

doi: 10.7541/2018.124

金沙江中下游圆口铜鱼的繁殖生物学

杨志¹ 龚云¹ 朱迪¹ 潘磊² 董纯¹ 刘宏高¹ 陈小娟¹ 唐会元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, 武汉 430079;

2. 湖北大学资源环境学院, 区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 武汉 430062)

摘要: 根据2013—2014在皎平渡圆口铜鱼产卵场的定点亲鱼收集($n=206$)和2006—2014年在金沙江中下游金安桥至巧家干流江段的流动亲鱼采集($n=70$), 对圆口铜鱼的繁殖生物学进行了初步研究。定点亲鱼收集的结果显示: 圆口铜鱼雌性最小性成熟个体全长330 mm, 体质量441.0 g, 年龄4龄; 雄性最小性成熟个体全长352 mm, 体质量396.6 g, 年龄3龄; 50%个体达到性成熟的年龄和全长分别为雌性4.32龄 406 mm, 雄性4.44龄 412 mm; 繁殖群体雌雄性比为1.37:1, 繁殖群体中雌性年龄为4—7龄, 雄性年龄为3—7龄; 雌雄个体的性成熟系数平均值均以6龄个体最高, 分别为10.55%和3.45%; 平均卵径为0.16 cm, 卵径分布呈双峰型。定点和流动亲鱼收集的雌性性成熟个体的结果表明: 圆口铜鱼绝对繁殖力变动范围为4055—137900粒/尾, 平均值为22817粒/尾; 相对繁殖力变动范围为5—73粒/g, 平均值为20粒/g, 75.68%个体的绝对繁殖力在10000—30000粒/尾之间, 70.27%个体的相对繁殖力在15—20粒/g之间; 绝对繁殖力和相对繁殖力均随着体长和体质量的增加而增加, 其中全长、体质量与绝对繁殖力呈指数分布函数正相关, 而与相对繁殖力呈二次项函数正相关。研究结果可为长江流域圆口铜鱼资源的保护提供重要的基础数据支撑。

关键词: 圆口铜鱼; 繁殖群体; 性比; 性成熟系数; 绝对繁殖力; 相对繁殖力

中图分类号: S961.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2018)05-1010-09

繁殖作为鱼类生活史周期中的一个重要组成环节, 包括亲鱼的性腺发育、成熟、产卵或排卵, 到精卵结合孵出仔鱼等一系列过程^[1]。繁殖同生长、死亡等鱼类的其他生命环节相互联系, 保证了鱼类种群的世代延续^[1]。每种鱼类都有其生存环境相对应的繁殖策略。这些策略是在漫长的自然选择过程中形成的, 它保证鱼类种群在所生存的环境中有最大的适应性^[1-4]。而依赖于鱼类个体和种群的繁殖生物学特征, 则是这些繁殖策略实施的基础前提^[5]。研究鱼类的繁殖生物学特征, 不仅能够为自然种群的变动分析积累基础参数, 而且能够直接服务于渔业生产和保护实践, 对于自然水域鱼类全人工繁殖实现以及资源保护具有十分重要的意义^[1, 6, 7]。

圆口铜鱼 *Coreius guichenoti* (Sauvage & Dabry de Thiersant, 1874) 是一种主要分布在长江上游及

部分支流如雅砻江、乌江等的长江上游特有鱼类^[8]。20世纪90年代前, 圆口铜鱼在长江上游的渔获物重量组成中通常占据首位^[8, 9], 但是近年来随着其产卵场和栖息地生境的缩小, 其资源量呈明显的下降趋势, 并已成为长江流域濒危的鱼类种类之一^[10]。迄今为止, 有关圆口铜鱼繁殖生物学(性比、繁殖力、初次性成熟年龄等)方面的研究很少, 仅在《长江鱼类》^[8]、丁瑞华^[9]、程鹏^[11]文献中有零星报告, 而对其系统的研究缺乏。特别地, 在圆口铜鱼的最小或初次性成熟年龄、繁殖力分布范围、最适宜的繁殖年龄等方面缺乏相关研究资料。本文拟通过2006—2014年5—7月在金沙江中、下游进行的圆口铜鱼流动亲鱼收集, 获得圆口铜鱼繁殖力的相关资料, 并基于2013—2014年5—7月在圆口铜鱼主要产卵场皎平渡产卵场的定点亲鱼收集, 获得圆口铜鱼在该产卵场的繁殖群体组成及性腺发育等基

收稿日期: 2017-07-07; 修订日期: 2018-03-17

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0502206); 国家自然科学基金(51379134); 中瑞合作项目(ZR0001)资助 [Supported by the National Key R & D Program of China (2016YFC0502206); the National Natural Science Foundation of China (51379134); China-Swiss Cooperation Project (ZR0001)]

作者简介: 杨志(1982—), 男, 湖南芷江人; 助理研究员; 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: yangzhi4626@ihb.ac.cn

通信作者: 唐会元, E-mail: tanghy000@163.com

础数据资料。本文旨在重点确定: (1)圆口铜鱼最小性成熟个体的年龄、全长和体重及50%个体达到性成熟时的年龄和全长; (2)在自然条件下雌、雄个体性成熟系数最大时的年龄; (3)自然繁殖个体的绝对和相对繁殖力分布范围。

1 材料与方法

1.1 样本采集

2006—2014年在金沙江中下游巧家至金安桥江段开展流动亲鱼收集, 并与2013—2014年在皎平渡圆口铜鱼产卵场开展定点亲鱼收集(图1), 其中流动亲鱼采集主要为尽可能多的采集性成熟个体以获得繁殖力数据, 而定点亲鱼收集主要为对金沙江下游最重要的圆口铜鱼产卵场-皎平渡产卵场的圆口铜鱼的繁殖现状进行了解。当地专业渔民的缺乏以及急流、峡谷的生境决定了定点亲鱼收集难以采集到较多的IV和V期性成熟样本以获得其繁殖力信息。所有样本均由手钓和刺网收集, 其中刺网包括定置刺网和流刺网。在样本采集后, 现场测量其全长、体长(精确到mm)和体质量(精确到0.1 g), 然后解剖测量其空壳重和性腺重(精确到0.1 g)并判别其性别和性腺发育期。性别和性腺发育期的判别参考文献殷名称^[1]和王剑伟^[12]中的描述进行。性腺发育期处于IV期及其以上的个体被认为性成熟的个体, 在IV期卵巢的前、中、后段分别取2—3 g卵巢, 并固定于7%—8%的福尔马林溶液中, 然后带回实验室进行卵粒计数^[13]。同时, 选取3尾典型的IV期卵巢, 随机选取约300颗卵粒, 用

