

饥饿对食蚊鱼仔鱼摄食、生长和形态的影响

陈国柱 林小涛 许忠能 孙 军 陈 佩

(暨南大学水生生物研究所, 水体富营养化与赤潮防治广东省教育重点实验室 广州 510632)

摘要: 本文研究了饥饿胁迫下食蚊鱼仔鱼的摄食、生长和外部形态的变化规律。结果表明, 在水温(28.5 ± 1.2) °C 时, 仔鱼产出 2h 后鳔完成充气即建立巡游模式并开始觅食, 摄食比率迅速达到 100%, 其混合营养期仅有 4h。实验期间, 投喂组仔鱼的摄食比率一直保持在 100%; 饥饿组仔鱼在饥饿 0—3d 内初次摄食比率同样可达到或接近 100%, 但第 4 天开始下降, 第 6 天初次摄食比率降至 0。抵达饥饿不可逆点(PNR)时间为产后后第 5.5 天左右。投喂组初产仔鱼对 1—2 龄期库蚊幼虫的摄食强度为 (2.9 ± 1.4) ind/ individual⁻¹ h, 摄食强度随日龄显著增长; 饥饿组仔鱼在饥饿 0—5d 内其初次摄食强度也随日龄及饥饿时间的延长显著增长, 但均显著低于相应日龄的投喂组仔鱼, 其初次摄食比率与初次摄食强度之间并无显著相关关系。饥饿仔鱼在 PNR 前约 1.5d 时其累计死亡率已超半数, 达 $(64.4 \pm 18.1)\%$, 抵达 PNR 后数小时内残存个体全部死亡。实验结束(6d)时投喂组仔鱼 5 项生长指标呈不等速增长, 其中体重增长最为显著, 瞬时增长率达 $0.0275/\text{d}$, 此时腹鳍发育基本完备, 进入幼鱼期。而同期饥饿组仔鱼形态发育停滞, 多项生长指标出现负增长, 其中体高负增长最为明显, 其瞬时增长率为 $-0.0511/\text{d}$; 体重次之, 体长负增长则不甚明显。饥饿仔鱼在接近或处在 PNR 时期腹部萎缩呈弧形, 体长/体高 > 5 , 而同期投喂组仔鱼体长/体高 < 4.5 , 两者差异显著, 可作为鉴别饥饿仔鱼和健康仔鱼较理想的形态数量指标。

关键词: 食蚊鱼仔鱼; 饥饿; 摄食; 形态; 生长

中图分类号: S965.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2008)03-0314-08

食蚊鱼(*Gambusia affinis*)为鲤形目(Cyprinodontiformes), 胎鳉科(Poeciliidae), 食蚊鱼属(*Gambusia*)的一种小型卵胎生淡水硬骨鱼类, 原产于北美洲, 作为预防疟疾的有力生物工具被引进到世界许多地区, 形成一种世界性分布且危害性极强的入侵物种^[1-7]。1927 年, 食蚊鱼从马尼拉经上海引入我国, 现已扩散到国内广大地区, 形成规模庞大的野生种群^[1, 8]。国外较早开展食蚊鱼入侵生态研究, 尤其在种群生态学方面报道甚多^[2, 9-11], 但有关仔鱼早期存活和群体补充等方面的研究资料却很少^[12]。国内对于食蚊鱼入侵生态的研究尚未引起重视。

以往的研究认为, 饥饿和捕食是影响鱼类仔鱼存活的两个主要因素^[13], 其中对饥饿的研究更为深入, 但主要集中在卵生硬骨鱼类^[13-25], 而卵胎生(Oviviparous)硬骨鱼类领域尚少涉及。卵胎生鱼类如食蚊鱼仔鱼从母体产出时发育相对完善, 短时

内便能开口摄食^[1, 26, 29]。这类仔鱼在饥饿胁迫下的摄食、生长、形态变化和耐饥饿能力与卵生硬骨鱼类仔鱼相比有什么不同? 本文针对这个问题展开研究, 为了解野外食蚊鱼早期存活和数量补充以及其生态入侵机制积累基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料和饲养条件 实验于 2006 年 4—5 月进行。成年怀仔雌性食蚊鱼采自暨南大学明湖($23^{\circ}05'43''\text{N}$, $113^{\circ}12'25''\text{E}$), 面积约 0.18hm^2 , 水深 $0.5\text{—}2\text{m}$ 。每次挑选临产个体 50—80 尾带回实验室。雌鱼临产的鉴别特征为: 腹部膨大, 胎斑明显, 生殖孔外突。为获得足量发育时期较一致仔鱼, 采用剖腹产方法。在暂养缸观察临产雌鱼, 发现开始产的或已在产的个体即将其捞出解剖, 取出的仔鱼暂养在 5L 大烧杯中。测得雌鱼平均体长 $(40.68 \pm 2.89)\text{mm}$, 平均怀仔数 (48.4 ± 20.3) 尾。解剖和自然

收稿日期: 2007-04-17; 修订日期: 2008-01-16

基金项目: 广东省自然科学基金项目(编号: 04010453)资助

作者简介: 陈国柱(1979—), 男, 广东番 人; 博士研究生; 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: chenguo@jnu.edu.cn

通讯作者: 林小涛(1957—), 广东海丰县人; 教授, 博士, 博士生导师; 主要从事水生动物生理生态学及养殖生态学研究。E-mail: tlxxt@jnu.edu.cn

产的仔鱼在形态和存活方面无差别,但雌鱼自然产仔时,一般持续时间为2h左右,仔鱼产出2h后鳔才完成充气,个体间存在一定的时间差异。而剖腹产仔鱼产出及完成鳔充气的时间相对集中。通过剖腹产方法,每批可得发育时期较一致仔鱼1800尾以上。

