

长江下游四大家鱼仔稚鱼时空分布特征及影响因子分析¹

丁隆强¹ 黎加胜² 徐东坡^{1*} 方弟安¹ 任鹏¹

(1: 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081;

2. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081)

【摘要】: 为探究长江下游安庆-南通江段四大家鱼仔稚鱼资源的时空分布特征, 于 2019 年 4 至 8 月在长江下游安庆、南京和南通江段逐月开展四大家鱼仔稚鱼的空间分布和动态资源调查。结果显示, 共采集产漂流性卵鱼类仔稚鱼 107 990 尾, 隶属于 2 目 2 科 19 种, 其中四大家鱼 972 尾, 以鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*) 为主, 占家鱼捕获量 67%。各江段四大家鱼仔稚鱼平均丰度依次为 2 和 0.3, 家鱼仔稚鱼资源自安庆向南通方向逐渐减少; 安庆江段 5 月和 7 月仔稚鱼平均密度显著高于其他月份, 南京和南通江段高峰期发生在 6 月。Kruskal-Wallis 检验表明各江段四大家鱼仔稚鱼的水平分布存在差异, 具体表现为近岸仔稚鱼密度显著高于江心。Pearson 检验分析显示, 调查期间安庆江段四大家鱼仔稚鱼日丰度与水温和水位日上涨率呈显著正相关($P < 0.05$)。南京江段家鱼仔稚鱼日丰度与水温和水流量日上涨率均呈显著正相关($P < 0.05$)。南通江段家鱼仔稚鱼日丰度与水位和水流量日上涨率呈显著正相关($P < 0.05$)。研究结果揭示了长江下游四大家鱼仔稚鱼的时空格局及与水文环境因子的相关性, 阐明江湖连通系统对家鱼早期资源补充具有重要作用, 研究结果可为保护长江家鱼补充群体和修复洲滩和沿江岸线等鱼类重要栖息地提供支撑。

【关键词】: 长江下游; 四大家鱼; 仔稚鱼; 时空分布; 影响因子

【中图分类号】: S932 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227(2023)03-0478-09

【DOI】: 10.11870/cjlyzyyhj202303003

长江是青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙(*Aristichthys nobilis*) (以下简称“四大家鱼”)的主要栖息地和繁殖场所。作为典型的江湖洄游性鱼类, 亲鱼在繁殖季节洄游到长江中繁殖, 受精卵和仔鱼随江水漂流到回水区或附属湖泊中摄食育肥^[1]。自 20 世纪 70 年代初, 水利工程、航道整治和其他沿江开发活动的建设使得鱼类栖息环境遭到破坏, 伴随着渔业捕捞力度加剧, 长江四大家鱼资源量逐渐下降^[2]。刘明典等^[3]对长江中游鱼类早期资源调查结果表明宜昌江段上端两处产卵场规模呈下降趋势且位置向下偏移。2015~2016 年高雷等^[4]在长江

¹ **【收稿日期】**: 2022-04-28; **【修回日期】**: 2022-10-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900903); 农业农村部物种资源保护项目(213013500804)

作者简介: 丁隆强(1995~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为鱼类早期资源. E-mail: 1062203972@qq

* **通讯作者** E-mail: xudp@ffrc

中游调查发现黄石江段四大家鱼仔鱼年均径流量为 16.5 亿尾, 仅占 1986 年的 32.54%。但张国等^[6]通过耳石微结构发现鄂州和武穴江段四大家鱼幼鱼生长速度大于洞庭湖和监利江段, 表明长江中游距离三峡大坝较远的江段更适合四大家鱼的生长。在鄱阳湖和沿江支流汇入的影响下长江下游水文状况更趋向自然状态, 加之众多沙洲分布, 水流平缓, 良好的水文环境和丰富的生物饵料使其成为水生动物优良的栖息场所^[6,7]。

长江下游是指鄱阳湖湖口至入海口约 940 km 的江段, 该江段水流平缓, 江心众多沙洲分布, 水流的冲刷使得江水蕴含丰富的有机物和营养盐, 为水生生物提供优良的栖息和育肥场所^[7]。与长江下游上端相连的鄱阳湖是长江四大家鱼生长发育的主要栖息地, 2014 年湖口水域渔业资源调查中四大家鱼所占渔获物的质量百分比为 57.95%^[8]。长江南京和镇江江段渔业资源调查显示鲢、鳙仍占据群落优势种地位^[9,10]。而靠近长江口的常熟江段仅有鲢常年为优势种^[11]。受潮汐侵入影响, 下游感潮江段水体理化指标的变化可能影响家鱼种群结构和丰度^[6]。为了探究河流-湖泊的连通性和潮汐入侵作用对家鱼仔稚鱼漂流迁移过程的影响, 本文选取靠近鄱阳湖的安庆江段和潮汐侵入程度不同的南京和南通 3 个景观格局差异较大的江段, 以四大家鱼仔稚鱼(初孵仔鱼至鳞片形成期)资源时空格局为研究内容, 探究不同江段的水文条件和生境状况对四大家鱼早期资源补充的影响, 以为长江下游家鱼补充群体保护和鱼类重要栖息地修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间与地点

