

doi: 10.7541/2023.2022.0509

禁捕首年长江安庆段仔稚鱼群聚特征

黄中家^{1,2} 田佳丽¹ 王银平¹ 黎加胜¹ 刘凯^{1,2}

(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, 无锡 214081; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100086)

摘要: 为掌握禁捕首年长江安庆段仔稚鱼群落特征及其变化, 于2021年4月18日至8月14日开展长江安庆段仔稚鱼逐日采样调查。结果显示: 调查共采集鉴定仔稚鱼338922尾, 鉴定出鱼类39种, 隶属于6目9科31属, 鲤科鱼类的物种数和数量占据优势, 占比分别为79.48%和96.59%。在生态类型上, 淡水定居性鱼类占绝对优势, 数量和物种数占比分别为92.27%和48.71%。在产卵类型上, 产漂流性卵鱼类占绝对优势, 物种数和数量占比分别为46.15%和92.27%。在群落结构上, 贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)为第一优势种, 数量占比44.53%, 鲮(*Hemiculter leucisculus*)和银鲌(*Xenocypris argentea*)为主要优势种。在资源丰度时间分布上, 5—7月仔稚鱼丰度最高, 均值为1093 ind./100 m³, 峰值出现在7月6日, 为4097 ind./100 m³。同往年的调查结果相比, 物种数方面, 2016—2020年的物种数变幅为37至49种, 2021年为39种; 仔稚鱼丰度方面, 2016—2020年的平均丰度变幅为355—1185 ind./100 m³, 2021年为916 ind./100 m³; 2016—2020年的丰度峰值变幅为823—8081 ind./100 m³, 2021年为4097 ind./100 m³。冗余分析(RDA)表明, 仔稚鱼丰度与调查期间的流量、水位、水温和浊度呈正相关($P<0.05$)。研究探明了禁捕初期长江安庆段仔稚鱼的资源现状, 相关研究结果可为长江十年禁渔效果评估过程分析提供数据支撑。

关键词: 禁捕首年; 长江安庆段; 仔稚鱼; 物种组成; 丰度变化; 环境因子

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2024)04-0537-09



鱼类早期资源是指处于胚胎(鱼卵)、仔鱼、稚鱼和幼鱼阶段群体的总称, 而仔稚鱼是鱼类早期资源的重点研究对象之一^[1]。开展仔稚鱼种类组成、资源丰度及其环境影响因子研究, 深入了解鱼类种群补充及其变动趋势, 相关结果可为渔业资源保护及管理措施制定提供依据。

长江安庆段位于长江下游安徽省境内, 江面河道宽阔, 水流平缓, 且沙洲众多, 属于典型的分汊型河段, 蕴含了丰富的有机物和营养盐。该江段理想的水文环境和丰富的饵料生物为水生动物提供了良好的栖息和育幼场所, 孕育了丰富的渔业资源。该江段还分布有多个重要的水生生物保护区, 其中

包括长江安庆段四大家鱼国家级水产种质资源保护区、长江刀鲚国家级水产种质资源保护区等, 这些保护区的设置对该江段鱼类等水生生物资源的养护具有重要意义^[2]。在20世纪后期, 长江中上游流域大型梯级电站先后建设运行, 长江水文情势发生剧变, 叠加水域污染和过度捕捞等人类活动影响, 鱼类栖息生境受到严重影响, 渔业资源量急剧下降。20世纪90年代, 长江安庆段调查采集到63种鱼类, 2006年和2016年则下降至46种和35种^[3-6]。为有效保护长江鱼类, 遏制资源衰退趋势, 农业农村部发布通告, 自2021年1月1日0时起, 长江流域重点水域施行暂定期为10年的常年禁捕。在长江十年

收稿日期: 2022-12-26; 修订日期: 2023-06-09

基金项目: 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2023TD11); 安徽省重点水域水生生物资源监测项目(ZF2021-18-0786); 农业农村部禁捕后常态化监测专项资助 [Supported by the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund CAFS (2023TD11); the Monitoring of Aquatic Living Resources in Key Waters of Anhui Province (ZF2021-18-0786); the Normalized Monitoring Program After 10-year Fishing Ban on the Yangtze River of Ministry of Agriculture and Rural Affairs]

作者简介: 黄中家(1998—), 男, 硕士研究生; 研究方向为渔业资源养护与利用。E-mail: 1901527120@qq.com

通信作者: 刘凯, E-mail: Liuk@ffrc.cn

禁捕实施后, 捕捞压力消失, 鱼类群落会因此产生适应性变化, 将鱼类早期资源调查的相关数据进行年间比较, 可以在一定程度上反映鱼类种群的繁殖规模和变动规律。作为长江流域重点水域, 在长江安庆段开展鱼类早期资源调查具有重要意义。李新丰等^[7]对该江段仔稚鱼群落进行了报道, 刘熠^[8]和丁隆强^[9]分别对刀鲚和四大家鱼仔稚鱼时空特征进行了研究。本研究于长江十年禁捕首年在长江安庆段开展鱼类早期资源调查, 掌握鱼类早期资源种群动态, 跟踪长江禁捕后鱼类早期资源现状及变动趋势, 以期支撑长江禁捕效果评估。

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点

于2021年4月18日至2021年8月14日, 在长江安庆段皖河口上游设置南岸、河道中线和北岸共3条样线, 其中南、北岸样线距离岸边约10 m, 使用圆锥网在水体表层(1 m以内)采集仔稚鱼样本(图1)。采样调查期间, 除因恶劣天气无法采样外, 累计调查110d。采样当日6时左右开始调查, 依次进行北岸、河道中线和南岸3条样线依次拖曳调查, 每条样线每天调查1次, 拖曳时长根据鱼苗丰度情况动态调整, 一般控制在3—10min。

