

似刺鲃的胚胎及胚后发育

顾若波^{1,2}, 徐钢春^{1,2}, 闻海波², 李晓莉^{1,2}, 华丹², 曾令兵^{1,2}, 张守领²

(1. 中国水产科学研究院 淡水生态与健康养殖重点开放实验室, 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 荆州 434000;
2. 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

摘要: 采用体视显微镜成像系统对似刺鲃 (*Paracanthobrama guichenoti* Bleeker) 的胚胎发育全过程进行连续观察, 研究其胚胎正常发育特征, 并继续对胚后期的仔、稚、幼鱼发育阶段采用测量、照相等方法进行形态学与生态学研究。结果显示, 似刺鲃受精卵呈卵圆形, 卵膜径为 (3.43 ± 0.05) mm。根据胚胎的外形与内部主要特征, 胚胎发育分为 7 个生理阶段, 31 个具体发育时期, 在水温 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下, 历时 95 h 08 min 完成整个胚胎发育过程; 胚后发育主要根据卵黄囊、鳞片、体色的变化分为仔鱼期、稚鱼期、幼鱼期, 仔鱼期根据卵黄囊的有无又分为早期仔鱼和晚期仔鱼。初孵仔鱼平均全长 7.25 mm; 在水温 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下, 出膜后 7 d, 卵黄囊吸收完毕; 在水温 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 下, 继续培育至 35 日龄, 仔鱼鳃盖后缘及前端侧线附近有少量鳞片状突起, 标志似刺鲃结束仔鱼期进入稚鱼期, 此时鱼苗平均全长 3.12 cm; 培育至 68 日龄, 仔鱼身上鳞片基本长出, 腹膜闭合, 身体透明这一特征消失, 似刺鲃完成变态成为幼鱼, 此时平均全长达 8.70 cm, 其外部形态和生态习性均与成鱼相似。本研究对似刺鲃资源的保存及生产性育苗工艺的建立均具有非常重要的意义。[中国水产科学, 2008, 15(3): 414-424]

关键词: 似刺鲃; 胚胎发育; 仔鱼; 稚鱼; 幼鱼

中图分类号: S965.223

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)03-0414-11

似刺鲃 (*Paracanthobrama guichenoti* Bleeker), 隶属鲤形目、鲤科、鲃亚科、似刺鲃属^[1], 俗称石鲫, 主要分布在中国长江中、下游干流及附属湖泊的一种中小型经济鱼类, 在太湖有一定量的分布。其肉质细嫩、味道鲜美, 深受消费者青睐, 是餐桌上的珍品且外形美观很具观赏性。但随着太湖等湖泊自然生态环境的改变和人为滥捕, 导致水域中似刺鲃群体数量急剧减少, 其资源状况令人堪忧。因此, 为了保护 and 开发此优良水产种质资源而进行似刺鲃人工繁殖及其苗种培育技术研究已迫在眉睫。

近年来, 有关似刺鲃的研究报道较少, 虽然有关其年龄与生长、繁殖、死亡等方面已有报道^[2-6], 但尚未见有对似刺鲃胚胎及胚后发育的系统研究, 特别是仔、稚、幼鱼的发育生物学方面的研究。本研究旨在对似刺鲃早期生活史进行初步探讨, 从而为其苗种生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 受精卵的获取及孵化

似刺鲃亲鱼于 2007 年 4 月采集自太湖苏州湖区。选择体质健壮、性成熟特征明显的亲鱼, 催产后经人工授精获得受精卵。受精卵置于 50 L 标本瓶改装的孵化桶内静水充气孵化。孵化用水为曝气 3 d 以上的自来水, 水温控制为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, 每天换水 3~4 次。

1.2 仔、稚、幼鱼的培育

初孵仔鱼在室内 $1\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 水族箱中培育, 每天及时吸污并换水 1/2; 在仔鱼发育至卵黄囊期仔鱼以后移至中国水产科学研究院淡水渔业研究中心苗种基地育苗池的 100 目网箱中进行强化培育, 密度为 5 000 尾/ m^3 ; 发育至稚鱼期后则置于土池中培育并定期拉网检查; 水温为 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 。

仔鱼的开口饵料为熟蛋黄, 经 200 目筛网

收稿日期: 2007-09-01; 修订日期: 2007-11-01.

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (2007JBFB03); 中国水产科学研究院淡水生态与健康养殖重点开放实验室开放课题项目 (2007FEA0203); 无锡市农业指导性计划项目 (CSZ00601).

作者简介: 顾若波 (1963-), 男, 副研究员, 主要从事鱼类繁殖生理生态研究. E-mail: gurb@ffrc.cn

通讯作者: 曾令兵. E-mail: zenglingbing@gmail.com

过滤后投喂;至晚期仔鱼阶段开始投喂“红虫”(*Tendipes* spp.);到稚鱼期则投喂幼虾微囊配合饲料。每天8:00和16:00各投喂1次,根据摄食情况适当调整投喂量。

1.3 取样与观察

成熟卵扫描电镜观察参考王瑞霞^[7]方法。观察胚胎发育时,每次随机抽取20粒受精卵,在XTL-3400型电视显微镜成像系统下,每隔10 min取样对胚胎发育情况进行观察和拍照,记录胚胎发育时序及各期典型特征,以50%个体出现新特征作为划分发育时期的标准。在肌肉效应期之后,用 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右的甲磺酸三卡因(MS-222)麻醉后观察。

出膜后,每隔24 h取样10尾(下塘后则每周拉网取样10尾),观察外部形态变化,测量拍照。运用Micro Measure 3.0软件测量早期仔鱼全长(TL)及卵黄囊长径(YL)、短径(YD1)、短径(YD2),详见图1。用游标卡尺测量晚期仔鱼、稚、幼鱼的体长及Sartorius-BS 224S型电子天平称重,所得数据用SPSS11.5统计软件进行分析。

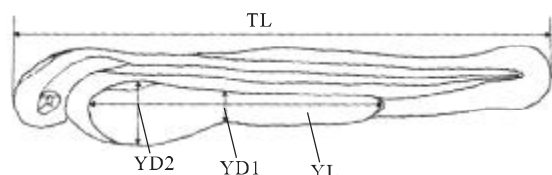


图1 似刺鲃早期仔鱼的形态学测定模式示意图

TL: 全长; YL: 卵黄囊长径; YD1: 短径; YD2: 短径。

Fig.1 Morphological features measured on newly-hatched larvae of *Paracanthobrama guichenoti*

TL: Total length; YL: Yolk length; YD1: Yolk length1; YD2: Yolk length2.