据长江下游鱼类早期资源调查结果, 仅有的两处四大家鱼产卵场位于湖口和彭泽两江段, 鱼类繁殖期在 4~9 月, 繁殖高峰期出现在 5 月和 7 月^[1,6]。因此参照《河流漂流性鱼卵、仔鱼采样技术规范》^[12]和《河流漂流性鱼卵和仔鱼资源评估方法》^[13]等关于鱼类早期资源的研究方法, 本研究于 2019 年 4 月至 8 月对长江下游安庆、南京和南通江段逐月开展四大家鱼仔稚鱼资源调查, 所有断面每月采集时间持续 7 d 以上。

采样点设置如图 1 所示, 经现场勘查于安庆、南京和南通江段各取一个断面, 分别在采样断面的江心和南北两岸各取一个采样点, 南北两岸采样点距离岸边 5~10 m 左右, 按顺序分别对其编号: 安庆(A)左岸、江心、右岸—A1(30° 29' 5.90" N, 116° 59' 24.67" E)、A2(29° 47' 29.58" N, 116° 59' 40.42" E)、A3(30° 28' 48.59" N, 116° 59' 59.27" E); 南京(B)左岸、江心、右岸—B1(31° 46' 42.42" N, 118° 28' 2.92" E)、B2(31° 46' 35.01" N, 118° 28' 46.07" E)、B3(31° 46' 17.24" N, 118° 29' 30.39" E); 南通江段(C)左岸、江心、右岸—C1(32° 2' 15.47" N, 120° 43' 37.92" E)、C2(31° 1' 6.31" N, 120° 43' 20.62" E)、C3(31° 59' 47.71" N, 120° 42' 59.61" E)。

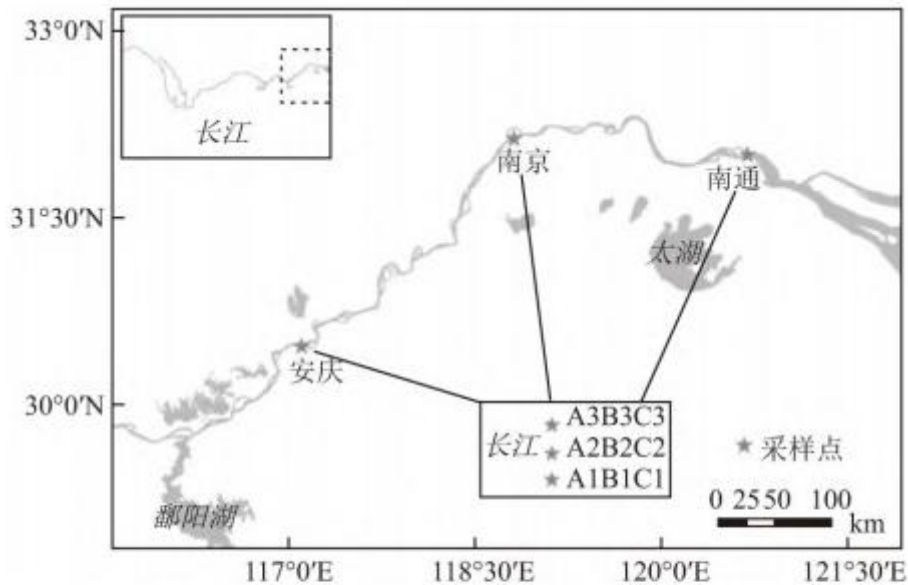


图 1 长江下游四大家鱼仔稚鱼资源采样点设置

Fig. 1 Sampling distribution on four major Chinese carp resources of larvae in lower reaches of Yangtze River

1.2 调查方法和样品的保存鉴定

四大家鱼仔稚鱼定量采集使用圆锥网(网目为 65 目, 网长 2.5 m, 网口面积 0.502 6 m²), 在网口处固定流量计用于测量网口过水量, 网后连接圆柱形鱼苗收集装置。调查期间, 每日 6:00~10:00 之间将网具固定在机动船一侧在江水上层对各采样点进行定量采集一次, 网口拖曳方向与水流方向相反, 船速控制在 2.5 节左右, 每次采集时间持续 3~10 min, 各点位重复两至三次采样。同时使用水质分析仪(Thermo Orion Star A329; Thermo Fisher Scientific Inc, Waltham, MA USA)测定江水水温、浊度和 pH 等环境因子, 使用德国 HYDRO-BIOS 公司数字网口流量计(型号: 438115)记录流量计转数来计算网口过水流量, 江水流速使用 LS45A 型流速仪测定。采样断面的水位和江水径流量数据来分别自安徽省水文信息网的安庆水文站和大通水文站(由于大通镇以下无大型支流汇入长江干流, 故以大通水文站的水位和流量作为长江下游南京和南通江段水文指标)。

采集到的仔稚鱼样品放入冰水中保存, 带回实验室通过形态学方法在 SZX16 奥林巴斯解剖镜下进行种类鉴定, 分类计数并记录发育时期。挑出四大家鱼放入 75% 中性酒精转存, 选取部分样本使用甲醛溶液浸泡后固定拍照, 种类鉴定按照曹文宣等^[14]编写的《长江鱼类早期资源》。对于部分形态破损或难以鉴定确认的物种使用分子方法鉴定, 具体步骤是: 提取样本的基因组 DNA, 基于 CO I (Cytochrome C oxidase Subunit I, 线粒体细胞色素 C 氧化酶亚基 I) 基因条形码, 采用 PCR 扩增目的基因并测序, 将所测结果同已经用成鱼建立的长江鱼类条形码数据库进行比对得到种类鉴定的结果^[15]。

