

doi: 10.7541/2021.2019.213

湖南沅水下游鳖繁殖期内繁殖力和卵径的变化研究

黄艳飞^{1,2,3} 彭林平¹ 陈丽媛¹ 曾慧琳¹ 刘良国^{1,2,3}

(1. 湖南文理学院生命与环境科学学院, 常德 415000; 2. 水产高校健康生产湖南省协同创新中心, 常德 415000;
3. 环洞庭湖水产健康养殖及加工湖南省重点实验室, 常德 415000)

摘要: 为分析鱼类繁殖期内繁殖力和卵径变化趋势, 研究于4—10月在沅水下游逐月采集180尾鳖(*Hemiculter leucisculus*), 分析81尾雌性成熟个体的繁殖力。研究结果表明: 鳖的性体指数在5、6月最高, 其次在7、8和9月, 在4和10月最低。绝对繁殖力平均值为(30116±19390)粒, 以10000—30000粒为主, 相对繁殖力的平均值为(650±324)粒/g, 以400—800粒/g为主。绝对繁殖力与体长、空壳重呈幂函数关系($P < 0.05$)。绝对繁殖力和相对繁殖力在5和6月最大, 7、8和9月次之, 在4和10月最小。不同月份成熟卵子的卵径无显著差异, 补充卵子的卵径在5和6月最大, 暗示5和6月分批繁殖次数较多。不同繁殖时期的分批繁殖力、繁殖次数不一样, 对评估种群的繁殖潜能具有重要的指导意义。比较不同水系繁殖力发现, 湖泊种群的个体繁殖力普遍大于河流种群, 沅水种群的个体繁殖力跟湖泊种群的相似, 可能与其具有类似湖泊的缓流水或静水生境有关。研究揭示了鳖的基本繁殖特征, 为渔业资源管理提供了基础数据资料。

关键词: 鳖; 繁殖力; 繁殖期; 卵径; 洞庭湖

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2021)01-0097-09



鱼类的繁殖力和卵径是鱼类繁殖策略的重要组成部分, 繁殖力决定着后代数量, 卵径决定后代初孵时的体长及其存活率。研究鱼类的繁殖力和卵径是了解种群补充和准确评估种群数量变动的基础, 也是确定种群受到人类活动影响恢复能力的基础^[1, 2]。鱼类繁殖力和卵径不仅受到种的遗传特性、外界环境条件和营养因素影响, 还与生物学特征比如体长、体重、年龄等存在显著性相关^[3-5]。鱼类卵径频率分布图表现为单峰、双峰和多峰, 与产卵类型、卵子发育是否同步相关^[2, 6]。大量的研究发现分布于不同纬度、不同生境类型和同一河流不同江段的同一物种, 各个种群的繁殖力和卵径可能存在差异^[5, 7]。大多数热带和亚热带鱼类都有较长的繁殖期, 繁殖期内环境条件经常发生改变, 繁殖群体的个体大小不同, 繁殖力和卵径也可能有差异, 但目前, 对繁殖期内繁殖力和卵径的变化了解还非常少^[6]。由于分批产卵鱼类整个繁殖期内各批繁殖力可能存在差异, 如果只算繁殖期

内某个时期的繁殖力, 所得的结果跟实际的情况就会出现很大的偏差。因此, 研究繁殖期内繁殖力的变化对准确评估种群的繁殖潜能及了解种群繁殖力间的差异具有重要的作用。

鳖(*Hemiculter leucisculus* Basilewsky, 1855)是一种小型经济鱼类, 广泛分布于我国的各类水系, 属于r-选择生活史型鱼类, 具有性成熟早、生长快、繁殖力高等典型特征。生活在各个河流的干流、支流及其附属湖泊和水库中的鳖, 是天然水体大型肉食性鱼类的主要饵料, 对水体的生态平衡具有一定的作用^[3, 8]。鳖属于分批产卵的鱼类, 在繁殖期内可以多次产卵, 繁殖期很长, 有接近6个月的时间(5—9月或4—9月)。以鳖作为研究对象, 可以充分分析繁殖力和卵径随繁殖期而发生的变化趋势^[8, 9]。鳖的繁殖力及其与生物学特征的关系已在很多水系做过研究^[3, 10-15], 但有关鳖的繁殖特征的研究较少。沅水是湖南洞庭湖一级支流, 沅水鱼类在湖南鱼类资源中具有重要地位。鳖是沅水的优

收稿日期: 2019-10-08; 修订日期: 2020-04-26

基金项目: 国家自然科学基金(31572619); 湖南文理学院博士启动项目(17BSQD22)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31572619); Doctoral Project of Hunan University of Arts and Sciences (17BSQD22)]

作者简介: 黄艳飞(1981—), 女, 博士; 研究方向为鱼类生态学。E-mail: hyf1221@163.com

通信作者: 刘良国, E-mail: llg1818@126.com

势鱼种,数量上占总渔获量的30%^[16,17]。本实验以蟹为材料,对其繁殖期内繁殖力和卵径的变化进行研究,旨在了解这种鱼类的基本繁殖特征,为渔业资源管理提供基础数据资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集和处理

样品采自沅水下游常德江段(29°1'N,111°36'E),从2017年4月份到2018年4月份逐月采用流刺网(网目为20和40 mm)和拖网(网目为10和20 mm)进行样品采集。野外采到的样品冰冻保存带回实验室,首先测量每条鱼体长(Standard length, *SL*, 0.1 mm)和体重(Body weight, *BW*, 0.1 g),然后解剖,鉴定性别,用目测等级法判定性腺发育分期(包括 I、II、III、IV、V 和 VI 期),称性腺的重量(Gonad weight, *GW*, 0.01 g)和去除内脏后的鱼体重量即空壳重(Clean weight, *CW*, 0.1 g),计算性体指数(Gonadosomatic index, *GSI*),按如下公式计算: $GSI = GW/CW \times 100$,即性腺重除以空壳重。