2 结果与分析

2.1 成熟卵

似刺鲃成熟卵呈圆球形,浅黄色,具褶皱,似板块构造状,赤道部有一受精孔(图版I-0),卵径 $(2.00\pm 0.03)\text{ mm}$ 。卵遇水受精后,卵膜同时吸水膨胀,约30 min膨胀完毕,呈卵圆形,卵膜径为 $(3.43\pm 0.05)\text{ mm}$,具弱黏性,开始时易粘附于池底或桶底,遇振动则失去黏性,但仍沉于水底,属于沉性卵。

2.2 胚胎发育(图版I)

根据胚胎的外形与内部主要特征,将胚胎发育分为31个发育时期(表1)。为了解其生理意义,

将其生理阶段概括为7个阶段。完成整个胚胎发育过程历时约95 h 08 min。

2.2.1 受精卵阶段(图版I-1~2) 似刺鲃的卵受精后约1 h 30 min,受精卵的原生质向卵球一极移动集中而形成胚盘原基,胚盘原基继续突起形成隆起的小丘状胚盘,此极朝上即为胚胎的动物极,另一端朝下则为胚胎的植物极卵黄。

2.2.2 卵裂阶段(图版I-3~9) 受精后1 h 50 min,隆起的胎盘向两边拉长,中央出现分裂沟,胚盘被分成两部分,即2细胞期;受精后2 h 16 min,开始第2次分裂,分裂沟与第1次分裂沟垂直,4个分裂球呈前后排列,每排2个,即4细胞期;受精后2 h 42 min第3次分裂进入8细胞期,8个细胞前后排列,但细胞大小出现差异;16细胞期排列已不整齐;经过32、64细胞期在受精后5 h 44 min,形成与桑椹球很相似的多细胞胚,细胞界面不易分清,即进入桑椹期。

2.2.3 囊胚期阶段(图版I-10~11) 受精后7 h 7 min,细胞进一步分裂,在卵动物极高高隆起,侧面观呈椭圆形,形状变化似一帽状,称高囊胚;再经过1 h 36 min后,囊胚细胞开始向外周扩散,胚层逐渐变扁平,紧贴卵黄,为低囊胚期,即囊胚晚期。

2.2.4 原肠期阶段(图版I-12~14) 受精后12 h 31 min,进入原肠期。囊胚周围开始下包,形成裙边,裙边内卷,内外胚层分化,此时下包卵黄达到2/5。胚盘继续下包至卵黄3/5,约14 h 22 min进入原肠中期,此时胚环、胚盾出现,胚环围绕在胚层下包边缘,略鼓起,在胚环的一侧形成盾状突起,紧贴在囊胚层表面,称为胚盾;经21 h 04 min至原肠后期,此时下包卵黄达到4/5,出现胚体雏形,卵黄呈梨形。

2.2.5 神经胚期阶段(图版I-15~17) 囊胚下包过程中细胞数量不断增加,受精后21 h 52 min,植物极由胚层包裹形成圆孔一胚孔,孔中可见卵黄栓。此时胚体形状已明显,附着于囊胚层的一侧,头部两侧膨大,胚尾还未完全收缩成型,胚胎发育进入神经胚期。随着卵黄外露部分不断减少,受精后22 h 59 min,卵黄最终被全部包起,为胚孔闭合期,胚孔闭合后1 h 03 min,胚体轮廓逐渐清晰,即胚体形成期。

2.2.6 器官形成期阶段(图版I-18~30) 受精后25 h 58 min,进入器官形成期,首先4对肌节逐渐清晰,然后胚体头部前端抬起,眼囊清晰,长椭圆形,眼囊下方出现黑斑状嗅板;尾芽部一层膜状结构把

胚体和卵黄囊隔开,形成尾芽;受精后 30 h 50 min,眼囊逐渐凹陷呈杯状,在脊索前端上方出现小泡状耳囊;随着胚体的延长,尾部出现一圈窄而不明显的鳍褶,并由棒状变得扁平状;受精后 34 h 07 min,脊索非常清晰,眼杯中可见晶体,肌节也增至 23 对。受精后 36 h 40 min,胚体出现微弱的间歇性抽动,即肌肉效应期。此后,心脏、耳石出现,心脏位于头部的前下方呈葫芦状并可见椭圆形耳囊里左右对称的 2 对发亮的钙质耳石,同时脑开始分化为前、中、后 3 节。受精后 56 h 22 min,心脏开始搏动,心搏率

102~160 次/min,血液循环开始并可见泄殖孔。受精后 71 h 39 min,眼球前端出现黑色素,眼呈凸起状。受精后 75 h 02 min,胸鳍出现,略向两侧撑起。

2.2.7 孵出期阶段(图版 I -31 ~ 33) 出膜前期,尾继续增长,鳍褶变宽,明显看到卵黄囊上血管内的血液流动,此时皮肤褶从背部连到尾部;受精后约 80 h,仔鱼开始出膜,出膜前仔鱼剧烈颤动,以头部首先破膜为主,也有小部分尾部先破膜。受精后 95 h 08 min,50% 仔鱼出膜,受精后 130 h,90% 仔鱼出膜。