1.3 数据处理与分析

四大家鱼仔稚鱼密度计算方法参考易伯鲁等^[1]的计算方法, 依据所采集四大家鱼仔稚鱼的数量、采集时间、流量计的始末差值和主动网具的网口面积按下列公式处理:

$$Q_i = (C_i \times a \times 0.3) / t \quad (1)$$

$$D_i = N_i / (Q_i \times t) \quad (2)$$

式中： Q_i 为第 i 次采集网具网口的过水流量(m^3/s)； C_i 为第 i 次采集流量计的流量差； a 为主动网具网口面积(m^2)；0.3 为流量计转子螺距(m/r)； t 为每次采集时间(s)； D_i 为第 i 次采集仔稚鱼的密度(ind./100 m^3)； N_i 为第 i 次采集仔稚鱼数量(ind.)。

$$\bar{D} = \left(\sum_{i=1}^n D_i \right) / n \quad (3)$$

式中： \bar{D} 为采集断面内所有采集点仔稚鱼的平均密度(ind./100 m^3)； n 为采集断面所设点位数量。

相对重要性指数：依据主动网具采集的不同种类仔稚鱼的数量占比和出现的频率计算各种仔稚鱼的相对重要性指数(Index of Relative Importance, IRI)：

$$IRI = N\% \times F\% \times 10\ 000 \quad (4)$$

式中： $N\%$ 代表采样期间某种仔稚鱼数量占比； $F\%$ 代表采样期间某种仔稚鱼出现的频率，依据 IRI 将仔稚鱼分成：优势种($IRI \geq 100$)，常见种($IRI \geq 10$)，少见种($IRI < 10$)^[16]。

数据处理使用 Excel 2016 软件，使用 Origin 2018 软件制作直方图等分析图。数据分析使用 SPSS25.0，通过 Kruskal-Wails 非参数检验分析不同采样点仔稚鱼的时空分布差异，使用 Pearson 相关性检验分析家鱼仔稚鱼与水文环境因子之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 长江下游产漂流性卵仔稚鱼种类组成

2019 年 4 月下旬至 8 月中旬调查时间内，共采集产漂流性卵鱼类仔稚鱼 107 990 尾，隶属于 2 目 2 科 19 种，主要经济鱼类包括鳊、草鱼、赤眼鳟、鲢、翘嘴鲃、鳙和鳊共 7 种。其中四大家鱼仔稚鱼 972 尾，包括鲢 654 尾，鳙 168 尾，草鱼 148 尾，青鱼仅 2 尾。安庆、南京和南通江段四大家鱼平均每日捕捞量依次为 8.5、1.9 和 1.2 ind./d ，各江段四大家鱼仔稚鱼捕捞数量分别占总仔稚鱼捕捞量的 0.96%、0.72%和 0.38%。长江下游家鱼仔稚鱼种类结构结果显示(表 1)，鲢的数量百分比在各江段均为最高；草鱼数量百分比在安庆江段占比为 16.04%，而在南京江段占比极小，南通江段没有采集到草鱼；各江段鳙数量百分比较为一致；青鱼仅在安庆江段采集到。

2.2 长江下游各江段四大家鱼仔稚鱼丰度时间变化


2019年长江下游各江段四大家鱼仔稚鱼丰度的时间动态有显著差异(图2)。安庆江段月平均密度为2.57 ind./100 m³,变化幅度为0.26~7.37 ind./100 m³,采样期间呈现周期性涨落,于7月达到峰值;南京江段月平均密度为0.90 ind./100 m³,变化幅度为0.32~4.18 ind./100 m³,采样期间仅六月和七月采集到家鱼仔稚鱼,峰值出现在6月;南通江段月平均密度为0.60 ind./100 m³,变化幅度为0.40~1.51 ind./100 m³。采样期间于6月达到峰值,随后逐月下降。

2.3 长江下游各江段近岸和江心四大家鱼仔稚鱼密度比较

对长江下游安庆、南京和南通江段各采样点四大家鱼仔稚鱼密度数据进行差异显著性分析,验证家鱼仔稚鱼密度随断面横向分布的差异性。Kruskal-Wallis 检验结果表明,安庆江段各采样点家鱼仔稚鱼密度存在显著性差异(P=0.006<0.05, n=105),横向分布呈现出左岸>右岸>江心,平均漂流密度依次为6.44、0.66、0.37 ind./100 m³;南京江段各采样点仔稚鱼密度同样呈现显著性差异(P=0.028<0.05, n=71),横向分布表现出右岸>左岸>江心,平均漂流密度依次为1.57、0.87、0.37 ind./100 m³;南通江段则无显著性差异(P=0.451>0.05, n=53),但仍呈现出两岸密度高于江心,横向分布为左岸>右岸>江心,平均漂流密度依次为1.48、0.64、0.44 ind./100 m³(图3)。