1.2 样品采集与处理

按照《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[10]及易伯鲁^[11]、林功奎等^[12]的方法开展鱼类早期资源调查, 依据《长江鱼类早期资源》^[1]所述方法进行仔稚鱼种类鉴定及仔稚鱼生态类型和产卵类型的划分。调查网具为圆锥网, 网口直径80 cm, 网长2.5 m, 网孔径0.25 mm; 网口固定438115型数字流量计, 网后连接圆柱形集苗器, 长20 cm, 直径10 cm。



图1 长江安庆段鱼类早期资源采样线设置

Fig. 1 The sampling lines on fisheries resources of early life history stages in Anqing section of the Yangtze River

同步记录水温、浊度、透明度、溶氧、酸碱度、流量和水位。

现场采集的仔稚鱼保存于4%的甲醛溶液中, 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, 并保存于75%中性酒精中, 然后提取DNA, 再经过PCR扩增COI基因序列, 最后在NCBI网站中与长江鱼类条形码数据库进行比对, 遗传相似度 $\geq 99\%$ 为对应物种。

1.3 水文资料的收集及数据处理

水位和流量数据来自全国水情信息网(<http://xxfb.mwr.cn/>)安庆水文站和大通水文站(由于大通水文站位于安徽省池州市, 距离调查样区下游80 km, 且无大型支流汇入, 故可以反映该样区的流量情况)。

仔稚鱼丰度计算公式:

$$D = N_i / Q \times 100 \times t_i$$

$$Q = C_i \times S \times 0.3 / t_i$$

式中, D 为采集期间的过网仔稚鱼的平均丰度(ind./100 m³); N_i 为第 i 次采集仔稚鱼的数量(ind.); Q 为采集期间的过网水量(m³/s); S 为圆锥网的网口面积(m²); t_i 为第 i 次采集时间(s); C_i 为第 i 次采集时流量计的始末差值; 0.3为计算过网水量的公式系数。

选用Pinkas相对重要性指数描述出群落间优势种和重要种, 定义 $IRI \geq 100$ 为优势种, $10 \leq IRI < 100$ 为常见种, $IRI < 10$ 为少见种^[13]。计算公式为:

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

式中, $N\%$ 为某物种数量占仔稚鱼总数量的数量百分比, $F\%$ 为某个物种被采集到的总天数占调查总天数的百分比。

1.4 冗余分析

将水环境因子与16种($IRI \geq 10$)仔稚鱼丰度构成环境因子与物种丰度矩阵, 对仔稚鱼丰度进行去趋势对应分析(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 $\lg(X+1)$ ^[14]转化, 并且通过蒙特卡洛检验^[15]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。

2 结果

2.1 物种组成

本研究共采集到仔稚鱼338922尾, 鉴定出鱼类39种, 隶属于6目9科(表1)。其中鲤科鱼类最多, 物

表 1 长江安庆段4月18日至8月14日仔稚鱼物种组成

Tab. 1 Species composition of larval and juvenile fish in Anqing section of the Yangtze River from the 18th April to the 17th August, 2021

目 Order	科 Family	属 Genus	种名 Species	生态类型 Ecological patterns	产卵类型 Spawning patterns
鲱形目 Clupeiformes	鲱科 Engraulidae	鲱属 <i>Coilia</i>	刀鲱 <i>Coilia nasus</i>	A	FE
颌针鱼目 Beloniformes	鲚科 Hemirhamphidae	下鲚属 <i>Hyporhamphus</i>	间下鲚 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	R	DE
胡瓜鱼目 Osmeriformes	银鱼科 Salangidae	短吻银鱼属 <i>Salangichthys</i>	陈氏短吻银鱼 <i>Salangichthys tangkahkeii</i>	R	DE
鲑形目 Siluriformes	鲢科 Bagridae	黄颡鱼属 <i>Pelteobagrus</i>	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	R	DE
鲈形目 Perciformes	鮠科 Serranidae	鳊属 <i>Siniperca</i>	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	R	FE
	虾虎鱼科 Gobiidae	吻虾虎鱼属 <i>Rhinogobius</i>	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	R	DE
	月鲢科 Channa	月鲢属 <i>Channa</i>	乌鲢 <i>Channa argus</i>	R	FE
鲤形目 Cypriniformes	鲃科 Cobitidae	副沙鲃属 <i>Parabotia</i>	花斑副沙鲃 <i>Parabotia fasciata</i>	R	DE
	鲤科 Cyprinidae	棒花鱼属 <i>Abbottina</i>	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	R	DE
		鳊属 <i>Parabramis</i>	鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	RL	PE
		鮡属 <i>Cluter</i>	达氏鮡 <i>Culter dabryi</i>	R	DE
			蒙古鮡 <i>Culter mongolicus</i>	R	PE
			翘嘴鮡 <i>Culter alburnus</i>	R	PE
		鲮属 <i>Hemiculter</i>	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	R	PE
			贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	R	PE
		草鱼属 <i>Ctenopharyngodon</i>	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	RL	PE
		赤眼鲮属 <i>Squaliobarbus</i>	赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	RL	PE
		鲂属 <i>Megalobrama</i>	团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	R	DE
			鲂 <i>Megalobrama skolkovii</i>	R	DE
		鲴属 <i>Xenocypris</i>	银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	R	PE
			黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	R	DE
			细鳞鲴 <i>Xenocypris microlepis</i>	R	DE
		鲮属 <i>Hemibarbus</i>	花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	R	DE
		鲫属 <i>Carassius</i>	鲫 <i>Carassius auratus</i>	R	DE
		鳊属 <i>Elopichthys</i>	鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	RL	PE
		鲢属 <i>Hypophthalmichthys</i>	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	RL	PE
		麦穗鱼属 <i>Pseudorasbora</i>	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	R	DE
		鲃属 <i>Pseudolaubuca</i>	鲃 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	R	PE
			寡鳞鲃 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	R	PE
		鳊属 <i>Sarcocheilichthys</i>	鳊 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	R	DE
			华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	R	PE
		蛇鲃属 <i>Saurogobio</i>	蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	R	PE
		似鳊属 <i>Pseudobrama</i>	似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	RL	PE
		似刺鳊属 <i>Paracanthobrama</i>	似刺鳊 <i>Paracanthobrama guichenoti</i>	R	PE
		铜鱼属 <i>Coreius</i>	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	R	DE
		银鲃属 <i>Squalidus</i>	银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	R	PE
		鳊属 <i>Aristichthys</i>	鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	RL	PE
		鳊属 <i>Acheilognathus</i>	兴凯鳊 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	R	DE
		原鲃属 <i>Cultrichthys</i>	红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	R	DE