实验用仔鱼共分为3组,1、2组每组均用3个直径为20cm、高为10cm的圆形玻璃培养缸,水体2.5L,每缸放养仔鱼220尾。第1组为饥饿组,实验期间不投喂,每天8:00换水1/2。第2组为投喂组,实验期间分别在8:00、12:00、16:00各投喂1次剪碎的红虫(*Tendipes* sp. larvae),每次投喂1h后清除残饵,并于最后一次清除残饵后换水一半。第3组为饥饿死亡率观察组,每缸仔鱼数量及水体相应减半。该组用于观察饥饿胁迫下仔鱼的死亡率变化,除3个不投喂的平行外增设2个投喂对照缸,其中不投喂的3缸管理按第1组,摄食对照缸投喂和管理方法按第2组。日光灯照明,光强约为735 lx,光周期为16L:8D。

每天记录水温6次,日平均水温按加权平均法计算,实验期间为(28.5±1.2)℃。

1.2 方法

1.2.1 饥饿和投喂仔鱼的生长发育观察 每日16:00时在第1、2组中,分别由每一平行缸取出5尾仔鱼,5%福尔马林固定,然后在解剖镜下进行形态观察和测量。各性状的增长指标采用瞬时(Instantaneous)增长率表示:

$$(1) R = (\ln X_1 - \ln X_2) / (t_2 - t_1),$$

其中 R 为瞬时增长率(/d); X 为某一测量性状指标(mm或mg); t 为时间(d)。

1.2.2 饥饿和投喂仔鱼摄食试验 每日18:00时在第1、2组中,分别由每一平行缸取出10尾仔鱼放入盛有300mL水的500mL烧杯中驯化1h。之后,向每烧杯投入120—150尾库蚊(*Culex* spp.)1—2龄幼虫(体长2.2—3.1mm)进行摄食实验。摄食时间为60min,日光灯照明,光强约为735 lx。实验结束后迅速将仔鱼取出,5%福尔马林处死,在显微镜下解剖肠道,清点每尾仔鱼摄食库蚊幼虫数目。摄食情况用摄食比率(Feeding ratio)和摄食强度(Feeding intensity)表示:

(2) 摄食比率(%) = 肠道中含有库蚊幼虫的仔鱼数/实验仔鱼总数

(3) 摄食强度(gnd/individual·h) = (实验仔鱼摄食库蚊幼虫总数/实验仔鱼总数)/ t 其中 t 为时间(h)。

当饥饿仔鱼初次摄食比率低于其最高初次摄食比率50%时,则视为抵达不可逆点(The point of no return, PNR)时间^[13]。抵达PNR时间从产出(人工解剖)当日算起。

1.2.3 饥饿仔鱼死亡率观察 每日8:00和18:00记录第3组中仔鱼的死亡情况各1次,同时将死亡仔鱼及时清除。

1.2.4 数据分析 试验所得数据用SPSS 13.0进行统计分析。比较饥饿组仔鱼与投喂仔鱼的生长指标、摄食比率、摄食强度差异采用 t 检验方法;比较各生长指标瞬时增长率差异采用单因素方差分析(ANOVA)及LSD多重比较;对仔鱼初次摄食率、摄食强度、日龄三者间相互关系分析采用相关分析方法。摄食比率和瞬时增长率在分析前均作反正弦转换以符合数据分析要求^[34]。

2 结果与分析

2.1 生长发育

水温(28.5±1.2)℃条件下,初产仔鱼体长为(6.74±0.27)mm,体重为(7.34±1.16)mg,产出后即能游动,但鳔尚未充气。胸鳍、背鳍、尾鳍和臀鳍发育完善,但腹部后下侧仅长有腹鳍芽。腹膜尚未闭合,在腹面前部可清晰观察到心脏在搏动。卵黄囊已经内收入腹,尚有少量残余。消化系统发育完善,口裂宽(1.2±0.25)mm。仔鱼产出约2h鳔充气完成,之后开始水平游动,并出现巡游觅食行为。产出后6h左右卵黄基本吸收完毕。投喂组仔鱼产出后6d腹鳍发育基本完备,腹膜闭合,仔鱼特征消失,开始进入幼鱼期。饥饿仔鱼在产出5—6d时形态特征与摄食仔鱼产生明显区别:腹鳍芽发育停滞,其着生处突起,此处前方腹部收缩下陷呈弧形;头部突出,与躯干部连接处界限明显;鳃盖突起,已经不能完全覆盖鳃片,鳃丝色淡或暗红;身体蜡黄。

实验期间投喂组和饥饿组仔鱼的生长指标变化(表1)。投喂组仔鱼各生长指标的比较中,体重的瞬时增长率显著高于其他4个指标的增长($p < 0.05$),达0.0275/d(图1);与此同时,饥饿组仔鱼除头长略有增长外,其他四个生长指标均呈不同程度的负增长,其中体高负增长最为明显($p < 0.05$),为-0.0511/d,体重次之,体长则不甚明显(图1)。

饥饿仔鱼和摄食仔鱼各项形态指标逐日对比中,饥饿仔鱼体高在1d起均显著的低于投喂组;体重在2d后也开始显著或极显著低于投喂组($p < 0.05$);其余体长、头长和眼径等3项指标差异不明

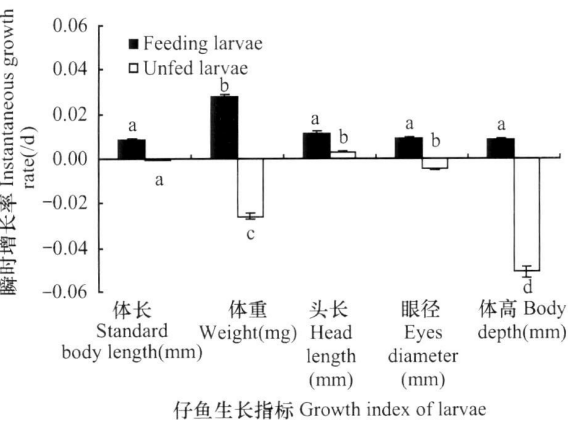


图1 投喂组(6d)和饥饿组仔鱼(5d)试验期间各项形态指标瞬时增长率(水温(28.5±1.2)℃)

