

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00384

## 摄食水平对不同性别食蚊鱼仔幼鱼生长发育的影响

曾祥玲 林小涛 刘毅

(暨南大学水生生物研究所, 热带亚热带水生生态工程教育部工程研究中心, 广州 510632)

**摘要:** 在实验室 27℃ 水温下, 研究了少食、中食和饱食三个摄食水平对 0 至 25 日龄雌雄食蚊鱼(*Gambusia affinis*)的生长发育特征和饵料利用效率的影响。26d 饲养实验结束后, 对试验鱼摄食和生长指标、臀鳍分化、性成熟及饵料转换效率进行分析。结果显示: 到臀鳍开始分化时, 饱食组雄鱼的累计摄食总能量和生长速度开始小于雌鱼, 且随日龄的增加差异加大; 随摄食水平的提高, 0 日龄仔鱼到臀鳍分化和性成熟的时间缩短。至实验结束, 各摄食组的雄鱼均形成发育完善的生殖足, 性腺都达到成熟状态; 而雌鱼性成熟迟于雄鱼, 且其性成熟更易受到摄食水平的影响, 饱食组只有约 50% 的个体达到性成熟, 少食组的卵母细胞则均处在小生长期。随着摄食水平的提高, 雌雄鱼的体长、体重和干物质特定生长率均呈明显上升趋势, 而干物质饵料转化效率则呈明显下降趋势; 实验结束时, 雌鱼的生长指标和干物质饵料转化率均大于雄鱼。以上结果表明, 伴随臀鳍的分化, 食蚊鱼在摄食、生长、发育、性成熟和应对食物丰度变化上表现出显著的性别差异。

**关键词:** 食蚊鱼; 摄食水平; 生长发育; 臀鳍分化; 生殖足

中图分类号: S965.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2011)03-0384-09

食蚊鱼(*Gambusia affinis*)原产于北美洲<sup>[1]</sup>, 因其捕食蚊子而被许多国家引进<sup>[2-4]</sup>, 现已广泛地分布于热带到温带的各种水体中<sup>[5]</sup>, 成为全球性的入侵物种<sup>[6,7]</sup>。食蚊鱼隶属于鲤形目(Cyprinodon tiformes), 胎鳉科(Poeciliidae), 食蚊鱼属(*Gambusia*), 属于体内受精的卵胎生硬骨鱼类<sup>[6]</sup>。在其幼鱼生长阶段出现臀鳍分化<sup>[8]</sup>, 雄鱼臀鳍到性成熟时发育成完善的生殖足(Gonopodium)<sup>[9]</sup>, 成为明显区别于雌鱼的第一性征, 在这过程中同时完成精子的发生<sup>[10]</sup>。生殖足呈棒状结构, 交配时可将精子送入雌鱼体内<sup>[9-11]</sup>, 受精卵在母体内发育成仔鱼, 产出的 0 日龄仔鱼能自由游动和摄食<sup>[11,12]</sup>。

摄食活动是影响鱼类尤其是早期生活史中仔幼鱼生长、存活和性腺发育的一个重要因素<sup>[9,13]</sup>。有关摄食水平影响鱼类生长发育的报道较多<sup>[8,14-18]</sup>, Shakuntala, *et al.*、Wurtsbaugh, *et al.*分别研究了摄食水平对臀鳍分化前不分性别食蚊鱼仔幼鱼的生长和饵料转换效率的影响<sup>[8,17]</sup>, Vondracek, *et al.*初步报道了

摄食水平对群养初次性成熟雌性食蚊鱼生长和繁殖的影响<sup>[18]</sup>。另一方面, 鱼类雌雄个体在特定的发育阶段往往表现出明显不同的摄食、生长和发育特性<sup>[19,20]</sup>。Shakuntala 比较了摄食水平对成年雌雄食蚊鱼生长和饵料转换效率的影响<sup>[14]</sup>, 发现在各摄食水平下, 雌鱼的生长速度和饵料转化效率都显著高于雄鱼。但是, 有关摄食水平对仔幼鱼阶段不同性别食蚊鱼的生长、臀鳍分化及其后的初次性成熟如何影响尚未见报道。本研究从初产仔鱼开始, 采用单独饲养的方法, 探讨摄食水平对食蚊鱼仔幼鱼不同阶段生长和发育影响的性别差异, 拟为食蚊鱼的生态入侵研究提供基础数据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验鱼

2009 年 10 月采用诱捕法从暨南大学明湖采集怀胎雌性食蚊鱼, 在实验室水族箱中控温(28±0.5)℃驯养, 每天日光灯照明 16h, 光照强度约 500 lx 左右。

收稿日期: 2010-04-26; 修订日期: 2010-12-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(30970555); 国家科技重大专项项目(No. 2009ZX07211-009)资助

作者简介: 曾祥玲(1967—), 女, 四川重庆人; 博士研究生; 主要从事水生动物生态学研究。E-mail: zengxiangling620@126.com

通讯作者: 林小涛, E-mail: tlinxt@jnu.edu.cn

暂养期间投喂活体红虫(*Chironomus* sp.), 定时观察雌鱼腹部的胎斑, 挑出 30 尾大小相近的临产母鱼分别置于玻璃小缸(15 cm×15 cm×10 cm)中单独饲养, 通过水浴加热使水温第 1 天由 28℃缓慢升至 30℃, 第 2 天再缓慢降到 28℃, 促使多尾母鱼在同一天生产足够的仔鱼, 分别收集每尾母鱼生产的各 20—30 尾仔鱼作为实验材料。

