

大宁河龙溪段鱼类早期资源现状及其与环境因子的关系研究

易 燃¹, 毕明亮², 唐会元¹, 杨 志¹, 朱其广¹, 张 勇², 徐 薇¹, 龚 云¹, 曹 俊¹, 刘宏高¹

(1. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,

湖北省水生态保护与修复工程技术研究中心, 湖北 武汉 430079;

2. 中国长江三峡集团有限公司流域枢纽运行管理中心, 四川 宜宾 644002)

摘要: 研究大宁河鱼类早期资源及其与环境因子的关系, 为生态调度等鱼类资源保护措施提供参考。调查时间为2020和2021年, 采样断面为三峡库区支流大宁河回水末端的龙溪断面, 每年5-7月每日早、晚各采集1次。2020-2021年采样期共采集到24种鱼的卵412粒、仔稚鱼1074尾; 2020年鱼卵、鱼苗平均漂流密度分别为 0.852×10^3 粒/ m^3 、 2.141×10^3 尾/ m^3 ; 2021年鱼卵、鱼苗平均漂流密度分别为 1.268×10^3 粒/ m^3 、 2.925×10^3 尾/ m^3 。2020年调查期间, 通过龙溪江段的卵苗径流量分别为166136粒、629781尾; 2021年调查期间, 通过龙溪江段卵苗径流量分别为351867粒、988608尾。RDA分析结果显示, 中华纹胸鮡(*Glyptothorax sinensis*)、张氏鲮(*Hemiculter tchangi*)鱼卵漂流密度与水温变化呈现一定相关性, 适宜水温促使产卵; 随着流速和流量增加, 多鳞白甲鱼(*Scaphesthes macrolepis*)和云南盘鮡(*Discogobio yunnanensis*)卵漂流密度均相应增加; 大眼鳊(*Siniperca kneri*)和峨眉后平鳊(*Metahomaloptera omeiensis*)产卵期间江水酸碱度相对较低。建议采取生态调度、增加鱼类保护区等措施来保护大宁河鱼类资源。

关键词: 鱼类早期资源; 环境因子; 大宁河

中图分类号: S932.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2024)01-0127-07

大宁河是长江三峡库区的主要支流之一, 由西向东流经西宁纳东溪河, 南流经巫溪县城, 于巫山县城东注入长江, 全长150 km, 流域总面积3720 km²(杨峰等, 2013)。长江三峡库区是长江上游珍稀、特有鱼类以及经济鱼类的集中分布区之一, 同时又是“四大家鱼”、铜鱼等重要经济鱼类的重要产卵场(王珂等, 2009), 水生生物多样性丰富。大宁河作为三峡水库库区左岸一级支流, 其鱼类资源丰富, 共有鱼类73种, 其中特有鱼类13种(王珂等, 2009)。近年来, 环境污染、过度捕捞、水利工程建设等人类活动的影响已导致长江上游鱼类种类数减少、鱼类濒危程度加剧、鱼类资源小型化趋势明显、鱼类资源量呈衰退趋势、外来物种增多等(董芳等, 2023)。从2021年1月1日起, 长江全流域实施十年禁渔, 该措施减轻了

天然鱼类资源的捕捞压力, 改善了水生生态系统的健康状况, 促进了长江生态环境恢复(董芳等, 2023)。对大宁河鱼类相关研究多集中于鱼类资源现状(耿相昌, 2020)、重要经济鱼类资源调查(朱亚林, 2007)、鱼类的时空分布特征(王珂等, 2009)等, 而鱼类早期资源相关研究还未见报道。

鱼类早期资源研究是鱼类生态学、渔业生物学和保护生态学研究的重要内容(汪珂等, 2013)。鱼类早期资源与环境因子的关系研究是生态调度、栖息地保护等鱼类资源保护措施的基础。因此, 大宁河鱼类早期资源及其与环境因子的关系研究具有重要意义。本研究以龙溪断面2020、2021年鱼类早期资源监测数据、水文和水环境数据为基础, 研究鱼类繁殖期间龙溪江段鱼类早期资源特征, 分析鱼类产卵对环境因子的响应关系, 进而了解大宁河鱼类早期资源及其与环境因子的关系变化状况, 为大宁河鱼类资源保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样地点和时间

采样断面为三峡库区大宁河支流回水末端的龙溪断面(31°18'27.51"N, 109°39'35.08"E), 位于重庆市巫山县龙溪镇, 见图1。龙溪断面河道相对顺直、上下游无阻碍物, 其上游分布有诸多产卵场。

