

三峡水库十年生态调度(2011—2020年)期间下游沙市江段产漂流性卵鱼类自然繁殖变化*

徐 薇^{1,2}, 金 瑶¹, 陈桂亚², 董 纯¹, 易 燃¹, 赵 娜¹, 陶江平^{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, 武汉 430079)

(2: 长江水利委员会水旱灾害防御创新团队, 武汉 430010)

摘 要: 2011—2020年, 三峡水库共开展了14次促进坝下江段四大家鱼自然繁殖的生态调度试验, 于每年5—7月在长江中游沙市江段开展鱼类早期资源调查研究, 旨在掌握生态调度实施以来产漂流性卵鱼类自然繁殖的响应变化, 评估生态调度对长江中游鱼类自然繁殖的贡献。十年间共采集到鱼卵35种, 其中典型产漂流性卵鱼类有25种, 主要种类包括贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)、鳊(*Parabramis pekinensis*)、银鲌(*Squalidus argentatus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)和花斑副沙鲈(*Parabotia fasciata*); 鱼卵群落多样性指数 H 、均匀度指数 E 和稳定性指数 ICV 在年际间呈现先降低后升高的变化趋势, 优势度指数 D 恰好相反, 变化拐点出现在2017年, 表明2017年以来群落多样性趋于增加, 群落结构趋于稳定; 产漂流性卵鱼类繁殖规模总体呈先减少后增加变化, 有8个类群的繁殖规模逐年增加, 鱼类繁殖高峰频次逐渐升高, 大规模繁殖出现的时段逐渐延长, 表明鱼类自然繁殖状况趋于稳定。结合生态调度期、非生态调度期鱼类日均产卵规模的比值得出, 除了2016、2020年生态调度期间没有出现大规模繁殖以外, 其它年份生态调度的实施对促进产漂流性卵鱼类繁殖起到了积极的作用。建议今后继续加大三峡水库生态调度力度, 针对不同鱼类物种的需求设计更精细的生态调度方案, 进一步提升生态调度对长江中游鱼类自然繁殖的贡献。

关键词: 鱼卵; 产卵规模; 多样性; 三峡水库; 生态调度

Changes of natural reproduction of fish producing drifting eggs in downstream Shashi section, middle reaches of Yangtze River during the ten-year (2011–2020) ecological operation of Three Gorges Reservoir*

Xu Wei^{1,2}, Jin Yao¹, Chen Guiya², Dong Chun¹, Yi Ran¹, Zhao Na¹ & Tao Jiangping^{1**}

(1: Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Hubei Engineering Research Center of Hydroecology Protection and Restoration, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R. China)

(2: Innovation Team for Flood and Drought Disaster Prevention of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, P.R. China)

Abstract: From 2011 to 2020, Three Gorges Reservoir has conducted a total of 14 ecological operation experiments to promote the natural reproduction of the four major species of Chinese carp in the lower reaches of the reservoir. In order to capture the changes in the response to the natural reproduction of pelagic egg-producing fish since the implementation of ecological operation, and to evaluate the contribution of ecological operation to fish reproduction in the middle reaches of Yangtze River, a survey and study of early fish resources was conducted at a fixed collection point in the Shashi section of the middle reaches of Yangtze River from May to July each year. The results were as follows: In the past ten years, 35 species of drifting fish eggs had been collected, among

* 2022-10-31 收稿; 2023-02-22 收修改稿。

国家重点研发计划项目(2021YFC3200304)、水利部重大科技项目(SK-2022015)和中国长江三峡集团有限公司科研项目(0711574)联合资助。

** 通信作者; E-mail: jptao@mail.ihe.ac.cn。

which 25 species were typical drifting egg producing fishes, mainly including *Hemiculter bleekeri*, *Parabramis pekinensis*, *Squalidus argentatus*, *Ctenopharyngodon idella*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Culter alburnus* and *Parabotia fasciata*. The diversity index H , evenness index E and stability index ICV of the fish egg community showed the same trend of first decreasing and then increasing, but the dominance index D was the opposite. The inflection point appeared in 2017, indicating that community diversity tended to increase and community structure tended to stabilize since 2017. In general, the breeding size of fishes producing drift eggs first decreased and then increased, with a significant increase in eight fish groups since 2017. The peak frequency of fish breeding gradually increased, and the period of large-scale breeding gradually extended, indicating that the natural breeding situation of fish tended to be stable. Combined with the ratio of the average daily breeding size of fish in the ecological regulation period and the non-ecological regulation period, it was concluded that the implementation of ecological regulation in other years had played a positive role in promoting the reproduction of drifting egg-producing fish, except that there was no large-scale breeding in the ecological regulation period in 2016 and 2020. It is suggested to strengthen the ecological operation of Three Gorges Reservoir in the future, to design more detailed ecological operation plans that meet the needs of different fish, and to further enhance the contribution of ecological operation to the natural reproduction of fish in the middle reaches of Yangtze River.

Keywords: Egg; breeding scale; diversity; Three Gorges Reservoir; ecological operation

长江中游为两湖平原(江汉平原、洞庭湖平原),江宽流曲,水流平缓,每年受季风影响形成汛期,水位变动大。该区域水系纵横,水质肥沃,饵料生物丰富,孕育了以四大家鱼、鳊、鲢(*Elopichthys bambusa*)、鲟(*Luciobrama macrocephalus*)、鳝(*Ochetobius elongatus*)等为典型代表的江湖洄游习性鱼类,具有在湖泊生长育肥、在江河流域环境繁殖、产漂流性卵等生态习性,对江湖复合生态系统具有良好的适应性^[1]。历史上,长江干流产漂流性卵的经济鱼类大约有 20 余种,在长江渔业资源中占有重要地位^[2]。但受拦河筑坝、水域污染、过度捕捞等多种人类活动影响,鱼类栖息地环境退化、产卵与育幼等关键生活史受阻,长江鱼类资源状况及多样性受到严重威胁,保护形势十分严峻^[3-4]。

大坝建设被认为是鱼类资源及多样性的主要威胁^[5-6]。三峡工程是治理和开发长江的关键性工程,在全面发挥防洪、发电、航运等综合效益同时,也不可避免地对长江中下游鱼类产生了诸多不利影响。1997—2009 年的三峡工程建设和蓄水时期,坝下四大家鱼、中华鲟(*Acipenser sinensis*)等重要物种的繁殖规模持续减少、繁殖时间不断推迟,与三峡蓄水运行导致的水文节律改变和滞温效应密切相关^[7-11]。与此同时,国内许多科研机构深入研究了三峡水库调度运行对宜昌至监利江段四大家鱼自然繁殖状况的影响及其生态调度策略^[12-16],为三峡水库实施生态调度提供了坚实基础。2011 年 6 月,三峡水库促进四大家鱼自然繁殖的生态调度试验首次实施,至 2020 年已持续开展了 14 次;宜都、沙市、监利江段的监测数据一致表明,四大家鱼卵苗量出现大幅回升^[17-20]。然而,三峡水库生态调度实施以来的研究多关注四大家鱼单一对象,对于其它产漂流性卵鱼类的自然繁殖及其早期资源变化鲜有报道。本研究旨在掌握生态调度实施以来长江中游鱼类的繁殖及鱼卵资源变化状况,对于全面分析评估三峡水库生态调度效果,持续优化生态调度方案具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 采样区域及方法

