

## 抚仙湖子陵吻鮡虎鱼繁殖策略的可塑性研究

严云志<sup>1,2</sup> 陈毅峰<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 通过比较子陵吻鮡虎鱼的一个入侵种群(抚仙湖)和两个原产种群(巢湖和洞庭湖)的繁殖策略的异同, 研究了该物种在被引入抚仙湖后所作出的繁殖策略上的变化。入侵种群的产卵时间为 7—10 月份, 产卵持续时间长达 4 个月; 而两个原产种群的产卵时间均为 7—9 月份, 产卵持续时间达 3 个月。三个种群的个体相对繁殖力分别为  $2826.5 \pm 827.4$  (抚)、 $3657.9 \pm 366.5$  (巢) 和  $3592.2 \pm 1160.5$  (洞) 粒/g, 两个原产种群之间无显著差异 ( $p > 0.05$ ), 而入侵种群的相对繁殖力显著下降 ( $p < 0.05$ )。另外, 入侵种群的月平均成熟系数最大值较两个原产种群出现明显下降。本文结合入侵地和两个原产地的水温年变化和营养状况差异对研究结果进行了分析和讨论。

**关键词** 抚仙湖; 子陵吻鮡虎鱼; 外来种; 繁殖策略; 可塑性

**中图分类号**: S931.5 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-3207(2007)03-0414-05

抚仙湖(N 24°21′—24°38′, E 102°49′—102°57′)是云南高原湖群中的一个断陷型湖泊, 湖泊面积 211 km<sup>2</sup>, 最大水深为 155 m, 水面海拔为 1721 m; 形成于上新世早期的喜马拉雅运动, 经历更新世古水系的变迁和全新世以来的新构造运动, 湖盆发育大致经历了浅湖期—大湖期—深湖期三个阶段。随着山体断陷和湖面下沉, 水体逐渐封闭演化成为现代高原贫营养型的深水湖泊<sup>[1]</sup>。自 20 世纪中期以来, 为提高当地的渔产量, 云南高原湖泊曾被多次从我国长江、珠江等水系多次引入一些外来经济鱼类, 如四大家鱼、鲤鱼和太湖新银鱼等。在引种的过程中, 众多小型鱼类也被带入云南高原湖泊, 如棒花鱼(*Abbottina rivularis* Basilewsky)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva* Temminck et Schlegel)和子陵吻鮡虎鱼(*Ctenogobius giurinus* Rutter)等。这些小型鱼类原为我国的广布型鱼类, 广泛分布于我国除青藏高原和云贵高原外的其他各大地区。而目前, 这些小型鱼类已遍布于滇池、洱海、抚仙湖等湖泊, 并对当地土著鱼类构成了严重危害<sup>[2]</sup>。

作为我国的一个高原深水湖泊, 抚仙湖的环境特征与我国长江中下游平原湖泊存在着众多差异, 如营养水平、水温年变化特征、物种组成

等<sup>[2, 3]</sup>。而鱼类的繁殖特征是其内在的繁殖特性与外来的环境条件的产物, 鱼类的不同地理种群常随着所处环境的变化而表现出非常高的繁殖特征的可塑性<sup>[4, 5]</sup>。

本文通过对一个入侵地(抚仙湖)和两个原产地(巢湖和洞庭湖)中子陵吻鮡虎鱼的繁殖特征进行对比研究, 并结合入侵地与原产地的环境差异, 分析了子陵吻鮡虎鱼入侵到抚仙湖后所作出的繁殖特征上的可塑性反应, 以期对生物入侵中的物种进化研究提供基础资料。

### 1 材料与方法

**1.1 标本采集与处理** 抚仙湖中子陵吻鮡虎鱼标本的采集时间为 2003 年 2 月—2004 年 1 月, 采集地点为明星和禄充, 标本共计 447 尾; 巢湖和洞庭湖中的鱼类标本采集时间均为 2003 年 10 月—2004 年 9 月, 采集地点分别为巢湖市西坝口和岳阳市六门闸, 标本分别计 360 和 341 尾。所有标本采集均为全年逐月进行, 采集工具为虾笼, 即一种用以捕获虾类及沿岸浅水区生活的小型鱼类的渔具。

