



长江上游江安段鱼类早期资源调查

周向峰^{1,2}, 李君轶², 杜浩², 盖帅帅^{1,2}, 方冬冬^{2,3}, 危起伟^{1,2,4*}

(1. 西南大学生命科学学院, 重庆 400715;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北 武汉 430223;

3. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214000;

4. 武汉长江中华鲟保护中心, 湖北 武汉 430223)

摘要: 为了解长江上游江安段鱼类繁殖状况, 于2022年4—5月在该江段采用底层采卵网进行鱼类早期资源调查, 鱼卵使用解剖镜观察分类, 并通过分子生物学方法进行鉴定。结果显示, 至少有20种鱼类在江安段繁殖, 其中产漂流性卵鱼类11种, 长江上游特有鱼类3种。监测期间, S1和S2位点出现4次产卵高峰, S3位点出现5次产卵高峰, 估算通过江安段的鱼卵总径流量为 3.94×10^8 粒。冗余分析显示, 水温、pH、溶解氧、透明度、流速和流量等环境因子对鱼类产卵活动产生不同程度的影响。研究表明, 江安段是多种鱼类的产卵场, 鱼类早期资源规模较大, 但多样性较为贫乏, 长江鲟、胭脂鱼以及岩原鲤并未监测到自然繁殖, 同时, 流量的增减对鱼类的自然繁殖活动有刺激作用。建议继续科学适宜地开展增殖放流, 并开展长江上游梯级水电站生态调度研究, 以满足长江上游鱼类繁殖需求。

关键词: 鱼类早期资源; 环境因子; 长江上游; 江安段

中图分类号: S 931

文献标志码: A

长江上游具有的特殊地质、地貌、气候和水文等自然环境, 使得众多的珍稀特有鱼类栖息于该江段, 历史记载栖息于此的鱼类多达286种, 其中上游水域特有鱼类112种, 特有鱼类比例远超国内其他水系^[1-2]。随着人类活动的加剧, 长江上游鱼类面临着巨大威胁, 特别是三峡大坝、向家坝等大型水利工程的建设, 上游特有鱼类栖息、生长、繁殖所需的生境条件遭到了不可逆的破坏^[3-4]。2005年, “长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保护区”的建立一定程度上保护了长江上游鱼类, 该保护区包括长江上游部分干流以及赤水河、岷江等支流, 总长度1 138.31 km, 是鱼类重要的产卵场、育肥场和越冬场^[1,5]。

鱼类早期资源对鱼类资源量的补充具有重要意义, 通过鱼类早期资源调查不仅可以估算鱼类繁殖群体数量、预测种群数量变动, 还有利于合理的开发利用渔业资源^[6]。自20世纪60年代以来, 研究人员在长江流域大规模开展鱼类早期资源调查, 易伯鲁^[7]、周春生^[8]、长江“四大家鱼”产卵场调查队^[9]等先后查清了长江干流四大家鱼产卵条件、产卵场分布、产卵规模、早期发育过程等问题, 并基本确立了江河中漂流性卵和仔鱼的采集方法, 为长江流域早期资源调查奠定了基础。关于长江上游鱼类早期资源调查已有大量研究, 段辛斌等^[10]在长江上游江津江段的研究表明, 三峡水库蓄水使部分长江上游中段“四大家鱼”产卵场

收稿日期: 2022-08-24 修回日期: 2023-01-17

资助项目: 农业农村部财政专项“长江渔业资源与环境调查(2017-2021)”; 国家自然科学基金(32102799)

第一作者: 周向峰(照片), 从事渔业资源与环境研究, E-mail: 382130046@qq.com

通信作者: 危起伟, 从事水生生物多样性保护与利用研究, E-mail: weiqw@yfi.ac.cn



消失; 吴金明等^[11]对赤水河赤水段研究发现, 至少 34 种鱼类生活于该江段, 并推断繁殖盛期的水温范围为 21~24.5 °C; 吕浩等^[12]对岷江下游、胡兴坤等^[13]对宜宾江段、周岐兵等^[14]对合江江段、王龙飞等^[15]对泸州江段均已开展过鱼类早期资源调查。长江上游江安段是众多长江上游特有鱼类的产卵场, 但针对该江段的鱼类早期资源却鲜有调查。同时, 既有研究大多是采集中上层漂流性鱼卵, 推算所得的产卵场位于采卵江段上游, 并不能反映当前江段产卵鱼类。为此, 本研究于 2022 年 4—5 月在长江上游江安段开展鱼类早期资源调查, 将改制的底层采卵网定置于江底, 不间断采集该江段产卵场繁殖的鱼卵。该网具为危起伟^[16]发明并应用于葛洲坝下中华鲟受精卵监测, 相对“四大家鱼”的筛网而言, 使用较少, 但关于底层卵采集监测鲜见报道。同时, 通过调查结果分析该时间段产卵鱼类组成、产卵场现状与环境因子等, 旨在评价江安段的鱼类繁殖状况, 为长江上游鱼类资源保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与研究区域

2022 年 4 月 24 日至 5 月 21 日于长江上游宜宾江安段开展为期 28 d 的鱼类早期资源监测, 该江段位于“长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保

护区”的缓冲区, 生境复杂, 是鱼类重要栖息场所, 具众多长江上游特有鱼类产卵场, 包括长江鲟 (*Acipenser dabryanus*)、胭脂鱼 (*Myxocyprinus asiaticus*) 以及岩原鲤 (*Procypris rabaudi*) 等都在此有过繁殖和生存记录。本次调查在江安段共设置 3 个采样位点 (图 1), 自上而下为 S1: 大同村垮头 (N28.7430, E105.0586)、S2: 江安镇河中村 (N28.7420, E105.0625)、S3: 长江竹岛 (N28.7394, E105.0676), 各位点相距约 2.5 km, 网具定置于离右岸约 10 m 处。