### 1.2 实验设计及管理

为测定摄食水平对性征分化前后仔幼鱼的影响, 同时为避免鱼类群养时因个体间食物和空间竞争造成的影响, 本研究采用单尾饲养的方式。参照食蚊鱼仔幼鱼的最适饲养空间<sup>[21]</sup>, 从上述实验材料中挑选 90 尾大小相近的 0 日龄仔鱼, 随机放入 90 个装 200 mL 水体的烧杯中饲养。实验设饱食(任意摄食量)、中食(约 1/2 饱食量)、少食(约 1/4 饱食量)3 个摄食水平, 每组 30 个平行。其中饱食组指每次均为过量投喂, 培育水体中 24h 均有饵料存在即可以任意摄食的实验组。根据预备实验和前一日龄的摄食量确定该日龄饱食组总的饵料投喂量, 由此计算中食和少食组的日投喂量。同时取 20 尾仔鱼作为实验开始时各项生物指标的测量样本。实验至 25 日龄结束, 共 26d, 此间 0 至 19 日龄食蚊鱼投喂活体卤虫(*Artemia salina*)无节幼体, 20 日至 24 日龄投喂冰鲜红虫, 每天投喂两次(9 00 和 21 00), 早上投喂前吸取残饵, 采取逐个计数方法确定投饵量和残饵量, 两者差值为实际摄食量。实验期间投喂的冰鲜红虫和卤虫休眠卵均为同一商家同一批产品, 其中卤虫幼体由其休眠卵(天津丹阳水产科技有限公司生产的海顶牌)孵化 24h(盐度为 25—30, 温度为 25℃—30℃)所得。实验用水为经脱脂棉滤过后曝气 48h 的自来水, 每天换水一次, 在早上投喂前吸取残饵的同时更换 1/2 水量, 温度控制在(27±1)℃, 光照条件与驯养时相同。

### 1.3 分析测试和数据处理

实验期间分别于 6、8、10、14 和 20 日龄当天随机取样, 雌雄分化前各摄食组取 10 尾, 分化后雌雄各 5 尾, 测量体长和湿重(称重用 Sartorius BT2247 电子天平, d=0.1 mg; 体长用 Tricle brand 电子数显卡尺), 在解剖镜下观察并拍摄臀鳍的发育状况, 样鱼测量观察后再放回原烧杯继续饲养。实验结束时(25 日龄)对所有的实验鱼测量体长、体重等指标, 并活体解剖, 取出性腺, 在解剖镜下计数卵巢卵粒量

并判别发育时相, 在显微镜下观察精巢并拍摄精子的发育状态。把解剖的鱼体壳和性腺于 60℃烘干至恒重, 称干重(Sartorius ME5 微量电子天平, d=0.001 mg)。

取适量的卤虫无节幼体和红虫进行烘干、称重, 计算出每只卤虫无节幼体和红虫的平均干重分别为 0.0019 mg 和 0.5100 mg。采用德国产 IKA C4000 型氧弹式热量计测定两者干物质的能值。统计各日龄食蚊鱼平均每个个体摄食卤虫无节幼体和红虫数量, 并换算成能量。

相关计算公式如下:

$$CF(\%) = W_w/L^3 \times 100\%;$$

$$GSI(\%) = (GW_d/W_t) \times 100\%;$$

$$X(\%) = (W_w - W_t)/W_w \times 100\%;$$

$$DWG [mg/(fish \cdot d)] = (W_t - W_0)/T \times 100\%;$$

$$SGR(\%) = (\ln W_t - \ln W_0)/T \times 100\%;$$

$$FCE(\%) = (W_t - W_0/P_t) \times 100\%$$

上式中, *CF*、*GSI*、*X*、*DWG*、*SGR* 和 *FCE* 分别代表食蚊鱼的丰满度系数、性腺系数、鱼体含水率、鱼体日增重、鱼体干物质特定生长率和干物质饵料转换效率; *W<sub>w</sub>*、*GW<sub>d</sub>*、*P<sub>t</sub>* 和 *L* 分别为实验结束时的湿体重(mg)、性腺干重(mg)、累计摄食饵料总干重(mg)和体长(mm); *W<sub>0</sub>*、*W<sub>t</sub>* 分别为实验开始和实验结束时食蚊鱼体的干重(mg); *T* 为实验经历时间(d)。

各组数据用平均值±标准差表示。采用 Excel 2003 对实验数据进行处理和制图; 用 SPSS 15.0 软件对雌雄鱼间摄食总能量和体重随日龄的变化差异进行单因素方差分析(ANOVA)和 LSD 多重比较, 用两因素方差 (ANOVA) 多变量(Multivariate)分析和 LSD 多重比较不同性别不同摄食水平下实验鱼的最终体长、体重、含水率、丰满度、性腺系数、特定生长率和饵料转换系数的差异。

## 2 结果

### 2.1 臀鳍分化和初次性成熟

各组从 0 日龄至 25 日龄饲养成活率: 少食组为 80%, 中食和饱食组均达到 100%。在臀鳍分化后确认少食、中食和饱食组的雌雄性别比例分别为 1.0 0.9、1.0 0.8 和 1.0 0.9。各组臀鳍分化情况(表 1、图 1)。食蚊鱼的臀鳍条共有 10 条, 每条由不同的节数组成, 随个体的生长节数增加, 鳍条变长。饱食组雌雄鱼在第 6 日龄臀鳍开始分化, 在解剖镜下可观察到雄性食蚊鱼第 3 臀鳍条由 10 节组成, 而雌鱼同

一鳍条为 9 节, 雄鱼的第 3、4 和 5 臀鳍条比其他臀鳍条略为伸长, 而雌鱼三者长度相似, 但此时以肉眼较难区分雌雄(图 1A、B); 7—8 日龄, 饱食组雄鱼的 3、4 和 5 臀鳍条延长并突出于其他鳍条之外, 臀鳍变成明显的三角型, 而雌鱼臀鳍外形没有发生明显变化, 肉眼易辨别雌雄(图 1C、D); 9—10 日龄, 饱食组雄鱼臀鳍条进一步延长, 臀鳍末端呈尖细状,

臀鳍整体变成明显的斜三角型; 11—14 日龄, 饱食组雄鱼臀鳍末端延伸呈尖细的短棒状; 至 21 日龄, 饱食组雄鱼 3、4 和 5 臀鳍条末端骨节变态成初具雏型的固着小钩、感受小棘、钝刀片状和锯齿状等结构, 第 3 臀鳍条已由 33 节组成, 该组雄鱼生殖足接近完全形成(图 1E), 并且可以向前后扬起。中食组和少食组的臀鳍分别在 8 日龄和 15 日龄开始分化,