采集标本在新鲜状态下进行常规生物学处理, 包括测量全长(TL)(精度 0.01 mm), 称量体重(TW)

收稿日期: 2006-10-25; 修订日期: 2007-03-06

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-SW-13-04); 国家重点基础研究发展计划(2003CB415103); 安徽省教育厅自然科学基金(2006kj 217)资助

作者简介: 严云志(1976—), 男, 汉族, 安徽安庆人; 硕士; 研究方向为入侵生物学。现于安徽师范大学从事教学和科研工作

通讯作者: 陈毅峰, E-mail: chenyp@ihb.ac.cn

和空壳重(SW)(精度 0.1 g);取出性腺,肉眼直接观察以判定性别和性腺时期,性腺时期的判定主要参照 Bariche(2003)的方法<sup>[6]</sup>,并称量新鲜性腺重(精度 0.005 g);处理后的标本和成熟卵巢用 8.0% 的福尔马林溶液固定。

**1.2 繁殖力统计** 子陵吻鮡虎鱼为不分批产卵鱼类,其同一成熟卵巢中仅存在同一时相的卵粒,其繁殖力统计是对成熟卵巢中成熟卵粒进行计数。固定后的成熟卵巢再次称重,并于卵巢中部位置取出 0.05 g 左右的小块,称重后于培养皿中以自来水浸泡数小时,最后在 Leica GZ6 解剖镜下进行卵粒数统计。绝对繁殖力 = 取样小块的卵粒数 × 固定后成熟卵巢重 / 取样重,相对繁殖力 = 绝对繁殖力 / 新鲜标本空壳重。

**1.3 数据统计** 运用单因子方差分析方法(Break-down & One-way ANOVA)对不同湖泊中子陵吻鮡虎鱼的繁殖力差异进行检验;若存在差异,再以 Duncan's test 对各组平均值进行比较,以检验其差异显著性。当  $p < 0.05$  时,认为差异达到显著;当  $p > 0.05$  时,认为差异未达到显著。

2 结 果

2.1 性腺时期划分

参照 Bariche(2003)的鱼类性腺分期方法<sup>[6]</sup>,根据子陵吻鮡虎鱼性腺的颜色、形状、大小和血管特征等,可将其性腺发育划分为五个时期,分别代表的是未发育期、发育期、成熟期、产卵或排精期和退化期(表 1)。

表 1 子陵吻鮡虎鱼性腺发育时期的划分依据

Tab. 1 Criteria for macroscopically discriminating the different stages of gonadal development of *Ctenogobius giurinus*

性腺时期 Gonadal Stage	形态特征 Morphological Traits
雌性 Female	期 肉眼难以直接判定性别,性腺呈透明的细线状
	期 卵巢可见,呈白色或浅黄色;卵粒细小;尚无血管出现
	期 卵巢膨大,约占据体腔 1/5 的空间,淡黄色;卵粒较饱满,与卵巢不分离,挤压腹部时不能从泄殖孔中流出;血管开始出现
	期 卵巢进一步增大,约占据体腔 1/3 空间,淡黄色或深黄色,卵粒饱满,呈游离态,挤压腹部时能从泄殖孔中流出
	期 卵巢淡黄色,体积明显减小、收缩,但其中尚有卵粒;血管逐渐消褪
雄性 Male	期 精巢可见,蛋青色并附有铁锈斑点,呈棒状;尚无血管出现
	期 精巢增大,浅白色,铁锈斑点逐渐消失,棒状;血管始有出现
	期 精巢进一步增大,乳白色,扁平状;血管出现但不发达;挤压鱼体腹部,乳白色精液能从泄殖孔中流出
	期 精巢体积明显减小、皱缩,其中仍含有少量乳白色精液