1.2 样品采集与处理

鱼卵采集网具为底层采卵网, 网口直径 1 m、网长 3 m、网口面积 0.39 m², 网目 0.5 mm (图 2)。采集时, 网口固定螺旋桨式流速仪 (G.O. ENVIRONMENTAL), 用以测量流经网口的流速、流量; 每个调查位点放置一张网具, 不间断采集鱼卵。调查期间, 逐日连续采样, 每网采集 24 h, 于每日上午 8:00~9:00 收集采集网内的鱼卵, 如网具出现脱锚下滑或网孔堵塞则提前进行收网。同时, 测量采集点水温、pH、溶解氧、透明度、流量和 水位, 以水银温度计测定水温, 以 PHB-4 型 pH 计测定 pH, 以 JPB-607A 型溶氧仪测定溶解氧, 以萨氏盘测定透明度, 流量和 水位来自于长江水文 [向家坝 (河道水文站)60 103 400]。

采集到的鱼卵及时用解剖镜进行观察, 根据

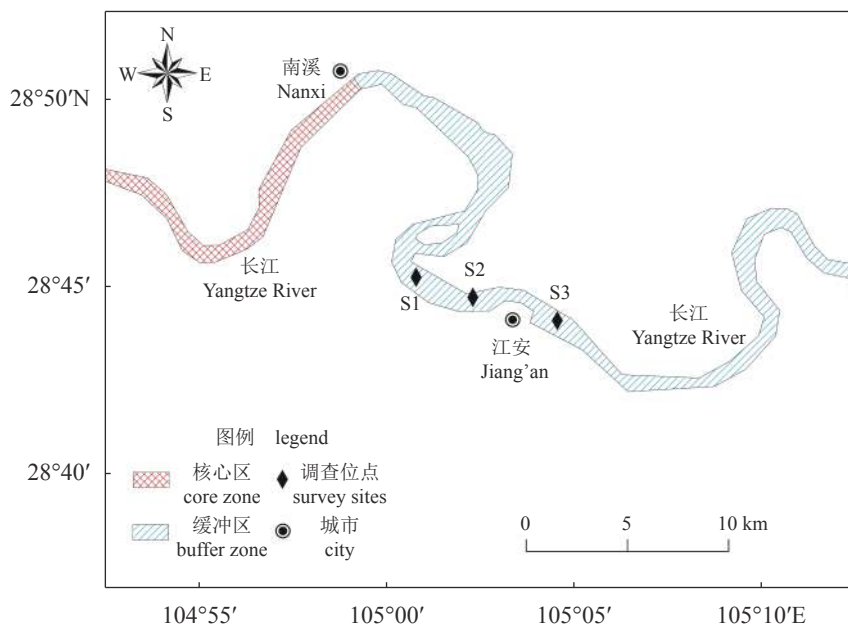


图 1 采样位点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sampling sites

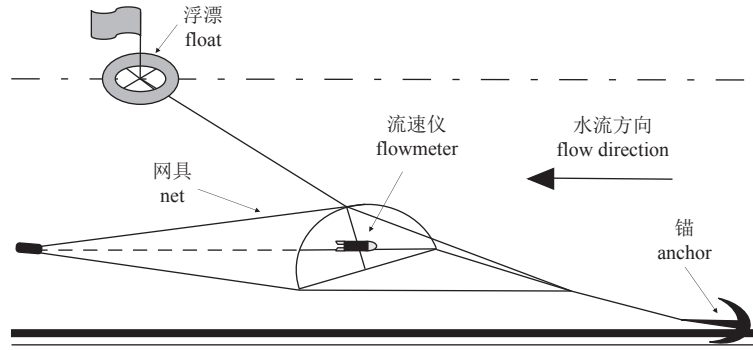


图 2 江底采卵示意图

Fig. 2 Schematic diagram of egg collection at the bottom of the river

其卵径、卵膜性质等现场分拣, 用 95% 的乙醇保存在 3 mL 离心管中。返回实验室后对样品编号, 提取 gDNA 并进行凝胶电泳检测和吸光度检测, 选择对应的通用引物进行 PCR 扩增后对产物进行 Sanger 测序, 测序结果导入 Chromas 分析软件进行测序峰图的质控, 使用 SeqMan 分析软件对 CO I 和 *cyt b* 双向测序进行拼接, 然后将测序良好的全长序列在 NCBI 数据库中进行比对来确定鱼卵种类。

1.3 数据分析

鱼卵丰度 用鱼卵密度与鱼卵径流量描述鱼卵丰度, 参照易伯鲁等^[7]方法计算, 具体计算公式如下:

$$q = s \times v$$

$$d = n / (q \times t) \times 100$$

$$M = (Q / q) \times n$$

式中, s 表示网口面积 (m^2); v 表示实测网口流速 (m/s); q 表示流经网内的江水流量 (m^3/s); n 表示采集点 24 h 连续采样采集到的鱼卵数量 (粒); t 表示采集时间 (s); d 表示鱼卵密度 (个/ 100 m^3); Q 表示采集点断面的平均江水流量 (m^3/s); M 表示一昼夜漂流通过调查断面的鱼卵径流量 (粒)。

群落多样性 为阐明调查期间种类多样性, 对所采集鱼卵的 Shannon-Wiener 物种多样性指数 (H')^[17]、Margalef 种类丰富度指数 (D')^[18]、Pielou 均匀度指数 (J)^[19]、Simpson 优势度指数 (X')^[20] 进行分析计算, 计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i$$

$$D' = (S-1) / \ln N$$

$$J = H' / \ln S$$

$$X' = \sum_{i=1}^S P_i^2$$

式中, P_i 为统计时段内物种 i 的数量占总数量的

比例; N 为统计时段内所有种类个体数量; S 为统计时段内物种数目。

相关性分析 对鱼卵密度与环境因子之间的关系进行分析, 以解释环境因子对鱼类自然产卵活动的影响。首先对物种进行趋势对应分析 (detrended correspondence analysis, DCA), 根据每个轴的梯度长度 (axis lengths, LGA) 选择典范对应分析 (canonical correlation analysis, CCA) 或者冗余分析 (redundancy analysis, RDA)。如果 $LGA < 3$, 采用 RDA 分析; 如果 $3 \leq LGA \leq 4$, 2 种分析方法均可采用; 如果 $LGA > 4$, 则采用 CCA 分析^[21-22]。进行相关性分析时, 由于环境因子数值相差过大, 对环境因子进行标准化处理 $Y' = \log_{10} Y / \log_{10} Y_{\max}$, 同时由于鱼卵密度数据出现许多 0 值, 因此选取出现次数 5% 以上的物种进行分析。

