

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19364

长江安庆新洲江段仔稚鱼的群聚特征

田佳丽¹, 代培², 任鹏³, 郭文君¹, 朱宗波¹, 李新丰², 刘凯^{1, 2, 3}

1. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

2. 农业农村部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081;

3. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081

摘要: 安庆新洲江段是长江下游典型的干流-沙洲生境, 为掌握该水域仔稚鱼群聚特征, 于 2018 年 4 月 15 日—8 月 4 日开展了逐日调查。调查期间, 共采集鉴定仔稚鱼 121246 尾, 隶属于 6 目 8 科 34 种, 贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*) 为第一优势种。新洲南汉、北汉分别采集仔稚鱼 79338 尾和 41908 尾, 数量占比依次为 65.44% 和占 34.56%。所有渔获物中, 产漂流性卵鱼类物种数最多(16 种, 47.06%), 产浮性卵鱼类数量最多(92623 尾, 76.39%)。就时间特征而言, 南汉、北汉仔稚鱼丰度日变化趋势基本一致, 表现出与水位上涨高度关联, 共监测到三次高峰, 其中 7 月 13 日达到峰值(2001.28 ind/100 m³); 就空间特征而言, 近岸采样点丰度高于河道中泓采样点, 南汉丰度总体高于北汉。冗余分析结果显示, 与新洲江段仔稚鱼丰度相关性较强的环境因子为水位、浊度、水温和透明度, 其中水位为主要的正相关因子。空间尺度的聚类分析将新洲江段 6 个采样点分为 3 个群组, 表明新洲江段不同采样点仔稚鱼群聚结构差异显著($R=0.818$, $P=0.017$)。研究表明, 安庆新洲江段仔稚鱼补充量显著大于上游输入量, 新洲对该江段仔稚鱼群聚特征具有显著影响, 总体表现为南汉的鱼类繁殖条件显著优于北汉。研究结果补充了安庆新洲江段鱼类早期资源的基础数据, 为长江下游渔业资源评估与保护提供了依据。

关键词: 安庆新洲; 沙洲; 仔稚鱼; 群聚特征; 丰度变化; 环境因子; 长江

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)08-0916-11

长江安庆段上始皖河口, 下至前江口, 全长约 25 km^[1], 是长江下游最重要的渔业水域之一, 也是长江下游段水生动物的关键栖息地^[2-3], 因其具有重要的生态功能, 该江段设有安庆市长江江豚(*Neophocaena asiaeorientalis*)自然保护区和长江刀鲚(*Coilia nasua*)国家级水产种质资源保护区等多个重要的水生生物保护区。安庆江段属于长江下游典型的分汊型河段, 江水主流被新洲分为南北两支, 北汊为主航道所在^[4]。新洲为东西向狭长、南北向扁窄的冲积洲, 属于长江下游典型的沙洲环境。研究表明, 沙洲等复杂的河道形态为很多水生生物提供栖息、觅食、繁殖和掩蔽场所^[5-6]。

鱼类早期资源(fish resources of early life history stages)指处于卵(胚胎)、仔鱼和稚鱼 3 个早期生活史阶段的鱼类资源^[7], 通过研究仔稚鱼群聚特征, 可以掌握仔稚鱼种群数量的动态变化过程, 探索出鱼类在仔稚鱼阶段更适宜生存的环境条件, 并评估可开发利用的鱼类种群数量, 进而支撑管理部门对渔业资源进行保护和合理利用。早在 20 世纪 60 年代, 中国学者易伯鲁等^[8]、长江四大家鱼产卵场调查队^[9]建立了鱼类早期资源调查方法, 并详细研究了长江四大家鱼的早期资源状况。近年来, 对长江流域的鱼类早期资源研究相对较多, 主要集中在长江干流, 调查范围则覆盖了长江中

收稿日期: 2019-12-24; 修订日期: 2020-02-06.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900901); 农业财政专项“长江渔业资源与环境调查”(CJDC-2017-22); 国家自然科学基金项目(31702345); 长江三峡工程生态与环境监测系统水生生物与渔业环境监测重点站(下游站)监测项目(JJ[2017]-010).

作者简介: 田佳丽(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态学. E-mail: 574331597@qq.com

通信作者: 刘凯, 研究员. E-mail: liuk@ffrc.cn

上游^[10-13]、下游^[14]及河口^[15], 李建等^[16]研究了河段形态和水流特征与四大家鱼产卵场的关系。其中长江下游段的有关研究相对较少, 关于长江下游干流沙洲生境仔稚鱼群聚特征的研究未见报道。

基于上述科学问题和研究背景, 本研究选取长江下游安庆新洲江段作为本次鱼类早期资源的调查水域, 旨在了解新洲江段仔稚鱼群聚特征, 探究沙洲生境仔稚鱼时空分布特征, 为长江下游鱼类早期资源研究提供基础数据, 为渔业资源保护和可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点

在长江安庆新洲江段南汊和北汊各设置 1 个调查断面, 分别在每个断面的南岸(距南岸约 50 m)、河道中泓(离岸约 500 m)和北岸(距北岸约 50 m)各设置 3 个采样点(图 1), 共 6 个采样点, 在各采样

点的表层(0~1 m)采集仔稚鱼。调查期为 2018 年 4 月 15 日至 2018 年 8 月 4 日, 除去因恶劣天气无法出船, 实际采样共 89 天; 在各采样日, 每个采样点每天调查一个频次, 由两艘调查船分别在南北两汊同步采样, 采样时间为每个采样日的 8:00~10:00 am, 采集时间根据鱼苗丰度变化调整为 3~8 min。

1.2 样品采集与处理

采样方法按照《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[17]进行, 同时参照易伯鲁等^[8]、长江四大家鱼产卵场调查队^[9]方法; 仔稚鱼鉴定方法参照文献^[18]。采样选用主动网具: 大型浮游生物网(直径 80 cm, 网深 2.5 m, 网目 40 目, 孔径 0.25 mm), 网后连接圆柱形集苗器(长 20 cm, 直径 10 cm)。过水量采用青岛水德仪器生产的 438115 型数字网口流量计测量, 每次采样同时记录拖网时间、水温、透明度等数据。

