

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19337

长江中游监利江段鱼类早期资源及生态调度对鱼类繁殖的影响

孟秋^{1,2}, 高雷², 汪登强², 段辛斌², 刘绍平², 陈大庆², 杨梦露^{1,2}, 郑永华¹

1. 西南大学动物科技学院, 重庆 400715;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部长江中上游渔业资源与环境科学观测实验站, 湖北 武汉 430223

摘要: 为了解三峡水库开展试验性生态调度后长江中游监利江段鱼类早期资源现状, 本研究于 2018 年、2019 年的 5—7 月对该江段卵苗种类组成、资源量、产卵场及生态水文指标开展了调查, 共鉴定出鱼类 7 目 14 科 54 种(属), 其中产漂流性卵鱼类 26 种。仔鱼组成以贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*) (占仔鱼总捕捞量的 44.9%)、紫薄鳅(*Leptobotia taeniops*) (占 15.2%)、沙鳅属(*Botia* sp.) (占 12.5%)为主。2018 年估算通过监利江段的鱼卵、仔鱼径流量分别为 33.3×10^8 粒、 324.2×10^8 尾; 2019 年分别为 35.9×10^8 粒、 1140.7×10^8 尾。监利江段成为鳊(*Parabramis pekinensis*)、银鮡(*Squalidus argentatus*)等鱼类的重要产卵场。生态调度对监利江段贝氏鲮、鳊、银鮡等鱼类的自然繁殖有明显促进作用。产卵量与涨水持续时间、流量累积涨幅呈正相关。监利江段涨水持续时间 4 d 及以上, 流量累积涨幅 $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ 及以上时, 产卵量可占当年调查期间鱼卵总规模的 8.4%以上。建议继续开展并优化生态调度, 加强对监利江段鱼类早期资源的基础研究。

关键词: 生态调度; 仔鱼密度; 种类组成; 产卵场

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)07-0824-10

鱼卵、仔稚鱼是鱼类生活史中的敏感阶段, 其资源量的变化是引起鱼类种群数量变动和年龄结构变化的主要原因^[1]。以鱼卵、鱼苗为对象, 进行鱼类资源及多样性的评估监测, 是研究鱼类生态学的一个重要手段, 也是了解水域生态系统结构及功能的重要内容和评价水域生态环境状况的依据^[2]。

长江中游是指从湖北宜昌至江西湖口约 955 km 的江段, 该江段江面宽阔, 水流和缓, 流程迂回曲折, 鱼类多样性丰富, 分布有鱼类 215 种(其中 42 种是中游特有种), 占整个长江淡水鱼种类数的 59.6%^[3-5]。长江中游也是青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aris-*

tichthys nobilis)四大家鱼主要的天然繁殖场所, 产卵规模约占长江干流的 $3/4$ ^[6]。近年来, 受大型水利工程等人类活动因素的影响, 长江中游鱼类资源呈不断下降趋势^[7-8]。很多科研工作者针对三峡大坝蓄水后中游各江段的鱼类早期资源状况进行了研究^[9-13], 这些研究表明长江中游鱼类早期资源量和卵苗种类数相对蓄水前出现明显下降。

为遏制长江中游渔业资源衰退的状况, 三峡水库于 2011 年开始实施生态调度, 以营造利于鱼类产卵的人造洪峰, 促进其自然繁殖^[14]。初步研究表明三峡水库生态调度期间沙市江段出现卵汛、苗汛^[15], 也能满足监利江段四大家鱼繁殖的水文需求^[16]。然而, 关于开展多年生态调度后监利江段鱼类早期资源总体状况的研究较少。为此,

收稿日期: 2019-02-05; 修订日期: 2020-02-04.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31602161); 国家重点研发计划项目(2018YFD0900903); 农业农村部项目“长江中上游重要渔业水域主要经济物种产卵场及洄游通道调查”。

作者简介: 孟秋(1996–), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源与环境. E-mail: 839678312@qq.com

通信作者: 郑永华, 副教授. E-mail: zhyh3000@163.com

本研究于 2018 年和 2019 年的 5—7 月在长江中游监利江段进行相关调查, 旨在了解生态调度实施后监利江段卵苗种类组成、资源量及产卵场, 以为长江中游渔业资源保护及评估三峡水库生态调度效果提供基础数据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 采样时间与断面设置

2018 年 5 月 7 日—7 月 14 日和 2019 年 5 月 8 日—7 月 16 日于长江中游监利江段三洲镇(29°54'N, 112°93'E)进行鱼类早期资源调查(图 1), 该断面位于三峡大坝下游约 336 km, 洞庭湖上游约 50 km。

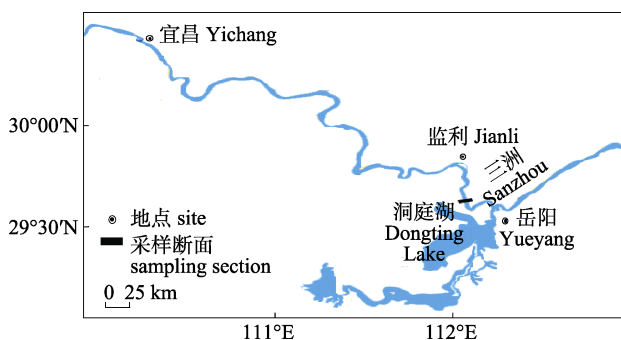


图 1 长江中游监利江段调查断面示意图

Fig.1 Map of the sampling section at Jianli section in the middle reaches of the Yangtze River