Fig. 1 Instantaneous Rates of 5 growth index of feeding Larvae and unfed larvae in six/ five days, water temperature $T=(28.5\pm1.2)^{\circ}\text{C}$

同一系列(投喂组或饥饿组)直柱上所标字母不同的表示两者间差异显著, $p<0.05$. 垂线段表示标准差, 下同

Different letter in the colummiation of the same series means that there were remarkable difference between them, $p<0.05$ Uprightness Line mark Standard Deviation (SD)

显(表1)。各形态指标比例的比较显示, 饥饿组与投喂组仔鱼在与体高有关的形态指标比例间均存在极显著的差异($p<0.05$)(图2), 特别是饥饿仔鱼在接近或处在PNR期时体长/体高 >5 , 而同期摄食仔鱼体长/体高 <4.5 , 两者区别更加显著。

2.2 摄食比率、摄食强度和PNR

投喂组和饥饿组仔鱼摄食比率变化(图3)。仔鱼产出后2h即建立巡游模式并开始觅食, 其初次摄食比率可达100%。实验期间, 投喂组仔鱼的摄食比率一直保持在100%。饥饿组仔鱼在饥饿0—3d内初次摄食比率同样可达到或接近100%, 但饥饿4d后其初次摄食比率开始下降, 第5天显著低于投喂组仔鱼($p<0.01$), 第6天初次摄食比率降至0(图3), 初次摄食比率低于最高初次摄食比率50%以下发生在第5至第6日间。由此可确定在此条件下食蚊鱼仔鱼的饥饿不可逆点(PNR)为产出后的5.5d左右(图3)。相关分析显示0—5d内饥饿组仔鱼初次摄食比率变化与饥饿时间呈显著负相关($p<0.05$, $R=-0.736$)。

表1 投喂组和饥饿组仔鱼形态发育指标(水温(28.5±1.2)℃)

Tab. 1 Morphological characteristic of feeding larvae and unfed larvae water temperature $T=(28.5\pm1.2)^{\circ}\text{C}$

日龄 Age (d)	头长 Head length(mm)		眼径 Eyes diameter(mm)		体高 Body depth(mm)		体长 Standard body length(mm)		体重 Weight(mg)	
	摄食仔鱼	饥饿仔鱼	摄食仔鱼	饥饿仔鱼	摄食仔鱼	饥饿仔鱼	摄食仔鱼	饥饿仔鱼	摄食仔鱼	饥饿仔鱼
	Feeding larvae	Unfed larvae	Feeding larvae	Unfed larvae	Feeding larvae	Unfed larvae	Feeding larvae	Unfed larvae	Feeding larvae	Unfed larvae
0	2.01±0.13		0.87±0.03		1.64±0.15		6.74±0.27		7.34±1.16	
1	2.03±0.09	2.04±0.09	0.89±0.05	0.88±0.06	1.62±0.10	1.50±0.01**	6.86±0.25	6.91±0.33	7.81±1.05	7.83±1.47
2	2.08±0.12	2.21±0.09	0.89±0.04	0.89±0.04	1.61±0.11	1.48±0.12**	6.91±0.33	7.11±0.27	8.00±1.36	7.36±0.94*
3	2.11±0.13	2.14±0.16	0.92±0.04	0.89±0.05	1.63±0.09	1.33±0.10**	7.01±0.29	6.93±0.41	7.85±1.11	6.25±1.24**
4	2.07±0.13	2.13±0.08	0.89±0.05	0.87±0.05	1.66±0.13	1.27±0.09**	6.76±0.42	6.99±0.18	8.04±1.84	6.04±0.67**
5	2.05±0.09	2.04±0.09	0.89±0.03	0.85±0.72	1.67±0.11	1.27±0.13**	6.64±1.08	6.72±0.74	8.61±0.79	6.05±0.21**
6	2.13±0.10	—	0.91±0.04	—	1.71±0.12	—	7.03±0.34	—	8.42±1.43	—

*表示投喂组仔鱼和饥饿组仔鱼间差异显著, $p<0.05$; **差异极显著, $p<0.01$, t -test; “—”表示仔鱼死亡, 不作测量

* mark there were remarkable differences between feeding larvae and unfed larvae $p<0.05$; ** mark there were very remarkable differences between feeding larvae and unfed larvae $p<0.01$, t -test “—” denoted fish larvae had died and no been measured

与此同时, 投喂组和饥饿组仔鱼摄食强度差异明显(图4)。初产仔鱼对库蚊幼虫的摄食强度约为(2.9±1.4)ind/individual·h。产出后的第1天, 投喂组仔鱼的摄食强度就显著大于饥饿仔鱼($p<0.01$)。相关分析显示, 投喂组仔鱼对库蚊幼虫的摄食强度随日龄显著增大($p<0.05$, $R=0.822$), 饥饿组仔鱼摄食强度在0—5d间也随日龄及饥饿时间的延长显

著增大($p<0.05$, $R=0.894$), 但增加幅度明显不及投喂仔鱼。同时, 饥饿仔鱼初次摄食强度顶峰出现在饥饿第4天, 但此时初次摄食比率已由100%降至(90.0±17.3)%, 随后第5天初次摄食强度明显下降, 至第6天降至0。分析显示, 饥饿组仔鱼初次摄食比率与初次摄食强度间无显著相关关系($p=0.151$, $R=-0.664$)。

