

研究报告

DOI:10.14188/j.ajsh.20241022001

湘江银鮡个体繁殖力与卵径特征的研究

杨政飞,高易阳,胡玲玲,向建国,李德亮*,黄艳飞*

(湖南农业大学水产学院,湖南长沙410128)

摘要: 繁殖力和卵径是鱼类繁殖策略的重要指标,银鮡主要分布于中国中部和南部地区,对生境的适应能力强,然而在湘江流域尚未开展银鮡繁殖力、卵径与生物学指标相关关系的研究。本研究于2023-05—2023-06在湘江共采集65尾性成熟雌性银鮡个体,分析其个体繁殖力与卵径。结果表明,银鮡的体长和体重范围分别为60.52~142.23 mm和5.30~62.10 g,性成熟系数范围为5.46%~51.00%,年龄范围为1~3龄。个体绝对繁殖力、体长相对繁殖力、体重相对繁殖力以及成熟卵径的平均值分别为(11 160±7 910)粒、(100.29±62.37)粒/mm、(583.87±372.06)粒/g、(0.91±0.07) mm。个体绝对繁殖力随着年龄的增大而增大,体重相对繁殖力随着年龄的增大而减小,体长相对繁殖力随年龄变化相对稳定。个体绝对繁殖力和体长相对繁殖力均随着体长、体重、卵巢重的增大而增大,体重相对繁殖力和卵径在不同的体长范围呈现不同的增长率。与长江、嘉陵江和汉江的种群相比,湘江种群个体绝对繁殖力最高,其次为嘉陵江种群,长江下游种群个体绝对繁殖力最低;嘉陵江种群卵径最大,其次为汉江种群,湘江种群卵径最小。研究发现,银鮡个体繁殖力和卵径主要与生境类型相关,湘江的缓静水生境有利于银鮡生长和繁殖。

关键词: 银鮡;繁殖力;卵径;湘江

中图分类号: S932.4

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2025)02-0174-11

Individual fecundity and egg diameter characteristics of *Squalidus argentatus* in Xiangjiang River**Yang Zhengfei, Gao Yiyang, Hu Lingling, Xiang Jianguo, Li Deliang*, Huang Yanfei***

(Fisheries College, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China)

Abstract: Fecundity and egg diameter are important indicators of fish reproductive strategies. *Squalidus argentatus* is mainly distributed in central and southern China and has a strong adaptive ability to the habitat. However, no published study has been carried out in Xiangjiang River basin on the correlation between fecundity and egg diameter of *S. argentatus* and their biological indicators. A total of 65 sexually mature females were collected from Xiangjiang River in May and June 2023 to analyze individual fecundity and egg diameter. The results showed that the body length and body weight of *S. argentatus* ranged from 60.52 to 142.23 mm and 5.30 to 62.10 g, respectively. Gonadosomatic index ranged from 5.46% to 51.00%, and age ranged from 1 to 3 years. The mean values of absolute individual fecundity, relative fecundity for body length, relative fecundity for body weight, and mature egg diameter were (11 160±7 910) eggs, (100.29±62.37) eggs/mm, (583.87±372.06) eggs/g, and (0.91±0.07) mm, respectively. Absolute fecundity increased with

收稿日期: 2024-10-22 修回日期: 2025-03-02 接受日期: 2025-03-13

作者简介: 杨政飞(1998-),男,硕士生,主要从事鱼类生态学, E-mail: 18285607563@163.com

* 通讯联系人: 李德亮(1980-),男,博士,教授,研究方向为渔业资源与环境, E-mail: lidl@hunau.edu.cn; 黄艳飞(1981-),女,博士,副教授,研究方向为鱼类生态学, E-mail: hyf1221@163.com

基金项目: 国家自然科学基金(31772832);国家重点研发计划(2023YFD2400902);湖南省现代农业(水产)产业技术体系项目(HARS-07);湖南省研究生科研创新项目(CX20230720)

引用格式: 杨政飞,高易阳,胡玲玲,等. 湘江银鮡个体繁殖力与卵径特征的研究[J]. 生物资源, 2025, 47(2): 174-184.

Yang Zhengfei, Gao Yiyang, Hu Lingling, et al. Individual fecundity and egg diameter characteristics of *Squalidus argentatus* in Xiangjiang River [J]. Biotic Resources, 2025, 47(2): 174-184.

age, relative fecundity for body weight decreased with age. Relative fecundity for body length remained relatively stable across age groups. Both absolute individual fecundity and relative fecundity for body length increased with body length, body weight and ovary weight. However, relative fecundity for body weight and egg diameter showed different rates of increase in different body length ranges. Compared with the populations in the Yangtze River, Jialing River and Hanjiang River, the population in Xiangjiang River had the highest absolute individual fecundity, followed by the population in Jialing River, while the population in the lower reaches of the Yangtze River had the lowest absolute individual fecundity. The population in Jialing River had the largest egg diameter, followed by the population in Hanjiang River, while the population in Xiangjiang River had the smallest egg diameter. It has been found that the individual fecundity and egg diameter of *S. argentatus* are mainly related to habitat type, and the slow and still water habitat of Xiangjiang River is conducive to the growth and reproduction of *S. argentatus*.

Key words: *Squalidus argentatus*; fecundity; egg diameter; Xiangjiang River

0 引言

繁殖力和卵径是鱼类繁殖策略的重要组成部分,也是判断其生活史策略的重要依据^[1]。研究鱼类繁殖力和卵径是了解种群和准确评估种群动态的重要基础^[1-3]。鱼类繁殖力是个体繁殖潜能的体现,代表着种群的生殖力,其受到遗传特征、外部环境、自身营养的影响,通常随着体长、体重和年龄而发生改变,不同纬度、不同生境类型和同一河流不同江段的同一物种,其种群的繁殖力和卵径可能存在差异^[4-5]。鱼类的卵径大小与后代初孵仔鱼体长相关^[1]。鱼类卵径大小与性腺发育相关,是判断产卵类型的重要依据^[6]。

银鮡(*Squalidus argentatus*)隶属鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae)、鮡亚科(Gobioninae)、银鮡属(*Squalidus*),广泛分布于中国除西北高原部分地区外的各主要水系^[7],主要分布于中国中部和南部地区,是长江干流及支流如赤水河、赣江等的优势种类^[8-13],也是珠江水系中西江中游、柳江支流、北江支流的优势种类^[14-16]。银鮡是一种小型鱼类,目前已知最大寿命为6龄^[17],最大个体15.6 cm^[18],1龄就可达到性成熟,属于一次产卵类型^[19],繁殖期为5月—8月^[11]。银鮡喜栖息于静水或缓流水的中下层^[20],对生境的适应能力很强,常在建有电站的河流和江段形成优势种群。银鮡的繁殖特征如繁殖力、卵径等已在长江干流、汉江中游有报道^[11,17,19,21],但在湘江流域尚未开展银鮡繁殖力、卵径与生物学指标相关关系的研究。