1.2 样品采集及处理

鱼卵、仔鱼采集按照《长江鱼类监测手册》^[17]进行。使用筛网(网目 0.5 mm, 网口面积 0.53 m²) 在江两岸对仔鱼进行昼夜连续采集, 每天采集两次(8:00 和 16:00); 使用圆锥网(网目 0.5 mm, 网口面积 0.19 m²)分别在两岸及江心对鱼卵进行采集, 每次采集 15 min, 每天上午、下午各采集 1 次。同步测量网口江水流速(LS45A 型流速仪), 水温、溶氧量、透明度。长江径流量、水位等数据来自水利部水文局全国水雨情信息网监利水文站(<http://xxfb.hydroinfo.gov.cn/index.html>)。

现场测量卵径, 使用光学显微镜观察并记录鱼卵发育期^[18-24]; 根据色素的分布, 肌节的数目等形态学特征对仔鱼进行种类鉴定^[6, 25]。对所有大卵(≥4.0 mm)以及现场无法通过形态学特征确

认种类的仔鱼, 用 95% 的乙醇保存, 带回实验室后通过线粒体 DNA 细胞色素 *b* 基因鉴定^[26]。

1.3 数据处理及分析

仔鱼径流量的计算方法参照易伯鲁等^[6], 计算公式具体如下:

$$d_i = m / (vat)$$

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n d_i / n$$

$$M = Q \cdot \bar{D} \cdot T$$

式中, m 为一次采样的鱼卵、仔鱼数量(粒或尾); v 为江水流速(m/s); a 为网口面积(m²); t 为采集时间(s); $\bar{D}$ 为断面卵苗平均密度; d_i 为第 i 个采样点卵苗密度; n 为采集断面所设采集点的数量; M 为一次采集断面的卵苗径流量(粒或尾); Q 为采样断面江水流速(m³/s); T 为一昼夜采集的时间。

每天上午、下午样本采集之间的非采集时间内, 流经断面的鱼卵、仔鱼径流量 M' 采用插补法来计算, 即:

$$M' = (M_1/t_1 + M_2/t_2)t'/2$$

式中, M_1 、 M_2 为前后 2 次采集的鱼卵、仔鱼数量; t_1 、 t_2 为前后 2 次采集的持续时间, t' 为前后 2 次采集之间的间隔时间。

一昼夜通过调查断面的鱼卵、仔鱼径流量(N_m) 是 24 h 内定时采集的卵苗径流量之和与前后 2 次采集间非采集时间内卵苗径流量之和的总和, 即:

$$N_m = M + M'$$

产卵场位置主要依据采集的鱼卵的发育期, 结合当时的流速、水温来推算鱼卵的漂流距离:

$$L = Vt_3$$

式中, L 为鱼卵漂流距离(m); V 为江段平均流速(m/s), t_3 为鱼卵发育所经历的时间(s)。

2 结果与分析

2.1 种类组成

本研究共采集鱼卵 4321 粒, 采集仔鱼 208.2 万尾, 隶属 7 目 14 科 53 种(属), 其中产漂流性卵鱼类有 26 种(表 1)。对所有大卵(1000 粒)进行测序(其中 2018 年 491 粒, 占测序总数的 49.1%, 2019 年 509 粒, 占 50.9%), 结果主要以贝氏鲶(*Hemiculter bleekeri*)、银鲶(*Squalidus argentatus*)

表 1 2018—2019 年监利江段鱼卵和仔鱼种类组成
Tab. 1 Fish species composition of eggs and larvae at Jianli section in the middle reaches of the Yangtze River in 2018 and 2019