注: 生态类型: 江湖半洄游性(RL)、淡水定居性(R)、溯河洄游性(A); 产卵类型: 漂流性卵(PE)、浮性卵(FE)、沉性卵(DE)

Note: Ecological patterns: River-lake migratory (RL), Residents (R), Anadromous (A); Spawning patterns: Pelagic eggs (PE), Floatability eggs (FE), Demersal eggs (DE)

种数和数量占比分别为79.48%和96.59%;其他科物种数和数量占比分别为20.52%和3.41% (表2)。

根据相对重要性指数统计,共出现8种优势物种,贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)为第1优势种,占总数量的44.53%,其余优势种按照相对重要性指数的数值大小排序依次为鲮(*Hemiculter leucisculus*,数量占比为30.35%)、银鲮(*Xenocypris argentea*,数量占比为6.72%)、寡鳞鲮(*Pseudolaubuca engraulis*,数量占比为2.95%)、细鳞鲮(*Xenocypris microlepis*,数量占比为2.91%)、似鲮(*Pseudobrama simoni*,数量占比为2.17%)、翘嘴鲮(*Culter alburnus*,数量占比为2.81%)、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*,数量占比为1.38%) (表3)。

仔稚鱼根据生态类型可分为3类:(1)江湖半洄游性鱼类,包括鲮(*Parabramis pekinensis*)、鳊(*Elopi-chthys bambusa*)和鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)等7种,共计12240尾,占比3.61%;(2)淡水定居性鱼类,包括贝氏鲮、鲮和银鲮等31种,共计32241尾,占

比95.13%;(3)溯河洄游性鱼类,仅刀鲚(*Coilia nasus*)1种,共计4271尾,占比1.26%。

从产卵方式可以分为3类:(1)产漂流性卵,包括贝氏鲮、鲮和鳊等19种,共计312722尾,占比92.27%;(2)产沉性卵,包括子陵吻虾虎鱼、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)和黄尾鲮(*Xenocypris davidi*)等17种,共计20789尾,占比6.13%;(3)产浮性卵,有刀鲚、鳊(*Siniperca chuatsi*)和乌鳢(*Channa argus*)共3种,共计5411尾,占比1.60% (表4)。

2.2 仔稚鱼丰度的时空变化

调查期间仔稚鱼丰度为8—4097 ind./100 m³,均值为(915±999) ind./100 m³ (mean±SD);5—7月仔稚鱼丰度最高,均值为1093 ind./100 m³,峰值出现在7月6日,为4097 ind./100 m³。在5月25日之前,仔稚鱼丰度变化整体呈现上升趋势,5月11日至7月21日一直维持着相对较高的水平且并无明显的涨幅;7月21日之后仔稚鱼丰度开始骤然下降,7月21日至8月15日的仔稚鱼平均丰度为292 ind./100 m³,仅为7月峰值的7.12% (图2)。

北岸仔稚鱼丰度为19—10972 ind./100 m³,均值为2243 ind./100 m³,峰值出现在6月1日,最小值出现在4月24日;河道中线仔稚鱼丰度变幅为1—

表2 各科所含的物种数和数量及其百分比

Tab. 2 The number and quantity of species and their percentages contained in each family

科 Family	物种数 Species number	数量(尾) Quantity	物种数 百分比 Percentage of species number (%)	数量百分比 Quantity percentage (%)
鲤科 Cyprinidae	31	327348	79.48	96.59
虾虎鱼科 Gobiidae	1	4696	2.56	1.39
鲈科 Serranidae	1	1139	2.56	0.33
银鱼科 Salangidae	1	1061	2.56	0.31
鳊科 Engraulidae	1	4271	2.56	1.26
其他科Other families	4	407	10.28	0.12
总计Total	39	338922	100	100

表3 长江安庆段4至8月仔稚鱼优势种组成

Tab. 3 Dominant species composition of larval and juveniles in Anqing section of the Yangtze River from April to August

