

延迟首次投喂对南方鲇 (*Silurus meridionalis* Chen) 仔鱼身体含能量、体长及游泳能力的影响

张 怡^{1,2}, 曹振东^{1,2,*}, 付世建¹

(1. 重庆师范大学进化生理与行为实验室 ; 2. 重庆市动物学重点实验室 , 重庆 400047)

摘要 在 $(22.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 条件下 , 将人工孵化的南方鲇仔鱼分别于出膜后 4、5、6、7 天进行首次投喂 (其中 4d 的为对照组) , 首次投喂前 (出膜后 4 d) 取样测量体长、体重、身体含能量作为初始值 , 于出膜后 7 d (延迟投喂实验) 和 21 d (继续喂养实验) 分别测定体长、体重、身体所含能量和临界游泳速度。结果显示 : 延迟投喂实验结束时各处理组的体重、身体含能量和体长随首次投喂时间的延迟均呈下降趋势 , 相对临界游泳速度随首次投喂时间的延迟表现为先提高后降低的趋势 , 绝对临界游泳速度在延迟投喂 2d 以内无显著差异 , 继续喂养实验结束时处理组各指标逐渐接近对照组水平 , 两种临界游泳速度表现为同步变化趋势 ; 另外 , 体长特定生长率相对百分比 ($\text{SGR}_L\%$) 的变化幅度小于身体含能量特定生长率相对百分比 ($\text{SGR}_E\%$) 的变化幅度 , 而绝对临界游泳速度相对百分比 ($U_{crit}\%$) 的变化又小于体长特定生长率相对百分比的变化。结果表明 : 早期食物资源的短缺会导致南方鲇仔鱼体重、身体含能量产生明显变化 , 体长生长速度的变化则相对较小 , 而短期饥饿不会显著降低南方鲇仔鱼的游泳能力。

关键词 延迟首次投喂 ; 体长 ; 身体含能量 ; 临界游泳速度 ; 仔鱼 ; 南方鲇 (*Silurus meridionalis* Chen)

文章编号 : 1000-0933 (2007) 03-1161-07 中图分类号 : Q493.8 文献标识码 : A

Effect delayed first feeding on the energy content , body length and swimming performance of southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) larvae

ZHANG Yi^{1,2} , CAO Zhen-Dong^{1,2,*} , FU Shi-Jian¹

1 Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior , Chongqing 400047 , China

2 Key Laboratory of Animal Biology , Chongqing Normal University , Chongqing 400047 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (3) 1161 ~ 1167.

Abstract : The endogenous nutrition period of fish larvae is considered critical for the early life stage of fishes. During the transition from endogenous nutrition to exogenous feeding , many fish larvae fail to initiate successful first feeding , which may lead to starvation , adverse growth , abnormal behavior even mortality. Swimming performance is an important parameter indicating the potential survival ability of many fish species due to its ecological relevance in animals' predator avoidance and hunting success. However , limited information is available on the effect of the timing of first feeding on the swimming performance in fish larvae , and its relationship to energy content and body length.

Southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) is widely distributed in the Yangtze and Zhujiang Rivers , where the food abundance experiences drastic seasonal fluctuation. Spawning in the early spring , the first feeding in larvae southern catfish

基金项目 : 国家自然科学基金资助项目 (30371121) , 重庆市自然科学基金资助项目 , 重庆市教委科学技术研究资助项目

收稿日期 : 2006-02-20 ; 修订日期 : 2006-11-20

作者简介 : 张怡 (1981 ~) , 女 , 重庆人 , 硕士 , 主要从事鱼类生理生态学研究. E-mail : zhangyi07316@hotmail.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail : z. d. cao@hotmail.com

Foundation item : The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30371121) , Natural Science Foundation of Chongqing , Chongqing Scientific and Technology Programme

Received date 2006-02-20 ; **Accepted date** 2006-11-20

Biography ZHANG Yi , Master , mainly engaged in fish ecophysiology. E-mail : zhangyi07316@hotmail.com

coincide with one of the most unstable periods in terms of food availability. We suspect the plasticity of the timing of first feed in this species may be one of the keys to its success in its natural habitat. The current study is to swimming performance as an indicator to illustrate how energy content and body length.