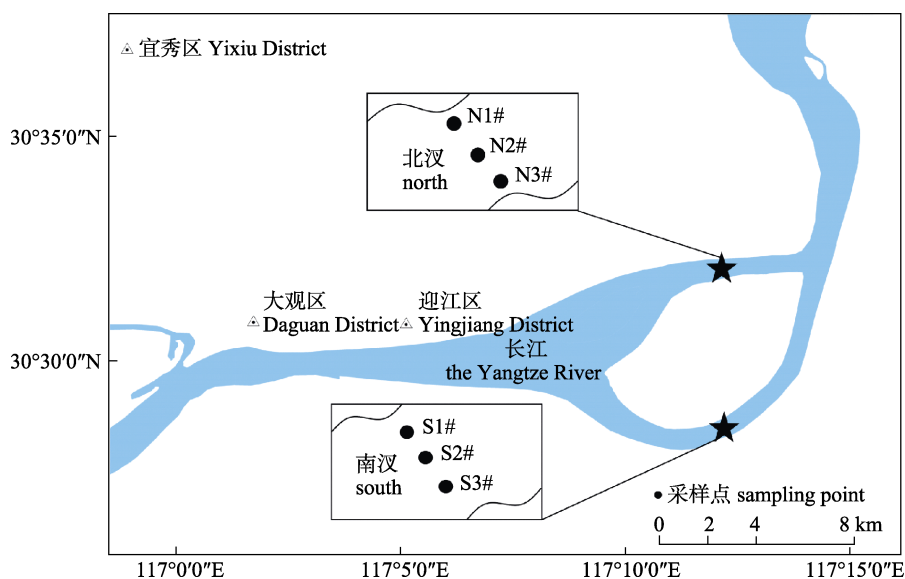


图 1 长江新洲江段鱼类早期资源采样点设置示意简图

Fig. 1 The location of sampling sites on fish resources of early life history stages in Xinzhou section of the Yangtze River

现场采集的仔稚鱼保存于冰水中, 带回实验室冲洗去除杂质, 通过形态学方法在奥林巴斯解剖镜 SZX16 下进行物种鉴定并计数, 对形态破损和无法确定物种的仔稚鱼进行编号保存于 75%中性酒精中, 提取 DNA, 经 PCR 扩增测序, 然后在 NCBI 数据库中进行比对确定物种。

1.3 水文资料的收集及数据处理

调查期间断面的水位和水流量数据分别来自

安徽水利信息网(<http://www.ahsl.gov.cn/>), 仔稚鱼丰度计算依据下列公式处理^[19]:

$$Q_i = (C_i \times a \times 0.3) / t; D_i = N_i / Q_i \times t$$

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 次采集流量计的转数差; a 为网具网口面积(m^2); 0.3 为 438115 型流量计的常数, t 为每次采集的时间(s); D_i 为第 i 次采集仔稚鱼的丰度(ind/m^3); N_i 为第 i 次采集仔稚鱼的数量(ind)。

依据采集的仔稚鱼数量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):

$$IRI=N\% \times F\% \times 10000$$

式中, $N\%$ 代表某种仔稚鱼数量占其群聚总数量的比例, $F\%$ 代表调查期间某种仔稚鱼出现的频率。依据 IRI 值将仔稚鱼的优势度分成: 优势种($IRI \geq 100$), 常见种($100 > IRI \geq 10$), 少见种($IRI < 10$)^[20]。

1.4 群聚结构分析

用 PRIMER 5.0 进行聚类分析(cluster analysis)和非参数多维尺度排序(non-metric multidimensional scaling, MDS)分析仔稚鱼群聚的空间动态, 并通过 ANOSIM 对不同群聚矩阵间差异显著性进行检验^[21-24]。用胁强系数(stress)检验 MDS 分析结果的优劣^[25]。

1.5 环境因子分析

将水环境因子与 12 种($IRI \geq 10$)仔稚鱼丰度构成环境因子与物种丰度矩阵, 首先对仔稚鱼丰度进行趋势对应分析(DCA), 根据每个轴的梯度长度(LGA)选择适宜的排序方法。根据 DCA 结果, 本文采用线性模型的 RDA 分析。由于仔稚鱼丰度和环境因子之间的数据存在很大的差异性, 离散程度高, 为了降低极端数据带来的负面影响, 提

高数据的正态性和方差齐性, 对仔稚鱼丰度和环境因子数据均进行 $\lg(X+1)$ 转化^[26], 并且通过蒙特卡洛检验(Monte-Carlo permutation test, $P < 0.05$)来筛选出具有重要且独立作用的最少变量组合, 用于最终的 RDA 分析^[27]。

2 结果与分析

2.1 物种组成

本次调查共采集到仔稚鱼 121246 尾, 鉴定出 6 目 8 科 34 种。其中, 南汊采集仔稚鱼 79338 尾, 隶属于 6 目 8 科 33 种, 占总渔获量的 65.44%; 北汊采集仔稚鱼 41908 尾, 隶属于 6 目 8 科 33 种, 占总渔获量的 34.56%。南汊和北汊调查到的仔稚鱼物种组成差异不大, 均为鲤形目物种数最多(26 种), 主要包括贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)、似鳊(*Pseudobrama simoni*)和鲮(*Hemiculter leucisculus*)等。根据产卵方式划分, 以产漂流性卵鱼类物种数最多(16 种), 以产浮性卵鱼类数量占比最大(76.39%)(表 1)。南汊和北汊均出现 5 种优势种, 优势种数量占总数量的比例分别为 96.92%和 94.52%; 贝氏鲮、似鳊、鲮和子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)是南汊、北汊共有优势种, 其中贝氏鲮占绝对优势(表 2)。

表 1 新洲江段仔稚鱼物种组成
Tab.1 Species composition of larvae and juvenile fish in Xinzhou section of the Yangtze River

