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(3): 606-611. [王震, Sathrajith A T, 谢松光, 等. 金沙江梯级大坝运行和三峡水库运行水位增高对长江上游干流寡鳞鲈仔鱼丰度和分布的影响[J]. 水生生物学报, 2019, 43(3): 606-611.]
- [7] Wu Y A, Li H, Liao F C. Fish records of Hunan[M]. Beijing: Science Press, 2021. [伍远安, 李鸿, 廖伏初. 湖南鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 2021.]
- [8] Song Y Q, Cheng F, Ren P, et al. Longitudinal recovery gradients of drifting larval fish assemblages in the middle reach of the Yangtze River: Impact of the Three Gorges Dam and conservation implementation[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2019, 76(12): 2256-2267.
- [9] Xie S G, Cui Y B, Li Z J. Ecological studies on lake fisheries on piscivorous fishes: Theory and methods[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2000, 24(1): 72-81. [谢松光, 崔奕波, 李钟杰. 湖泊食鱼性鱼类渔业生态学的理论与方法[J]. 水生生物学报, 2000, 24(1): 72-81.]
- [10] Cui F T, Zhang T L, Liu J S, et al. A preliminary study on prey type selection in *Siniperca chuatsi*[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(6): 29-34. [崔方天, 张堂林, 刘家寿, 等. 鳊对猎物种类选择性的初步研究[J]. 淡水渔业, 2013, 43(6): 29-34.]
- [11] Zhang R Q, Zhao J L, Hao Y Y, et al. Postembryonic development of cranial lateral line system in *Siniperca chuatsi*[J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(6): 57-66. [张瑞祺, 赵金良, 郝月月, 等. 鳊颅部侧线系统的胚后发育[J]. 南方水产科学, 2020, 16(6): 57-66.]
- [12] Wu Y X, Wang T T, Zhang M T, et al. Microbial diversity and quality characteristics of Huizhou stinky mandarin fish and antioxidant activity of its enzymatic hydrolysates[J]. Food Science, 2021, 42(2): 128-134. [吴永祥, 王婷婷, 张梦婷, 等. 徽州臭鳊鱼微生物多样性、品质特性及其酶解产物抗氧化能力分析[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 128-134.]
- [13] Xie Q M, Ke R L, Liu F, et al. To analyze the genetic diversity of five *Siniperca Chuatsi* cultured populations based on mitochondrial D-loop region in Anhui Province[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(9): 143-147. [谢启明, 柯瑞林, 刘帆, 等. 基于线粒体 D-loop 区分析安徽省 5 个翘嘴鳊养殖群体的遗传多样性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 143-147.]
- [14] Li W, Liu J S, Ye S W, et al. Research progress on technique and effect evaluation of mandarin fish stock enhancement in large water bodies[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(6): 808-818. [李为, 刘家寿, 叶少文, 等. 大水面鳊增殖放流技术及效果评估研究进展[J]. 中国水产科学, 2021, 28(6): 808-818.]
- [15] Sun B J, Chang M X, Song Y, et al. Gene structure and transcription of IRF-1 and IRF-7 in the mandarin fish *Siniperca chuatsi*[J]. Veterinary Immunology and Immunopathology, 2007, 116(1-2): 26-36.
- [16] Cao W X, Chang J B, Qiao Y. Fish resources of early life history stages in Yangtze River[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2007. [曹文宣, 常剑波, 乔晔. 长江鱼类早期资源[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.]
- [17] Xue H M, Li Y F, Wu Z, et al. Effects of water temperature on early recruitment of *Siniperca* in the middle and lower reaches of the Pearl River[J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(3): 59-65. [薛慧敏, 李跃飞, 武智, 等. 水温对珠江中下游鳊属鱼类早期资源补充的影响[J]. 淡水渔业, 2019, 49(3): 59-65.]
- [18] Liang Z S, Yi B L, Yu Z T. A photographic Guide to early development of fish in rivers[M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2019. [梁秩荣, 易伯鲁, 余志堂. 江河鱼类早期发育图志[M]. 广州: 广东科技出版社, 2019.]
- [19] Kendall A W J, Ahlstrom E H, Moser H G. Early life history stages of fishes and their characters[J]. Ontogeny and Systematics of Fishes, 1984(1): 11-22.
- [20] Yi B L, Yu Z T, Liang Y S. Research on water conservancy project construction and fishery ecology special section on Gezhouba Water conservancy project and the four major fish in the Yangtze River[M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Publishing House, 1988. [易伯鲁, 余志堂, 梁秩荣.]