The effect of the timing of initial feeding (4, 5, 6 and 7 days post-hatch, dph) on energy content, body size and swimming performance of artificially fertilized southern catfish larvae were conducted at $(22.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ in the Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior of Chongqing Normal University. Larvae were sampled and analyzed for energy content, body weight and length measurement before feeding at 4dph, and different delayed first feeding treatment at 7dph and 21dph. The critical swimming speed (U_{crit}) of larvae with different delayed first feeding treatment were also measured at 7 dph and 21 dph. The parameter measured at 7dph showed that the energy content, body weight and body length of larvae had a tendency to decrease with increased delayed first feeding time whereas no significant difference in U_{crit} was found among different experimental groups. The relative critical swimming speed was increased with first feeding time increase from 4 to 6 dph, and decreased with first feeding time increased from 6 to 7 dph. The data at 21 dph showed that the body weight, energy content and body length of larvae first fed at 5, 6 and 7 dph gradually approach those of larvae first fed at 4 dph. The effect of delayed first feeding had most impact on energy content specific growth rate ($\text{SGR}_E\%$), then on the body length specific growth rate ($\text{SGR}_L\%$), whereas it had the least impact on the absolute critical swimming speed among the three parameters. The results indicated that in *Silurus meridionalis* Chen, the swimming performance was less plastic while the body energy content was more plastic compared with the body length when facing the temporal fluctuation of food availability during the early development stage.

Key Words: first feeding; body length; energy content; critical swimming speed; larvae; *Silurus meridionalis* Chen

自然水体中食物资源的巨大变化,使鱼类在个体发育过程中经常面临不同程度的饥饿^[1],而早期生活史过程中的食物缺乏会影响仔鱼发育、生长和体内物质代谢与积累^[2],影响卵黄消失后仔鱼的运动和寻食能力^[3],最终可能使仔鱼产生有别于正常状态的形态发育和行为^[4]。当经历饥饿的仔鱼重新面临丰富食物环境后许多补偿反应被激活^[5],出现补偿生长现象^[6]。延迟首次投喂使仔鱼面临的短期饥饿,对以后的发育和生存产生重要影响^[7]。已有相关研究多以冷水性^[2, 8]、亚冷水性^[7]鱼类为对象,考察延迟首次投喂对仔鱼形态发育^[9, 10]、存活率^[11]、摄食能力^[12, 13]、食物利用能力^[8]等方面的影响,及这种影响在不同温度条件下的反应^[14],延迟首次投喂对游泳运动能力影响的研究鲜有报道。

南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)为早春产卵的经济鱼类,不仅在我国已有较广泛的人工养殖,而且还是一个适用于理论研究的实验对象^[15, 16]。其仔鱼早期发育过程中的形态变化、温度对发育的影响等方面的相关资料已有报道^[17~19]。本研究对南方鲇仔鱼进行延迟首次投喂处理,通过及时采样考察食物短缺对仔鱼身体含能量、发育速度、游泳运动能力的影响;另外,通过进行饱足喂养两周的实验,揭示在重新提供丰富食物的条件下,延迟首次投喂的影响所产生的变化;旨在探讨南方鲇仔鱼对早期饥饿的生态适应机制,为鱼类早期生活史对策的相关研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料及其来源

本研究以开口摄食的南方鲇仔鱼为实验对象。初孵仔鱼由天然捕获的南方鲇亲鱼经人工干法受精于 $(22.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 温度中孵化得到,在相同温度下继续发育至开口摄食。

1.2 实验方案与操作方法

实验 I (延迟投喂实验):根据相关文献资料^[18]和预备实验的观测结果,南方鲇仔鱼出膜 3 d 后陆续开口摄食,本实验分别于仔鱼出膜后第 4、5、6、7 天进行首次投喂,一直投喂至出膜后 7 d,饥饿处理时间则分别为 1、2、3 d,将上述各组依次作为对照组(出膜后 4 d, C)、延迟 1 d 处理组(出膜后 5 d, D1)、延迟 2 d 处理组(出