对安庆江段进行实地勘察并使用无人机航拍沿江岸线,初步分析显示2019年安庆皖河口上游江段船只航道分布于右岸,船只过往频繁,左岸船只均从皖河驶入七里湖内,鲜有船只活动于调查断面;同时左岸岸线较右岸相比更趋向自然状态,沿岸水生植被分布更高。皖河口沿岸水域多为泥沙地质且大面积被芦苇等水生植物覆盖,右岸则存在大量抛石且有一定程度的农耕活动。由图4可见,安庆采样断面3个点位仔稚鱼密度随江水流量改变其变化趋势较为一致,其中左岸采样点仔稚鱼密度显著高于右岸和江心的采样点。

表1 2019年长江下游产漂流性卵鱼类仔稚鱼种类组成

序号	种类	安庆		南京		南通	
		数量	IRI	数量	IRI	数量	IRI
鲤形目 Cypriniformes							
鲤科 Cyprinidae							
1	贝氏 Hemiculter bleekeri	74 404	8 770.33	1 495	3 389.06	16 420	6 398.20
2	鳊 Parabramis pekinensis	567	43.41	27	15.30	36	4.32
3	 Hemiculter leucisculus	1 518	75.63	1 514	2 574.10	1 583	759.18
4	草鱼 Ctenopharyngodon idellus	146	8.51	2	0.57		
5	赤眼鳟 Squaliobarbus curriculus	8	0.07	3	0.85		
6	寡鳞飘鱼 Pseudolaubuca engraulis	1313	68.61			254	38.07
7	华鲮 Sarcocheilichthys sinensis	41	0.75				
8	鲢 Hypophthalmichthys molitrix	604	51.38	30	34.00	20	3.00

9	蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	3	0.01				
10	飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	1 529	105.91	45	82.88	561	218.60
11	翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	92	1.90	32	27.20	112	43.64
12	青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	2	0.01				
13	蛇鲂 <i>Saurogobio dabryi</i>	167	9.13	10	5.67	50	13.49
14	似刺鳊鲂 <i>Paracanthobrama guichenoti</i>	6	0.02				
15	银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	3728	389.6	351	795.69	513	184.52
16	银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	310	13.56				
17	鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	158	3.84	6	3.40	4	0.36
18	紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniaps</i>	75	3.10			2	0.12
	鲈形目 <i>Perciformes</i>						
	鲈科 <i>Serranidae</i>						
19	鳊属 <i>Siniperca</i>	165	10.83	14	9.92	70	23.08

表 2 2019 年长江下游各江段四大家鱼仔稚鱼种类组成

物种	安庆	南京	南通	百分比 (%)
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	2	/	/	0.21
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	146	2	/	15.23
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	604	30	20	67.28
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	158	6	4	17.28

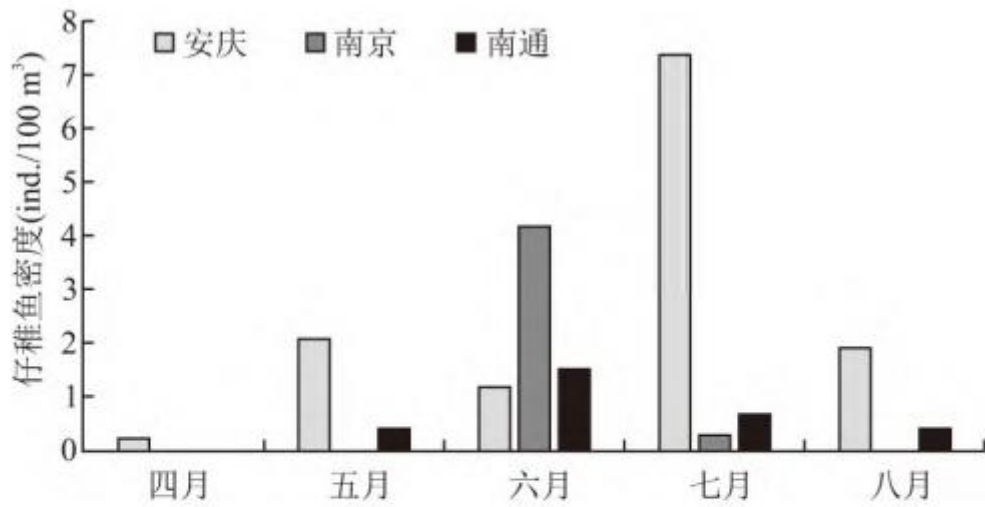


图 2 2019 年长江下游安庆、南京和南通江段四大家鱼仔稚鱼密度时间变化

Fig. 2 Daily in density of four Chinese major carp larvae at Anqing, Nanjing and Nantong in lower reaches of Yangtze River in 2019