种类 Species	数量(尾) N	数量百分比 N %	频数 F	频率 F %	相对重要 性指数 (IRI)
贝氏鲮	150919	44.53	106	96.36	4290
鲮	102879	30.35	104	94.54	2869
银鲮	22797	6.72	101	91.81	622
寡鳞鲮	10000	2.95	83	75.45	222
细鳞鲮	9859	2.91	87	79.09	227
似鲮	7348	2.17	83	75.45	173
翘嘴鲮	9538	2.81	51	46.36	130
子陵吻虾虎鱼	4696	1.39	110	100	136

表4 仔稚鱼生态类型/产卵方式的物种数及数量百分比

Tab. 4 Species and quantity percentage of ecological type/spawning type of larval and juvenile fish

生态类型/产卵方式 Ecological pattern/ Spawning mode	种数 Species	数量(尾) Quantity	数量百分比 Quantity percentage (%)
江湖半洄游性 River-lake migratory	7	12240	3.61
淡水定居性Resident	31	322411	95.13
溯河洄游性Anadromous	1	4271	1.26
漂流性卵Pelagic egg	19	312722	92.27
沉性卵Demersal egg	17	20789	6.13
浮性卵Floatability egg	3	5411	1.60

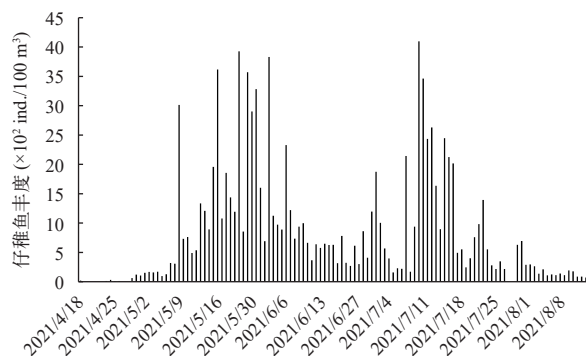


图2 2021年4至8月长江安庆段仔稚鱼丰度变化

Fig. 2 Abundance of larval and juvenile fish in Anqing section of the Yangtze River from April to August, 2021

1840 ind./100 m³, 均值为164 ind./100 m³, 峰值在5月28日, 最小值在5月1日; 南岸仔稚鱼丰度变幅为2—2074 ind./100 m³, 均值为337 ind./100 m³, 峰值在7月6日, 最小值在4月18日。差异分析结果显示: 3条样线仔稚鱼丰度差异显著, 其中河道中线与北岸、北岸与南岸均呈极显著差异($P<0.01$), 河道中线与南岸呈显著差异($0.01<P<0.05$; 图3)。

优势种仔稚鱼丰度的时间特征 8种优势物种有着不同的繁殖高峰期, 第1优势种贝氏鲮出现时段为4月18日至8月14日, 其丰度在整个调查期间都处于较高水平, 5月11日之前呈上升趋势, 5月11日至6月5日, 处于低水平且平稳阶段, 6月26日至7月6日再次呈现上升趋势, 之后开始下降; 峰值出现在6月1日, 为2077 ind./100 m³。第2优势种鲮的情况和贝氏鲮极为相似, 出现时段为4月30日至8月14日, 峰值出现于6月1日, 为1397 ind./100 m³; 银鲴出现时段为4月24日至8月13日, 集中出现在5月17日至7月13日, 7月6日达到峰值, 为376 ind./100 m³, 其余时期丰度处于较低水平; 细鳞鲴出现时段为4月24日至7月29日, 集中出现于5月25日至7月9日, 5月25日达到峰值, 为224 ind./100 m³; 寡鳞鲴出现时段为5月1日至8月14日, 集中出现于6月11日至8月9日, 6月30日达到峰值, 为98 ind./100 m³; 似鳊出现时段为4月30日至8月7日, 集中出现于6月26日至7月13日, 7月3日达到峰值, 为179 ind./100 m³; 翘嘴鲴出现时段为6月1日至8月14日, 集中出现于7月1日至7月29日, 7月21日达到峰值, 为439 ind./100 m³; 子陵吻虾虎鱼出现时间为4月18日至8月14日, 集中出现于5月10日至6月2日以及7月26日至8月14日, 5月11日达到峰值, 为61 ind./100 m³ (图4)。