膜后 6 d (D2) 和延迟 3 d 处理组 (出膜后 7 d (D3))。开始首次投喂前 (出膜后 4 d) 于各组中随机取样作为初始样本。实验结束后禁食 12 h, 每组分别随机取样并测量临界游泳速度、体长、体重和身体含能量。实验主要用以考察不同延迟首次投喂历时对南方鲇仔鱼发育速度、身体所含能量以及游泳能力的即时影响。

实验 II (继续喂养实验): 延迟投喂实验取样后, 将各实验组剩余的仔鱼继续饱足喂养, 直至出膜后 21 d, 实验结束后禁食 12 h, 每组分别随机取样并测定临界游泳速度、体长、体重、身体含能量。实验主要用以考察经延迟投喂实验处理的南方鲇仔鱼在继续喂养 14 d 后, 发育速度、身体含能量以及游泳能力的变化情况。

实验于 2005 年 4 月在重庆师范大学进化生理与行为学实验室进行。将发育良好的个体随机分成 4 组, 每组 3 个重复, 每个重复 60 尾, 并置于以丝绢 (60 目) 为底的桶状 ($\Phi = 20\text{cm}$) 实验单元中; 每 12 个单元放置于一个组合式水生动物养殖实验水槽中 ($1.2\text{m} \times 0.55\text{m} \times 0.55\text{m}$), 各单元由同一循环水源分别供水以确保水质相同; 实验用水为曝气控温后的自来水, 实验期间水温为 $(22.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 水体溶氧接近饱和状态 ($\geq 7\mu\text{L/L}$), 日换水量约为 10%; 光周期设置为 13L:11D。投喂时间为 8:00、13:00、18:00 和 23:00, 以活线虫 (*Oligochaeta*) 为饵料进行饱足投喂。实验过程中每次投喂前收集残饵和粪便以外, 并清除偶然出现的种内捕食者。对照组开始首次投喂前, 各实验组随机取样 24 尾仔鱼 (每个单元 2 尾), 以 100mg L^{-1} 的 MS222 麻醉后测体长和体重, 随后烘干并测量干重和能值, 其结果作为初始值; 延迟投喂实验和继续喂养实验结束后 (禁食 12h), 分别随机取样 45 尾 (每个重复 15 尾)、30 尾 (每个重复 10 尾), 依次测量临界游泳速度、体长、体重和能值。

1.3 测定方法

1.3.1 临界游泳速度的实验装置及测定

临界游泳速度采用本实验室自行研制的 4 台压差式鱼类游泳能力测定装置 (专利申请号 200520010483.X) 进行测定, 其工作原理为: 由水位恒定的上位液面和排水液面的垂直高度确保稳定的供水水压; 在入水口与游泳管之间设计 6 组并联的水阀, 每组水阀包括 2 个串联的水阀, 其中 1 个为调速阀, 用于设置不同档的水流速度; 另 1 个为截止阀, 用于选择调节阀所设置的水流速度; 各水阀出口连通并与游泳管相接, 游泳管两端各安装一个多孔筛板, 以使游泳管截面各处水流速度均匀, 同时防止实验鱼的逃逸。通过预备实验设定最低档的水流速度, 其余各档设置的流速均以约每秒 1 个平均体长递增。打开游泳管远端的筛板, 将待测仔鱼置于游泳管内, 通过由低到高依次改变流速的方法测定仔鱼临界游泳速度。本实验间隔 2min 提高 1 档水流速度, 随水流速度的不断提高, 仔鱼在游泳管中的位置随水流后移, 连续 3 次触及游泳管远端筛板则结束实验^[20]。

1.3.2 能值的测定方法

将烘干仔鱼样本碾磨后烘干至恒重, 采用氧弹测热仪 (Model 6300 Parr Instrument Company, USA) 进行能值 (kJ/g) 测定。

