

扁吻鱼胚胎发育及仔稚鱼形态与生长观察研究

韩军军, 贺疆滔, 陈朋, 胡江伟, 祁峰,
封永辉, 蔡林钢, 时春明, 张人铭

(新疆维吾尔自治区水产科学研究所/农业农村部西北地区渔业资源环境科学观测实验站, 新疆乌鲁木齐 830000)

摘要: 文章采用干法受精获取受精卵的方法, 对扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*)胚胎发育和仔稚鱼的形态变化进行观察。研究结果表明, 扁吻鱼卵为沉性卵, 卵细胞呈青灰色、微黏性。该次孵化共获取成熟卵 21.45×10^4 粒, 受精率88.95%, 孵化率93.27%。扁吻鱼成熟卵卵径 (2.46 ± 0.13) mm, 受精卵吸水后膨胀, 卵径 (3.42 ± 0.15) mm。根据胚胎发育的外部形态和典型特征将其分为受精卵、胚盘形成、卵裂、囊胚、原肠、神经胚、器官分化和孵化共8个阶段, 整个胚胎发育耗时115.72 h, 所需积温 $3765.42\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 。初孵仔鱼全长 (7.58 ± 0.31) mm, 从初孵到卵黄吸收完全历时9 d, 全长特定生长率为 $(3.63 \pm 0.68)\%$ 。仔鱼后期历时36 d, 全长特定生长率为 $(3.51 \pm 2.10)\%$ 。稚鱼期历时63 d, 全长特定生长率为 $(1.32 \pm 0.17)\%$, 与仔鱼前期和仔鱼后期差异显著($P < 0.05$)。1年后幼鱼全长 (15.71 ± 0.89) cm, 体质量 (28.29 ± 6.15) g, 体色和体型接近成鱼。

关键词: 扁吻鱼; 胚胎发育; 仔鱼; 稚鱼

中图分类号: S 961.2⁺3

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Observation on embryonic development, morphology and growth of larvae and juveniles of *Aspiorhynchus laticeps*

HAN Junjun, HE Jiangtao, CHEN Peng, HU Jiangwei, QI Feng,
FENG Yonghui, CAI Lingang, SHI Chunming, ZHANG Renming

(Institute of Fisheries Research of Xinjiang Uygur Autonomous Region/Fishery Resources and Environment in Northwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi 830000, China)

Abstract: In this study, the embryonic development and morphological changes of larvae and juveniles of *Aspiorhynchus laticeps* were observed by dry fertilization. The results show that the eggs were sinking eggs, and the color of egg cells was bluish gray and slightly sticky. A total of 21.45×10^4 mature eggs were obtained and the average of fertilization rate and hatching rate were 88.95% and 93.27%, respectively. The diameter of mature eggs was (2.46 ± 0.13) mm, and that of fertilized eggs was (3.42 ± 0.15) mm. According to the external morphology and typical characteristics of embryo development, it can be divided into eight stages: fertilization, cleavage, blastocyst, gastrula, neuroembryo, organ differentiation and hatching. It took 115.5 h for the whole embryo to develop, and the total accumulative temperature was $3765.42\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$. The total length of newly hatched larvae was (7.58 ± 0.31) mm. The development of prelarva from hatching to yolk absorption took approximately 9 d, and the specific growth rate (SGR) of total length was $(3.63 \pm 0.68)\%$ and that of total length was $(3.51 \pm 2.10)\%$. The juvenile period lasted 63 d and the SGR of total length was $(1.32 \pm 0.17)\%$, significantly different from those of early and late larval stages ($P < 0.05$). The total length and body mass of

收稿日期: 2020-08-23; 修回日期: 2020-11-02

资助项目: 农业农村部财政专项“西北地区重点水域渔业资源与环境调查”

作者简介: 韩军军(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事水生生物繁育和生态修复研究。E-mail: hanjunjun1990@163.com

通信作者: 张人铭(1965—), 男, 研究员, 从事渔业资源及鱼类人工繁殖技术研究。E-mail: xj01zrm@163.com

A. laticeps young fish was (15.71 ± 0.89) cm and (28.29 ± 6.15) g, respectively, and the body color and body shape were similar to adult fish.