收稿日期: 2023-11-05

基金项目: 武汉市知识创新专项项目(2022020801020173); 国家重点研发计划(2021YFC3200304); 中国三峡建工(集团)有限公司技术服务项目(JG-EP-0421003); 中国长江三峡集团有限公司技术服务项目(JG-EP-0421001)。

作者简介: 易燃, 研究方向为生态调度、河流栖息地模拟。E-mail: qqyiranhh@163.com

通信作者: 毕明亮, 主要从事水库环保、水库管理。E-mail: Bim-ingliang@ctg.com.cn

长江十年禁渔计划发布于 2020 年 1 月,重庆巫山县于 2020 年 8 月开始实施。本研究主要采集了十年禁渔计划实施前后的数据,采样时间为 2020、2021 年的 5–7 月,每日早、晚各采集 1 次,每次约 2 h,共计 96 d。



图 1 大宁河龙溪采样断面

Fig.1 Location of the sampling sites in the Longxi section in Daning River

1.2 样品采集、处理与分析

本研究鱼卵和鱼苗的监测为定点定量监测,固定采样点设在监测江段大宁河右岸龙溪镇。用筛网采集卵苗,记录采集时间、鱼卵苗数量、鱼卵苗发育期。同步测定水环境因子透明度(Tr)、溶解氧(DO)、水温(T)、网口流速(V)和酸碱度(pH),流量(Q)采用巫溪水文站(距离采样断面约 15 km)的监测数据。

所有鱼卵和鱼苗都鉴定到种水平。鱼卵采取逐个分子鉴定:提取卵的 mtDNA,利用通用引物($cytb$ 或 COD)对所提取 DNA 进行扩增,之后进行测序,对测序结果进行拼接、比对及遗传距离计算,确定其种类。鱼苗数量少时采用逐个、数量多时抽样直接固定后采用形态观察鉴定或分子鉴定。种类鉴定参照相关文献(易伯鲁等,1988;曹文宣等,2008;徐薇等,2014)。

1.3 早期资源量估算

产漂流性卵鱼类卵资源量估算方法(易伯鲁等,1988;徐薇等,2014)如下。

1.3.1 采集期间鱼卵苗密度

$$d = \frac{n}{S \times V \times t} \quad (1)$$

式中, d 为采集过程中单位水体体积通过网口鱼卵苗密度, n 为采集过程中累计获得的鱼卵苗数量

[粒(尾)], S 为网口面积(m^2), V 为网口流速(m/s), t 为采集持续时间(s)。

1.3.2 卵苗断面流量系数 本研究只在监测断面河道的右岸设置 1 个采样点,加上采样河段相对窄浅,故卵苗断面流量系数(C)取值 1。

1.3.3 采集期间卵苗径流量

$$M_i = d_i \times Q_i \times C \quad (2)$$

式中, M_i 为第 i 次采集时段内通过该江断面的鱼卵苗数, d_i 为第 i 次采集的鱼卵苗密度, Q_i 为第 i 次采集时的断面流量, C 为鱼卵苗断面流量系数。

1.3.4 非采集期间鱼卵苗径流量

$$M_{i,j+1} = (M_i/t_i + M_{i+1}/t_{i+1}) \cdot t_{i,j+1} / 2 \quad (3)$$

式中, $M_{i,j+1}$ 为第 i 、第 $i+1$ 次采集时间间隔内的鱼卵苗径流量, $t_{i,j+1}$ 为第 i 、第 $i+1$ 次采集时间间隔。

1.3.5 调查期间鱼卵苗总径流量

$$M = \sum M_i + \sum M_{i+1} \quad (4)$$

1.3.6 鱼卵苗日均漂流密度

$$d' = \frac{M'}{Q' \times C \times t'} \quad (5)$$

式中, d' 为某一天内估算的鱼卵苗密度日平均值; Q' 为某一天的断面平均流量; t' 为 24h,取值 86 400s。

1.4 数据分析与处理

对鱼类产卵日时序、水环境因子、鱼卵种类之间的关系进行分析。水环境因子作为解释变量,鱼卵日漂流密度作为响应变量,进行鱼卵漂流密度和环境因子关系的研究。先进行 DCA 去趋势分析来消除物种的弓形效应,采用 RDA 排序来分析鱼种产卵对环境因子的响应,并用 CANOCO 4.5 模型来进行计算。选用偏蒙特卡罗置换来检验环境变量对鱼类群落的影响,评估 6 个环境变量对鱼类在不同时间产卵的贡献,采用前向选择法来减弱冗余生境因子的不利影响。