湘江是长江中游的重要支流之一,是洞庭湖的最大支流。湘江渔业资源丰富,历史记录鱼类种类达147种,经济鱼类有40多种,四大家鱼在湘江的产量很大,湘江的鱼类对洞庭湖渔业资源具有重要的补充作用^[22]。在湘江干流已建立九级梯级电站,导致喜栖息于流水的鱼类和产漂流性卵的四大家鱼的

资源量显著下降,银鮡在湘江渔获物中的占比越来越高,成为湘江干流的优势种类。2017—2018年,湘江衡阳段银鮡数量占渔获物的41.75%^[23];2022—2023年的渔业资源调查显示,在湘江中下游的4次调查中,银鮡在渔获物中的出现率为85.7%;在湘江中下游的渔获物中,其在湘江中游的个体占比为27.47%,在湘江下游的个体占比为16.11%(2023年湘江渔业资源调查数据)。自2020年起,整个长江流域进行了“十年禁渔”,为了评估禁渔效果,自2022年起每年在湘江进行渔业资源调查,不仅调查渔业资源的群落组成,还要分析重要鱼类的种群结构和生物学特征。

为了解湘江银鮡的种群特征,评估鱼类种群动态,本文分析湘江银鮡的繁殖力和卵径,并建立它们与生物学特性的关系,旨在丰富其繁殖生物学内容,为银鮡资源可持续利用和湘江渔业资源保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

湘江位于湖南省的南部,干流全长856 km,发源于湖南省永州市蓝山县,河源名为潇水,潇水在永州市和桂河汇合后即为湘江^[24-25]。潇水为湘江上游,湘江中游为永州萍岛至衡阳市,衡阳以下至长沙乔口镇为下游。湘江属亚热带季风气候,年径流量为 $713 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[24-26]。目前,湘江中下游建立了8个电站,其中,中游有5个电站,下游有3个电站。本研究在湘江干流上游到下游依次选取4个采样点,分别是永州段(26.549 7°N, 112.460 6°E)、常宁段(26.235 8°N, 111.615 8°E)、涑口段(27.604 5°N, 113.111 8°E)、长沙段(28.332 8°N, 112.901 2°E)(见图1)。其中,永州段和常宁段位于湘江中游,永州段位于潇湘水利枢纽上游,是潇水和桂河的汇合处,属流水生境;常宁段位于近尾洲水利枢纽和土谷

塘航电枢纽之间,两枢纽相距较近,属静水生境;涪口段和长沙段位于湘江下游,涪口段采样点位于株洲航电枢纽坝下,洪水季节属于流水生境,其他季节为缓静水区,长沙段位于长沙综合枢纽的库区,属于静水生境。由于长江十年禁渔政策,湘江渔业资源调查主要在5月—6月和10月—11月进行,银鮡性成熟个体都是来自2023年5月—6月的渔获物。按照相关政策,采样工具为三层定置刺网(网长50 m,网高1 m,网目规格分别为2 cm、5 cm)和地笼(网长10 m,网高0.4 m,网宽0.4 m,网目规格为1.5 cm),在各采样点布置三层定置刺网(网目2 cm、5 cm)和地笼(网目1.5 cm)各一个,采样时受天气影响,各采样点刺网放网时长为(10 h/d)×2 d,地笼放网时长为(16 h/d)×2 d。2024年,在4个采样点共采集65尾性成熟雌性银鮡,其中,永州段和常宁段分别有21尾和11尾,下游涪口段有13尾,长沙段有20尾。

在各采样点完成采样后,在鲜活状态下,用游标卡尺和电子天平测量银鮡体长(L ,0.01 mm)、体重(W ,0.01 g)。随后进行解剖,用目测分级法判断卵巢发育分期,银鮡雌性性成熟个体的卵巢为Ⅳ期和Ⅴ期(Ⅳ期:卵巢呈浅黄褐色,整个卵巢占据腹腔的大部分,卵巢壁薄而透明,肉眼可辨大量浅黄略带褐色半透明卵粒和成熟的透明卵粒;Ⅴ期:卵巢体积更加膨大,黄色,松软而富弹性,卵粒透明游离,从鱼头部提起鱼体,成熟卵粒可从泄殖腔自然流出),称卵

巢的重量(W_o ,0.01 g)和去除内脏后的空壳重(W_n ,0.01g)。在卵巢为Ⅳ和Ⅴ期的雌性个体中,从卵巢前、中、后段分别取0.1 g重的卵巢样品(W_n ,0.01 g),用10% 甲醛溶液于5 ml离心管中固定保存,带回实验室进行分析。取左右微耳石,自然风干后放入2 ml离心管内保存,并贴上编号标签,以便进行年龄鉴定。

在室内,将固定了的卵粒在明美数码成像系统下拍照并进行测量,首先计数成熟卵子,然后随机测量100粒成熟卵子的卵径(0.01 mm),并计算出每尾银鮡的平均卵径(L_1 ,0.01 mm)。将微耳石用透明指甲油固定于载玻片上,在湿砂纸上(1 000#~1 500#)打磨,当耳石中心核清晰时,用抛光纸抛光,将耳石翻面,继续打磨、抛光,直至耳石核心区清晰为止。将打磨好的微耳石放在显微镜下计数和测量,以耳石上的1个明带和1个暗带为一个生长年带,耳石上明带和暗带的数量就是鱼类的年龄。

1.2 数据分析

计算性成熟系数(I)、成熟个体的绝对繁殖力(F_A)和个体的相对繁殖力,个体相对繁殖力包括体长相对繁殖力(F_L)和体重相对繁殖力(F_w),每个指标的计算公式如下:

$$I = (W_o / W_n) \times 100\% \quad (1)$$

式中, I 为性成熟系数; W_o 为卵巢重(单位:g); W_n 为空壳重(单位:g)。

$$F_A = (W_o / W_n) \times C_n \quad (2)$$

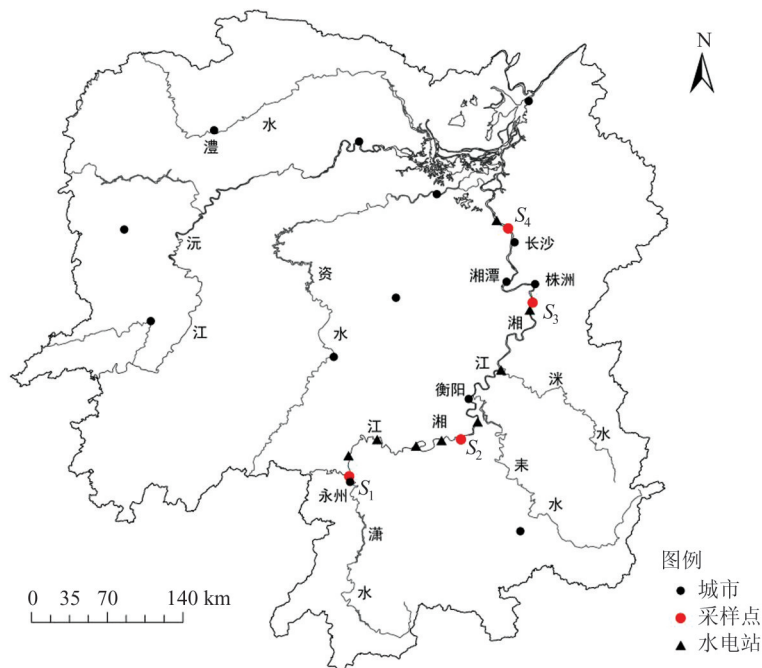


图1 银鮡采样点

Figure 1 Sampling sites for *Squalidus argentatus*

式中, F_A 为个体绝对繁殖力(单位:粒); C_n 为第 n 个样品的卵粒数(单位:粒); W_n 为第 n 个样品卵巢的重量(单位:g)。

$$F_L = F_A / L \quad (3)$$

式中, F_L 为体长相对繁殖力(单位:粒/mm); L 为体长(单位:mm)。

$$F_W = F_A / W_N \quad (4)$$

式中, F_W 为体重相对繁殖力(单位:粒/g); W_N 为空壳重(单位:g)。

建立个体繁殖力与体长、体重等的关系,利用线性函数模型($y = ax + b$)、二次函数模型($y = ax^2 + bx + c$)、幂函数模型($y = ax^b$)、指数函数模型($y = a^x$)、对数函数模型($y = \log_a x$)共5种函数模型进行拟合,选取决定系数(R^2)最大者为最佳拟合方程,并作拟合曲线图。随后建立个体繁殖力与生物学指标间的逐步回归方程。

用 T 检验检验平均卵径(L_1)与个体绝对繁殖力、体长、体重是否有显著性关系($p < 0.05$),有显著关系的用函数模型拟合,以决定系数(R^2)为依据选出最佳拟合方程。计算繁殖力和卵径等的平均值和标准差,用 IBM SPSS Statistics 26 和 Origin 2022 分别进行统计分析和图形处理,所有显著结果均以 $p < 0.05$ 作为显著水平。

2 结果与分析

2.1 银鮡生物学指标

本研究共采集到 65 尾性成熟的雌性银鮡,体长范围为 60.52~142.23 mm,平均值为 (107.37 ± 21.58) mm;体重范围为 5.30~62.10 g,平均值为 (28.79 ± 16.11) g,卵巢重范围为 (0.40~11.22) g,平均值为 (4.64 ± 3.62) g;性成熟系数范围为 5.46%~51.00%,平均值为 (22.21 ± 12.11)%,大部分个体性成熟系数在 5%~25% 之间,共计 39 尾(见图 2),占比为 60%。银鮡年龄范围为 1~3 龄,共计 3 个年龄组,1~3 龄组分别有 40、15、10 尾,分别占总群体的 61.54%、23.08%、15.38%。

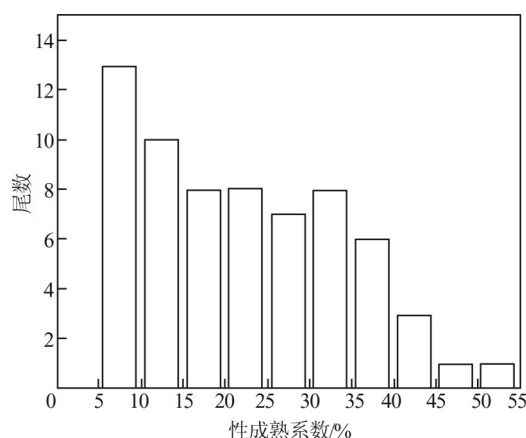


图 2 湘江银鮡性成熟系数频率分布
Figure 2 Frequency distribution of sexual maturity coefficients of *S. argentatus* in Xiangjiang River

2.2 银鮡个体繁殖力

湘江银鮡的个体绝对繁殖力、体长相对繁殖力和体重相对繁殖力见表 1 和图 3,可以看出,65 尾银鮡个体绝对繁殖力范围为 1 331~33 976 粒,平均值为 (11 160 ± 7 910) 粒,优势组为 0~10 000 粒,共有 34 尾,占比为 52.31%;体长相对繁殖力范围为 (15.44~249.63) 粒/mm,平均值为 (100.29 ± 62.37) 粒/mm,优势组为 0~150 粒/mm,共 52 尾,占比为 80.00%;体重相对繁殖力范围为 78.98~1 642.34 粒/g,平均值为 (583.87 ± 372.06) 粒/g,优势组为 200~1 000 粒/g,共 48 尾,占比为 73.85%。个体绝对繁殖力随着年龄增加而增加,体长相对繁殖力 1 龄个体较低,但 3 个年龄段相对稳定,体重相对繁殖力从 1 龄至 3 龄逐渐下降。

幂函数和二次函数方程是拟合湘江银鮡个体繁殖力与体长、体重、卵巢重关系的最佳方程(见表 2)。个体绝对繁殖力与体长、体重、卵巢重为幂函数关系,随着体长、体重、卵巢重的增加而增加(见图 4)。体长相对繁殖力与体长、体重、卵巢重为幂函数关系,随着体长、体重、卵巢重的增加而增加(见图 5)。体重相对繁殖力与体长为二次函数关系,体重相对繁殖力在体长为 94.68 mm 时达到最高,此后下降;体重相对繁殖力与卵巢重为幂函数关系,随

表 1 湘江银鮡个体繁殖力
Table 1 Individual fecundity of *S. argentatus* in Xiangjiang River

年龄	数量	个体绝对繁殖力/粒		体长相对繁殖力/(粒·mm ⁻¹)		体重相对繁殖力/(粒·g ⁻¹)	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
1	40	1 331~28 215	9 214 ± 6 499	15.44~229.63	92.57 ± 57.48	78.98~1 642.34	672.33 ± 394.35
2	15	4 401~31 253	14 037 ± 9 552	37.22~240.10	113.23 ± 72.54	153.84~1 094.05	500.13 ± 308.67
3	10	5 720~33 976	14 628 ± 8 718	43.30~249.63	111.78 ± 66.86	154.96~830.93	351.26 ± 211.46
总数	65	1 331~33 976	11 160 ± 7 910	15.44~249.63	100.29 ± 62.37	78.98~1 642.34	583.87 ± 372.06