1.4 参数计算与数据分析

临界游泳速度 (critical swimming speed, U_{crit}):

$$U_{crit} = V_f + [(t/\Delta t)dv] \quad (1)$$

式中, V_f 是鱼能够维持 2min 游泳的最大水流速度, dv 为每档水流速度的增加量, Δt 为各流速下的持续时间 (2min), t 是在最大水流速度 (持续时间小于 2min) 下的游泳历时^[21]。临界游泳速度可分为绝对临界游泳速度 (absolute critical swimming speed, U_a) 和相对临界游泳速度 (relative critical swimming speed, U_r)^[22]:

$$U_r = U_a / L \quad (2)$$

式中 L 为实验仔鱼的体长。

特定生长率 (specific growth rate, SGR_x):

$$SGR_x = [\ln(X_2) - \ln(X_1)] / T \times 100 \quad (3)$$

式中, X_1 和 X_2 为前后两次取样测定结果, 当 X 为 L 、 W 、 E 时, 则分别表示体长 (L)、体重 (W) 或含能量 (E), T 为

相邻两次取样的时间长度。

统计分析采用 SPSS12.0 软件,显著性水平规定为 $P < 0.05$ 。实验数据均表示为平均值 \pm 标准误 (Mean \pm SE)。

2 结果

2.1 体重和身体所含能量的变化

南方鲇仔鱼体重 (W) 和身体含能量 (E) 在延迟投喂实验开始时 (出膜后 4 d) 的平均值分别为 13.86 mg、22.65 J/尾 (表 1)。延迟投喂实验结束后 (出膜后 7 d), 各处理组体重和身体含能量与对照组比较均显著减小 ($P < 0.05$), 并随首次投喂时间的延迟下降的幅度加大 (表 1); 各处理组的体重特定生长率 (SGR_W) 和含能量特定生长率 (SGR_E) 随首次投喂时间的延迟而减小, 除处理组 D1 的 SGR_E 与对照组无显著差异以外, 其余两组均显著小于对照组 ($P < 0.05$)。继续喂养实验结束后 (出膜后 21 d), SGR_W 和 SGR_E 的变化趋势却与延迟投喂实验的结果完全相反, 随首次投喂时间的延迟表现出增大的趋势, 其中处理组 D2、D3 的 SGR_W 和 SGR_E 显著高于对照组 ($P < 0.05$) (表 2)。实验全过程 (出膜后 4 ~ 21 d) 的数据显示各处理组的 SGR_W 均显著低于对照组 ($P < 0.05$), 而处理组 D1、D2 的 SGR_E 与对照组无显著差异 (表 2)。将仔鱼的身体含能量折算为单位体重的能值作为各实验组的能量密度, 计算结果显示延迟投喂实验开始时, 仔鱼的平均能量密度为 1.62 J/g; 延迟投喂实验 (7 d) 结束时, 对照组的平均能量密度为 1.07 J/g, 各处理组的平均能量密度分别为 0.82、0.57 和 0.26 J/g, 表明随延迟投喂时间的增加能量密度逐渐降低, 处理组 D2、D3 与对照组之间存在显著差异 ($P < 0.05$)。继续喂养实验 (21 d) 结束时, 各处理组能量密度分别为 2.57、2.62、2.39 J/g, 均与对照组 (2.79 J/g) 无显著差异。

2.2 体长和临界游泳速度的变化

实验开始时 (出膜后 4 d), 南方鲇仔鱼平均体长 (L) 为 11.94 mm; 延迟投喂实验结束, 各处理组的体长增长随首次投喂时间的延迟而减慢, 各组间差异显著 ($P < 0.05$) (表 1); 继续喂养实验后仔鱼体长增长的变化趋势仍表现为随首次投喂时间的延迟而减慢, 而处理组 D1 与对照组之间却无显著差异 (表 1)。体长特定生长率 (SGR_L) 的结果显示, 延迟投喂处理组的 SGR_L 随首次投喂时间的延迟而减小, 彼此差异显著 ($P < 0.05$); 而继续喂养实验后该指标的变化趋势与前期实验的相反, 各处理组的 SGR_L 随首次投喂时间延迟显著增大 ($P < 0.05$) (表 2)。对两个实验全过程 (出膜后 4 ~ 21 d) 的结果显示各处理组的 SGR_L 均与对照组无显著差异 (表 2)。

延迟投喂实验结束时南方鲇仔鱼相对临界游泳速度 (U_r) 随首次投喂时间的延迟先提高后降低, 其中处理组 D2 显著大于对照组 ($P < 0.05$), 而绝对临界游泳速度 (U_a) 除处理组 D3 以外其余各组均与对照组无显著差异; 二者表现出不同的变化趋势 (图 1A)。继续喂养实验结束时, 除处理组 D3 以外, 其余各组均与对照组无显著差异, 且两种临界游泳速度指标呈现出相同的变化趋势 (图 1B)。