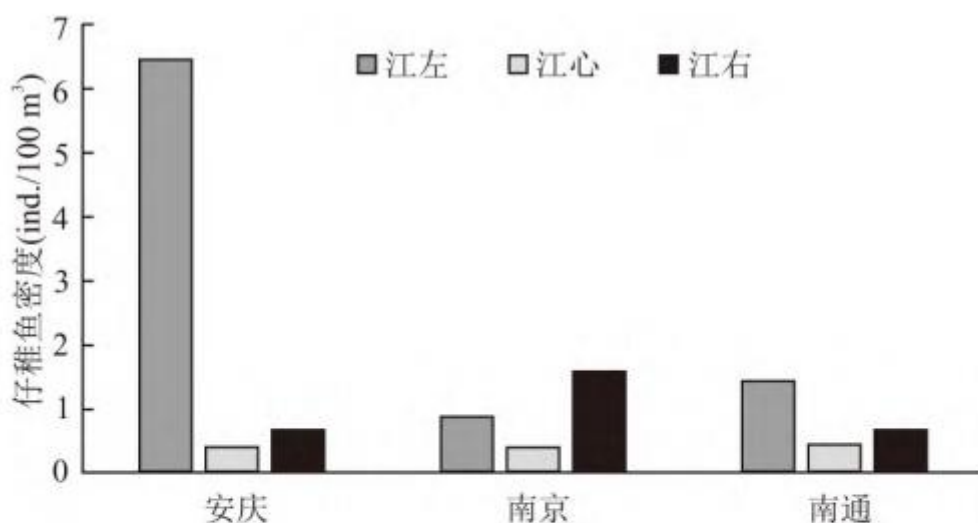


图3 长江下游各江段近岸和江心四大家鱼仔稚鱼密度

Fig. 3 Larval densities of four major Chinese carps in nearshore and river-center waters in three sampling sites of lower reaches of Yangtze River

2.4 四大家鱼仔稚鱼丰度与环境因子的变化关系

调查期间, 安庆江段水温范围在 18.9~29.7℃, 平均水温为 24.0℃±3.4℃; 南京江段水温范围在 23.4℃~31.0℃, 平均水温为 25.1℃±3.3℃; 南通江段水温范围在 21.3℃~31.2℃, 平均水温为 26.3℃±3.1℃。江水径流量变化范围 25 400~68 400 m³/s, 日上涨率最大值为 3 200 m³/s/d; 水位变化范围 9.45~16.56 m, 日上涨率最大值为 0.97 m/d。

表3 2019年长江安庆江段左、右两岸生境特征

	左岸	右岸
岸线	硬泥和细沙地质; 沿江分布芦苇和菹草等多种水生植物, 植被覆盖率高	硬泥底质存在大量抛石; 沿岸分布农田, 农耕垃圾较多; 植被种类单一
江面情况	鲜有船只; 江水平均流速为 0.21 m/s	主航道, 船只往来频繁; 江水平均流速为 0.23 m/s

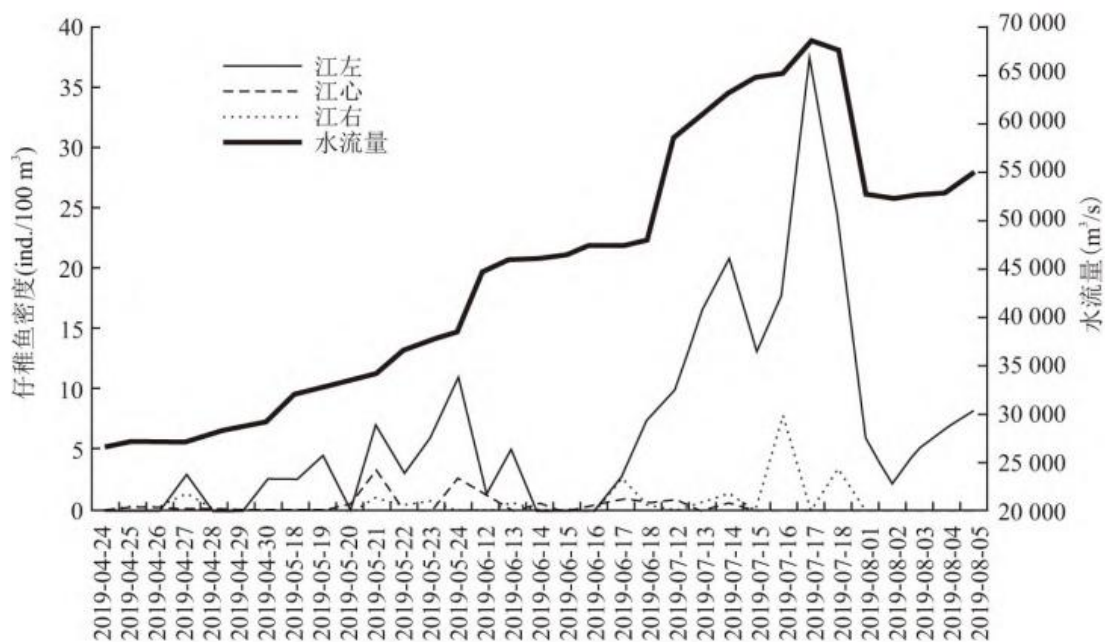


图 4 2019 年安庆江段四大家鱼仔稚鱼空间对比

Fig. 4 Spatial comparison of four major Chinese carps larvae in Anqing River in 2019

通过对各江段四大家鱼仔稚鱼日丰度与环境因子进行 Pearson 相关性分析, 结果表明安庆江段四大家鱼仔稚鱼日丰度与水温和水位日上涨率呈显著正相关 ($P < 0.05$); 南京江段家鱼仔稚鱼日丰度与水温和水流量日上涨率均呈显著正相关 ($P < 0.05$); 南通江段家鱼仔稚鱼日丰度与水位和水流量日上涨率呈显著正相关 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 长江下游产漂流性卵鱼类仔稚鱼资源现状