在 IV 期和 V 期雌性个体的卵巢中,剪取前、中、后部各 0.2—0.5 g 重的卵巢样品(Oocytes weight, *OW*, 0.01 g),放入 5% 的甲醛溶液中固定,用于繁殖力分析。将固定好的样品放置在培养皿中,分离卵巢中的卵粒,放置在体视显微摄像系统(Leica M250)下拍照,利用测量软件对样品进行卵粒(*N*)计数和卵径测量(0.01 mm)。每条鱼随机测量 100 个卵粒的卵径。蟹的卵巢里存在各个时相的卵子,预实验显示卵径分布有 2 个高峰,处于大卵径峰值(>0.55 mm)的卵子是即将产出的成熟卵子,本实验只统计这些成熟卵子的数量,计算分批繁殖力^[18]。

1.2 数据分析

绝对繁殖力(Absolute fecundity, *AF*)是一个成熟个体成熟卵子的总数,相对繁殖力(Relative fecundity, *RF*)为体重相对繁殖力,即绝对繁殖力除以空壳重,绝对繁殖力(粒)和相对繁殖力(粒/g)的计算公式如下:

$$AF = N \times GW/OW$$

式中, *N* 为取样的卵粒数, *GW* 为性腺重, *OW* 为取样的样品重量。

$$RF = AF/CW$$

式中, *CW* 为空壳重。

在比较 4—10 月的绝对繁殖力和相对繁殖力之前,先用 Kolmogorov-Smirnov 和 Shapiro-Wilk 法检验数据的正态性,两者都满足统计所需的正态性,接着进行方差分析的比较。绝对繁殖力与体长、空壳重具有显著的线性关系,利用协方差分析比较

4—10 月绝对繁殖力的差异,以体长和空壳重作为协因子,月份作为影响因子,当月份间具有显著性差异时,再进行两两比较。相对繁殖力与体长、空壳重没有明显的线性关系,利用单因素方差分析比较 4—10 月份相对繁殖力的差异,在有显著性差异情况下,继续进行两两比较。

建立绝对繁殖力与体长、体重之间的关系,分别用线性方程($y = a + bx$)、幂函数($y = ax^b$)、指数方程式($y = ae^{bx}$)拟合,应用赤池信息准则(*AIC*)选取最佳拟合函数,判别系数较高及 *AIC* 值较小者为最适合函数, *AIC* 的计算公式如下所示:

$$AIC = n \times \ln(RSS/n) + 2k$$

式中, *n* 为样本数目, *RSS* 为残差平方和, *k* 为模型参数个数。

每条鱼测量成熟卵子(IV、V 期)的卵径,计算成熟卵子卵径的平均值,建立卵径与体长、空壳重的关系,没有显著性关系($P > 0.05$)。利用单因素方差分析比较 4—10 月成熟卵子卵径的差异,比较之前先利用 Kolmogorov-Smirnov 和 Shapiro-Wilk 检验正态性,如果有显著性差异就继续进行两两比较。

统计分析和图形建立用 SPSS16.0 和 STATISTICAL 进行,结果中各变量总数用平均值±标准差(Mean±SD)表述,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 蟹性体指数的月变化

蟹的雌性性成熟个体(IV 期和 V 期)在 4—10 月出现,分析 4—10 月雌性的性体指数月变化。建立体长和性体指数的散点图,显示(图 1): 4 月大部分雌性的性体指数较低,平均值为 7.76 ± 2.68 (4 月, $n=26$); 5、6 月份很多雌性的性体指数很高,平均值达到最高,分别为 16.95 ± 6.96 (5 月, $n=34$) 和 17.10 ± 8.34 (6 月, $n=48$); 7 月很多雌性的性体指数变低,平均值为 7.45 ± 3.93 (7 月, $n=11$); 8 月部分雌性的性体指数变高,平均值为 10.06 ± 5.40 (8 月, $n=35$); 9 月很多雌性的性体指数再次变低,平均值为 6.37 ± 5.07 (9 月, $n=26$); 10 月全部雌性的性体指数很低,平均值为 2.13 ± 1.41 (10 月, $n=28$)。

2.2 蟹 4—10 月绝对繁殖力和相对繁殖力的比较

总共分析 81 条雌性性成熟个体的繁殖力,体长 81.4—190.1 mm,体重 8.0—120.0 g (图 2)。绝对繁殖力是 2245—77764 粒,平均值±标准差为 (30116 ± 19390) 粒,以 10000—30000 粒为主;体重相对繁殖力范围是 100—1551 粒/g,平均值±标准差为 (650 ± 324) 粒/g,以 400—800 粒/g 为主(图 3)。

4—10 月每个月的绝对繁殖力和相对繁殖力平

均值如表 1, 协方差分析结果表明每个月之间的绝对繁殖力具有显著差异(表 2), 方差齐性, 多重比较显示 4 和 10 月的绝对繁殖力显著小于其余所有月份 ($P < 0.05$), 6 月的绝对繁殖力显著大于其余所有月份 ($P < 0.05$), 5、7—9 月和 4、10 月的绝对繁殖力无显著差异 ($P > 0.05$)。4 和 10 月的绝对繁殖力和体长、空壳重无显著关系 ($P > 0.05$), 5—9 月绝对繁殖力和体长、空壳重具有显著关系 ($P < 0.05$)。拟合体长和绝对繁殖力关系的线性、幂函数和指数方程式的判别系数相等, AIC 值分别为 1329、1330 和 1332, 三种方程式的拟合结果无显著差异, 选择幂函数方程拟合, 关系式为: $AF = 0.009SL^{3.009}$ ($n=70, r^2=0.56$; 图 4)。拟合空壳重和绝对繁殖力关系的线性、幂函数和指数方程式的判别系数分别为 0.51、0.44 和 0.52, AIC 值分别为 1497、1334 和 1505, 幂函数为最佳拟

合方程, 关系式为: $AF = 1392 CW^{0.833}$ ($n=70, r^2=0.52$; 图 4)。

方差分析结果表明月份之间的相对繁殖力具有显著差异 ($F_{(6, 74)} = 7.95, P < 0.05$), 采用方差不齐性时的两两比较 (Dunnett's T3) 法, 结果显示: 相对繁殖力 4 月显著小于 5 和 6 月 ($P < 0.05$), 10 月显著小于 5—8 月 ($P < 0.05$), 5—9 月的相对繁殖力没有显著差异 ($P > 0.05$)。相对繁殖力和体长、相对繁殖力和空壳重没有显著关系 ($P > 0.05$)。