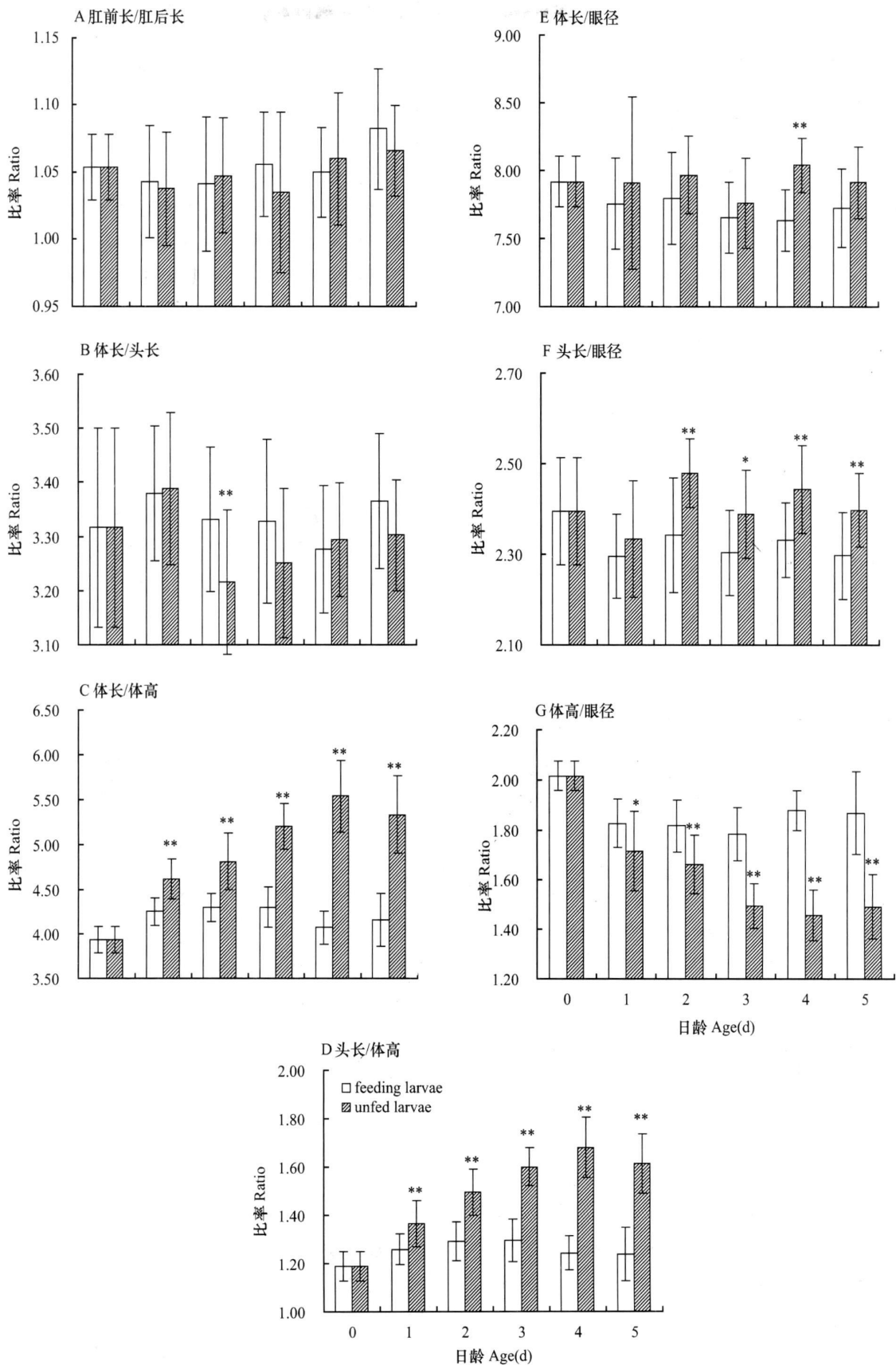


图2 投喂组与饥饿组仔鱼各形态指标比例的对比(水温 $(28.5 \pm 1.2)^{\circ}\text{C}$)

Fig. 2 Difference between feeding larvae and unfed larvae of seven pairs morphological ratios water temperature $T = (28.5 \pm 1.2)^{\circ}\text{C}$

*表示差异显著, $p < 0.05$; **表示差异极显著, $p < 0.01$, t -test. 下同

ompared at the same age. * mark there were remarkable differences $p < 0.05$; ** mark there were very remarkable differences $p < 0.01$, t -test. The same as follows

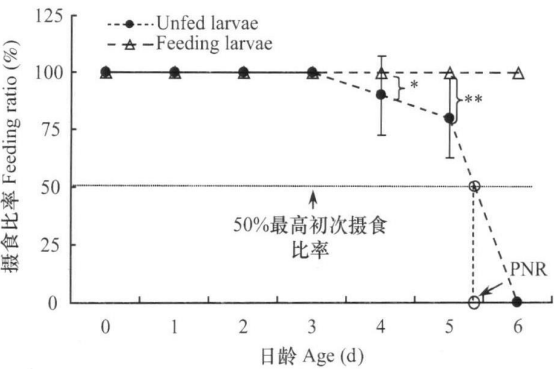


图3 投喂组与饥饿仔鱼摄食/初次摄食比率变化(水温 $(28.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}$)

Fig 3 Change of feeding/initial feeding ratio of feeding larvae and unfed larvae water temperature: $T=(28.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}$