优势种仔稚鱼丰度的空间特征 8种优势物种的丰度在空间分布上存在极大的相似性, 总体表

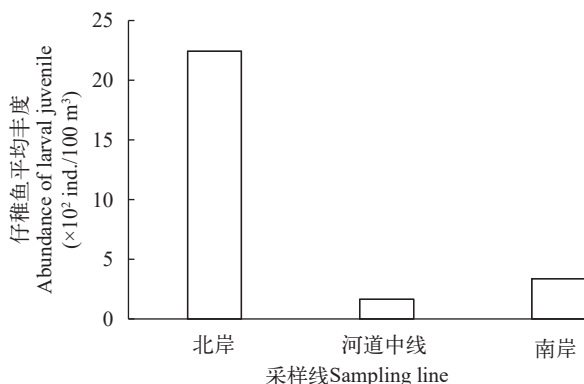


图3 各样线仔稚鱼丰度

Fig. 3 Abundance of larval and juvenile fish in different sampling lines

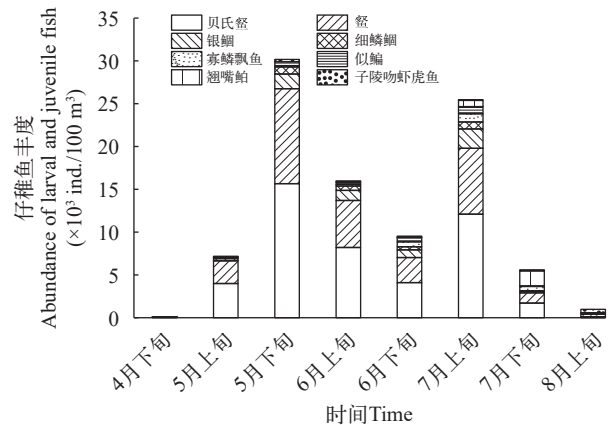


图4 各月份优势种鱼类丰度

Fig. 4 The abundance of dominant fish species in each month

现为北岸平均丰度最大, 南岸其次, 河道中线最低; 贝氏鲮在北岸、河道中线和南岸3条采样线的平均丰度分别为1060、59和130 ind./100 m³, 北岸丰度明显高于其他两条采样线。鲮在北岸、河道中线和南岸3条采样线的平均丰度分别为717、49和83 ind./100 m³, 北岸丰度最大, 河道中线丰度最小。寡鳞鲴在北岸、河道中线和南岸3条采样线的平均丰度分别为37、7和31 ind./100 m³, 北岸和南岸采样线丰度相近, 河道中线丰度最小。翘嘴鲴在北岸、河道中线和南岸3条采样线的平均丰度分别为54、5和13 ind./100 m³, 北岸丰度最大, 河道中线丰度最小。似鳊在北岸、河道中线和南岸3条采样线的平均丰度分别为1060、59和130 ind./100 m³, 北岸丰度明显高于其他两条采样线。细鳞鲴在北岸、河道中线和南岸3条采样线的平均丰度分别为61、5和9 ind./100 m³, 北岸丰度最大, 其他样线丰度较小。银鲴在北岸、河道中线和南岸3条采样线的平均丰度分别为140、10和27 ind./100 m³, 北岸丰度最大, 河道中线丰度最小。子陵吻虾虎鱼在北岸、河道中线和南岸3条采样线的平均丰度分别为19、6和9 ind./100 m³, 北岸丰度最大, 三条采样线丰度相近 (图5)。

2.3 仔稚鱼丰度与环境因子的相关性分析

环境因子特征 在4月18日至8月14日所记录的7个环境数据中流量变幅为28200至60800 m³/s, 均值为(42961±8292) m³/s (mean±SD), 在4月18日至5月29日期间有1次明显的涨水过程, 于5月29日达到峰值, 之后开始快速下降; 6月30日流量再次缓慢上升, 并在7月4日后维持在较为稳定的水平, 其后流量基本稳定在40000 m³/s上下; 水位变幅为9.97—15.25 m, 均值为(12.94±1.34) m, 其变化趋势与流量相似; 透明度变幅为12—52 cm, 均值为(33±10) cm,

在4月27日至5月29日及7月21日至8月14日波动性较大,最小值出现在7月30日,为12 cm; 浊度变幅为14—114 NTU, 均值为 (38 ± 20) NTU, 在7月16号之前稳定在30 NTU左右, 7月16号后波动上升, 并在7月30号达到峰值, 为114 NTU; 水温一直处于缓慢上升趋势, 变幅为17—30℃, 均值为 (25 ± 3) ℃。水位、流量、水温和浊度的变化趋势与仔稚鱼丰度变化趋势相近(图6—9)。

仔稚鱼丰度变化与环境因子冗余分析(RDA)

RDA结果显示, 轴一、轴二、轴三、轴四的特征值分别为0.2687、0.0052、0.0013和0.0003, 仔稚鱼丰度特征在轴一、轴二、轴三、轴四解释率分别为26.8%、27.3%、27.5%和27.5%, 对仔稚鱼丰度与环境因子关系累计解释率达100%, 由此可知绘制的RDA分析图能够很好反映仔稚鱼丰度变化和环境因子的关系(表5)。流量对仔稚鱼群落丰度变化贡献率最大, 其他环境因子按贡献率大小排序依次为水温、水位和浊度; 解释率分别为74.7%、

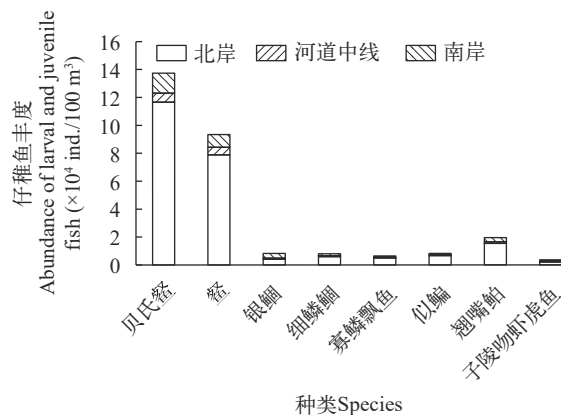


图5 各样线优势种鱼类丰度

Fig. 5 The abundance of dominant fish species in each sampling line

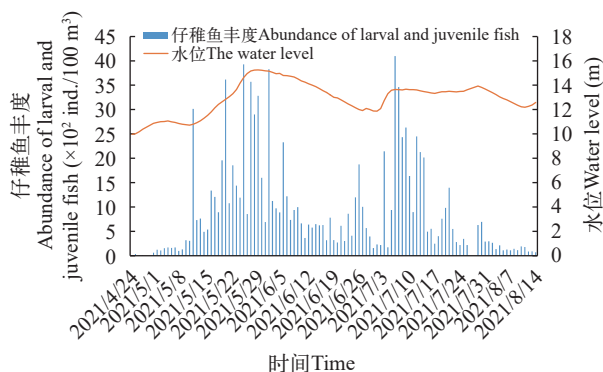


图6 2021长江安庆段仔稚鱼丰度时间变化与水位的关系

Fig. 6 The relationship between the abundance of larval and juvenile fish and water level in Anqing section of the Yangtze River in 2021

