

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.01278

鸭绿江水系唇鲮胚胎发育、仔鱼饥饿及其不可逆点

骆小年, 李军, 刘刚, 夏大明, 金广海, 吴瑞兰, 杜华

(辽宁省淡水水产科学研究院, 辽宁 辽阳 111000)

摘要: 采用人工授精方法, 获得3批次鸭绿江水系唇鲮(*Hemibarbus labeo* Pallas)受精卵, 对胚胎发育过程进行观察和描述, 研究饥饿对初孵仔鱼的生长、形态和行为的影响, 确定不可逆点(PNR)。结果表明: 鸭绿江水系唇鲮成熟的卵细胞为圆形, 米黄色, 卵径为(1.94±0.13) mm。受精卵具有弱黏性, 卵径为(3.07±0.12) mm。在水温 14~24.5 °C, 胚胎发育共历时约 94 h 2 min, 主要发育时期包括胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期和器官形成期。初孵仔鱼全长(8.07±0.27) mm, 卵黄囊体积为(0.55±0.12) mm³; 对照组仔鱼 6 日龄时卵黄囊基本全部被吸收; 在 13 日龄时, 其全长和体质量分别为(12.58±1.03) mm 和(0.010 8±0.002 2) g; 在 24 日龄时, 其全长和体质量分别为(17.21±0.99) mm 和(0.0237±0.0054) g; 全长和体质量分别与日龄之间呈正相关, 其相关系数分别为 $R^2=0.982 6$ 和 $R^2=0.963 6$ 。与对照组相比, 饥饿仔鱼在 6 日龄时全长和体质量开始出现负增长, 其 13 日龄时的全长和体质量分别为(9.32±0.47) mm 和(0.002 2±0.000 5) g。不可逆点研究结果表明, 鸭绿江水系唇鲮仔鱼从 5 日龄时开始摄食, 初次摄食率可达 65%, 在 7~10 日龄达最高摄食率(100%), 出膜后第 12~13 天进入 PNR 期, 并于 14 日龄全部死亡。

关键词: 唇鲮; 胚胎; 饥饿; 不可逆点

中图分类号: S961

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)06-1278-08

唇鲮 [*Hemibarbus labeo*(pallas),1776], 属鲤形目(Cypriniformes), 鲤科(Cyprinidae), 鲮亚科(Gobioninae), 鲮属(*Hemibarbus* Bleeker, 1860), 在中国多水系有分布^[1]。栖息于鸭绿江水系的唇鲮肉质细嫩, 味道鲜美, 具有较高营养价值, 已成为中国北方地区一种经济价值高的食用鱼。虽然唇鲮的人工繁殖^[2]和胚胎发育(涪江下游)^[3]已有相关报道, 但由于不同水系的环境影响因子不同, 对唇鲮繁殖、发育和生长的影响也不相同^[1], 同时近几年来酷渔滥捕和环境恶化等因素, 自然界中鸭绿江水系唇鲮资源日益减少, 而市场的需要量却逐年增大, 其规模化繁养殖技术研究受到关注, 而胚胎发育观察、仔鱼饥饿研究及其不可逆生长点的确定是进行其人工繁育不可缺少的资料。本研究

旨在为唇鲮胚胎发育以及早期形态发育等方面积累基础材料。

1 材料与方法

1.1 材料

亲鱼采捕于鸭绿江支流暖河, 选取性成熟亲鱼(200组), 其中雄鱼体质量(775.00±252.49) g, 全长(51.00±1.67) cm; 雌鱼体质量(1180.00±383.84) g, 全长(47.30±5.03) cm。胚胎发育观察的材料取自人工催产, 干法授精获得的同批正常发育的受精卵。饥饿及不可逆点研究用仔鱼选取同批受精卵发育的健康仔鱼。

1.2 方法

1.2.1 胚胎发育观察 2010年5月至6月共进行

收稿日期: 2011-01-08; 修订日期: 2011-04-25.

基金项目: 辽宁省重大、重点项目“渔业新品种引进、开发”(20082030001).

作者简介: 骆小年(1975-),男,副研究员,研究方向为水产种质资源. E-mail: luo2989_cn@sina.com

李军(1975-),男,助理工程师,研究方向为水产种质资源. E-mail: lj_nwafu@163.com

*骆小年和李军同为第一作者.

3批唇鲮人工授精, 获3批受精卵。胚胎发育观察主要以2010年5月12日4:30进行人工授精获得受精卵为胚胎发育的观察材料, 另外两批受精卵作为补充材料。人工授精室外进行(14±1), 获得的受精卵在实验室内观察, 同时开始记录唇鲮胚胎发育时期和起始时间。

受精卵于室内孵化缸充气孵化(自然水温), 胚胎发育在双目解剖镜下(Olympus SZX7)进行活体连续观察, 摄像, 受精到孵化出膜, 主要发育时期有胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期和器官形成期, 每次观察卵数不少于30粒, 当其中50%以上胚胎出现某个时期发育特征则记为该发育阶段的起始时间, 同时记录形态结构特征、起始时间和水温。试验用水源为充分曝气的地下水, 每天换等温水2次, 换水量为孵化缸内水量的1/3, 并清除死卵。