- 水利枢纽建设与渔业生态研究专集葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988.]
- [21] Gong M, Liu D Y. Embryonic development and larval growth of *Siniperca chuatsi*[J]. Fisheries of Heilongjiang, 2018(3): 31-33. [官民, 刘丹阳. 鳊的胚胎发育和仔稚鱼生长[J]. 黑龙江水产, 2018(3): 31-33.]
- [22] Zhuo Z Y, Qian Z, Jiang H, et al. Evaluation of hydrological regime in Xiangjiang Basin based on IHA-RVA method[J]. China Rural Water and Hydropower, 2020(8): 188-192. [卓志宇, 钱湛, 姜恒, 等. 基于 IHA-RVA 法的湘江流域水文情势评价[J]. 中国农村水利水电, 2020(8): 188-192.]
- [23] Li M F. Research progress on biology of mandarin fish[J]. Modern Fisheries Information, 2010, 25(7): 16-21. [李明锋. 鳊鱼生物学研究进展[J]. 现代渔业信息, 2010, 25(7): 16-21.]
- [24] Zhang Y Q, Xian W W, Li W L. Fish assemblage structure in adjacent sea of Changjiang Estuary in spring of 2004 and 2007 and its association with environmental factors[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(9): 67-74. [张迎秋, 线微微, 李文龙. 2004 和 2007 年春季长江口近海鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(9): 67-74.]
- [25] Zhou X, Wang D Q, Duan X B, et al. Studies on spatial and temporal distribution of fish eggs in the Yichang section in middle reaches of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(4): 861-868. [周雪, 汪登强, 段辛斌, 等. 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, 2021, 30(4): 861-868.]
- [26] Ren P, Schmidt B V, Fang D A, et al. Spatial distribution patterns of fish egg and larval assemblages in the lower reach of the Yangtze River: Potential implications for conservation and management[J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2021, 31(8): 1929-1944.
- [27] Zou M X, Chen Y G, Song X J, et al. Distribution and drift trend of *Collichthys lucidus* larvae and juveniles in the coastal waters of the southern Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(4): 557-568. [邹明汐, 陈渊戈, 宋小晶, 等. 黄海南部近岸水域棘头梅童鱼仔稚鱼的分布和漂移趋势[J]. 水产学报, 2022, 46(4): 557-568.]
- [28] Liang X F. Research conception of reservoir as gene pool of fierce fish germplasm[J]. Reservoir Fisheries, 2006, 27(3): 52-54. [梁旭方. 水库作为凶猛鱼类种质基因库的研究构想[J]. 水利渔业, 2006, 27(3): 52-54.]
- [29] Hu X K, Gao L, Yang H, et al. Status of the early stage fish resources at Huangshi section in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(1): 60-67. [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.]
- [30] Yin M C. Feeding and growth of the larva stage of fish[J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 19(4): 335-342. [殷名称. 鱼类仔鱼期的摄食和生长[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 335-342.]
- [31] Liu Q S, He X G, Deng M, et al. Hiding behavior and swimming aqueous layers of yellow catfish larvae and juveniles[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2017, 36(1): 98-102. [刘全圣, 何绪刚, 邓闵, 等. 黄颡鱼仔稚鱼对缝隙和水层的栖息选择行为[J]. 华中农业大学学报, 2017, 36(1): 98-102.]
- [32] Li J S, Ling J Z, Hu F. Analysis on characteristics of stratified clustering of larvae and juveniles in adjacent waters of Yangtze River Estuary[J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(3): 102-107. [李建生, 凌建忠, 胡芬. 长江口邻近水域仔稚鱼分层群聚特征分析[J]. 南方水产科学, 2021, 17(3): 102-107.]
- [33] Hu L J, Song C, Geng Z, et al. Temporal and spatial distribution of *Coilia mystus* larvae and juveniles in the Yangtze Estuary during primary breeding season[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(9): 1152-1161. [胡丽娟, 宋超, 耿智, 等. 长江口凤鲚仔稚鱼主要繁殖季节的时空分布特征[J]. 中国水产科学, 2021, 28(9): 1152-1161.]
- [34] Tang M Y, Huang D L, Huang L Z, et al. Experiment on hydraulic characteristics of grass, green carp, silver carp and bighead carp eggs and preliminary prediction of hatching conditions in the Three Gorges Reservoir area[J]. Reservoir Fisheries, 1989, 10(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[J]. 水利渔业, 1989, 10(4): 26-30.]
- [35] Duan Z H, Sun J Y, Tan X C, et al. Collecting efficiency of different nets in field investigation on larval fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(6): 670-676. [段中华, 孙建贻, 谭细畅, 等. 鱼类早期资源调查中不同网具采集效率的研究[J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 670-676.]
- [36] He X H, Tan L F, Peng Y X, et al. Four major Chinese carps eggs resources and spawning grounds distribution at Hukou section of the Yangtze River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(4): 420-430. [何晓辉, 谈龙飞, 彭云鑫, 等. 长江湖口段四大家鱼卵资源及其产卵场分布[J]. 中国水产科学, 2021, 28(4): 420-430.]
- [37] Liu Y, Ren P, Yang X W, et al. Spatial and temporal distribution of larvae and juvenile *Coilia nasus* in the lower reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(2): 506-517. [刘熠, 任鹏, 杨习文, 等. 长江下游刀鲚(*Coilia nasus*)仔稚鱼的时空分布[J]. 湖泊科学, 2020, 32(2): 506-517.]
- [38] Xue X P, Fang D A, Xu D P, et al. Assemblage structure of larvae and juvenile fish of Changqingsha and Minzhusha in Rugao Section at the lower reaches of the Yangtze River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41(9): 1778-1786. [薛向