Key words: *Aspiorhynchus laticeps*; Embryonic development; Larva; Juvenile

扁吻鱼(*Aspiorhynchus laticeps*)俗称新疆大头鱼,体长、头大、吻扁、眼小,生长缓慢,隶属于硬骨鱼纲、鲤形目、鲤科、扁吻鱼属。扁吻鱼1属1种,是我国塔里木河水系特有的肉食鱼类,主要以塔里木裂腹鱼(*Schizothorax biddulphi*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、鲤(*Cyprinus carpio*)等为食^[1]。由于过度捕捞和环境破坏,野生扁吻鱼数量急剧减少,1998年被列为国家I类保护水生野生动物,被称为“水中大熊猫”和“古鱼类活化石”,具有很高的经济价值和科研价值^[2]。根据马燕武等^[3]的调查研究,扁吻鱼野生资源急剧减少,栖息地和产卵场的破坏使野生种群难以得到补充。因此,开展扁吻鱼的人工繁育必不可少,通过人工孵化技术可以显著提高鱼类的繁殖能力,并取得巨大的经济和生态效益^[4]。在开展人工繁育时,鱼类早期生活史研究是鱼类自然资源繁殖保护和养殖业苗种培育的基础^[5],本研究在人工培育条件下观察扁吻鱼胚胎发育过程、仔稚鱼形态变化与生长特性,旨在了解其早期生长和发育情况,为今后苗种培育奠定理论基础,在实现扁吻鱼野生资源恢复及提供技术支持方面,具有重要的实际意义。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验材料选用新疆水生野生动物救护中心全人工养殖的子一代扁吻鱼作为繁殖亲本。亲本养殖在圆形PE桶内(直径2.2 m,高0.8 m),每天09:00、13:00、17:00各投喂1次,PE桶每隔15 d清洗并换水1次。根据亲本的性成熟程度选取成熟度好的鱼体用于繁殖,其中雌鱼9尾,质量 (4.22 ± 0.37) kg,雄鱼6尾,质量 (2.12 ± 0.13) kg,雌雄配比为3:2。扁吻鱼繁殖期为四月中旬,水温 (16.27 ± 0.41) °C,pH 7.3 ± 0.23 ,溶解氧质量浓度为 (9.85 ± 0.43) mg·L⁻¹。

1.2 人工催产和孵化

扁吻鱼孵化采用人工催产,催产药物是促黄体生成素释放激素类似物(LRH-A₂,0.125 mg,宁波第二激素厂)和马来酸地欧酮(DOM,100 mg,宁波三生生物科技有限公司),雌鱼每千克注射LRH-A₂2 μg,DOM2 mg,雄鱼剂量减半,间隔24 h注

射1次,雌鱼注射3次,雄鱼注射1次。采用人工干法受精,首先将鱼体用2-苯氧乙醇(2-phenoxethanol,2.5 kg,德国巴斯夫)进行麻醉,捞出后鱼体表面用吸水纸擦干,用毛巾固定鱼体,轻轻拍打鱼腹,手从前向后挤压。将卵和精液先后挤入干燥塑料盆内,用羽毛顺时针混匀后加入少量清水搅拌3 min,使鱼卵充分受精。随后用清水漂洗3次,去除卵表面黏性和杂质。脱黏完成后加入清水并静置30 min,使受精卵充分吸水膨胀,随后将受精卵转至孵化框(100 cm×60 cm)上,孵化框放置于孵化槽中部(420 cm×80 cm×49 cm),每个孵化槽放置3块孵化框,每个孵化框对角线两端放入气石,通过调节出气量大小保证受精卵供氧充足,隔天将死卵用吸管吸出。

1.3 受精卵和仔鱼的观察与培育

受精成功后,随机选取90粒受精卵用于显微观察。受精卵各个时期的形态特征和仔鱼发育的形态变化通过SDPTOP显微镜进行观察和拍照。扁吻鱼受精卵发育初2 h内,连续观察,随后每2 h观察1次。胚胎发育阶段的划分以50%以上样本进入该阶段来确定^[6]。仔鱼孵出后,每4 h观察1次,观察仔鱼的不同发育阶段特征,仔鱼发育阶段的划分参照龚小玲等^[7]。测量卵和仔稚鱼的长度,计算受精率和孵化率。仔鱼上浮可摄食后,投喂卤虫无节幼体,投喂时间09:00和17:00。以台微尺为参照物配合图像处理软件(Adobe Photoshop CC 2015)对受精卵的卵径和仔鱼全长等进行测量。

1.4 数据分析

胚胎发育过程的有效积温推算^[6]:

$$K = NT \quad (1)$$

其中K为有效积温,N为发育所需时间,T为该发育阶段的平均水温。

卵黄囊体积(V)计算公式^[6]:

$$V = 4/3 \times \pi \times L/2 \times (D/2)^2 \quad (2)$$

其中L为卵黄囊长径,D为短径。

特定生长率(Specific growth rate,SGR)计算公式^[8]:

$$SGR = (\ln L_{T_1} - \ln L_{T_2}) / (t_2 - t_1) \times 100\% \quad (3)$$

其中t₁、t₂为日龄,L_{T1}、L_{T2}分别为t₁、t₂时的全长。

采用Excel 2007和Adobe Photoshop CC

2015 整理实验数据并统计作图。SPSS Statistics 23.0 软件对各组数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA)，差异显著水平设置为 $P<0.05$ ，数据以“平均值±标准差($\bar{X}\pm SD$)”表示。