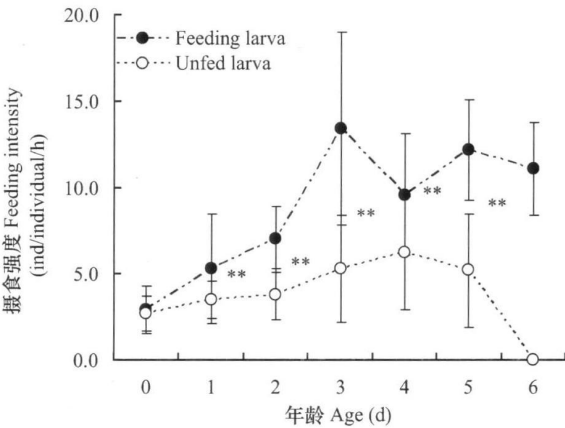


图4 投喂和饥饿仔鱼摄食强度随日龄变化(水温 $(28.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}$)

Fig 4 Change of feeding intensity of feeding larvae and unfed larvae water temperature: $T=(28.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}$

2.3 死亡率

在水温 $(28.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}$ 条件下,第3组饥饿仔鱼死亡率从3日龄开始上升,但累计仍低于10%;在4日龄时出现大量死亡,累计死亡率达 $(64.4 \pm 18.1)\%$;6日龄时全部死亡(图5)。累计死亡率与饥饿时间呈极显著正相关($p < 0.01$, $R = 0.928$)。对照组摄食仔鱼在实验期间累计死亡率低于5.0%(图5),其日死亡数与日龄无显著相关($p > 0.05$, $R = -4.68$)。

3 讨论

3.1 仔鱼混合营养期及饥饿对仔鱼摄食、存活的影响
淡水卵生硬骨鱼类卵黄囊期仔鱼混合营养期大多在1—2d^[15, 16, 19-25]。而食蚊鱼仔鱼的混合营养

期仅为4h左右,这对初产仔鱼野外生存是一个不利因素。混合营养期对仔鱼的存活和发育十分重要^[13, 15, 16, 20],仔鱼必须在这短暂时间内建立外源营养供应,否则就会蒙受进展性饥饿^[15, 17]。然而,与混合营养期短暂这一不利特点相对应,食蚊鱼仔鱼的初次摄食比率相当高。在产出2h后,仔鱼群体的开口初次摄食比率即迅速达到100%,而卵生硬骨鱼类仔鱼开口初次摄食比率一般不超过50%,目前在已报道的种类中沙氏下鲮鱼 *Hyporhamphus sajori* 仔鱼的开口初次摄食比率可达91.3%^[23]。食蚊鱼仔鱼高摄食比率意味着群体具有高效利用外界食物资源的生理先决条件,在资源竞争中无疑是一种优势,有利于提高仔鱼群体存活率。食蚊鱼仔鱼另一个优势是开口摄食时口裂宽已达 $(1.2 \pm 0.25)\text{mm}$,显著大于多数小型卵生鱼类仔鱼同期口裂,有利于拓宽其食物选择范围^[28],令其在开口阶段即能摄食幼小子子,按照体长比例,甚至一些小型鱼类的初孵仔鱼也可进入其摄食范围,充分显示其优越性。

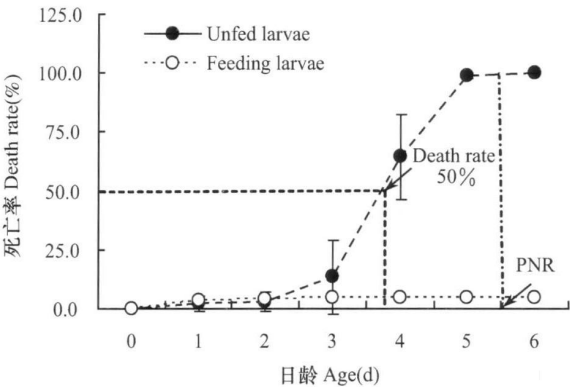


图5 投喂和饥饿仔鱼在实验期间死亡率变化(水温 $(28.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}$)

Fig. 5 Change of death rate of feeding larvae and unfed larvae during experiment water temperature: $T=(28.5 \pm 1.2)^\circ\text{C}$

饥饿胁迫条件下,卵生硬骨鱼类仔鱼初次摄食的摄食强度在有限时间内随饥饿时间的增加而提高^[15, 17],一般认为这是仔鱼的一种适应性反应,其前提是仔鱼游泳活动和能耗量相应增加^[15]。当饥饿超过仔鱼的耐受限度时,初次摄食强度便开始下降。这种现象通常在PNR前已经表现出来^[15, 17]。食蚊鱼饥饿仔鱼初次摄食强度在饥饿第4天达到顶峰,随后在第5天回落,变化趋势与卵生鱼类仔鱼基本相同。不同的是,它的摄食强度顶峰是在初次摄食比率已由最高的100%降至90.0%时出现的,而卵生鱼类仔鱼如北海鲱、牙鲆初次摄食强度顶峰与最高初次摄食比率同步^[15, 17]。

抵达 PNR 时间长短在一定程度上反映仔鱼耐饥饿能力的强弱^[16, 21], 它与鱼卵的孵化时间、卵黄容量、开口摄食时间及温度密切相关。孵化时间长、卵黄容量大、开口摄食迟、温度低、代谢速度慢, PNR 出现较迟, 反之则早。同时, PNR 还与仔鱼日龄及活动水平相关^[13, 19]。小型卵生淡水硬骨鱼类如稀有鲃 *Gobiocypris rarus* 和唐鱼 *Tanichthys albonubes* 仔鱼到达 PNR 时间多为孵出后 8—11d^[21, 30], 而食蚊鱼仔鱼到达 PNR 时间为产出后 5.5d 左右, 从这个指标看其耐饥饿能力相对较弱。但由于卵生硬骨鱼类的初孵仔鱼与卵胎生硬骨鱼类初产仔鱼在发育程度、开口摄食时间等方面有较大差异, 另已报道的卵生硬骨鱼类仔鱼 PNR 资料是不同研究者在不同的水温条件下测得的, 导致可比性较差, 因此, 衡量卵胎生鱼类仔鱼耐饥饿能力所应采用的指标尚有待进一步研究。