序号 serial number	种类 species	2018				2019			
		鱼卵 egg		仔鱼 larva		鱼卵 egg		仔鱼 larva	
		数量/粒 number	百分比/% percentage	数量/尾 number	百分比/% percentage	数量/粒 number	百分比/% percentage	数量/尾 number	百分比/% percentage
	鲤形目 Cypriniformes								
	鲤科 Cyprinidae								
1	*贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	204	41.55	254743	37.79	288	56.58	679007	48.24
2	*飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	3	0.61	8723	1.29	4	0.79	169960	12.07
3	*银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	67	13.65	113047	16.77	93	18.27	9069	0.64
4	鲃属 <i>Culterinae</i> sp.	/	/	28778	4.27	/	/	16788	1.19
5	*鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	48	9.78	26621	3.95	56	11.00	4631	0.33
6	*鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	2	0.41	12033	1.78	4	0.79	17350	1.23
7	鲴属 <i>Xenocypris</i> sp.	/	/	16198	2.40	/	/	8786	1.19
8	*蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	14	2.85	785	0.12	7	1.38	12998	0.92
9	*草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	8	1.63	3226	0.48	7	1.38	8657	0.61
10	*鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	8	1.63	2334	0.35	4	0.79	7817	0.56
11	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	/	/	656	0.10	/	/	3360	0.24
12	*青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	1	0.20	958	0.14	1	0.20	2013	0.14
13	*银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	16	3.26	2441	0.36	2	0.39	/	/
14	中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	/	/	102	0.02	/	/	1712	0.12
15	鲫 <i>Carassius auratus</i>	/	/	/	/	/	/	1007	0.07
16	马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	/	/	494	0.07	/	/	228	0.02
17	*鲮 <i>Aristichthys nobilis</i>	/	/	111	0.02	/	/	508	0.04
18	*铜鱼 <i>Coreius heterokon</i>	/	/	30	<0.01	/	/	434	0.03
19	*吻鲃 <i>Rhinogobio typus</i>	2	0.41	/	/	3	0.59	369	0.03
20	华鳊 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	/	/	197	0.03	/	/	95	0.01
21	*红鳍原鲃 <i>Chanodichthys erythropterus</i>	/	/	82	0.01	/	/	/	/
22	花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	/	/	2	<0.01	/	/	24	<0.01
23	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	/	/	6	<0.01	/	/	10	<0.01
24	*似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	44	8.96	13	<0.01	4	0.79	/	/
25	*蒙古鲃 <i>Erythroculter mongolicus</i>	/	/	4	<0.01	/	/	/	/
26	大鳍鱮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	/	/	1	<0.01	/	/	/	/
27	*宜昌鳊鲂 <i>Gobiobotia filifer</i>	23	4.68	/	/	9	1.77	/	/
28	*赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	12	2.44	/	/	3	0.59	/	/
29	*寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	5	1.02	/	/	2	0.39	/	/
30	*圆筒吻鲃 <i>Rhinogobio cylindricus</i>	6	1.22	/	/			/	/
31	鳊鲂 <i>Gobiobotia</i> sp.	2	0.41	/	/	3	0.59	/	/
32	*湖北圆吻鲃 <i>Distoechodon hupeinensis</i>	/	/	/	/	2	0.39	/	/
	鲃科 Cobitidae								
33	*紫薄鲃 <i>Leptobotia taeniops</i>	21	4.28	164931	24.47	10	1.96	150759	10.71
34	沙鲃属 <i>Botia</i> sp.	/	/	/	/	/	/	260644	18.52

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab.1 continued)

序号 serial number	种类 species	2018				2019			
		鱼卵 egg		仔鱼 larva		鱼卵 egg		仔鱼 larva	
		数量/粒 number	百分比/% percentage	数量/尾 number	百分比/% percentage	数量/粒 number	百分比/% percentage	数量/尾 number	百分比/% percentage
35	大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	/	/	1	<0.01	/	/	/	/
36	*汉水扁尾薄鳅 <i>Leptobotia tientaiensis hansuiensis</i>	/	/	/	/	5	0.98	/	/
37	*花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	1	0.20	/	/	1	0.20	/	/
38	*武昌副沙鳅 <i>Parabotia banarescui</i>	1	0.20	/	/	1	0.20	/	/
平鳍鳅科 Balitoridae									
39	*犁头鳅 <i>Lepturichthys fimbriata</i>	3	0.61	/	/	/	/	7	<0.01
鲇形目 Siluriformes									
鲿科 Bagridae									
40	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	/	/	1548	0.23	/	/	3555	0.25
41	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	/	/	68	0.01	/	/	2484	0.18
鲿科 Bagridae									
42	长吻鲿 <i>Leiocassis longirostris</i>	/	/	/	/	/	/	32	<0.01
鲇科 Siluridae									
43	鲇 <i>Silurus asotus</i>	/	/	5	<0.01	/	/	47	<0.01
44	南方鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	/	/	1	<0.01	/	/	/	/
鲈形目 Perciformes									
鲈科 Serranidae									
45	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	/	/	2857	0.42	/	/	3311	0.24
鲤科 Channidae									
沙塘鳢科 Odontobutidae									
46	沙塘鳢 <i>Odontobutis obscurus</i>	/	/	7	<0.01	/	/	48	<0.01
47	小黄鲈 <i>Hypseleotris swinhonis</i>	/	/	/	/	/	/	2	<0.01
虾虎鱼科 Gobiidae									
48	吻虾虎鱼属 <i>Rhinogobius</i> sp.	/	/	30733	4.56	/	/	34578	2.46
49	黏皮鲻虾虎 <i>Mugilogobius myxodermus</i>	/	/	62	0.01	/	/	/	/
颌针鱼目 Beloniformes									
鲢科 Oryziatidae									
50	青鲢 <i>Oryzias latipes</i>	/	/	11	<0.01	/	/	1317	0.09
颌针鱼目 Beloniformes									
鲻科 Hemiramphidae									
51	间下鲻 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	/	/	397	0.06	/	/	449	0.03
鲑形目 Salmoniforme									
银鱼科 Salangidae									
52	太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	/	/	1937	0.29	/	/	4798	0.34
鲱形目 Clupeiformes									
鳊科 Engraulidae									
53	短颌鳊 <i>Coilia brachygnathus</i>	/	/	/	/	/	/	810	0.06
总计 total		491	100	674143	100	509	100	140794	100

注: *代表产漂流性卵鱼类.

Note: * represents the fishes laying pelagic eggs.