采用常规的产漂流性卵鱼类早期资源调查方法,在鱼类繁殖季节进行采样。本文主要研究鱼类的自然繁殖状况,故调查分析中只以鱼卵样本为对象。固定采样点选择在湖北省荆州市沙市区的荆江水文趸船,位于长江干流北岸主河道一侧(30°18'52.58"N, 112°13'45.03"E),距岸边约 100 m。沙市江段上距葛洲坝约 150 km,该江段包括了顺直河道、弯曲河道以及沙洲等不同的生境类型;历史上分布着四大家鱼等产漂流性卵鱼类的主要产卵场,能够获得不同种类的鱼卵,具有代表性。

采用筛网进行表层定性采集,网口呈半圆形,网口直径 1.01 m,网长 2 m,网口面积 0.4 m²,网眼 40 目。集苗网箱长 40 cm,宽、高均为 30 cm,通过矩形木框支撑成长方体形状,网箱的上部不封口,便于收集鱼卵和仔鱼,网箱的近底部开一个椭圆形口,用于与筛网连接。圆锥网进行表、中、底不同水层及断面定量采集,网口呈圆形,网口直径 0.35 m。采样频次为每天的早(7:00—8:00)、中(12:00—13:00)、晚(18:00—19:00)3

个时段,每个时段的下网时间为10~40 min不等。另在卵、苗汛高峰时段进行断面采集,设置左岸(A)、左中(B)、江心(C)、右中(D)、右岸(E)5个采样点,各采样点采集表(A1~E1)、中(A2~E2)、底(A3~E3)3个水层的样品(图1)。采样过程中,通过前置的流速仪(型号:LS300-A)测定网口流速,以计算滤过的流量;采用塞氏盘测定水体透明度,采用玻璃棒式水银温度计测量水温。宜昌至沙市江段的实时水文数据从水利部发布的“全国水雨情信息网”获取。

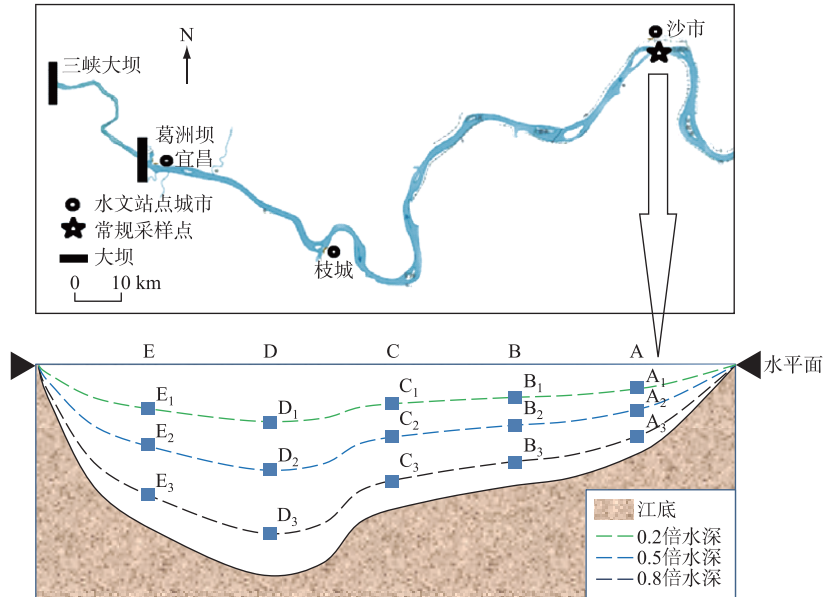


图1 沙市常规及断面采样点示意

Fig.1 Schematic diagram of regular and section sampling points in Shashi section

采样时间为2011—2020年每年5月中旬至7月中旬,逐年监测起止时间如下:2011年6月16日—7月15日、2012年5月19日—7月16日、2013年5月8日—7月10日、2014年5月19日—7月16日、2015年5月19日—7月17日、2016年5月20日—7月18日、2017年5月19日—7月17日、2018年5月15日—7月13日、2019年5月14日—7月12日、2020年5月14日—7月13日。不同年份的采样起始时间略有差异,除了2011年只采样1个月之外,其它年份均保证连续采样60 d。

1.2 数据处理与分析

1.2.1 鱼卵样品鉴定 采集到的鱼卵首先在双筒解剖镜下进行观察,并记录发育期、卵径、颜色等主要性状。所有鱼卵在室内充氧培养通过空调维持水温在20~24℃,培养5~7 d后用5%~7%福尔马林溶液固定保存。对于培养过程中死亡的个体,用医用酒精直接保存,抽样送到基因测序公司鉴定种类。采样结束后,所有固定样品在实验室内做进一步鉴定和校核。物种鉴定参考《长江鱼类早期资源》^[21]、《江河鱼类早期发育图志》^[22]以及内部资料。

1.2.2 鱼类产卵规模 首先根据逐日采集的鱼卵数量、采集时间、网口面积和流速数据计算鱼卵密度,其次采用逐日断面平均流量数据推算鱼卵的逐日径流量,用来反映鱼卵资源量的日变化。监测期间,逐日鱼卵资源量的加和,用来反映鱼类的产卵规模。

1) 采集期间鱼卵密度:

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

式中, d 为采集过程中单位水体体积通过网口的鱼卵密度(个/ m^3); n 为采集过程中累计获得的鱼卵数量(个); 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)。

2) 鱼卵断面流量系数:

$$C = \frac{\sum \bar{d}}{d_1} \quad (2)$$

式中, C 为鱼卵平均密度相比系数; d_1 为固定采样点的鱼卵密度 (个/ m^3); \bar{d} 为某断面各采样点的鱼卵平均密度 (个/ m^3)。

3) 采集期间的鱼卵径流量:

$$M_i = d_i \times Q_i \times C \quad (3)$$

式中, M_i 为第 i 次采集时段内通过该江断面的鱼卵数 (个); d_i 为第 i 次采集的鱼卵密度 (个/ m^3); Q_i 为第 i 次采集时的断面流量 (m^3/s); C 为鱼卵平均密度相比系数。

4) 非采集期间的鱼卵径流量 (用相邻两次采集的鱼卵径流量及其间隔时间进行插补计算):

$$M_{i,i+1} = (M_i/t_i + M_{i+1}/t_{i+1})t_{i,i+1}/2 \quad (4)$$

式中, $M_{i,i+1}$ 为第 i 与第 $i+1$ 次采集时间间隔内的鱼卵径流量 (个); $t_{i,i+1}$ 为第 i 次和第 $i+1$ 次采集时间间隔 (min)。

5) 鱼卵总径流量 (M):

$$M = \sum M_i + \sum M_{i,i+1} \quad (5)$$

式中, M 为某一时间段内鱼卵总径流量。

1.2.3 不同类群产卵规模 有些鱼卵孵出后的仔鱼在外观形态上非常相似,例如草鱼和赤眼鳟,蒙古鲌和翘嘴鲌,蛇鮈和鳅鲃,飘鱼和寡鳞飘鱼等,因此在计算产卵规模 (鱼卵径流量) 时首先将相似种合并,划分为不同的类群,再对不同类群的产卵规模的年际变化进行分析。

1.2.4 产卵时间 记录采集时的鱼卵发育期,依据不同鱼类胚胎发育阶段发育期与发育时长的关系,确定鱼卵采集时历经的发育时间^[22],再反推鱼卵受精时间作为产卵时间。