表 1 似刺鲃胚胎发育过程
Tab.1 Embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti*

发育期 Developmental stage	各发育期简要特征 Brief characteristics of different stage	受精后时间 Time after fertilization	图版 Plate
受精卵 Fertilized egg	卵受精后 30 min 吸水膨胀完毕。	30 min	I -1
胚盘隆起期 Blastodisc forming	细胞内原生质集中在受精卵的动物极一端,出现凸起的胚盘。	1 h 35 min	I -2
2 细胞期 2 cell stage	胚盘顶部中央出现 1 纵裂沟,分裂出 2 个大小相等的细胞。	1 h 50 min	I -3
4 细胞期 4 cell stage	与第一次卵裂沟垂直分裂为 4 个相等的细胞。	2 h 16 min	I -4
8 细胞期 8 cell stage	胚盘出现与第一次卵裂沟平行且位于其两侧的 2 卵裂沟,形成 8 个大小相似,整齐排列的两排分裂球。	2 h 42 min	I -5
16 细胞期 16 cell stage	与第二次卵裂沟平行且位于其两侧的 2 条卵裂沟,形成 16 个大小大致相等的细胞。	3 h 17 min	I -6
32 细胞期 32 cell stage	胚盘进行第 5 次分裂,仍为经裂,形成 32 个分裂球,排列欠整齐。	3 h 52 min	I -7
64 细胞期 64 cell stage	胚盘进行第 6 次分裂,为纬裂,细胞显著变小并开始重叠。	4 h 50 min	I -8
桑椹期 Mul-ticellular	继续分裂,细胞团与桑椹球很相似,细胞界面不易分清。	5 h 44 min	I -9
高囊胚期 High blastula	囊胚高而集中,呈高帽状。	7 h 07 min	I -10
低囊胚期 Low blastula	囊胚层变低、宽,并沿卵的表面向植物极扩展。	8 h 43 min	I -11
原肠早期 Early gastrula	胚环形成,胚层下包卵黄约 2/5,卵呈圆形。	12 h 31 min	I -12
原肠中期 Mid gastrula	胚层下包卵黄约 3/5。	14 h 22 min	I -13
原肠后期 Late gastrula	胚层下包卵黄约 4/5。	21 h 04 min	I -14
神经胚期 Neural embryo formation	胚胎背部表面中线的细胞增厚形成神经板,卵黄栓外露。	21 h 52 min	I -15
胚孔闭合期 Closure of blastopore	胚层包裹卵黄,胚孔封闭,卵黄腔出现。	22 h 59 min	I -16
胚体形成期 Embryo body stage	胚体已轮廓清晰。	24 h 02 min	I -17
肌节出现期 Appearance of myomere	出现 4 对肌节和眼囊原基,头部 3 脑分化出来。	25 h 58 min	I -18
眼囊期 Optic capsule stage	眼囊清晰,长椭圆形,出现肌节 9 对。	26 h 58 min	I -19
嗅板期 Olfactory blank appearance	眼囊下方出现嗅板。	28 h 14 min	I -20
尾芽期 Tail-bud stage	胚体伸长,包裹卵黄囊半周,尾芽形成,眼囊变圆。	29 h 02 min	I -21
耳囊出现期 Otocyst stage	眼囊凹陷呈杯状,后脑两侧出现小泡状耳囊。	30 h 50 min	I -22
尾鳍原基出现 Rudiment of tail fin	尾的边缘出现皮褶。	32 h 50 min	I -23
晶体出现期 Crystal stage	眼杯出现晶体,肌节 23 对。	34 h 07 min	I -24
肌肉效应期 Muscular contraction	胚体出现微弱的间歇性抽动。	36 h 40 min	I -25
心脏出现期 Appearance of heart	在卵黄前上方出现葫芦状细胞串即心脏原基。	40 h 32 min	I -26
耳石出现期 Appearance of statolith	耳囊出现小石粒,胚体中脑膨大。	48 h 25 min	I -27
心跳期 Heart-beating stage	心脏由弱到强跳动,可见泄殖孔,心搏率 102~160 次/min,血液循环开始。	56 h 22 min	I -28
眼球色素出现 Appearance of eyeball pigment	眼球前端出现黑色素斑。	71 h 39 min	I -29
胸鳍出现期 Rudiment of pectoral fin	胸鳍出现并略向两侧撑起。	75 h 02 min	I -30
出膜 Embryos hatching	头先出或者尾先出。	95 h 08 min	I -31,33

2.3 胚后发育 (图版 II)

2.3.1 卵黄囊期或早期仔鱼 (孵出至出膜后 7 d)

初孵仔鱼: 刚出膜的仔鱼, 平均全长 7.25 mm。卵黄囊呈不规则长锥形, 前段较膨大, 约占卵黄囊总长的 1/3; 后段呈长棒状, 约占总长的 2/3, 中间一道缢痕, 为仔鱼出膜前弯曲处; 体透明, 肌节 27 + 16, 眼的黑色素已出现; 耳囊和 2 对圆形或近圆形的耳石清晰可见; 具一对短小胸鳍, 呈扇形; 在其基部可见心脏跳动, 频率 120~160 次/min, 流动的血液中可见少量红色素细胞; 肠管为直管形状, 末端弯曲, 接肛门; 脊索前端稍弯曲, 头部紧贴卵黄囊, 脊索末端呈箭尖状, 尾鳍褶明显。初孵仔鱼多静伏在水底, 偶尔上窜 (图版 II-1)。

出膜后 1 d: 血液微红色, 血液循环清晰可见; 颅顶色素出现, 胸鳍加长变宽, 鳃弧出现, 可见红色鳃丝。尾柄处鳍褶开始内缢; 口未开; 卵黄囊变小 (图版 II-2)。

出膜后 2 d: 在卵黄囊前上部出现“腰点”, 即鳔, 其上分布少量黑色素, 此时的鳔未充气; 口未开 (图版 II-3)。

出膜后 3 d: 鳔开始充气, 略膨胀; 肠道更加清晰从鳔下方延伸到肛门处; 部分仔鱼下颌开始活

动, 但未见摄食; 卵黄囊继续缩小呈细长棒状, 部分仔鱼卵黄囊后部出现空泡 (图版 II-4)。

出膜后 4 d: 鳔继续充气膨大, 呈光滑球形; 部分仔鱼开始摄食, 肠道中开始出现异物颗粒; 此时仔鱼游泳能力增强, 已能作较长时间的水平游泳, 在无外力的情况下可以游到水面; 卵黄囊长径开始缩短, 后端呈针状 (图版 II-5)。

出膜后 5 d: 仔鱼摄食能力增强, 消化道中贮满食物, 消化道前端膨大, 后端渐细, 直通肛门, 可见排泄物; 卵黄囊后部缩小呈线状, 紧贴腹腔内壁 (图版 II-6)。

出膜后 6 d: 有大量排泄物排出; 卵黄囊在鱼胸腔前部, 和腹腔内壁仍有少量残留。尾鳍原基出现, 其上有黑色素分布 (图版 II-7)。

出膜后 7 d: 卵黄囊仅在胸腔前部有残留, 基本消失。 (图版 II-8)。

从表 2 可以看出, 仔鱼出膜后 1 d 卵黄囊消耗量最大, 出膜 2 d 以后, 卵黄囊消耗量逐渐减少, 到出膜后 7 d, 卵黄囊消耗量降为 0, 这表明初孵仔鱼出膜后 1 d 新陈代谢最为旺盛, 能量消耗也最大。卵黄囊仔鱼增长速度出膜后 2 d 达到最大增长率 10.4%, 随后出现增长率下降的趋势。

表 2 似刺鲃卵黄囊期仔鱼全长及卵黄囊长、短径 (平均值)
Tab.2 Body length and yolk bag of *Paracanthobrama guichenoti* (Mean)

发育阶段 Developmental stage	全长/mm TL	长径/mm YL	短径 1/mm YD1	短径 2/mm YD2	长径/全长 YL/TL
初孵仔鱼 Newly hatched larvae	7.25	3.94	0.51	0.97	0.54
出膜后 1 d 1 d larva after hatching	7.45	3.92	0.50	0.89	0.53
出膜后 2 d 2 d larva after hatching	8.225	3.81	0.48	0.69	0.46
出膜后 3 d 3 d larva after hatching	8.487	3.64	0.38	0.53	0.43
出膜后 4 d 4 d larva after hatching	8.674	3.60	0.27	0.52	0.42
出膜后 5 d 5 d larva after hatching	8.805	3.56	0.14	0.43	0.40
出膜后 6 d 6 d larva after hatching	8.868	3.07	0.07	0.24	0.35
出膜后 7 d 7 d larva after hatching	8.898	/	/	/	/