2.3 蟹的卵径

53 尾蟹成熟卵子的卵径为 0.11—1.13 mm。4 月的卵径频率分布图具有一个峰值, 为 0.30—0.60 mm, 5—10 月份的卵径频率分布图都具有两个高峰值, 第一个高峰值为 0.60—0.80 mm, 第二个高峰值在 5 和 6 月为 0.20—0.50 mm, 在 7—9 月为 0.10—0.40 mm,

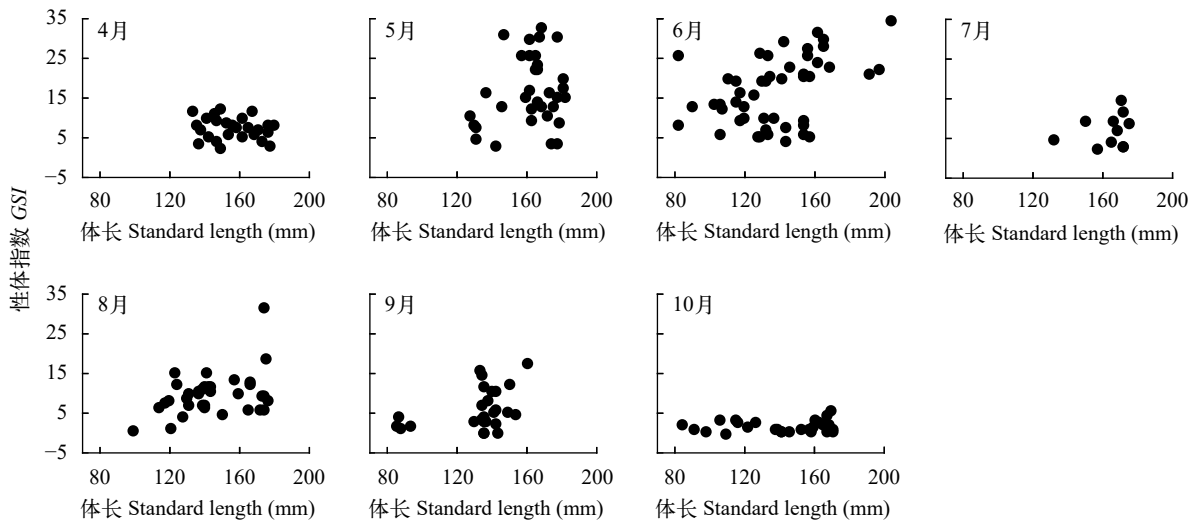


图 1 沅水下游蟹 4—10 月性腺指数 (GSI) 的变化图

Fig. 1 The gonadosomatic index (GSI) of female *Hemiculter leuciscus* collected from April to October in the lower reaches of the Yuanshui River

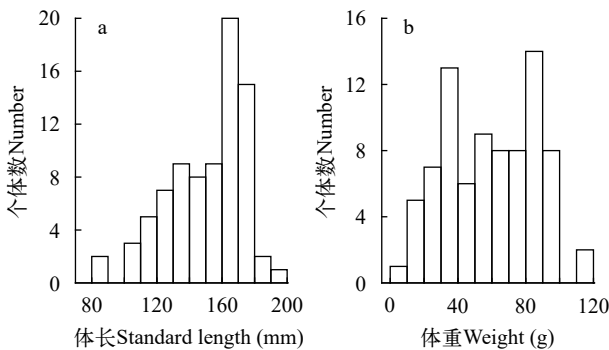


图 2 沅水下游蟹雌性成熟个体体长 (a, mm) 与体重 (b, g) 的频率分布图

Fig. 2 The standard length (a, mm) and body weight (b, g) frequency distributions of matured female *Hemiculter leuciscus* in the lower reaches of the Yuanshui River

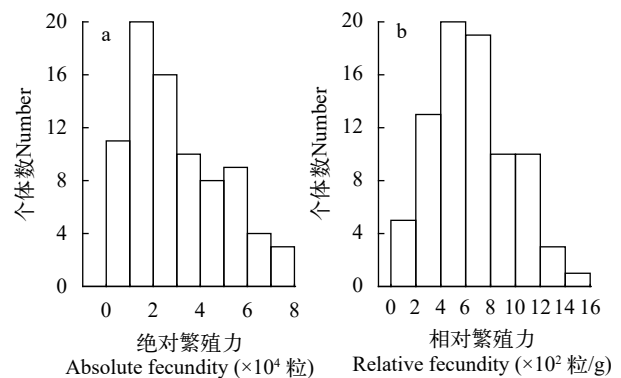


图 3 沅水下游蟹绝对繁殖力 (a) 和相对繁殖力 (b) 的频率分布图
Fig. 3 The absolute fecundity (a) and relative fecundity (b) frequency distributions of *Hemiculter leuciscus* in the lower reaches of the Yuanshui River

表 1 沅水下游蟹4—10月绝对繁殖力、相对繁殖力和成熟卵子卵径的平均值±标准差及月份间的多重比较

Tab. 1 Monthly comparisons of absolute fecundity, relative fecundity, and oocyte diameter of matured eggs and Mean±SD for *Hemiculter leucisculus* collected from April to October in the lower reaches of the Yuanshui River

月份Month	数量N	绝对繁殖力(粒)Absolute fecundity		相对繁殖力(粒/g)Relative fecundity		卵径Oocyte diameter (mm)		
		平均值Mean	标准差SD	平均值Mean	标准差SD	数量N	平均值Mean	标准差SD
4 Apr.	7	15763 ^a	6563	267 ^{ac}	105	7	0.64 ^a	0.04
5 May	18	41238 ^b	14124	677 ^b	247	9	0.71 ^b	0.03
6 Jun.	30	30280 ^c	22799	843 ^b	322	10	0.69 ^{ab}	0.05
7 Jul.	6	34656 ^b	15761	618 ^{ab}	218	6	0.69 ^{ab}	0.04
8 Aug.	11	30576 ^b	19702	585 ^{ab}	245	10	0.68 ^{ab}	0.01
9 Sep.	5	17341 ^b	6576	503 ^{abc}	185	6	0.74 ^b	0.04
10 Oct.	4	11848 ^a	6050	156 ^{ac}	74	4	0.72 ^b	0.02