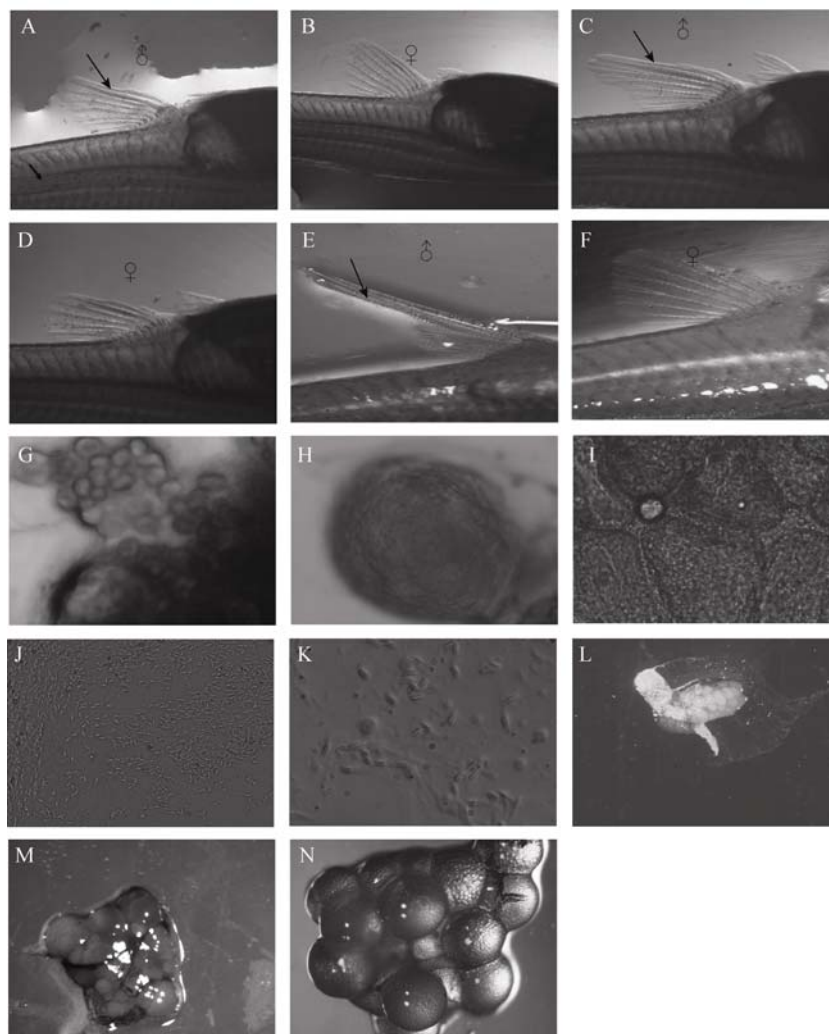


图 1 饱食组雌雄食蚊鱼臀鳍发育的比较以及雄鱼的精巢和各摄食水平下雌鱼的卵巢

Fig. 1 Comparison anal fins of female and male at repletion-ration, testis at repletion-ration and ovary at different ration in *G. affinis*  
A. 6 日龄雄鱼 3—5 臀鳍条开始分化; B. 6 日龄雌鱼臀鳍; C. 8 日龄雄鱼 3—5 臀鳍条明显分化; D. 8 日龄雌鱼臀鳍; E. 21 日龄初次性成熟雄食蚊鱼 3—5 臀鳍条分化变态成生殖足; F. 25 日龄初次性成熟雌食蚊鱼臀鳍; G. 精英群; H. 单个精英; I. 精英中的精子; J. 游动的精子; K. 精子的形态结构; L. 少食组第 II 期卵巢: 示 2 时相卵母细胞; M. 中食组到第 III 期卵巢: 示主要为 3 时相和 2 时相卵母细胞; N. 饱食组第 IV 期卵巢: 示 4 时相卵母细胞

A. Fin-ray 3—5 of anal fin in male *G. affinis* of 6 days of age starts to show the difference; B. Anal fin in female *G. affinis* of 6 days of age; C. Obviously modified structure of fin-ray 3—5 of anal fin in male *G. affinis* of 8 days of age starts is shown; D. Anal fin in female *G. affinis* of 8 days of age; E. Fin-ray 3—5 of anal fin in male *G. affinis* of 21 days of age at first sexual maturation metamorphose to gonopodium; F. Anal fin in female *G. affinis* of 25 days of age at first sexual maturation. G. A group of spermatophore; H. one spermatophore; I. The sperms in spermatophore; J. The swimming sperms; K. The shape of sperm; L. A section of ovary at stage II at low-ratio, showing the oocyte of phase 2n; M. A section of ovary at stage III at medium-ratio, showing the oocyte of phase 3 and phase 2; N. A section of ovary at stage IV at repletion-ration, showing the oocyte of phase 4

→: 标注雄鱼 3—5 臀鳍条 Label fin-ray 3—5 of anal fin in male *G. affinis*

雄鱼第 3 臀鳍条也由 10 节组成; 在 11 日龄和 17 日龄分化明显; 到 21 日龄, 中食组雄鱼的第 3 臀鳍条为 26 节, 而少食组为 20 节; 到 25 日龄时, 中食组的生殖足也已完全形成, 少食组除第 4 臀鳍条的钝刀片状结构不明显外, 臀鳍其余的结构与饱食组和中食组相似, 且各摄食组第 3、6 臀鳍条长度比等均无显著性差异( $P>0.05$ )。各日龄雌性食蚊鱼的臀鳍呈均匀扇型(图 1B、D、F), 只是 25 日龄饱食组性成熟雌鱼的 3、4 和 5 臀鳍条比其他臀鳍条相对延长稍许, 但明显短于初到性成熟时的饱食组雄鱼同样的 3 条鳍条(图 1E、F)。

解剖各摄食组 25 日龄雄鱼, 发现左右两叶精巢紧贴, 在显微镜下观察, 成熟精巢内有众多的精英(图 1G), 精英外形似球状蚕茧(图 1H), 内含大量成熟的精子, 以头朝外, 尾部向内的放射状形式包裹在精英中(图 1I)。精英膜破裂后, 其中的精子释放出来, 在水中可以短时游动(图 1J), 精子的头部呈前端钝锐的圆柱型, 颈部较细短, 尾部为较长的鞭毛状(图 1K)。通过解剖发现, 25 日龄各摄食组雌鱼的卵巢发育状况相差较大: 少食组的卵巢均为第 II 期(图 1L); 中食组约有 30% 的卵巢达到第 III—IV 期, 其中以第 III 到 IV 期卵巢过度期居多(图 1M); 而饱食组约有 60% 的卵巢已达到第 III—IV 期, 其中以 IV 期居多(图 1N)。