1.4 数据处理

利用 Office 2019 和 PRIMER 6 软件对数据进行统计分析, Canoco 5 软件进行 DCA 分析和 RDA 分析, ArcGIS 10.8 软件绘制采样点示意图, Origin 2021 软件绘制鱼卵密度、环境因子日变化图。

2 结果

2.1 种类组成

监测期间共采集鱼卵 30 144 粒, 共鉴定出 20 种, 隶属于 3 目 7 科 (表 1)。其中, 鲤形目 (Cypriniformes) 15 种, 鲇形目 (Siluriformes) 3 种, 鲈形目 (Perciformes) 2 种。7 科分别为鲤科 (Cypriidae)、平鳍鳅科 (Homalopteridae)、鳅科 (Cobitidae)、鲇科 (Siluridae)、鮡科 (Sisoridae)、钝头鮡科 (Amblycipitidae)、鲈科 (Serranidae), 鲤科鱼类最多, 共 12 种, 其次是平鳍鳅科和鲈科各 2 种,

表 1 2022 年长江上游江安段鱼类早期资源种类组成

Tab. 1 Species composition of fishes at early life history stage at Jiang'an section in the upper reaches of the Yangtze River in 2022

目 Order	科 Families	种类 species
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	* ¹²³ 吻鲃 <i>Rhinogobio typus</i>
		* ¹²³ 蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>
		* ¹²³ 银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>
		¹²³ 花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>
		* ¹²³ 铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>
		* ¹² 圆筒吻鲃 <i>Rhinogobio cylindricus</i>
		* ¹²³ 马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>
		* ¹²³ 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>
		* ¹²³ 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>
		* ²³ 鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>
		¹²³ 鲤 <i>Cyprinus carpio</i>
		²³ 圆吻鲂 <i>Distoechodon tumirostris</i>
		* ^{▲123} 短身金沙鲃 <i>Jinshaia abbreviata</i>
		* ^{▲123} 峨眉后平鲂 <i>Metahomaloptera omeiensis</i>
鲇形目 Siluriformes	鳅科 Cobitidae	* ^{▲2} 短体副鳅 <i>Paracobitis potanini</i>
	鲇科 Siluridae	¹³ 鲇 <i>Silurus asotus</i>
	鮡科 Sisoridae	¹²³ 中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinense</i>
	钝头鮡科 Amblycipitidae	²³ 白缘鮡 <i>Liobagrus marginatus</i>
鲈形目 Perciformes	鲈科 Serranidae	¹² 鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>
		¹²³ 大眼鳊 <i>Siniperca knerii</i>

注: *代表产漂流性卵鱼类, ▲代表长江上游特有鱼类, ¹代表S1位点采集到, ²代表S2位点采集到, ³代表S3位点采集到。
Notes: * represents the fishes laying pelagic eggs, ▲ represents the endemic fish in the upper reaches of the Yangtze River, ¹ represents the fish eggs collected at S1 site, ² represents the fish eggs collected at S2 site, ³ represents the fish eggs collected at S3 site.

鳅科、鲇科、鮡科和钝头鮡科各仅 1 种。20 种鱼中产漂流性卵鱼类 11 种, 占总种类的 65%; 长江上游特有鱼类 3 种, 分别为短身金沙鲃 (*Jinshaia abbreviata*)、峨眉后平鲂 (*Metahomaloptera omeiensis*) 和短体副鳅 (*Paracobitis potanini*), 占总种类的 15%。S1 位点采集到 16 种, 未采集到白缘鮡 (*Liobagrus marginatus*)、短体副鳅、鳊 (*Aristichthys nobilis*)、圆吻鲂 (*Distoechodon tumirostris*); S2 位点采集到 19 种, 未采集到鲇 (*Silurus asotus*); S3

位点采集到 17 种, 未采集到短体副鳅、鳊 (*Siniperca chuatsi*)、圆筒吻鲃 (*Rhinogobio cylindricus*)。

鱼卵组成中, S1、S2 和 S3 等 3 个位点的主要鱼卵种类为吻鲃 (*Rhinogobio typus*)、大眼鳊 (*Siniperca knerii*)、蛇鲃 (*Saurogobio dabryi*) 以及中华纹胸鮡 (*Glyptothorax sinense*)。其中, 吻鲃卵在 3 个位点中均是比例最高的种类, 占比分别为 93.65%、90.24% 和 94.03% (表 2)。

表 2 长江上游江安段鱼卵种类比例

Tab. 2 Species proportion of fish eggs in Jiang'an section of the upper reaches of the Yangtze River

种类 species	S1		S2		S3	
	数量/粒 number	比例/% proportion	数量/粒 number	比例/% proportion	数量/粒 number	比例/% proportion
吻鲃 <i>Rhinogobio typus</i>	6 445	93.65	5 018	90.24	16 644	94.03
大眼鳊 <i>Siniperca knerii</i>	106	1.54	199	3.58	586	3.31
蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	200	2.91	96	1.73	241	1.36
中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinense</i>	31	0.45	131	2.36	127	0.72
其他 other species	100	1.45	117	2.10	103	0.58
合计 total	6 882	100.00	5 561	100.00	17 701	100.00

2.2 鱼卵丰度

2022年4月24日—5月21日, 估算通过江安段3个位点所在断面的鱼卵总径流量为 3.94×10^8 粒。该江段3个位点鱼卵漂流密度波动较大, S1位点鱼卵的平均密度为 (0.9 ± 1.2) 个/ 100 m^3 (平均值 \pm 标准差), 最大密度出现在5月5日, 为3.8个/ 100 m^3 , 调查期间出现4次产卵高峰, 分别在4月24日、5月3—5日、5月8日、5月13—14日, 平均密度分别为2.8、3.4、3.7、0.4个/ 100 m^3 ; S2位点鱼卵的平均密度为 (0.7 ± 1.4) 个/ 100 m^3 , 最大密度出现在5月4日, 为7.2个/ 100 m^3 , 调查期间出现4次产卵高峰, 分别在4月24日、5月4日、5月8日、5月14日, 平均密度分别为1.0、7.2、1.3和1.6个/ 100 m^3 ; S3位点鱼卵的平均密