综合本研究 and 已有文献资料, 长江下游鱼类早期资源物种组成较为丰富, 其中大多数为产漂流性卵鱼类。2016 年安庆江段采集到仔稚鱼 49 种, 产漂流性卵鱼类有 20 种^[6]。本研究共采集到 19 种产漂流性卵鱼类, 与历史数据相比种类组成具有一定的相似性, 如贝氏^鲮、银鲴和飘鱼等, 并在南京和南通江段均有采集。说明长江下游当前生境能够满足这些鱼类摄食生长, 成为下游鱼类早期资源的重要补充种类。

2003 年三峡大坝蓄水后长江干流四大家鱼卵苗成色发生较大变化, 呈现出以滤食浮游生物类的鲢比例迅速增加^[17]。本研究结果中四大家鱼仔稚鱼种类组成以鲢数量百分比最高 (67.28%), 占据绝对优势, 与长江中游调查结果相一致。刘明典和高雷对宜昌和黄石江段调查发现鲢卵苗数量在四大家鱼中占比分别为 77.0% 和 62.4%^[3,4]。但鳙占比有所不同, 并且较 2013 年^[6]相比有所上升, 这可能与长江下游增殖放流活动有关。

3.2 长江下游四大家鱼仔稚鱼丰度的时空变化特征

三峡大坝运行前长江干流四大家鱼繁殖时间一般始于 4 月底, 5 月达到产卵高峰^[1]。大坝运行后下泄的低温水可能会影响家鱼亲本性腺发育, 导致自然繁殖时间推迟。刘明典等人对长江中游宜昌江段连续监测的结果中四大家鱼产卵高峰集中时间为 6

月初及中下旬^[3]。本研究中安庆江段自4月下旬开始出现家鱼仔稚鱼,并在5月下旬和7月中旬出现两次高峰期;南京和南通江段家鱼仔稚鱼高峰期分别为6月下旬和7月中旬。安庆江段家鱼仔稚鱼出现时间无明显推迟,高峰期持续时间更长且峰值更大。Werner等^[18]研究发现鲢更加趋向于低流速生境作为栖息地。长江下游水流缓慢,同时距离家鱼产卵场较近的安庆江段拥有高密度的浮游生物饵料^[19,20],是仔稚鱼较为合适的摄食生长场所。此外在潮汐影响下使得靠近长江口的南通江段水体盐度较高,不适宜淡水鱼类卵苗发育生长^[21]。在江湖连通和潮汐入侵的共同作用下安庆江段为仔稚鱼觅食生长提供良好的栖息条件,因此家鱼仔稚鱼更多地聚集在安庆江段,使得安庆-南通江段仔稚鱼密度逐渐减小。