从表 1 可知, 随着摄食水平的增加, 雄鱼臀鳍开始分化和完成分化的日龄提前, 中食组臀鳍分化和性成熟的日龄与饱食组相接近, 少食组较中食组和饱食组臀鳍开始分化的日龄明显滞后, 但完成分化所需时间缩短。

2.2 摄食、生长和饵料转换效率

实验开始时 0 日龄食蚊鱼仔鱼的体长为  $(7.13\pm$

$0.20)$  mm, 湿重为 $(5.98\pm0.58)$  mg, 干重为 $(1.27\pm0.11)$  mg。在不同摄食水平下雌雄食蚊鱼累计摄食总能量和生长速度随日龄增长而变化(图 2、图 3)。在 0—5 日龄, 相同日龄雌雄鱼在同一摄食水平摄入的总能量没有显著性差异( $P>0.05$ ), 到 6 日龄臀鳍开始分化时, 饱食组雌鱼摄入总能量开始显著大于雄鱼( $P<0.05$ ), 随后中食组和少食组雌雄鱼间摄入总能量亦呈显著性差异( $P<0.05$ ), 各摄食组雌雄鱼的生长速度也开始出现差异, 并且随着日龄的增加, 差异均明显加大。实验中后期, 同日龄少食、中食组和饱食组间雌雄食蚊鱼各累计摄入总能量比例均接近  $1/4 \quad 1/2 \quad 1$ 。各摄食组雄鱼接近性成熟时, 生长速度明显减小。

从图 4 可见, 25 日龄各摄食组雌性食蚊鱼的体长和干重均显著大于雄鱼( $P<0.05$ ); 雌雄鱼体长和干重均随着摄食水平增加而上升, 其中饱食组和中食组的体长差异不显著( $P>0.05$ ), 但两组体长显著大于少食组( $P<0.05$ ); 各组雄鱼干重的差异也如此, 但饱食组雌鱼的干重明显大于中食组( $P<0.05$ )。图 5 显示, 不同摄食水平和不同性别食蚊鱼的含水率均没有显著性差异( $P>0.05$ ), 同一摄食水平下雌性食蚊鱼的丰满度显著高于雄鱼( $P<0.05$ ), 但同一性别不同摄食水平间丰满度的差异不显著( $P>0.05$ )。各摄食水平下雌雄鱼间的性腺系数( $GSI$ )差异显著( $P<0.05$ ), 饱食组雌鱼的  $GSI$  显著大于雄鱼( $P<0.05$ ), 但中食组和少食组雌鱼的  $GSI$  却显著小于雄鱼( $P<0.05$ ); 雌鱼的  $GSI$  随摄食水平的增加而显著加大( $P<0.05$ ), 而雄鱼各摄食组的  $GSI$  的差异不显著( $P>0.05$ )(图 6)。

图 7 显示, 0 至 25 日龄雌鱼各摄食水平日增重明显大于雄鱼, 但雌雄鱼皆随摄食水平的增加而递

表 1 不同摄食水平下雄性食蚊鱼臀鳍分化情况  
Tab.1 Effect of different ration level on metamorphosis of anal fin in male *Gambusia affinis*

臀鳍分化情况 Metamorphosis of anal fin	摄食水平 Ration levels		
	少食 Low-ration	中食 Medium-ration	饱食 Repletion-ration
臀鳍开始分化日龄 Days of age when anal fins start to modify	15.0±1.5	8.0±1.0	6.0±0.5
臀鳍明显分化日龄 Days of age when anal fins obviously modify	17.0±1.5	11.0±1.0	8.0±0.5
完成臀鳍分化日龄 Days of age when anal fins completely modify	25.0±1.0	23.0±1.0	21.0±1.0
25 日龄第 3 臀鳍条的节数 Number of segments of fin-ray 3 at 25 days of age	32.0±0.5	33.0±1.0	33.0±1.0

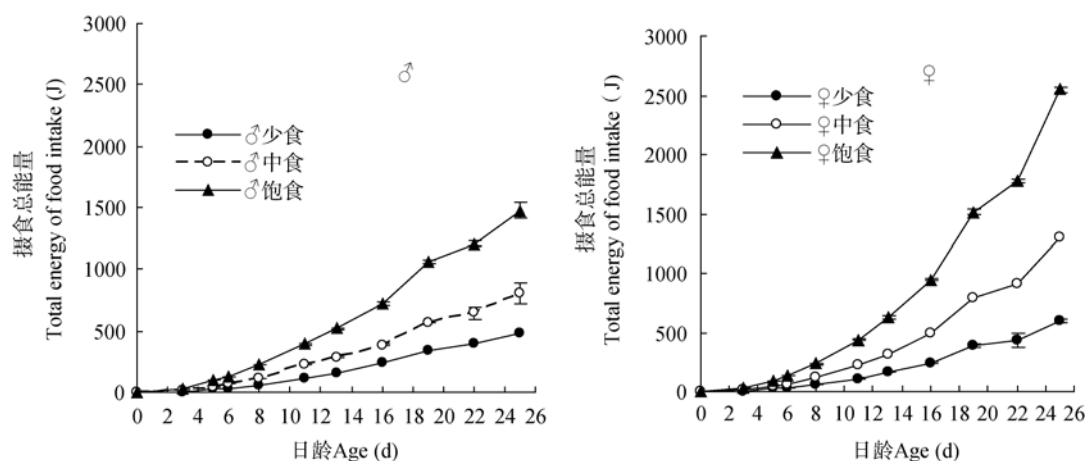


图 2 不同摄食水平下雌雄食蚊鱼累计摄食总能量和日龄的关系

Fig. 2 Relationship of total energy of food intake and age in both male and female *G. affinis* at three ration levels