19.7%、3.6%和2.0%; 其中主要优势种贝氏鲮、鲮、银鲴、细鳞鲴和似鳊均与流量和水位存在较高的相关性; 子陵吻虾虎鱼和刀鲚与水温之间存在较高的相关性; 鳊和翘嘴鲌与浊度之间存在较高的

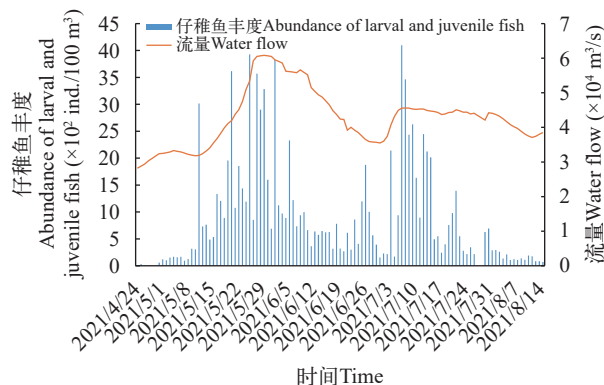


图7 2021长江安庆段仔稚鱼丰度时间变化与流量的关系

Fig. 7 The relationship between the abundance of larval and juvenile fish and water flow in Anqing section of the Yangtze River in 2021

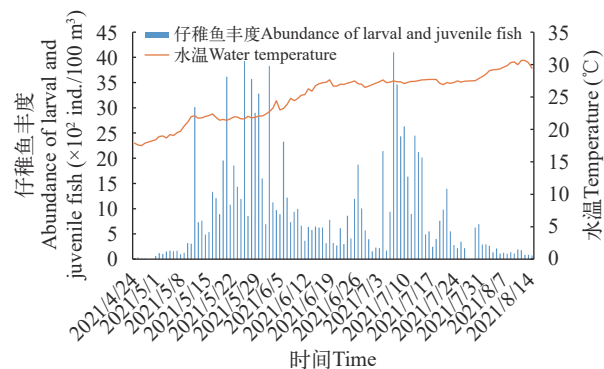


图8 2021长江安庆段仔稚鱼丰度时间变化与水温的关系

Fig. 8 The relationship between the abundance of larval and juvenile fish and water temperature in Anqing section of the Yangtze River in 2021

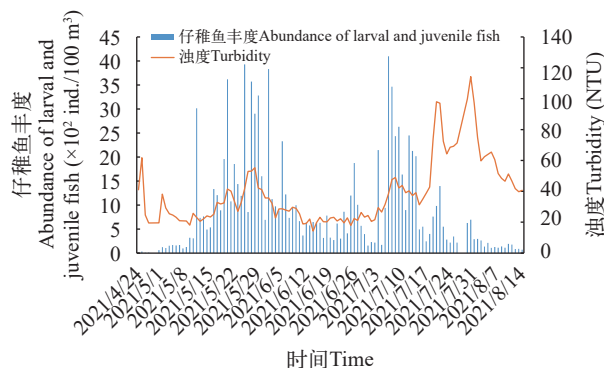


图9 2021长江安庆段仔稚鱼丰度时间变化与浊度的关系

Fig. 9 The relationship between the abundance of larval and juvenile fish and turbidity in Anqing section of the Yangtze River in 2021

相关性 (图 10)。

3 讨论

3.1 长江安庆段仔稚鱼资源现状

长江安庆段是长江下游重要的鱼类栖息地之一, 历史数据显示长江安庆段鱼类物种数高达 80 种, 其中经济性鱼类就有 50 种^[7]。自20世纪60年代以来, 受过度捕捞、环境恶化和水域污染等人类活动的影响, 长江流域渔业资源急剧衰退, 长江安庆段也呈现相似的趋势^[16, 17]。根据本课题组在长江安庆段皖河口水域持续开展鱼类早期资源调查取得的相关数据, 以长江禁捕推进实施的进度为节点, 禁捕前(2016—2018年)调查到的仔稚鱼物种数为 43—49种^[18], 禁捕过渡期(2019—2020年)为 37—47种, 禁捕后首年(2021年)为39种, 呈波动下降趋势; 但仔稚鱼平均丰度(依次为407—853、355—1185和915 ind./100 m³)则呈波动上升趋势, 丰度峰值(依次为4920、8081和4097 ind./100 m³)与之趋势总体相近。从仔稚鱼物种数角度分析, 禁捕初期资源恢

复效应尚不明显; 但从仔稚鱼丰度角度分析, 资源恢复效果显著, 特别是部分生命周期较短的小型鱼类。小种群鱼类的恢复需要较长的时间, 这些鱼类对于长江禁捕的响应尚未显现, 本研究中禁捕后与禁捕前相比, 未出现的主要是青鲮和紫薄鳅等种群数量较小, 采集随机性较大的偶见种。就小型鱼类而言, 生活史周期较短, 长江禁捕对其保护的效果更加直接, 其种群规模会迅速扩大, 这在仔稚鱼丰度上表现的尤为显著。本研究中禁捕前后仔稚鱼优势种多为小型鱼类, 其中第1优势种和第2优势种均为贝氏鲮和鲮, 两者丰度之和占比从禁捕前的 55.19%上升至禁捕后的76.41%。综上所述, 随着长江禁捕深入推进实施, 其对长江流域渔业资源保护和养护效果会逐步显现; 但对不同类群鱼类来说, 可能会表现出较大的差异, 其中小型鱼类资源在禁捕初期会得到快速恢复, 其后则是大型、肉食性鱼类种群数量逐步扩张, 随着禁捕期的后延, 鱼类群落会趋向于一个新的动态平衡。