1.2.5 群落多样性指数 采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H)、Simpson 优势度指数 (D) 和 Pielou 均匀度指数 (E), 研究鱼卵群落结构的多样性特征^[23]。 H 指数基于物种数量反映群落种类多样性: 群落中生物种类增多代表了群落的复杂程度增高, 群落所含的信息量愈大; D 反映的是在同一个样本中随机抽取 2 个个体, 这 2 个个体来自同一个类的概率, 值越大, 表明多样性越低, 则优势度越高; E 反映群落中物种数量分布的均匀度。这 3 个指数是群落生物多样性研究中广泛应用的指数。计算公式如下:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i (\ln P_i), D = \sum_{i=1}^S (P_i)^2, E = H/\ln S \quad (6)$$

式中, S 为样品中包含的种类数量; P_i 为第 i 个物种的个体数占所有物种总个体数的比例。

1.2.6 群落稳定性指数 参考国外相关文献, 采用群落稳定性指数 ICV 来评估生物群落结构稳定性。该指标能够反映生物群落随时间的稳定性, 它衡量一个变量相对于其均值的恒定性程度^[24]。因此, ICV 越高, 群落稳定性越高。

$$ICV = \mu/\sigma \quad (7)$$

式中, μ 代表一段时间内所有生物物种相对多度的平均值; σ 代表相同时间间隔内所有生物物种相对多度平均值的标准差。

2 结果

2.1 生态调度实施及水文变化

2011—2020 年, 三峡水库共开展了 14 次促进长江中游四大家鱼等产漂流性卵鱼类自然繁殖的生态调度试验。其中, 2012、2015、2017、2018 年调度 2 次, 其他年份调度 1 次。2017 年 5 月首次开展了溪洛渡、向家坝、三峡梯级水库联合生态调度试验, 向家坝水库和三峡水库同步加大出库流量, 以满足生态调度试验要求。此后在 2019、2020 年继续实施了促进鱼类自然繁殖的三库联合生态调度试验。

根据实际调度情况统计, 生态调度时间集中在 5 月下旬至 6 月下旬, 三峡出库起始流量介于 6200~14600 m^3/s 之间, 出库流量日增幅介于 1050~3130 m^3/s 之间。表 1 所示, 历年生态调度期间宜昌江段持续

涨水时间范围 2~9 d,水位日均涨幅范围 0.25~1.83 m、流量日均增幅范围 760~5800 m³/s,调度起始时水温范围 17.5~23.5℃,调度期间宜昌江段起始水温除了 2013 年未达到 18℃(但沙市江段已达到),其余年份的起始水温都已经达到长江中游大部分鱼类自然繁殖的水温要求。

表 1 2011—2020 年生态调度实施及宜昌站涨水情况

Tab.1 Implementation of ecological operation and water level rising in Yichang Station during 2011–2020

生态调度年份	生态调度日期	流量日均增幅/ (m ³ /(s·d))	水位日均涨幅/ (m/d)	涨水持续时间/ d	起始水温/ ℃
2011 年	6 月 16—19 日	800~2500(1575)	0.31~1.37(0.89)	4	22.8
2012 年	5 月 25—31 日	800~5300(2425)	0.19~1.80(1.02)	4	21.5
	6 月 20—27 日	600~2600(1600)	0.23~1.06(0.64)	4	23.0
2013 年	5 月 7—14 日	660~3200(1260)	0.38~1.05(0.51)	9	17.5
2014 年	6 月 4—7 日	940~1450(1230)	0.36~0.53(0.46)	3	21.1
2015 年	6 月 7—10 日	25~6910(3180)	0.11~2.77(1.30)	4	22.0
	6 月 25—28 日	5325~6275(5800)	1.58~2.07(1.83)	2	23.3
2016 年	6 月 9—11 日	750~2925(1775)	0.21~0.89(0.55)	3	22.5
2017 年	5 月 20—25 日	600~1700(1080)	0.22~0.71(0.43)	5	20.3
	6 月 4—9 日	400~3500(1365)	0.18~1.34(0.51)	6	21.8
2018 年	5 月 19—25 日	1125~2800(1825)	0.43~0.84(0.58)	5	21.0
	6 月 17—20 日	675~1975(1440)	0.27~0.77(0.56)	3	23.5
2019 年	5 月 26—31 日	100~1900(760)	0.02~0.64(0.25)	4	20.3
2020 年	5 月 24—28 日	200~2200(940)	0.1~0.92(0.39)	5	20.0

2.2 繁殖种类组成及多样性

2011—2020 年监测期,在沙市江段共采集到鱼卵 151357 粒、35 种,隶属于 4 目、8 科、30 属(附表 I)。各年份采集的鱼卵数量如下:2011 年 1201 粒、2012 年 8764 粒、2013 年 31539 粒、2014 年 20419 粒、2015 年 14067 粒、2016 年 9710 粒、2017 年 7355 粒、2018 年 10005 粒、2019 年 14343 粒、2020 年 33954 粒。鱼卵组成中,典型的产漂流性卵鱼类有 20 余种,且相对丰度高于其它产卵类型的鱼类,统计各年份的优势繁殖种类(数量百分比高于 1%)组成变化可知,贝氏鲃、鳊、银鮡、花斑副沙鳅、四大家鱼、鮠(翘嘴鮠、蒙古鮠)等是沙市江段各年份间占比相对稳定的繁殖鱼类,飘鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)、鳅鮀(*Gobiobotia filifer*)、银鲴(*Xenocypris argentea*)等在各年份间差异较大(图 2)。

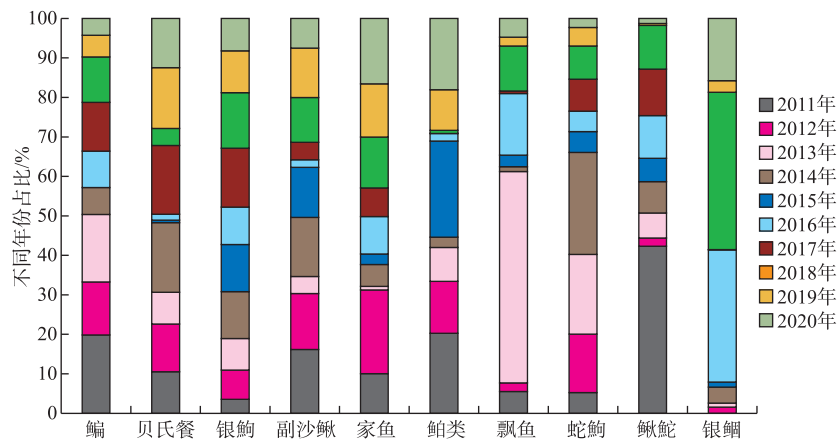


图 2 2011—2020 年优势繁殖种类组成占比

Fig.2 Composition and proportion of dominant breeding species during 2011–2020

计算并统计了鱼卵群落多样性指数、稳定性指数的年际变化(图3)。各指数的年际变化过程表明,多样性指数 H 和均匀度指数 E 的变化趋势一致,大致呈先降低后升高的变化;优势度指数 D 刚好相反,大致呈先升高后降低的变化;稳定性指数 ICV 的趋势性变化比较明显,呈先降低后升高的变化。各指数变化比较剧烈的年份均出现在 2016—2017 年,也是趋势性变化的拐点位置,表明该时期的鱼卵群落很不稳定,表现为多样性和均匀度下降,优势度显著增加,稳定性指数最低。