2.2 繁殖时间

通过研究抚仙湖、巢湖和洞庭湖中子陵吻鮡虎鱼性腺发育的逐月变化情况来确定它们繁殖时间,结果表明了三个湖泊中子陵吻鮡虎鱼的繁殖活动主要发生在秋季。对不同湖泊中子陵吻鮡虎鱼在 6—11 月份的性腺发育情况以及各期性腺个体在当月渔获物中的比例进行了比较(表 2),结果显示出三个湖泊中的子陵吻鮡虎鱼的 期性腺都是于 7 月份开始出现,反映了它们同在 7 月份开始产卵。但抚仙湖在 10 月份仍存在性腺处于 期的个体,直至 11 月份才消失,这反应了抚仙湖中的子陵吻鮡虎鱼的产卵周期为 7—10 月份,其产卵持续时间长达 4 个月;而巢湖和洞庭湖中的所有个体均于 10 月份即停止产卵,它们的产卵周期均为 7—9 月份,其持续时间均为 3 个月。另外,抚仙湖中的子陵吻鮡虎鱼在整个产卵期间,其性腺处于 期的个体在当月渔获

物中所占的比例较低,均低于 20%;而 8 月份巢湖和洞庭湖中的性腺处于 的个体在当月渔获物所占比例接近或达到 50%,明显超过抚仙湖中的产卵群体,这可能反映了子陵吻鮡虎鱼在巢湖和洞庭湖中存在一个产卵高峰期(8 月份),而在抚仙湖中却没有表现出该现象。研究结果表明,子陵吻鮡虎鱼在入侵到抚仙湖后作出了产卵持续时间的明显延长,以及产卵高峰期的消失。

2.3 繁殖力

分别对三个湖泊中不同个体大小(TL 39.49—101.28mm, TW 0.5—11.4g)的子陵吻鮡虎鱼的成熟卵巢进行卵粒计数,发现抚仙湖(样本量 58)、巢湖(样本量 35)和洞庭湖(样本量 40)中子陵吻鮡虎鱼的个体绝对繁殖力平均值分别为  $5516 \pm 1470$ (平均值 ± 标准差)、 $2667 \pm 514$  和  $7567 \pm 3254$  粒,最大值分别为 8282、3236 和 14229 粒,最小值分别为 3231、

表 2 三个湖泊中子陵吻鮠虎鱼在 6—11 月份各期性腺的个体在当月渔获物中的比例 (%)

Tab. 2 Percentage (%) of individuals at different stages to monthly fish catching of *C. giurinus* from June to November in three lakes

湖泊 Lakes	性腺时期 Gonad Stage	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November
抚仙湖 Lake Fuxian	期	0	0	16.7	24.2	26.7	76.7
	期	65.6	31.0	0	6.1	10.0	23.3
	期	34.4	21.4	30.0	21.2	0	0
	期	0	16.6	16.7	18.2	13.3	0
巢湖 Lake Chao	期	0	31.0	36.7	30.3	50.0	0
	期	0	0	0	13.3	53.3	73.3
	期	33.3	0	0	0	46.7	26.7
	期	66.7	73.3	46.7	0	0	0
洞庭湖 Lake Dongting	期	0	20.0	43.3	16.7	0	0
	期	0	0	10.0	33.3	0	0
	期	0	0	16.7	26.7	56.7	53.3
	期	20.0	2.9	0	0	30.0	46.7
	期	80.0	57.1	23.3	0	0	0
	期	0	25.7	50.0	20.0	0	0
	期	0	14.3	10.0	53.3	13.3	0

1810 和 1488 粒;它们的个体相对繁殖力平均值分别为  $2826.5 \pm 827.4$  (平均值  $\pm$  标准差)、 $3657.9 \pm 366.5$  和  $3592.2 \pm 1160.5$  粒/g, 最大值分别为 4589.3、4112.9 和 5653.9 粒/g, 最小值分别为 1283.6、3113.9 和 1224.6 粒/g。就绝对繁殖力而言,三个湖泊中的个体存在差异,巢湖中的最低,洞庭湖中的最高,而抚仙湖中的居中;就相对繁殖力而言,巢湖和洞庭湖中的接近,而抚仙湖中的明显偏低。考虑到鱼类个体绝对繁殖力大小会受到个体大小的影响,仅对三个湖泊中子陵吻鮠虎鱼的相对繁殖力大小进行了差异显著性检验,结果发现:抚仙湖子陵吻鮠虎鱼的相对繁殖力显著低于巢湖和洞庭湖 ( $p < 0.05$ ),而巢湖