3.2 仔稚鱼资源的时空分布及与环境因子的关系

RDA分析结果显示水温和流量为影响仔稚鱼丰度变化的主要影响因子。调查结果显示仔稚鱼繁殖高峰期主要集中在5—7月, 其他时段丰度较小; 4月平均水温较低, 为17.8℃, 繁殖规模也较小; 5—7月平均水温为24.8℃, 可以满足大多数鱼类繁殖需要, 繁殖高峰期即出现于5月和7月; 此后的8月, 尽管水温进一步上升至30℃左右, 但繁殖规模持续走低, 繁殖活动趋于结束。所以在一定范围内, 水温升高有利于的鱼类繁殖。本研究中流量与仔稚鱼丰度呈现显著($P<0.01$)的正相关关系, 这与之前的报道基本一致^[19, 20]。在调查期间, 流量经历了两次较大幅度上升, 第一次是由4月24日的28200上升至5月29日的60800 m³/s, 相应仔稚鱼丰度也由12上升至3281 ind./100 m³; 第二次是由6月30日的35500上升至7月8日的45600 m³/s, 相应仔稚鱼丰度也由156上升至758 ind./100 m³; 两次流量上升均伴随着仔稚鱼丰度大幅上升, 表明流量快速上升对于鱼类集中繁殖具有明显的促进作用。

长江安庆段北岸、河道中线、南岸采样线的仔稚鱼物种数(37、37和36种)和物种组成没有显著差异, 而丰度(依次为2243、164和337 ind./100 m³)的比较结果则存在很大差异, 总体表现为北岸仔稚鱼丰度均值显著高于南岸和河道中线, 优势种仔稚鱼在各个样线的丰度分布也呈现相似的特征。河道中线流速较快、泥沙含量较大, 近岸水域水流则较缓, 水文条件及河道形态差异应是形成这一特征的主要原因。监测水域北岸的植被覆盖率高于南

表 5 长江安庆段仔稚鱼密度和环境因子RDA分析统计特征
Tab. 5 Statistical characteristics of the axes by the RDA analysis in Anqing section of the Yangtze River

项目 Project	特征值 Eigenvalues	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 相关系数 Pseudo- canonical correlation (%)
轴1	0.2687	26.8	97.52	0.5401
轴2	0.0052	27.3	99.42	0.7144
轴3	0.0013	27.5	99.88	0.3908
轴4	0.0003	27.5	100	0.2413

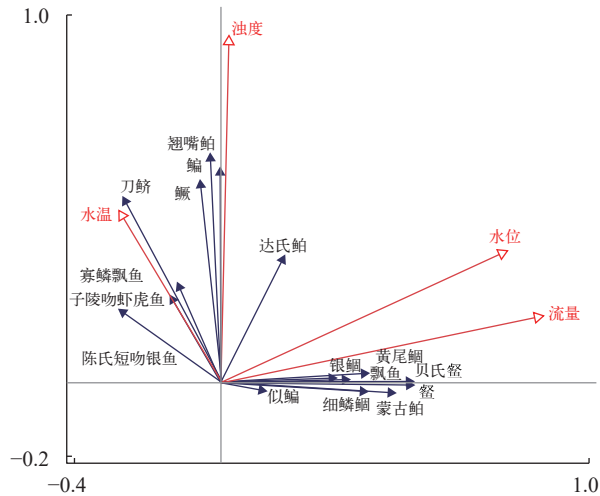


图 10 长江安庆段仔稚鱼物种-环境关系的RDA二维排序图
Fig. 10 RDA biplot of larvae and juvenile fish species and environmental variables in Anqing section of the Yangtze River

岸,且坡度较缓,南岸坡度较陡,且多为人工护岸,这应是北岸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,有主动选择生境条件较好栖息地的能力^[21],本研究中仔稚鱼的丰度空间差异同样体现了仔稚鱼对生长、发育及索饵所需自然生境条件选择的差异。田佳丽等^[22]在长江安庆新洲段也开展了类似的研究,其研究结果同样表明生境对仔稚鱼物种组成及分布格局存在明显影响。

参考文献:

- [1] 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.]
- [2] Xu D P, Zhang M Y, Liu K, *et al.* Biodiversity variation of fishery community in Anqing section of the Yangtze River before and after the spring closed season [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2006, **33**(1): 76-80. [徐东坡, 张敏莹, 刘凯, 等. 长江安庆江段春禁前后渔业生物多样性变化 [J]. *安徽农业大学学报*, 2006, **33**(1): 76-80.]
- [3] 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.]
- [4] 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.]
- [5] 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.]
- [6] 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. 长江安庆江段江豚主要栖息地鱼类群落结构 [J]. *生态学报*, 2016, **36**(7): 1832-1839.]
- [7] 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.]
- [8] Liu Y. Studies on spatial / temporal distribution and feeding difference of larvae and juvenile *Coilia nasus* in the Yangtze River [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019. [刘熠. 长江下游刀鲚(*Coilia nasus*)仔稚鱼的时空分布及其食性差异研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.]
- [9] Ding L Q. Temporal and spatial patterns of early-life-history resource of the four major carps and early growth characteristics of larval silver carp in the lower Yangtze River [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020. [丁隆强. 长江下游四大家鱼早期资源的时空格局及鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)早期生长特征研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.]
- [10] Zhang J M, He Z H. Handbook of Investigation of Fishery Natural Resources in Inland Waters [M]. Beijing: Agricultural Press, 1991. [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.]
- [11] Yi B L, Yu Z T, Liang C C. Gezhouba Hydraulic Hub and the Four Great Fish of the Yangtze River [M]. Hubei: Hubei Science and Technology Press, 1988. [易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼 [M]. 湖北: 湖北科学技术出版社, 1988.]
- [12] Survey Team of Spawning Grounds of Domestic Fishes in Chanjiang River. A survey on the spawning grounds of the "four famous Chinese carps" in the Changjiang River after dammed by the key water control project at Gezhouba [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1982, **6**(4): 287-305. [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 [J]. *水产学报*, 1982, **6**(4): 287-305.]
- [13] 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, 钱薇薇. 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.]
- [14] Legendre P, Gallagher E D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data [J]. *Oecologia*, 2001, **129**(2): 271-280.
- [15] 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. [刘乾甫, 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.]
- [16] Ye K, Yan Y, Zhu X Y, *et al.* Fish community characteristics in the confluence area of Wanhe Estuary in Anqing section of the Yangtze River [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, **40**(6): 1811-1819. [叶昆, 严燕, 朱孝彦, 等. 长江安庆段皖河口汇流区鱼类群落特征 [J]. *生态学报*, 2021, **40**(6): 1811-1819.]

- [17] Zhu Z B. Effect of shoreline solidification on fish and other aquatic communities in the Anqing section of the Yangtze River [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021. [朱宗波. 长江安庆段岸线固化对鱼类等水生生物群落影响研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.]
- [18] Li X F. The juvenile larval community diversity of spatial-temporal characteristic and influence factors in Anqing section of Changjiang [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019. [李新丰. 长江安庆段仔稚鱼群落多样性时空特征及影响因子研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.]
- [19] 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.]
- [20] Wang H L, Li M Z, Gao X, *et al.* The status of the early stage fish resources in the Fengdu section of the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(5): 954-964. [王红丽, 黎明政, 高欣, 等. 三峡库区丰都江段鱼类早期资源现状 [J]. *水生生物学报*, 2015, **39**(5): 954-964.]
- [21] 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 Si Jiao Island, East China Sea [C]. Proceedings of the 13th session of the 2013 Annual Conference of the Chinese Society of Oceanography. Beijing: Chinese Society of Oceanology, 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.]
- [22] Tian J L, Dai P, Ren P, *et al.* Assemblage of larvae and juvenile fish in Anqing Xinzhou section of the Yangtze River [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, **27**(8): 916-926. [田佳丽, 代培, 任鹏, 等. 长江安庆新洲江段仔稚鱼的群聚特征 [J]. *中国水产科学*, 2020, **27**(8): 916-926.]

THE COMMUNITY CHARACTERISTICS OF LARVAL AND JUVENILE FISH IN ANQING SECTION OF THE YANGTZE RIVER DURING THE FIRST YEAR OF FISHING BAN

HUANG Zhong-Jia^{1,2}, TIAN Jia-Li¹, WANG Yin-Ping¹, LI Jia-Sheng¹ and LIU Kai^{1,2}

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100086, China)

Abstract: Anqing section is located in the lower reaches of the Yangtze River, which is one of the important fish habitats. In order to understand the community characteristics of larval and juvenile fish and the interannual variation from 2016 to 2021, the daily survey was conducted from the 18 April to the 14 August, 2021. A total of 338922 juvenile fishes were collected and identified, belonging to 31 genera, 9 families and 6 orders. The dominant fish species and quantity of Cyprinidae accounting for 79.48% and 96.59%, respectively. In terms of ecological types, freshwater resident fishes were the absolute dominant in terms of number (95.13%) and species (79.49%). Drifting ovo-producing fishes were the absolute dominant in terms of spawning types, accounting for 92.27% and 48.71%, respectively. *Hemiculter bleekeri* was the first dominant species, accounted for 44.53%, followed by *Hemiculter leucisculus* and *Xenocypris argentea*. The highest abundance of larval and juvenile fish from May to July, with an average of 1093 ind./100 m³, and the peak abundance was observed on the 6 July, reaching 4097 ind./100 m³. Compared with the survey results from previous years, the number of species ranged from 37 to 48 from 2016 to 2020, and 39 in 2021. The average abundance of young and juvenile fish ranged from 355 to 1185 ind./100 m³ from 2016 to 2020, and 916 ind./100 m³ in 2021. The peak abundance ranged from 823 to 4920 ind./100 m³ from 2016 to 2020 and 8081 ind./100 m³ in 2021. Redundancy analysis (RDA) indicated a positive correlation between the abundance of larval and juvenile fish and water flow, water level, turbidity and water temperature. This study investigated the resource status of larval and juvenile fish in Anqing section of Yangtze River in the early period of the fishing ban, enriched the basic data of early fish resources in the Yangtze River trunk stream, and provided support for the evaluation on the effect of the fishing ban.

Key words: The first year of the fishing ban; Anqing section of the Yangtze River; Larval and juvenile fish; Species composition; Changes in abundance; Environmental factors