2 结果与分析

2.1 鱼类早期资源种类组成和产卵类型

2020、2021 年采样期共采集到 24 种鱼的卵苗,包括 12 种鱼的卵、20 种鱼的苗。24 种鱼隶属于 3 目 8 科,鲤科鱼类最多、14 种,爬鳅科 3 种,鳅科 2 种,鮡科、钝头鮡科、鲃科、鮠科和鰕虎鱼科各 1 种,见表 1。共采集到鱼卵 412 粒,2020 年 7 种 115 粒、2021 年 9 种 297 粒;共采集到仔稚鱼 1074 尾,2020 年 12 种 359 尾、2021 年 20 种 715 尾。

表1 2020-2021年大宁河龙溪鱼类早期资源种类组成
Tab.1 Species composition of early-stage fish resources in the Longxi section of the Daning River in 2020 and 2021

种类	鱼苗	鱼卵
鲤形目 CYPRINIFORMES		
鲤科 Cyprinidae		
鮡亚科 Barbinae		
1. 中华倒刺鮡 <i>Spinibarbus sinensis</i>	+	
2. 多鳞白甲鱼 <i>Scaphesthes macrolepis</i>	+	+
3. 宽口光唇鱼 <i>Acrossocheilus monticola</i>	+	
鲤亚科 Cyprininae		
4. 鲤 <i>Cyprinus carpio</i>		+
鮡亚科 Gobioninae		
5. 唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	+	
6. 花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	+	
7. 蛇鮡 <i>Saurogobio dabryi</i>	+	+
野鲮亚科 Labeoninae		
8. 云南盘鮡 <i>Discogobio yunnanensis</i>	+	+
鮡亚科 Culterinae		
9. 贝氏鮡 <i>Hemiculter bleekeri</i>	+	
10. 张氏鮡 <i>Hemiculter tchangi</i>		+
鲢亚科 Hypophthalmichthyinae		
11. 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	+	
鲮亚科 Danioninae		
12. 宽鳍鲮 <i>Zacco platypus</i>	+	+
13. 马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	+	
裂腹鱼亚科 Schizothoracinae		
14. 齐口裂腹鱼 <i>Schizothorax prenanti</i>	+	
爬鮡科 Balitoridae		
15. 峨眉后平鮡 <i>Metahomaloptera omeiensis</i>	+	+
16. 短身金沙鳅 <i>Jinshaia abbreviata</i>		+
17. 西昌华吸鳅 <i>Sinogastromyzon sichangensis</i>		+
鳅科 Cobitidae		
条鳅亚科 Noemacheilinae		
18. 红尾副鳅 <i>Paracobitis variegatus</i>	+	
19. 短体副鳅 <i>Paracobitis potanini</i>	+	
鲇形目 SILURIFORMES		
鲇科 Sisoridae		
20. 中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinensis</i>	+	+
钝头鮡科 Amblycipitidae		
21. 黑尾鮡 <i>Liobagrus nigricauda</i>	+	
鲇科 Siluridae		
22. 大口鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	+	+
鲈形目 PERCIFORMES		
鲈科 Serranidae		
23. 大眼鲈 <i>Siniperca kneri</i>	+	+
鰕虎鱼科 Gobiidae		
24. 波氏吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	+	

注:+表示采集到。

Note:+ indicates collection.

根据产卵类型划分,产浮性卵鱼类1种,为大眼鲈;产漂流性卵鱼类4种,分别是蛇鮡、贝氏鮡、鲢和短身金沙鳅;其他19种为产粘沉性卵鱼类。大宁河龙溪段早期资源的鱼卵以中华纹胸鮡最多,卵占比达到48%以上;其次为大眼鲈,卵占比30%以上。鱼苗以贝氏鮡最多,苗占比达到30%以上;其次为多鳞白甲鱼和波氏吻鰕虎鱼,苗占比均在10%以上。

2.2 大宁河龙溪断面产卵规模与时间

2020年鱼卵平均漂流密度为 0.852×10^{-3} 粒/ m^3 ,峰值在6月下旬,密度 5.724×10^{-3} 粒/ m^3 ;2020年鱼苗平均漂流密度为 2.141×10^{-3} 尾/ m^3 ,峰值在6月中旬,密度 7.214×10^{-3} 尾/ m^3 。2021年平均鱼卵漂流密度为 1.268×10^{-3} 粒/ m^3 ,在5月底和6月初各达到1次高峰,密度分别为 4.753×10^{-3} 、 4.589×10^{-3} 粒/ m^3 ;2021年平均鱼苗漂流密度为 2.925×10^{-3} 尾/ m^3 ,在6月中旬和7月初各达到1次高峰,密度分别为 6.347×10^{-3} 、 7.214×10^{-3} 尾/ m^3 。见图2~图5。