和鳊(*Parabramis pekinensis*)为主, 分别占鱼卵总捕捞量的 49.2%、16.0%和 10.4%。采集到的仔鱼中(2018 年 67.4 万尾, 2019 年 140.8 万尾), 以贝氏鲮数量最多, 其次是沙鳅属(*Botia* sp.)和紫薄鳅(*Leptobotia taeniops*), 分别占仔鱼总捕获量的 44.9%、15.2%和 12.5%。

2.2 鱼卵、仔鱼发生的密度和时间动态

2018 年 5—7 月, 鱼卵的平均密度为 (3.2 ± 2.5) ind/100 m³, 最大密度出现在 5 月 31 日, 为 9.8 ind/100 m³; 调查期间出现 5 次产卵高峰, 分别在 5 月 25 日—27 日, 5 月 31 日, 6 月 21 日—22 日, 7 月 3 日—6 日, 7 月 13 日, 平均密度分别为 6.8 ind/100 m³、9.8 ind/100 m³、9.0 ind/100 m³、6.3 ind/100 m³、3.6 ind/100 m³ (图 2)。2019 年调查期间, 鱼卵的平均密度为 (3.6 ± 2.8) ind/100 m³, 最大密度出现在 5 月 18 日, 为 14.2 ind/100 m³ (图 2)。

2018 年仔鱼平均密度为 (37.6 ± 90.5) ind/100 m³, 最大密度出现在 6 月 29 日, 为 566.4 ind/100 m³; 从仔鱼密度漂流日变化情况看, 仔鱼主要出现在 6 月底、7 月初, 期间监测到三次较为明显的高峰, 分别是 6 月 15 日—17 日、6 月 23 日—24 日、6 月 28 日—30 日, 平均密度分别为 245.1 ind/100 m³、163.5 ind/100 m³、275.2 ind/100 m³ (图 3)。2019 年仔鱼平均密度为 (101.9 ± 171.3) ind/100 m³, 仔鱼集中出现在 6 月中旬—7 月上旬, 期间仔鱼漂流密度出现 3 个明显高峰, 分别是 6 月 29 日—30

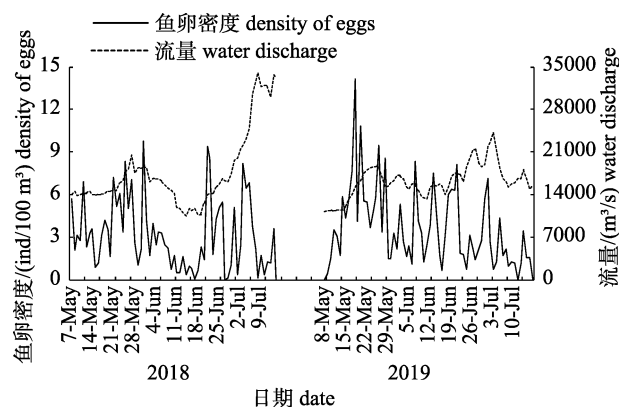


图 2 2018—2019 年长江中游监利段鱼卵漂流密度的日变化

Fig. 2 Daily variation densities of eggs at Jianli section in the middle reaches of the Yangtze River in 2018 and 2019

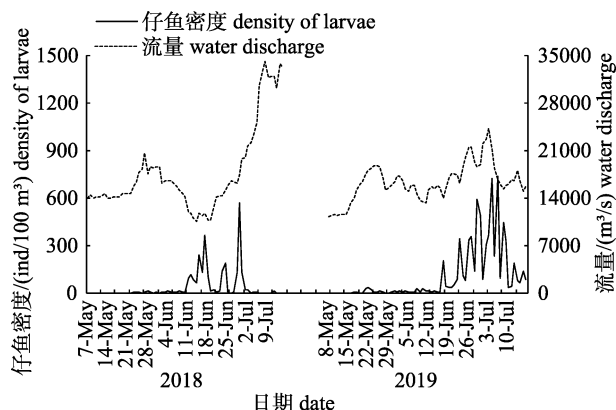


图 3 2018—2019 年长江中游监利段仔鱼漂流密度的日变化

Fig. 3 Daily variation densities of larvae at Jianli section in the middle reaches of the Yangtze River in 2018 and 2019

日、7 月 4 日、7 月 6 日, 对应的密度分别为 1076.3 ind/100 m³、723.3 ind/100 m³、735.8 ind/100 m³ (图 3)。

2.3 资源量与产卵场

2018 年 5—7 月, 估算通过监利断面的卵苗径总流量为 357.5×10^8 粒(尾), 其中鱼卵为 33.3×10^8 粒, 仔鱼为 324.2×10^8 尾。优势种贝氏鲮仔鱼径流量为 96.6×10^8 尾、紫薄鳅为 35.4×10^8 尾、银鮡为 46.1×10^8 尾。2019 年调查期间通过建立断面时的卵苗径总流量为 1176.6×10^8 粒(尾), 其中鱼卵为 35.9×10^8 粒, 仔鱼为 1140.7×10^8 尾。优势种贝氏鲮、鳊、紫薄鳅仔鱼的径流量分别 540.2×10^8 尾、 138.7×10^8 尾、 104.6×10^8 尾。

对部分重要产漂流性卵鱼类的产卵场位置进行推算。结果显示(表 2), 三洲镇断面以上 100 km 范围内广泛分布着这些鱼类的产卵场。其中草鱼产卵场集中在监利县至调关镇江段; 鳊产卵场主要集中在监利县、调关镇江段; 银鮡产卵场主要集中在监利县至塔市驿镇江段。

2.4 生态调度与环境因子

2018 年调查期间监利江段流量变化范围为 10600~34100 m³/s, 水位变化范围为 28.5~34.5 m。2019 年流量变化范围为 11200~21200 m³/s, 水位变化范围为 28.6~34.0 m。水位和流量总体呈现相同的上涨趋势(图 4)。2018 年调查期间监利江段水温呈逐渐上升趋势, 其变化范围 18.7~25.3 °C;