另外, 可将对照组的绝对临界游泳速度 (U_{crit}) 与体长 (L) 的相关关系拟合为:

$$U_{crit} = 2.22L + 6.93 \quad (n = 75 \quad r^2 = 0.367 \quad P < 0.01) \quad (4)$$

3 讨论

3.1 南方鲇仔鱼体重、身体含能量和体长的关系

鱼类在生活史各阶段均会面临食物缺乏的情况^[1], 在完全饥饿的状态下, 自身的能量消耗会使其体重、身体含能量逐渐下降, 而下降的速度不仅受温度、饥饿时间等因素的影响, 而且还与鱼所处的发育阶段有关。已有资料表明, 平均体重为 73.65 g 的南方鲇幼鱼, 饥饿 60 d 其身体含能量减小为正常摄食水平的 65% 左右^[23], 而延迟 1 d 首次投喂的南方鲇仔鱼身体含能量仅为正常摄食水平的 56%; 仔鱼身体含能量的变化对饥饿的敏感程度远高于幼鱼, 这可能与仔鱼代谢率较高有关。另外当食物短缺时, 仔鱼的体重和体长增长都会受到影响, 饥饿的南方鲇仔鱼在半致死时的体长大于初孵状态, 而体重却小于初孵状态^[9]; 延迟首次投喂的大西洋鳕鱼 (*Gadus morhua*) 仔鱼随延迟投喂时间的延长其体重出现显著下降, 而体长却与对照组无显著差

接表 1 2

异^[2];同样实验处理的鲟鱼仔鱼 (*Acipenser baeri*) 的体重和体长都显著低于正常投喂的仔鱼,经计算和比较其体重的变化大于体长的变化^[7]。本实验结果表明,延迟投喂实验结束时,各处理组的体长和体重都显著小于对照组 ($p < 0.05$),但体重的变化更大(表 1),与上述鲟鱼的研究结果一致。可见,当南方鲇仔鱼面临一定程度的饥饿时,存在着不依赖体重变化的体长生长。显然,这种体长生长可以用来评价和比较不同鱼类的早期发育潜能。

3.2 南方鲇仔鱼游泳能力和体长的关系

临界游泳速度是衡量鱼类运动能力的一项重要指标^[22],与鱼类的生存和捕食成功概率有密切关系^[24];除水温^[25]、盐度^[26]和粘度^[27]等环境因子对鱼类的绝对临界游泳速度产生影响以外,仔鱼体长作为一个发育指标也会对鱼类绝对临界游泳速度产生重要的影响。过往研究表明,绝对临界游泳速度随着体长的增加而提高^[28],本研究也发现正常投喂的南方鲇仔鱼(对照组)的体长与绝对临界游泳速度也呈显著正相关(方程 4)。然而,延迟投喂实验使南方鲇仔鱼的绝对临界游泳速度和相对临界游泳速度表现出不同的变化趋势,而且一定程度饥饿条件的绝对临界游泳速度与正常投喂组并没有显著差异(图 1A);上述现象证明:饥饿对仔鱼的游泳能力存在着一定的补偿作用。继续喂养实验的结果显示:不同延迟投喂处理组仔鱼的两种临界游泳速度呈现出同步变化的趋势(图 1B),表明经两周饱足喂养后,早期饥饿对临界游泳速度的影响减弱,这一现象从另一方面证明了上述补偿作用确实存在。已有研究发现,早期饥饿鳙鱼仔鱼的运动持续时间有所增加^[3];尽管该结果与本研究评价游泳能力所采用的指标有所不同,但均表明当仔鱼面临一定程度的饥饿时,游泳能力对体长的依赖性降低,饥饿的补偿作用显现。