度为 (2.2 ± 4.2) 个/ 100 m^3 , 最大密度出现在4月24日, 为21.0个/ 100 m^3 , 调查期间出现5次产卵高峰, 分别在4月24—25日、4月28日、5月3—5日、5月8日、5月13日, 平均密度分别为15.2、5.1、3.1、3.5和1.4个/ 100 m^3 (图3)。

2.3 群落结构

2022年4—5月长江上游江安段所采鱼卵的Shannon-Wiener多样性指数(H')、Margalef丰富度指数(D')、Pielou均匀度指数(J')是 $S2 > S1 > S3$, 其中多样性指数最高为0.496, 最低为0.306; 丰富度指数最高为2.087, 最低为1.636; 均匀度指数最高为0.169, 最低为0.108, Simpson优势度指数(X')则是 $S3(0.885) > S1(0.878) > S2(0.816)$ (表3)。

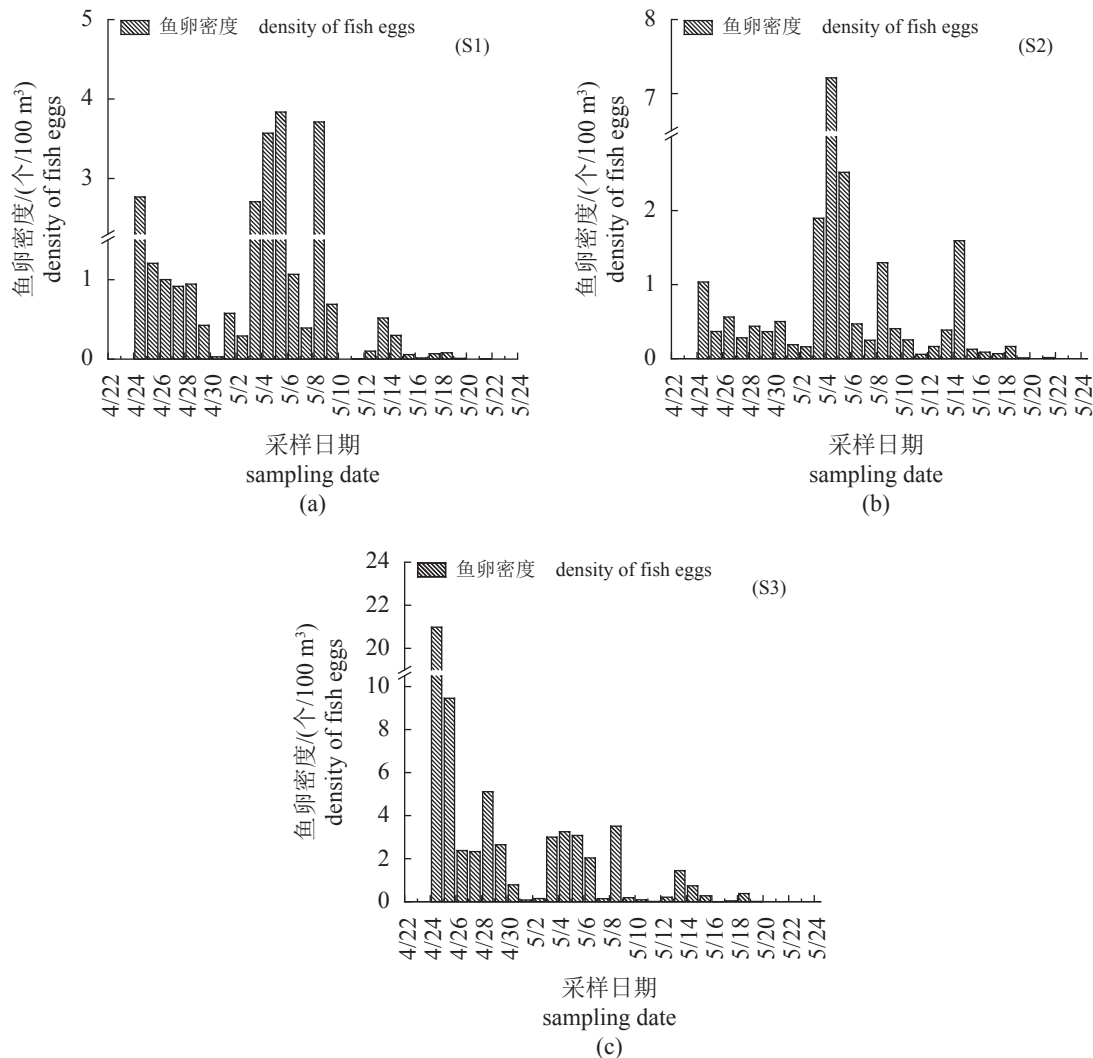


图3 长江上游江安段 S1、S2、S3 位点鱼卵密度的日变化

Fig. 3 Daily variation of densities of fish eggs at S1, S2 and S3 sites in Jiang'an section of the upper reaches of the Yangtze River

表 3 长江上游江安段鱼卵多样性

Tab. 3 Biodiversity indices of fish eggs in Jiang'an section of the upper reaches of the Yangtze River

位点 site	Shannon-Wiener 多样性指数(<i>H'</i>) diversity index	Margalef 丰富度指数(<i>D'</i>) richness index	Pielou 均匀度指数(<i>J'</i>) evenness index	Simpson 优势度指数(<i>X'</i>) dominance index
S1	0.346	1.697	0.125	0.878
S2	0.496	2.087	0.169	0.816
S3	0.306	1.636	0.108	0.885

2.4 鱼类自然产卵活动与环境因子关系

2022年监测期间江安段流量变化范围为 3 373~5 510 m³/s, 平均值为 (4 203±542) m³/s; 水位变化范围为 (267.84~269.76) m, 平均值为 (268.63±0.48) m。流量和水位整体波动较大, 期间出现三次洪峰, 分别在 4 月 29 日、5 月 5 日、5 月 15 日。水温呈先升高后降低趋势, 变化范围为 18.4~21.1 °C, 平均值为 (19.5±0.8) °C; 溶解氧变化范围为 6.28~9.06 mg/L, 平均值为 (7.82±0.72) mg/L; 透明度变化范围为 14.2~119.1 cm, 平均值为 (75.5±