2.3.2 晚期仔鱼阶段（卵黄消失期、尾背鳍分化期、鳔二室期、臀鳍形成期和腹鳍形成期） 晚期仔鱼完全依靠外源物质获取能量，主要以鳔二室，脊椎形成以及各鳍的分化与形成为主要标志。包括卵黄消失期、尾、背鳍分化期、鳔二室期、臀鳍形成期和腹鳍形成期。

出膜后 8 d，卵黄吸收完全，此时鳔从背面观成倒心型，折光性强；向两边撑起的胸鳍向体内侧移动，此时可明显观察到耳囊下方敞开的 4 对鳃弧，鳃盖未形成；眼球乌黑发亮，转动灵活；在背部和腹部有明显的褶，肌节“<”形，肠道为直形。

出膜后 12 d，耳囊中第 3 对耳石—星耳石出现在仔鱼耳囊的后部，形似镰刀状，明显区别于椭圆形的矢耳石和圆形的微耳石；脊索末端略向上歪曲，近末端斜下方隐约可见出现数枚尾鳍鳍条，分辨不甚清晰。出膜后 15 d，平均全长 10.89 mm。背鳍褶突起明显，可观察到鳍条原基的出现，与此稍后，臀鳍原基亦已经出现，此时尾鳍色素明显增多（图版 II-9），鳔一室；肠仍为直条形。出膜后 30 d 左右背鳍分化才完全完成，此时期仔鱼在底层均觅食，且游动相当迅速。

出膜后 19 d 左右，部分仔鱼在第一鳔室前端出现了第二鳔室原基，逐步出现 1 个小气室，最后发育出第二鳔室。出膜后 23 d 有 80% 仔鱼长出第二鳔室，平均全长为 1.21 cm，鳃丝扩大，鳃盖开始覆盖鳃弓。耳囊中矢耳石在长轴方向出现快速增长，外形呈现勺状，此时的微耳石似椭圆形，星耳石形态逐渐由镰刀状变成耳状；肠道开始出现弯折（图版 II-10）。背鳍突起明显，有约 70% 的仔鱼长出 1~3 枚鳍条；有 30% 的仔鱼长出 3~5 枚腹鳍条；脊索末端上翘，尾鳍初呈浅凹形，尾鳍条为 3~8 枚。

臀鳍形成期时期较长，横跨鳔二室期。臀鳍的分化几乎与背鳍分化同步，但发育时间更长，出膜后 30 d 臀鳍条基本长齐。

出膜后 30 d，平均全长 2.02 cm，体高 0.31 cm，体质量 0.054 0 g，体长为头长的 3.32 倍。鳃盖基本覆盖住鳃弓，仔鱼长出腹鳍芽，20% 的仔鱼可观察到腹鳍条，躯体后部鳍褶仍残存较多。尾鳍呈正尾型，鳍条发育完全，背鳍和臀鳍已经发育完全，鳍条均清晰可见且布有黑斑，肠道形成第二个弯曲，腹膜出现，此时可观察到尾鳍中央靠近尾柄的地方有较浓黑色素斑（图版 II-11）。

2.3.3 稚鱼（从鳞片开始出现到全身披鳞） 出膜

后 35 d，仔鱼腹鳍条基本长出，80% 的仔鱼完成腹鳍的分化；仔鱼鳃盖后缘及前端侧线附近有少量鳞片状突起，但身体透明这一仔鱼特点尚未消失；腹膜尚未闭合，鳍褶基本消失，背、尾、臀鳍皆出现丝条状黑色斑（图版 II-12），各鳍鳍式：背鳍 D. ii -7，胸鳍 P. i -15，臀鳍 A. i -7，腹鳍 V. i -7，尾鳍 C. $\frac{x-9}{9-x}$ 。臀鳍的第 1 根软条仍为分枝，尚未骨化成硬棘，此时稚鱼平均全长 3.12 cm，体高 0.50 cm，体质量 0.198 0 g，眼径为 0.22 cm，口径 0.25 cm，体长为头长的 3.53 倍，此时口角须尚未出现。

初次出现的鳞片鳞纹只有 1~2 圈，且不完全闭合，鳞焦尚未形成，能看到 3~5 个辐射沟。由于白色腹膜的遮盖，已经不能活体观察肠道的盘折状况，解剖发现肠道的盘折与成鱼特点类似，共有 2 个回曲，呈“Z”形，鳔前后室比例约为 2:3；在耳囊的 3 对耳石中，矢耳石前端稍尖后端圆钝呈瓜子形，星耳石中央区厚且边缘有许多突起，微耳石则呈梨形。

2.3.4 幼鱼（鳞片长齐之后的鱼苗） 出膜后 68 d，平均全长 8.70 cm，体高 1.55 cm，体质量 4.81 g，X 眼径为 0.42 cm，口径 0.45 cm，体长为头长的 3.85 倍、为肠长的 1.13 倍，鳔前后室比例约为 1:2，口下位，在下颌口角边缘出现须 1 对。仔鱼身上鳞片基本长出，腹膜闭合，体色为银绿色，身体透明这一特征消失，标志着进入幼鱼期（图版 II-13）。此时鳞片鳞纹增至 15~20 圈，鳞焦形成，辐射沟增至 10~15 个。鳍条分节特征已与成鱼相同，各鳍鳍式：背鳍 D. ii -7，胸鳍 P. i -16，臀鳍 A. ii -6，腹鳍 V. i -7，尾鳍 C. $\frac{x-9}{9-x}$ 。体侧色带显示出鲜艳颜色，呈银绿色金属光泽；尾鳍前端黑色且前端下部成明显的黑条纹，末端橘黄色，呈分层状分布，是区别于其他鱼类的显著特征之一；进入幼鱼阶段的个体形态与成鱼相似（图版 II-13），似刺鲃幼鱼生活在水底层，避光、集群，尤喜摄食摇蚊幼虫。

3 讨论

3.1 似刺鲃胚胎发育特点

似刺鲃成熟卵径 (2.00 ± 0.03) mm，大于长臀鲃 (*Cranoglanis boudierius*)^[8]，与银鲃 (*Squalidus argentatus*)^[9] 相当，略小于“四大家鱼”^[10] 和倒刺鲃 (*Spinibarbus denticulatus*)^[11]，属于偏大型卵。由于繁殖季节似刺鲃雄鱼少，且精液浓度极稀，造成人工授精时产生了许多成熟未受精卵。成熟未