0.6%的生理盐水浸泡10h后测定其卵粒直径。此外, 在每尾样本背鳍基部起点下方与侧线中间采取6—8枚形状规则、环片轮纹清晰的鳞片用来作为年龄鉴定的材料。

1.2 数据分析

使用2013—2014年在皎平渡产卵场进行定点采样调查获得的数据进行圆口铜鱼繁殖群体组成和性腺与性腺发育研究($n=206$ 尾), 使用2006—2014年在金安桥至巧家江段流动亲鱼采集以及2013—2014年在皎平渡产卵场定点采样获得的IV期及V期雌性样本进行圆口铜鱼繁殖力研究($n=111$ 尾, 其中流动采集获得70尾, 定点采样获得41尾)。对上述两套样本数据进行分析(表1)。

繁殖群体组成 首先, 性成熟个体比例 P 与年龄 T 、全长 TL 的关系采用下列公式进行拟合^[14]:

$$\text{年龄: } P=1/[1+\exp(a+b \times T)];$$

$$\text{全长: } P=1/[1+\exp(a+b \times \lg TL)]$$

式中, a 和 b 为评估参数。

然后, 50%个体达到性成熟的年龄 $P_{T50\%}$ 和全长 $P_{TL50\%}$ 采取下列公式进行评估^[14]:

$$P_{T50\%}=-a/b$$

$$P_{TL50\%}=10^{(-a/-b)}$$

随后, 采用独立样本的 t 检验比较圆口铜鱼繁殖群体的平均全长、平均体重和平均年龄在雌雄之间的差异, 以及采用卡方检验判别雌性性比是否偏离理论比值1:1^[15]。

性腺与性腺发育 首先, 采用下列公式计算性成熟系数(Gonadosomatic index, GSI)^[1, 3, 12—14]:

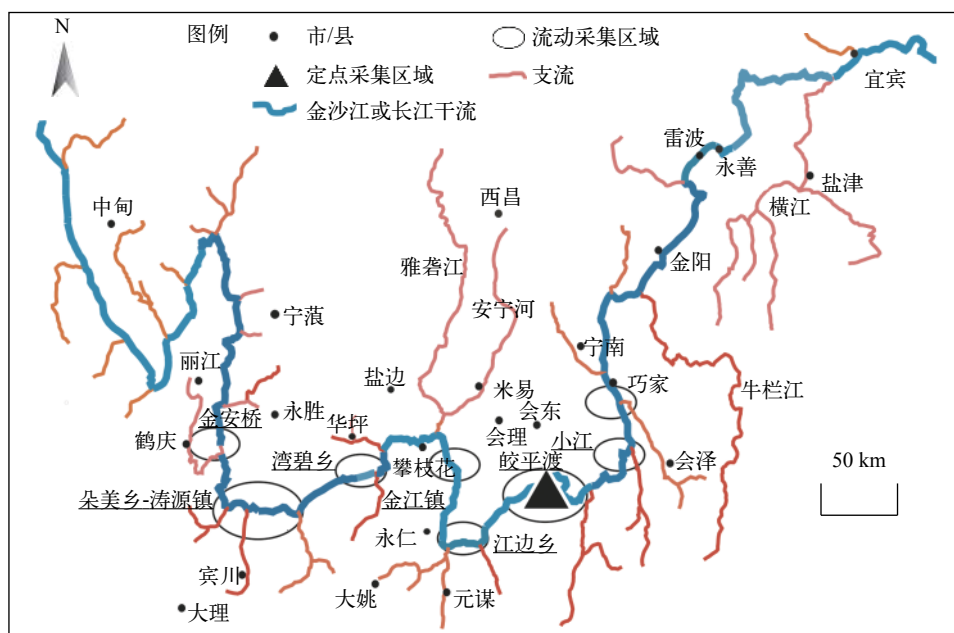


图1 圆口铜鱼亲鱼采集江段示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the monitor sections

表 1 不同采样方法获得的样本数及对不同样本集合进行分析的内容和指标

Tab. 1 Sample number collected by different sampling methods, and analysis content and metric of different sample sets

采样方法 Sampling method	样本数 Sample number	分析内容 Analysis content	分析指标 Analysis metric
定点采集 Fixed-site collection	206	繁殖群体组成	最小性成熟和 50% 个体达到初次性成熟的个体大小与年龄、体长、体重和年龄结构
定点采集 Fixed-site collection	206	性腺与性腺发育	性比、性腺形态与发育分期、性成熟系数在不同年龄组之间的差异、卵径分布
流动采集+定点采集 Mobile collection and fixed-site collection	111(70+41)	繁殖力	绝对和相对繁殖力, 绝对繁殖力与全长、体质量和年龄的关系, 相对繁殖力与全长、体质量和年龄的关系

$$GSI = \text{性腺重(g)} / \text{空壳重(g)} \times 100$$

然后, 使用单因素方差分析(One-way ANOVA)比较不同年龄个体之间的 GSI 差异, 并基于单因素方差分析结果, 使用最小显著性差异法(Least-Significant Difference)判别两组年龄个体之间的 GSI 差异是否显著^[15]。