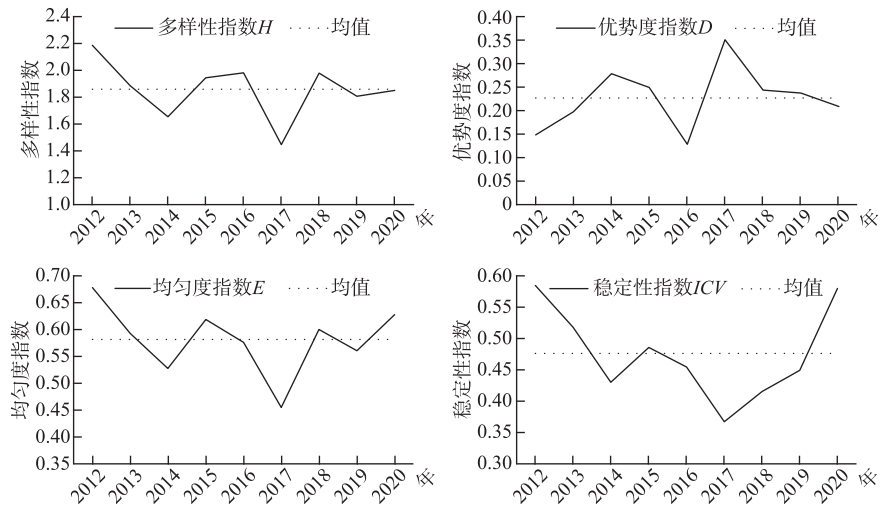


图3 鱼卵群落多样性和稳定性指数年际变化

Fig.3 Interannual variation of diversity and stability index of fish egg community

2.3 鱼类繁殖规模

2012—2020 年监测期间,沙市江段各年度的鱼卵总径流量变动范围为 110 亿~1148 亿粒/年,平均值 403.55 亿粒/年。其中,生态调度期间的鱼卵径流量变动范围为 5.0 亿~125.7 亿粒/年,平均值 38.8 亿粒/年,占年度鱼卵总径流量的 1.9%~33.6% (图4)。图4 还反映了 2012—2016 年期间,鱼卵径流量呈高低交错变化;与之相反,2017—2020 年鱼卵径流量呈现逐年递增的趋势,至 2020 年达到最高值,表明近年来该江段的鱼类自然繁殖状况趋于稳定。

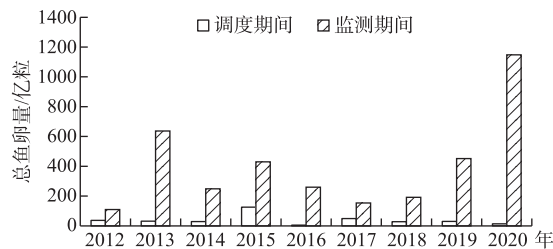


图4 漂流性鱼卵总径流量年际变化

Fig.4 Interannual variation of total runoff of drifting fish eggs

统计了家鱼类(四大家鱼、赤眼鲢)、鳊鲌类(鳊、翘嘴鲌、蒙古鲌、达氏鲌)、鳙类(鳙、鳊)、鲮类(银鲮、黄尾鲮)、鲮类(贝氏鲮、鲮)、吻鲈类(吻鲈、圆筒吻鲈)、鳅类(副沙鳅、犁头鳅等)、蛇鲈类(蛇鲈、鳅鲈)、银鲈、飘鱼共 10 个类群的产卵规模及其年际变化,如图 5 所示。

不同类群的年产卵规模(年平均均值)统计如下:家鱼类为 1.27 亿~104.36 亿粒(16.62 亿粒);鳊鲌类 0.23 亿~401.60 亿粒(65.0 亿粒);鳙类 0.06 亿~5.79 亿粒(2.12 亿粒);鲮类 0.26 亿~27.72 亿粒(8.13 亿粒);鲮类 4.09 亿~187.71 亿粒(55.96 亿粒);吻鲈类 0.05 亿~6.68 亿粒(2.29 亿粒);鳅类 4.68 亿~93.33 亿粒

(24.72 亿粒);蛇鮈类 2.96 亿~8.59 亿粒(5.44 亿粒);银鮈 31.17 亿~200.65 亿粒(82.80 亿粒);飘鱼 0.0016 亿~27.60 亿粒(9.39 亿粒)。除飘鱼、蛇鮈类等的产卵规模呈现减少趋势以外,其它 8 个类群的产卵规模均呈增加趋势(图 5)。