3 讨论

3.1 似刺鲃胚胎发育特点

受精卵卵内原生质向动物极集中,其外观与受精卵略为相似,但这些卵并不能继续发育,随后陆续死亡,死卵的卵膜不易腐烂分解,甚至当受精卵已发育到孵出阶段,仍然有不少死卵未解体,且易滋生水霉,影响其他受精卵的正常发育;而且肌肉效应期之后代谢排泄物明显增多。所以要取得较好的孵化效果,首先要提高鱼卵的受精率,同时在孵化过程要及时清除死卵,保持水质清洁,以弱流水式孵化为佳。在生产上,孵化用水必须经筛绢过滤,严防大型水蚤等敌害生物进入。

在水温 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下,似刺鲃受精卵需要 95 h 08 min 孵化出膜,孵化时间远长于“四大家鱼”^[10],器官发育特点与同一亚科的花鲢 (*Hemibarbus maculatus*) 较为相似^[12]。卢敏德等^[5]观察 23~26 $^\circ\text{C}$ 水温下似刺鲃的胚胎发育累积时程为 78 h 07 min,且鳔在出膜前就已经出现。从实验观察的几批卵的发育情况看,鳔在出膜后 2 d 才出现。杨明生等^[13]和李勇等^[14]认为,水温、水质对孵化历期、仔鱼的器官发育和鱼苗畸形率发生都有较大的影响。本研究与卢敏德等^[5]的结果有一定差异,这是否与水温、水质对仔鱼的器官发育有影响相关,还是卢敏德等^[5]观察时的胚胎畸形已经发生有关,有待进一步研究。此外还发现,同批受精卵在相同孵化条件下,孵化时间相差很大,第 1 尾仔鱼是在受精 80 h 38 min 后孵化出膜,90% 仔鱼在 130 h 后出膜,是前者的 1.62 倍。这种现象在细鳞斜颌鲴 (*Xenocypris microlepis*)^[15]、白斑狗鱼 (*Esox lucius*)^[16] 胚胎发育中都存在,这可能是鱼类为了保持种群延续、繁衍后代对复杂生态环境的一种适应性^[17]。

另外,在仔鱼出膜方式上,大部分是头先出,与圆斑星鲃^[18] 的出膜方式相似,出膜前仔鱼先将卵膜溶出一个孔,然后依靠胚体的颤动从孔中钻出,头先破膜的仔鱼出膜过程瞬间完成;少部分是尾先破膜,此时仔鱼出膜过程往往要一定时间且有卡住而不能出膜的危险,必须人为破膜。至于温度对头先出和尾先出的比例是否存在影响则有待于进一步深入研究。

3.2 似刺鲃胚后发育特点

3.2.1 似刺鲃体色、耳石和鳍发育特征 在仔、稚、幼鱼发育过程中,色素的变化较大,出膜后 2 d 头部及体背出现色素,以后逐渐增多,尾鳍则由淡黑色素→深黑色素斑→黑、橘黄色素分层状分布。

谢恩义^[19]、杨明生^[13] 等的研究指出,胚后发育过程中,仔稚幼鱼体色素的变化有一定规律,具有种的特点。对似刺鲃来说,尾鳍前端黑色且前端下部成明显的黑条纹,末端橘黄色,呈分层状分布,可作为稚、幼鱼阶段种类鉴别的主要特征。由于似刺鲃体形优雅,各鳍条色泽鲜艳,外形美观,颇具观赏性,还是作为观赏鱼开发的优良品种。

矢耳石形态由初孵仔鱼的圆形,经过椭圆形、勺状,最后变成前端稍尖后端圆钝呈瓜子形,这在其他鱼也有类似的报道,如金鱼^[20]、南极雪鲱^[21] 等;星耳石到出膜后 12 d 才出现,形态由最初的镰刀状变成耳状,最后形成边缘有许多突起的星状;而微耳石的形态则较稳定,由近圆形→椭圆形→梨形,是研究日轮较为合适的选择,与沈建忠等^[22] 对鲫鱼的研究结果相似。

鳍的发生,与大多数鲤科鱼类相似^[10]。最先出现的是胸鳍,出膜前就出现,随后出现的是尾鳍、背鳍、臀鳍,最后出现和完善的是腹鳍。

3.2.2 似刺鲃胚后发育生长及摄食生态特征

似刺鲃卵黄囊期仔鱼的增长率以出膜后 2 d 的为最大,达到 10.4%,随后的几天其增长率呈渐小的趋势,这说明了内源性营养在最初的 48 h 内,主要是用于鱼体的迅速生长和旺盛的代谢,以后则消耗于器官的分化和运动^[23-25]。在水温 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 时,根据仔鱼的发育分期,出膜之后的第 8 天为卵黄囊期仔鱼阶段,前 4 d 为内营养阶段,第 5 天到第 8 天为混合营养阶段,是仔鱼培育第一危险期,需适时供给适口饵料。

似刺鲃仔稚鱼发育在 10 日龄前差异不明显,10 日龄后个体生长发育的差异明显增大,45 日龄稚鱼平均全长已达到 3.70 cm,但有 8% 的稚鱼平均全长却在 2.00~3.00 cm。由于卵质的差异或仔鱼摄食状况的差异,造成器官发育受阻,必然影响到鱼苗的生长速度,此阶段是仔鱼培育第二危险期。此阶段投喂的饵料是否适时又适口,不仅关系到加速或延缓鱼苗的生长,严重者可导致鱼苗的大批死亡。

致谢:在胚胎发育观察过程中得到南京农业大学渔业学院孔令龙、余燕的大力协助,谨致谢忱!