最后, 基于对 3 个典型 IV 期卵巢卵粒卵径的测量, 绘制卵径分布图^[3, 12-14]。

繁殖力 首先, 采用下列公式计算绝对和相对繁殖力^[1, 12-14]:

$$\text{绝对繁殖力}(AF) = \text{每克卵巢卵粒数} \times \text{卵巢重(g)}$$

$$\text{相对繁殖力}(RF) = \text{绝对繁殖力} / \text{体质量(g)}$$

然后, 采用线性方程、二次项方程、立方方

程、复合方程、生长方程、指数分布方程、S 型方程、幂方程和 logistic 方程对不同年龄下绝对繁殖力和相对繁殖力与全长、体质量的关系进行拟合, 选取 R^2 值高的拟合方程为最优拟合模型^[16]。

最后, 使用单因素方差分析比较绝对繁殖力和相对繁殖力在不同年龄组之间的差异^[15]。

本文采用 CorelDRAW 12.0 以及 r 软件 3.0.1 版 (R i386 3.0.1) 进行统计分析和绘图。本文的显著性水平 P 设置为 0.05。

2 结果

2.1 繁殖群体组成

最小性成熟和 50% 个体达到初次性成熟的个体大小与年龄 2013—2014 年定点采集期间, 皎平渡产卵场圆口铜鱼雌性最小性成熟个体全长 330 mm, 体长 256 mm, 体质量 441.0 g, 年龄 4 龄, 卵巢 IV 期 ($n=106$); 雄性最小性成熟个体全长 352 mm, 体长 295 mm, 体质量 396.6 g, 年龄 3 龄, 精巢 IV 期 ($n=100$)。

雌性和雄性性成熟个体比例 P 与年龄 T 的关系式分别为 $P=1/[1+\exp(18.01-4.17 \times T)]$ 和 $P=1/[1+\exp(7.10-1.60 \times T)]$ ($R^2=1.00$ 和 $R^2=0.99$) (图 2)。按照上述关系式计算, 可知圆口铜鱼 50% 个体达到性成熟的年龄分别为雌性 4.32 龄和雄性 4.44 龄。雌性和雄性性成熟个体比例 P 与全长 TL 的关系式分别为 $P=1/[1+\exp(199.01-76.30 \times \lg TL)]$ 和 $P=1/[1+\exp(89.31-34.15 \times \lg TL)]$ ($R^2=0.99$ 和 $R^2=0.98$) (图 3)。按照上述关系式计算, 可知圆口铜鱼 50% 个体达到性成熟的全长分别为雌性 406 mm 和雄性 412 mm。

全长、体重和年龄结构 2013—2014 年在皎平渡产卵场采集到圆口铜鱼个体, 其全长分布为 247—590 mm, 平均全长为 393 mm, 全长主要分布在 300—450 mm; 体质量分布为 147.8—2300.0 g, 平

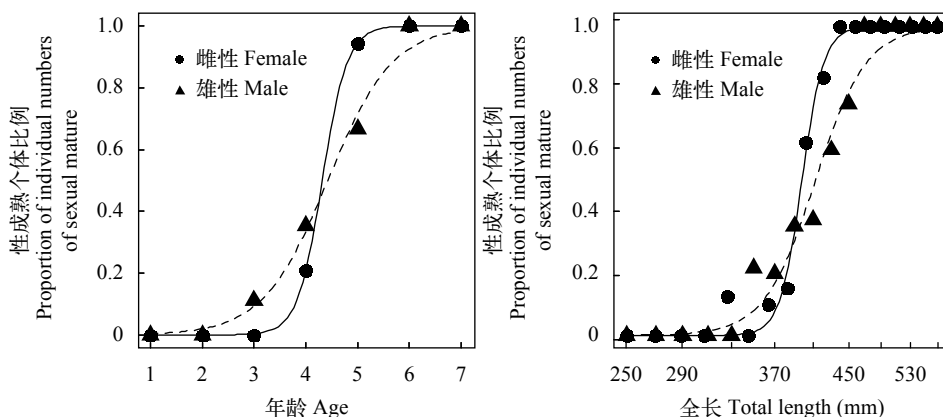


图 2 年龄、全长与性成熟个体比例的关系

Fig. 2 Relationships between age (left), total length (right) and proportions of individual numbers of sexual mature

均体质量为673.1 g, 体质量主要分布在500.0—1000.0 g; 年龄范围为2—7龄, 平均年龄为4.00龄, 年龄主要分布在3—5龄(图 3)。

在206尾个体中, 有71尾为性成熟个体, 占总样本数的34.47%。在71尾性成熟个体中, 雌性个体全长、体质量和年龄分别为330—590 mm、441.0—2300.0 g和4—7龄, 平均全长、体质量和年龄分别为461 mm、1072.1 g和5.24龄; 雄性个体全长、体质量和年龄分别为352—564 mm、396.6—2177.7 g和3—7龄, 平均全长、体质量和年龄分别为430 mm、869.2 g和4.63龄(表 1)。独立样本的*t*检验显示: 2013—2014年采自皎平渡产卵场的圆口铜鱼性成熟个体的平均体长和平均年龄在雌雄之间具有显著性差异, 但平均体重在雌雄之间则无显著性差异(表 2)。

性比 2013—2014年在皎平渡产卵场采集到的206尾标本中, 性比为♀: ♂=1.06: 1, 在统计学上与1: 1 的理论比值不存在显著性的偏离($\chi^2=0.175$, $P=0.676$)。性成熟的71尾标本, 性比为♀: ♂=1.37: 1, 在统计学上与1: 1 的理论比值也不存在显著性的偏离($\chi^2=1.704$, $P=0.192$)。