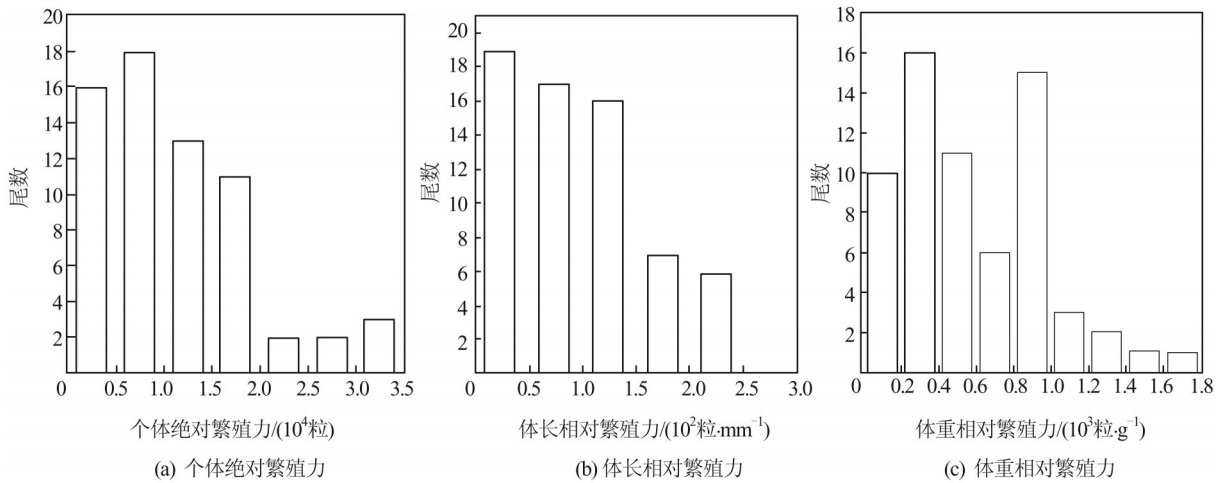


图3 湘江银鮡个体绝对繁殖力、体长相对繁殖力和体重相对繁殖力的频率分布

Figure 3 Frequency distribution of absolute individual fecundity, relative fecundity for body length and relative fecundity for body weight of *S. argentatus* in Xiangjiang River

卵巢重的增大而增大(见图6)。

利用多元逐步回归分析来反映体长、体重、卵巢重对个体繁殖力的综合影响,得到3个最佳多元逐步回归方程(见表3)。其中,个体绝对繁殖力选用了体长、体重、卵巢重3个生物学指标来建立方程,体长相对繁殖力选用体重和卵巢重2个生物学指标建立方程,体重相对繁殖力选用体长和卵巢重2个

生物学指标建立方程。

2.3 卵径分布

本研究共测量65尾银鮡的7509粒成熟卵径,卵径范围为0.70~1.10 mm,平均值±标准差为(0.91±0.07) mm;65尾银鮡个体的平均卵径范围为0.73~1.04 mm,平均值±标准差为(0.91±0.06) mm。成熟卵径的频率分布峰值为0.85~

表2 湘江银鮡个体繁殖力与生物学指标的关系式

Table 2 Equations of individual fecundity and biological indexes of *S. argentatus* in Xiangjiang River

指标	个体绝对繁殖力(F_A)	体长相对繁殖力(F_L)	体重相对繁殖力(F_W)
体长(L)	$F_A=4.583L^{1.664}$ ($R^2=0.227, p<0.01$)	$F_L=1.767L^{0.865}$ ($R^2=0.089, 0.01<p<0.05$)	$F_W=-0.237L^2+44.879L-1388.261$ ($R^2=0.152, p<0.01$)
体重(W)	$F_A=1006.447W^{0.726}$ ($R^2=0.351, p<0.01$)	$F_L=25.069W^{0.425}$ ($R^2=0.174, p<0.01$)	$p>0.05$
卵巢重(W_o)	$F_A=3161.543W_o^{0.849}$ ($R^2=0.910, p<0.01$)	$F_L=37.942W_o^{0.667}$ ($R^2=0.769, p<0.01$)	$F_W=396.228W_o^{0.295}$ ($R^2=0.157, p<0.01$)

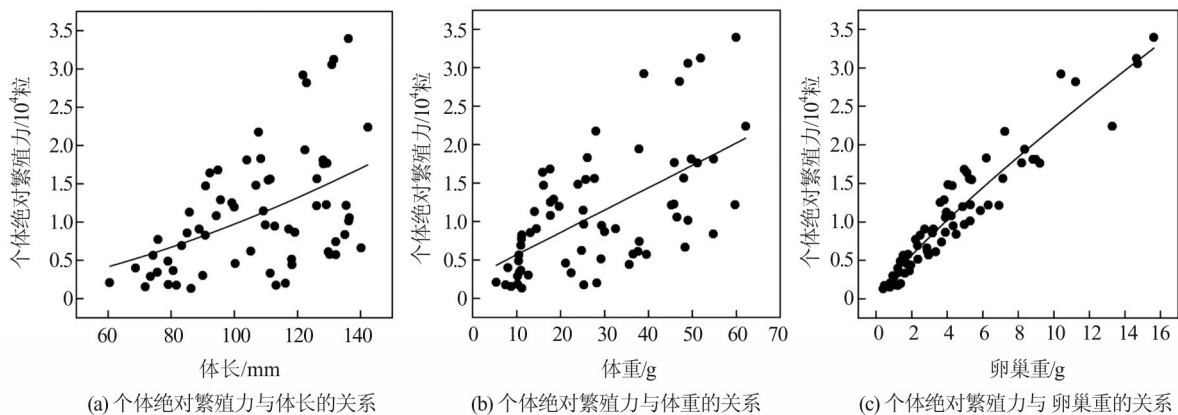


图4 湘江银鮡个体绝对繁殖力与体长、体重和卵巢重的关系

Figure 4 Relationship between absolute individual fecundity and body length, body weight and ovary weight of *S. argentatus* in Xiangjiang River