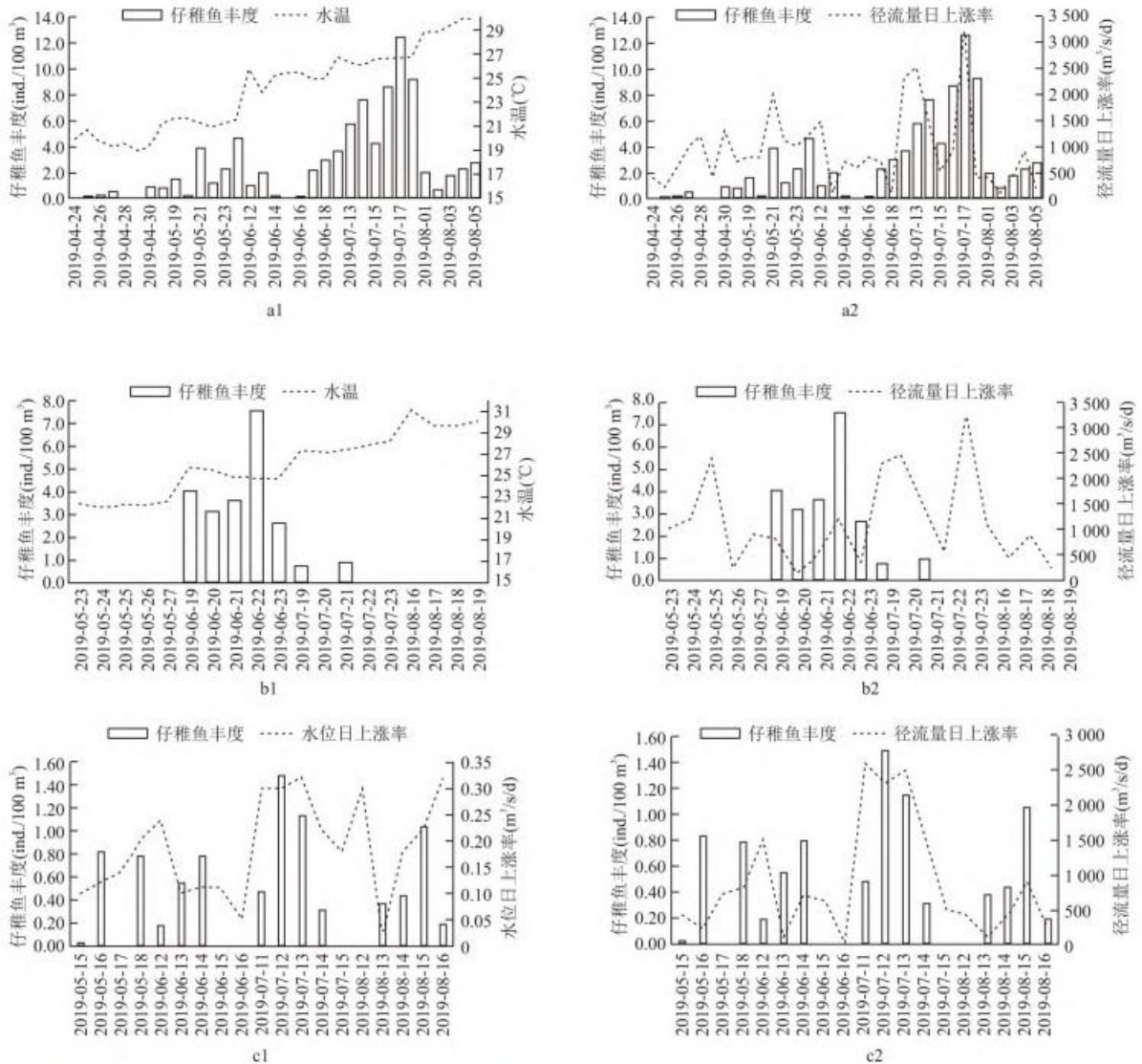


图5 长江下游安庆(a1, a2)、南京(b1, b2)和南通(c1, c2)江段四大家鱼仔稚鱼日丰度与环境因子变化关系
 Fig. 5 Relationship between density of larvae and environmental factors in Anqing(a1, a2), Nanjing(b1, b2) and Nantong(c1, c2) in lower reaches of Yangtze River

仔稚鱼时空分布特征往往存在一定的规律,鱼类早期阶段是一个随洪水漂流扩散过程,在河道断面分布特征主要和河流形态及其断面水力学密切相关^[22]。李世建等^[23]和徐薇等^[24]研究表明仔稚鱼水平分布与断面各点的河床地形和流速差异有关。本研究中安庆江段3个采样点四大家鱼仔稚鱼密度均表现近岸水域家鱼仔稚鱼密度高于江心。采样断面属于顺直型江段,江心流速大,两岸流速缓慢且左右两岸无较大差异,其南北两岸家鱼仔稚鱼丰度可能受生境差异等因素影响,北岸拥有较高的植被覆盖

率, 相比南岸航道及农耕等人类活动所造成的污染可以提供更为丰富的生物饵料, 有利于仔稚鱼早期的摄食活动。

3.3 四大家鱼仔稚鱼丰度与环境因子的关系

研究表明青鱼、草鱼、鲢和鳙 4 种鱼类均为聚群繁殖, 其繁殖行为和对环境条件的需求类似, 因此作为研究对象通常被视为一个整体^[25]。水温是影响鱼类生长的主要因子^[26]。本研究中长江下游水温波动范围在 18.97℃~31.03℃, 符合家鱼发育生长的水温条件。周磊等人研究表明水温升高可以促进鱼类摄食强度增加, 因此在适宜范围内较高的水温有利于鱼类存活和快速生长^[27]。相关性检验结果表明安庆和南京江段四大家鱼仔稚鱼丰度和水温呈显著正相关, 随着水温升高, 长江下游四大家鱼仔稚鱼密度均有所增加。此外江水径流量和水位的上涨是促进家鱼繁殖活动的重要因素^[28]。家鱼产卵多发生在涨水期间, 2019 年湖口江段江水径流量和水位在 5 月中旬和 7 月中旬出现大幅度的上涨, 此时四大家鱼卵密度也达到峰值^[29]。随着夏季雨量增加形成的季节性洪水将中游鱼苗携带到饵料丰富的下游江段, 从而提高仔稚鱼存活率和摄食率。本文运用相关性分析表明长江下游四大家鱼仔稚鱼丰度与水位和水流量的日上涨率呈显著正相关, 即水流量和水位的上涨促进长江下游仔稚鱼数量同步增长。

参考文献

- [1] 易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 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[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988:1-46. 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[M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1988:1-46.
- [2] 陈大庆, 刘绍平, 段辛斌, 等. 长江中上游主要经济鱼类的渔业生物学特征[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6):618-622. CHEN D Q, LIU S P, DUAN X B, et al. A preliminary study of the fisheries biology of main commercial fishes in the middle and upper reaches of the Yangtze River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6):618-622.
- [3] 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. LIU M D, GAO L, TIAN H W, et al. Status of fishes at the early life history stage in the Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(1):147-158.
- [4] 高雷, 胡兴坤, 杨浩, 等. 长江中游黄石江段四大家鱼早期资源现状 [J]. 水产学报, 2019, 43(6):1498-1506. GAO L, HU X K, YANG H, et al. Resources of the four major Chinese carps of early life history stages at Huangshi section in the middle reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(6):1498-1506.
- [5] 张国, 吴朗, 段明, 等. 长江中游不同江段四大家鱼幼鱼孵化日期和早期生长的比较研究 [J]. 水生生物学报, 2013, 37(2):306-313. ZHANG G, WU L, DUAN M, et al. Hatch dates and early growth for juveniles of the four major carps from different sections of the middle Yangtze River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(2):306-313.
- [6] 任鹏. 长江下游鱼类早期资源的分布与周年动态研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2015. REN P. Distribution and annual dynamics of early life history resources of fish in the lower reach of the Yangtze River [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015.
- [7] 徐东坡. 长江下游鱼类群落结构及物种多样性的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2010. XU D P. Study on fish community composition and biodiversity in lower reaches of Changjiang River [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.