2.2 性腺与性腺发育

性腺形态与发育分期 圆口铜鱼的性腺成对分, 通常为大小相等的两叶, 但少数个体的性腺略有差异。在繁殖期, 发育较好的雌性性腺通常充满整个腹腔, 而雄性性腺则通常仅占腹腔较小的体积。圆口铜鱼的性腺可以分为6个发育期, 其中 I 期性腺呈细线状, 难以分辨; II 期性腺呈细带状, 其中雄性个体性腺略呈圆筒形, 带浅白色, 而雌性个体性腺略透明, 略带浅红色; III期雄性性腺呈明显的白色而雌性则呈较为明显的肉红色, 其体积均较之 II 期有较大的增加; IV期的鱼类个体为开始性成熟的个体, 其精巢通常呈明显的乳白色, 前中段扁平而后端略圆, 而雌性卵巢则呈近似圆筒状, 其几乎充满整个腹腔, 呈明显的肉红色, 卵巢膜较不透明, 但膜内可见卵粒饱满, 卵径较为均匀的卵粒(图 4); V 期时挤压亲鱼腹部可以发现精液或卵粒流出, 该阶段卵粒透明饱满, 且已游离在卵巢腔中; VI期性腺为繁殖后的性腺, 该阶段精巢体积已明显缩小, 且变得松软而缺乏韧性, 卵巢也已明显变小, 卵巢膜透明, 可以清晰看见卵巢腔内卵径大小不等的卵粒。

性成熟系数在不同年龄组之间的差异 不

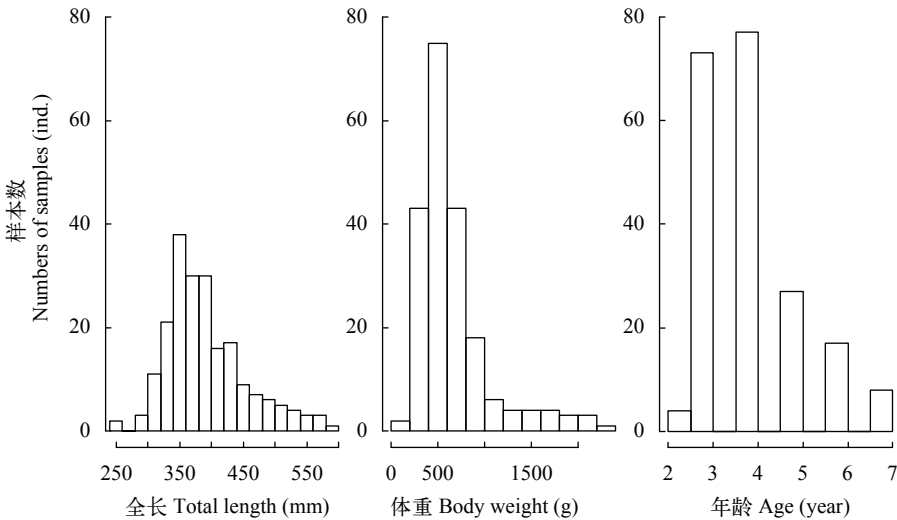


图 3 2013—2014年皎平渡产卵场圆口铜鱼繁殖群体的全长、体重和年龄组成

Fig. 3 The total length, body weight and age compositions for reproductive population of *Coreius guichenoti* at the Jiaopingdu spawning ground from 2013 to 2014

表 2 皎平渡产卵场圆口铜鱼繁殖群体的平均全长、平均体重和平均年龄在雌雄之间的差异

Tab. 2 Differences in average total length, average body weight and average age between female and male for reproductive population of *Coreius guichenoti* at the Jiaopingdu spawning ground

参数 Parameter	性别 Sex		Levene's 检验 Levene's test			t 检验 t test	
	雌性 Female (N=41)	雄性 Male (N=30)	F	P	t	df	P
平均全长 Mean total length (mm)	461±61	430±60	0.010	0.92	0.153	70	0.038
平均体重 Mean body weight (g)	1072.1±515.9	869.2±445.5	1.535	0.22	1.732	70	0.088
平均年龄 Mean age (year)	5.24±0.92	4.63±1.25	4.887	0.03	2.273	50.743	0.027

同性别圆口铜鱼个体在不同年龄的性成熟系数(GSI)变动如图5所示(雌鱼: 106尾; 雄鱼: 100尾)。在雌性个体中, 2—7龄个体的 GSI 变动范围分别为0.085%—0.15%、0.07%—0.47%、4.52%—13.4%、1.75%—14.95%、6.07%—21.11%和8.85%—13.27%, 平均值分别为0.12%、0.25%、8.56%、9.67%、12.35%和10.55%; 雄性个体中, 2—7龄个体的 GSI 变动范围分别为0.01%—0.04%、0.01%—0.43%、0.20%—6.95%、1.74%—2.95%、2.65%—4.40%和1.21%—5.07%, 平均值分别为0.02%、0.12%、1.81%、2.29%、3.45%和2.86%。单因素方差分析显示: 雌性和雄性个体的 GSI 在不同年龄间存在极其显著的差异(雌性: $F=51.415$, $P<0.001$; 雄性: $F=34.538$, $P<0.001$)。多重比较的结果则显示: 在雌性个体中, 7龄个体的 GSI 与4—6龄个体的 GSI 不存在显著性的差异($P=0.254$ 、 0.585 和 0.268), 但6龄个体的 GSI 与2—5龄个体的 GSI 存在极其显著性的差异(P 均 <0.001); 在雄性个体中, 3龄个体的 GSI 与4—7龄个体的 GSI 存在显著性的差异($P<0.001$), 但4—7龄个体之间的 GSI 不存在显著性的差异($P>0.05$)。

卵径分布 圆口铜鱼的卵径变动范围为0.13—0.2 cm, 平均卵径为0.16 cm, 卵径分布呈双峰型(图6)。

2.3 繁殖力

绝对和相对繁殖力 圆口铜鱼雌鱼的绝对



图4 性腺IV期的圆口铜鱼样本

Fig. 4 Samples of *Coreius guichenoti* with gonads having developed to IV stage

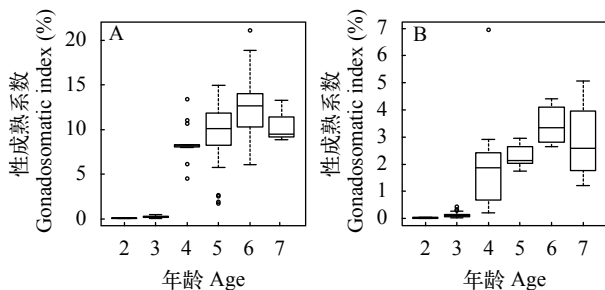


图5 不同性别圆口铜鱼个体在不同年龄间的性成熟系数(箱体内直线表示平均值; A. 雌性; B. 雄性)