为了全面考察和比较延迟投喂后仔鱼身体含能量、体长和游泳速度 3 个方面变化趋势,本研究将处理组的这 3 个指标分别与对照组相应指标(对照组为 100%)的比值作为各指标的相对百分比(%)。结果发现:延迟投喂实验造成的食物短缺会使上述 3 个指标均呈现下降趋势,其中 SGR_E 相对百分比($SGR_E\%$)下降幅度明显大于 SGR_L 相对百分比($SGR_L\%$), $SGR_L\%$ 下降幅度又大于绝对临界游泳速度相对百分比($U_{crit}\%$)(图 2A);继续饱足喂养实验后,上述 3 个指标均呈现上升的变化趋势,而 $SGR_E\%$ 的上升幅度明显大于 $SGR_L\%$, $SGR_L\%$ 的上升幅度也大于 $U_{crit}\%$ (图 2B)。两个实验结果的整体分析表明,当食物资源剧烈变动时,南方鲇仔鱼身体含能量的变化程度最大,而游泳能力的变化则最小,这种现象是动物对环境食物资源变动适应机制的客观表现。

生态环境因素的变动特别是食物资源环境的不确定性对仔鱼能量摄入、形态发育和运动能力影响的研究,将有助于全面认识和理解动物对环境生态适应的机理。当能量和营养物质获取受限时,一种功能上能量分配的增加,必定导致另一种功能上分配的减少,生物可以对获得的能量在各项功能之间的分配进行权衡^[30]。繁殖期动物的能量分配倾向于繁殖耗能而非生长耗能^[29],南方鲇早期发育的能量分配侧重于生长发育耗能而非身体储能(本研究);饥饿对游泳能力的补偿作用即游泳能力状态的维持,可能也需要付出较高的能量代价。生态适应选择的机制不仅作用于能量获取和储备、身体生长与发育,还将作用于各功能状态的维持与权衡。

Reference :

- [1] Chappaz R, Olivart G, Brun G. Food availability and growth rate in natural populations of the brown trout (*Salmo trutta*) in Corsican streams. *Hydrobiology*, 1996, 331 : 63 – 69.
- [2] Zhao Y, Chen Y, Brown J A. Impacts of egg and larvae size on survival and growth of Atlantic cod under different feeding conditions. *J Fish Biol*, 2001, 59 : 569 – 581.
- [3] Puvanendran V, Leader L L, Brown J A. Foraging behaviour of Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae in relation to prey concentration. *Can J Zool*, 2002, 80 : 689 – 699.
- [4] Gisbert E, Conklin D B, Piedrahita R H. Effects of delayed first feeding on the nutritional condition and mortality of California halibut larvae. *J Fish Biol*, 2004, 64 : 116 – 132.
- [5] Jobling M, Johansen S J S. The lipostat, hyperphagia and catch-up growth. *Aqua. Res.*, 1999, 30 : 473 – 478.

[6] Nikki J , Pirhonen J , Jobling M , *et al.* Compensatory growth in juvenile rainbow trout , *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) , held individually. *Aquaculture* , 2004 , 235 : 285 — 296.

[7] Gisbert E , Williot P. Larval behavior and effect of the timing of initial feeding on growth and survival of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) larvae under small scale hatchery production. *Aquaculture* , 1997 , 156 : 63 — 76.

[8] Harboe T , Mangor-Jensen A. Time of first feeding of Atlantic halibut , *Hippoglossus hippoglossus* L. , larvae. *Aqua Res* , 1998 , 29 : 913 — 918.

[9] Bisbal G , Bengtson D A. Descriptions of the starving condition in summer flounder , *Paralichthys dentatus* , early life-history stages. *Fish Bull* , 1995 , 93 : 217 — 230.

[10] Dou S , Masuda R , Tanaka M , *et al.* Feeding resumption , morphological changes and mortality during starvation in Japanese flounder larvae. *J Fish Biol* , 2002 , 60 : 1363 — 1380.

[11] 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 Fish Chin* , 1998 22 (1) : 33 — 38.

[12] Wan R J , Meng Z N , Li X S. Feeding ability and nutrient metabolism of the halfbeak (*Hyporhamphus sajori*) larvae. *Acta Zool Sin* , 2003 49 (4) : 466 — 472.

[13] Pena R , Dumas S. Effect of delayed first feeding on development and feeding ability of *Paralabrax maculatofasciatus* larvae. *J Fish Biol* , 2005 , 67 : 640 — 651.

[14] Dou S Z , Masuda R , Tanaka M , Tsukamoto K. Effects of temperature and delayed initial feeding on the survival and growth of Japanese flounder larvae. *J Fish Biol* , 2005 , 66 : 362 — 377.