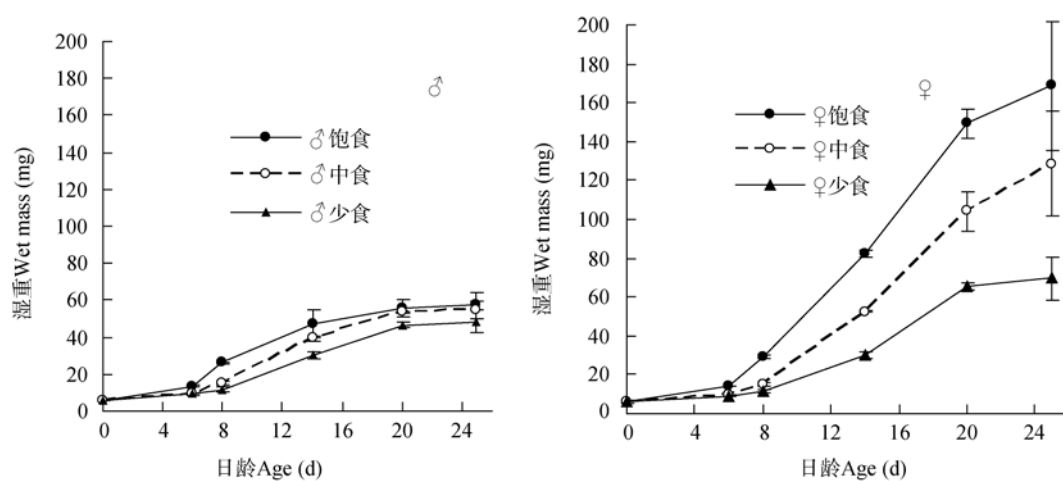


图 3 不同摄食水平下雌雄食蚊鱼湿重和日龄的关系

Fig. 3 Relationship of mean wet mass and age in both male and female *G. affinis* at three ration levels

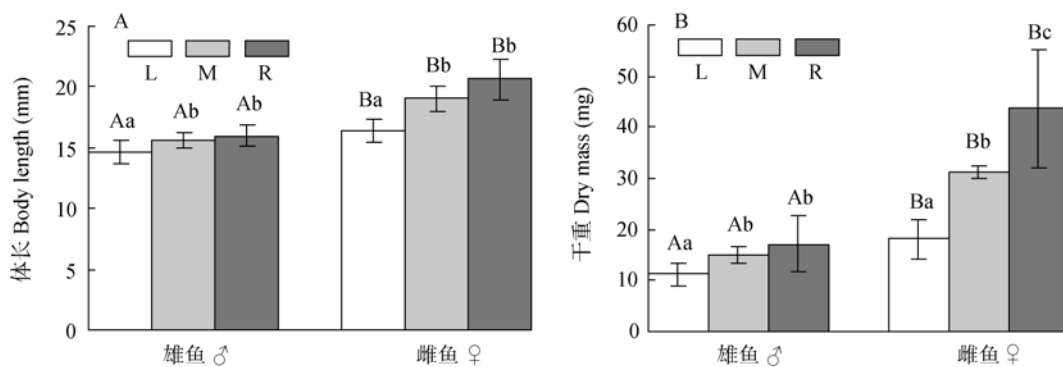


图 4 摄食水平对不同性别食蚊鱼最终体长(A)和干重(B)的影响

Fig. 4 Effect of ration levels on mean body length (A) and dry mass (B) in male and female *G. affinis*

不同小写字母表示同性别不同摄食水平间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 不同大写字母表示同一摄食水平不同性别间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); L. 少食; M. 中食; R. 饱食; 以下相同

The different lower letters mean significant differences at the same sex and different ration level ( $P < 0.05$ ); The different capital letters mean significant differences at the same ration level and different sex ( $P < 0.05$ ); R. repletion-ration; M. medium-ration; L. Low-ration; The same below

增, 尤其是雌鱼, 生长速度随摄食水平增加的态势更加明显。各组 25 日龄食蚊鱼的干重特定增长率

(SGR)和饵料转化率(FCE)(图 8、图 9), 除少食组的 FCE 外, 其余各摄食水平下雌鱼的 SGR 和 FCE 均显

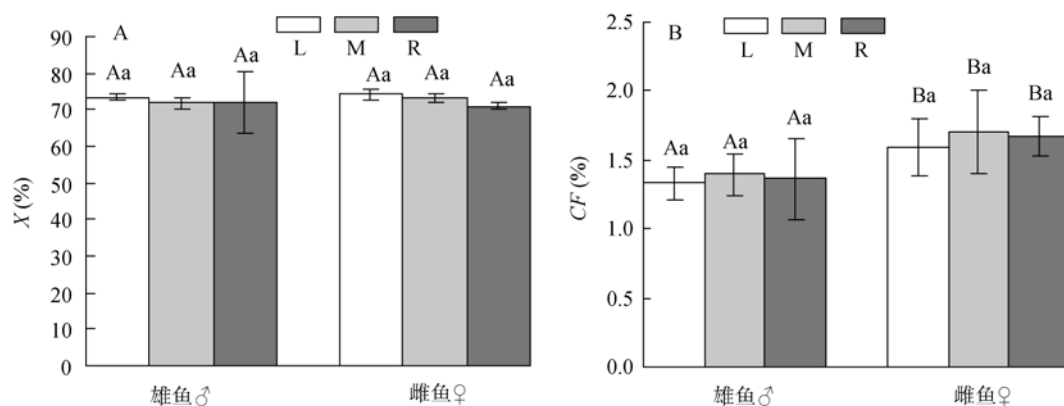


图5 摄食水平对不同性别食蚊鱼含水率(A)和丰满度(B)的影响

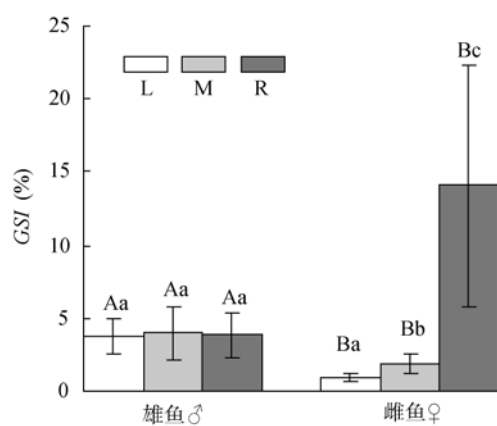
Fig. 5 Effect of ration levels on water content of wet mass (A) and fullness (B) in male and female *G. affinis*