31.4) cm; pH 变化范围为 7.62~8.07, 平均值为 7.85±0.10 (图 4)。

根据 DCA 分析结果, 3<LGA<4, 对江安断面鱼卵密度变化与环境因子的关系进行 RDA 分析。RDA 分析时, 使用水温 (water temperature, WT)、溶解氧 (dissolved oxygen, DO)、pH、透明度 (transparency, T)、流量 (water discharge, WD)、水位 (water level, WL)、流速 (velocity, V) 作为解释变量; 选取吻鲃、大眼鳊、蛇鲃和中华纹胸鲃等主要鱼类日均卵密度做响应变量, 以卵密度变化反

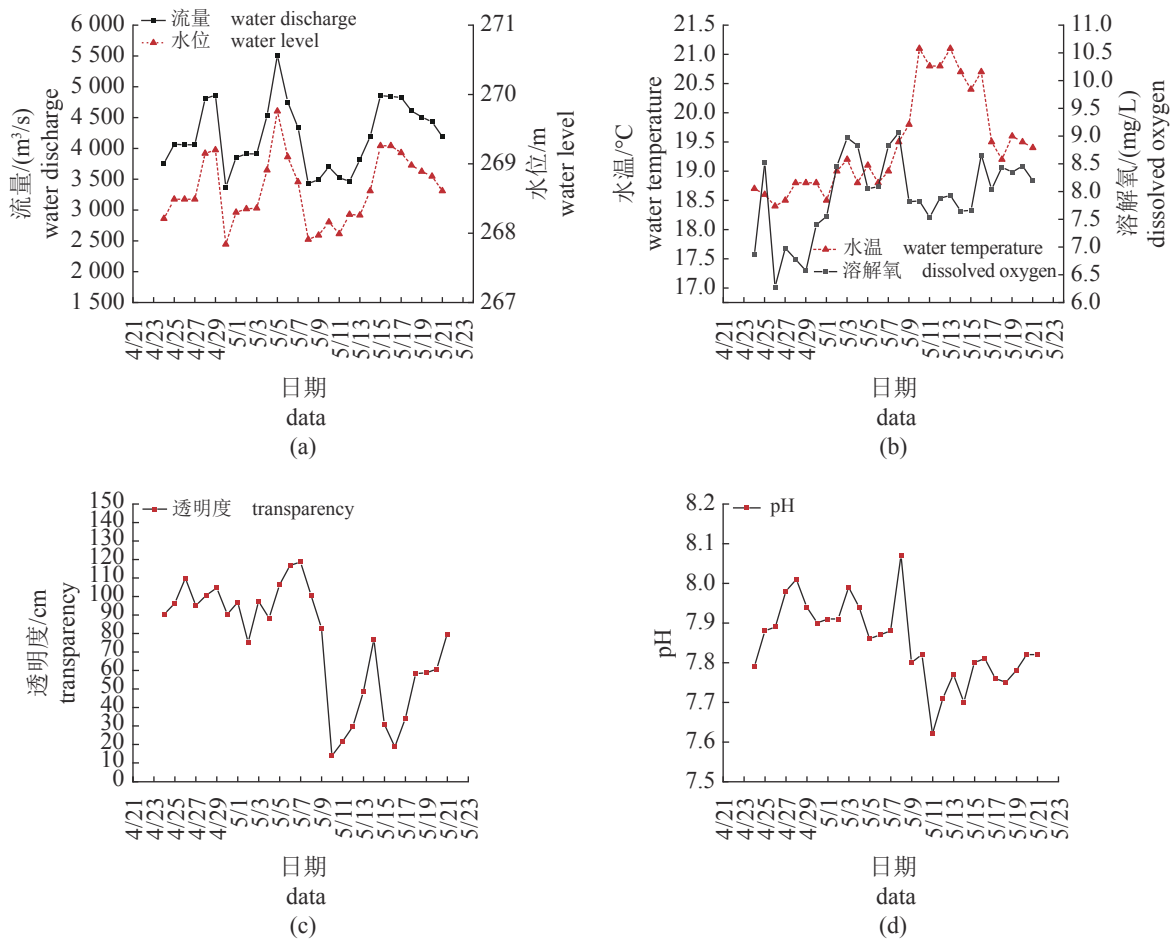


图 4 2022 年长江上游江安段各环境因子日变化

Fig. 4 Daily variation of environmental variables in Jiang'an section of the upper reaches of the Yangtze River in 2022

映环境因子对鱼类自然产卵活动的影响。RDA 结果显示, 第一轴解释变化率为 13.51%, 第一轴与第二轴累计解释变化率为 21.83%; 物种和环境因子与第一轴相关性为 83.58%, 与第二轴相关性为 78.48% (表 4)。对 7 个环境因子进行蒙特卡洛置换检验, 水温、pH、溶解氧、透明度、流速和流量等均对鱼卵密度有不同程度影响, 其中溶解氧和

pH 对鱼卵密度有显著性影响 ($P < 0.05$)。铜鱼、草鱼、鲤、峨眉后平鳅和花鲢与溶解氧呈正相关, 鲢、中华纹胸鲃、白缘鲃、蛇鲃、大眼鳊、银鲃、马口鱼和吻鲃与溶解氧呈负相关; 鲤、峨眉后平鳅、花鲢、吻鲃、马口鱼、银鲃、大眼鳊、蛇鲃、白缘鲃和中华纹胸鲃与 pH 呈正相关, 草鱼、铜鱼、鲢与 pH 呈负相关 (图 5)。

表 4 鱼卵日均卵密度变化与环境因子关系 RDA 分析

Tab. 4 RDA analysis statistics between the density of fish eggs and environmental factors

	轴1 Axis 1	轴2 Axis 2	轴3 Axis 3	轴4 Axis 4
特征值 eigenvalues	0.135 1	0.083 2	0.053 2	0.032 7
累计解释变化率 cumulative percentage explained variation	13.51	21.83	27.15	30.42
物种与环境因子相关性 species-environment correlation	0.835 8	0.784 8	0.797 3	0.693 0
累计解释拟合变化率 explained fitted variation (cumulative)	38.51	62.25	77.41	86.74