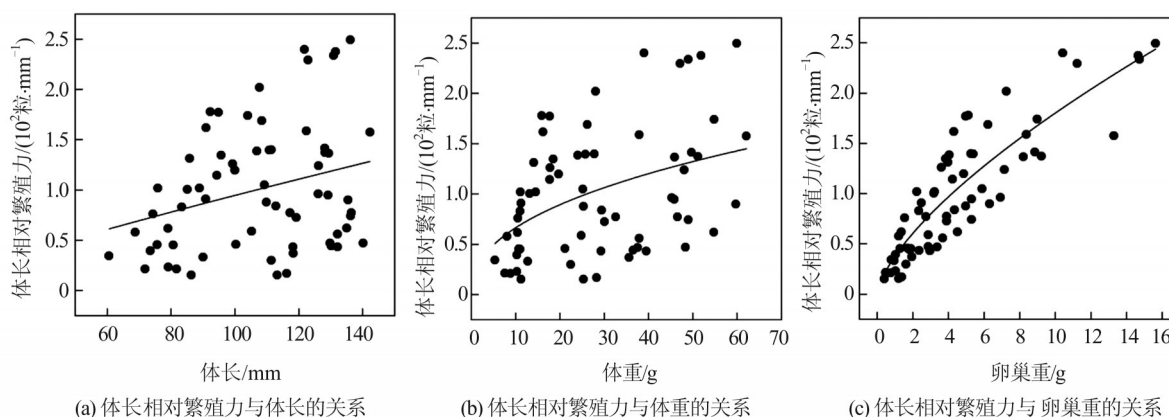


图5 湘江银鮡体长相对繁殖力与体长、体重和卵巢重的关系

Figure 5 Relationship between relative fecundity for body length and body length, body weight and ovary weight of *S. argentatus* in Xiangjiang River

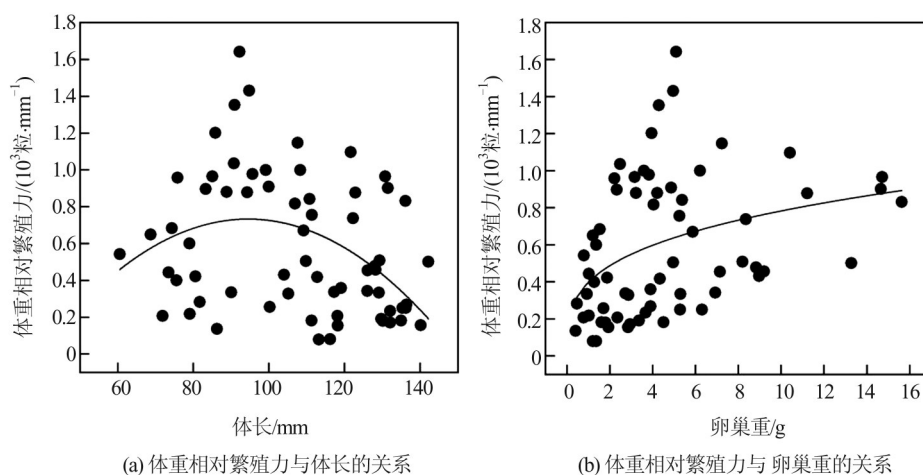


图6 湘江银鮡体重相对繁殖力与体长和卵巢重的关系

Figure 6 Relationship between relative fecundity for body weight and body length and ovary weight of *S. argentatus* in Xiangjiang River

表3 湘江银鮡个体繁殖力最佳逐步回归方程

Table 3 Optimal stepwise regression equations for individual fecundity of *S. argentatus* in Xiangjiang River

个体繁殖力	最佳逐步回归方程	R^2
个体绝对繁殖力(F_A)	$F_A = 68.702L - 203.382W + 2491.526W_o - 1913.057$	0.930
体长相对繁殖力(F_L)	$F_L = -1.806W + 20.708W_o + 56.266$	0.846
体重相对繁殖力(F_w)	$F_w = -12.807L + 79.936W_o + 1588.280$	0.472

0.95 mm, 共计 3 786 粒, 占比为 50.42%; 个体的平均卵径频率分布峰值为 0.85~1.00 mm, 共 53 尾, 占比为 81.54% (见图 7)。

卵径与个体绝对繁殖力有显著关系, 最佳拟合方程为 $F_A = 15642.615L_1^{3.848}$ ($R^2 = 0.117, n = 65, p < 0.01$), 个体绝对繁殖力随卵径的增加而增大 (见图 8)。

卵径与体长为二次函数关系: $L_1 = 2.627 \times 10^{-5}L^2 - 0.004L + 1.015, n = 65, R^2 = 0.420, p < 0.01$; 卵径在体长为 76.13 mm 时最低, 此后随着体

长的增加而增大。卵径与体重为线性函数关系: $L_1 = 2.390 \times 10^{-3}W + 0.843, n = 65, R^2 = 0.473, p < 0.01$; 卵径随体重的增大而增大 (见图 9)。

3 讨论

3.1 银鮡个体繁殖力和卵径的比较

自梯级电站建立在湘江以来, 本次研究首次获得湘江干流银鮡个体绝对繁殖力、相对繁殖力的基本数据, 并分析繁殖力和体长、体重、卵巢重的关系, 同时测量了银鮡成熟卵粒的大小, 建立了卵径与个

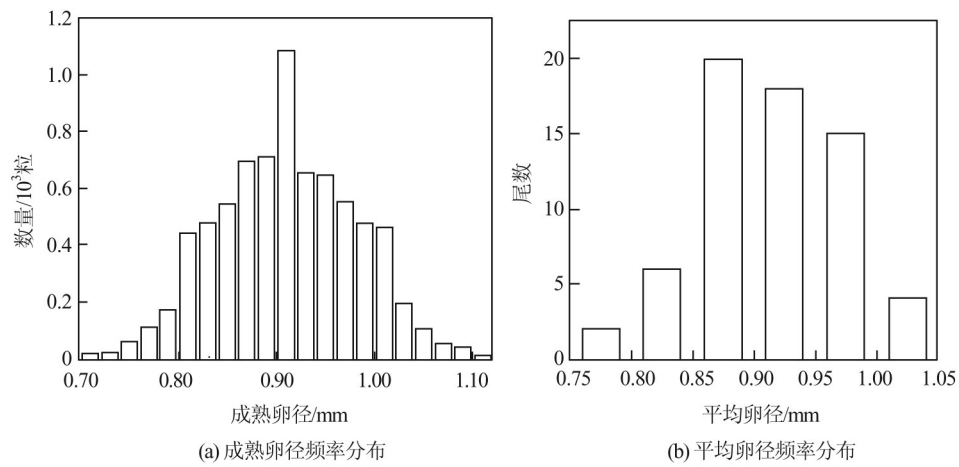


图7 湘江银鮡成熟卵径和平均卵径的频率分布

Figure 7 Frequency distribution of diameters of mature eggs and mean egg diameters for *S. argentatus* in Xiangjiang River