物种 species		数量 quantity		产卵方式 spawning method
		南汊 south	北汊 north	
鲱形目 Clupeiformes				
鳀科 Engraulidae	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	4393	632	FE
颌针鱼目 Beloniformes				
鱈科 Hemirhamphidae	间下鱈 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	363	146	DE
胡瓜鱼目 Osmeriformes				
银鱼科 Salangidae	陈氏短吻银鱼 <i>Salangichthys tangkahkeii</i>	37	28	DE
鲤形目 Cypriniformes				
鲤科 Cyprinidae	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	6	13	DE
	贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	56403	30923	FE
	鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	162	195	PE
	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	5517	2690	PE
	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	48	46	PE
	赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	9	14	PE
	达氏鲃 <i>Culter dabryi</i>	1	4	DE
	鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	15	13	PE
	寡鳞鳊 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	430	1425	PE

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)				
	物种 species	数量 quantity		产卵方式 spawning method
		南汊 south	北汊 north	
	花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>	7	4	DE
	华鲮 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	21	8	PE
	黄尾鲮 <i>Xenocypris davidi</i>	260	254	DE
	鲫 <i>Carassius auratus</i>	34	28	DE
	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	2	—	DE
	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	15	9	PE
	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	34	15	DE
	蒙古鲃 <i>Culter mongolicus</i>	6	20	DE
	飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	263	181	DE
	翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	17	54	PE
	蛇鲈 <i>Saurogobio dabryi</i>	87	51	PE
	似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	7993	3344	PE
	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	—	1	PE
	细鳞鲮 <i>Plagiognathops microlepis</i>	132	55	DE
	兴凯鲮 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	3	11	DE
	银鲮 <i>Xenocypris argentea</i>	310	328	PE
	银鲈 <i>Squalidus argentatus</i>	21	14	PE
	鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	13	21	PE
鳅科 Cobitidae	紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniaps</i>	7	9	PE
鲈形目 Perciformes				
鲮科 Serranidae	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	134	138	FE
虾虎鱼科 Gobiidae	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	2589	1229	DE
鲇形目 Siluriformes				
鲿科 Bagridae	黄颡鱼 <i>Pelteobaggrus fulvidraco</i>	6	5	DE

注: 产卵类型: 沉性卵(DE), 浮性卵(FE), 漂流性卵(PE).
Note: Spawning patterns: demersal eggs (DE), floatability eggs (FE), pelagic eggs (PE).

表 2 新洲江段仔稚鱼优势种组成
Tab. 2 Dominant species composition of larval and juvenile fish in Xinzhou section of the Yangtze River

物种 species	南汊 south		北汊 north	
	数量 quantity	相对重要性指(IRI) index of relative importance	数量 quantity	相对重要性指(IRI) index of relative importance
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	56403	6709.81	30923	7047.15
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	7993	815.03	3344	600.70
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	5517	585.99	2690	454.37
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	4393	460.39	632	94.89
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	2589	322.66	1229	286.67
寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	430	28.01	1425	168.10
间下鱊 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	363	25.70	146	19.18
飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	263	20.11	181	16.01
银鲮 <i>Xenocypris argentea</i>	310	18.44	328	41.33
黄尾鲮 <i>Xenocypris davidi</i>	260	13.62	254	28.60
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	—	—	138	17.39
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	—	—	195	13.07

注: 优势种 IRI≥100, 常见种 100>IRI≥10.
Note: Dominant species IRI≥100, common species IRI≥10.

2.2 仔稚鱼丰度时空变化

2.2.1 仔稚鱼丰度的时间特征 新洲江段仔稚鱼丰度的变化范围为 0.60~2001.38 ind/100 m³, 平均丰度为 343.87 ind/100 m³。南汊、北汊仔稚鱼丰度日变化趋势基本一致, 均表现出与水位上涨的高度关联。调查共出现了 3 次明显的峰值, 分别出现在 5 月 30 日、7 月 13 日和 8 月 1 日, 对应的仔稚鱼丰度分别为 655.30 ind/100 m³、2001.28 ind/100 m³、863.07 ind/100 m³。在 5 月 30 日之前, 仔稚鱼的丰度整体呈现出上升趋势。6 月期间, 仔稚鱼丰度都维持着较低水平, 未出现大幅上涨, 于 6 月 12 日和 28 日出现了两个谷值, 平均丰度不足 100 ind/100m³; 7 月 6 日至 19 日仔稚鱼丰度在高水平持续了两周, 于 7 月 13 日出现调查期间的峰值; 高峰期后仔稚鱼丰度迅速下降, 至调查结束, 其丰度仍维持了相对较高的水平, 但已呈现持续下降的趋势(8 月 1 日至 4 日依次为 863.07 ind/100 m³、388.55 ind/100 m³、409.81 ind/100 m³、296.13 ind/100 m³)(图 2)。

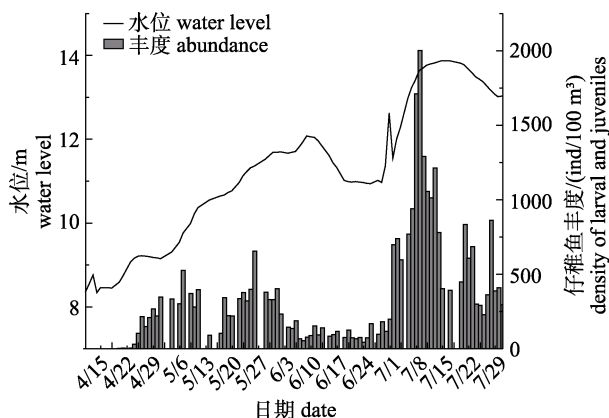


图 2 长江新洲江段仔稚鱼丰度时间特征

Fig. 2 Temporal characteristics of larval and juvenile fish abundance in Xinzhou section of the Yangtze River

2.2.2 仔稚鱼丰度的空间特征 各采样点的水深变化范围为 3.85~23.25 m, 其中南汊为 3.85~12.34 m, 北汊为 9.56~23.25 m。靠近两岸的采样点水深较小, 河道中泓采样点水深较大, 总体上南汊的水深小于北汊。S1[#]、N3[#]采样点分别位于新洲江段的南岸、北岸, 仔稚鱼丰度(99387.72 ind/100m³、24899.99 ind/100m³)显著高于其他采样点,