Fig. 5 Gonadosomatic indices at different ages for different genders of *Coreius guichenoti* individuals (Straight lines in boxes represent the means; left: female; right: male)

繁殖力变动范围为4055—137900粒/尾, 平均值为22817粒/尾; 相对繁殖力变动范围为5—73粒/g, 平均值为20粒/g (图7, $n=111$ 尾)。在各个卵巢中, 多数个体的绝对繁殖力在10000—30000粒/尾, 共84尾, 占总抽样样本的75.68%, 相对繁殖力在15—20粒/g之间, 共78尾, 占70.27%。

绝对繁殖力与全长、体质量和年龄的关系

如图8所示, 在不同年龄下, 圆口铜鱼绝对繁殖力随着全长和体重的增加而增加, 其中全长、体质量与绝对繁殖力均呈指数分布函数正相关, 其表达式分别为 $AF=392.742 \times \exp(TL \times 0.008)$ 和 $AF=4773.123 \times \exp(BW \times 0.001)$ ($R^2=0.58$ 和 0.73 , P 均 <0.001)。同时, 绝对繁殖力随年龄的增加而增加, 其在4—7龄的平均值分别为13466、16928、23552和82230粒/尾。单因素方差分析显示各龄组的绝对繁殖力在统计学上差异极显著($F=31.656$, $P<0.001$)。

相对繁殖力与全长、体质量和年龄的关系

如图9所示, 在不同年龄下, 圆口铜鱼相对繁殖力随着全长和体质量的增加而增加, 其中全长、体质量和相对繁殖力均呈二次项函数正相关, 其表达式分别为 $RF=79.166-0.307 \times TL+0.0004 \times TL^2$ 和 $RF=33.743-0.036 \times TL+0.00002 \times TL^2$ ($R^2=0.12$ 和 0.29 , P 均 <0.001)。同时, 相对繁殖力随年龄的增加而增加, 其在4—7龄的平均值分别为17、18、21和45粒/g。单因素方差分析显示各龄组的相对繁殖力在统计学上差异极显著($F=9.619$, $P<0.001$)。

3 讨论

3.1 初次性成熟年龄

通过文献调研, 刘成汉^[17]描述圆口铜鱼的初次性成熟年龄为2—3龄。采取同样方法, 丁瑞华^[9]也

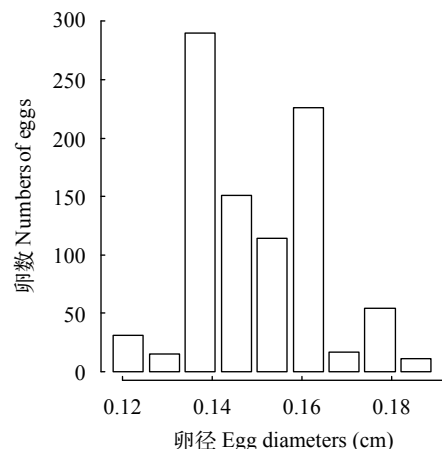


图6 圆口铜鱼3个典型IV期卵巢内卵粒的卵径分布

Fig. 6 Distributions of egg granule diameter in three typical IV stage ovaries of *Coreius guichenoti*

指出圆口铜鱼的初次性成熟年龄为2—3龄。基于在金沙江中下游的实地调查,程鹏^[11]发现圆口铜鱼的初次性成熟年龄为4龄。在本文中,基于2013—2014年在皎平渡圆口铜鱼产卵场的实地调查,圆口铜鱼50%个体达到性成熟的年龄(即初次性成熟年

龄)在雌雄个体之间存在一定差异,其中雌性个体为4.32龄而雄性为4.44龄(图2),该结果与程鹏^[11]的结果基本一致,但与刘成汉^[17]和丁瑞华^[9]的结果存在较大差异。研究表明,许多鱼类的初次性成熟年龄在雌雄之间存在较大的差异,通常表现为雄性个

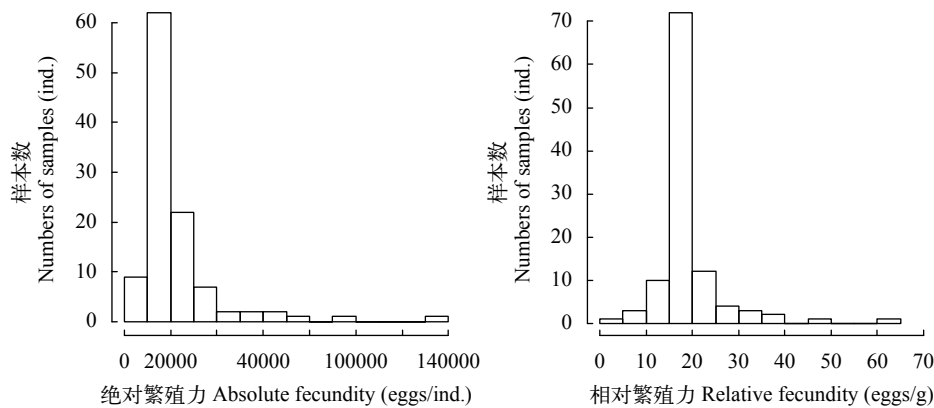


图7 圆口铜鱼的绝对繁殖力(粒/尾)和相对繁殖力(粒/g)分布图

Fig. 7 Histograms of absolute fecundity (eggs/ind.) and relative fecundity (eggs/g) of *Coreius guichenoti*