和洞庭湖中的个体则无显著差异 ( $p > 0.05$ )。研究表明,子陵吻鮠虎鱼在入侵地表现出繁殖投入的显著下降。

2.4 成熟系数

抚仙湖、巢湖和洞庭湖中子陵吻鮠虎鱼雌性个体和雄性个体的全年逐月成熟系数的变化情况如图 1 所示。结果显示巢湖和洞庭湖中雌性个体的成熟系数变化相似,都是于 5 月份开始急剧上升,并于 8 月份达到最高峰。而抚仙湖中的雌性个体的成熟系数变化略有不同,主要表现在其急剧上升是发生在 6 月份,以及在 10 月份的数值明显较高。就三个湖泊中雄性个体的成熟系数变化而言,巢湖和洞庭

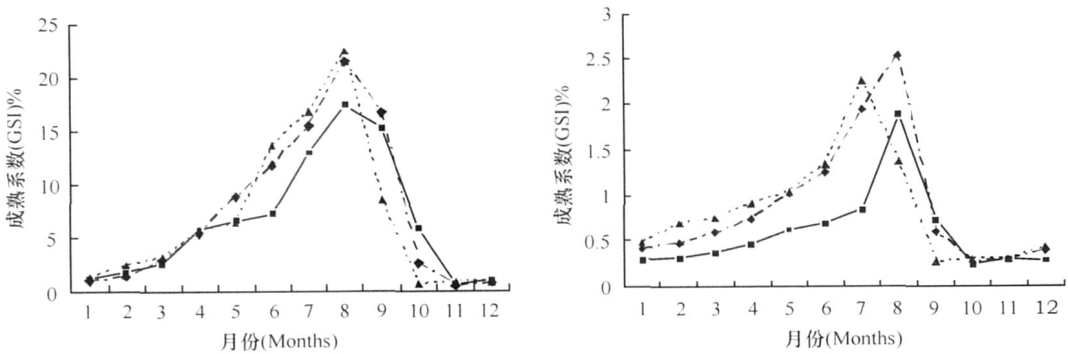


图 1 三个湖泊子陵吻鮠虎鱼雄性个体成熟系数周年变化(左:雌性;右:雄性)

Fig. 1 Yearly changes in GSI of male *C. giurinus* in three lakes (left: female; right: male)

抚仙湖 Lake Fuxian (— ●), 巢湖 Lake Chao (····· ■), 洞庭湖 Lake Dongting (--- ▲)

湖群体都是于 6 月份开始上升,分别于 7、8 月份达峰值;而抚仙湖群体的成熟系数开始急剧上升的时间也出现了一定的滞后现象(7 月份)。除此以外,抚仙湖中子陵吻鮡虎鱼的雌、雄个体的最大成熟都较巢湖和洞庭湖的低。研究结果表明,入侵地子陵吻鮡虎鱼的成熟系数周年变化与两个原产地具有一定差异:性腺进入成熟阶段的时间明显滞后、产卵和排精的结束时间同样滞后以及最大成熟系数的下降。

### 3 讨 论

鱼类的繁殖特征是其内源性繁殖周期和外源性环境条件相结合的产物;随着环境条件的变化(如温度、光周期、营养状况等),鱼类不同地理种群常表现出繁殖时间、繁殖力和初次性成熟等方面的差异<sup>[5, 7]</sup>。

影响真骨鱼类繁殖时间的环境因子可分为预报、同步和终结三种信号,分别与鱼类繁殖活动启动、产卵活动开始和繁殖活动结束紧密相关。环境条件的变化,则意味着这三种信号来临时间的变化,从而造成不同地理种群在繁殖时间上的不同<sup>[8, 9]</sup>。在众多影响鱼类繁殖时间的环境因子中,温度和营养是两个十分重要的因子。通过对鱼体内分泌活动的影响,低温常导致温带鱼类繁殖时间的延迟<sup>[10]</sup>;鱼类的产卵时间也与幼鱼孵化时的食物有效性有关,食物不足会导致鱼类持续时间的明显延长<sup>[11, 12]</sup>。