表 2 2018 年和 2019 年监利江段产漂流性卵鱼类产卵场分布
Tab. 2 Spawning ground distribution of fishes producing drifting eggs at Jianli section
in the middle reaches of the Yangtze River in 2018 and 2019

产卵场 spawning ground	距离三 洲镇/km distance to Sanzhou Town	年度 year	资源量 $M (\times 10^8)$ number			总计/ $(\times 10^8)$ total
			草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	银鮡 <i>Squalidus argentatus</i>	
监利 Jianli	32.4	2018	0.05	0.41	0.58	1.04
		2019	0.06	7.46	0.94	8.46
塔市驿 Tashi yi	42.9	2018	0.09	0.18	0.30	0.57
		2019	/	/	0.24	0.24
调关 Tiaoguan	67.2	2018	/	0.24	/	0.24
		2019	0.18	0.36	0.18	0.72
小河口 Xiaohekou	77.6	2018	/	0.06	/	0.06
		2019	/	/	/	/

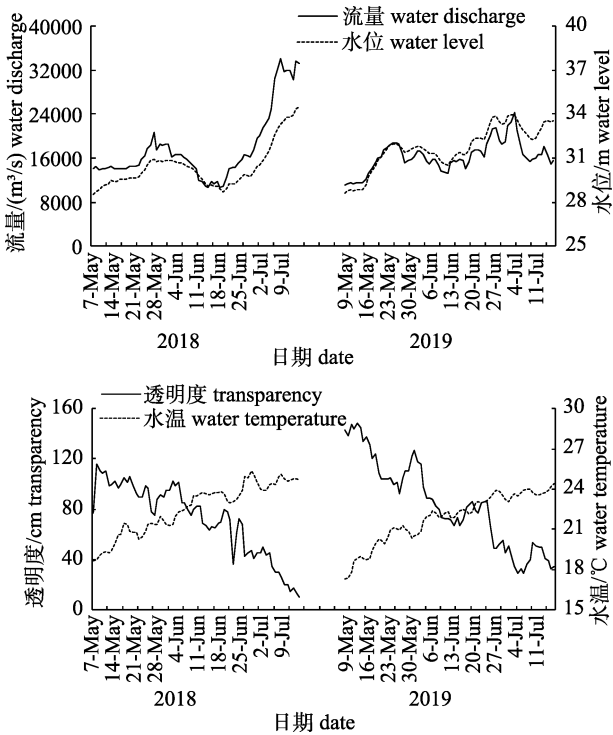


图 4 2018 和 2019 年监利江段环境因子日变化
Fig. 4 Daily variation of environmental variables at Jianli
section in the middle reaches of the Yangtze River
in 2018 and 2019

透明度呈逐渐下降趋势, 范围为 10~116 cm; 2019 年水温范围为 17.3~24.4 ℃, 呈稳步上升趋势; 透明度范围为 29~148 cm (图 4)。

2018—2019 年三峡水库共进行了 3 次生态调度, 其中 2018 年三峡水共进行 2 次生态调度, 第一次调度从 5 月 20 日—25 日, 持续 6 d, 第二次调度从 6 月 17 日—20 日, 持续 4 d; 2019 年共进

行 1 次生态调度, 时间为 5 月 25 日—31 日, 持续 6 d。将 2018—2019 年监利江段产卵高峰期的水文指标进行统计(表 3): 涨水时间为 4~12 d, 初始流量为 10700~18600 m³/s, 洪峰流量为 14600~34100 m³/s, 流量涨幅为 700~17900 m³/s, 流量增长率为 175.0~1750.0 m³/(s·d)。

2.5 鱼类早期资源对生态水文过程的响应

2018 年调度期间出现两次对应的产卵高峰, 产卵规模分别为 6.2×10⁸ 粒、4.9×10⁸ 粒, 产卵优势种为贝氏鲮、银鮡、鳊; 涨水期间水温、流量累积涨幅分别为 20.3~21.5 ℃、6000 m³/s, 23.0~24.9 ℃、5900 m³/s; 2019 年生态调度对应 5 月 28 日—6 月 1 日的产卵高峰, 规模为 2.3×10⁸ 粒, 产卵优势种为贝氏鲮、银鮡; 涨水期间水温、流量累积涨幅为 20.3~21.1 ℃、2000 m³/s。鱼卵径流量及其在总径流量所占比例见表 3。将水文指标与高峰期卵量进行相关性分析, 其中涨水持续时间与产卵量呈极显著的正相关($P<0.01$), 流量涨幅与产卵量呈显著的正相关($P<0.05$), 其他指标未呈现出相关性, 说明涨水持续时间和流量累积涨幅对产卵量有影响(表 4)。

当涨水持续时间为 4 d, 流量累积涨幅为 3500 m³/s 时, 卵量占该年调查期间总卵量的 8.4%; 当涨水持续时间为 5 d, 流量累积涨幅为 5600 m³/s 时, 卵量占 9.6%; 当涨水持续时间为 7 d, 流量累积涨幅为 6000 m³/s 时, 卵量占 18.7%; 当涨水持续时间为 9 d, 流量累积涨幅为 5900 m³/s 时, 卵

表 3 2018—2019 年监利江段生态水文指标
Tab. 3 Ecological hydrology indexes at Jianli section in the middle reaches of the Yangtze River in 2018 and 2019