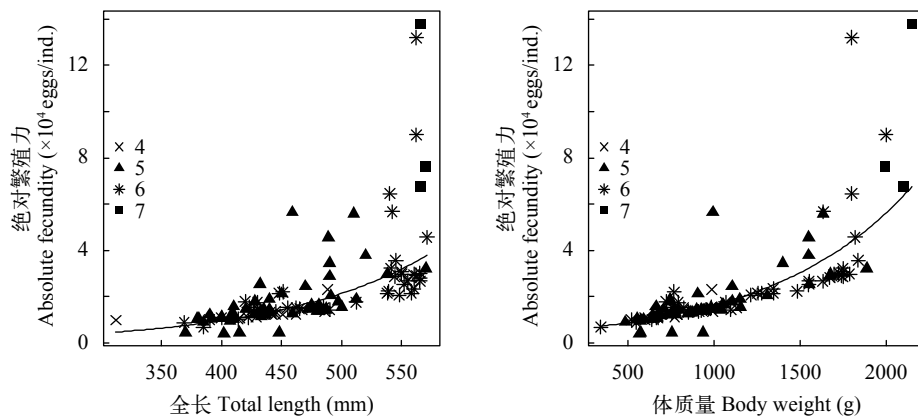


图8 不同年龄圆口铜鱼个体的绝对繁殖力与全长、体质量的关系(图中图例显示年龄,曲线为拟合曲线)

Fig. 8 Relationships between absolute fecundity and total length, body weight for the *Coreius guichenoti* individuals with different ages (Numbers in legend represent the ages, and curves in plots are the fitted curves)

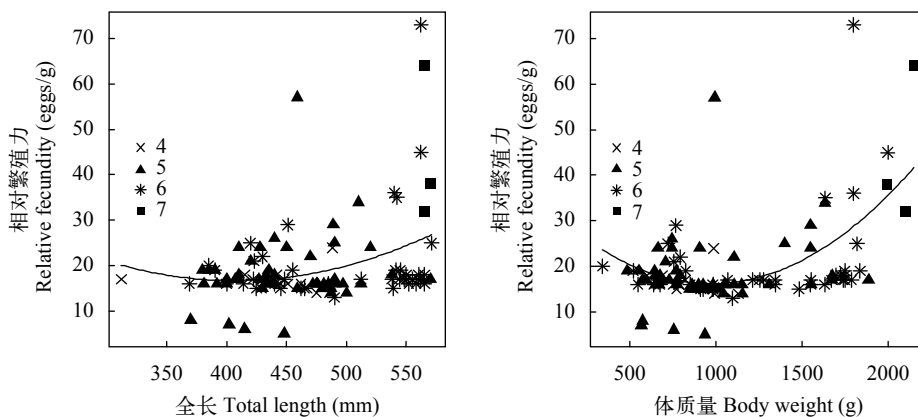


图9 不同年龄圆口铜鱼个体的相对繁殖力与全长、体质量的关系(图中图例显示年龄,曲线为拟合曲线)

Fig. 9 Relationships between relative fecundity and total length, body weight for the *Coreius guichenoti* individuals with different ages (Numbers in legend represent ages, and curves in plots are the fitted curves)

体的初次性成熟年龄小于雌性个体的初次性成熟年龄^[1, 18, 19]。然而, 本文的结果表明圆口铜鱼雄性个体的初次性成熟年龄略大于雌性个体的初次性成熟年龄。造成这种现象的原因除受遗传因素的影响和外部环境(食物可获得性、渔业捕捞强度等)影响以外^[1, 20, 22], 采样的局限性(样本数量有限)也有可能是造成圆口铜鱼初次性成熟年龄在雌雄个体之间差异的重要因素。圆口铜鱼亲鱼采集区域为急流峡谷河道, 两岸十分陡峭, 渔业捕捞较为困难, 难以捕获大量亲鱼个体^[23], 很可能导致统计结果与实际情况仍存在一定偏差, 因此圆口铜鱼雌性个体初次性成熟年龄的差异仍需要在以后做进一步的研究进行证实。

3.2 性成熟系数

性成熟系数(*GSI*)是描述性腺相对大小的指标, 其能够反映性腺发育的周年变化过程, 从而获得鱼类的具体繁殖时间以及具有最好繁殖潜力的年龄组或体长、体质量组^[1, 3, 12—14]。该指标的大小通常与鱼类的年龄和体长(或体质量)^[1, 3, 12—14, 24]有直接联系。在本文中, *GSI*通常随着年龄的增加而增加(图 5), 表明更大规格个体的圆口铜鱼通常具有较大的性成熟系数, 该结果与程鹏^[11]的结果基本一致。进一步地, 本文结果还指出, 在雌性中, 6龄个体的平均*GSI*显著高于4—5龄个体的平均*GSI*, 但与7龄个体的平均*GSI*无显著差异, 表明雌性圆口铜鱼在6龄及其以上年龄时具有更好的繁殖潜力和更好的性腺发育程度, 选择6龄及其以上年龄的雌性个体进行人工繁殖时出苗的效果很可能最好。与雌性个体不同, 雄性个体的平均*GSI*尽管在总体上随着年龄的增加而增加, 但其平均*GSI*在4—7龄之间无显著性差异, 表明在3龄后, 增加雄性个体的规格也不能明显增加圆口铜鱼雄鱼的性成熟系数(或繁殖力), 因此选择4龄及其以后年龄的雄性个体进行人工繁殖很可能都是合适的。尽管如此, 由于人工饲养条件与自然条件的差异, 因此在人工圈养条件下, 选择多大年龄或规格个体作为亲鱼进行人工繁殖最为合适, 仍需在未来进行进一步的研究。

3.3 繁殖力

《长江鱼类》^[8]曾经描述在金沙江下游屏山县江段采集到的少数性成熟个体中, 圆口铜鱼的绝对繁殖力为13000—40300粒。程鹏^[11]也曾经描述在金沙江中游攀枝花江段采集到的5尾性成熟个体中, 圆口铜鱼的绝对怀卵量为4464—131920粒, 平均值为46386粒。在本文中, 根据2006—2014年在金沙江中下游采集到的110尾IV期雌性圆口铜鱼个体, 可知圆口铜鱼的绝对繁殖力为4055—137900粒/尾, 平均值为22817粒, 该结果中绝对繁殖力的平均值