1.2.2 仔鱼的饥饿实验 选取健康仔鱼600尾, 放入两个水族箱(60 L)中进行培育, 每个水族箱300尾仔鱼, 水温为(22±2), 用氧泵微充气, 实验用水为充分曝气的地下水。每天记录水温和仔鱼死亡情况, 并换等温混合水1/3。实验分为饥饿组和正常饲喂组(对照组), 饥饿组不投饵直至100%死亡, 对照组在仔鱼开口摄食后, 每天投喂2次, 饵料为土池塘培养轮虫和枝角类。

每次每组至少取出5尾仔鱼进行测量, 体质量用电子分析天平测量, 精确到0.0001 g; 全长用千分尺测量, 精确到0.02 mm; 卵黄囊测量采用显微摄影辅助记录, 形态测量的数据通过所拍摄的照片及同期拍摄的标尺, 用Winmeasure软件测量, 计算得到卵黄囊体积。

$$V=4/3\cdot\pi\cdot(r/2)^2\cdot R/2^{[4]}$$

式中 V 为卵黄囊体积(mm^3), r 为卵黄囊短径(mm), R 为卵黄囊长径(mm)。

1.2.3 不可逆点(PNR)的确定 仔鱼开口摄食前, 将1000尾仔鱼移到60 L的玻璃水族箱中, 不予投饵, 每天同一时间, 取出20尾仔鱼放入盛有轮虫(30 ind/mL)的烧杯中。3 h后, 取出仔鱼, 在体视镜下逐一检查摄食情况。摄食率为肠管中含

有轮虫的仔鱼尾数占总测定尾数的百分比。PNR以孵化后天数表示, 当所测定的饥饿组仔鱼的摄食率低于最高初次摄食率的一半时的天数, 即为PNR。

1.3 数据处理

描述性统计值用平均值±标准差($\bar{x}\pm\text{SD}$)表示。

2 结果

2.1 胚胎发育过程

在14~24.5之间, 唇鲮从受精到孵化出膜共历时约94 h 2 min, 主要发育时期有胚盘期、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期和器官形成期, 胚胎发育照片见图版。

胚盘期 成熟卵细胞呈圆球形, 米黄色, 卵质分布均匀, 卵径(1.94±0.13) mm; 卵细胞受精入水后迅速吸水膨胀, 形成卵周隙, 周隙内透明, 此时受精卵外具胶质膜, 有弱黏性, 受精卵的卵径为(3.07±0.12) mm。受精后卵原生质向卵动物极流动, 约1 h 1 min后(15.5), 卵质隆起形成一胚盘, 同时原生质丝出现, 动物极密度较大, 植物极密度较小, 此期为1细胞期或叫胚盘期(图版-1)。

卵裂期 受精后约2 h 38 min时(16), 胚盘中央出现一贯穿胚盘的裂痕, 并随着裂痕的不断加深, 形成分裂沟, 逐渐形成两个隆起的大小相似的细胞, 此时2细胞期出现(图版-2)。受精后约3 h 3 min后(16.5), 出现第二次卵裂, 此次卵裂与第一次卵裂面垂直, 形成4个等大的细胞, 进入4细胞期(图版-3)。在第二次卵裂后, 开始第三次卵裂(受精后约3 h 33 min时, 17), 两个卵裂面与第一次卵裂面平行, 垂直于第二次卵裂面, 出现8细胞期, 细胞排成两行, 每行4个, 两边细胞稍大, 中间细胞较小(图版-4)。第四次卵裂(受精后约4 h 3 min时, 17.5)时, 有两个卵裂面与第二次卵裂面平行, 形成16个细胞, 16细胞期形成(图版-5), 细胞较均匀排列成4排, 每排4个, 此时可明显见到单个细胞变小。受精后约4 h 26 min时(18), 进行第五次分裂, 进入32细

胞期(图版 -6), 此期分裂球最大宽度接近卵黄囊径, 细胞排列紧凑, 排列规律, 分裂沟较清晰。受精后约 4 h 53 min 时(18), 进行第六次分裂, 此时进入 64 细胞期(图版 -7), 此期细胞排列紧凑, 单层, 但排列规律不明显, 细胞大小不整齐, 分裂沟不清晰。受精后约 5 h 29 min 时(19), 进行第七次分裂, 进入 128 细胞期(图版 -8), 此期细胞排列紧凑, 分裂球越来越小, 界线模糊, 排列规律不明显, 此期卵裂进行第一次水平分裂。鲮骨为端黄卵, 卵裂只发生在动物极的胚盘部分, 属于典型的盘状分裂。在卵裂期间, 卵黄内部的细胞质网十分明显, 呈网状结构, 随发育的进行, 细胞质网逐渐向动物极收缩, 于囊胚晚期逐渐消失。

桑葚胚期 胚胎发育的桑葚胚期出现在受精后约 6 h 29 min 时(19), 由于细胞分裂速度不一致, 细胞大小不等且开始分层排列, 细胞界线模糊, 最终许多细胞堆叠在卵黄囊上, 分裂球高高隆起, 类似桑葚状, 此期即为桑葚胚期(图版 -9)。