图6 摄食水平对不同性别食蚊鱼性腺系数的影响

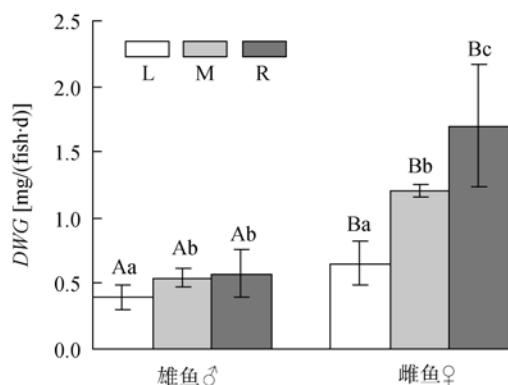
Fig. 6 Effect of ration levels on gonadosomatic index of male and female *G. affinis*

图7 摄食水平对不同性别食蚊鱼日增重的影响

Fig. 7 Effect of ration levels on day body weight gain of male and female *G. affinis*

显著高于雄鱼( $P<0.01$ )。随着摄食水平的增加, 食蚊鱼的 SGR 呈递增趋势, 尤其是雌鱼各摄食水平间差异极显著( $P<0.01$ ); 而 FCE 却随着摄食水平的增加呈现减少趋势, 无论雌雄鱼, 其饱食组 FCE 均显著小于中食组和少食组( $P<0.01$ )。

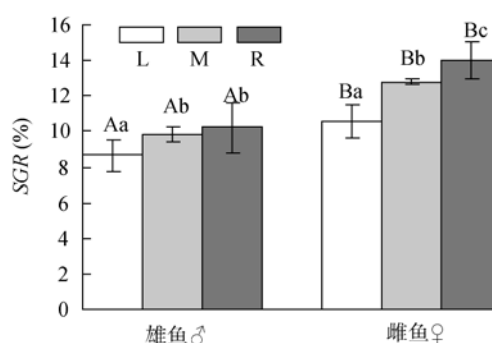


图8 摄食水平对不同性别食蚊鱼特定生长率的影响

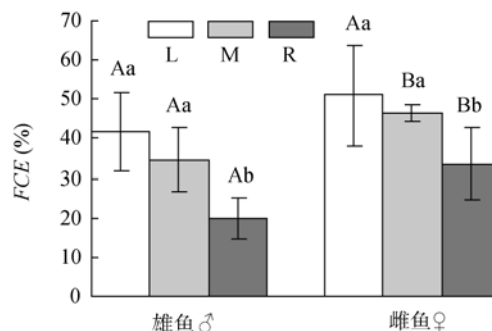
Fig. 8 Effect of ration levels on specific growth rate of male and female *G. affinis*

图9 摄食水平对不同性别食蚊鱼饵料转化率的影响

Fig. 9 Effect of ration levels on Feed conversion efficiency of male and female *G. affinis*

### 3 讨论

#### 3.1 摄食水平对食蚊鱼臀鳍分化和性成熟的影响

性别分化和性成熟是鱼类进行繁殖活动的前提和基础。刚产出的食蚊鱼外部性征尚不明显, 但根据其性腺差异就可以区别雌雄<sup>[10]</sup>, 出生后随生长发育产生明显的雌雄异型, 主要表现于雌雄个体大小和臀鳍形态的差异<sup>[3,6]</sup>。Turner 在研究食蚊鱼生殖足的发生时提出食蚊鱼臀鳍的生长、分化和生殖足

完成与水温、光照和摄食等环境因素有关<sup>[9]</sup>, Fraile, *et al.* 研究了水温和光照对食蚊鱼精子发生的影响<sup>[22]</sup>, 但关于摄食水平对仔幼鱼阶段不同性别食蚊鱼的生长、臀鳍分化及其后的性成熟产生如何影响还不清楚。

从研究结果看, 在本实验条件下, 无论食物水平高低, 雄性食蚊鱼最终都能完成臀鳍的分化、生殖足的形成和性成熟, 但完成各发育所需的时间却有显著差异, 即出生后仔幼鱼摄入的食物越多, 雄鱼臀鳍分化、生殖足的形成和性成熟的日龄越小。本研究的少食组, 其臀鳍分化的时间明显滞后于饱食组和中食组, 但各摄食组性成熟的日龄差距相对较小。虽然实验中各摄食组雄性食蚊鱼幼鱼臀鳍分化和性成熟所需的时间有差异, 但均明显少于其他大多数关于食蚊鱼研究报道所需时间<sup>[8,9,11,14,18]</sup>, 这可能是因为本实验设定的水温(27℃)、光照(16 L:8 D)等条件和饵料(活卤虫幼体)的营养特性更加适合食蚊鱼所致。

在本研究中各摄食组 25 日龄雄鱼的大小均达到了有关报道的性成熟时的生物学最小型<sup>[6,11]</sup>, 其性腺系数和第 3 臀鳍条的节数以及第 3、6 臀鳍条长度比等均无显著性差异( $P>0.05$ ), 因此可以判断, 无论摄食水平高低, 实验中 25 日龄雄性食蚊鱼均达到了性成熟; 而在 25 日龄雌鱼中, 饱食组中约 1/2 的个体、中食组中仅 1/4 个体基本接近性成熟状态, 而少食组雌鱼的卵母细胞均还处于第 II 时相小生长期, 且各摄食水平的性腺系数差异显著, 饱食组远远大于中食组和少食组, 据此推测少食组性成熟的时间可能明显滞后于饱食组和中食组。这说明, 相对于雄鱼, 摄食水平对雌鱼的性腺发育影响会更大些, 摄入能量不足, 导致卵巢的发育推迟。

在本研究中虽然各摄食组臀鳍开始分化的日龄和明显分化的日龄差异明显, 且实验期间饱食、中食和少食组累计摄入总能量比例接近 1/4 1/2 1, 但在本实验条件下, 当雄性食蚊鱼臀鳍发生明显分化时其累计摄食总能量在各组间却相差不大, 约为 230—250 J/尾, 这是否意味着雄鱼达到性成熟需要摄入一定值的能量? 有关这个问题还待进一步研究。