2 结果

2.1 受精卵的发育

扁吻鱼成熟卵呈椭圆球形，青灰色不透明，微黏，沉性卵。成熟卵卵径(2.46 ± 0.13) mm。受精吸水后迅速膨胀，吸水后卵径了(3.42 ± 0.15) mm，较吸水前增大了39.02%。吸水后受精卵和未受精卵颜色变淡，卵周隙增大。受精成功的卵细胞开始胚胎发育，部分未受精的成熟卵在吸水膨胀后会卵裂，但多数发育至多细胞期死亡，少数可发育至囊

胚期。

受精卵吸水膨胀后，卵黄收缩下沉到卵内下部，原生质向动物极移动，隆起形成胚盘(图 1-a~c)。卵裂阶段发展迅速，形成后35 min，胚盘表面形成分裂沟，胚盘分裂成2个大小相等的分裂球(图 1-d)。受精110 min后开始第二次分裂，分裂方向与第一次分裂垂直，进入4细胞期(图 1-e)。第三次分裂形成2条分裂沟，与第一次分裂平行，形成8个大小基本相等的分裂球(图 1-f)。受精卵分裂形成16个分裂球后分裂球越分越小(图 1-g)，个体差异变大且分裂细胞开始不规则排列，但细胞界限仍然可见(图 1-h)。细胞界限模糊后形成高囊胚，进入囊胚早期(图 1-i)。囊胚中期时囊胚高度下降，胚层变薄，直至形成胚环(图 1-j~k)。原肠



图1 扁吻鱼胚胎发育

a. 成熟卵；b. 受精卵；c. 1 细胞期；d. 2 细胞期；e. 4 细胞期；f. 8 细胞期；g. 16 细胞期；h. 桑葚期；i. 囊胚早期；j. 囊胚中期；k. 囊胚晚期；l. 原肠早期；m. 原肠中期；n. 原肠晚期；o. 神经胚期；p. 胚孔闭合期；q. 视囊出现期；r. 肌肉效应期；s. 耳石形成期；t. 孵化前期

Figure 1 Embryonic development of *A. laticeps*

a. Mature egg; b. Fertilized egg; c. 1-cell stage; d. 2-cell stage; e. 4-cell stage; f. 8-cell stage; g. 16-cell stage; h. Morula stage; i. Early blastula stage; j. Middle blastula stage; k. Late blastula stage; l. Early gastrula stage; m. Mid-gastrula stage; n. Late gastrula stage; o. Neurula stage; p. Blastopore closed stage; q. Optic capsule stage; r. Muscular effect stage; s. Otolith formation stage; t. Prehatching stage

期可分为原肠早期、原肠中期和原肠晚期。从原肠早期囊胚细胞开始下包，到原肠晚期时胚层下包4/5（图1-l~n）。原肠晚期后胚盘顶部逐渐隆起肿大，脑泡开始形成，神经板和卵黄栓出现（图1-o~p）。胚孔封闭后胚体出现肌节，在脑两侧出现与体轴平行的长圆形泡，即眼的原基（图1-q）。头部进一步分化，胚体出现不规律收缩，肌节增加，尾部末端尾鳍褶出现，胚体开始在膜内扭动，平均 (20.42 ± 2.84) 次·min⁻¹，两侧听囊内出现一对透明的

圆点，即耳石（图1-r~s）。受精44.33 h后胚体尾尖已弯至眼部，心脏开始搏动，胚体在膜内不停扭动，直至出膜（图1-t）。根据胚胎发育的外部形态和典型特征将其分为受精卵、胚盘形成、卵裂、囊胚、原肠、神经胚、器官分化和孵化共8个阶段，整个胚胎发育耗时115.72 h，所需积温为3 765.42 °C·h，其中器官形成阶段耗时最长（47.67 h），积温775.54 °C·h。各发育阶段耗时和积温详见表1。

表1 扁吻鱼胚胎发育时序
Table 1 Process of embryonic development of *A. laticeps*

发育时期 Developmental stage	耗时 Time duration/h	积温 Accumulative temperature/°C·h	图序 Plate
受精卵 Fertilized egg stage	0	0	图1-a~b
胚盘形成期 Blastoderm stage	1.25	20.34	图1-c
卵裂期 Cleavage stage	5.12	83.25	图1-d~h
囊胚期 Blastula stage	9.55	155.38	图1-i~k
原肠期 Gastrula stage	7.68	125.01	图1-l~n
神经胚期 Neural stage	17.18	279.57	图1-o~p
器官形成期 Organogenesis stage	47.67	775.54	图1-q~s
出膜前期 Prehatching stage	27.27	443.63	图1-t

2.2 仔稚鱼的发育

根据扁吻鱼仔稚鱼的外部形态变化和器官形成，将仔稚鱼分为仔鱼前期、仔鱼后期和稚鱼期3个阶段。初孵仔鱼卵黄囊前部呈椭圆形，后部为长棒状，体积为 (6.10 ± 0.19) mm³。卵黄在仔鱼孵化后9 d内消耗完毕，其中前3 d吸收最快，3 d内卵黄消耗75.57%，随后趋于平缓。仔鱼在出膜后第7天开始摄食，进入混合营养期。扁吻鱼仔鱼卵黄囊的平均体积与孵化后的天数关系见图2。