囊胚期 受精后约 7 h 46 min 时(19), 随着卵裂的继续进行, 且细胞的数量和层数不断增多, 胚盘上的细胞也愈分愈小, 细胞间的界线模糊, 由多层细胞形成囊胚层, 且高高隆起位于卵黄囊之上, 呈半圆球状, 胚胎进入囊胚早期(图版 -10); 于受精后约 8 h 52 min(19.5), 位于卵黄囊上囊胚逐渐向四周扩散, 胚层下包, 囊胚高度开始下降, 此期为囊胚中期(图版 -11); 受精后约 12 h 27 min 时(19.5), 囊胚继续向四周扩散, 高高隆起的囊胚变得扁平, 囊胚下包至卵黄囊约 1/3 处, 整个胚胎近似圆形, 此期称为囊胚晚期(图版 -12)。

原肠胚期 受精后约 14 h 35 min 时(19), 囊胚层下包至卵黄囊约 1/2 部分, 位于动物极的胚盘边缘隆起增厚, 形成一环带称为胚环, 此期为原肠早期(图版 -13); 受精后约 18 h 35 min 时(19), 胚层继续下包 2/3 时, 于胚胎的一侧胚环明显隆起, 胚盾于这一期出现, 此期称为原肠中期(图版 -14); 受精后约 19 h 27 min 时(19), 此时胚层下包卵黄囊约 3/4 部分, 胚体雏形初现,

卵黄呈现倒梨形, 此时胚胎进入原肠晚期(图版 -15)。

神经胚期 随着细胞数量增加, 胚层继续下包, 受精后约 20 h 18 min 时(19), 胚层下包植物极而形成一圆孔, 即胚孔, 孔中可见卵黄栓。胚体基本形状出现, 附着于囊胚层的一侧, 头部稍隆起, 胚尾膨大, 未收缩成型, 胚胎进入神经胚期(图版 -16)。受精后约 23 h 4 min 时(19), 随卵黄栓不断减少, 整个卵黄最终被全部包裹, 胚孔封闭, 头部较神经胚期膨大, 此期为胚孔封闭期(图版 -17)。

肌节出现期 受精后约 24 h 时(19), 头部明显隆起, 胚体增厚, 环抱卵黄, 在胚体中央部出现 2~4 对肌节(图版 -18)。

器官发生形成期 受精后约 25 h 46 min 时(19), 肌节出现 8~10 对, 在头部有一对肾形隆起, 眼囊出现, 并逐渐扩大成长椭圆形, 此期为眼囊期(图版 -19)。受精后约 29 h 49 min 时(19.5), 胚胎发育至尾芽期, 在胚体末端, 稍稍伸出的圆锥状细胞团, 即为尾芽 (图版 -20)。受精后约 34 h 21 min 时(24.5), 随胚体的发育, 尾部附近的卵黄囊内陷, 尾部末端开始游离卵黄囊, 卵黄囊呈现倒葫芦形, 尾部变得宽大, 末端较圆, 尾部中央可见尾泡(克氏囊), 肌节出现 23~26 对, 此期为尾泡期(图版 -21)。受精后约 38 h 时(20.5), 进入尾鳍出现期, 尾鳍原基形成, 随胚体拉长, 尾部也伸长, 卵黄囊前部呈圆形, 后部收缩呈一短棒状, 同时胚体间歇性颤动, 肌肉效应初期胚胎摆动次数(11±3)次/min, 肌节 24~27 对(图版 -22)。受精后约 52 h 30 min 时(22), 尾部进一步伸长, 胚体拉长, 卵黄囊前部圆形, 后部收缩呈棒状, 位于头部腹下方、卵黄囊前上方的心脏开始搏动(图版 -23)。受精后约 94 h 2 min 时(19), 胚胎在卵膜内卷曲, 不停颤动、转动, 尾部不断摆动, 直至破膜而出, 初孵仔鱼全长(8.07±0.27) mm, 身体无色透明, 头部未伸直, 心脏位于卵黄囊正前方, 卵黄囊前部呈梨状, 后部长棒状(图版 -24), 初孵仔鱼大部分时间侧卧水底, 极少活动。

2.2 对照组与饥饿组仔鱼生长变化

对照组初孵仔鱼的卵黄囊体积最大(0.55 ± 0.12) mm^3 ; 随仔鱼的发育, 卵黄迅速被吸收, 卵黄囊体积逐渐减小, 6 日龄时, 卵黄囊基本被吸收完全。由图 1 可知, 初孵仔鱼的全长最小, 为(8.07 ± 0.27) mm, 其全长随日龄增加而增加, 在第 13 日龄时, 其全长可达(12.58 ± 1.03) mm; 建立外源营养的仔鱼, 在 24 日龄时, 其全长可达(17.21 ± 0.99) mm; 全长与日龄呈正相关($R^2=0.9826$) (图 2)。初孵仔鱼的体质量最小, 为(0.0027 ± 0.0002) g; 与全长变化趋势相一致, 仔鱼体质量也随日龄增加而增加 (图 3), 13 日龄时, 体质量可高达(0.0108 ± 0.0022) g; 24 日龄时, 体质量可高达(0.0237 ± 0.0054) g; 体质量与日龄也呈正相关($R^2=0.9636$) (图 4)。