### 3.2 摄食水平对不同性别食蚊鱼仔幼鱼生长的影响

Reddy 和 Shakuntala 曾分别报道已有明显第一性征的雄性食蚊鱼的摄食量小于雌性<sup>[14,23]</sup>, Turner、Snelson 以及 Hughes 均认为成熟后的雄性食蚊鱼的生长速度亦小于雌性<sup>[9,19,24]</sup>。但在臀鳍分化前及分

化过程中雌雄食蚊鱼的摄食和生长是否差异尚不明。本研究发现, 饱食组在 6 日龄前, 雌雄鱼的摄食量没有显著性差异( $P>0.05$ ), 在 6 日龄臀鳍开始分化时, 雄鱼的摄食量和生长速度开始低于雌鱼, 且随着日龄的增加差异加大, 致使在实验结束时, 雄鱼的体长、体重和生长速度都明显低于雌鱼; 另外中食和少食两组的雌雄鱼的摄食和生长情况也出现相似的结果。由此可知, 无论食物丰寡, 在同一食物水平下, 食蚊鱼表现在摄食量、生长等方面的性别差异将伴随着臀鳍分化而显露。

食蚊鱼分布广泛, 不同生境或季节可能出现饵料丰盛或缺乏的现象。从本研究结果看, 相对于雌鱼, 雄性食蚊鱼对饵料要求可塑性较大, 当其摄食总能量累计达到一定水平时, 臀鳍明显分化, 此后其摄食量明显小于雌鱼, 但性成熟时间早于雌鱼, 这说明即使在饵料缺乏的环境, 尽管性征分化和性成熟时间推迟, 但最终也能满足雄鱼的生长发育, 可以达到性成熟, 且对其性腺系数没有影响。而雌鱼尽管其摄食量较大, 性成熟迟, 性腺发育似乎更容易受食物丰度的影响, 但在同一摄食水平下, 其生长速度和饵料转化率均优于雄鱼, 在这一方面可以弥补自身的不足。在自然条件下, 雌雄鱼的昼夜摄食节律有明显差异<sup>[25]</sup>, 而雄性食蚊鱼在臀鳍分化后摄食量明显小于雌鱼, 加上性成熟早, 个体也较小, 所消耗的饵料相对减少, 这样可以在一定程度上减少种内的资源竞争, 使种群内的雌鱼有更多机会获得生长发育所需的饵料, 保证雌鱼性腺发育的饵料供应。这种体现在对食物丰度变化的生长、发育、性成熟和能量分配等应对策略上的性别差异有利于食蚊鱼种群的稳定和发展。另一方面食蚊鱼性成熟早于同一生境中的其他小型鱼类<sup>[26,27]</sup>, 整体上生长速度也明显快于其他一些淡水小型鱼类<sup>[28,29]</sup>, 其食物转化效率接近甚至高于多种养殖经济鱼类<sup>[30,31]</sup>, 这些生理生态特性为其生态入侵提供了有利的条件。

### 致谢:

华南师范大学生命科学学院刘琳博士对英文摘要进行了润色, 谨致谢忱。

### 参考文献:

- [1] Geiser S W. Notes relative to the species of *Gambusia* in the United States [J]. *American Midland Naturalist*, 1923, 8(8-9):

- 175—188
- [2] Lounibos L P, Frank J H. Biological control of mosquitoes [A]. In: Rosen D, Bennett F Dand Capinera J L (Eds.), Pest Management in the Subtropics [C]. UK: Intercept, Andover. 1994, 395—407
  - [3] Krumholz L A. Reproduction in the Western Mosquitofish, *Gambusia affinis affinis* (Baird & Girard), and its use in mosquito control [J]. *Ecological Monographs*, 1948, **18**: 1—43
  - [4] Pan J H, Zhang J Y. Studies on the control of the mosquito by app lying *Gambusia affinis* over a large breeding area [J]. *Journal of South China Normal University (Natural Science)*, 1981, (1): 54—61 [潘炯华, 张剑英. 大面积放养食蚊鱼灭蚊效果观察报告. 华南师院学报(自然科学版), 1981, (1): 54—61]
  - [5] Pyke G H. Plague Minnow or Mosquito Fish? A Review of the Biology and Impacts of Introduced *Gambusia* Species [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 2008, **39**: 171—191
  - [6] Pyke G H. A review of the biology of *Gambusia affinis* and *G. holbrooki* [J]. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 2005, **15**: 339—365
  - [7] Lowe S, Browne M, Boudjelas S, *et al.* 100 of the world's worst invasive alien species-A selection from the global invasivespecies Database [A]. Auckland, New Zealand: Invasive Species Specialist Group, World Conservation Union. 2000
  - [8] Shakuntala K, Reddy S R. Influence of body weight/age on the food intake, growth and conversion efficiency of *Gambusia affinis* [J]. *Hydrobiologia*, 1977, **55**: 65—69
  - [9] Turner C L. Morphogenesis of the gonopodium in *Gambusia affinis affinis* [J]. *Journal of Morphology*, 1941, **69**: 161—185
  - [10] Kuntz A. Notes on the habits, morphology of the reproductive organs, and embryology of the viviparous fish (*Gambusia affinis*) [J]. *Bull. U.S. Bureau Fish*, 1913, **33**: 177—190
  - [11] Pan J H, Su B Z, Zheng W B. Biological characteristics of *Gambusia affinis* and the p respects for its use for mosquito control [J]. *Journal of South China Normal University (Natural Science)*. 1980, (1): 118—138 [潘炯华, 苏炳之, 郑文彪. 食蚊鱼的生物学特性及其灭蚊利用的展望. 华南师范大学学报 (自然科学版), 1980, (1): 118—138]
  - [12] Krumholz A L. Reproduction in the western mosquito fish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard), and its use in mosquito control [J]. *Ecological Monographs*, 1948, **18**(1): 1—43
  - [13] Yin M C. Feeding and growth of the larvae stage of fish [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1995, **19**(4): 335—341 [殷名称. 鱼类仔鱼的摄食和生长. 水产学报, 1995, **19**(4): 335—341]
  - [14] Shakuntala K. Effect of feeding level on the rate and efficiency of food conversion in the cyprinodon fish *Gambusia affinis* [J]. *Ceylon. Biology Science*, 1977, **12**: 177—184
  - [15] Sun L H, Chen H. Effects of ration and temperature on growth, fecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2009, **292**: 197—206
  - [16] Fang J H, Tian X L, Dong S L. The influence of water temperature and ration on the growth, body composition and energy budget of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) [J]. *Aquaculture*, 2010, **299**: 106—114
  - [17] Wurtsbaugh W A, Cech J J. Growth and activity of juvenile mosquitofish: temperature and ration effects [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1983, **112**: 653—660
  - [18] Vondracek B, Wurtsbaugh W A, Cech J J. Growth and reproduction of the mosquito fish, *Gambusia affinis*, in relation to temperature and ration level: consequences for life history [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1988, **21**: 45—57
  - [19] Hughes A L. Growth of adult mosquito fish *Gambusia affinis* in the laboratory [J]. *Copeia*, 1986, (2): 534—536
  - [20] Wang X Q, Li C W, Xie Z G, *et al.* Studies on the Growth difference of the male and female *Siniperca chuatsi* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2006, **36**(3): 34—37 [王晓清, 李传武, 谢中国, 等. 鳊雌雄生长差异的研究. 淡水渔业, 2006, **36**(3): 34—37]
  - [21] Shakuntala K, Reddy S R. Environmental restraints on the food intake, growth and conversion efficiency of *Gambusia affinis*: influence of Living space [J]. *Proceedings: Plant Sciences*, 1977, **85**(6): 407—411
  - [22] Fraile B, Saez F J, Vicentini C A, *et al.* Effects of temperature and photoperiod on the *Gambusia affinis* holbrooki testis during the spermatogenesis period [J]. *Copeia*, 1994, (1): 216—221
  - [23] Reddy S R. Effect of water temperature on the predatory efficiency of *Gambusia affinis* [J]. *Experientia*, 1975, **31**: 801—802
  - [24] Snelson F J. Indeterminate growth in males of the sailfin molly, *Poecilia latipinna* [J]. *Copeia*, 1982, (2): 296—304
  - [25] Chen P, Cheng G Z, Lin X T, *et al.* Diel feeding rhythm of mosquito fish [J]. *Ecological Science*, 2008, **27**(6): 483—489 [陈佩, 陈国柱, 林小涛, 等. 食蚊鱼昼夜摄食节律观察. 生态科学, 2008, **27**(6): 483—489]
  - [26] Huang Y Y. Biological characteristics of *Oryzias latipes* and Feeding and Management [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1998, **23**(6): 28—31 [黄玉瑶. 青鳉的生物学特性与饲养管理技术. 动物学杂志, 1998, **23**(6): 28—31]
  - [27] Liang J H, Lian C P, Liu H S, *et al.* Artificial experiment propagation of *Tanichthy albonubde* Lin [J]. *Fisheries Information*, 2003, **30**(5): 233—235 [梁健宏, 连常平, 刘汉生, 等. 唐鱼全人工繁殖试验. 水产科技情报, 2003, **30**(5): 233—235]
  - [28] Zhu X M, Xie S Q, Cui Y B, *et al.* Effect of ration level and sexl on growth and energy budget of the *Gobiocypris rarus*