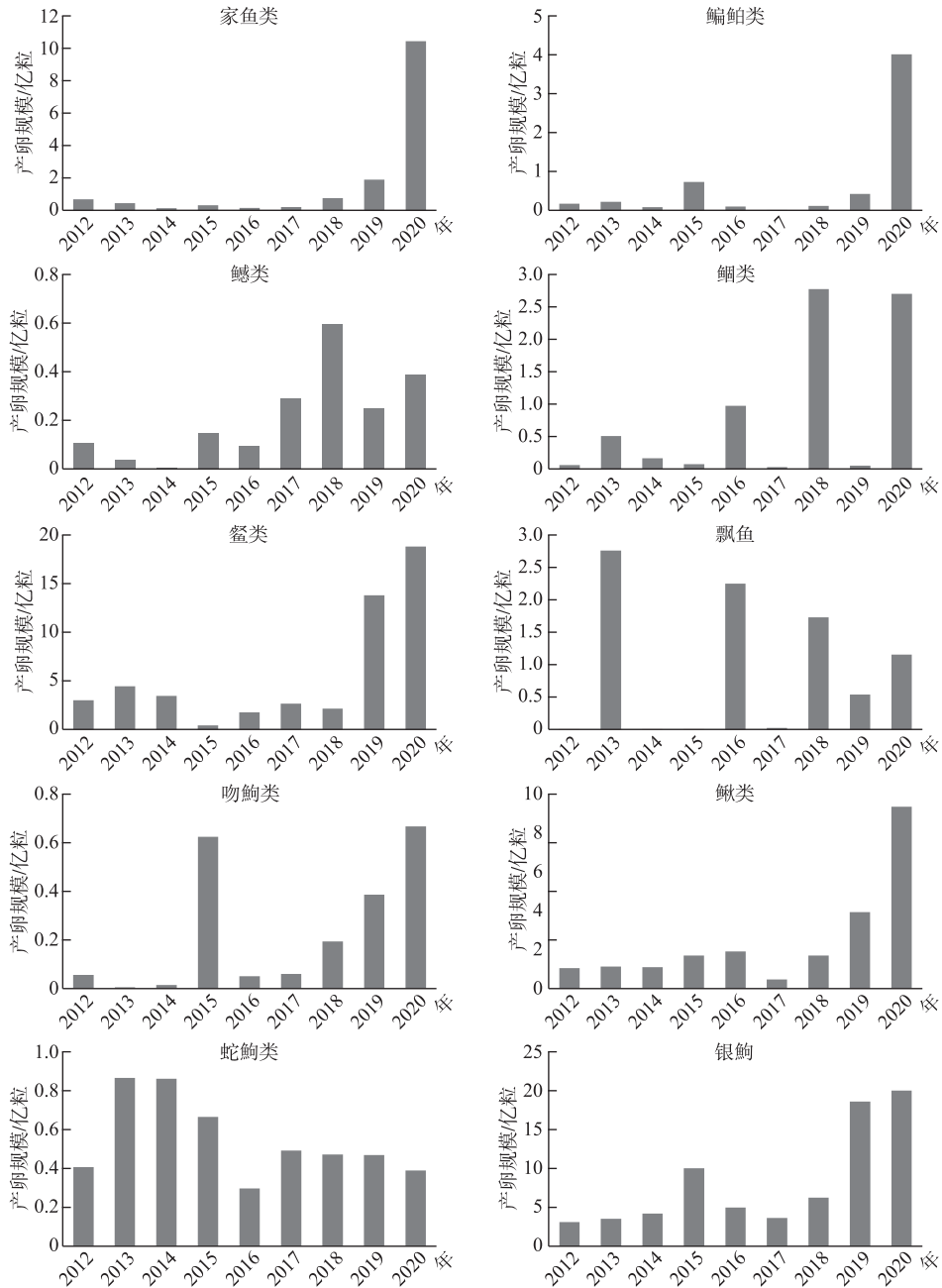


图 5 不同类群鱼类产卵规模年际变化

Fig.5 Interannual variation of breeding scale of different fish groups

2.4 鱼类繁殖时间

各年份鱼类繁殖的高峰时间及其对应的鱼卵规模(表 2)统计发现,各年份在 5—7 月间的鱼类繁殖高峰

达到 3~6 次,出现频次为 5 月份 1~2 次、6 月份 1~4 次、7 月份 0~2 次,年际差异在 6 月份最大。总体来看,沙市江段的鱼卵高峰频次有逐渐升高的趋势(2018 年例外),从 3 次上升到 6 次;较大鱼卵规模出现的时段有逐渐延长的趋势,从 5 月下旬延长到 6 月底至 7 月初;鱼卵高峰结束时间有逐渐延迟的趋势,从 6 月下旬延迟到 7 月上旬。

表 2 2012—2020 年宜昌至沙市江段鱼类繁殖高峰时间和规模

Tab.2 Time and scale for each fish breeding peak in Yichang-Shashi river section from 2012 to 2020

监测年份	鱼卵高峰时间及对应的鱼卵规模					
2012 年	5 月 19—22 日 36.64 亿	5 月 29—31 日 21.95 亿	6 月 27—28 日 8.15 亿			
2013 年	5 月 15—17 日 130.34 亿	5 月 27—28 日 85.92 亿	6 月 6—12 日 150.67 亿	6 月 24—26 日 95.53 亿		
2014 年	5 月 21—26 日 14.01 亿	6 月 3—7 日 34.66 亿	6 月 20—25 日 47.1 亿	7 月 3—5 日 50.72 亿	7 月 11—12 日 18.95 亿	
2015 年	5 月 28—30 日 31.94 亿	6 月 2—4 日 20.74 亿	6 月 8—11 日 50.98 亿	6 月 15—18 日 43.24 亿	6 月 26—27 日 58.41 亿	
2016 年	5 月 26—27 日 17.79 亿	6 月 1—2 日 16.15 亿	6 月 6—7 日 9.14 亿	6 月 21—22 日 82.19 亿	6 月 27—28 日 7.89 亿	7 月 7—8 日 7.62 亿
2017 年	5 月 20—24 日 20.56 亿	6 月 6—11 日 36.00 亿	6 月 13—15 日 19.55 亿	6 月 23—30 日 13.58 亿	7 月 8—10 日 4.72 亿	
2018 年	5 月 18—21 日 34.85 亿	5 月 24—26 日 14.81 亿	6 月 30 日 5.73 亿	7 月 4—5 日 39.52 亿		
2019 年	5 月 17—19 日 44.59 亿	5 月 26—29 日 56.47 亿	6 月 6—7 日 30.22 亿	6 月 18—19 日 28.23 亿	6 月 24—25 日 32.36 亿	7 月 1 日 30.61 亿
2020 年	6 月 14 日 44.70 亿	6 月 19—21 日 139.26 亿	6 月 29—30 日 95.11 亿	7 月 3—7 日 237.00 亿	7 月 11—12 日 76.92 亿	

2.5 生态调度对鱼类繁殖的影响

历年生态调度期、非生态调度期的鱼类日均产卵规模及其两者的比值(表 3)显示,从总鱼卵规模来看,2012、2015、2017 年比值超过 5,表明在生态调度过程中鱼类出现了大规模的繁殖响应;2011、2014、2018、2019 年比值超过 1,表明在生态调度过程中鱼类出现了中等规模的繁殖响应;2016 年、2020 年比值均小于

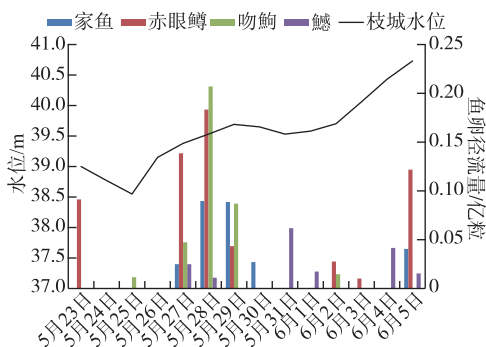


图 6 2020 年生态调度期间
漂流性鱼卵丰度与水位关系

Fig.6 Relationship between abundance of drifting fish eggs and water level during ecological operation in 2020

1,即非生态调度过程中鱼类的产卵规模更高,鱼类繁殖对生态调度的响应不明显。从四大家鱼的鱼卵规模来看,同样除了 2016、2020 年(比值小于 1)响应不明显之外,其它年份的规模比值都在 1.0 以上。综合总鱼卵和四大家鱼卵规模的统计结果,在 2012、2014—2015、2017—2018 年这几年实施的生态调度对不同产漂流性卵鱼类繁殖都起到了明显的效果;反之,2016 年和 2020 年调度效果不明显,调度期间没有出现大规模繁殖。

2020 年生态调度期间,漂流性鱼卵总产卵规模为 13.8 亿粒,其中四大家鱼鱼卵规模为 0.23 亿粒,均只占该年度产卵规模的 1% 左右。选取 2020 年为典型年份,进一步分析生态调度对不同鱼类产卵的影响。统计 2020 年 5 月 23 日—6 月 5 日生态调度期间及前后时段主要鱼类(四大家鱼、赤眼鳟、吻鲈、鳊)的鱼卵径流量与枝城站水位变化过程的关系可知(图 6),在生态调度前的水位骤降阶段,鱼类基本停止产卵;在生态调度期水

位上升过程中,上述鱼类都出现产卵,其中家鱼、赤眼鳟、吻鮰都出现产卵高峰;在生态调度后的小幅退水阶段,鱼卵径流量减少,家鱼、赤眼鳟和吻鮰都没有产卵。此后的第二次非生态调度涨水过程中(6月1—5日),鳊出现了产卵高峰,赤眼鳟和吻鮰有零星产卵,但没有发现家鱼产卵。由此可知,在2020年实施生态调度的涨水过程中,尽管产卵规模不大,但仍能够促发多种鱼类的繁殖响应。

表3 生态调度期和非生态调度期的鱼卵日均规模统计

Tab.3 Statistics of average daily scale of fish eggs in ecological and non-ecological operation periods

年份	总鱼卵			四大家鱼卵		
	调度期间 总鱼卵日均规模/ 亿粒	非调度期间 总鱼卵日均规模/ 亿粒	调度与非调度 的规模比值	调度期间 家鱼卵日均规模/ 亿粒	非调度期间 家鱼卵日均规模/ 亿粒	调度与非调度 的规模比值
2011年	0.18	0.11	1.59	0.003	0.001	1.86
2012年	9.24	1.46	6.32	0.508	0.041	12.44
2013年	7.91	11.01	0.72	0.064	0.014	4.60
2014年	7.24	3.93	1.84	0.180	0.019	9.42
2015年	31.43	5.74	5.47	0.149	0.042	3.55
2016年	1.25	4.47	0.28	0.008	0.088	0.09
2017年	12.28	2.14	5.74	0.079	0.012	6.67
2018年	7.02	3.15	2.23	0.120	0.030	4.06
2019年	7.51	7.54	1.00	0.112	0.111	1.00
2020年	3.45	19.90	0.17	0.058	0.352	0.16