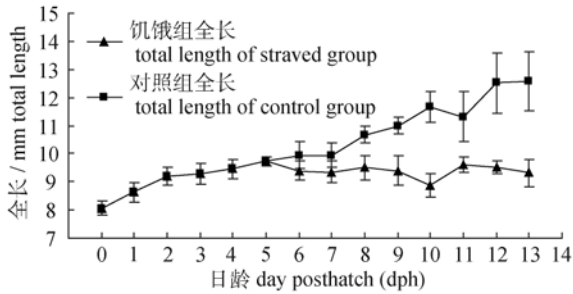


图 1 对照组唇鲮仔鱼与饥饿组仔鱼全长的变化
Fig. 1 Total length of control group and starved group of *Hemibarbus labeo* larva with daily age

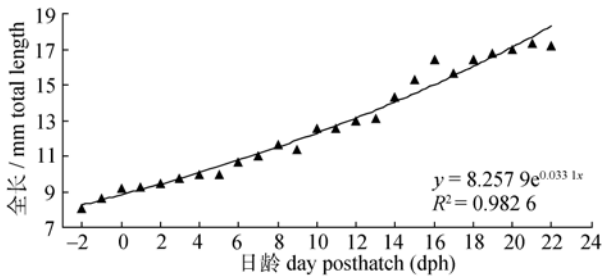


图 2 对照组唇鲮仔鱼全长的变化
Fig. 2 Total length of control group of *Hemibarbus labeo* larva with daily age

由图 1 可知, 饥饿组仔鱼在 5 日龄前, 仔鱼的全长随日龄的增加而增加, 在 5 日龄时, 全长可达到最大值, 为(9.74 ± 0.16) mm, 在 5 日龄后, 出现负增长, 在 13 日龄时, 全长仅为(9.32 ± 0.47) mm。由图 3 可知, 在 0~6 日龄之间, 仔鱼的体质量

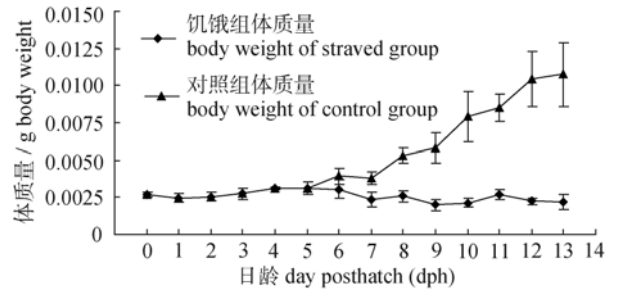


图 3 唇鲮仔鱼对照组与饥饿组体质量的变化
Fig. 3 Body weight of control group and starved group of *Hemibarbus labeo* larva with daily age

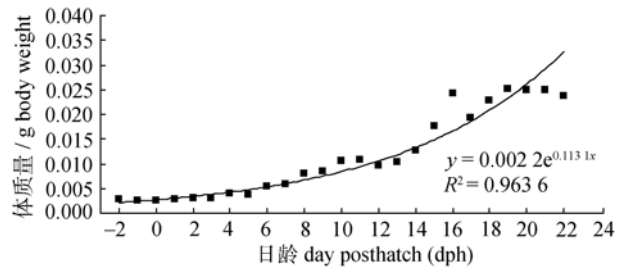


图 4 对照组唇鲮仔鱼体质量的变化
Fig. 4 Body weight of control group of *Hemibarbus labeo* larva with daily age

量也有增加趋势, 其在 4~6 日龄之间, 其体质量可达 0.0031 g, 在 6 日龄之后, 其体质量增减明显, 在 13 日龄时, 其体质量仅为(0.0022 ± 0.0005) g, 饥饿组仔鱼在 14 日龄时, 全部死亡。

在实验中观察到, 初孵仔鱼侧卧水底, 极少活动; 随仔鱼生长发育, 其在 4 日龄, 大约 19% 仔鱼鳔出现, 在 5 日龄时, 全部仔鱼出现鳔, 开始上浮, 平游。随着饥饿实验的进行, 饥饿组仔鱼在形态上出现鱼体消瘦, 身体细长, 头部较大, 停止发育; 多数仔鱼分散在水层的中层, 大部分仔鱼出现头部斜朝下, 尾部朝上现象, 游动缓慢, 反应迟钝, 身体失衡, 虽然仔鱼处于饥饿状态, 但实验中并未发现互相残食现象, 仔鱼于 14 日龄时全部死亡时, 均未出现鳔前室。与饥饿组仔鱼形态不同, 对照组仔鱼发育正常, 身体长度和体质量均明显有所增加, 身体比例均衡, 胃肠道中食物充盈, 仔鱼多数在水层的中下层集群游动, 游动速度快; 对照组仔鱼在孵出后 9 日龄约有 20% 仔鱼出现鳔前室, 圆形, 10 日龄约有 60% 仔鱼鳔前室出现, 11 日龄全部仔鱼出现鳔二室。