低于程鹏^[11]所描述结果, 但绝对繁殖力的分布范围包括了《长江鱼类》^[8]和程鹏^[11]所描述的结果。此外, 就同样体长和体质量个体而言, 圆口铜鱼的绝对繁殖力通常小于铜鱼*Coreius heterodon*(都属于铜鱼属)^[8]的绝对繁殖力, 但通常明显高于同亚科(鲃亚科)中能够生长到较大规格个体的鱼类如长鳍吻鲈*Rhinogobio ventralis*^[25]等的绝对繁殖力。圆口铜鱼较高的繁殖力, 很可能是其能够成为长江上游主要经济鱼类的关键因素。尽管如此, 高的繁殖力通常与高的早期死亡率有关^[1], 因此圆口铜鱼在自然水体中如何在早期发育阶段减少其死亡率并从而获得较大数量的幼鱼个体^[26], 仍需要以后进一步的研究。

参考文献:

- [1] Yin M C. Fish Ecology [M]. Beijing: Agricultural Publishing House of China. 1993, 132—151 [殷名称. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社. 1993, 105—131]
- [2] Yan Y Z, Chen Y F. Plasticity in reproductive tactics of *Ctenogobius giurinus* in Lake Fuxian [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(3): 414—418 [严云志, 陈毅峰. 抚仙湖子陵吻鲈虎鱼繁殖策略的可塑性研究. 水生生物学报, 2007, **31**(3): 414—418]
- [3] Ding C Z, Chen Y F, He D K, *et al.* Reproductive biology of *Glyptosternon maculatum* in Yarlung Tsangpo River in Tibet, China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(4): 762—768 [丁城志, 陈毅峰, 何德奎, 等. 雅鲁藏布江黑斑原鲃繁殖生物学研究. 水生生物学报, 2010, **34**(4): 762—768]
- [4] Utne-Palm A C, Eduard K, Jensen K H, *et al.* Size dependent male reproductive tactic in the two-spotted goby (*Gobiusculus flavescens*) [J]. *PLoS One*, 2015, **10**(12): e0143487
- [5] Henderson B A, Nepszy S J. Reproductive tactics of walleye (*Stizostedion vitreum*) in Lake Erie [J]. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 1994, **51**(5): 986—997
- [6] Johannessen T, Gjoesaeter J, Moksness E. Reproduction, spawning behaviour and captive breeding of the common wolffish *Anarhichas lupus* L [J]. *Aquaculture*, 1993, **115**(1-2): 41—51
- [7] Raghavan R, Philip S, Ali A, *et al.* Fishery, biology, aquaculture and conservation of the threatened Asian Sun catfish [J]. *Reviews in Fish Biology & Fisheries*, 2016, **26**(2): 1—12
- [8] Institute of Hydrobiology (IHB). Fishes in the Yangtze River [M]. Beijing: Science Press. 1976, 73—78 [水生生物]

- 物研究所鱼类研究室. 长江鱼类. 北京: 科学出版社. 1976, 73—78]
- [9] Ding R H. The Fishes of Sichuan, China [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Sciences & Technology. 1994, 276—278 [丁瑞华. 四川鱼类志. 成都: 四川科学技术出版社. 1995, 276—278]
- [10] Jiang Z G, Jiang J P, Wang Y Z, *et al.* Red list of China's vertebrates [J]. *Biodiversity Science*, 2016, **24**(5): 500—551 [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 2016, **24**(5): 500—551]
- [11] Cheng P. The biology of *Coreius guichenoti* (Sauvage *et* Dabry) in the upper reaches of the Yangtze River [D]. The paper of the Master's Degree of Huazhong Agricultural University. 2008, 32—50 [程鹏. 长江上游圆口铜鱼的生物学研究. 华中农业大学硕士学位论文. 2008, 32—50]
- [12] Wang J W. Reproductive biology of *Gobiocypris rarus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1992, **16**(2): 165—174 [王剑伟. 稀有鮡鲫的繁殖生物学. 水生生物学报, 1992, **16**(2): 165—174]
- [13] Huang D M, Lin Y T, Wan C Y, *et al.* Reproductive biology of the fish, *Megalobrama skolkovii*, in Fuqiaohe Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1997, **21**(1): 15—23 [黄道明, 林永泰, 万成炎, 等. 浮桥水库鲂繁殖生物学研究. 水生生物学报, 1997, **21**(1): 15—23]
- [14] Oddone M C, Vooren C M. Reproductive biology of *Atlantioraja cyclophora* (Regan 1903) (Elasmobranchii: Rajidae) off southern Brazil [J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2005, **62**(6): 1095—1103
- [15] Du R Q. Biostatistics [M]. Beijing: Higher Education Press. 2003, 92—119 [杜荣骞. 生物统计学. 北京: 高等教育出版社. 2003, 92—119]
- [16] Tao J P, Qiao Y, Yang Z, *et al.* Estimation on the spawning population and spawning sizes of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) and trend analysis of their change in recent years [J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, **2**(2): 37—43 [陶江平, 乔晔, 杨志, 等. 葛洲坝产卵场中华鲟繁殖群体数量与繁殖规模估算及其变动趋势分析. 水生态学杂志, 2009, **2**(2): 37—43]
- [17] Liu C H. Some characteristics of reproductive age and growth of the economic fishes of the Yangtze River in the Sichuan Province [J]. *Journal of Sichuan University* (Natural Science Edition), 1980, **2**: 186—193 [刘成汉. 四川长江干流主要经济鱼类若干繁殖生长特性. 四川大学学报(自然科学版), 1980, **2**: 186—193]
- [18] Xie X J, He X F, Long T C. Reproductive biology of *Silurus meridionalis*: time, environmental conditions and behavior of spawning [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, **20**(1): 17—24 [谢小军, 何学福, 龙天澄. 南方鲃的繁殖生物学研究: 繁殖时间, 产卵条件和产卵行为. 水生生物学报, 1996, **20**(1): 17—24]
- [19] Xu W Y, Liu Y T, Leng Y, *et al.* Study on reproductive biology of *Schizothorax yunnanensis* (Norman, 1923) [J]. *Journal of Hydroecology*, 2006, **26**(2): 32—33 [徐伟毅, 刘跃天, 冷云, 等. 云南裂腹鱼繁殖生物学研究. 水生态学杂志, 2006, **26**(2): 32—33]
- [20] Hossain M Y, Jewel M A S, Nahar L, *et al.* Gonadosomatic index-based size at first sexual maturity of the catfish *Eutropiichthys vacha*, (Hamilton, 1822) in the Ganges River (NW Bangladesh) [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2012, **28**(4): 601—605
- [21] Wild V, Simianer H, Gjoen H M, *et al.* Genetic parameters and genotype $\times$ environment interaction for early sexual maturity in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 1994, **128**(1-2): 51—65
- [22] Basilone G, Guisande C, Patti B, *et al.* Effect of habitat conditions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the strait of sicily [J]. *Fisheries Oceanography*, 2006, **15**(4): 271—280
- [23] Tang H Y, Yang Z, Gao S B, *et al.* Status of fish resources of early life history stages of *Coreius guichenoti* in the middle reaches of the Jinsha River [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2012, **31**(3): 416—421 [唐会元, 杨志, 高少波, 等. 金沙江中游圆口铜鱼早期资源现状. 四川动物, 2012, **31**(3): 416—421]
- [24] Peterson R H, Harmon P R. Changes in condition factor and gonadosomatic index in maturing and non-maturing Atlantic salmon (*Salmo salar* L) in Bay of Fundy sea cages, and the effectiveness of photoperiod manipulation in reducing early maturation [J]. *Aquaculture Research*, 2015, **36**(9): 882—889
- [25] Qu H T, Guo W T, Yang J Y, *et al.* The reproductive biology of *Rhinogobio ventralis* in the main streams of the Yangtze River [J]. *Progress in Fishery Science*, 2016, **37**(1): 1—7 [曲焕韬, 郭文韬, 杨元金, 等. 长江干流长鳍吻鮡(*Rhinogobio ventralis*)繁殖生物学. 渔业科学进展, 2016, **37**(1): 1—7]
- [26] Yang S R, Gao X, Ma B S, *et al.* Seasonal dynamics of fish community in Mudong section of the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River, China [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2010, **16**(4): 555—560 [杨少荣, 高欣, 马宝珊, 等. 三峡库区木洞江段鱼类群落结构的季节变化. 应用与环境生物学报, 2010, **16**(4): 555—560]