作为一个高原深水湖泊,抚仙湖的水温年变化较小,表现为冬季水温相对较高(12.7)、夏季水温相对较低(22.4);而洞庭湖和巢湖分别处长江中、下游地段,为典型的浅水湖泊,其水温年变化较大,冬季最低水温达 4.0 甚至更低,而夏季最高水温可接近 30.0。另外,抚仙湖的年最高水温在 8 月份,较巢湖和洞庭湖的(7 月份)相对滞后<sup>[2, 3]</sup>。子陵吻鮡虎鱼入侵到抚仙湖后作出了繁殖活动结束时间上的滞后现象,这是对抚仙湖中夏季水温相对较低且最高峰值相对延迟所作出的适应性响应。另外,抚仙湖的另一个主要水文特征为贫营养,其水体营养显著低于巢湖和洞庭湖<sup>[3]</sup>。抚仙湖中多数土著鱼类都具有一个共同的繁殖特点,即较长的繁殖持续时间,该特点是抚仙湖土著鱼类对湖泊贫营养的适应<sup>[2]</sup>。因此,抚仙湖子陵吻鮡虎鱼所表现出的繁殖持续时间明显延长和产卵高峰期的消失现象是其对水体贫营养胁迫所作出的一种适应性

响应,以增大其后代获得有效资源并存活几率。

鱼类的个体繁殖力体现的是物种或种群对环境变动的适应特征,直接影响种群的补充和增殖,其变化能反映出环境的影响和种群的适应能力<sup>[4]</sup>。所有影响鱼类繁殖力的环境因子中,营养条件往往是首要的:食物不足会通过增加竞争来构成巨大压力,并导致鱼体内分泌活动出现变化而降低繁殖力<sup>[4, 13]</sup>。另外,水温不适也会导致鱼类繁殖力下降<sup>[7]</sup>。抚仙湖中子陵吻鮡虎鱼的繁殖力下降和成熟系数降低现象是它对抚仙湖水体贫营养的适应结果,也是对抚仙湖中夏季水温偏低的适应性响应。

根据“天敌释放假说”,入侵地中的外来种常由于其天敌的缺乏而表现出生长加速和繁殖投入增大现象<sup>[14-16]</sup>。但本研究结果中子陵吻鮡虎鱼在入侵地的繁殖力变化趋势却相反,这可能是由于抚仙湖中非生物环境因子在决定其繁殖力变化上较生物环境因子起到了决定性的作用。

### 参考文献:

- [1] Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Science. Lake Fuxian [M]. Beijing: Ocean Press. 1990 [中国科学院南京地理与湖泊研究所. 抚仙湖. 北京: 海洋出版社. 1990]
- [2] Yang J X, Chen Y R. The biology and resource utilization of the fishes of Fuxian Lake [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1995, 160—173 [杨君兴, 陈银瑞. 抚仙湖鱼类生物学与资源利用. 昆明: 云南科技出版社. 1995, 160—173]
- [3] Wang S M, Dou H S. Lakes in China [M]. Beijing: Science Press. 1998 [王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社. 1998]
- [4] Wootton R J. Ecology of teleost fishes. Fish and fisheries Ser 1 [M]. London & New York: Chapman and Hall. 1990
- [5] Roff D A. The evolution of life histories: theory and analysis [M]. New York: Chapman & Hall. 1992
- [6] Bariche M, Harmelin-Vivien M, Quignard J P. Reproductive cycles and spawning periods of two Lessepsian siganid fishes on the Lebanese coast [J]. *Journal of Fish Biology*, 2003, **62**: 129—142
- [7] Yin M C. Ecology of fishes [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press. 1993, 105—131 [殷名称. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社. 1993, 105—131]
- [8] Munro A D. General introduction [A]. In: Munro A D, Scott A P, Lam T J (Eds.), Reproductive seasonality in teleosts: environmental influences [C]. Florida, Boca Raton: CRC Press. 1990, 1—12
- [9] Huber M, Bengtson D A. Effects of photoperiod and temperature on the regulation of the onset of maturation in the estuarine fish *Menidia beryllina* (Cope) (Atherinidae) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1999, **240**: 285—302
- [10] Wieland K, Jarre-Teichmann A, Horbowa K. Changes in the timing of spawning of Baltic cod: possible causes and implications for recruitment [J]. *ICES J. Mar. Sci.*, 2000, **57**: 452—464
- [11] Lambert T C, Ware D M. Reproductive strategies of demersal and