2.3 PNR 的确定

图 5 所示为仔鱼初次摄食率的变化, 在水温保持在 (22 ± 2) , 仔鱼在 5 日龄开始摄食外源性营养, 此时肠道与肛门相通, 肠道中可见食物充盈, 肛门处可见粪便, 初次摄食率为 65%, 此后摄食率逐渐升高, 在第 7~10 日龄, 其摄食率均为 100%。在 11 日龄时, 其摄食率有所下降, 在 12 日龄时, 其摄食率降为 65%, 13 日龄的摄食率仅为 10%。13 日龄后, 失去了正常摄食的能力, 鱼体消瘦, 游动减少, 生存能力下降, 随着时间的延续, 仔鱼的死亡数目增加, 14 日龄时仔鱼全部死亡。由此可知, 仔鱼在第 12~13 日龄时进入 PNR 期。

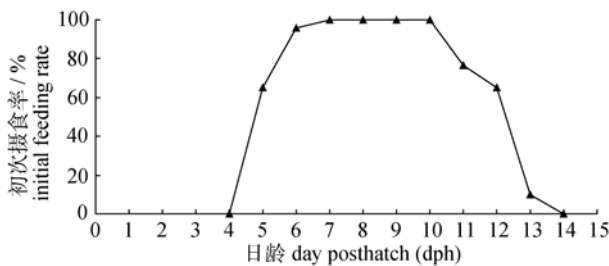


图 5 饥饿唇鲮仔鱼的初次摄食率

Fig. 5 Initial feeding rate of starvated *Hemibarbus labeo* larvae

3 讨论

3.1 胚胎发育

鱼卵大小对鱼类的早期发育和存活具有重要的生态意义, 大的鱼卵能够延长内源转向外源营养的时间, 初孵仔鱼较大, 从而利于仔鱼建立初次摄食、生长和避敌, 提高存活率^[5]。鸭绿江水系唇鲮卵径为 (1.94 ± 0.13) mm, 与涪江下游唇鲮卵径 (1.75) mm^[3]、黑龙江唇鲮卵径 $(1.71 \sim 1.77)$ mm)和钱塘江唇鲮卵径 $(1.58 \sim 1.75)$ mm^[1]相比较, 其卵径较大; 吸水膨胀后鸭绿江水系唇鲮受精卵的卵径 (3.07 ± 0.12) mm 也大于涪江下游唇鲮受精卵的卵径 (2.55) mm^[3]和乌苏里江唇鲮卵径 (2.32 ± 0.12) mm^[2]。与同属的花鲮卵径 $(1.20 \sim 1.50)$ mm)、受精卵的卵径 $(1.80 \sim 2.05)$ mm)和长吻鲮卵径 $(1.13 \sim 1.80)$ mm)、受精卵的卵径 $(2.00 \sim 2.50)$ mm)相比^[1], 其卵径也较大。鸭绿江水系唇鲮初孵仔鱼

全长 (8.07 ± 0.27) mm, 大于乌苏里江唇鲮初孵仔鱼全长 (6.1 ± 0.3) mm^[2]和涪江下游唇鲮初孵仔鱼全长 (6.62) mm^[3]。由此得出, 鸭绿江水系唇鲮卵径和受精卵的卵径较大, 初孵仔鱼全长也较大, 从而易于建立初次摄食, 驯化培育, 生长快, 存活率高, 这些均与笔者在后期仔鱼的培育中观察结果相一致。

在 14~24.5 之间, 鸭绿江水系唇鲮胚胎发育共历时约 94 h 2 min, 其胚胎发育时期与鲤科鳅^[6]和厚颌鲂^[7]的胚胎发育时期基本一致。其受精卵行盘状卵裂, 此种卵裂方式与鲤科的草鱼、青鱼、鲢和鳙的受精卵的分裂方式相同^[8], 均属于典型的盘状分裂。尾泡(克氏囊)是真骨鱼类胚胎发育过程中所特有的结构^[9], 与青鱼、鳙^[8]和稀有鮡鲫^[10]胚胎发育中出现的尾泡相同, 鸭绿江水系唇鲮在胚胎发育过程中, 在尾部也出现尾泡。在硬骨鱼类胚胎发育过程中, 重要器官的出现顺序并非完全相同^[11], 鸭绿江水系唇鲮肌肉效应期早于心脏搏动期, 与白斑狗鱼胚胎发育不同^[12]。鸭绿江水系唇鲮肌节出现时, 眼囊完全没有出现, 这与草鱼和青鱼相同, 但这与鲢在胚胎发育过程中眼囊与肌节几乎同时出现不同^[13-14]。