初孵仔鱼全长 (7.58 ± 0.31) mm，通体透明，脊索略弯曲，心脏位于卵黄囊前方，可观察到明显心跳，有无色血液流动，眼无黑色素沉积，初孵仔鱼一般侧卧水体，可通过鱼尾摆动平游（图3-a）。2 d后仔鱼全长 (8.53 ± 0.36) mm，卵黄囊被进一步吸收，晶体颜色加深，血液颜色加深，心跳频率 (53.60 ± 5.00) 次·min⁻¹，能明显观察到红色血液流动轨迹，仔鱼的头部出现星状色素，口能活动（图3-b）。5 d后仔鱼全长 (9.34 ± 0.23) mm，胸鳍出现，星状色素已经遍布鱼体，眼球色素明显增多。7 d后肠道内可见明显食物残留，体色加深，尾椎骨上翘明

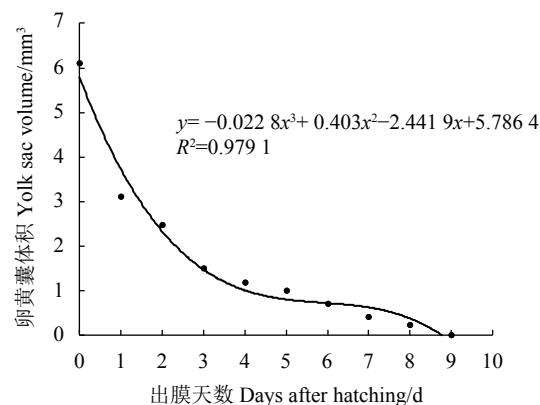


图2 扁吻鱼仔鱼卵黄囊体积与出膜天数的关系

Figure 2 Relationship between yolk sac volume and days of hatching of *A. laticeps*

显，仔鱼全长 (9.72 ± 0.14) mm。卵黄在9 d后吸收完毕，鱼鳔清晰可见，鳃盖可见节律性地张开，仔鱼全长 (10.50 ± 0.21) mm（图3-c）。仔鱼前期全长特定生长率为 $(3.63\pm0.68)\%$ ，前期仔鱼在前3 d鱼体全长增长较快，第4天到第7天较为平缓，随后增大（图4）。前7 d变化趋势与卵黄囊消耗速率一致，7 d后速度增大是由于仔鱼开始开口摄食。