其中 S1[#]采样点仔稚鱼丰度最高; 新洲两岸的 S3[#]、N1[#]采样点仔稚鱼丰度(7957.17 ind/100 m³、8330.59 ind/100 m³)水平较低, 其中 S3[#]采样点仔稚鱼丰度最低。各采样点仔稚鱼丰度与采样点水深无明显的相关关系(图 3)。

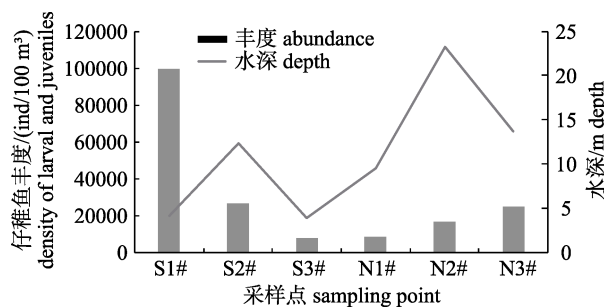


图 3 长江新洲江段仔稚鱼空间特征及水深关系

Fig. 3 Spatial characteristics of larval and juvenile fish and water depth in Xinzhou section of the Yangtze River

2.3 主要物种丰度的时空特征

2.3.1 主要物种丰度时间特征 新洲江段仔稚鱼产卵高峰期总体上集中出现在 7 月, 但各物种丰度变化时间特征存在显著差异。第一优势种贝氏鰱的丰度始终处于较高水平, 最大值出现在 7 月上旬(3825.27 ind/100m³); 鰱的丰度在 6 月上旬之前呈上升趋势, 最大值出现在 7 月上旬(329.78 ind/100m³); 刀鲚集中出现在 7 月, 丰度最大值出现在 7 月下旬(777.34 ind/100m³); 寡鳞飘鱼(*Pseudolaubuca engraulia*)丰度整体不高, 从 6 月下旬开始大量出现, 丰度最大值出现在 7 月上旬(81.76 ind/100m³); 似鳊和子陵吻虾虎鱼的丰度从 4 月下旬开始逐渐上升, 似鳊的丰度最大值出现在 7 月上旬(375.95 ind/100m³), 子陵吻虾虎鱼则出现在 7 月下旬(79.90 ind/100m³)(图 4)。

2.3.2 主要物种丰度空间特征 新洲江段主要物种的仔稚鱼丰度在不同采样点间的分布不均匀, 具有明显的空间差异: 除寡鳞飘鱼在 N2[#]采样点丰度最大外, 其余物种均在 S1[#]采样点丰度最大; 贝氏鰱、鰱和寡鳞飘鱼的最小丰度均出现在 S3[#]采样点, 刀鲚和子陵吻虾虎鱼的最小丰度则出现在 N3[#]采样点。总体上多数仔稚鱼偏向分布于新洲江段的南岸, 其次是北岸(图 5)。

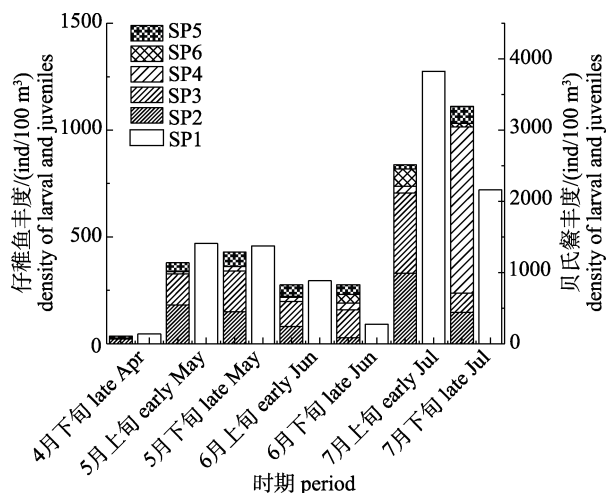


图 4 仔稚鱼主要物种在各时期出现情况

SP1: 贝氏鲃; SP2: 鲃; SP3: 似鳊; SP4: 刀鲂;
SP5: 寡鳞鲃; SP6: 子陵吻虾虎鱼。

Fig. 4 The dominant species of larval and juvenile fish in various times

SP1: *Hemiculter bleekeri*; SP2: *Hemiculter leucisculus*;
SP3: *Pseudobrama simoni*; SP4: *Coilia nasus*; SP5: *Pseudolaubuca engraulis*; SP6: *Rhinogobius giurinus*.

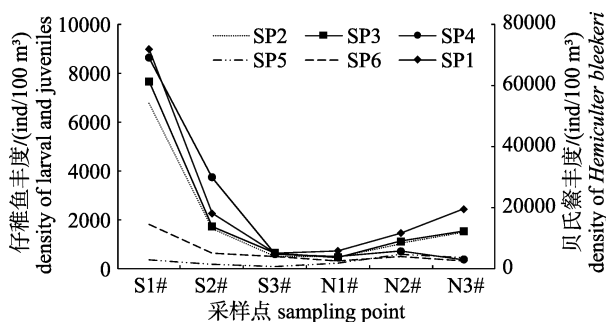


图 5 新洲江段主要物种仔稚鱼的空间分布差异

SP1: 贝氏鲃; SP2: 鲃; SP3: 似鳊; SP4: 刀鲂;
SP5: 寡鳞鲃; SP6: 子陵吻虾虎鱼。

Fig. 5 Spatial distribution of the dominant species of larval and juvenile fish in Xinzhou section of the Yangtze River
SP1: *Hemiculter bleekeri*; SP2: *Hemiculter leucisculus*;
SP3: *Pseudobrama simoni*; SP4: *Coilia nasus*; SP5: *Pseudolaubuca engraulis*; SP6: *Rhinogobius giurinus*.