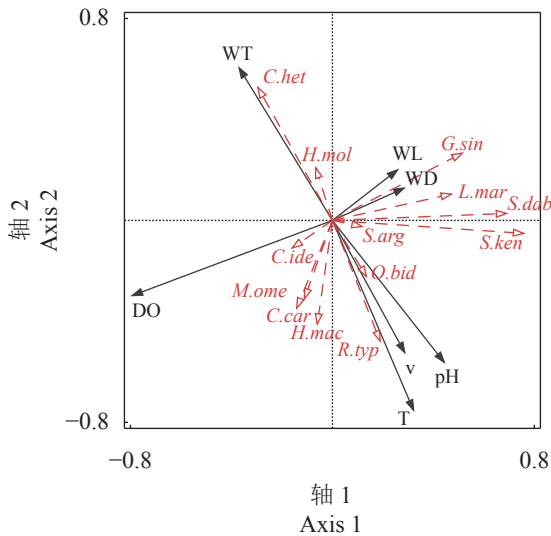


图 5 2022 年长江上游江安段鱼卵密度与环境因子关系 RDA 排序

R.typ: 吻鲃; *S.dab*: 蛇鲃; *S.arg*: 银鲃; *H.mac*: 花鲢; *C.het*: 铜鱼; *O.bid*: 马口鱼; *C.ide*: 草鱼; *H.mol*: 鲢; *C.car*: 鲤; *M.ome*: 峨眉后平鳅; *G.sin*: 中华纹胸鲃; *L.mar*: 白缘鲃; *S.ken*: 大眼鳊

Fig. 5 The relationship between density of eggs and environmental factors in Jiang'an Section of the upper reaches of the Yangtze River in 2022

R.typ: *Rhinogobio typus*; *S.dab*: *Saurogobio dabryi*; *S.arg*: *Squalidus argentatus*; *H.mac*: *Hemibarbus maculatus*; *C.het*: *Coreius heterodon*; *O.bid*: *Opsariichthys bidens*; *C.ide*: *Ctenopharyngodon idella*; *H.mol*: *Hypophthalmichthys molitrix*; *C.car*: *Cyprinus carpio*; *M.ome*: *Metahomaloptera omeiensis*; *G.sin*: *Glyptothorax sinense*; *L.mar*: *Liobaegrus marginatus*; *S.ken*: *Siniperca knerii*

3 讨论

3.1 鱼类早期资源组成及多样性

本次调查发现长江上游江安段的鱼类早期资源共 20 种, 包括短身金沙鳅、峨眉后平鳅和短体副鳅 3 种长江上游特有鱼类, 依据产卵类型可分为漂流性卵、沉性卵和黏性卵, 说明该江段适合多种产卵类型鱼类繁殖。孟宝等^[23]研究表明江安段是长江鲟、胭脂鱼、岩原鲤及铜鱼等国家重点保护水生动物的产卵场, 但本次调查仅监测到铜鱼卵, 其他 3 种鱼卵并未监测到, 主要原因可能是向家坝等水利工程的修建改变了该江段的生境, 加之调查时间、网具的局限性未监测到这 3 种产沉性卵、黏性卵鱼类的繁殖活动。

调查到的鱼类早期资源种类相较于长江上游其他江段, 种类数多于金沙江攀枝花和巧家江段^[24-25]以及长江上游泸州江段^[15], 少于长江上游宜宾江段^[26]、岷江下游江段^[12]、长江上游合江江段^[14]和赤水河赤水江断^[11], 表明江安段鱼类早期资源的种类是比较丰富的。

从产卵规模看, 通过江安 3 个位点所在断面的鱼卵总径流量为 3.94×10^8 粒, 与相邻的宜宾、泸州江段^[15,26]比较, 江安段的早期资源规模并不低。但从多样性指数 (H') 来看, 3 个位点的鱼类早期资源多样性并不高, S1 位点为 0.346, S2 位点为 0.496, S3 位点为 0.306; 同时均匀度指数

也比较低, 最高的 S2 位点也仅 0.169, 表明在江安段繁殖的鱼类多样性较为贫乏, 是少数种类大量繁殖。事实上 3 个位点采集到的鱼卵中, 吻鲃占绝对优势, 超过总采集卵数的 90%。已有文献^[13-15,26]表明, 吻鲃在长江上游其他江段均有分布且占优势地位, 这可能是因为长江上游大坝水库蓄水改变了当地生境, 而吻鲃等广布种鱼类适应性强。

3.2 环境因子对早期资源的影响

长江上游江安段位于向家坝下 100 km 左右, 向家坝的截流及运行发电都会导致坝下江段的自然环境发生改变, 会对坝下江段透明度、水温、pH 值、溶解氧、流速和流量等产生一定影响。RDA 分析结果显示, 透明度主要影响铜鱼、鲢、吻鲃、马口鱼和花鲢等鱼类产卵, 其中铜鱼和鲢卵密度变化与透明度呈负相关, 吻鲃、马口鱼和花鲢等与透明度呈正相关。透明度降低, 能为铜鱼和鲢提供更好的庇护, 提高了两者产卵的可能性, 这与姜伟^[27]、高天珩等^[28]、李祥艳等^[26]对铜鱼的研究结论一致。吕浩等^[12]对岷江下游鱼类早期资源研究发现高透明度刺激吻鲃产卵, 这与本研究结论相同。水温是重要的产卵条件之一, 是鱼类产卵的信号因子, 此次研究得知适宜的水温有利于铜鱼、吻鲃、鲢和马口鱼的产卵, 但对其他鱼类的产卵相关性不大, 并非水温不是产卵的必要条件, 而是因为监测期间水温在 18.4~21.1 °C 之间, 满足这些鱼类的产卵条件。流量对河流生态系统中水生生物有重要影响^[29], 流量增加会导致水位升高、流速加快, 调查发现流量和水位变化趋于一致, 涨水会刺激中华纹胸鲃、蛇鲃、白缘鲃和大眼鲷等产卵, 而不利于峨眉后平鲃产卵, 这与吴金明等^[11]对平鳍鲃科鱼类的研究结果相反, 这可能是因为赤水河流量远小于江安段流量所导致。