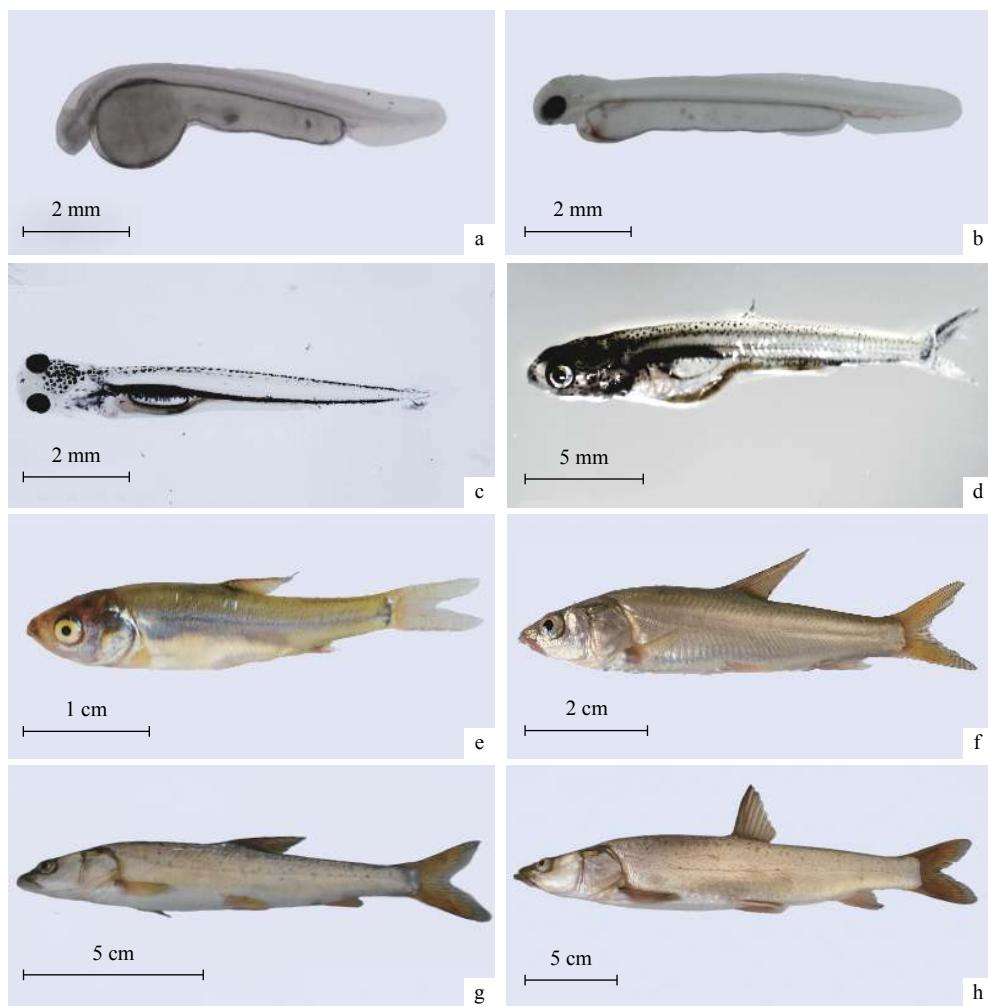


图3 扁吻鱼仔稚鱼发育

a. 初孵仔鱼; b. 出膜 2 d; c. 出膜 9 d; d. 出膜 26 d; e. 出膜 45 d; f. 出膜 86 d; g. 1 龄幼鱼; h. 2 龄幼鱼

Figure 3 Development of *A. laticeps* larva and juvenile

a. Newly hatched larva; b. 2 d post hatching; c. 9 d post hatching; d. 26 d post hatching; e. 45 d post hatching;
f. 86 d post hatching; g. yearling; h. Two-year-old of young fish

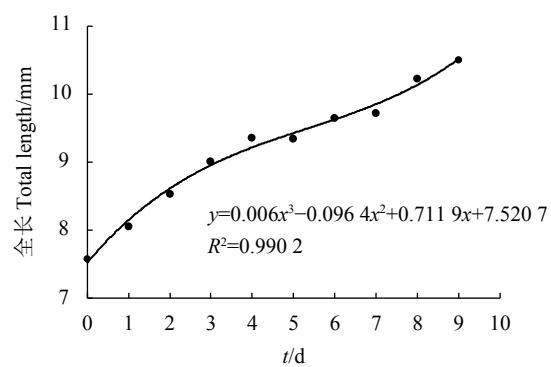


图4 扁吻鱼前期仔鱼全长

Figure 4 Total length of *A. laticeps* prelarva

仔鱼后期, 卵黄已被完全吸收, 仔鱼进入外源性营养阶段, 整个仔鱼后期历时 36 d。仔鱼在出膜 26 d 后全长 (19.86 ± 0.55) mm, 头部色素斑块密

集, 鳃盖不透明, 各鳍条上出现色斑, 尾鳍未分叉(图 3-d)。45 d 时各鳍条已发育完全, 鱼体整体呈黄色, 背部遍布色素斑点, 侧线明显, 鱼体全长 (37.10 ± 0.45) mm (图 3-e)。仔鱼后期全长特定生长率为 (3.51 ± 2.10) %。

稚鱼鳞片首先出现侧线鳞, 随后在鳃盖后缘侧线上下、背鳍基部发现鳞片, 以鳃盖后缘和背鳍基部为中心向四周延伸和覆盖。出膜第 86 天时稚鱼全长 (79.67 ± 0.48) mm, 体质量 (3.56 ± 0.28) g, 此时侧线鳞上方鳞片覆盖完成, 侧线鳞下方尾柄基部鳞片覆盖基本完成(图 3-f)。整个稚鱼期历时 63 d, 全长特定生长率为 (1.32 ± 0.17) %, 鱼类体型接近成鱼, 但体色和身体斑纹与成鱼存在差异。仔鱼后期、稚鱼期鱼体全长变化见图 5, 稚鱼期末时鱼体

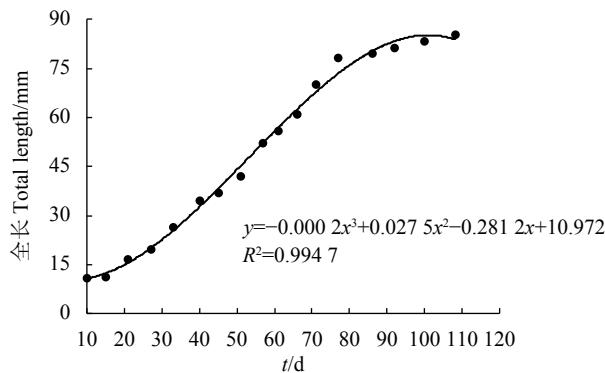


图5 后期仔鱼、稚鱼全长

Figure 5 Total length of *A. laticeps* postlarva and juvenile

全长是初孵仔鱼的 11.26 倍。

2.3 扁吻鱼人工催产时间、孵化和培育效果

本研究共采卵 21.45×10^4 粒，受精率 88.95%，孵化率 93.27%，采卵后亲鱼未出现死亡，孵化出的鱼苗身体健康，游动活泼，转入池塘后经过 1 年培育，幼鱼鱼体平均全长 (15.71 ± 0.89) cm，体质量 (28.29 ± 6.15) g，体型和体色与成鱼接近 (图 3-g)。2 龄幼鱼 (5.83 ± 3.58) cm，体质量 (132.15 ± 50.80) g，幼鱼生长正常，体型和体色已与成鱼无异 (图 3-h)。