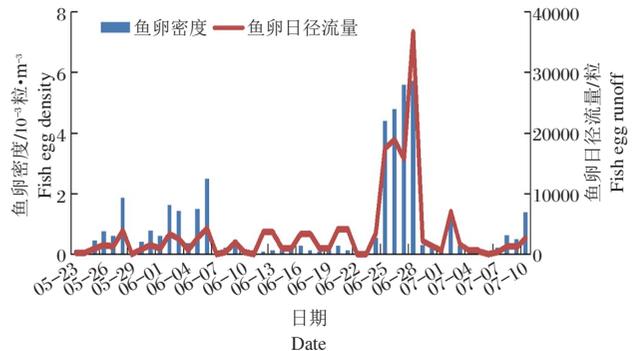


图2 2020年5-7月龙溪断面鱼卵日均密度与径流量
Fig.2 Average daily density and runoff of fish eggs at Longxi section from May to July, 2020

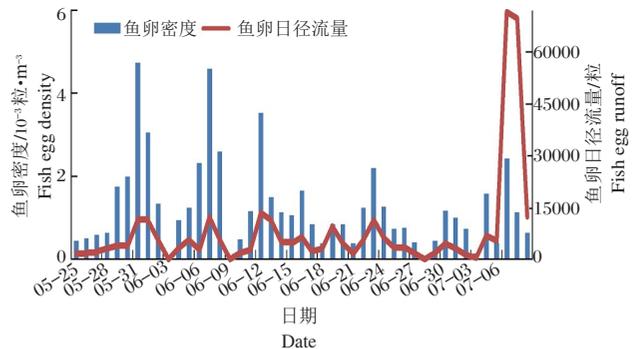


图3 2021年5-7月龙溪断面鱼卵日均密度与径流量
Fig.3 Average daily density and runoff of fish eggs at Longxi section from May to July, 2021

2020年调查期间,通过龙溪江段的卵苗径流量合计分别为166 136粒、629 781尾;2021年调查期间,通过龙溪江段卵苗径流量合计分别为351 867粒、

988 608尾。统计表明,2年间的鱼卵和鱼苗径流量具有显著差异,2021年大宁河干流段卵苗漂流密度和卵苗径流量显著大于2020年。

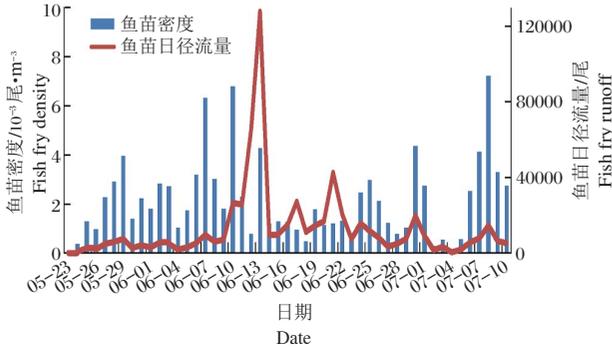


图4 2020年5-7月龙溪断面鱼苗日均密度与日径流量
Fig.4 Average daily density and runoff of fish fry at Longxi section from May to July, 2020

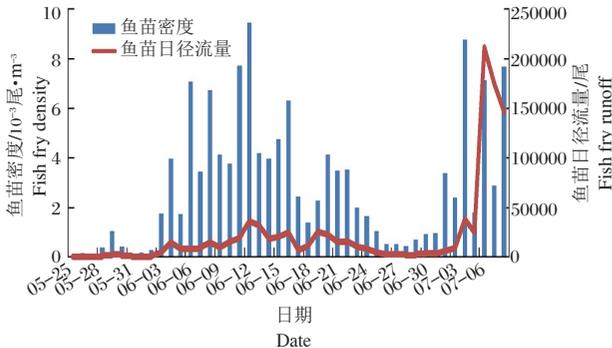


图5 2021年5-7月龙溪断面鱼苗日均密度与日径流量
Fig.5 Average daily density and runoff of fish fry at Longxi section from May to July, 2021

2.3 大宁河鱼类繁殖与流量关系

采样期间鱼卵日均密度与龙溪日均流量见图6和图7。2020年和2021年采样期间平均流量分别为92.07、75.22m³/s,2020年采样期间平均流量要高于2021年。2020年龙溪的鱼卵日均密度与流量的涨落并未表现明显的相关性;2021年伴随着涨落水过程,龙溪出现了几次明显的产卵高峰。2020年龙溪采样获得的鱼卵偏少,随机性相对太强,并未发现径流量过程与鱼类繁殖关系的规律性;随着2021年产卵鱼类种类和数量的增多,表现出涨水过程的发生利于龙溪段鱼类繁殖行为发生的规律。