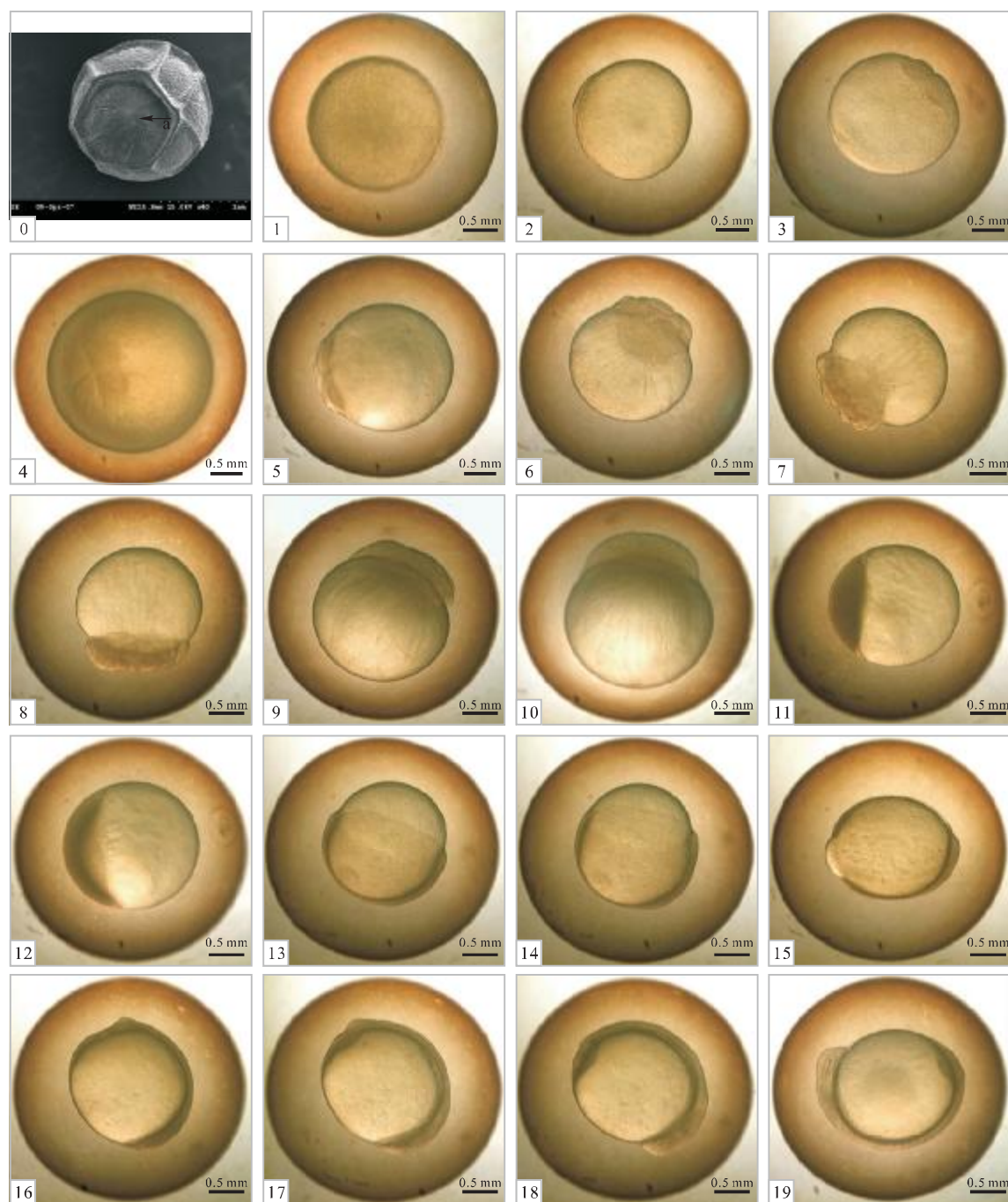
参考文献:

[1] 倪勇,朱成德主编.太湖鱼类志[M].上海:上海科学技术出

- 版社,2005: 139-142.
- [2] 殷名称. 太湖似刺鲃年龄和生长的研究[J]. 生态学报, 1993, 13(1): 38-44.
- [3] 殷名称. 太湖似刺鲃的繁殖和死亡特征[J]. 海洋与湖泊, 1994, 25(4): 378-384.
- [4] 常剑波, 孙建贻, 段中华, 等. 网湖似刺鲃种群生长和死亡率研究[J]. 水生生物学, 1994, 18(3): 230-239.
- [5] 卢敏德, 杨彩根, 葛志亮, 等. 似刺鲃胚胎发育的研究[J]. 水产养殖, 1996, 6: 15-18.
- [6] 杨明生. 拟刺鲃生物学的初步研究[J]. 淡水渔业, 1996, 26(3): 17-19.
- [7] 王瑞霞, 张毓人, 傅仓生, 等. 鲂鱼受精早期入卵的扫描电子显微镜观察[J]. 水产学报, 1982, 6(4): 313-320.
- [8] 周立斌, 叶卫. 长臀鲃胚胎发育的研究[J]. 水产科学, 2007, 26(1): 31-34.
- [9] 李修峰, 黄道明, 谢文星, 等. 汉江中游银鲃的胚胎发育[J]. 大连水产学院学报, 2005, 20(3): 181-185.
- [10] 王吉桥, 赵兴文. 鱼类增殖学[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2008: 130-180.
- [11] 易祖盛, 陈湘舜, 王春, 等. 倒刺鲃胚胎发育的研究[J]. 中国水产科学, 2004, 11(1): 65-69.
- [12] 顾若波, 闻海波, 徐钢春, 等. 花鲢胚胎发育及卵黄囊仔鱼形态的初步观察[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2006, 25(4): 373-378.
- [13] 杨明生, 王剑伟. 瓦氏黄颡鱼的胚后发育观察[J]. 动物学杂志, 2005, 40(4): 69-73.
- [14] 李勇, 张耀光, 谢碧文, 等. 白甲鱼胚胎和胚后发育的初步观察[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2006, 31(5): 142-147.
- [15] 湖北省随县桃园水库管理处, 湖北省水生生物研究所鱼类遗传育种研究室引种驯化组. 细磷斜颌鲴的养殖及其生物学研究[J]. 水生生物学集刊, 1975, 5(4): 421-434.
- [16] 乔德亮, 李思发, 凌去非, 等. 白斑狗鱼胚胎和卵黄囊期仔鱼的发育[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(1): 12-18.
- [17] 谢仰杰, 孙帼英. 河川沙塘鳢的胚胎和胚后发育以及温度对胚胎发育的影响[J]. 厦门水产学院学报, 1996, 18(1): 55-62.
- [18] 王开顺, 张志峰, 康庆浩, 等. 圆斑星鲈胚胎及仔鱼发育的观察[J]. 中国水产科学, 2004, 10(6): 451-456.
- [19] 谢恩义, 阳清发, 何学福. 瓣结鱼的胚胎及幼鱼发育[J]. 水产学报, 2002, 26(2): 115-121.
- [20] Mugiya Y, Tanaka S. Otolith development, increment formation, and an uncoupling of otolith to somatic growth rates in larval and juvenile goldfish[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(5): 848-851.
- [21] Radtke R L, Hubold G, Folsom S D, et al. Otolith structure and chemical analyses: the key to resolving age and growth of the Antarctic silverfish, *Pleuragramma antarcticum*[J]. Antarctic Science, 1993, 5: 51-62.
- [22] 沈建忠, 曹文宣, 崔奕波. 鲫耳石年轮的观察及其确证[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(1): 64-68.
- [23] 区又君, 李加儿. 鲮鱼胚胎和卵黄囊期仔鱼的发育与营养[J]. 海洋学报, 1997, 19(3): 102-110.
- [24] Enrique M A, Jesus V J. Yolk and oil globule utilization and developmental morphology of the digestive tract epithelium in larval rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch) [J]. Aquaculture, 1987, 65: 319-331.
- [25] Hodson P V, Blunt B R. The effect of time from hatch on the yolk conservation efficiency of rainbow trout, *Salmo gairdneri*[J]. J Fish Biol, 1986, 29: 37-46.