年份 year	涨水时间 time of flow increase	涨水持续时间/d duration of flow increase	洪峰初始流量 /(m ³ /s) initial flow	洪峰流量 /(m ³ /s) peak flow	流量涨幅 /(m ³ /s) flow increase	流量增长率 /[m ³ /(s·d)] the rate of flow increase	涨水期卵径流量 /(×10 ⁸ ind) eggs abundance	占比/% proportion
2018	5.9~5.13	5	13900	14600	700	175.0	2.3	6.9
	5.21~5.27 生态调度 ecological operation	7	14600	20600	6000	1000.0	6.2	18.7
	6.18~6.26 生态调度 ecological operation	9	10700	16600	5900	737.5	4.9	14.8
	6.28~7.8	11	16200	34100	17900	1790.0	7.6	22.9
2019	5.13~5.24	12	11500	18700	7200	654.5	9.8	27.4
	5.28~6.1 生态调度 ecological operation	5	15200	17200	2000	500.0	2.3	6.5
	6.17~6.20	4	14000	17500	3500	1166.7	3.0	8.4
	6.23~6.27	5	16200	21500	5300	1325.0	1.6	4.5
	6.29~7.3	5	18600	24200	5600	1400.0	3.4	9.6
	7.8~7.11	4	15300	16700	1400	466.7	0.5	1.3

表 4 监利江段生态水文指标与高峰期卵量的相关系数
Tab.4 Correlation coefficient between ecological hydrology indexes and peak eggs amount at
Jianli section in the middle reaches of the Yangtze River

生态水文指标 ecological hydrology index	涨水持续时间 T_{dur}	初始流量 Q_{in}	洪峰流量 Q_{max}	流量涨幅 Q_{inc}	流量增长率 Q_{rinc}
相关系数 R	0.926**	-0.390	0.424	0.675*	0.278

注: *表示在 0.05 水平上显著相关($P<0.05$); **表示在 0.01 水平上显著相关($P<0.01$).
Note: *represents the correlation is significant difference ($P<0.05$); **represents the correlation is significant difference ($P<0.01$).

量占 14.8%; 当涨水持续时间为 11 d, 流量累积涨幅为 17900 m³/s 时, 卵量占 22.9%; 当涨水持续时间为 12 d, 流量累积涨幅为 7200 m³/s 时, 卵量占 27.4%。由此可见, 当涨水时间持续 4 d 及以上, 流量累积涨幅为 3500 m³/s 及以上的水文过程, 有利于监利江段鱼类早期资源形成鱼卵高峰。

3 讨论

3.1 种类组成及资源量变化

本次调查发现监利江段的鱼类早期资源共 54 种(属), 种类数量及种类组成与李世健等^[10] (51 种)、宋一清^[27] (50 种)在监利江段调查的结果相似, 表明三峡截流后监利江段鱼类早期资源的种类组成变化不大。长江中游盛产四大家鱼、鲤、鲫、鳊、铜鱼和银鱼等数十种经济鱼类^[6], 其中大多数是产漂流性卵鱼类, 历史资料表明长江中游干支流产漂流性卵鱼类不少于 25 种^[28]。本研究监测到 26 种产漂流性卵鱼类, 种类数明显多于三峡蓄

水后监利江段的结果^[10], 这可能与长江中游实施了增殖放流、生态调度等修复措施有关; 此外还监测到三峡水库蓄水后多年未见的圆筒吻鲟, 说明监利江段产漂流性卵鱼类的种类数有所增加。采集到的仔鱼中, 四大家鱼比例占 2.2%, 相比 2008—2010 年监利的 1.5% 上升明显^[29], 这也可能与长江中游增殖放流活动有关, 自 2010 年以来该江段持续开展了大规模四大家鱼亲本放流, 有效补充了繁殖群体。

对比长江中游不同江段鱼类早期资源量发现, 监利江段仔鱼径流量(0.7×10^{11} 尾)明显低于黄石(1.6×10^{11} 尾)^[12]、武穴江段(1.4×10^{11} 尾)^[13]。主要原因是上游江段的仔鱼对下游江段的纵向补充作用; 此外还与洞庭湖、汉江等对下游江段的横向补充作用有关。本研究两年数据对比发现, 2019 年鱼类早期资源量较 2018 年显著上升, 其原因可能是: (1)水产种质资源保护区内全面禁渔; (2) 2016 年开始延长禁渔期; (3) 2019 年水文情势对鱼类繁

殖的促进效果更佳, 本研究表明在繁殖期鱼类产卵量与涨水时间呈极显著正相关, 与流量涨幅呈显著正相关; 其中当涨水持续时间为 4 天及以上, 流量累积涨幅为 $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ 及以上时, 监利江段鱼类产卵量较高, 表明在一定范围内, 涨水持续时间延长, 流量累积涨幅较大利于鱼类繁殖。