注: 平均值上标的小写字母表示月份之间比较的结果; 同一列内平均数不同的上标字母表示差异显著, 显著水平 $P=0.05$

Note: Letters attached to the means indicated the results from pairwise comparisons; different superscript letters attached to the means in the same column indicate significant difference at $P=0.05$ level

表 2 沅水下游蟹4—10月绝对繁殖力的协方差分析

Tab. 2 Analysis of covariance (ANCOVA) of relative fecundity of *Hemiculter leucisculus* collected from April to October in the lower reaches of the Yuanshui River

效应Effect	自由度df	均方MS	F	P
月份Month	6	1.643×10^9	14.07	<0.05
体长SL	1	5.007×10^8	4.29	<0.05
空壳重CW	1	7.798×10^8	6.68	<0.05
误差Error	72	1.168×10^8		
总数Total	81			

在10月为0.10—0.30 mm(图 5)。

成熟卵子卵径的平均值为0.60—0.77 mm, 卵径平均值数据满足正态性和方差齐性($P>0.05$), 方差分析显示4—10月的卵径具有显著差异[$F_{(6, 45)}=4.45, P<0.05$], 两两比较(Tukey HSD法)结果显示: 4月的卵径显著小于5、9和10月($P<0.05$), 与6—8月无显著差异($P>0.05$), 5—10月的卵径无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 蟹的卵径频率分布图意义

鱼类的卵径频率分布图已广泛应用于确定鱼类产卵类型和了解卵子补充的过程, 卵径频率分布图具有一个高峰, 表明卵巢内所有卵子都处于同一发育期, 同批同时产出; 具有双峰或多峰, 表明卵巢内存在不同发育阶段的卵子, 在同一批不同时间产出或分批产出^[1, 5, 19]。在本研究中, 蟹的卵径频率分布图具有双峰, 卵径之间连续没有间断, 表明卵巢内同时具有各个时相的卵子; 两个高峰值代表两个主要时相的卵子, 分别在不同批次产出, 卵径最大的第一个高峰值卵子最先产出, 卵径较小的第二高

峰值卵子在下一批次产出^[19, 20]。除了2个高峰值的卵子, 5—10月卵径频率分布图还出现更小的卵子, 可能是刚在卵巢里出现的卵子, 说明在卵巢里一直有新卵子产生, 补充已经排出来的成熟卵子^[1, 6]。

3.2 蟹在繁殖期内繁殖力和卵径的变化及意义

对于不同地理种群鱼类繁殖力和卵径大小差异的研究已有较多报道^[7, 21, 22], 而关于不同繁殖时期繁殖力和卵径大小变化的研究则较少^[23]。蟹在

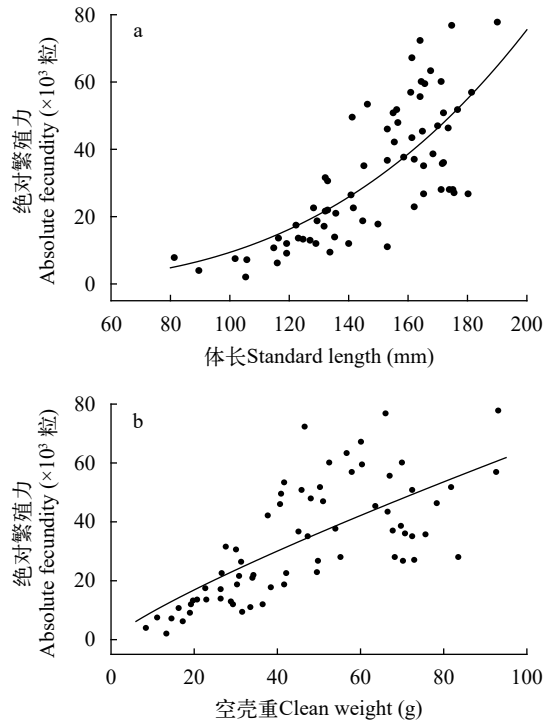


图 4 沅水下游蟹绝对繁殖力与体长(a)和绝对繁殖力与空壳重(b)的关系

Fig. 4 Relationships of absolute fecundity to standard length (a) and clean weight (b) of *Hemiculter leucisculus* in the lower reaches of the Yuanshui River

繁殖期内可产16次卵,不同繁殖时期产的卵代表着不同批次的繁殖力^[8]。本研究分析了鳖在4—10月的分批繁殖力和卵径大小的变化,结果发现4和10月的绝对繁殖力和相对繁殖力均最小,6月的绝对繁殖力最大,其余月份次之,5月和6月的相对繁殖力最高,其余月份次之。卵径频率分布图除了4月有一个高峰值外,其他月份都有两个高峰值,最大高峰为成熟卵子的卵径(0.60—0.80 mm),无显著差异。第二高峰为补充卵子的卵径,在5月和6月最大,然后随着月份逐渐变小,补充卵子的卵径越大,发育到成熟所需的时间越短,距离上一批产卵的时间间隔越短,反之,分批产卵的时间间隔越长^[19]。因此,5和6月的繁殖频率最高,繁殖次数最多,此后,繁殖次数逐渐减少。在鳖的繁殖期内繁殖力和繁殖次数的变化趋势为:繁殖高峰期(5月和6月)的个体繁殖力最高,繁殖次数最多;繁殖中期(7—9月)的个体繁殖力次之,繁殖次数减少;繁殖初期(4月)和末期(10月)的繁殖力最小,末期的繁殖次数最少。由此表明,分批产卵鱼类的分批繁殖力和繁殖次数是随着繁殖期而改变的,这个结果提示在比较不同种群繁殖力时,应该比较同一个繁殖时期内的繁殖力,而在估算一个种群的总繁殖力时,应该分别计算不同繁殖分期的总繁殖力,从而提高结果的准确性。