-
- [8] 王生, 段辛斌, 陈文静, 等. 鄱阳湖湖口鱼类资源现状调查 [J]. 淡水渔业, 2016, 46(6):50-55. WANG S, DUAN X B, CHEN W J, et al. Status and changes of fish resources in the Hukou area of Poyang Lake [J]. Freshwater Fisheries, 2016, 46(6):50-55.
- [9] 刘小维, 张彤晴, 沈冬冬, 等. 2017 年长江南京龙潭段渔获资源调查 [J]. 水产养殖, 2019, 40(4):45-48. LIU X W, ZHANG T Q, SHEN D D, et al. The fisheries resources from nanjinglongtan section of the Yangtze River in 2017 [J]. Journal of Aquaculture, 2019, 40(4):45-48.
- [10] 曹过, 李佩杰, 王媛, 等. 长江下游镇江和扬州北汊江段鱼类群落多样性研究 [J]. 水生态学杂志, 2018, 39(6):73-80. CAO G, LI P J, WANG Y, et al. Study on fish community diversity in the north of hechangzhou section of the Lower Yangtze River [J]. Journal of Hydroecology, 2018, 39(6):73-80.
- [11] 徐东坡, 刘凯, 张敏莹, 等. 2003-2010 年长江下游两江段鱼类群落结构特征的年际变动 [J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(9):1156-1164. XU D P, LIU K, ZHANG M Y, et al. Interannual variation of the fish community composition in Anqing and Changshu section in the lower reaches of the Changjiang River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(9):1156-1164.
- [12] 中华人民共和国农业部. 河流漂流性鱼卵、仔鱼采样技术规范: SC/T 9407-2012 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2013. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical specification for drifting fish eggs and larvae sampling in river: SC/T 9407-2012 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [13] 中华人民共和国农业部. 河流漂流性鱼卵仔鱼资源评估方法: SC/T 9427-2016 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2016. MINISTRY OF AGRICULTURE OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. Stock assessment for drifting fish eggs and larvae in river: SC/T 9427-2016 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.
- [14] 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. 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.
- [15] 高雷. 长江口南支鱼类早期资源多样性与时空格局研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2014. GAO L. Study on the early diversity and spatial-temporal pattern of fish resources in the southern branch of the Yangtze River Estuary [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2014.
- [16] 李新丰, 丁隆强, 何晓辉, 等. 长江安庆段仔稚鱼群落特征调查研究 [J]. 水生生物学报, 2019, 43(6):1300-1310. LI X F, DING L Q, HE X H, et al. The community characteristics of larvae and juvenile fish in the Anqing section of the Yangtze River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(6):1300-1310.
- [17] 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. DUAN X B, CHEN D Q, LI Z H, et al. Current status of spawning grounds of fishes with pelagic eggs in the middle reaches of the Yangtze River after impoundment of the Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(4):523-532.
- [18] WERNER J P, DEAN Q J, PEGG M A, et al. Spatial variability of silver carp population demographics in a large tributary river [J]. North American Journal of Fisheries Management, 2022, 42(4):882-892.

-
- [19] 沈蓉蓉. 长江下游干流浮游植物分布格局及其与环境因子相关性 [D]. 上海: 上海师范大学, 2019. SHEN R R. Distribution pattern of phytoplankton in the lower reaches of the Yangtze River and its correlation with environmental factors [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2019.
- [20] 郭欧阳. 长江下游干流浮游动物群落结构及其与环境因子相关性的研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2018. GUO O Y. Zooplankton community structure and its relation to environmental factors in the lower reaches of the Yangtze River [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2018.
- [21] 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.
- [22] DUDLEY R K, PLATANIA S P. Flow regulation and fragmentation imperil pelagic-spawning riverine fishes [J]. Ecological Applications: Bulletin of the Ecological Society of America, 2007, 17(7): 2074-2086.
- [23] 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. LI S J, CHEN D Q, LIU S P, et al. Spatial and temporal distribution patterns of eggs, fish larvae and juveniles at Jianli cross-section in the middle reaches of the Yangtze River [J]. Freshwater Fisheries, 2011, 41(2): 18-24, 9.
- [24] 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. XU W, LIU H G, TANG H Y, et al. Effects of ecological operation of Three Gorges Reservoir on fish eggs and larvae in Shashi section of the Yangtze River [J]. Journal of Hydroecology, 2014, 35(2): 1-8.
- [25] 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]. 北京: 中国科学院大学, 2013. LI M Z. Life history strategy of Yangtze River fish and its adaptation to the environment in its early life history stage [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013.
- [26] 黄良敏. 闽江口和九龙江口及其邻近海域渔业资源现状与鱼类多样性 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011. HUANG L M. Study on fishery resources and fish diversity in Minjiang River Estuary and Jiulong River Estuary and their adjacent waters [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [27] 周磊, 李育森, 施军, 等. 基于水声学探测的洪潮江水库鱼类资源空间分布及其与环境因子的相关性 [J]. 渔业科学进展, 2021, 42(1): 1-10. ZHOU L, LI Y S, SHI J, et al. Spatial distribution of fish resources and its correlation with environmental factors in the Hongchaojiang Reservoir based on hydroacoustic detection [J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(1): 1-10.
- [28] 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.
- [29] 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. 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.