2.4 鱼卵漂流密度与环境因子关系

采用2021年的数据,进行大眼鳊、蛇鮈、中华纹胸鮡、峨眉后平鳊、西昌华吸鳅、鲤、张氏鲮、多鳞白甲鱼和云南盘鮡进行鱼卵漂流密度与环境因子关系分析。DCA分析表明,四个轴最大梯度为2.051,小于3,故而鱼类产卵与环境因子的关系应该基于线性

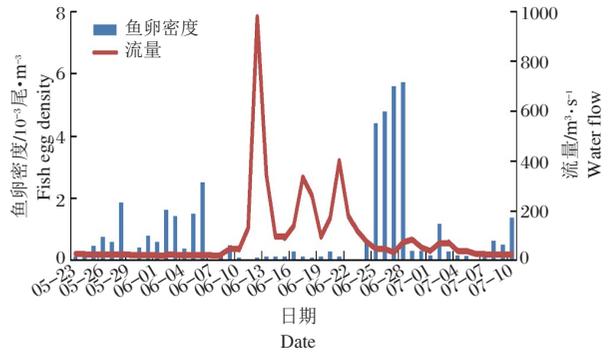


图6 2020年5-7月龙溪断面鱼卵日均密度与流量
Fig.6 Average daily density of fish eggs and water flow at Longxi section, May to July, 2020

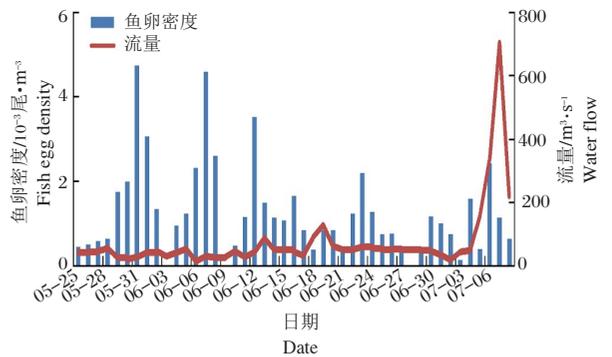


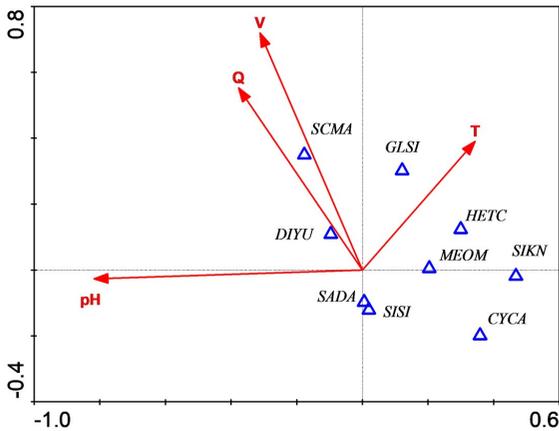
图7 2021年5-7月龙溪断面鱼卵日均密度与流量
Fig.7 Average daily density of fish eggs and water flow at Longxi section, May to July, 2021

模型来分析,采用RDA排序来分析鱼种产卵对环境因子的响应。*T*、*Q*、pH和*V*在显著水平0.05之下对鱼类不同时间繁殖的影响较大,4个变量与鱼卵群落RDA分析结果见图8。结果显示,排序图很好地说明了各种鱼卵密度变化与环境因子的关系。第一、第二轴上鱼卵密度与环境因子的相关性分别为0.549和0.411,前两轴鱼卵密度与环境关系的方差累计比为83.1%。中华纹胸鮡、张氏鲮鱼卵漂流密度与水温变化呈现一定相关性,适宜水温促其产卵;多鳞白甲鱼和云南盘鮡鱼卵漂流密度与流量和流速呈显著正相关,涨水流量增加会刺激多鳞白甲鱼和云南盘鮡产卵;大眼鳊和峨眉后平鳊鱼卵漂流密度与pH变化存在负相关,即在繁殖季节内,随着pH的降低,鱼卵密度逐渐升高。