鱼类的繁殖力决定着种群出生个体的多少,鱼类卵径与孵化时个体大小以及孵化后的存活率相关^[20,24]。在成熟卵子的卵径相似的情况下,繁殖高峰期5月和6月鳖的繁殖个体最多,繁殖力最高,繁殖批次较多,产出来的后代最多;繁殖中期7—9月

鳖的繁殖个体较多,繁殖力较高,但持续的繁殖时间较长,产出来的后代较多;繁殖初期和末期,繁殖个体变少,繁殖力最低,繁殖批次少,产出后代数量少。由此推断,对鳖种群补充贡献最多的是5和6月出生的个体,其次是7—9月,最少的是4和10月出生的个体。类似地,龚望宝等^[22]发现三峡水库太湖新银鱼(*Neosalanx taihuensis* Chen, 1956)有2个群体分别在春天和秋天繁殖,春群的性体指数、繁殖力和卵径都大于秋群,对种群补充贡献也较高。

3.3 不同水系鳖的繁殖力及其与生物学特征的关系

繁殖力和卵径随着栖息地而发生变化已在很多鱼类中被发现^[7,21,23]。在不同水域环境下对鳖的繁殖力和卵径的研究已有广泛报道^[3,4,8,10—15,25—28],我们对不同水系生境及入侵地伊朗鳖的繁殖力进行比较(表3),发现鳖的绝对繁殖力在纬度高的地区普遍大于纬度低的地区。鳖的绝对繁殖力随着体长和体重的增加而增加,纬度高的地区鱼类成熟晚,个体大,可能就导致了纬度高地区的绝对繁殖力较高。鳖的相对繁殖力跟体长和体重的关系不显著,因此可利用相对繁殖力来比较不同地理种群的个体繁殖力。表3显示鳖在水库和湖泊种群的相对繁殖力大于江河种群的相对繁殖力,本研究中沅水种群的相对繁殖力(650±324)粒/g与湖泊和水库种群的相似,这与采样点具有类似湖泊和水库的缓流水或静水生境相关,沅水下游常德江段往上分别被桃源、凌津滩和五强溪等梯级电站阻隔,往下紧连洞庭湖,河流水体主要为缓流水静水。鳖在沅水、桂林和北江的卵径频率分布图具有两个高峰,在东江和汾水库的卵径频率分布图表现为单峰

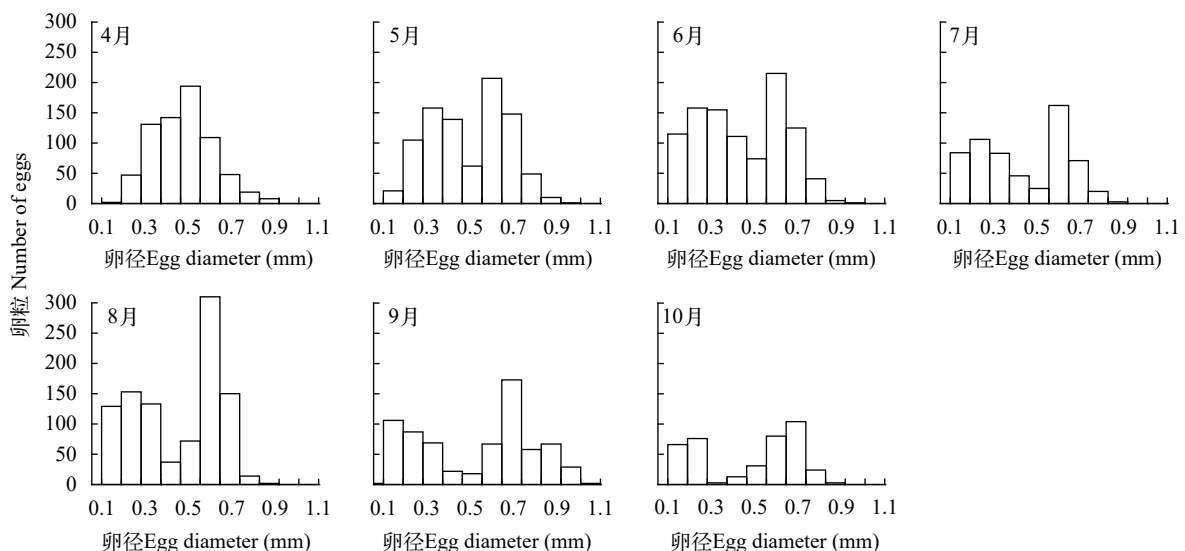


图5 沅水下游鳖4—10月的卵径频率分布图

Fig. 5 Monthly frequency distribution of oocyte diameter of *Hemiculter leucisculus* collected from April to October in the lower reaches of the Yuanshui River

表 3 不同水系蟹的绝对繁殖力(粒)和相对繁殖力(粒/g)比较

Tab. 3 Comparison of absolute fecundity (oocytes) and relative fecundity of *Hemiculter leucisculus* (eggs/g) among rivers and lakes

采样点Site	经纬度Latitude, longitude	时间Date	数量N	绝对繁殖力(粒) Absolute fecundity		相对繁殖力(粒/g) Relative fecundity		参考文献Reference
				范围Range	平均值Mean	范围Range	平均值Mean	
达赉湖, 中国Dalai Lake, China	49°12'N, 119°44'E	6—7	—	3552—16420	9944	—	—	[25]
辽河二龙山水库, 中国Erlongshan Reserve, China	45°43'N, 127°25'E	6—7	15	1342—69312	30317	341—934	668	[14]
清河水库, 中国Qinghe Reserve, China	42°30'N, 124°13'E	5—6	32	8235—164850	30860	32—1433	624	[13]
鸭绿江水丰水库, 中国Shuifeng Reserve, China	40°18'N, 124°17'E	6	44	11428—32100	18632	278—601	456	[4]
汾河水库, 中国Fenhe Reserve, China	38°5'N, 111°53'E	5—7	87	3766—72353	20775	347—1572	788	[10]
白洋淀, 中国Baiyangdian, China	38°50'N, 115°58'E	4—5	16	4486—31534	14995	—	—	[26]
Adji-Gol湖, 伊朗Adji-Gol Lake, Iran	37°25'N, 54°38'E	3—4	18	12040—45085	30266	451—783	654	[27]
Alma-Gol湖, 伊朗Alma-Gol Lake, Iran	37°24'N, 54°40'E	3—4	61	15058—44665	31934	499—823	692	[27]
Ala-Gol湖, 伊朗Ala-Gol Lake, Iran	37°20'N, 54°35'E	3—4	54	14142—48692	31711	462—872	648	[27]
Sefid River, 伊朗Sefid Rive, Iran	36°59'N, 49°34'E	4—8	30	2740—58028	19979	14—1273	607	[28]
洛河洛阳江段, 中国Luoyang in Luohe, China	34°37'N, 112°25'E	4—5	44	1937—39563	8436	110—865	383	[12]
嘉陵江南充江段, 中国Nanchong in Jialingjiang, China	30°49'N, 106°8'E	5—8	15	3780—26928	15699	306—492	378	[15]
洱海, 中国Erhai, China	25°43'N, 100°11'E	6	40	3099—33050	11934	249—826	560	[8]
北江韶关, 中国Shaoguan in Beijiang, China	24°48'N, 113°35'E	4—8	63	3724—85670	20440	106—1226	396	[11]
东江枫树坝水库, 中国Fengshuba Deserve, China	24°27'N, 115°24'E	—	33	3277—18045	8069	201—1040	580	[3]