A PRELIMINARY STUDY ON THE REPRODUCTIVE BIOLOGY OF *COREIUS GUICHENOTI* (SAUVAGE & DABRY DE THIERSANT, 1874) IN THE MIDDLE AND LOWER STREAM OF JINSHA RIVER, CHINA

YANG Zhi¹, GONG Yun¹, ZHU Di¹, PAN Lei², DONG Chun¹, LIU Hong-Gao¹,
CHEN Xiao-Juan¹ and TANG Hui-Yuan¹

(1. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China;

2. Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, School of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: *Coreius guichenoti* (Sauvage & Dabry de Thiersant, 1874) is an endemic and commercially important fish in the upper Yangtze River, and its spawning grounds are mainly distributed in the main stem of the middle and lower reaches of the Jinsha River (which belong to the upper streams of the upper Yangtze River) and its tributary, the Yalong River. However, due to dam cascade in the Jinsha River and Yalong River, the spawning and feeding habitats of *C. guichenoti* have changed dramatically, leading to a significant decline in the population of endemic fish over last decade. To protect the fish resource of *C. guichenoti*, many protective plans, including captive breeding, have been designed and implemented. It is very important to study their reproductive biology to provide basic information for captive breeding. Thus, based on the parent fish of *C. guichenoti* collected at the Jiaopingdu spawning ground from 2013 to 2014, and at the Jinanqiao-Qiaojia river located in the middle and lower reaches of the Jinsha River from 2006 to 2014, the reproductive biology of *C. guichenoti* was studied. The results showed that the minimum total length, weight, and age of mature females were 330 mm, 441 g and 4 years, respectively, while those for the mature males were 352 mm, 396.6 g and 3 years, respectively. The age and total length at which 50% of the individuals reached sexual maturity were 4.32 years and 406 mm for females, and 4.44 years and 412 mm for males, respectively. The sex ratio between male and female in the Jiaopingdu spawning ground was 1.37:1, which was not significantly different from 1:1, and the age structure of sexually mature individuals were 4—7 years in female and 3—7 years in male. The mean gonadosomatic index (*GSI*) displayed the highest value of 10.55% for female and 3.45% for male in 6-year-old for both genders. The average egg diameter of *C. guichenoti* was 0.16 cm, and the egg diameter distribution displayed two groups of oocytes within the same ovary. The absolute fecundity of mature female varied from 4055 to 137900 eggs with an average of 22817 eggs, while the relative fecundity ranged from 5 to 73 eggs per gram with an average of 20 eggs per gram. Moreover, the absolute fecundities for the 75.68% individuals were between 10000 eggs and 30000 eggs, while the relative fecundities for the 70.27% individuals were between 15 and 20 eggs per gram. The absolute and relative fecundities of mature female increased with the total length and body weight, and the relationships between the total length and body weight and the absolute fecundity or relative fecundity could be represented by an exponential function (absolute fecundity) or quadratic function (relative fecundity). The research results can provide important basic data support for the protection of *C. guichenoti* fish resources in the Yangtze River Basin.

Key words: *Coreius guichenoti*; Breeding population; Sex ratio; Gonadosomatic index; Absolute fecundity; Relative fecundity