3 讨论

3.1 大宁河龙溪段鱼类早期资源现状

3.1.1 大宁河是长江鱼类的重要栖息地和繁殖地本研究采集到24种鱼的卵苗(12种鱼的卵、20种鱼



SIKN: 大眼鳊 *Siniperca kneri*; SADA: 蛇鮈 *Saurogobio dabryi*; GLSI: 中华纹胸鮡 *Glyptothorax sinensis*; MEOM: 峨眉后平鳅 *Metahomaloptera omeiensis*; SISI: 西昌华吸鳅 *Sinogastromyzon sichangensis*; CYCA: 鲤 *Cyprinus carpio*; HETC: 张氏鲮 *Hemiculter tchangi*; SCMA: 多鳞白甲鱼 *Scaphesthes macrolepis*; DIYU: 云南盘鮡 *Disco-gobio yunnanensis*

图8 龙溪断面鱼卵日均密度与环境因子的RDA排序

Fig.8 Redundancy analysis (RDA) of the average daily density of fish eggs with environmental factors in the Longxi section

的苗),其中产漂流性卵鱼类4种,产浮性卵鱼类1种,产粘沉性卵鱼类19种。鱼类组成中以适应激流底栖、产粘沉性卵的鱼类为主,这与调查江段及其上游的急流生境有关。大宁河仍保留不同程度的自然河段,生活着大量的长江上游特有鱼种,本次共调查到7种长江上游特有鱼类(西昌华吸鳅、宽口光唇鱼、张氏鲮、齐口裂腹鱼、短体副鳅、短身金沙鳅、峨眉后平鳅)和1种国家二级保护动物(多鳞白甲鱼)。本研究采集到的种类绝大多数是长江上游的鱼类区系成分,表明三峡库区水生生境改变后,大宁河的流水生境可以为部分喜流水性鱼类提供避难所和适宜栖息地,有较大生态价值。解崇友等(2018)、唐会元等(2023)的研究也表明,大宁河对三峡库区鱼类资源多样性的补充和维持发挥着重要作用。

本次调查中华纹胸鮡和大眼鳊的产卵规模相对较大,原因是这2种鱼的资源量较多,监测时间段涵盖的5-6月也是该2种鱼的产卵旺盛期。2021年鱼卵苗的漂流密度、资源量和种类数均要高于2020年,表明十年禁渔计划的实施可能使渔业资源有所恢复。

3.1.2 大宁河鱼类种类数偏少、个体较小 吴金明等(2010)在赤水河赤水段鱼类早期资源调查中监测到34种鱼,吕浩等(2019)在岷江下游干流江段鱼类早期资源调查中监测到28种鱼,邓华堂等(2014)在大宁河下游鱼类资源调查中采集到39种鱼,杨峰等(2013)在大宁河3个断面鱼类资源调查中采集到68

种鱼,段辛斌(2008)在大昌至巫溪鱼类资源调查中采集到66种鱼。本研究监测到24种鱼,种类数少于上述研究,可能与大宁河流域梯级建设、近些年频繁的捕捞等人类活动使得渔业资源下降以及调查的江段、时间、频次不同等有关。

大宁河早期资源监测到的鱼类个体均较小,大个体的上层或中上层鱼类较少,小型化现象较为严重。水利工程的建设、捕捞等人类活动对鱼类的繁殖产生了重大影响(高欣,2007;唐会元等,2023)。本研究,中华纹胸鮡和贝氏鲮等小型鱼种逐渐增多,原因是中华纹胸鮡和贝氏鲮等小型鱼种繁殖周期短,用于繁殖的能量更多,饵料来源丰富,栖息环境需求低、群落结构更稳定,更能适应环境的变化(卢继武等,1995;高欣,2007)。大中型鱼类则相反,对环境变化更敏感,种群恢复能力较弱(范振华等,2012;王文君等,2023)。另外,长江十年禁渔前,大宁河野生鱼类经济效益远高于养殖鱼类,导致捕捞强度不断增加,大个体高营养级捕食者持续减少、衰退,降低了对小型鱼类种群的捕食与竞争压力(Pauly et al, 1998),导致鱼类群落结构转变,渔获不断向小个体、营养层次低、经济价值不高的种类转变,渔业资源明显衰退,最终导致大宁河鱼类资源向小型化发展(王文君等,2023)。