卵生硬骨鱼类仔鱼从进入 PNR 到全部死亡这段时间称为 PNR 期^[13]。本实验条件下食蚊鱼仔鱼的 PNR 期仅为数小时, 这与多数卵生硬骨鱼类尤其鲤科鱼类仔鱼明显不同^[16, 21], 如鲢 *Hypophthalmichthys molitrix*、鳙 *Aristichthys nobilis*、草鱼 *Ctenopharyngodon idellus*、银鲫 *Carassius auratus gibelio* 等仔鱼 PNR 期可长达 5—6d, 稀有鲃也有 2d, 例外的是海产的鲷科沙氏下鲷鱼仔鱼也在抵达 PNR 期后十几小时全部死亡^[23]。由于卵胎生硬骨鱼类仔鱼这方面的资料很少, 所以目前尚未明了它与卵生种类间是否有明显的区别。另外, 饥饿仔鱼死亡率超过 50% 的时间是出现在 PNR 前还是 PNR 后, 在不同的种类中表现不同。本实验中, 食蚊鱼饥饿仔鱼累计死亡率超过 50% 的时间出现在进入 PNR 前的 1.5d 左右, 稀有鲃仔鱼也大约出现在 PNR 前 1.5d (水温 $(25.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$)^[21], 而鲢、鳙、草鱼、银鲫仔鱼通常出现在 PNR 后的 3—4d (水温 $(19.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$)^[16]。仔鱼 50% 死亡率出现在 PNR 之后, 意味着在 PNR 前仔鱼一旦得到食物尚有较大恢复可能, 反之, 可能性较小。唐鱼仔鱼 50% 死亡率出现在 PNR 后 1d (水温 $(26.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$)^[30], 如在 PNR 前 1d 恢复投喂, 其最终存活率虽也低于 30%, 但幸存的仔鱼能迅速恢复到或接近正常生长水平^[30]。有关食蚊鱼仔鱼在饥饿后的恢复能力尚待进一步研究。

3.2 饥饿对仔鱼生长及形态发育的影响

卵生硬骨鱼类仔鱼孵出后身体微小, 体重指标不容易测得, 体长是最常用的生长指标。多数卵生硬骨鱼类, 如鲢、鳙、草鱼、银鲫等饥饿仔鱼在接近

PNR 时观察到体长负增长现象, 研究者认为这是骨骼系统尚未发育完善的仔鱼为保障活动耗能, 提高摄食和存活机会的一种适应现象^[13—16, 19, 24], 其生理机制尚不十分清楚。食蚊鱼仔鱼体长生长上并没有观察到此现象, 其中可能的原因是仔鱼产出时颅骨和躯干骨骨化程度已较高, 物质重吸收困难, 因而体长变化不明显。在所测得的 5 项生长指标中, 食蚊鱼饥饿仔鱼体高和体重两个生长指标负增长明显。鱼类饥饿生理研究表明, 多数鱼类在饥饿状态下消耗身体物质的规律是从脂肪、糖原再到蛋白质, 蛋白质一般在脂肪被大量消耗后才动用^[27]。由于食蚊鱼仔鱼脂肪含量和糖原存量较低, 在卵黄消耗完毕后, 便开始利用组织蛋白, 故导致形态上腹部收缩、体高下降, 同时体重也下降而出现负增长。

在自然水体中为准确估算仔鱼群体补充量, 必须排除已经过了 PNR 而对群体补充无贡献的仔鱼, 因为这部分仔鱼通常呈中性浮性, 在采样过程中容易被采集^[13, 31]。过去曾认为, 仔鱼遭受饥饿后出现的“胸角”特征是与健康仔鱼相区别的有效指标^[13, 31]。近年的研究指出, 这一指标是否有效视不同种类而定^[12, 23, 25, 33], 而且野外状态的表现与实验室的结果可能差异甚大^[32]。食蚊鱼仔鱼无论饥饿与否均没有出现“胸角”^[32]。一般认为, 采用测量身体各部分形态性状比例作为鉴别饥饿仔鱼指标可靠性更高^[31], 例如, 北海鲱 PNR 期饥饿仔鱼的头高/眼高 < 2 , 而健康仔鱼 > 2 ^[15]。本文所测量的食蚊鱼饥饿仔鱼各项形态性状比例指标中, 体长/体高在接近或处在 PNR 期时 > 5 , 而健康仔鱼 < 4.5 , 两者区别显著, 可作为鉴别饥饿仔鱼和健康仔鱼较理想的指标。

参考文献:

- [1] Pan J H, Su B Z, Zheng W B. Biological characteristic of *Gambusia affinis* and the prospects for its use in mosquito control [J]. *Journal of South China Normal University* (Nature Science Edition), 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. 华南师范学报(自然科学版), 1980, (1): 118—138]
- [2] Cabral J A, Margues J C. Life history, population dynamics and production of eastern mosquitofish, *Gambusia holbrooki* (Pisces, Poeciliidae), in rice fields of the lower Mondego River Valley, western Portugal [J]. *Acta Oecologia*, 1999, 20(6): 607—620
- [3] Lawler S P, Dritz D, Strange T. Effect of introduced mosquito fish and bullfrogs on the threatened California red-legged frog [J]. *Conservation Biology*, 1999, 13(3): 613—622
- [4] Goodsell J A, Kats L B. Effect of Introduced Mosquito Fish on Pacific Treefrogs and the Role of Alternative Prey [J]. *Conservation Biology*,