- [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, **32**(3): 240—247 [朱晓鸣, 解绶启, 崔奕波, 等. 摄食水平和性别对稀有鲫生长和能量收支的影响. 海洋与湖沼, 2001, **32**(3): 240—247]
- [29] Cui Y B, Wu D R J. Components of the energy budget in the European Minnow [*Phoxinus phoxinus* (L.)] in relation to ration body weight and temperature [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1990, **14**(3): 193—204 [崔奕波, 吴登 R J. 真鲫 [*Phoxinus phoxinus* (L.)] 的能量收支各组分与摄食量、体重及温度的关系. 水生生物学报, 1990, **14**(3): 193—204]
- [30] Zhu X M, Xie S Q, Cui Y B. Effect of ration level on growth and energy budget of the gibel carp, *Crapassius auratus gibelio* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, **31**(5): 471—479 [朱晓鸣, 解绶启, 崔奕波. 摄食水平对异育银鲫生长和能量收支的影响. 海洋与湖沼, 2000, **31**(5): 471—479]
- [31] Sun L H, Chen H. Effects of ration and temperature on growth, fecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2009, **292**: 197—206

## THE EFFECT OF RATION LEVEL ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF MALE AND FEMALE *GAMBUSIA AFFINIS* DURING LARVAL AND JUVENILE STAGES

ZENG Xiang-Ling, LIN Xiao-Tao and LIU Yi

(Engineering Research Center of Tropical and Subtropical Aquatic Ecological Engineering, Ministry of Education, Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** The experiment was conducted at 3 ration levels (low-ration, medium-ration and repletion-ration) to investigate the effect of ration level on growth and feed utilization of male and female *Gambusia affinis* from 0 to 25 day post-hatch (DPH). For each ration treatment, the experimental larvae born from same *Gambusia affinis* were chosen randomly and assigned to three groups (thirty larvae per group). The larvae were respectively reared in beakers (water volume of 200 mL) at  $(27\pm0.5)^{\circ}\text{C}$ . Fish were fed twice daily (at 09:00 and 21:00) and lasted for 26 days at different ration levels. Larvae were sampled at selected intervals and the following parameters were analyzed: food intake, growth, anal fin metamorphosis, sexual maturation and feed conversion efficiency. At the satiation ration, the day of anal fin began to metamorphose, the total cumulative energy intake and growth rate in male was initially less than female but increased greatly with age. The duration from 0 day-old larvae to anal metamorphosis and to sex maturation got shorter with ration level increasing. To 25 days, all males from different feeding groups have developed complete gonopodium and have reached maturation, while female sexual maturity developed later than males' and sexual maturity of female were more vulnerable to the impact of feeding. Only around 50% of individuals reach sexual maturity for satiation group and oocytes of fish from low ration group were all stayed in small growth stage. With increasing ration level, body length, weight and specific growth rate of dry mass of male and female increased significantly, while feed conversion efficiency decreased. At the end of the experiment, the female grew more rapidly and utilized food more efficiently than the male. Our research showed that with the anal fin metamorphosis, there were remarkable differences of growth, feed utilization, development, sexual maturation and responses to changes in food abundance between female and male *Gambusia affinis*.

**Key words:** *Gambusia affinis*; Ration level; Growth and development; Anal fin metamorphosis; Gonopodium