鸭绿江水系唇鲮出膜时间(94 h 2 min, 14~24.5)与乌苏里江唇鲮出膜时间(72 h 45 min, 22~24)^[2]和涪江下游唇鲮出膜时间(195 h, 12.5~18.5)^[3]均不相同。出膜时间及出膜的发育状况在一定程度上与外界条件有关, Kamler 研究表明, 孵化时间依赖于内源性(卵黄的数量与质量)和外源性(水温、溶氧水平)条件的共同作用^[15], 同时孵化出膜的种内变异也十分明显^[16-17]。鱼类胚胎孵化出膜主要依靠孵化酶的作用, 环境因子主要通过调控鱼类胚胎孵化酶的合成与分泌^[18-19]从而影响孵化时间。

3.2 饥饿组仔鱼生长的变化与 PNR

食物是影响鱼类早期生活史的多种因子中最重要的因子之一^[20]。饥饿直接或间接地影响着仔鱼的生长、代谢水平、贮能物质、形态、组织结构以及行为活动等^[21], 在实验中观察到饥饿组仔

鱼在饥饿后期主要表现形态和行为, 与稀有鮡鲫饥饿仔鱼形态一致^[22]。

在有限的时间内, 卵黄囊期仔鱼的摄食能力随饥饿时间的延续而增加, 饥饿刺激仔鱼提高摄食能力, 必然是以增加其游泳活动水平、耗能加大、影响仔鱼的生长和发育为代价^[23]。鸭绿江水系唇鲮全长与中华倒刺鲃饥饿组仔鱼全长变化趋势基本一致^[24], 饥饿组仔鱼全长在卵黄囊期后明显减小。同时, 仔鱼全部死亡时, 未出现鳔前室, 停止生长发育。

仔鱼发育到肠道贯通, 包括口与肠道接通, 下颌可以运动, 肛门与肠管接通并开口于体外, 胆囊出现, 开始分泌胆汁, 则开始觅食, 建立初次摄食。鸭绿江水系唇鲮仔鱼在 5 日龄开始摄食外源性营养, 初次摄食率较高, 可达到 65%, 在 12~13 日龄时进入 PNR 期, 与同属的花鲮 PNR(8 日龄)^[25]和鲤科的黑尾近红鲃饥饿仔鱼 PNR(日龄 10.5 d)^[24]相比, 鸭绿江水系唇鲮仔鱼 PNR 较长。PNR 在一定程度上可以说明仔鱼的摄食能力和耐饥饿能力^[26], 鸭绿江水系唇鲮在开口后, 其最高摄食率可达 100%, 且可维持 4 d, 于 12~13 日龄时进入 PNR 期, 说明其易于建立初次摄食, 摄食能力强, 具有较强的耐饥饿能力, 在生产中可以充分利用这些特点, 对鸭绿江水系唇鲮进行人工驯化。在仔鱼培育期间, 最佳的投喂时间为孵化出膜后第 5~6 日龄, 此时大部分仔鱼鳔已形成, 仔鱼能够集群巡游, 具备捕食能力, 建立初次摄食的仔鱼, 生长较快, 可以较顺利地由内源性营养期到混合营养期, 并最终建立外源性营养期, 提高存活率。如果延迟投饵, 仔鱼到达 PNR 期后(12~13 日龄时), 尽管还可存活一段时间, 但 50% 的仔鱼体质虚弱, 不可能再恢复摄食能力, 并出现大批死亡现象。PNR 不仅对仔鱼的培育具有重要的意义, 同时对正确估测自然水域中种群补充量也同样重要, 因为过了 PNR 的仔鱼易于捕捞, 但据此捕捞的仔鱼来估测种群补充量是不正确的^[5], 所以确定 PNR 及处于 PNR 期的仔鱼形态学变化可以正确判断自然水域中种群补充量。

参考文献:

[1] 解玉浩, 李文宽, 解涵. 东北地区淡水鱼类[M]. 沈阳: 辽

宁科学技术出版社, 2007: 147-150.