3.2 产卵场位置与规模变化

20 世纪 80 年代的研究表明宜昌至监利江段分布着多个四大家鱼产卵场^[6], 21 世纪初段辛斌等^[8]研究发现, 较三峡大坝蓄水前长江中游宜昌至监利江段的家鱼产卵场的地理分布范围变化不大, 本次调查中草鱼产卵场的位置仍然集中在监利县和调关镇江段, 这与前人研究的结果一致^[8]。四大家鱼对繁殖所需的水文条件要求较高, 三峡水库蓄水后改变坝下水文情势^[8], 导致其产卵量规模持续下降。而四大家鱼中产卵场产卵规模最大的草鱼产卵量仅为之前的 15.2% ^[8], 产卵规模显著下降, 说明草鱼受三峡工程阻隔和水文情势变化的影响较大^[9]。其他产漂流性卵鱼类的产卵规模有所上升, 本研究中鳊平均产卵量为 4.36×10^8 粒, 银鮡平均产卵量为 1.17×10^8 粒, 与段辛斌等^[8]的结果(0.24×10^8 粒、 0.27×10^8 粒)相比, 产卵量明显上升, 表明监利江段已成为鳊、银鮡等鱼类重要产卵场, 这可能是该类群鱼类对繁殖所需的水文条件要求不高。

3.3 生态调度对鱼类繁殖的影响

针对四大家鱼的自然繁殖, 自 2011 年开始, 三峡水库在每年鱼类繁殖季节开展试验性生态调度以缓解水利工程对其产生的影响^[30-31]。2018—2019 年三峡水库实施的三次生态调度期间均出现卵汛, 鱼卵径流量分别占当年鱼卵总径流量的 18.7% 、 14.8% 、 6.5% , 鱼卵丰度变化与涨水过程有积极的响应关系, 说明三峡水库生态调度创造的涨水过程不仅能够一定程度上满足监利江段四大家鱼繁殖的水文需求^[16], 还能促进鳊等经济鱼类以及贝氏鲶、银鮡等小型鱼类的自然繁殖。

3.4 建议

研究结果表明, 生态调度对监利江段鳊等经济鱼类、贝氏鲶及银鮡等小型鱼类的繁殖有明显促进效果, 建议继续开展并优化生态调度方案,

提高生态调度的综合效益, 使受惠种群扩大到其他鱼类。加强“十年禁渔”期间的鱼类早期资源基础研究, 以期了解繁殖群体和补充群体的资源量变化情况, 为长江流域渔业资源保护提供基础资料。

参考文献:

- [1] Chambers R C, Trippel E A. Early life history and recruitment: Legacy and challenges[M]//Early Life History and Recruitment in Fish Populations. Dordrecht: Springer, 1997: 515-549.
- [2] Wang K, Liu K, Xu D P, et al. Advances in research on early life resources of fish[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2013, 35(5): 1098-1107. [汪珂, 刘凯, 徐东坡, 等. 鱼类早期资源研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2013, 35(5): 1098-1107.]
- [3] Liu J K, Cao W X. Fish resources of the Yangtze River basin and the tactics for their conservation[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1992, 1(1): 17-23. [刘建康, 曹文宣. 长江流域的鱼类资源及其保护对策[J]. 长江流域资源与环境, 1992, 1(1): 17-23.]
- [4] Cao W X. The present situation and protection measures of fish resources in Yangtze River[J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2011(2): 1-4. [曹文宣. 长江鱼类资源的现状与保护对策[J]. 江西水产科技, 2011(2): 1-4.]
- [5] Fu C Z, Wu J H, Chen J K, et al. Freshwater fish biodiversity in the Yangtze River basin of China: Patterns, threats and conservation[J]. Biodiversity & Conservation, 2003, 12: 1649-1685.
- [6] Yi B L, Yu Z T, Liang Z S, et al. A comparative study on the early development of grass carp, black carp, silver carp and big head of the Yangtze River[M]//Gezhouba Water Control Project and Four Famous Fishes in Yangtze River. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1988: 69-116. [易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 长江干流草、青、鲢、鳙四大家鱼产卵场的分布、规模和自然条件[M]//易伯鲁, 余志堂, 梁秩桑, 等. 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988: 69-116.]
- [7] Chen D Q, Duan X B, Liu S P, et al. On the dynamics of fishery resources of the Yangtze River and its management[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 685-690. [陈大庆, 段辛斌, 刘绍平, 等. 长江渔业资源变动和管理对策[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 685-690.]
- [8] 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.]
- [9] 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.]
- [10] 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.]
- [11] Guo G Z, Gao L, Duan X B, et al. Research of diel drifting patterns of fish larvae at Honghu section in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(1): 49-55. [郭国忠, 高雷, 段辛斌, 等. 长江中游洪湖段仔鱼昼夜变化特征的初步研究[J]. 淡水渔业, 2017, 47(1): 49-55.]
- [12] 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.]
- [13] 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.]
- [14] Guo W X, Xia Z Q, Wang Y K, et al. Ecological operation goals for Three Gorges Reservoir[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4): 554-559. [郭文献, 夏自强, 王远坤, 等. 三峡水库生态调度目标研究[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 554-559.]
- [15] Xu W, Liu H G, Tang H Y, et al. Effects of ecological operation of Three Gorges Reservoir on fish eggs and larvae in Shashi Section of the Yangtze River[J]. Journal of Hydroecology, 2014, 35(2): 1-8. [徐薇, 刘宏高, 唐会元, 等. 三峡水库生态调度对沙市江段鱼卵和仔鱼的影响[J]. 水生生态学杂志, 2014, 35(2): 1-8.]
- [16] Zhou X, Wang K, Chen D Q, et al. Effects of ecological operation of Three Gorges Reservoir on larval resources of the four major Chinese carps in Jianli section of the Yangtze River[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(8): 1781-1789. [周雪, 王珂, 陈大庆, 等. 三峡水库生态调度对长江监利江段四大家鱼早期资源的影响[J]. 水产学报, 2019, 43(8): 1781-1789.]
- [17] Chen D Q. The Monitoring Manual of Yangtze River Fish[M]. Beijing: Science Press, 2013. [陈大庆. 长江鱼类监测手册[M]. 北京: 科学出版社, 2013.]
- [18] Li P, Wang A Q, Cui D F, et al. Normal stages in the development of wild and domesticated goldfish, *Carassius auratus*[J]. Acta Zoologica Sinica, 1959, 11(2): 145-154. [李璞, 汪安琦, 崔道枋, 等. 鲫鱼和金鱼胚胎发育的分期[J]. 动物学报, 1959, 11(2): 145-154.]
- [19] Xinhua News Agency. Experts at the Chinese Academy of Sciences tested artificial insemination of fish[J]. Bulletin of Biology, 1953(9): 353. [新华社. 中国科学院专家试验鱼类人工授精[J]. 生物学通报, 1953(9): 353.]
- [20] Tavolga W N, Rugh R. Development of the platyfish, *Platy-poecilus maculatus*[J]. Zoological, 1947, 32: 1-15.
- [21] Pasteels J. Un aperçu comparatif de la gastrulation chez les chordés[J]. Biological Reviews, 1940, 15(1): 59-106.
- [22] Oppenheimer J M. The normal stages of *Fundulus heteroclitus*[J]. The Anatomical Record, 1937, 68(1): 1-15.
- [23] Oppenheimer J M. Processes of localization in developing fundulus[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1935, 21(9): 551-553.
- [24] Hisaoka K K, Battle H I. The normal developmental stages of the zebrafish, *Brachydanio rerio* (Hamilton-Buchanan)[J]. Journal of Morphology, 1958, 102(2): 311-327.
- [25] 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.]
- [26] Gao L. Diversity and temporal and spatial patterns of larval fish assemblages in the south branch of Yangtze Estuary[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2014. [高雷. 长江口南支鱼类早期资源多样性与时空格局研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2014.]
- [27] Song Y Q. Spatial patterns of larval fish assemblages in the middle reach of the Yangtze River: Influences of the Three Gorges Dam[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2016. [宋一清. 长江中游仔鱼的空间格局与三峡大坝运行的影响[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2016.]
- [28] Fish Research Laboratory, Institute of Hydrobiology of Hubei. Fishes in Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 1976: 17-212. [湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 长江