透明度、水温、pH、溶解氧、流速和流量等环境因子对鱼类产卵活动有一定程度的影响, 但对不同鱼类的影响程度不同, 这些环境因子鱼类繁殖的影响还需要深入研究。

3.3 长江上游江安段鱼类资源保护

长江上游江安段广泛分布着鱼类产卵场, 包括吊鱼嘴、暗碛坝、金鸡尾、合溪坝等^[23], 作为长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区的缓冲区, 该江段具有非常高的生态价值。向家坝等水电站蓄水后, 江安段原有的生境条件遭到了改变,

但随着鱼类对环境的适应形成新的产卵场, 同时部分原有产卵场得到了保留, 使得该江段的生境仍能满足部分鱼类的栖息、生长与繁殖, 因此从监测结果来看主要是广布种鱼类和小型鱼类。监测期间, 向家坝水库出库流量的增加能有效促进鱼类产卵繁殖, 建议在鱼类主要繁殖季节开展生态调度。同时在“长江十年禁渔”期间加强早期资源基础研究, 以了解繁殖群体的资源量变化, 为更好地进行生态调度提供基础, 使得更多种类的鱼类受益, 提高生态效益。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 危起伟. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区科学考察报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Wei Q W. Scientific investigation report on the National Nature reserve for the rare and endemic fish in the Upper Reaches of the Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 2012(in Chinese).
- [2] 曹文宣. 长江上游特有鱼类自然保护区的建设及相关问题的思考[J]. 长江流域资源与环境, 2000(2): 131-132.
Cao W X. Consideration on the construction and related problems of the nature reserve for endemic fish in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000(2): 131-132 (in Chinese).
- [3] Chen D, Xiong F, Wang K, *et al.* Status of research on Yangtze fish biology and fisheries[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2009, 85(4): 337-357.
- [4] 段辛斌, 刘绍平, 熊飞, 等. 长江上游干流春季禁渔前后三年渔获物结构和生物多样性分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2008(6): 878-885.
Duan X B, Liu S P, Xiong F, *et al.* Analysis of fishing structure and biodiversity in the upper mainstream of the Yangtze River before and after three years' spring fishing off[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008(6): 878-885 (in Chinese).
- [5] 秦卫华, 刘鲁君, 徐网谷, 等. 小南海水利工程对长江上游珍稀特有鱼类自然保护区生态影响预测[J]. *生态与农村环境学报*, 2008(4): 23-26+36.
Qin W H, Liu L J, Xu W G, *et al.* Prediction of ecological impacts of the planned Xiaonanhai Power Dam on

- the rare and endemic fishes nature reserve in the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008(4): 23-26+36 (in Chinese).
- [6] 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, *et al.* Early fish resources of the Yangtze River[M]. Beijing: China Water Power Press, 2007(in Chinese).
- [7] 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊等. 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. 10.
- Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, *et al.* Water conservancy project construction and Fishery Ecology Research Collection: Gezhouba water control project and four famous fishes in Yangtze River [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1988. 10(in Chinese).
- [8] 周春生, 梁秩燊, 黄鹤年. 兴修水利枢纽后汉江产漂流性卵鱼类的繁殖生态[J]. 水生生物学集刊, 1980, 7(2): 175-188.
- Zhou C S, Liang Z S, Huang H N. Ecological features of the spawning of certain fishes in the Hanjiang River after the construction of dams[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1980, 7(2): 175-188 (in Chinese).
- [9] 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.
- Survey team of spawning grounds of domestic fishes in Changjiang River. A survey on the spawning grounds of the four famous Chinese carps in the Yangtze River after dammed by the key water control project at Gezhouba[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1982, 6(4): 287-305 (in Chinese).
- [10] 段辛斌. 长江上游鱼类资源现状及早期资源调查研究 [D]. 湖北: 华中农业大学, 2008.
- Duan X B. Studies on fish resources and the fishes of early life history stage in the upper Yangtze River [D]. Thesis for Master of professional degree in agricultural extension. Hubei: Huazhong Agricultural University, 2008(in Chinese).
- [11] 吴金明, 王芊芊, 刘飞, 等. 赤水河赤水段鱼类早期资源调查研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(11): 1270-1276.
- Wu J M, Wang Q Q, Liu F, *et al.* Fish resources of early life in Chishui section of the Chishui River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(11): 1270-1276 (in Chinese).
- [12] 吕浩, 田辉伍, 申绍祎, 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.
- Lv H, Tian H W, Shen S W, *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 (in Chinese).
- [13] 胡兴坤, 邵科, 阙延福, 等. 金沙江下游宜宾段产漂流性卵鱼类早期资源动态变化 [J/OL]. 水生态学杂志, 1-8
- 2-08-21]. DOI:10.15928/j.1674-3075.202107050230. Hu X K, Shao K, Que Y F, *et al.* Changes in early stage fish resources in the Yibin section of Jinsha River[J/OL]. *Journal of Hydroecology*, 1-8[2022-08-21] (in Chinese).
- [14] 周岐兵, 程飞, 王震, 等. 长江上游合江江段鱼类早期资源与向家坝水库生态调度效果初步研究[J]. 中国环境监测, 2022, 38(1): 95-103.
- Zhou Q B, Cheng F, Wang Z, *et al.* Study on fish resources of the early life history stages and the effects of ecological regulation of the Xiangjiaba reservoir at the Hejiang section in the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2022, 38(1): 95-103 (in Chinese).
- [15] 王龙飞, 田辉伍, 严忠奎, 等. 长江上游泸州江段鱼类早期资源现状及其与水文条件响应关系[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(4): 814-822.
- Wang L F, Tian H W, Yan Z L, *et al.* Status of early-stage fish resources and hydrological condition response relationship in Luzhou section of upper Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(4): 814-822 (in Chinese).
- [16] 危起伟. 中华鲟繁殖行为生态学与资源评估 [D]. 湖北: 中国科学院水生生物研究所, 2003.
- Wei Q W. Reproductive behavioral ecology of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) with its stock assessment[D]. Hubei: Institute of aquatic biology, Chinese Academy of Sciences, 2003(in Chinese).
- [17] Shannon C E. The mathematical theory of communication[J]. *Bell Labs Technical Journal*, 1950, 3(9): 31-32.
- [18] Margalef D R. Diversidad de especies en las comunidades naturales[M]. *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, 1951.