顾若波等：似刺鲃的胚胎及胚后发育

Gu Ruo-bo et al: Embryonic and post-embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti*

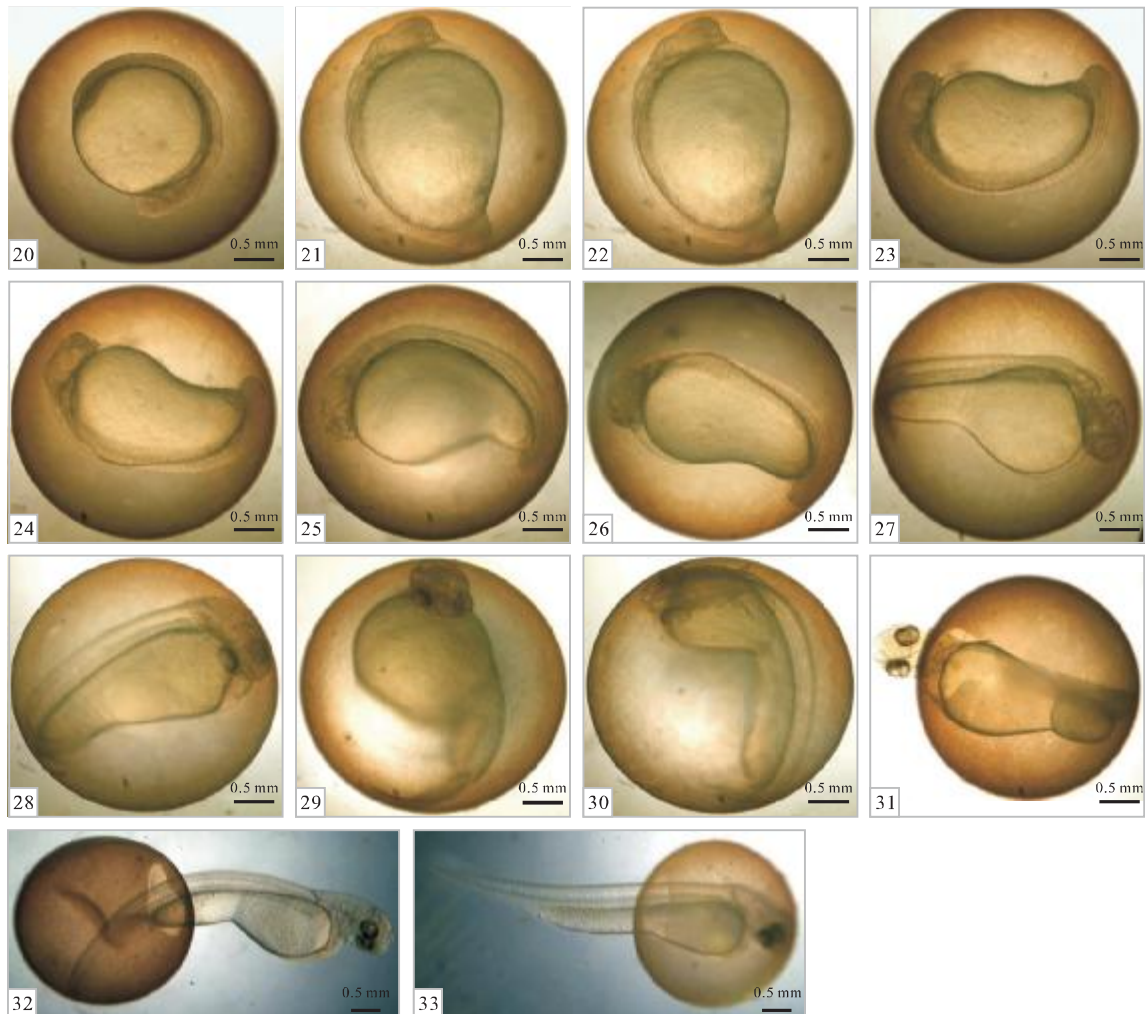


图版 I 似刺鲃的胚胎发育（待续）

Plate I Embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti* (Be continued)

顾若波等：似刺鲃的胚胎及胚后发育

Gu Ruo-bo et al: Embryonic and post-embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti*



图版 I 似刺鲃的胚胎发育 (续)