和多峰, 无论是单峰、双峰或者多峰, 成熟卵子的卵径都在0.60—0.80 mm, 表明不同水系蟹的成熟卵子具有相似的卵径^[3, 9, 10]。以上比较表明, 不同水系蟹的繁殖投入差异主要表现为个体繁殖力的差异。鱼类的个体繁殖力受到摄食和环境条件的影响, 摄食条件好, 环境条件适宜, 鱼类生长快, 投入到繁殖的能量多, 个体繁殖力高^[21, 23]。蟹在湖泊和水库的个体繁殖力相对较高, 主要跟湖泊和水库中饵料丰富, 鱼类营养条件好相关; 而一般河流的营养物质较贫乏, 饵料较少, 鱼类的营养条件较低, 繁殖力就较低^[29, 30]。

鱼类繁殖力通常与体长、体重具有显著的关系, 可用多种数学模型表达, 最常见的拟合模型为线性、幂函数和二项式等方程^[4, 31]。蟹的绝对繁殖力与体长在鸭绿江水系、汾河水库、洱海、北江、嘉陵江呈幂函数关系, 在洛河呈二项式关系,

在伊朗Sefid River、东江枫树坝水库呈线性关系, 本研究发现线性、幂函数是拟合绝对繁殖力和体长关系的最佳方程, 幂函数关系式的参数a和b值跟汾河、嘉陵江和北江种群的值相似, 不同于鸭绿江种群的值^[3, 4, 8, 10, 11, 15, 28]。在本研究中, 幂函数也是拟合绝对繁殖力与体重关系的最佳方程, 鸭绿江、北江和洱海种群的绝对繁殖力和体重也呈幂函数关系, 沅水种群参数a值低于鸭绿江和洱海种群高于北江种群, b值高于鸭绿江种群, 小于北江和洱海种群^[4, 8, 11]。跟洛河和汾水水库的种群一样, 本研究中蟹的相对繁殖力与体长、体重没有显著关系^[10, 12]。

综上所述, 蟹的个体繁殖力和卵径大小随着繁殖时期而改变。繁殖高峰期时, 繁殖力最高, 产卵批次最多; 繁殖中期时, 繁殖力降低, 繁殖次数减少; 繁殖初期和末期时, 繁殖力最低, 繁殖次数最少。这说明不同的繁殖期对种群补充的贡献不同, 暗示

在比较和评估种群繁殖力时需要考虑不同繁殖期的分批繁殖力。个体繁殖力随生境类型变化, 湖泊种群鳖的个体繁殖力高于河流种群, 沅水下游鳖的个体繁殖力跟湖泊种群相似, 这可能是与沅水下游为类似湖泊缓流水或静水生境有关。这些结果揭示了鳖分批繁殖力在繁殖期内的变化规律和个体繁殖力与生境的关系, 对了解鱼类的繁殖特征具有一定的意义, 为渔业资源管理提供了基础数据资料。

参考文献:

- [1] Costa E F S, Dias J F, Murua H. Reproductive strategy and fecundity of the keystone species *Paralichthys brasiliensis* (Teleostei, Sciaenidae): an image processing techniques application [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2015(98): 2093-2108.
- [2] Abdul Kadir S R, Yamin L, Arai T. Fecundity of the tropical catadromous eels *Anguilla bicolor bicolor*, *A. bengalensis bengalensis* and *A. marmorata* [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2017(100): 1643-1648.
- [3] Deng F Y. Study on the fish community characteristics of Dongjiang resource and the comparative biology of *Hemiculter leuciscus* from different areas [D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2013: 24-80 [邓风云. 东江源头区鱼类群落特征及*Hemiculter leuciscus*不同地理区域的比较生物学研究 [D]. 桂林: 广西师范大学, 2013: 24-80]
- [4] Du H. Individual fecundity of *Hemiculter leuciscus* in Yalu River [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2014, 27(6): 30-33. [杜华. 鸭绿江水系(*Hemiculter leuciscus*)的个体繁殖力 [J]. 水产学杂志, 2014, 27(6): 30-33.]
- [5] 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. [曾燊, 熊小琴. 鮡亚科鱼类繁殖生态学研究进展 [J]. 华西师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 111-116.]
- [6] Zudaire I, Murua H, Grande M, et al. Fecundity regulation strategy of the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Western Indian Ocean [J]. *Fisheries Research*, 2013 (138): 80-88.
- [7] 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. [刘玉莹, 曾燊, 熊小琴, 等. 嘉陵江梯级水利工程开发下不同江段蛇鮠的繁殖生物学特性差异及适应 [J]. 淡水渔业, 2019, 49(2): 3-8.]
- [8] Wang T. Age, growth and reproductive biology of invasive fish *Hemiculter leuciscus* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012: 73 [王腾. 洱海外来种鳖的年龄、生长和繁殖生物学 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2012: 73]
- [9] Li Q, Li W J, Zhao J. Histological studies on the gonadal development of *Hemiculter leuciscus* [J]. *Journal of Guangzhou University* (Natural Science Edition), 2009, 8(1): 63-67. [李强, 李伟靖, 赵俊. 鳖(*Hemiculter leuciscus*)性腺发育的组织学研究 [J]. 广州大学学报(自然科学版), 2009, 8(1): 63-67.]
- [10] Xie Z Y, Wu X F, Zhuang L H, et al. Investigations of the biology of *Hemiculter leuciscus* (Basilewsky) in Fenhe Reservoir [J]. *Journal of Shandong Ocean University*, 1986, 16(4): 54-69. [谢宗墉, 吴雄飞, 庄丽禾, 等. 汾河水库鳖条*Hemiculter leuciscus* (Basilewsky)生物学的调查研究 [J]. 山东海洋学院学报, 1986, 16(4): 54-69.]
- [11] Li Q, Lan Z J, Li W J, et al. Study on the individual fecundity of *Hemiculter leuciscus* of Beijiang River in Guangdong Province [J]. *Journal of Guangzhou University* (Natural Science Edition), 2008, 7(4): 55-59. [李强, 蓝昭君, 李伟靖, 等. 广东北江鳖个体生殖力研究 [J]. 广州大学学报(自然科学版), 2008, 7(4): 55-59.]
- [12] Liu F, Liu X H, Yao Y F. Study on the individual fecundity of Luohe carp [J]. *Jiangxi Fisheries Science and Technology*, 2016(6): 14-18. [刘飞, 刘旭昊, 姚鹰飞. 洛河鲮个体生殖力的研究 [J]. 江西水产科技, 2016(6): 14-18.]
- [13] Biao X P, Xie Y H. Population ecology data of *Hemiculter leuciscus* in Qinghe Lake [J]. *Fisheries Science*, 1981(2): 16-20. [朴笑平, 解玉浩. 清河水库鳖(*can*)条鱼的种群生态学资料 [J]. 水产科学, 1981(2): 16-20.]
- [14] Sun Z H. Biological characteristics of *Hemiculter leuciscus* in the Erlongshan Reservoir [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1987, 9(1): 66-69. [孙兆和. 鳖鱼生物学的研究 [J]. 吉林农业大学学报, 1987, 9(1): 66-69.]
- [15] Yang Z J, He X H, Lai C W, et al. Characteristics, age and growth, and gonad development of *Hemiculter leuciscus* [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 1992, 11(1): 38-40. [杨泽均, 何晓红, 等. 鳖的性状、年龄与生长及性腺发育 [J]. 四川动物, 1992, 11(1): 38-40.]
- [16] Liu L G, Yang C Y, Yang P H, et al. Status and diversity of fish resources of Yuanshui River in Hunan Province, China [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(1): 148-158. [刘良国, 杨春英, 杨品红, 等. 湖南境内沅水鱼类资源现状与多样性分析 [J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(1): 148-158.]
- [17] Xiang P, Liu L G, Wang D, et al. Status and history changes of fish resources of Wuqiangxi Reservoir on Yuanshui River in Hunan Province [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2016, 28(2): 379-386. [向鹏, 刘良国, 王冬, 等. 湖南沅水五强溪水库鱼类资源现状及其历史变化 [J]. 湖泊科学, 2016, 28(2): 379-386.]
- [18] Wang T, Huang D, Sun G W, et al. The research progress of fish batch fecundity and spawning frequency [J]. *Journal of Zoology*, 2013, 48(1): 143-149. [王腾, 黄丹, 孙广文, 等. 鱼类分批繁殖力和繁殖频率的研究进展 [J]. 动物学杂志, 2013, 48(1): 143-149.]

- [19] Ganas K, Lowerre-Barbieri S. Oocyte recruitment and fecundity type in fishes: Refining terms to reflect underlying processes and drivers [J]. *Fish and Fisheries*, 2018, **19**(1): 562-572.
- [20] Costa E F S, Dias J F, Murua H. Fecundity of fishes inhabiting coastal and estuarine environments in the south-west Atlantic Ocean [J]. *Marine Biology Research*, 2016 (12): 304-315.
- [21] Yan Y Z, Chen Y F. Plasticity in reproductive tactics of *Ctenogobius Guirinus* in Lake Fuxian [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 2007, **31**(3): 414-418. [严云志, 陈毅峰. 抚仙湖子陵吻鰕虎鱼繁殖策略的可塑性研究 [J]. 水生生物学报, 2007, **31**(3): 414-418.]
- [22] Gong W B, Wu L, Cheng F, *et al.* A comparative study on reproductive characteristics of the spring and autumn spawning stocks of *Neosalanx taihuensis* Chen in the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 2010, **34**(5): 1065-1068. [龚望宝, 吴朗, 程飞, 等. 三峡水库太湖新银鱼春季和秋季繁殖群体的繁殖生物学特征比较 [J]. 水生生物学报, 2010, **34**(5): 1065-1068.]
- [23] Döring J, Hauss H, Haslob H. Spatial and seasonal variability in reproductive investment of Baltic sprat [J]. *Fisheries Research*, 2018(204): 49-60.
- [24] Closs G P, Hicks A S, Jellyman P G. Life histories of closely related amphidromous and non-migratory fish species: a trade-off between egg size and fecundity [J]. *Freshwater Biology*, 2013(58): 1162-1177.
- [25] Li B L, Wang Y T. The biology of *Hemiculter leuciscus* in Dalai Lake [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 1995, **8**(2): 46-48. [李宝林, 王玉亭. 达赉湖的鲢条鱼生物学 [J]. 水产学杂志, 1995, **8**(2): 46-48.]
- [26] Cao Y P, Wen Z G. The biology of *Hemiculter leuciscus* in Bai Yangdian Lake [J]. *Journal of Hebei University* (Natural Science Edition), 1996, **16**(3): 27-30. [曹玉萍, 温振刚. 白洋淀白鲢鱼的生物学研究 [J]. 河北大学学报(自然科学版), 1996, **16**(3): 27-30.]
- [27] Patimar R, Abdoli A, Kiabi B H. Biological characteristics of the introduced sawbelly, *Hemiculter leuciscus* (Basilewski, 1855), in three wetlands of northern Iran: Alma-Gol, Adji-Gol and Ala-Gol [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2008(24): 617-620.
- [28] Mousavi-Sabet H, Heidari A, Salehi M. Reproductive biology of the invasive sharpbelly, *Hemiculter leuciscus* (Basilewski, 1855), from the southern Caspian Sea basin [J]. *Iranian Journal of Ichthyology*, 2019, **6**(1): 31-40.
- [29] Huang Y F, Duan G Q, Peng L P. Reviews on the resource status and biological characteristics of *Culter alburnus* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2019, **47**(19): 10-13. [黄艳飞, 段国旗, 彭林平. 翘嘴鲌的资源现状和生物学特征 [J]. 安徽农业科学, 2019, **47**(19): 10-13.]
- [30] Liao C, Chen S, Guo Z, *et al.* Species-specific variations in reproductive traits of three yellow catfish species (*Pelteobagrus* spp.) in relation to habitats in the Three Gorges Reservoir, China [J]. *PLoS One*, 2018(13): e0199990.
- [31] Wang Y D, Xiong B X, Ma X F, *et al.* Fecundity of *Culter dabryi* in Daoguanhe reservoir, Wuhan, China [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, **38**(2): 180-186. [王银东, 熊邦喜, 马徐发, 等. 湖北道观河水库青梢鲌(*Culter dabryi*)的个体生殖力 [J]. 海洋与湖沼, 2007, **38**(2): 180-186.]