- [2] 徐伟, 李池陶, 耿龙武, 等. 乌苏里江唇鲮的全人工繁育[J]. 中国水产科学, 2009, 16(4): 550-555.
- [3] 贺吉胜, 何学福, 严大明. 涪江下游唇鲮胚胎发育研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1999, 24(2): 225-231.
- [4] 王吉桥, 赵兴文. 鱼类增养殖学[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2000: 188.
- [5] 殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展[J]. 水产学报, 1991, 15(4): 348-358.
- [6] 宓国强, 沈士山, 许谷星, 等. 鳃的人工繁殖与胚胎发育[J]. 水产学报, 2007, 31(5): 639-646.
- [7] 王剑伟, 谭德清, 李文静. 厚颌鲂人工繁殖初报及胚胎发育观察[J]. 水生生物学报, 2005, 29(2): 130-136.
- [8] 刘建康, 何碧梧. 中国淡水鱼类养殖学[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 96-100.
- [9] 上海水产学院. 组织胚胎学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1981: 321-322.
- [10] 常剑波, 王剑伟, 曹文宣. 稀有鮡鲫胚胎发育研究[J]. 水生生物学报, 1995, 19(2): 97-103.
- [11] 唐安华, 何学福. 云南光唇鱼 *Acrosso heilus yunnanensis*(Regan)的胚胎和胚后发育的初步观察[J]. 西南师范学院学报: 自然科学版, 1982(1): 91-99.
- [12] 杜劲松, 海萨, 苏德学, 等. 白斑狗鱼胚胎和仔鱼发育的研究[J]. 水生生物学报, 2004, 28(6): 629-634.
- [13] 易伯鲁, 梁秩燊, 余志堂, 等. 长江草青鲢鳙四大家鱼早期发育的研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1988: 69-116.
- [14] 易伯鲁, 余志堂, 梁秩燊. 长江草青鲢鳙及其他产漂流性鱼卵鱼类胚胎发育的比较研究[A]. 太平洋西部渔业研究委员会第八次会议论文集, 北京: 科学出版社, 1963: 37-63.
- [15] Kamler E. Early life history of fish. An energetic approach[M]. London: Chapman & Hall, 1992: 267.
- [16] Balon E K. The theory of saltation and its application in the ontogeny of fishes: steps and thresholds[J]. Env Biol Fish, 1979, 4(2): 97-101.
- [17] Balon E K. Alternative ways to become a juvenile or a definitive phenotype (and on some persisting linguistic of-fenses)[J]. Env Biol Fish, 1999, 56: 17-38.
- [18] Dimichele L, Taylor M H. The mechanism of hatching in *Fundulus heteroclitus*: development and physiology [J]. J Exp Zool, 1981, 217(1): 73-79.
- [19] 樊廷俊, 史振平. 鱼类孵化酶的研究进展及其应用前景[J]. 海洋湖沼通报, 2002(1): 48-56.
- [20] 朱成德. 仔鱼的开口摄食期及其饵料综述[J]. 水生生物学

- 报, 1986, 10(1): 86–95.
- [21] 谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181–188.
- [22] 王剑伟, 乔晔, 陶玉岭. 稀有鮡鲫仔鱼的摄食和耐饥饿能力[J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 648–654.
- [23] 殷名称. 北海鲱卵黄囊期仔鱼的摄食能力和生长[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 554–560.
- [24] 熊美华. 长江五种鲤科鱼类早期形态发育与生长[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006: 45–50.
- [25] 王丹, 赵晓临, 王晓光, 等. 花鲢胚胎和仔鱼发育的初步研究[J]. 水产学杂志, 2008, 21(1): 1–8.
- [26] 张永泉, 尹家胜, 杜佳, 等. 哲罗鱼仔鱼饥饿实验及不可逆生长点的确定[J]. 水生生物学报, 2009, 33(5): 945–950.

Embryonic development, experimental starvation, and the point of no return of *Hemibarbus labeo* (Pallas) in YaLu River

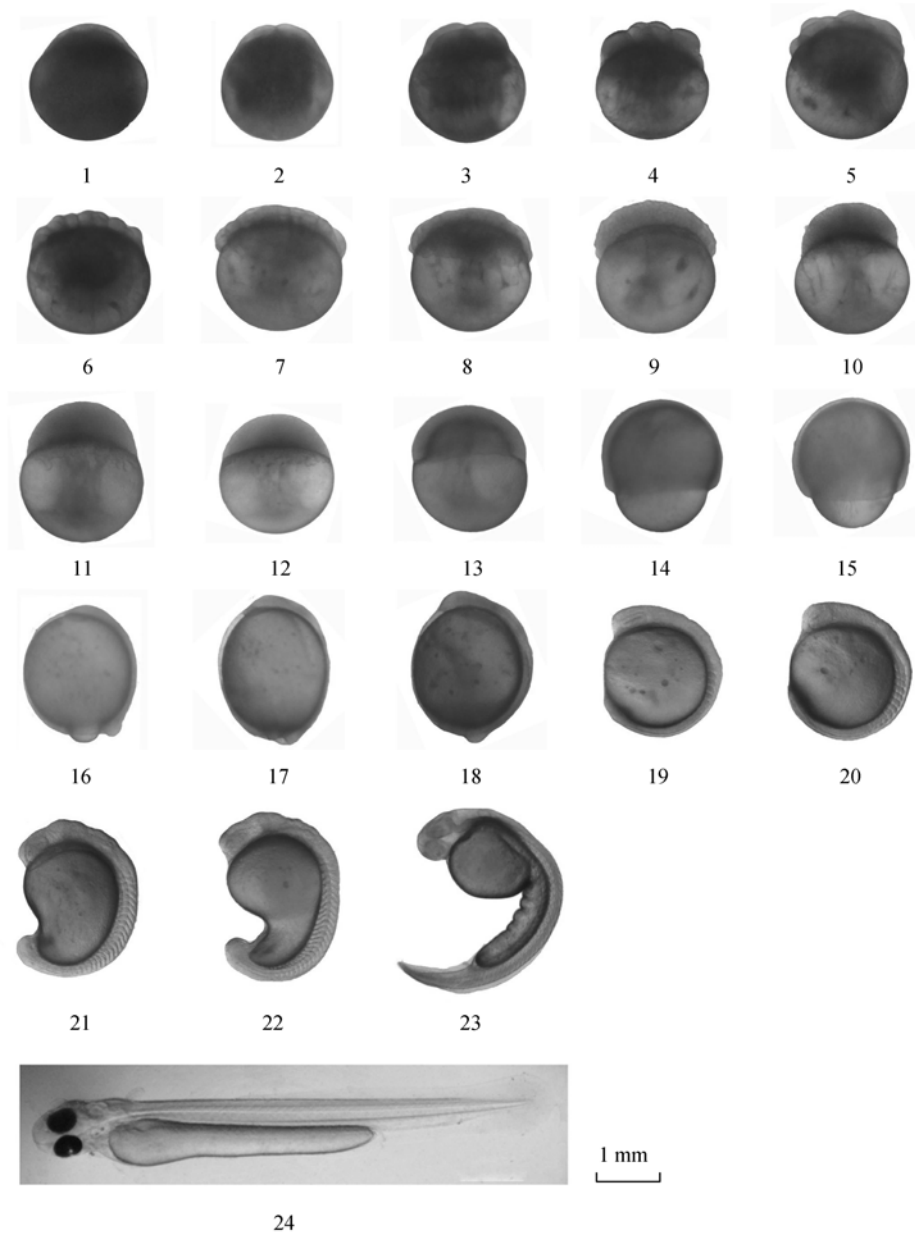
LUO Xiaonian*, LI Jun*, XIA Daming, JIN Guanghai, LIU Gang, WU Ruilan, DU Hua