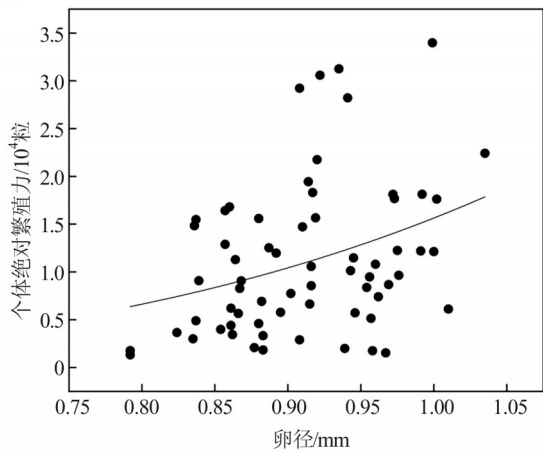


图8 湘江银鮡个体绝对繁殖力与卵径的关系

Figure 8 Relationship between absolute individual fecundity and egg diameters of *S. argentatus* in Xiangjiang River

体绝对繁殖力、体长、体重的关系式,发现个体绝对繁殖力随着年龄的增大而增大,体长相对繁殖力相

对稳定,体重相对繁殖力随年龄的增加而下降。

个体绝对繁殖力代表后代数量,而卵径大小决定着初孵仔鱼的存活率^[1]。受环境影响,鱼类的繁殖力和卵径随纬度、生境、江段发生改变^[27-28]。鱼类繁殖力和卵径的关系比较复杂:从个体水平出发,亲鱼营养条件越好,投入繁殖中的能量越多,繁殖力越高,卵径也越大;从种群角度分析,鱼类的繁殖力和卵径与亲鱼所处的环境条件和后代的生长环境相关^[27,29],一般在环境条件优良的情况下,鱼类的个体绝对繁殖力高,而在环境条件较差的生境里,鱼类的卵径较大,以提高后代的繁殖力^[2,3,28]。比较湘江和其他河流银鮡的绝对繁殖力和卵径(见表4),发现在长江水系中,湘江、嘉陵江和汉江等支流种群的个体绝对繁殖力高于长江干流长江天鹅洲故道和长江芜湖段种群。在长江支流间,湘江和嘉陵江种群的个体绝对繁殖力高于汉江种群,且湘江种群的体长相对繁殖力略大于嘉陵江种群,体重相对繁殖力高

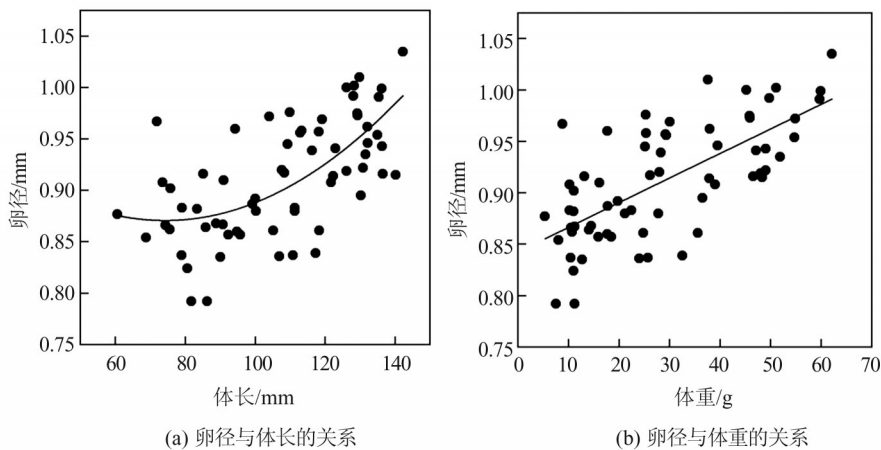


图9 湘江干流银鮡卵径与体长和体重的关系

Figure 9 Relationship between egg diameters and body length and body weight of *S. argentatus* in Xiangjiang River

表4 不同河流水域银鮡个体繁殖力比较

Table 4 Comparison of individual fecundity of *S. argentatus* in different river waters

采样地点	尾数	个体绝对繁殖力/粒		体长相对繁殖力/(粒·mm ⁻¹)		体重相对繁殖力/(粒·g ⁻¹)		卵径/mm		文献来源
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	
汉江中游	895	1 732~32 284	4 796			233.00~477.00	373.00	0.78~1.21	0.98	[11]
嘉陵江	23	2 265~21 320	9 658	26.65~191.71	87.53	155.80~689.98	347.50	1.29~1.56		[21]
长江天鹅洲故道	86	850~20 268	5 760							[17]
长江芜湖段	42	326~10 450	3 752							[19]
湘江	65	1 331~33 976	11 160	15.44~249.63	100.29	78.98~1 642.34	583.87	0.70~1.10		本研究

注:纬度由高到低为汉江中游、嘉陵江、长江天鹅洲故道、长江芜湖段、湘江。

Note: The latitude from high to low is the Middle Reaches of Hanjiang River, Jialing River, Tian-e-zhou Oxbow of the Yangtze River, Wuhu section of the Yangtze River, Xiangjiang River.

于汉江和嘉陵江的种群。比较银鮡种群成熟卵的卵径,嘉陵江种群的卵径最大,其次是汉江的种群,湘江种群的卵径较小。湘江种群个体绝对繁殖力最高、卵径较小,说明湘江的生境有利于银鮡的生长和繁殖,银鮡通过提高繁殖力来增大种群。嘉陵江银鮡的绝对繁殖力很高,卵径最大,说明嘉陵江种群具有很高的繁殖潜能,生境条件很好。嘉陵江和湘江的梯级电站较多,分别有十六级梯级和九级梯级,这些电站使嘉陵江和湘江大部分江段变成了缓静水生境,流水性鱼类减少,营养物质积累丰富,环境条件稳定,银鮡通过提高繁殖力来增加种群,湘江银鮡种群处于优势地位。汉江中游梯级电站较少,存在较多自然水流江段,流水生境环境多变,银鮡繁殖力较低,卵径较大,银鮡通过增大卵径来提高存活率^[11,21]。长江干流中下游的环境条件较复杂、变化较大,同时干流有较多大型鱼类,银鮡的生长面临较大威胁,因此,在长江天鹅洲故道、长江芜湖段等干流,其种群的个体绝对繁殖力低于湘江、嘉陵江和汉江等支流的种群,银鮡在长江干流中游和下游渔获物中的占比较低^[30-31]。

3.2 银鮡个体繁殖力和卵径与生物学指标的关系

鱼类个体繁殖力和卵径不仅受自身遗传因子和环境因素的影响,还与年龄和其他生物学指标密切相关^[32]。个体绝对繁殖力和体长相对繁殖力与体长、体重、卵巢重的关系式一般为幂函数关系和二次函数关系^[32-34];体重相对繁殖力与体长、体重一般无显著关系^[34-35],与卵巢重一般为幂函数关系和二次函数关系^[33,36-37]。本研究发现,湘江银鮡个体绝对繁殖力随着年龄上升,与体长、体重为幂函数关系,说明个体绝对繁殖力随着个体增大而增加;体长相对繁殖力在各个年龄组相似,但是随着体长和体重增加;体重相对繁殖力随年龄增加而下降,随着体长增加先增加后下降。这些趋势说明银鮡的繁殖力直至