3.2 大宁河鱼类早期资源对环境因子的响应

在鱼类繁殖季节,江河水文情势变化如水位升高、流量增大、流速加快、流态改变等均对鱼类繁殖产生多方面的影响(张晓敏等,2009;万力等,2011),鱼类的繁殖是多环境因子共同影响的结果,并且不同鱼类自然繁殖的关键环境因子需求存在差异(徐薇等,2020;王龙飞等,2022;杨志等,2023)。流量对河流生态系统中水生生物有重要影响,通常日鱼卵密度的峰值与流量高峰上升和下降紧密相关(易伯鲁等,1988;Bunn & Arthington, 2002;Jiao et al, 2023)。本研究多鳞白甲鱼和云南盘鮡的卵漂流密度与流量存在正相关性,适宜流量上涨刺激产卵,同时一定范围内增加流速也利于多鳞白甲鱼和云南盘鮡鱼产卵;蛇鮈和西昌华吸鳅的卵漂流密度与流量存在负相关性,适宜流量下降则利于产卵。酸碱度是影响鱼类酶活力的重要因素,酸碱度过高或过低,均能引起酶活力降低,对鱼类繁殖产生不利影响(韩庆等,2011)。大眼鳊和峨眉后平鳅卵漂流密度与酸碱度呈现负相关,适宜范围内降低酸碱度有利于繁殖。水温一般被认为是鱼类繁殖的重要条件(王锐和李嘉,2010),在本研究中发现中华纹胸鮡、张氏鲮鱼卵漂流密度与水温变化呈现一定相关性,适宜水温促进产卵。

3.3 大宁河鱼类资源保护建议

由于每年参与的繁殖群体规模、亲鱼个体发育、外部环境条件的差异,鱼类繁殖规模也会有年际差异。2021年在采样期间平均流量小于2020年的前提下,卵苗漂流密度、资源量和物种数都要更多,说明十年禁渔的实施对大宁河渔业资源的恢复可能起到了积极效果。

本文只进行了十年禁渔前后2年的研究,结果显示禁渔后的2021年鱼类早期资源量比2020年多,但结合他人研究结果看,总体上大宁河鱼类资源仍然呈现衰退趋势,关于禁渔效果的研究还需要进一步加强。禁渔是保护和恢复鱼类资源的重要措施,刘明典等(2018)指出增殖放流、生态调度均有利于鱼类群落的恢复。大宁河在实施十年禁渔措施的同时,可通过开展生态调度、增加鱼类保护区、加强人工繁殖研究、扩大增殖放流的种类和数量、加强外来鱼种管控、严格控制沿河周边污水排放、加强监管和执法力度等综合措施保护大宁河鱼类资源。

参考文献

曹文宣,常剑波,乔晔,等,2008.长江鱼类早期资源[M].北京:中国水利水电出版社.

邓华堂,段辛斌,刘绍平,等,2014.大宁河下游主要鱼类营养结构的时空变化[J].生态学报,34(23):7110-7118.

董芳,方冬冬,张辉,等,2023.长江十年禁渔后保护与发展[J].水产学报,47(2):245-259.

段辛斌,2008.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.

范振华,巴家文,段辛斌,2012.长江宜昌至城陵矶江段鱼类资源现状及物种多样性研究[J].淡水渔业,(4):20-25.

高欣,2007.长江珍稀及特有鱼类保护生物学研究[D].武汉:中国科学院研究生院(水生生物研究所).

耿相昌,2010.大宁河鱼类资源现状及云南盘鮈生物学初步研究[D].重庆:西南大学.

韩庆,刘良国,张建平,等,2011.温度和pH对洞庭鳊鱼消化酶活性的影响[J].水生生物学报,35(1):22-29.

刘明典,高雷,田辉伍,等,2018.长江中游宜昌江段鱼类早期资源现状[J].中国水产科学,(1):147-158.

卢继武,罗秉征,兰永伦,等,1995.中国近海渔业资源结构特点及演替的研究[J].海洋科学集刊,(10):198-210.

吕浩,田辉伍,申绍祎,等,2019.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,28(3):586-593.

唐会元,朱其广,金瑶,等,2023.长江支流大宁河巫溪段鱼类群落结构的年际变化及保护对策[J].水生态学杂志,44(6):63-71.

万力,蔡玉鹏,唐会元,等,2011.汉江中下游产漂流性卵鱼类早期资源现状的初步研究[J].水生态学杂志,32(4):53-57.

王珂,段辛斌,刘绍平,等,2009.三峡库区大宁河鱼类的时空分布特征[J].水生生物学报,33(3):516-521.

王龙飞,田辉伍,严忠奎,等,2022.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,31(4):814-822.

王锐,李嘉,2010.引水式水电站减水河段的水温、流速及水深变化对鱼类产卵的影响分析[J].四川水力发电,29(2):76-79.

王文君,方艳红,杨钟,等,2023.大渡河乐山段鱼类群落结构及其多样性分布特征[J].水生态学杂志,44(3):62-69.

汪珂,刘凯,徐东坡,等,2013.鱼类早期资源研究进展[J].江西农业大学学报,35(5):1098-1107.