3 讨论

3.1 长江中游产漂流性卵鱼类自然繁殖变化

3.1.1 繁殖种类变化 1960s以来,长江干流产漂流性卵鱼类早期资源调查以四大家鱼的自然繁殖调查为基础,以水电工程不同建设阶段为主线,大致经历了4次代表性调查评估工作^[25]。然而,针对不同时期长江中游产漂流性卵鱼类的自然繁殖变化鲜有报道,主要以某一时期的卵苗种类组成及丰度调查结果为主。已有研究中,长江水产研究所2003—2006年间在监利江段仅调查到产漂流性卵鱼类13种,较1970s减少了10余种^[26];中国科学院水生生物研究所2009年在宜都断面调查到18种产漂流性卵鱼类,与段辛斌等^[26]的结果相比增加了状体沙鳅、花斑副沙鳅和宜昌鳊鲃等种类^[27];其后,长江水产研究所2014—2015年在宜昌江段调查到22种^[28],中国科学院水生生物研究所2017—2018年在宜昌江段调查到23种^[20]。本研究在沙市江段一共调查到鱼卵35种,其中漂流性鱼卵达到25种,已接近1970s的水平^[29]。本调查历时十年,因此捕获的种类较为全面,其中优势种类或常见种类包括四大家鱼、贝氏鲮、银鮰、花斑副沙鳅、翘嘴鲮、鳊等十多种,而鳊、铜鱼、吻鮰、圆筒吻鮰、中华沙鳅、达氏鲮、黄尾鲮等仅在少数年份出现,且资源量很低。

3.1.2 繁殖规模变化 在产卵规模评估方面,相关文献仍集中在四大家鱼的调查研究。1960s以来宜昌江段、监利江段四大家鱼产卵规模在持续下降^[30],并且在三峡工程蓄水运行期间,其自然繁殖规模下降的趋势仍在加剧,2009年降至最低值0.42亿尾^[31],下游沙市江段在1980s也出现了四大家鱼繁殖衰退迹象^[25,32]。有研究表明,一些小型的产漂流性卵鱼类,诸如银鮰、似鳊、蛇鮰、双斑副沙鳅等,由于个体小,生命周期短,性成熟年龄小,可多次繁殖等生活史特征,能够在长江中游保持一定的繁殖规模^[27]。本研究显示近十年以来,沙市江段鳊类的年均产卵规模可达到55.96亿粒,银鮰可达到82.80亿粒,鳊类可达到24.72亿粒;而四大家鱼、鳊、鳊、鳊类的产卵规模在2018年以后出现显著增加,表现出与小型鱼类一致的变化趋势,此外,鱼卵高峰出现的次数和持续时间随年际变化均有增加趋势,表明鱼类繁殖状况趋于稳定。本研究通过群落结构相关指数分析了生态调度实施以来长江中游鱼卵群落结构特征,初步得出群落多样性和稳定性指数均呈现先降低后升高的变化趋势,尤其是2017年以来构成鱼卵的群落多样性趋于增加,群落结构趋于稳定。

3.2 三峡生态调度对长江中游鱼类繁殖的贡献

3.2.1 三峡生态调度期鱼类自然繁殖响应 多年来,基于对四大家鱼自然繁殖与水文条件关系的系统研究,三峡水库“人造洪峰”的生态调度措施被加以研究、论证并付诸实践^[33-36]。经过持续多年的生态调度试验,坝下鱼类自然繁殖状况逐渐改善。水生生物研究所报道 2017—2018 年通过宜都断面的鱼卵径流量较 2009—2010 年增大了 85.3%,尤其是四大家鱼的鱼卵径流量与 2005—2012 年相比增加了约 13 倍^[20];长江水产研究所报道 2013—2019 年(除 2016 年)宜昌至宜都产卵场四大家鱼的产卵规模呈逐年上升趋势,年增长率为 4.98%~322.3%^[37]。本研究在沙市江段的调查结果表明在 2018—2020 年期间,四大家鱼鱼卵径流量呈逐年上升趋势。除了四大家鱼,沙市江段的鳊鲂、鳊、鲴类、吻鲈类、贝氏鲮、银鲌等主要鱼类的繁殖规模同样呈增长趋势,繁殖种类的多样性也在增加。尽管在少数年份,比如 2020 年实施调度期间,四大家鱼等产漂流性卵鱼类的产卵规模偏低,但产卵种类相较调度前后有所增加(图 6),这是不同鱼类产卵繁殖对水文条件的需求存在差异性所致,如贝氏鲮、银鲌、吻鲌等产卵对涨水的依赖程度小^[38-39],铜鱼在涨水、落水过程都可以产卵^[40],该现象也反映出生态调度的效用除了直接表征为刺激鱼类大规模产卵,也可以体现在促进不同的鱼类产卵方面。农业农村部在 2020 年发布了“长江十年禁渔计划”,于 2021 年开始全面实施,本研究的时间截止到 2020 年,因此由全面禁渔带来的鱼类资源本底状况改变对本研究结果的影响较小,近些年该江段鱼类自然繁殖状况的好转,应该是持续开展三峡水库生态调度产生的生态环境效益的显现。

3.2.2 三峡水库生态调度效果评估指标 本研究忽略生态调度和非生态调度期间生物背景条件的差异,采用日均产卵规模指标来反映生态调度的效果,若调度期的鱼类日均产卵规模高于非调度期,则表明生态调度有效果,且两者的比值越大,表明调度效果越明显。由此得出 2016 年、2020 年生态调度效果不明显的结论。鱼类繁殖、育幼等关键的生命阶段都与水文情势密切相关^[41]。国内学者研究得出,5—6 月份平均流量是影响三峡坝下四大家鱼鱼苗发生的关键水文因子^[42-43],且两者呈正相关关系^[44]。本文进一步分析各年份繁殖季节水文指标的差异性可知,2016 年、2020 年 6 月份的月均流量分别达到 21200、21600 m³/s,均超过多年平均值的 20%,高于生态调度其它年份的同期水平,再结合 6 月份的鱼类繁殖频次差异最大,因此 6 月份的高流量事件应该是 2016 年繁殖频次较高、2020 年繁殖规模较大的主要因素(表 2)。2016 年、2020 年 6 月份来水量偏丰,使得这两年鱼类繁殖状况整体较好,调度期间的鱼卵规模未出现显著增加。

本研究的不足之处在于,由于不同鱼类产卵繁殖对水文条件的需求存在差异性,因此仅考虑产卵规模单一指标无法全面反映生态调度的效果,亟待建立一套科学的三峡水库生态调度效果评价指标体系。此外,三峡水库目前实施的生态调度方案只针对四大家鱼单一对象,缺乏对鱼类生物多样性的整体考虑。未来有必要系统总结已有的生态-水文数据,研究分析不同鱼类对水文条件的需求,针对不同鱼类的需求设计更优化的生态调度方案,进一步提升生态调度对长江中游鱼类自然繁殖的贡献。