- pelagic fish [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 1984, **41**:1565—1569
- [12] Cushing D H. Plankton production and year-class strength in fish populations and update of the match mismatch hypothesis [A]. In: Blaxter J H S, Southward A J (Eds.), *Advances in Marine Biology* [C]. London: Academic Press, 1990, **26**:250—293
- [13] Bagenal T B. Aspects of fish fecundity [A]. In: Gerking S D (Ed.), *Ecology of fresh water fish production* [C]. New York: Halsted Press, 1978, 75—101
- [14] Blossey B, Notzold R. Evolution of increased competitive ability in invasive nonindigenous plants: a hypothesis [J]. *Journal of Ecology*, 1995, **83**:887—889
- [15] Torchin M E, Lafferty K D, Dobson A P, McKenzie V J, Kuris A M. Introduced species and their missing parasites [J]. *Nature*, 2003, **421**:628—630
- [16] Blair A C, Wolf L M. The evolution of an invasive plant: an experimental study with *Silene latifolia* [J]. *Ecology*, 2004, **85**:3035—3042

## PLASTICITY IN REPRODUCTIVE TACTICS OF CTENOGOBIOUS GIURINUS IN LAKE FUXIAN

YAN Yur-Zhi<sup>1, 2</sup> and CHEN Yi-Feng<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**Abstract** Biological invasions have caused the severe decrease of global bio-diversity and the destruction of global eco-system. However, these events also offer new opportunities for species to evolve following with the alteration of select press. In this paper, the reproductive tactics of *Ctenogobius giurinus* in an invaded area, Lake Fuxian, and two original areas, Lake Chao and Dongting, were compared to investigate the changes associated with its invading to plateau lakes. A total of 447, 360 and 341 specimens were studied from Lake Fuxian (from February 2003 to January 2004), Lake Chao and Dongting (both from October 2003 to September 2004). Results showed that *C. giurinus* in Lake Fuxian spawned from July to October, with the breeding duration of 4 months. But those in Lake Chao and Dongting both spawned from July to August, their breeding duration being only 3 months. With the decrease in percentage of spawning individuals during breeding season, the invasive population of *C. giurinus* experienced the loss of concentrative spawning phenomenon which was a common trait of the two original populations. The mean individual fecundities of *C. giurinus* were  $5516 \pm 1470$  g (Mean  $\pm$  SD) in Lake Fuxian,  $2667 \pm 514$  g in Lake Chao and  $7567 \pm 3254$  g in Lake Dongting respectively. And their mean relative fecundities were  $2826.5 \pm 827.4$ ,  $3657.9 \pm 366.5$  and  $3592.2 \pm 1160.5$  granule/g respectively. For the relative fecundity, those of the two original populations were quite similar, and they were significantly higher than that of the invasive population, which suggested the decrease in reproductive investment of *C. giurinus* in Lake Fuxian. Compared with those of the original populations, the change in gonado-somatic index of *C. giurinus* in Lake Fuxian was characterized with the delay of the maturing of gonad and the terminating of spawning or sperm expelling. All the changes were analyzed with the water temperature, nutrient status and the release of natural enemy in the invaded area, Lake Fuxian.

**Key words** Lake Fuxian; *Ctenogobius giurinus*; Alien species; Reproductive tactics; Plasticity