- 鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1976: 17-212.]
- [29] Li S J. Studies on resources of fish in early life history stages at Jianli section and characteristics of phykton community in the middle reach of Yangtze River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. [李世健. 长江中游监利断面鱼类早期资源量及浮游生物群落结构特征初步研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.]
- [30] Peng Q D, Liao W G, Li C, et al. Impacts of four major Chinese carps' natural reproduction in the middle reaches of Changjiang River by Three Gorges project since the impoundment[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2012, 44(S2): 228-232. [彭期冬, 廖文根, 李翀, 等. 三峡工程蓄水以来对长江中游四大家鱼自然繁殖影响研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2012, 44(S2): 228-232.]
- [31] Chen J, Li Q Q. Assessment of eco-operation effect of Three Gorges Reservoir during trial run period[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(4): 1-6. [陈进, 李清清. 三峡水库试验性运行期生态调度效果评价[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(4): 1-6.]

The early-stage fish resources and effects of ecological regulation on fish reproduction at the Jianli section of the Yangtze River

MENG Qiu^{1,2}, GAO Lei², WANG Dengqiang², DUAN Xinbin², LIU Shaoping², CHEN Daqing², YANG Menglu^{1,2}, ZHENG Yonghua¹

1. College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Fishery Resources and Environmental Science Experimental Station of the Upper-Middle Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

Abstract: An investigation into the status of early-stage fish resources was carried out at the Jianli section, in the middle reaches of the Yangtze River, from May to July in 2018 and 2019. The survey focused on the changes in species composition of fish eggs and larvae, the amount of eggs and larvae, spawning site, and the ecological hydrology index following the experimental ecological operation of the Three Gorges Reservoir. About 49 species of fish eggs and larvae belonging to 14 families and 7 orders were identified, and among these fish, there were 26 species spawning drifting eggs. *Hemiculter bleekeri* (44.9% of the total count) was shown to have an absolute advantage in the species composition of larvae, followed by *Leptobotia taeniops* (15.2%) and *Botia* sp. (12.5%). In 2018, it was estimated that the total runoff of fish eggs and larvae were 33.3×10^8 ind and 324.2×10^8 ind, respectively. In 2019, there were 35.9×10^8 ind and 1140.7×10^8 ind, respectively. The Jianli section has become an important spawning ground for *Parabramis pekinensis*, *Squalidus argentatus*, and other fish. Ecological regulation played an obvious role in promoting the natural reproduction of *Hemiculter bleekeri*, *Parabramis pekinensis*, and *Squalidus argentatus* at the Jianli section. There was a positive correlation between the quantity of fish eggs and the time of flow increase, and a positive correlation between the quantity of fish eggs and the flow increase. When the duration of flow increase is four or more days, and the flow increase is $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ or more, the spawning quantity could account for more than 8.4% of the annual survey total. We suggest continuing and optimizing the ecological flow scheduling to strengthen basic research on early-stage fish resources at the Jianli section.

Key words: ecological operation; larvae density; species composition; spawning ground

Corresponding author: ZHENG Yonghua. E-mail: zhyh3000@163.com