- 平, 方弟安, 徐东坡, 等. 长江下游如皋江段长青沙和民主沙仔稚鱼群聚结构特征[J]. 生态学杂志, 2022, 41(9): 1778-1786.]
- [39] Ding L Q, He X H, Li X F, et al. The larvae and juvenile fish resources of the four major Chinese carps at Anqing section in the lower reaches of the Yangtze River from 2016 to 2018[J]. Journal of Lake Sciences, 2020, 32(4): 1116-1125. [丁隆强, 何晓辉, 李新丰, 等. 2016—2018 年长江下游安庆江段四大家鱼仔稚鱼资源调查分析[J]. 湖泊科学, 2020, 32(4): 1116-1125.]
- [40] Tang S, Sun T, Shen X M, et al. Dissolved oxygen dynamics model and its application in estuary subject to turbidity variability[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(11): 1286-1294. [唐诗, 孙涛, 沈小梅, 等. 水体浊度变化影响下的河口溶解氧系统动力学模型及应用[J]. 水利学报, 2013, 44(11): 1286-1294.]

Spatial and temporal distribution characteristics of early *Siniperca chuatsi* resources and their relationship with environmental factors in the Changsha section of the lower reaches of the Xiangjiang River

XIANG Jin¹, WU Qifan¹, XIE Min¹, ZUO Zhiliang¹, XIANG Jianguo², SONG Rui¹, CHENG Xiaofei¹, PENG Zhitao¹, GAO Feng¹

1. Hunan Fisheries Science Institute, Changsha 410153, China;

2. Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Abstract: To understand the temporal and spatial distribution characteristics of the early resources of *Siniperca chuatsi* (Basilewsky) in the lower reaches of the Xiangjiang River and their correlation with habitat characteristics, the early resources of the *Siniperca chuatsi* were sampled every other day using cone nets in the Changsha section of the Xiangjiang River from May to July in 2020 and 2021. Statistical analysis of the *S. chuatsi* seedling growth stage, water distribution, and time distribution of the hydrological environment factors was conducted. The main breeding period in the Xiangjiang River was studied and the hydrologic characteristics of seedling height were used to calculate the fish group's ability to escape the cone net. Redundancy analysis (RDA) was used to analyze the association between *S. chuatsi* fry abundance and environmental factors. The results showed that the peak breeding period of *S. chuatsi* in the Xiangjiang River was from mid-May to late June, and the spawning grounds were scattered and varied in size. The surface layer is larger than the middle and lower layers ($P<0.05$), but the yolk sac stage larvae are more inclined to the middle and lower layers, and the distribution difference is mainly caused by its swimming ability and flow velocity. There was no structural fry escape phenomenon. The reproduction of *Siniperca chuatsi* in the Xiangjiang River was mainly stimulated by floods, and the abundance of fry was positively correlated with water temperature ($P<0.05$) and negatively correlated with transparency ($P<0.05$). The water temperature during the peak breeding period was between 19.3 and 28.0 °C and the transparency was less than 30 cm. At present, the water temperature, transparency, flow rate, and dissolved oxygen in the Xiangjiang River all meet the requirements of *S. chuatsi* breeding habitats. In 2021, the abundance of *S. chuatsi* fry was more than twice that of 2020, which is an important reason for the recovery of the feed fish resources or the improvement of the reproductive capacity of *S. chuatsi* population. It is suggested that, to further strengthen the early resource protection and monitoring of *S. chuatsi* and other fish in the waters of the Xiangjiang River, promoting the restoration of the ecological stability of the fish community is necessary. In addition, full play must be accorded to its role in supplementing fish resources in the waters of Xiangjiang-Dongting Lake-Yangtze River.

Key words: Xiangjiang River; *Siniperca chuatsi*; early resources; spatial and temporal distribution; environmental factors

Corresponding author: GAO Feng. E-mail: 270349754@qq.com;

PENG Zhitao. E-mail: lmqpzt5201314@qq.com