[15] Fu S J , Xie X J. Nutritional homeostasis in carnivorous southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) : is there a mechanism for increased energy expenditure during carbohydrate overfeeding ? *Comp Biochem Physiol* , 2004 , 139A : 359 — 363.

[16] Fu S J , Xie X J , Cao Z D. Effect of fasting on resting metabolic rate and postprandial metabolic response in southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). *J Fish Biol* , 2005 , 67 (1) : 279 — 285.

[17] Xie X J. On the development of larva of *Silurus soldatovi meridionalis* Chen. *Acta Hydrobiol Sin* , 1989 , 13 (2) : 124 — 133.

[18] Cao Z D , Xie X J. Effect of temperature on the embryonic development of southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). *Acta Ecologica Sinica* , 1994 , 14 (supplement) : 70 — 76.

[19] Cao Z D , Xie X J. Effects of temperature on the time of half mortality , body weight and length in the Southern Catfish , *Silurus meridionalis* , at starvation. *J Southw Chin Norm Univs (Natural Science)* , 1994 , 27 (5) : 746 — 750.

[20] Fisher R , Wilson S K. Maximum sustainable swimming speeds of late-stage larvae of nine species of reef fishes. *J Exp Mar Biol Ecol* , 2004 , 312 : 171 — 186.

[21] Plaut I. Effect of fin size on swimming performance , swimming behaviour and routine activity of Zebrafish *Danio Rerio*. *J exp Biol* , 2000 , 203 : 813 — 820.

[22] Plaut I. Critical swimming speeding : its ecological relevance. *Comp. Biochem. Physiol* , 2001 , 131A : 41 — 50.

[23] Deng L , Zhang B , Xie X J. The recovery growth in the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) following starvation. *Acta Hydrobiol. Sin* , 1999 , 23 (2) : 167 — 173.

[24] Reidy S P , Kerr S R , Nelson J A. Aerobic and anaerobic swimming performance of individual Atlantic Cod. *J Exp Biol* , 2000 , 203 : 347 — 357.

[25] Gamperl A K , Rodnick K J , Faust H A *et al.* Metabolism , swimming performance , and tissue biochemistry of high desert redband Trout (*Oncorhynchus mykiss* ssp.) : evidence for phenotypic differences in physiological function. *Physiol Biochem Zool* , 2002 , 75 (5) : 413 — 31.

[26] Swanson C. Interactive effects of salinity on metabolic rate , activity , growth and osmoregulation in the euryhaline milkfish (*Chanos chanos*). *J Exp Biol* , 1998 , 201 : 3355 — 3366.

[27] Wieser W , Kaufman R. A note on interaction between temperature , viscosity , body size and swimming energetics in fish larvae. *J Exp Biol* , 1998 , 201 : 1369 — 1372.

[28] Brett J R. The relative of size of oxygen consumption and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J Fish Res. BD. Can* , 1965 , 22 : 1491 — 1501.

[29] Primack R B , Hall P. Costs of reproduction in the pink lady's slipper orchid : a four-year experimental study. *Am Nat* , 1990 , 136 : 638 — 656.

[30] Arendt J D. Adaptive intrinsic growth rates : an integration across taxa. *Quart Rev Biol* , 1997 , 72 (2) : 149 — 177.

参考文献：

[11] 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.

[12] 万瑞景 , 蒙子宁 , 李显森. 沙氏下鲷鱼的摄食能力和营养代谢. *动物学报* , 2003 , 49 (4) : 466 ~ 472.

[17] 谢小军. 南方大口鲇幼鱼发育的初步研究. *水生生物学报* , 1989 , 13 (2) : 124 ~ 133.

[18] 曹振东 , 谢小军. 温度对南方鲇胚胎发育的影响. *生态学报* , 1994 , 14 (增) : 70 ~ 76.

[19] 曹振东 , 谢小军. 温度对南方鲇饥饿仔鱼半致死时间及其体质量和体长变化的影响. *西南师范大学学报 (自然科学版)* , 2002 , 27 (5) : 746 ~ 750.

[23] 邓利 , 张波 , 谢小军. 南方鲇饥饿后的恢复生长. *水生生物学报* , 1999 , 23 (2) : 167 ~ 173.