2.4 仔稚鱼群聚空间特征

新洲江段 6 个采样点的仔稚鱼聚类分析表明, 新洲仔稚鱼群聚在 87.40% 的相似水平上可分为 3 组, 分别为 A 组(N2[#]、N1[#]、N3[#])、B 组(S2[#]、S1[#])和 C 组(S3[#])。其中 A 组有 3 个采样点, 均位于北汊, 仔稚鱼物种数与数量分布均匀, 群聚结构相似; B 组有两个采样点, 集中分布在南汊, 仔稚鱼物种数均为 30 种; C 组只有一个采样点, 仔稚鱼

物种数较少为 29 种, 数量最少(6052 尾)。单因素方差分析表明 3 个群组间存在显著差异($R=0.909$, $P=0.017$), 仔稚鱼群聚具有显著的空间特征(图 6)。就各组的代表物种而言, SIMPER 分析表明: A 组内站位平均相似性为 63.22%, 主要代表种为贝氏鲃, 其贡献值为 72.08%; B 组内站位平均相似性为 58.57%, 主要代表种也为贝氏鲃, 其贡献率为 72.49%。

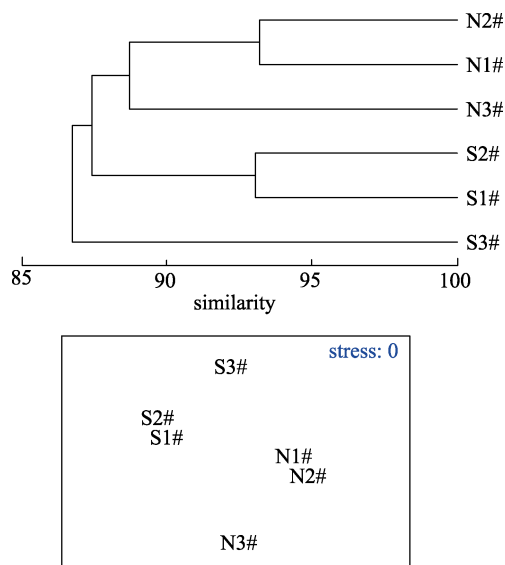


图 6 新洲江段各采样点仔稚鱼聚类图和 MDS 排序图

Fig. 6 Cluster dendrogram and MDS ordination of larval and juvenile fish in Xinzhou section of the Yangtze River

2.5 仔稚鱼与环境因子的相关性分析

2.5.1 环境因子变化 调查期间, 水流量变化范围为 15000~49900 m³/s, 水位变化范围为 8.33~13.87 m, 水流量与水位的变化趋势保持一致, 有两次明显的上升, 第一次为 4 月 15 至 6 月 12 日, 水流量与水位持续上升, 分别达到 36400 m³/s 和 12.07 m; 第二次从 7 月 2 日上升至 7 月 19 日并达到最高峰, 此时水流量为 49900 m³/s, 水位为 13.87 m。仔稚鱼的丰度变化趋势同水流量与水位的变化趋势相似(图 2)。

2.5.2 仔稚鱼丰度变化与环境因子冗余分析(RDA) 经环境因子初选后, 筛选出水位(WL)、浊度(TUR)、水温(T)、透明度(SD)这 4 个影响鱼类繁殖活动的主要环境因子($P<0.05$), 并绘制 RDA 图。RDA 统计特征显示: 轴一和轴二的累计

贡献率为 91.89%，坐标轴对仔稚鱼丰度与环境因子之间的相关关系有较高的解释率(表 3)。

RDA 排序图反映出 12 种仔稚鱼对各种环境因子不同的适应特点，水位对仔稚鱼丰度变化贡献率最大，其次为浊度、水温和透明度，解释率分别为 28.6%、6.9%和 3.8%。物种与环境因子的关系显

示：水位与水温为主要的正相关因子，与贝氏鲃和子陵吻虾虎鱼等物种的繁殖活动呈高度正相关，黄尾鲴(*Xenocypris davidi*)和间下鱗(*Hyporhamphus intermedius*)等物种的繁殖活动与透明度正相关，刀鲚、鳊(*Parabramis pekinensis*)等的繁殖活动与浊度正相关(图 7)。

表 3 新洲江段 RDA 分析的统计特征
Tab. 3 Statistical characteristics of the axes of the RDA analysis in Xinzhou section of the Yangtze River

项目 item	特征值 eigenvalue	物种累计解释率/% explained variation	物种-环境累计解释率/% explained fitted variation	物种-环境相关性 pseudo-canonical correlation
轴 1	0.2441	24.41	62.16	0.8522
轴 2	0.1168	36.09	91.89	0.7524
轴 3	0.0281	38.89	99.04	0.5666
轴 4	0.0038	39.27	100.00	0.2454

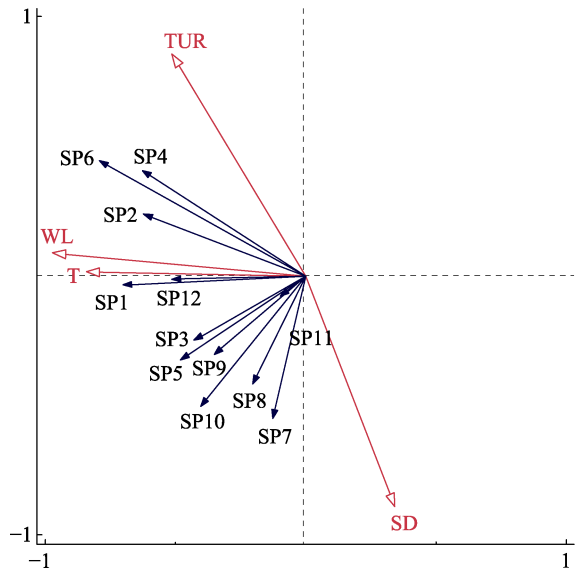


图 7 新洲江段仔稚鱼物种-环境关系的 RDA 二维排序图
SP1: 贝氏鲃; SP2: 鳊; SP3: 鲮; SP4: 刀鲚; SP5: 寡鳞鲃;
SP6: 鳊; SP7: 黄尾鲴; SP8: 间下鱗; SP9: 鳊;
SP10: 似鳊; SP11: 银鲴; SP12: 子陵吻虾虎鱼.

Fig. 7 RDA biplot of species-environmental variables of larval and juvenile fish in Xinzhou section of the Yangtze River
SP1: *Hemiculter bleekeri*; SP2: *Parabramis pekinensis*; SP3: *Hemiculter leucisculus*; SP4: *Coilia nasus*; SP5: *Pseudolaubuca engraulis*; SP6: *Siniperca chuatsi*; SP7: *Xenocypris davidi*; SP8: *Hyporhamphus intermedius*; SP9: *Pseudolaubuca sinensis*; SP10: *Pseudobrama simoni*; SP11: *Xenocypris argentea*; SP12: *Rhinogobius giurinus*.