大龄都一直较高,没有降低趋势,这可能与银鮡寿命比较短有关,如寿命较长的热裸裂尻鱼(*Schizopygopsis thermalis* Herzenstein),其性成熟年龄较大,个体绝对繁殖力随年龄增加先增大后减小,随体长的增大而增大,随体重增加先增大后减小^[38]。

4 结 论

通过对湘江银鮡个体繁殖力和卵径特性的研究,本研究得出以下结论:(1)湘江银鮡个体繁殖力较高,个体绝对繁殖力随年龄增大呈上升趋势,体重相对繁殖力则呈现下降趋势,体长相对繁殖力相对稳定,可能与银鮡寿命较短有关;(2)与嘉陵江、汉江中游、天鹅洲故道、长江芜湖段的银鮡相比,湘江银鮡个体绝对繁殖力高,卵径较小,说明湘江生境有利于银鮡生长;(3)为提升种群竞争力,银鮡会选择提高繁殖力来增大竞争优势,成为湘江中下游的优势种类。

参考文献

- [1] 黄艳飞,彭林平,陈丽媛,等. 湖南沅水下游鳖繁殖期内繁殖力和卵径的变化研究[J]. 水生生物学报, 2021, 45(1): 97-105.
Huang Y F, Peng L P, Chen L Y, et al. Characteristics of fecundity and oocyte diameter of *Hemiculter leucisculus* during the spawning season in the lower reaches of the Yuanshui River in Hunan Province[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(1): 97-105.
- [2] Costa E F S, Dias J F, Murua H. Reproductive strategy and fecundity of the keystone species *Paralonchurus brasiliensis* (Teleostei, Sciaenidae): an image processing techniques application [J]. Environmental Biology of Fishes, 2015, 98(10): 2093-2108.
- [3] Costa E F S, Dias J F, Murua H. Fecundity of fishes inhabiting coastal and estuarine environments in the Southwest Atlantic Ocean [J]. Marine Biology Research, 2016, 12(3): 304-315.

- [4] 曾燊,熊小琴. 鮡亚科鱼类繁殖生态学研究进展[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 111-116.
Zeng Y, Xiong X Q. Research progress on reproductive ecology of the gudgeons[J]. Journal of China West Normal University (Natural Sciences), 2018, 39(2): 111-116.
- [5] 金丽. 鱼类的繁殖习性和繁殖力[J]. 生物学教学, 2004, 29(7): 5-6.
Jin L. Reproductive habits and fecundity of fish [J]. Biology Teaching, 2004, 29(7): 5-6.
- [6] Tonkin Z, King A J, Robertson A. Validation of daily increment formation and the effects of different temperatures and feeding regimes on short-term otolith growth in Australian smelt *Retropinna semoni*[J]. Ecology of Freshwater Fish, 2008, 17(2): 312-317.
- [7] 乐佩琦. 中国银鮡属鱼类分类的整理订正[J]. 水生生物学报, 1995, 19(1): 89-91.
Le P Q. Revision of the classification on the cyprinid fishes of the genus *Squalidus* from China[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1995, 19(1): 89-91.
- [8] 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.
- [9] 赵帅. 赣江鱼类群落构建机制和中游鱼类生物多样性研究[D]. 南昌:南昌大学, 2022.
Zhao S. Mechanisms of fish community construction and midstream fish biodiversity in Ganjiang River[D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.
- [10] 肖莹洁,张洁,徐鹏,等. 赣江中游鱼类群落结构及多样性[J]. 江西科学, 2024, 42(3): 490-497.
Xiao Y J, Zhang J, Xu P, et al. Community structure and diversity of fish in the middle reaches of Ganjiang River[J]. Jiangxi Science, 2024, 42(3): 490-497.
- [11] 李修峰. 汉江中游银鮡的繁殖生物学和早期发育研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2008.
Li X F. The reproductive bionomics and early development of *Squalidus argentatus* in the middle reaches of the Hanjiang River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008.
- [12] 王银平,匡箴,蔺丹清,等. 长江安庆新洲水域鱼类群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2020, 40(7): 2417-2426.
Wang Y P, Kuang Z, Lin D Q, et al. Community structure and species diversity of fish around the Xinzhou shoal in the Anqing section of the Yangtze River, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(7): 2417-2426.
- [13] 孟秋,高雷,汪登强,等. 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[J]. 中国水产科学, 2020, 27(7): 824-833.
Meng Q, Gao L, Wang D Q, et al. The early-stage fish resources and effects of ecological regulation on fish reproduction at the Jianli section of the Yangtze River [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(7): 824-833.
- [14] 冯杰. 西江来宾段鱼类群落结构及卷口鱼资源现状研究[D]. 桂林:桂林理工大学, 2023.
Feng J. Research on fish community structure and resource status of *Ptychidio Jordani* in the Laibin section of the Xijiang River[D]. Guilin: Guilin University of technology, 2023.
- [15] 朱书礼,陈蔚涛,李新辉,等. 柳江鱼类群落结构及多样性研究[J]. 水生生物学报, 2022, 46(3): 375-390.
Zhu S L, Chen W T, Li X H, et al. Pattern of fish assemblage structure and diversity in Liujiang River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46(3): 375-390.
- [16] 高天扬,谢迪,彭宁东,等. 北江鱼类群落结构多样性及其演替趋势[J]. 水生生态学杂志, 2018, 39(4): 54-62.
Gao T Y, Xie D, Peng N D, et al. Fish community structure diversity and succession in the Beijiang River [J]. Journal of Hydroecology, 2018, 39(4): 54-62.
- [17] 王海生. 长江天鹅洲故道银鮡的生物学研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2013.
Wang H S. The biology of silver gudgeon *Squalidus argentatus* (Sauvage and Dabry de Thiersant, 1874) in Tian-e-zhou Oxbow [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [18] 张缓缓. 嘉陵江中游蓬安段鱼类群落结构及重要经济鱼类种群生物学研究[D]. 南充:西华师范大学, 2016.
Zhang H H. The study on community structure and population biology research of the main economic fish for the middle reaches of Jialing River Peng'an [D]. Nanchong: China West Normal University, 2016.
- [19] 齐嘉璐. 长江芜湖段银鮡的年龄、生长、繁殖的研究[D]. 芜湖:安徽师范大学, 2019.
Qi J L. Age, growth, reproduction of *Squalidus argentatus* in the Wuhu section of the Yangtze River [D]. Wuhu: Anhui Normal University, 2019.
- [20] 曾国清,杨鑫,李鸿,等. 沅水银鮡年龄与生长的研究[J]. 淡水渔业, 2017, 47(6): 40-46.
Zeng G Q, Yang X, Li H, et al. Age and growth of