吴金明,王芊芊,刘飞,等,2010.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,19(11):1270-1276.

解崇友,牛亚兵,罗德怀,等,2018.三峡库区重要支流鱼类多样性初探[J].长江流域资源与环境,27(12):2747-2756.

徐薇,刘宏高,唐会元,等,2014.三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,(2):1-8.

徐薇,杨志,陈小娟,等,2020.三峡水库生态调度试验对四大家鱼产卵的影响分析[J].环境科学研究,33(5):1129-1139.

杨峰,姚维志,邓华堂等,2013.三峡库区蓄水后大宁河鱼类资源现状研究[J].淡水渔业,43(4):51-52,56-57.

杨志,龚云,胡挺,等,2023.三峡库区涪陵江段产漂流性卵鱼类的早期资源及其对水文和水温特征的响应[J].湖泊科学,35(2):586-600.

易伯鲁,余志堂,梁秩桑,等,1988.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.

张晓敏,黄道明,谢文星,等,2009.汉江中下游“四大家鱼”自然繁殖的生态水文特征[J].水生态学杂志,30(2):126-129.

朱亚林,2007.大宁河重要经济鱼类资源调查[J].重庆水产,79(2):32-36.

Bunn S E, Arthington A H, 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity[J]. Environmental Management, 30(4):492-507.

Jiao H B, Guo W X, Jiao X Y, 2023. Evaluation of hydrological regime alteration and ecological effects in the upper reaches of the Yangtze River, China[J]. Water Supply, 23(5):1827-1842.

Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, et al, 1998. Fishing down marine food webs[J]. Science, 279(6):860-863.

Status of Early-Stage Fish Resources in the Longxi Section of Daning River and Its Relationship with Environmental Factors

YI Ran¹, BI Ming-liang², TANG Hui-yuan¹, YANG Zhi¹, ZHU Qi-guang¹, ZHANG Yong²,
XU Wei¹, GONG Yun¹, CAO Jun¹, LIU Hong-gao¹

- (1. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem, Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Hubei Engineering Research Center of Hydroecology Protection and Restoration, Wuhan 430079, P.R. China;
2. China Three Gorges Corporation River Basin Complex Administration Center, Yibin 644002, P.R. China)

Abstract : Studing the early-stage fish resources of fish in the Daning River and their relationship with environmental factors could provide reference for measures to protect fish resources. In this study, we explored the changes in early-stage fish resources in the Daning River before and one year after the implementation of a ten-year fishing ban and analyzed the response of fish spawning to changes in environmental conditions, aiming to provide a reference for fish resource protection in Daning River. The study was based on surveys conducted in 2020 and 2021, before and one year after implementation of the ten-year fishing ban. The section of Daning River sampled was the Longxi reach at the end of the backwater from Three Gorges Reservoir. From May to July of 2020 and 2021, monitoring of early-stage fish resources was carried out in the morning and evening. The data recorded included sampling time, quantity of fish eggs and fry, developmental stages of the fry, and the species of all eggs and fry. Water environmental factors were determined simultaneously, including transparency as Secchi depth (SD), dissolved oxygen (DO), water temperature (T), pH, water velocity (V), and water flow (Q). A total of 412 fish eggs and 1 074 larvae representing 24 fish species were collected during the investigation, including 115 eggs from 7 species and 359 larvae from 12 fish species in 2020, and 297 eggs from 9 species and 715 larvae from 20 fish species in 2021. The average density of drifting fish eggs and larvae were 0.852×10^{-3} eggs/m³, 2.141×10^{-3} larvae/m³ in 2020 and 1.268×10^{-3} eggs/m³, 2.925×10^{-3} larvae/m³ in 2021. The runoff of fish eggs and larvae passing through the Longxi study section was 166 136 eggs/m³ and 629 781 larvae/m³ in 2020, and 351 867 eggs/m³ and 988 608 larvae/m³ in 2021, respectively. Redundancy analysis (RDA) shows that the density of drifting *Glyptothorax sinensis* and *Hemiculter tchangi* eggs was correlated with water temperature. A suitable water temperature promotes spawning of *Glyptothorax sinensis* and *Hemiculter tchangi*. The density of drifting eggs from *Scaphesthes macrolepis* and *Disco gobio yunnanensis* both increased with velocity and flow. The acidity and alkalinity of river water were relatively low during the spawning period of *Siniperca kneri* and *Metahomaloptera omeiensis*. It is recommended to conduct ecological operation and increase fish conservation areas to protect the fish resources in the Daning River.

Key words : early-stage fish resources; environmental factors; Daning River