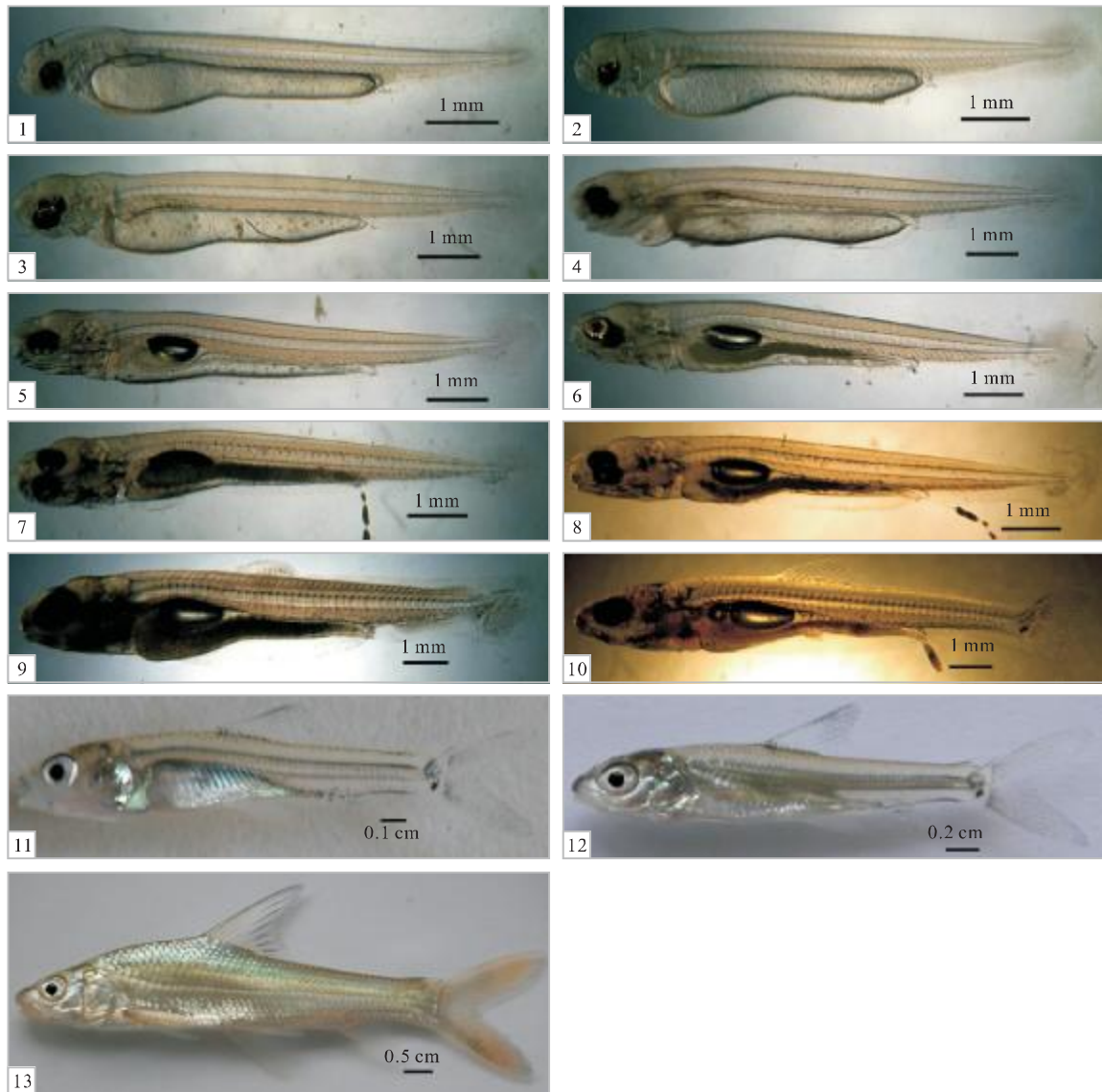
0. 成熟未受精卵 (a 示精孔管); 1. 受精卵; 2. 胚胎隆起期; 3. 2 细胞期; 4. 4 细胞期; 5. 8 细胞期; 6. 16 细胞期; 7. 32 细胞期; 8. 64 细胞期; 9. 桑椹期; 10. 高囊胚期; 11. 低囊胚期; 12. 原肠早期; 13. 原肠中期; 14. 原肠后期; 15. 神经胚期; 16. 胚孔闭合期; 17. 胚体形成期; 18. 肌节出现期; 19. 眼囊期; 20. 嗅板期; 21. 尾芽期; 22. 耳囊出现期; 23. 尾鳍原基出现期; 24. 晶体出现期; 25. 肌肉效应期; 26. 心脏出现期; 27. 耳石出现期; 28. 心跳期; 29. 眼球色素出现期; 30. 胸鳍出现期; 31. 出膜期; 32. 出膜 (头先出); 33. 出膜 (尾先出)

Plate I Embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti* (Continued)

0, Unfertilized egg (a- fertilization hole); 1, Fertilized egg; 2, Blastodisc forming; 3, 2 cell stage; 4, 4 cell stage; 5, 8 cell stage; 6, 16 cell stage; 7, 32 cell stage; 8, 64 cell stage; 9, Morula; 10, High blastula; 11, Low blastula; 12, Early gastrula; 13, Mid gastrula; 14, Late gastrula; 15, Neural embryo formation; 16, Closure of blastopore; 17, Embryo body stage; 18, Appearance of myomere; 19, Optic capsule stage; 20, Olfactory blank appearance; 21, Tail-bud stage; 22, Otocyst stage; 23, Rudiment of tail fin; 24, Crystal stage; 25, Muscular contraction; 26, Appearance of heart; 27, Appearance of statolith; 28, Heart-beating stage; 29, Appearance of eyeball pigment; 30, Rudiment of pectoral fin; 31, Embryos hatching; 32, Embryos hatching (head first); 33, Embryos hatching (tail first)

顾若波等：似刺鲃的胚胎及胚后发育

Gu Ruo-bo et al: Embryonic and post-embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti*



图版 II 似刺鲃的胚后发育

1. 初孵仔鱼; 2. 出膜后 1 d; 3. 出膜后 2 d; 4. 出膜后 3 d; 5. 出膜后 4 d; 6. 出膜后 5 d; 7. 出膜后 6 d; 8. 出膜后 7 d; 9. 尾、背鳍分化期; 10. 鳔二室期; 11. 臀鳍、腹鳍分化期; 12. 稚鱼期; 13. 幼鱼期。

Plate II Post-embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti*

1, Newly hatched larvae; 2, 1 d larva after hatching (DAH); 3, 2DAH; 4, 3DAH; 5, 4DAH; 6, 5DAH; 7, 6DAH; 8, 7DAH; 9, Differentiation of tail and dorsal fin; 10, Two chamber air bladder stage; 11, Differentiation of anal and pelvic fin; 12, Juvenile stage; 13, Young fish stage.

Embryonic and post-embryonic development of *Paracanthobrama guichenoti*

GU Ruo-bo^{1,2}, XU Gang-chun^{1,2}, WEN Hai-bo², LI Xiao-li^{1,2}, HUA Dan², ZENG Ling-bing^{1,2}, ZHANG Shou-ling²

(1. The Key Lab of Freshwater Ecology and Healthy Aquaculture, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China; 2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: Nowadays, the population of *Paracanthobrama guichenoti* in Taihu Lake has drastically declined due to environmental change, habitat degradation, over-harvesting and other anthropogenic factors. Propagation and culture of the species have been recommended as strategies to enhance existing populations. The goal of this study is to determine the process of embryo and post-embryo development of *Paracanthobrama guichenoti* and its morphological and ecological traits at each stage. Stereomicroscope imaging system was used to observe the embryo development of the species. The results showed that fertilized eggs of *Paracanthobrama guichenoti* are oval in shape with a diameter of (3.43 ± 0.05) mm. The process of embryo development can be categorized into 7 physiological stages with 31 periods. The embryo development lasted for 95 h 08 min when the water temperature is around $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$. The post embryo development can be grouped as larva, juvenile and young stages based on varying in presence of yolk-sac, scale and body color. Furthermore, the larva stage is classified into early and late stages based on presence of yolk-sac. The newly-hatched larva reached 7.25 mm in total length. The yolk-sac disappeared after 7 days when water temperature was around $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Moreover, a few number of the squama occurred at the posterior edges of operculum and front sidetracks after 35 d when the water temperature ranged from $20 \sim 25 ^\circ\text{C}$. This appearance indicated that *Paracanthobrama guichenoti* shifted life stage from larva to juvenile stage. Juveniles reached length of 3.12 cm at this stage. Juveniles sequentially developed, resulted in growing out scales, completing development of peritoneum and metamorphosing to young fish after 68 days. Young fish reached 8.70 cm in length at this stage. This study is significantly important in conservation and seed breeding of *Paracanthobrama guichenoti*. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (3): 414–424]

Key words: *Paracanthobrama guichenoti*; embryonic development; larva; juvenile; young fish

Corresponding author: ZENG Ling-bing. E-mail: zenglingbing@gmail.com