Freshwater Fisheries Sciences Institute of Liaoning Province, Liaoyang 111000, China

Abstract: *Hemibarbus labeo* Pallas in the Yalu River and its tributaries is a promising and emerging aquaculture population in northeast China. However, the wild population of *H. labeo* in the river has declined recently. We studied embryonic development, the effects of starvation, and the point of no return (PNR) of *H. labeo* broodstocks selected from the Yalu River and its tributaries. Three batches of fertilized eggs were produced by artificial spawning. Mature eggs were spherical, ecreu, and (1.94±0.13) mm in diameter. Fertilized eggs were spherical, adhesive, and (3.07±0.12) mm in diameter. At 14–24.5°C, normal embryonic development using 94 h and 2 min to progress through one-cell, cell division, blastula, gastrula, neurula, and organ formation stages. Newly-hatched larvae were (8.07±0.27) mm in total length and the yolk sac was (0.55±0.12) mm³ in volume. The yolk sac had absorbed completely at 6 days post-hatch (dph). The total length and body weight of the control group (feeding 2 times everyday) had increased to (12.58±1.03) mm and (0.010 8±0.002 2) g, respectively by 13 dph and by 24 dph to (17.21±0.99) mm and (0.023 7±0.005 4) g, respectively. Total length ($R^2=0.982 6$) and body weight ($R^2=0.963 6$) in experimental groups were both positively correlated to dph in the control group. In contrast, both total length and weight of the starved larvae began to decrease after absorption of the yolk sac at 6 dph, declining to (9.32±0.47) mm and (0.0022±0.0005) g, respectively, at 13 dph. Control larvae started to feed at 5 dph, at which time the feeding rate was 65%; 100% were feeding at 7 to 10 dph. Starved larvae suffered from PNR at 12–13 dph, and all died by 14 dph. Understanding embryonic development and knowing the effects of starvation will be important to artificially propagating *H. labeo* and in fish ecology and fisheries biology. Our research will play a key role in artificially propagating large numbers of individuals to augment the wild population and its recruitment deficits.

Key words: *Hemibarbus labeo* Pallas; embryo; starvation; point of no return

“*”: First authors



图版 I 鸭绿江水系唇鲮胚胎发育

1. 胚盘期; 2. 2 细胞期; 3. 4 细胞期; 4. 8 细胞期; 5. 16 细胞期; 6. 32 细胞期; 7. 64 细胞期; 8. 128 细胞期; 9. 桑葚期; 10. 囊胚早期; 11. 囊胚中期; 12. 囊胚晚期; 13. 原肠早期; 14. 原肠中期; 15. 原肠晚期; 16. 神经胚期; 17. 胚孔封闭期; 18. 肌节出现期; 19. 眼囊期; 20. 尾芽期; 21. 尾泡期; 22. 尾鳍出现期; 23. 心脏搏动期; 24. 孵出期

Plate I Embryonic development of *Hemibarbus labeo*

1. cell stage; 2. 2-cell stage; 3. 4-cell stage; 4. 8-cell stage; 5. 16-cell stage; 6. 32-cell stage; 7. 64-cell stage; 8. 128-cell stage; 9. morula stage; 10. early stage of blastula; 11. middle stage of blastula; 12. late stage of blastula; 13. early stage of gastrula; 14. middle stage of gastrula; 15. late stage of gastrula; 16. neurula stage; 17. stage of blastopore closing; 18. stage of myomere appearance; 19. stage of optic vesicle; 20. stage of tail bud; 21. stage of tail vesicle; 22. stage of caudal fin appearing; 23. stage of heart pulsation; 24. stage of hatching