3 讨论

3.1 扁吻鱼与其他裂腹鱼类卵细胞颜色差异分析

扁吻鱼卵细胞呈青灰色，与经过人工养殖的塔里木裂腹鱼卵色一致^[9]，齐口裂腹鱼 (*Scizothorax prenanti*)^[10]、斑重唇鱼 (*Diptychus maculates*)^[11]、光唇裂腹鱼 (*S. lissolabiatus*)^[12] 和拉萨裸裂尻鱼 (*Schizopygopsis younghusbandi*)^[13] 的卵呈金黄色，短须裂腹鱼 (*S. wangchiachii*)^[14]、长丝裂腹鱼 (*S. dolichonema*)^[15]、小裂腹鱼 (*S. parvus*)^[16]、双须叶须鱼 (*Ptychobarbus dipogon*)^[17] 和异齿裂腹鱼 (*S. o'connori*)^[18] 的卵为淡黄色，尖裸鲤 (*Oxygymnocypris stewartii*) 的卵为黄色，拉萨裂腹鱼 (*S. waltoni*) 的卵为棕色^[13](表 2)。综上，不同裂腹鱼的卵色存在差异，而且不同环境下同种裂腹鱼类的卵色也会发生变化。谢春刚等^[9]在对塔里木裂腹鱼进行繁殖时发现两个不同地区亲本产的卵颜色不同，任波等^[19]在 2005 年对克孜尔水库野生扁吻鱼进行观察时发现鱼卵为淡黄色，2006 年捕获野生亲本产卵颜色为浅灰色^[20]。张人铭等^[21]观察卵颜色是青灰色，与本研究一致。以往研究采用的扁吻鱼野生亲

表2 其他裂腹鱼类发育特点比较

Table 2 Comparison of developmental characteristics between other Schizothoracinae

种类 Species	卵径 Egg diameter/mm		卵色 Egg color	初孵仔鱼长度 Length at hatching/mm	孵化温度 Rearing temperature/°C	文献 References
	吸水前 Before hydration	吸水后 After hydration				
塔里木裂腹鱼 <i>S. biddulphi</i>	1.70±0.06	2.90±0.07	金黄色、青灰色	7.29±0.18	16~19	[7]
齐口裂腹鱼 <i>S. prenanti</i>	2.9~3.0	4.2	金黄色	7.0~8.0	14~19	[9]
斑重唇鱼 <i>D. maculates</i>			金黄色	1.0~1.2	4.5	[11]
光唇裂腹鱼 <i>S. lissolabiatus</i>	2.2±0.13	3.2±0.21	金黄色	8.5	15~17	[12]
尖裸鲤 <i>O. stewartii</i>	2.57±0.07	3.22±0.07	黄色	10.27±0.15	9.5~11.8	[13]
拉萨裸裂尻鱼 <i>S. younghusbandi</i>	2.50±0.08	3.54±0.07	金黄色	10.86±0.33	9.5~11.1	
拉萨裂腹鱼 <i>S. waltoni</i>	2.95±0.09	4.03±0.06	棕色	10.67±0.17	10.0~12.0	
短须裂腹鱼 <i>S. wangchiachii</i>	2.36	3.68	淡黄色	8.7	14±1	[14]
长丝裂腹鱼 <i>S. dolichonema</i>	2.89±0.30	4.17±0.09	淡黄色	10.91	15.9±0.6	[15]
小裂腹鱼 <i>S. parvus</i>	1.9	3	淡黄色	7.5	14.5	[16]
双须叶须鱼 <i>P. dipogon</i>	3.7~3.9	5.1~5.3	淡黄色	12.4	10.0	[17]
异齿裂腹鱼 <i>S. o'connori</i>	2.92±0.16	3.73±0.31	淡黄色	8.97±0.31	13.0~14.5	[18]
重口裂腹鱼 <i>S. davidi</i>	2.4±0.1		橘黄色	11.67±0.38	15	[22]

本均捕获自渭干河, 任波等捕获野生扁吻鱼后直接进行观察和研究, 张人铭等则是将亲鱼转运至阿克苏养殖在池塘中驯化成熟后进行人工催产, 鱼类的生存环境、食物组成发生变化, 进而导致卵的颜色发生变化。任波等 2005、2006 年在克孜尔水库的捕获的野生扁吻鱼卵的颜色也存在差异^[19-20], 这表明扁吻鱼的卵色变化不仅受生存环境和食物的影响, 还可能存在造成其卵色差异的其他因素。