4 附录

附表 I 见电子版(DOI: 10.18307/2023.0532)。

5 参考文献

- [1] Chang JB, Cao WX. Fishery significance of the river-communicating lakes and strategies for the management of fish resources. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, **8**(2): 153-157. [常剑波, 曹文宣. 通江湖泊的渔业意义及其资源管理对策. 长江流域资源与环境, 1999, **8**(2): 153-157.]
- [2] Liu JK, Cao WX. Fish resources of the Yangtze River basin and the tactics for their conservation. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1992, **1**(1): 19-22. [刘建康, 曹文宣. 长江流域的鱼类资源及其保护对策. 长江流域资源与环境, 1992, **1**(1): 19-22.]
- [3] Liu F, Lin PC, Li MZ *et al.* Situations and conservation strategies of fish resources in the Yangtze River basin. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 144-156. [刘飞, 林鹏程, 黎明政等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策. 水生生物学报, 2019, **43**(S1): 144-156.]
- [4] Zhang H, Kang M, Shen L *et al.* Rapid change in Yangtze fisheries and its implications for global freshwater ecosystem management. *Fish and Fisheries*, 2020, **21**(3): 601-620.
- [5] Bunn SE, Arthington AH. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environ Manage*, 2002, **30**: 492-507. DOI: 10.1007/s00267-002-2737-0.
- [6] Liermann CR, Nilsson C, Robertson J *et al.* Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *Bioscience*, 2012, **62**: 539-

548. DOI: 10.1525/bio.2012.62.6.5.
- [7] Cai YP, Yang Z, Xu W. Effect of water temperature variation after impoundment of the Three Gorges Reservoir on natural reproduction of the four major Chinese carps. *Advanced Engineering Sciences*, 2017, **49** (1): 70-77. [蔡玉鹏, 杨志, 徐薇. 三峡水库蓄水后水温变化对四大家鱼自然繁殖的影响. *工程科学与技术*, 2017, **49** (1): 70-77.]
- [8] Gao X, Lin PC, Li MZ *et al.* Effects of water temperature and discharge on natural reproduction time of the Chinese Sturgeon, *Acipenser sinensis*, in the Yangtze River, China and impacts of the impoundment of the Three Gorges Reservoir. *Zoological Science*, 2014, **31** (5): 274-278.
- [9] Zhang P, Qiao Y, Grenouillet G *et al.* Responses of spawning thermal suitability to climate change and hydropower operation for typical fishes below the three gorges dam. *Ecological Indicators*, 2021, **121**: 107186.
- [10] Li QQ, Qin H, Chen GC *et al.* Analysis on hydrologic alteration of middle Yangtze River and its impact on fish. *Yangtze River*, 2012, **43** (11): 86-89. [李清清, 覃晖, 陈广才等. 长江中游水文情势变化及对鱼类的影响分析. *人民长江*, 2012, **43** (11): 86-89.]
- [11] Hu CH, Zhang SH. Strategies for water security and aquatic ecosystem restoration in the Yangtze River Economic Belt. *Strategic Study of CAE*, 2022, **24** (1): 166-175. [胡春宏, 张双虎. 长江经济带水安全保障与水生态修复策略研究. *中国工程科学*, 2022, **24** (1): 166-175.]
- [12] Li C, Peng J, Liao WG. Study on the eco-hydrological factors and flow regime requirement on spawning of four major Chinese carps in the middle reaches of Yangtze River. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2006, **4** (3): 170-176. [李翀, 彭静, 廖文根. 长江中游四大家鱼发江生态水文因子分析及生态水文目标确定. *中国水利水电科学研究院学报*, 2006, **4** (3): 170-176.]
- [13] Zhao Y, Zhou JZ, Xu K *et al.* Ecological operation of Three Gorges reservoir for protection of four major Chinese carps spawning. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2012, **44** (4): 45-50. [赵越, 周建中, 许可等. 保护四大家鱼产卵的三峡水库生态调度研究. *四川大学学报(工程科学版)*, 2012, **44** (4): 45-50.]
- [14] Peng QD, Liao WG, 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. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2012, **44** (2): 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. *四川大学学报(工程科学版)*, 2012, **44** (2): 228-232.]
- [15] Li J, Xia ZQ, Dai HC *et al.* Effect of Three Gorges reservoir initial filling on downstream habitat suitability of the typical fishes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2013, **44** (8): 892-900. [李建, 夏自强, 戴会超等. 三峡初期蓄水对典型鱼类栖息地适宜性的影响. *水利学报*, 2013, **44** (8): 892-900.]
- [16] Ma C, Zhao M, Sun XZ *et al.* Discussion on requirement and feasibility of the Three Gorges reservoir regulation in flood season considering fish reproduction. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2017, **28** (1): 109-113. [马超, 赵明, 孙萧仲等. 考虑鱼类繁衍需求的三峡水库汛期调度要求及可行性探讨. *水资源与水工程学报*, 2017, **28** (1): 109-113.]
- [17] Huang Y. Practice and prospects of Three Gorges reservoir eco-regulation for ecology and environment protection. *Yangtze River*, 2018, **49** (13): 1-8. [黄艳. 面向生态环境保护的三峡水库调度实践与展望. *人民长江*, 2018, **49** (13): 1-8.]
- [18] Xu W, Liu HG, Tang HY *et al.* Effects of ecological operation of Three Gorges reservoir on fish eggs and larvae in Shashi section of the Yangtze River. *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. *水生态学杂志*, 2014, **35** (2): 1-8.]
- [19] Zhou X, Wang K, Chen DQ *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. *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. *水产学报*, 2019, **43** (8): 1781-1789.]
- [20] Chen C, Li MZ, Gao X *et al.* The status of the early-stage fish resources and hydrologic influencing conditions in the Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, **44** (5): 1055-1063. [陈诚, 黎明政, 高欣等. 长江中游宜昌江段鱼类早期资源现状及水文影响条件. *水生生物学报*, 2020, **44** (5): 1055-1063.]
- [21] 曹文宣, 常剑波, 乔晔等. 长江鱼类早期资源. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [22] 梁秩桑, 易伯鲁, 余志堂著. 江河鱼类早期发育图志. 广州: 广东科技出版社, 2019.
- [23] Menaughton SJ. Diversity and stability. *Nature*, 1988, **333** (6170): 204-205.
- [24] Tilman D, Reich PB, Knops JMH. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 2006, **441** (7093): 629-632.
- [25] Xu W, Yang Z, Chen XJ *et al.* Three Gorges reservoir ecological operation effect on the spawning of the four major Chinese carps. *Research of Environmental Science*, 2020, **33** (5): 1129-1139. [徐薇, 杨志, 陈小娟等. 三峡水库生态调度试验对四大家鱼产卵的影响分析. *环境科学研究*, 2020, **33** (5): 1129-1139.]
- [26] Duan XB, Chen DQ, Li ZH *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. *Journal of Fishery Science 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. 中国水产科学, 2008, 15(4): 523-532.]
- [27] 黎明政. 长江鱼类生活史对策及其早期生活史阶段对环境的适应[学位论文]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2012: 75-86.
- [28] Liu MD, Gao L, Tian HW *et al.* Status of fishes at the early life history stage in the Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River. *Journal of Fishery Science 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. 中国水产科学, 2018, 25(1): 147-158.]
- [29] 湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 长江鱼类. 北京: 北京科学出版社, 1976.
- [30] Li MZ, Duan ZH, Gao X *et al.* Impact of the Three Gorges Dam on reproduction of four major Chinese carps species in the middle reaches of the Changjiang River. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2016, 34(5): 885-893.
- [31] 中华人民共和国环境保护部. 三峡工程生态与环境监测公报, 1997-2010.
- [32] 长江水系渔业资源调查协作组. 长江水系渔业资源. 北京: 海洋出版社, 1990.
- [33] Zeng XS. Study on the promotion of natural reproduction of domestic fish by regulating water rising. *Journal of Ecology*, 1990, 9(4): 20-23. [曾祥胜. 人为调节涨水过程促使家鱼自然繁殖的探讨. 生态学杂志, 1990, 9(4): 20-23.]
- [34] Zhang GH, Chang JB, Shu GF. Applications of factor-criteria system: Reconstruction analysis of the reproduction research on grass carp, black carp, silver carp and bighead in the Yangtze River. *International Journal of General Systems*, 2000, 29(3): 419-428.
- [35] Li MZ, Gao X, Yang SR *et al.* Effects of environmental factors on natural reproduction of the four major Chinese carps in the Yangtze River, China. *Zoological Science*, 2013, 30(4): 296-303.
- [36] Xu W, Qiao Y, Chen XJ *et al.* Spawning activity of the four major Chinese carps in the middle mainstream of the Yangtze River, during the Three Gorges Reservoir operation period, China. *Journal of Applied Ichthyology*, 2015, 31(5): 846-854.
- [37] 李朝达, 林俊强, 夏继红等. 三峡水库运行以来四大家鱼产卵的生态水文响应变化. 水利水电技术, 2021, 52(5): 158-166.
- [38] Li MZ, Ma Q, Chen L *et al.* Natural reproduction and hydrologic requirements of pelagophil fish in the Three Gorges reservoir. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(S1): 84-96. [黎明政, 马琴, 陈林等. 三峡水库产漂流性卵鱼类繁殖现状及水文需求研究. 水生生物学报, 2019, 43(S1): 84-96.]
- [39] 高天珩. 长江上游鮡亚科鱼类资源及生境选择策略研究[学位论文]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [40] Liu LH, Wu GX, Wang ZL. Reproduction ecology of *Coreius heterodon* (Bleeker) and *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the mainstream of the Changjiang River after the construction of Gezhouba dam. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1990, 14(3): 205-215. [刘乐和, 吴国犀, 王志玲. 葛洲坝水利枢纽兴建后长江干流铜鱼和圆口铜鱼的繁殖生态. 水生生物学报, 1990, 14(3): 205-215.]
- [41] Humphries P, King AJ, Koehn JD. Fish, flows and floodplains: Links between freshwater fishes and their environment in the Murray-Darling River system, Australia. *Environmental Biology of Fishes*, 1999, 56: 129-151.
- [42] Guo WX, Wang HX, Xu JX *et al.* Effects of Three Gorges reservoir on the downstream eco-hydrological regimes during the spawning of important fishes. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2011, 30(3): 22-26. [郭文献, 王鸿翔, 徐建新等. 三峡水库对下游重要鱼类产卵期生态水文情势影响研究. 水力发电学报, 2011, 30(3): 22-26.]
- [43] Ban X, Chen S, Pan B *et al.* The eco-hydrologic influence of the Three Gorges Reservoir on the abundance of larval fish of four carp species in the Yangtze River, China. *Ecohydrology*, 2017, 10(1).
- [44] 班璇, Panayiotis D, 吕晓蓉等. 长江葛洲坝下游鱼类资源量的关键水文指标识别. 水利水电科技进展, 2019, 39(1): 15-20.