- [19] Pielou E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 13: 131-144.
- [20] Simpson E H. Measurement of diversity[J]. *Nature*, 1949, 163: 688.
- [21] 凌炜琪, 张丽姿, 吴文秀, 等. 环境变化对北部湾海域春季鱼类多样性的影响 [J/OL]. *水生生态学杂志*, 1-19[2022-08-21]. DOI: [10.15928/j.1674-3075.202105250164](https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.202105250164).
Ling W Q, Zhang L Z, Wu W X, *et al.* The influence of the environmental variation on fish diversity in spring in the Beibu Gulf[J/OL]. *Journal of Hydroecology*, 1-19[2022-08-21]. DOI: [10.15928/j.1674-3075.202105250164](https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.202105250164). (in Chinese).
- [22] 刘燕山, 谷先坤, 唐晟凯, 等. 东太湖鱼类群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2021, 41(2): 769-780.
Liu Y S, Gu X K, Tang S K, *et al.* Fish community structure and its relationship with main environmental variables in the East Taihu Lake[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(2): 769-780 (in Chinese).
- [23] 孟宝, 张继飞, 叶华, 等. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区鱼类产卵场功能现状分析及保护启示[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(11): 2772-2785.
Meng B, Zhang J F, Ye H, *et al.* Current situation and protection enlightenment of the function of fishing spawning grounds in the national nature reserve for the rare and endemic fishes, upper reaches of the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(11): 2772-2785 (in Chinese).
- [24] 王导群, 田辉伍, 唐锡良, 等. 金沙江攀枝花江段产漂流性卵鱼类早期资源现状[J]. *淡水渔业*, 2019, 49(6): 41-47.
Wang D Q, Tian H W, Tang X L, *et al.* Early fish resources of drifting egg fish in Panzhihua Section of Jinsha River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2019, 49(6): 41-47 (in Chinese).
- [25] 周湖海, 田辉伍, 何春, 等. 金沙江下游巧家江段产漂流性卵鱼类早期资源研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(12): 2910-2920.
Zhou H H, Tian H W, He C, *et al.* Surveys for resources of drifting eggs fish at early life history stages in the Qiaojia Section in the lower reaches of the Jinsha River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(12): 2910-2920 (in Chinese).
- [26] 李祥艳, 田辉伍, 蒲艳, 等. 长江上游宜宾江段鱼类早期资源现状研究[J]. *渔业科学进展*, 2022, 43(4): 93-104.
Li X Y, Tian H W, Pu Y, *et al.* Study on the status of the early-stage fish resources at Yibin section in the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(4): 93-104 (in Chinese).
- [27] 姜伟. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流江段鱼类早期资源研究 [D]. 湖北: 中国科学院水生生物研究所, 2009.
Jiang W. Studies on Fish early resources in the main stream of state-level natural protection area for rare and endemic fishes in the upper Yangtze River[D]. Hubei: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2009(in Chinese).
- [28] 高天珩, 田辉伍, 王涵, 等. 长江上游江津断面铜鱼鱼卵时空分布特征及影响因子分析[J]. *水产学报*, 2015, 39(8): 1099-1106.
Gao T H, Tian H W, Wang H, *et al.* Spatial and temporal distributions and influence factors of brass gudgeon (*Coreius heterodon*) eggs in Jiangjin section of the Upper Yangtze River[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(8): 1099-1106 (in Chinese).
- [29] Bunn S E, Arthington A H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity[J]. *Environmental Management*, 2002, 30(4): 492-507.

Fish resources of early life in the Jiang'an section in the upper reaches of the Yangtze River

ZHOU Xiangfeng^{1,2}, LI Junyi², DU Hao², GAI Shuaishuai^{1,2}, FANG Dongdong^{2,3}, WEI Qiwei^{1,2,4*}

(1. College of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

3. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214000, China;

4. The Center for Chinese Sturgeon Conservation, Wuhan 430223, China)

Abstract: The upper reaches of the Yangtze River, with its special geology, geomorphology, climate and natural ecological environment, has bred a rich diversity of fish. However, in recent years, the fishery resources have been declining significantly due to the development of water conservancy projects and the increase of human fishing intensity. As a buffer zone of the “National Nature Reserve for the rare and endemic fishes in the upper reaches of the Yangtze River”, the Jiangan section in the upper reaches of the Yangtze River is rich in fish resources. Surveys were carried out in the Jiangan section from April to May in 2022 to study the fish resources of early life. The eggs were identified by molecular biology methods. At least 20 species of fish breed in the Jiangan section, including 13 species of drifting eggs and 3 species of endemic fish in the upper reaches of the Yangtze River. During the monitoring period, there were 4 spawning peaks at S1 and S2 sites, and 5 spawning peaks at S3 site. It is estimated the total fish eggs passing through the Jiangan section is 3.94×10^8 ind. The Shannon-Wiener diversity index, Margalef richness index, Pielou evenness index and Simpson index of the Jiangan section ranged 0.306-0.496, 1.636-2.087, 0.108-0.169, and 0.816-0.885, respectively. Environmental factors such as water temperature, pH, dissolved oxygen, transparency, water level and water discharge were found to have different degrees of influence on egg density through redundancy analysis. The research results showed that the Jiang'an section was spawning ground for a variety of fish, and the early resources were large in scale but poor in diversity. The natural reproduction of *Acipenser dabryanus*, *Myxocyprinus asiaticus* and *Procypris rabaudi* was not monitored. The increase and decrease in water discharge had a stimulating effect on fish reproduction. Therefore, it is suggested to continue to carry out breeding and releasing scientifically and appropriately and carry out ecological dispatching research to meet the breeding demand of fish in the upper reaches of the Yangtze River.

Key words: fish resources of early life; environmental factor; upper reaches of the Yangtze River; Jiang'an section

Corresponding author: WEI Qiwei. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

Funding projects: The Project of Yangtze Fisheries Resources and Environment Investigation from the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (2017-2021); National Natural Science Foundation of China (32102799)