- 1999, **13**(3): 921—924
- [5] Rincón P A, Coneas A M, Morcillo F, *et al.* Interaction between the introduced eastern mosquito fish and two autochthonous Spanish toothcarps [J]. *Journal of Fish Biology*, 2002, **61**: 1560—1585
 - [6] Karen E L, Sharon P L, Terry S. Effect of an alien fish, *Gambusia affinis*, on an endemic California fairy shrimp, *Linderiella occidentalis*; implications for conservation of diversity in fishless waters [J]. *Biological Conservation*, 2004, **118**: 57—65
 - [7] Caiola N and Sostoa de A. Possible reason for the decline of two native tooth carps in the Iberian Peninsula; evidence of competition with the introduced Eastern mosquito fish [J]. *Journal Apply Ichthyology*, 2005, **21**: 358—363
 - [8] Li Z Y, Xie Y. Invasion Species in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002, 88 [李振宇, 解焱. 中国外来入侵种. 北京: 中国林业出版社, 2002, 88]
 - [9] Scribner K T, Wooten M C, Smith M H, *et al.* Variation in life history and genetic traits of Hawaiian mosquitofish populations [J]. *Journal Evolution Biology*, 1992, **5**: 267—288
 - [10] Haynes J L, Cashner R C. Life history and population dynamics of western mosquito fish; a comparison of natural and introduced populations [J]. *Journal of Fish Biology*, 1995, **46**: 1026—1041
 - [11] Fernandez-Delgado C, Rossomanno S. Reproductive biology of the mosquito fish in a permanent natural lagoon in south-west Spain; two tactics for one species [J]. *Journal of Fish Biology*, 1997, **51**: 80—92
 - [12] Benoît H P, Post J R, Barbet A. Recruitment dynamics and size structure in experimental populations of the mosquitofish, *Gambusia affinis* [J]. *Copeia*, 2000, **1**: 216—221
 - [13] Yin M C. Advances and studies on early life history of fish [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1991, **15**(4): 348—358 [殷名称. 鱼类早期生活史研究与进展. 水产学报, 1991, **15**(4): 348—358]
 - [14] Yin M C, Baxter J H S. Morphological changes during growth and starvation of larval cod and flounder (*Platichthys flesus* L.) [J]. *Journal of Experimental Marine Ecology*, 1986, **104**: 215—228
 - [15] Yin M C. Feeding ability and growth of the yolk-sac larvae of the North Sea herring [J]. *Oceanography and Limnology Sinensis*, 1991, **22**(6): 554—560 [殷名称. 北海鲱卵黄囊仔鱼的摄食和生长. 海洋与湖沼, 1991, **22**(6): 554—560]
 - [16] Yin M C. Feeding, growth and starvation tolerance of the yolk-sac larvae of silver, bighead grass and crucian carps [A]. Transaction of the Chinese Ichthyological Society (No. 6) [M]. Beijing: Science Press, 1997, 69—79 [殷名称. 鲢、鳙、草、银鲫卵黄囊仔鱼的摄食生长、耐饥饿能力. 鱼类学论文集(第六辑). 北京: 科学出版社, 1997, 69—79]
 - [17] Bao B L, Su J X, Yin M C. Effect of delayed feeding on feeding ability, survival and growth of red sea bream and olive flounder larvae during early development [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1998, **22**(1): 33—38 [鲍宝龙, 苏锦祥. 殷名称. 延迟投饵对真鲷牙鲆仔鱼早期阶段摄食存活及生长的影响. 水产学报, 1998, **22**(1): 33—38]
 - [18] Zhou Q, Wang Y C, Su J X. Effect of water temperature on the growth, development, feeding and PNR of larval marbled (*Limanda yokohamae*) [J]. *Journal of Fishery Science of China*, 1998, **5**(1): 30—37 [周勤, 王迎春, 苏锦祥. 温度对黄盖鲈仔鱼生长发育摄食及PNR的影响. 中国水产科学, 1998, **5**(1): 30—37]
 - [19] Qiu L H, Jiang Z Q, Qin K J. Studies on feeding and growth of fat greenling during early development [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, **6**(3): 1—4 [邱丽华, 姜志强, 秦克静. 中国水产科学, 1999, **6**(3): 1—4]
 - [20] Zhuang P, Zhang L Z, Zhang T, *et al.* Effects of delaying first feeding time on the survival and growth of larvae Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(6): 560—565 [庄平, 章龙珍, 张涛, 等. 中华鲟仔鱼初次摄食时间与存活及生长的关系. 水生生物学报, 1999, **23**(6): 560—565]
 - [21] Wang J W, Qiao H, Tao Y L. Feeding and starvation tolerance of the yolk-sac larvae of *Gobiocypris Rarus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(6): 648—654 [王剑伟, 乔华, 陶玉岭. 稀有鮎鲫仔鱼的摄食和耐饥饿能力. 水生生物学报, 1999, **23**(6): 648—654]
 - [22] Ling Q F, Li S F, Qiao D L, *et al.* The study of the embryonic development and feeding of the yolk-sac of *Tinca Tinca* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, **27**(1): 43—47 [凌去非, 李思发, 乔德量, 等. 丁鲳胚胎发育和卵黄囊仔鱼摄食研究. 水产学报, 2003, **27**(1): 43—47]
 - [23] Wan R J, Meng Z N, Li X S. Feeding ability and nutrient metabolism of the halfbeak (*Hyporhamphus sajoi*) larvae [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2003, **49**(4): 466—472 [万瑞景, 蒙子宁, 李显深. 沙氏下鲾仔鱼的摄食能力和营养代谢. 动物学报, 2003, **49**(4): 466—472]
 - [24] Zou J X, Xiang W Z, Hu C Q, *et al.* Feeding and growth of the larvae of *Epinephelus malabaricus* in the process of nourishing transformation [J]. *High Technology Communication*, 2003, **5**: 87—91 [邹记兴, 向文州, 胡超群, 等. 点带石斑鱼仔鱼营养转换期的摄食与生长. 高技术通讯, 2003, **5**: 87—91]
 - [25] Wan R J, Li X S, Zhuang Z M, *et al.* Experimental starvation on *Engraulis japonicus* larvae and definition [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, **28**(1): 79—83 [万瑞景, 李显深, 庄志猛, 等. 鲱鱼仔鱼饥饿试验和不可逆点的确定. 水产学报, 2004, **28**(1): 79—83]
 - [26] Yasunori K, Mutsumi I, Terumasa N. Dynamics of oocyte and embryonic development during ovarian cycle of the viviparous mosquitofish *Gambusia affinis* [J]. *Fisheries Science*, 2000, **66**(1): 63—70
 - [27] Xie X J, Deng L, Zhang B. Advance and studies on ecophysiological effects of starvation on fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1998, **22**(2): 181—189 [谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态影响的研究进展. 水生生物学报, 1998, **22**(2): 181—189]
 - [28] 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]
 - [29] Zheng W B, Pan J H. Study on the reproductive property of *Gambusia affinis* [J]. *Zoological Research*, 1985, **6**(3): 227—231 [郑文彪, 潘炯华. 食蚊鱼生殖特性的研究. 动物学研究, 1985, **6**(3): 227—231]
 - [30] Chen G Z, Fang Z Q, Ma G Z. Studies of strategy for response to starvation risk in the larvae of *Tanichthys albonubes* [J]. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 2006, **1**:

- 108—113 [陈国柱, 方展强, 马广智. 唐鱼仔鱼对饥饿的应对策略研究. 华南师范大学学报(自然科学版), 2006, 1: 108—113]
- [31] Bao B L, Su J X. Research of nutrition statue of starved marine larvae [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1998, 7(1): 51—58
- [鲍宝龙, 苏锦祥. 海洋饥饿仔鱼营养的研究. 上海水产大学学报, 1998, 7(1): 51—58]
- [32] Song Z B, Cao W X. The preliminary studies on nutritional condition of larval grass carp, silver carp, black carp and bighead from the middle reaches of the Yangtze River [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2001, 31(4): 16—20 [宋昭彬, 曹文宣. 长江中游四大家鱼仔鱼营养状况的初步研究. 动物学杂志, 2001, 31(4): 16—20]
- [33] Zhuang Z M, Wan R J, Chen S P, *et al.* Feeding and growth of the tongue fish *Gynoglossus sinilaensis* larva [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2005, 51(6): 1023—1033 [庄志猛, 万瑞景, 陈省平, 等. 半滑舌鳎仔鱼的摄食与生长. 动物学报, 2005, 51(6): 1023—1033]
- [34] Zhang L. SPSS 13.0 applied in bio-statistic [M]. Xiamen: Press of Xiamen University, 2006, 78 [张力. SPSS 13.0 在生物统计中的应用. 厦门: 厦门大学出版社, 2006, 78]

THE EFFECT OF STARVATION ON FEEDING, GROWTH AND MORPHOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE LARVAE OF MOSQUITO FISH

CHEN Guo-Zhu, LIN Xiao-Tao, XU Zhong-Neng, SUN Jun and CHEN Pei

(*Institute of Hydrobiology, Jinan University; Key Laboratory for Water Eutrophication and Red-tide control, Department of Education of Guangdong Province, Guangzhou 510632*)

Abstract: Mosquito fish *Gambusia affinis* is a small, ovoviviparous topminnow, native to the North America which had been an invasive species widely in the world. The larvae of this species were reared at about $(28.5 \pm 1.2) ^\circ\text{C}$ in laboratory to examine the feeding ability change, growth and morphological development under starvation condition to investigate their early recruitment potential fluctuation affected by starvation factor. All larvae were divided into 3 groups; unfed, feeding and mortality observation group, each group were reared in three 2.5L glass tanks. Every day 5 larvae were taken from the culture tanks of unfed or feeding group to measure the morphological indexes in microscope respectively, while 10 larvae were taken to examine feeding ratio and intensity. The dead larvae of mortality observation group were recorded and removed every day.

The results showed that the new born larvae developed perfectly, swam and preyed freely after 2 hours when the swim bladder was filled with gas, and used the yolk-sac to provide energy about 6 hours. Their mixed-nutrient stage lasted only 4 hours. During the experiment, the feeding ratio of feeding larvae was 100% while unfed larvae had feeding ratio at 100% when re-fed from 0d to 3d following by decreasing rate. On the 5thd, feeding ratio of unfed larvae was remarkable lower than those of feeding larvae. On the 6thd, unfed larvae feeding ratio was 0. Feeding ratio of unfed larvae had negative relationship with starvation time. The new born larvae feeding intensity on 1—2 stage mosquito larvae was $(2.9 \pm 1.4) \text{ind}/\text{ind} \cdot \text{h}$, which increasing rapidly, and each 6-d-born fish can capture more than 11 mosquito larvae. After re-feeding, unfed larvae feeding intensity increased with their age during 0—4d, but was very remarkable lower than those of feeding fish at the same age, and dropped on the 5thd. There were no remarkable relationship between initial feeding ratio and initial feeding intensity of unfed larvae. The point-of-no-return (PNR) was 5.5 day of unfed larvae. The death rate of unfed larvae was less than 10% on 0—3d, $(64.4 \pm 18.1) \%$ on 4d and 100% on 6d while feeding larvae was no more than 5%.

At the 6th day after birth, the venter fins of feeding larvae developed and different part of the body had different growth rate. The body depth (BD) and weight (W) of unfed larvae performed remarkable negative growth rate. Standard body length (SL)/Body depth (BD) ratio was higher than 5 in unfed larvae while lower than 4.5 in feeding larvae, which can be applied to distinguish the starvation and healthy larvae in field research. The relationship between larvae starvation tolerance and competitive ability and their invasion were also discussed in this paper.

Key words: Mosquito fish; Larvae; Feeding; Starvation; Growth