3.2 扁吻鱼胚胎、仔稚鱼发育特征

扁吻鱼孵化水温 (16.27 ± 0.41) °C, 高于斑重唇鱼和长丝裂腹鱼, 与塔里木裂腹鱼、齐口裂腹鱼、光唇裂腹鱼、短须裂腹鱼等相近。扁吻鱼成熟卵卵径 (2.46 ± 0.13) mm, 大于塔里木裂腹鱼、光唇裂腹鱼和小裂腹鱼, 小于齐口裂腹鱼、短须裂腹鱼和长丝裂腹鱼, 与重口裂腹鱼 (*S. davidi*)^[22]、尖裸鲤、拉萨裸裂尻鱼和异齿裂腹鱼相近(表 2)。吸水后受精卵迅速膨胀, 卵径 (3.42 ± 0.15) mm, 较吸水前增大了 39.02%, 低于塔里木裂腹鱼 (58.82%)、长丝裂腹鱼 (44.2%)、光唇裂腹鱼 (45.45%)、小裂腹鱼 (57.89%) 和异齿裂腹鱼 (52.91%), 与齐口裂腹鱼 (40%) 和拉萨裂腹鱼 (36.61%) 相近, 高于短须裂腹鱼 (27.40%)、尖裸鲤 (25.29%) 和拉萨裸裂尻鱼 (25.29%)。而且在以往研究中, 获取的扁吻鱼受精卵卵径介于 1.5~1.85 mm^[20-21], 小于本研究。鱼类卵径大小因物种不同存在差异, 同种间因亲鱼不同、环境变化及产卵时间不同, 卵细胞大小也有差异^[23-24]。本研究采用的扁吻鱼亲鱼为全人工繁殖的子一代, 养殖地点在昌吉, 而之前研究则是选取渭干河流域(阿克苏地区)的野生扁吻鱼作为亲本, 推测环境变化和亲本差异是扁吻鱼卵径变化的主要原因。裂腹鱼类一般为沉性卵, 受精卵吸水膨胀后体积扩大, 密度减小, 在静水中卵沉在水底, 有一定水流时可随流漂浮流动, 从而提高受精卵成活率, 保证幼鱼发育^[25]。

扁吻鱼初孵仔鱼长度 (7.91 ± 0.31) mm, 大于斑重唇鱼, 小于短须裂腹鱼、长丝裂腹鱼和重口裂腹鱼, 与塔里木裂腹鱼和光唇裂腹鱼相近。仔鱼在开口摄食前发育所需营养物质由卵黄提供^[26]。不同裂腹鱼类卵黄吸收时间存在差异, 如塔里木裂腹鱼卵黄吸收时间为 8 d, 重口裂腹鱼为 17 d, 拉萨裂腹鱼为 23 d^[27], 短须裂腹鱼和扁吻鱼为 9 d。扁吻鱼仔鱼前期存在混合营养期, 时间为 2 d, 短于重口

裂腹鱼的 4 d、短须裂腹鱼的 3 d。混合营养期是仔鱼从内源性营养向外源性营养的过渡阶段, 是鱼类早期发育的一个重要阶段^[28]。重口裂腹鱼繁殖月份为 8—9 月, 短须裂腹鱼的为 2 月, 此时水体中浮游动物丰度低, 仔鱼需要较长的混合营养期来适应饵料生物匮乏的不利环境^[28-29]。扁吻鱼繁殖月份为 4 月中下旬, 此时水温逐渐升高, 水中饵料生物较为丰富, 可满足其仔鱼的摄食需求。

3.3 扁吻鱼仔稚鱼生长速率

仔鱼前期历时 9 d, 其中前 3 d 生长速度快, 3 d 内卵黄消耗 75.57%, 说明在仔鱼初孵时期卵黄作为营养物质主要用于仔鱼身体的快速生长, 第 4 至第 7 天仔鱼生长速度降低, 卵黄消耗低, 营养主要用于消化系统等器官的生长, 第 7 天后仔鱼开始摄食, 进入混合营养阶段, 生长速度加快, 仔鱼前期全长特定生长率为 (3.63 ± 0.68)%。仔鱼后期历时 36 d, 全长特定生长率为 (3.51 ± 2.10)%。稚鱼期历时 63 d, 全长特定生长率为 (1.32 ± 0.17)%。仔鱼前期和仔鱼后期全长特定生长率无显著差异 ($P>0.05$), 稚鱼期显著低于仔鱼前期、仔鱼后期 ($P<0.05$), 这与华鳊 (*Sinibrama taeniatus*)^[8]、短须裂腹鱼^[30] 仔稚鱼全长特定生长率变化趋势基本一致。

参考文献:

- [1] 郭焱, 张人铭, 蔡林刚, 等. 新疆鱼类志 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2012: 122.
- [2] 马燕武, 张人铭, 吐尔逊, 等. 温度和水流对扁吻鱼胚胎发育的影响 [J]. 淡水渔业, 2008, 38(1): 57-61.
- [3] 马燕武, 张人铭, 李红, 等. 扁吻鱼的栖息地及其群落保护生物学研究 [J]. 水生态学杂志, 2010, 31(1): 38-42.
- [4] EINBINDER S, PEREIBERG A, BEN-SHAPRU O, et al. Effects of artificial reefs on fish grazing in their vicinity: evidence from algae presentation experiments[J]. Mar Environ Res, 2006, 61(1): 110-119.
- [5] 殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展 [J]. 水产学报, 1995, 19(4): 335-342.
- [6] 邵建春, 刘春雷, 秦芳, 等. 汉江地区翘嘴鲌胚胎及仔鱼发育观察 [J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(6): 111-116.
- [7] 龚小玲, 崔忠凯, 吴敏芝, 等. 塔里木裂腹鱼胚胎和仔鱼的发育与生长 [J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(6): 827-834.
- [8] 王亚利, 刘玥, 田佳佳, 等. 四川华鳊仔稚鱼生长与形态发育研究 [J]. 渔业科学进展, 2020, 41(4): 58-67.
- [9] 谢春刚, 张人铭, 马燕武, 等. 塔里木裂腹鱼人工繁殖技术初步研究 [J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 734-737.
- [10] 吴青, 王强, 蔡礼明, 等. 齐口裂腹鱼的胚胎发育和仔鱼的早期发育 [J]. 大连水产学院学报, 2004(3): 218-221.

- [11] 牛建功, 张涛, 刘鸿, 等. 斑重唇鱼人工驯养繁育技术研究 [J]. 科学养鱼, 2016(12): 10-11.
- [12] 申安华, 李光华, 赵树海, 等. 光唇裂腹鱼胚胎发育与仔鱼早期发育的研究 [J]. 水生态学杂志, 2013, 34(6): 76-80.
- [13] 许静. 雅鲁藏布江四种特有裂腹鱼类早期发育的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 39-44.
- [14] 左鹏翔, 李光华, 冷云, 等. 短须裂腹鱼胚胎与仔鱼早期发育特性研究 [J]. 水生态学杂志, 2015, 36(3): 77-82.
- [15] 刘小帅, 王红梅, 甘维熊, 等. 雅砻江长丝裂腹鱼胚胎形态发育及仔鱼生长研究 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45(31): 118-121.
- [16] 冷云, 徐伟毅, 刘跃天, 等. 小裂腹鱼胚胎发育的观察 [J]. 水利渔业, 2006, 26(1): 32-33.
- [17] 刘海平, 刘孟君, 牟振波, 等. 西藏双须叶须鱼早期发育特征 [J]. 水生生物学报, 2019, 43(5): 1041-1055.
- [18] 张良松. 异齿裂腹鱼胚胎发育与仔鱼早期发育的研究 [J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(3): 238-242.
- [19] 任波, 任慕莲, 郭焱, 等. 扁吻鱼的生物学研究 [J]. 水产学杂志, 2006, 19(2): 9-22.
- [20] 任波, 任慕莲, 郭焱, 等. 扁吻鱼胚胎及仔鱼发育的形态学观察 [J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(6): 397-402.
- [21] 张人铭, 马燕武, 吐尔逊, 等. 新疆扁吻鱼的胚胎发育和仔鱼发育的初步观察 [J]. 干旱区研究, 2008, 25(2): 190-195.
- [22] 彭淇, 吴彬, 陈斌, 等. 野生重口裂腹鱼 [*Schizothorax (Racoma) davidi* (Sauvage)] 的性腺发育观察与人工繁殖研究 [J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(3): 651-655.
- [23] 金丹璐, 张清科, 王友发, 等. 鲤科经济鱼类马口鱼 (*Opsariichthys bidens*) 胚胎发育及仔稚鱼形态与生长观察研究 [J]. 海洋与湖沼, 2017, 48(4): 838-847.
- [24] BOBE J, LABBÉ C. Egg and sperm quality in fish[J]. Gen Comp Endocrinol, 2010, 165(3): 535-548.
- [25] 甘维熊, 王红梅, 邓龙君, 等. 雅砻江短须裂腹鱼胚胎和卵黄囊仔鱼的形态发育 [J]. 动物学杂志, 2016, 51(2): 253-260.
- [26] 蔡瑞钰, 赵健蓉, 黄静, 等. 云南盘仔稚鱼发育的初步观察 [J]. 南方水产科学, 2018, 14(3): 120-125.
- [27] 徐滨, 朱祥云, 魏开金, 等. 拉萨裂腹鱼的胚胎及仔稚鱼发育特征 [J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(5): 663-670.
- [28] 严太明, 周翠萍, 李忠利, 等. 实验室饲养的重口裂腹鱼仔鱼的形态发育与生长 [J]. 四川农业大学学报, 2007, 25(4): 493-497, 525.
- [29] 骆豫江, 朱新平, 潘德博, 等. 高体革鲹仔稚鱼的生长和发育 [J]. 水产学报, 2008, 32(5): 697-702.
- [30] 黄俊, 朱挺兵, 杨德国, 等. 短须裂腹鱼仔稚鱼发育及生长特性的初步研究 [J]. 水生态学杂志, 2019, 40(6): 99-105.