- Squalidus argentatus* in Yuanjiang River[J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(6): 40-46.
- [21] 胡月. 嘉陵江6种鮡亚科(Gobioninae)鱼类的两性异形和个体生殖力[D]. 南充:西华师范大学, 2017.
Hu Y. Sexual dimorphism and female individual fecundity of six species of Gobioninae in the Jialing River, Southwest China[D]. Nanchong: China West Normal University, 2017.
- [22] 丁德明, 廖伏初, 李鸿, 等. 湖南湘江渔业资源现状及保护对策[C]. 中国南方十六省(市、区)水产学会渔业学术论坛第二十六次学术交流大会, 重庆, 2010.
Ding D M, Liao F C, Li H, et al. Status of Hunan Xiangjiang River fishery resources and countermeasures for their protection [C]. Proceedings of the Twenty-sixth Academic Exchange Conference of the Fisheries Academic Forum of the Fisheries Society of Sixteen Provinces (Municipalities and Regions) in Southern China, Chongqing, 2010.
- [23] 高万超, 胡可, 顾庆福, 等. 湘江干流衡阳段与长株潭江段鱼类资源调查与保护对策[J]. 低碳世界, 2019, 9(7): 14-16.
Gao W C, Hu K, Gu Q F, et al. Investigation and protection countermeasures of fish resources in Hengyang section and Changsha-Zhuzhou-Xiangtan section of Xiangjiang River[J]. Low Carbon World, 2019, 9(7): 14-16.
- [24] 廖小红, 王维俊, 宋平, 等. 湘江流域径流特性分析[J]. 湖南水利水电, 2019(2): 46-48.
Liao X H, Wang W J, Song P, et al. Analysis of runoff characteristics in Xiangjiang River Basin[J]. Hunan Hydro & Power, 2019(2): 46-48.
- [25] 刘叶叶, 毛德华, 杨家亮, 等. 湘江流域水质特征及水污染经济损失估算[J]. 中国环境科学, 2019, 39(4): 1471-1477.
Liu Y Y, Mao D H, Yang J L, et al. Characteristics of water quality and estimation of economic loss from water pollution in Xiangjiang River Basin[J]. China Environmental Science, 2019, 39(4): 1471-1477.
- [26] 刘东征. 湘江流域水资源演变规律研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2007.
Liu D Z. The research on evolution law of water resource in Xiang River Basin[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2007.
- [27] Döring J, Hauss H, Haslob H. Spatial and seasonal variability in reproductive investment of Baltic sprat[J]. Fisheries Research, 2018, 204: 49-60.
- [28] 刘玉莹, 曾熹, 熊小琴, 等. 嘉陵江梯级水利工程开发下不同江段蛇鮡的繁殖生物学特性差异及适应[J]. 淡水渔业, 2019, 49(2): 3-8.
Liu Y Y, Zeng Y, Xiong X Q, et al. Difference and adaptation of reproductive biological characteristics of *Saurogobio dabryi* in Jialing River cascade water conservancy project [J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(2): 3-8.
- [29] Burton T, McKelvey S, Stewart D C, et al. Offspring investment in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*): relationships with smolt age and spawning condition [J]. Ecology of Freshwater Fish, 2013, 22(2): 317-321.
- [30] 龚江. 长江何王庙故道和天鹅洲故道鱼类群落结构比较研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
Gong J. The comparative study on fish community structure in He-wang-miao Oxbow and Tian-e-zhou Oxbow, Yangtze River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
- [31] 邓朝阳, 朱仁, 严云志. 长江芜湖江段鱼类多样性及其群落结构的时空格局[J]. 淡水渔业, 2013, 43(1): 28-36.
Deng Z Y, Zhu R, Yan Y Z. Spatial and temporal patterns of fish diversity and assemblage structures in the Wuhu section of the Yangtze River [J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(1): 28-36.
- [32] 李培伦, 王继隆, 鲁万桥, 等. 兴凯湖大银鱼个体繁殖力研究[J]. 湿地科学, 2020, 18(5): 525-531.
Li P L, Wang J L, Lu W Q, et al. Individual fecundity of *Protosalanx chinensis* in Xingkai Lake [J]. Wetland Science, 2020, 18(5): 525-531.
- [33] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 黑龙江乌苏里白鲑的个体繁殖力[J]. 中国水产科学, 2015, 22(6): 1234-1242.
Li P L, Liu W, Wang J L, et al. Fecundity of *Coregonus ussuriensis* in the Heilongjiang River, China [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(6): 1234-1242.
- [34] 李文康, 骆小年, 段友健, 等. 辽宁3个水系鸭绿沙塘鳢个体繁殖力比较研究[J]. 水产科学, 2024, 43(1): 22-31.
Li W K, Luo X N, Duan Y J, et al. Comparison of individual fecundity of Yalu River sleeper *Odontobutis yaluensis* in three water systems of Liaoning Province [J]. Fisheries Science, 2024, 43(1): 22-31.
- [35] 曾皓宇, 唐富江, 鲁万桥, 等. 嫩江下游大龙湖大银鱼个体繁殖力研究[J]. 湿地科学, 2023, 21(3): 449-455.
Zeng H Y, Tang F J, Lu W Q, et al. Study on individual fecundity of *Protosalanx chinensis* in Dalong Lake in the lower Nenjiang River [J]. Wetland Science, 2023, 21(3): 449-455.
- [36] 霍堂斌, 袁美云, 阿达可白克·可尔江, 等. 白斑狗鱼与黑斑狗鱼繁殖力的比较研究[J]. 大连海洋大学学报

- 报, 2010, 25(6): 511-517.
- Huo T B, Yuan M Y, Adakbek·kar, et al. The comparison of individual fecundity between northern pike *Esox lucius* and Amur pike *Esox reichrti*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(6): 511-517.
- [37] 张乐, 李皎, 丁悦秀, 等. 黄颡鱼个体繁殖力的研究[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(11): 164-167, 171.
- Zhang L, Li J, Ding Y X, et al. Study on individual fecundity of *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2012, 18 (11) : 164-167, 171.
- [38] 朱峰跃, 李钊, 王起, 等. 怒江源头地区那曲河热裂尻鱼繁殖生物学研究[J]. 水生态学杂志, 2024, 45(6): 145-151.
- Zhu F Y, Li Z, Wang Q, et al. Reproductive biology of *Schizopygopsis thermalis* Herzenstein from Naqu River, Nujiang River headwaters [J]. Journal of Hydroecology, 2024, 45(6): 145-151.