CHARACTERISTICS OF FECUNDITY AND OOCYTE DIAMETER OF *HEMICULTER LEUCISCULUS* DURING THE SPAWNING SEASON IN THE LOWER REACHES OF THE YUANSHUI RIVER IN HUNAN PROVINCE

HUANG Yan-Fei^{1,2,3}, PENG Lin-Ping¹, CHEN Li-Yuan¹, ZENG Hui-Lin¹ and LIU Liang-Guo^{1,2,3}

(1. College of Life and Environmental Sciences, Hunan University of Arts and Sciences, Changde 415000, China; 2. Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Changde 415000, China; 3. Key Laboratory of Health Aquaculture and Product Processing in Dongting Lake Area of Hunan Province, Changde 415000, China)

Abstract: The fecundity of fish and oocyte diameter are two important indicators of the reproductive potential of population. However, little is known about the temporal changes of fecundity and oocyte diameter during the spawning season. A total of 180 *Hemiculter leuciscus* individuals were collected monthly from April to October in the lower reaches of the Yuanshui River, 81 of which were matured female and their fecundity and oocyte diameter were analyzed. The results showed that the Gonadosomatic index (*GSI*) was the highest in May and June, intermediate in July, August and September, and the lowest in April and October. The average absolute fecundity (*AF*) was (30116±19390)

oocytes, with a peak at 10000—30000 oocytes. The average relative fecundity (RF) was (650 ± 324) eggs/g, with a peak at 400—800 eggs/g. The relationships of AF to standard length (SL) and AF to clear weight (CW) were as follows: $AF = 0.009SL^{3.009}$ ($r^2=0.56$) and $AF = 1392 CW^{0.833}$ ($r^2=0.52$) respectively. AF and RF were the highest in May and June, intermediate in July, August and September, and the lowest in April and October. The diameter of mature egg was not significantly different among months. The diameter of recruited egg was the largest in May and June, indicating the highest reproductive frequency. The result documented that batch fecundity and reproductive frequency changed with spawning periods, from which larvae make different contributions to population recruitment. Also, the temporal variations of batch fecundity offer important guidance in assessing reproductive potential of population. Fecundity of *H. leucisculus* showed spatial variations among habitats, and was higher for populations at lakes and reservoirs than in rivers. The fecundity in the Yuanshui River was similar to lakes and reservoirs, and it is a slow-flowing and lenticular habitats. The study revealed reproductive characteristics of *H. leucisculus*, which provides essential data bases for fishery management of this species.

Key words: *Hemiculter leucisculus*; Fecundity; Spawning period; Egg diameter; Dongting Lake

《水生生物学报》编辑委员会

EDITORIAL BOARD OF ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA

主 编	桂建芳 (院 士)				
副主编	缪 炜 (研究员)	解绶启 (研究员)			
水生生物多样性与资源					
责任编辑	毕永红 (研究员)	刘焕章 (研究员)			
委 员	陈宜瑜 (院 士)	曹文宣 (院 士)	陈毅峰 (研究员)	陈勇生 (教 授)	
	何舜平 (研究员)	Martin Reichard	宋立荣 (研究员)	王克雄 (研究员)	
	吴小平 (教 授)	徐旭东 (研究员)	张承才 (研究员)	朱新平 (研究员)	
	庄 平 (研究员)				
水生态与环境					
责任编辑	王洪铸 (研究员)	周巧红 (研究员)			
委 员	唐启升 (院 士)	Annette Janssen	陈宇顺 (研究员)	韩博平 (教 授)	
	黄邦钦 (教 授)	刘家寿 (研究员)	Ralf Aben	吴辰熙 (研究员)	
	吴庆龙 (研究员)	吴振斌 (研究员)	谢 平 (研究员)	杨 军 (研究员)	
	张 黎 (研究员)	赵亚乾 (教 授)	周炳升 (研究员)	周集中 (教 授)	
渔业与生物技术					
责任编辑	肖武汉 (研究员)	周 莉 (研究员)			
委 员	麦康森 (院 士)	包振民 (院 士)	刘少军 (院 士)	艾庆辉 (教 授)	
	段存明 (教 授)	葛 伟 (教 授)	何建国 (教 授)	胡 炜 (研究员)	
	李创举 (研究员)	李富花 (研究员)	鲁义善 (教 授)	梅 洁 (教 授)	
	聂 品 (研究员)	秦启伟 (教 授)	石连玉 (研究员)	宋林生 (教 授)	
	徐 跑 (研究员)	殷 战 (研究员)	张永安 (教 授)	周志刚 (研究员)	
	邹 钧 (教 授)				
编辑部	杜新征 (副编审)	余 茜 (编 辑)	叶文娟 (编 辑)		