3 讨论

3.1 安庆新洲江段仔稚鱼资源现状

自 20 世纪 60 年代以来，长江中下游绝大多

数湖泊与长江干流联系阻断，大量鱼类的繁殖场、索饵场丧失，加之受到水域生态环境恶化、过度渔业等人类活动叠加影响，长江流域渔业资源急剧衰退。长江安庆江段也不例外，张晓可等^[3]于 2013—2014 年共调查到鱼类 35 种，显著少于 20 世纪 90 年代的 63 种^[28]和 2002—2004 年的 46 种^[29]。本次仔稚鱼调查结果(34 种)同样反映了这一趋势，相比低于任鹏^[30](2012—2013 年，52 种)和李新丰等^[31](2016 年，49 种)的报道结果。随着江湖自然连通逐渐断绝，长江中下游沿岸的自然滩地及沙洲的洄水区成为鱼类主要的育幼场所，渔业生态功能凸显。长江安庆段上接鄱阳湖，下连皖河，两岸广布自然岸线，分布有多个大型沙洲，具有大量缓流区和洄水区，地理生境条件独特，是鱼类的优良栖息地。新洲江段位于皖河口下游，皖河口水域历来是安庆江段渔业资源最为丰富的水域之一，具备良好的繁殖索饵条件，既是产漂流性卵鱼类早期资源的主要通道，又可以得到当地定居性鱼类早期资源的补充，因此新洲江段仔稚鱼物种数相比高于长江上游的 28 种^[32]和长江中游的 27 种^[33]，平均丰度(343.87 ind/100 m³)显著高于长江下游南京和靖江段面(均为 57 ind/100 m³)^[30]，与长江中游(112.08 ind/100 m³)^[34]和长江口(114.31 ind/100 m³)^[35]相比也显著占优，这也反映了河湖连通对于维系长江中下游鱼类资源及生物多样性的重要意义。

3.2 安庆新洲江段仔稚鱼群聚特征

本研究中仔稚鱼的发生具有明显的时间规律, 不同鱼类对环境变化具有明显的适应性分化, 4—5月水温变化范围为17~20℃, 适合贝氏鲃、鲃和似鳊等初次性成熟年龄早、对水温要求不高的小型鱼类繁殖^[36]。进入7月繁殖盛期, 该时期水温、水位等大幅上涨, 除产沉黏性卵的优势种大量繁殖以外, 刀鲚和部分对水文条件有较高要求的产浮性卵和产漂流性卵鱼类的仔稚鱼等也集中出现, 使得该时期仔稚鱼的总体丰度达到相对高水平。新洲江段多数产漂流性卵鱼类的仔稚鱼主要来源于长江中游江段, 南汉、北汉仔稚鱼物种组成差异不显著, 而基于仔稚鱼丰度的比较结果则显著不同, 调查发现 S1[#]采样点仔稚鱼丰度显著高于其他采样点, 北汉的 N3[#]采样点其次, 总体表现为南汉断面仔稚鱼的丰度均值(501.99 ind/100 m³)显著高于北汉断面(185.75 ind/100 m³), 出现这一结果的原因可能有两点, 即水文条件差异及自然生境条件差异。就水文条件而言, 安庆新洲江段南北汉分流比差异显著, 王欣霖等^[37]的研究表明, 2013年新洲江段北汉的分流比为64.6%, 显著高于南汉, 水流量与流速也均高于南汉。而河道内流速的差异则影响了仔稚鱼的空间特征, 汉道中间水流较急, 近岸区域水流相对较缓, 其影响主要表现为新洲江段仔稚鱼均更为集中于近岸区域, 这一结果与李建等^[16]、Reichard 等^[38]的研究结论一致。就自然生境条件而言, 新洲南岸的植被覆盖率高, 坡度较缓, 流速偏小, 饵料生物相对丰富; 北岸岸线坡度陡, 水位深并且北汉为主要航道, 因此南岸的生境条件优于北岸, 这应是南汉仔稚鱼平均丰度较高的主要原因, 有研究表明对多数已具备主动游泳能力的稚鱼, 有主动选择生境的能力, 偏好于水环境相对稳定、生境条件较好的栖息地^[39]。本研究中仔稚鱼主要物种的丰度空间差异同样体现了大多数仔稚鱼对生长、发育及索饵所需自然生境条件的差异。

3.3 环境因子与仔稚鱼的关系

RDA 分析结果表明, 对仔稚鱼丰度变化贡献率第一的环境因子为水位, 这说明鱼类产卵的条件在满足最低水温条件的情况下, 仔稚鱼的发生

与涨水之间存在密切关系, 这与段辛斌等^[40]的研究结论一致, 即持续涨水过程是产漂流性卵鱼类繁殖的必要条件。本次调查期间共出现了2次较大涨水过程和3次鱼类产卵高峰期, 产卵高峰出现在涨水过程中或者涨水后, 这种现象体现了涨水过程与鱼类繁殖活动的高度关联性。同时, 本次调查中仔稚鱼丰度的峰值较2016年的调查^[29]有所延迟, 2016年的峰值出现在6月15日, 而本次调查的峰值出现在7月13日, 这可能是由于2018年调查期间6月降水较少, 前期没有出现明显的涨水过程, 导致鱼类苗汛推迟至7月; 其次, 本次调查发现仔稚鱼丰度与水体浊度与透明度之间存在显著的相关关系($P<0.05$), 由于水体浊度的升高是伴随着涨水过程的必然情况, 随着水位上涨, 江水中泥沙含量增加, 浊度升高, 透明度降低, 这也从侧面反映了鱼类繁殖和涨水过程密切相关。

4 小结

安庆江段上接鄱阳湖口, 衔接长江中游和下游, 既是鱼类等水生生物的重要栖息地, 也是长江江豚等珍稀濒危物种的活跃水域, 现设有自然保护区1处、种质资源保护区3处, 生态功能突出。随着“长江大保护”深入推进, 长江流域人类活动强度逐渐下降, 水污染防治、长江禁捕等工作有序落实, 鱼类等水生生物资源将逐步恢复。在此过渡期内, 应进一步加强敏感水域水生生态基础调查研究, 掌握资源生态家底, 支撑效果评估和科学管护。

参考文献:

- [1] Yang Z D, Lu X Z, Chu J H, et al. Study on the evolution of the Yangtze River course and bank collapse in the Anqing section[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(1): 61-63, 71. [杨则东, 鹿献章, 褚进海, 等. 长江安庆段河道演变及塌岸分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(1): 61-63, 71.]
- [2] Liu M D, Li P F, Huang C, et al. Spring community structure and species diversity of fish in the Anqing section of Yangtze River[J]. Journal of Hydroecology, 2017, 38(6): 64-71. [刘明典, 李鹏飞, 黄翠, 等. 长江安庆段春季鱼类群落结构特征及多样性研究[J]. 水生态学杂志, 2017, 38(6): 64-71.]