附表 I 沙市江段鱼卵种类组成名录

Appendix Tab.I List of Fish Egg Species Composition in Shashi section

分类地位		种名	鱼卵类型	相对丰度		
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	鲃属 <i>Culter</i>	1. 蒙古鲃 <i>Chanodichthys mongolicus</i>	弱粘性 ++		
			2. 翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	弱粘性 +++		
			3. 达氏鲃 <i>Chanodichthys dabryi</i>	粘性 +		
			4. 拟尖头鲃 <i>Culter oxycephaloides</i>	弱粘性 +		
			鲮属 <i>Hemiculter</i>	5. 贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	漂流性 +++	
			飘鱼属 <i>Pseudolaubuca</i>	6. 飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	粘沉性 ++	
			鳊属 <i>Parabramis</i>	7. 鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	漂流性 +++	
			鲴属 <i>Xenocypris</i>	8. 银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	漂流性 ++	
				9. 黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	漂流性 +	
			似鳊属 <i>Pseudobrama</i>	10. 似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	漂流性 ++	
			蛇鲂属 <i>Saurogobio</i>	11. 蛇鲂 <i>Saurogobio dabryi</i>	漂流性 ++	
			银鲂属 <i>Squalidus</i>	12. 银鲂 <i>Squalidus argentatus</i>	漂流性 +++	
			吻鲂属 <i>Rhinogobio</i>	13. 吻鲂 <i>Rhinogobio typus</i>	漂流性 +	
				14. 圆筒吻鲂 <i>Rhinogobin cylindricus</i>	漂流性 +	
			铜鱼属 <i>Coreius</i>	15. 铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	漂流性 +	
			赤眼鲮属 <i>Squaliobarbus</i>	16. 赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	漂流性 ++	
			草鱼属 <i>Ctenopharyngodon</i>	17. 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	漂流性 +++	
			青鱼属 <i>Mylopharyngodon</i>	18. 青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	漂流性 +	
			鳊属 <i>Chetobius</i>	19. 鳊 <i>Chetobius elongatus</i>	漂流性 +	
			鳊属 <i>Elopichthys</i>	20. 鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	漂流性 ++	
			鲢属 <i>Hypophthalmichthys</i>	21. 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	漂流性 +++	
			鳊属 <i>Aristichthys</i>	22. 鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	漂流性 +	
			鳊属 <i>Gobiobotia</i>	23. 宜昌鳊鲂 <i>Gobiobotia filifer</i>	漂流性 +	
			鲤属 <i>Cyprinus</i>	24. 鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	粘性 +	
			倒刺鲃属 <i>Spinibarbus</i>	25. 中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	漂流性 +	
			鳊科 Cobitidae	副沙鳊属 <i>Parabotia</i>	26. 花斑副沙鳊 <i>Parabotia fasciata</i>	漂流性 +++
				沙鳊属 <i>Botia</i>	27. 中华沙鳊 <i>Botia superciliaris</i>	漂流性 +
				薄鳊属 <i>Leptobotia</i>	28. 薄鳊属一种 <i>Leptobotia</i> sp.	漂流性 +
				花鳊属 <i>Cobitis</i>	29. 中华花鳊 <i>Cobitis sinensis</i>	漂流性 +
			平鳍鳊科	犁头鳊属 <i>Lepturichthys</i>	30. 犁头鳊 <i>Lepturichthys fimbriata</i>	漂流性 ++
		鲈形目 Perciformes	鲈科 Serranidae	鳊属 <i>Siniperca</i>	31. 鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	漂浮性 ++
				吻鰕虎鱼科	吻鰕虎鱼属 <i>Rhinogobius</i>	32. 吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius</i> sp.
	Gobiidae					
鲇形目 Siluriformes	鲇科 Siluridae	鲇属 <i>Silurus</i>	33. 鲇 <i>Silurus asotus</i>	粘性 +		
	鲇科 Bagridae	黄颡鱼属 <i>Pelteobagrus</i>	34. 黄颡鱼属一种 <i>Pelteobagrus</i> sp.	粘沉性 +		
颌针鱼目	鱖科	鱖属 <i>Hemibarhamphus</i>	35. 间下鱖 <i>Hemibarhamphus kurumeus</i>	粘性 +		
Beloniformes	Hemiramphidae					

* “+”表示少量出现; “++”表示较多出现; “+++”表示大量出现。