- [3] Zhang X K, Yu D P, Wang H L, et al. Fish community structure in main habitat of the finless porpoise, the Anqing section of Yangtze River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(7): 1832-1839. [张晓可, 于道平, 王慧丽, 等. 长江安庆段江豚主要栖息地鱼类群落结构[J]. *生态学报*, 2016, 36(7): 1832-1839.]
- [4] Li Q Y. Waterway condition and regulation scheme of Anqing waterway in the lower Yangtze River[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2013(6): 75-80. [李青云. 长江下游安庆水道航道条件与整治方案[J]. *水运工程*, 2013(6): 75-80.]
- [5] Hauer C, Unfer G, Schmutz S, et al. Morphodynamic effects on the habitat of juvenile cyprinids (*Chondrostoma nasus*) in a restored Austrian lowland river[J]. *Environmental Management*, 2008, 42: Article No. 279.
- [6] Crowder D W, Diplas P. Vorticity and circulation: spatial metrics for evaluating flow complexity in stream habitats[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2002, 59(4): 633-645.
- [7] Christopher Chambers R, Trippel E A. Early Life History and Recruitment in Fish Populations[M]. Dordrecht: Springer, 1997.
- [8] Yi B L, Yu Z T, Liang Z S. Gezhouba Hydro-Junction and the Four Famous Domestic Fishes of Yangtze River[M]. Wu-han: Hubei Science & Technology Press, 1988: 47-68. [易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 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: 47-68.]
- [9] Survey Team of Spawning Grounds of Domestic Fishes in Changjiang River. The spawning grounds of the "four famous Chinese carps" in the Yangtze River after dammed by the key water control project at Gezhouba[R]. 1981. [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[R]. 1981.]
- [10] Tang X L. Studies on early fish resources in Jiangjin cross-section in the upstream of Yangtze River[D]. Chongqing: Southwest University, 2010. [唐锡良. 长江上游江津江段鱼类早期资源研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.]
- [11] Duan X B. Studies on fish resources and the fishes of early life history stage in the upper Yangtze River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008. [段辛斌. 长江上游鱼类资源现状及早期资源调查研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.]
- [12] Li M Z, Jiang W, Gao X, et al. Status quo of early life history stages at Wuxue cross-section of the Yangtze River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(6): 1211-1217. [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] 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. [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] Ren P, He H, Song Y Q, et al. The spatial pattern of larval fish assemblages in the lower reach of the Yangtze River: Potential influences of river-lake connectivity and tidal intrusion[J]. *Hydrobiologia*, 2016, 766(1): 365-379.
- [15] Chen Y G, Mao C Z, Lin N, et al. Influence of abiotic factors on spatiotemporal patterns of larval fish assemblages in the surf zones of the Yangtze River estuary and Hangzhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(4): 780-790. [陈渊戈, 毛成贵, 林楠, 等. 长江口和杭州湾碎波带仔稚鱼群聚时空分布特征及相关环境因子分析[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(4): 780-790.]
- [16] Li J, Xia Z Q, Wang Y K, et al. Study on river morphology and flow characteristics of four major Chinese carps spawning grounds in the middle reach of the Yangtze River[J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2010, 42(4): 63-70. [李建, 夏自强, 王远坤, 等. 长江中游四大家鱼产卵场河段形态与水流特性研究[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2010, 42(4): 63-70.]
- [17] Zhang J M, He Z H. Natural Resources Survey Manual for Inland Waters Fishery[M]. Beijing: Agriculture Press, 1991: 242-256. [张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 242-256.]
- [18] 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: 2-10. [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: 2-10.]
- [19] Liu Y, Yang X W, Ren P, et al. Community characteristics of larvae and juvenile fish in Hukou section of the Yangtze River in spring and summer[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(1): 142-154. [刘熠, 杨习文, 任鹏, 等. 长江湖口段春夏季仔稚鱼群落结构研究[J]. *水生生物学报*, 2019, 43(1): 142-154.]
- [20] Liu S D, Xian W W. Ichthyoplankton community structure characteristics during spring in Yangtze River estuary before and after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2010, 27(10): 82-87. [刘淑德, 线薇薇. 三峡水库蓄水前后春季长江口鱼类浮游生物群落结构特征[J]. *长江科学院院报*, 2010, 27(10): 82-87.]
- [21] Hu X K. Study on early fish resources at Huangshi section in the middle reaches of the Yangtze River[D]. Wuhan:

- Hua-zhong Agricultural University, 2018. [胡兴坤. 长江中游黄石江段鱼类早期资源研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.]
- [22] Xu D P. Study on fish community composition and biodiversity in lower reaches of Yangtze River[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010. [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.]
- [23] Li F S, Han C, Lin D S, et al. Pollution characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in the sediments from lakes of Anqing City and Anqing section of Yangtze River[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(3): 574-582. [李法松, 韩铖, 林大松, 等. 安庆沿江湖泊及长江安庆段沉积物重金属污染特征及生态风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(3): 574-582.]
- [24] Chang J B, Cao W X. Fishery significance of the river-comm-uni-cating lakes and strategies for the management of fish resources[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 8(2): 153-157. [常剑波, 曹文宣. 通江湖泊的渔业意义及其资源管理对策[J]. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(2): 153-157.]
- [25] Ru H J. Spatio-temporal and river-lake migration rhythms of fish assemblage in Dongting Lake, a large Yangtze-connected lake[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2008. [茹辉军. 大型通江湖泊洞庭湖的鱼类时空格局及江湖洄游规律初探[D]. 兰州: 西北师范大学, 2008.]
- [26] Legendre P, Gallagher E D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data[J]. *Oecologia*, 2001, 129(2): 271-280.
- [27] Liu Q F, Lai Z N, Gao Y, et al. Characteristics of phytoplankton functional groups of intensive-culturing fishponds in the Pearl River Delta[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(1): 124-136. [刘干甫, 赖子尼, 高原, 等. 珠江三角洲地区精养淡水鱼塘浮游植物功能群特征[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(1): 124-136.]
- [28] Hu J Y, Yao W Q. Fishes in Yangtze river of Anhui region [J]. *Journal of Anhui University (Natural Sciences)*, 1996, 20(1): 96-101. [胡菊英, 姚闻卿. 长江下游安徽江段的鱼类[J]. *安徽大学学报(自然科学版)*, 1996, 20(1): 96-101.]
- [29] Zhang M Y, Xu D P, Liu K, et al. Ichthyologic survey and primary studies on diversity of fishery species in Anqing section of the Yangtze river[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18(6): 670-676. [张敏莹, 徐东坡, 刘凯, 等. 长江安庆江段鱼类调查及物种多样性初步研究[J]. *湖泊科学*, 2006, 18(6): 670-676.]
- [30] Ren P. Distribution and annual dynamics of early life history resources of in the lower reach of the Yangtze River, China [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2015. [任鹏. 长江下游鱼类早期资源的分布与周年动态研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2015.]
- [31] 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. [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.]
- [32] Lv H, Tian H W, Shen S Y, et al. The larval resources of fishes spawning drifting eggs in the lower reaches of the Minjiang river[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(3): 586-593. [吕浩, 田辉伍, 申绍伟, 等. 岷江下游产漂流性卵鱼类早期资源现状[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(3): 586-593.]
- [33] 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. [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.]
- [34] 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.]
- [35] Li J S, Lin N, Ling J Z. Temporal variation in the composition and abundance of fish larvae and juveniles off the Yang-tze River Estuary in spring and summer[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(3): 586-594. [李建生, 林楠, 凌建忠. 春夏季长江口邻近水域仔稚鱼种类组成和丰度的月变化[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(3): 586-594.]
- [36] Li M Z. Study on the Life history strategies of fishes in the Yangtze River and its adaption to environment during early life history stage[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2013. [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]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2013.]
- [37] Wang X L, Lu J T, Geng J L, et al. Study on the second phase of waterway regulation project of Anqing waterway of Yangtze River[J]. *China Water Transportation (Science & Technology for Waterway)*, 2018(4): 1-4. [王欣霖, 陆纪腾, 耿嘉良, 等. 长江安庆水道航道整治二期工程治理方案研究[J]. *中国水运. 航道科技*, 2018(4): 1-4.]
- [38] Reichard M, Jurajda P, Smith C. Spatial distribution of drifting cyprinid fishes in a shallow lowland river[J]. *Archiv für*

- Hydrobiologie, 2004, 159(3): 395-407.
- [39] Mao C Z, Zhong J S, Hua W H, et al. Temporal and spatial variation of fish larvae and juveniles community in surf zone of sandy beach in Sijiao Island, East China Sea[C]//Proceedings of the 13th Session of Annual Conference in 2013. Beijing: Chinese Society for Oceanography, 2013: 2-14. [毛成贵, 钟俊生, 花卫华, 等. 东海区泗礁沙滩碎波带仔稚鱼群落结构的时空变化[C]//中国海洋学会 2013 年学术年会第 13 分会场论文集. 北京: 中国海洋学会, 2013: 2-14.]
- [40] 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. [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.]

Assemblage of larvae and juvenile fish in Anqing Xinzhou section of the Yangtze River

TIAN Jiali¹, DAI Pei², REN Peng³, GUO Wenjun¹, ZHU Zongbo¹, LI Xinfeng², LIU Kai^{1, 2, 3}

1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;
3. Wuxi Fishery College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China

Abstract: Xinzhou section is a typical stream-sandbank habitat in the lower reaches of the Yangtze river. In order to understand the larvae and juvenile fish assemblage feature in this section, Structure, dominant species, abundance and spatial-temporal distribution were investigated, from April 15 to August 4, 2018, and the relationships with environmental factors were probed at the same time. 121246 larvae and juvenile fish were identified, belonging to 6 orders, 8 families and 34 species. 79338 larvae and juvenile fish were captured in the south branch, accounting for 65.44% of the whole species; and 41908 in the north branch, accounting for 34.56%. Among the spawning types, fish species with pelagic eggs (16) were dominant; whereas, fish with floatability eggs taken the largest number, which were 92623 individuals. *Hemiculter bleekeri* was the first dominant species and other dominant species are *Pseudobrama simoni*, *Hemiculter leucisculus* and *Rhinogobius giurinus*. The diurnal variation trend of abundance in north and south branch were consistent. The larval and juvenile fish abundance reached its peak level (2001.28 ind/100 m³) on July 13, which showed a high correlation with water level. The abundance of inshore sampling points was higher than that of mid-channel, and the abundance of south branch was higher than that of north branch. Redundancy analysis found that water level, water temperature, turbidity and transparency are the main environmental factors affecting the assemblage structure of larval and juvenile fish. Water level is the main positive correlation factor. The cluster analysis divided the 6 sampling points into 3 groups, showing significant differences in assemblage structure of larval and juvenile fish ($R=0.818$, $P=0.017$). The results showed that there was a significant influence on the distribution of larvae and juvenile fish in Xinzhou section, and the breeding conditions of fish in the south branch were better. The results provided the scientific data of the early fish resource in Xinzhou section and the protection strategy of fish resource in the lower reaches of the Yangtze River.

Key words: Anqing Xinzhou section; sandbank; larval and juvenile fish; assemblage structure; abundance change; environmental factors; the Yangtze River

Corresponding author: LIU Kai. E-mail: liuk@ffrc.cn