第13卷第6期
2006年11月

中国水产科学
Journal of Fishery Sciences of China

Vol. 13 No. 6
November 2006

唐鱼的胚后发育

方展强，陈国柱，马广智
（华南师范大学 生命科学学院，广东 广州 510631）

摘要：根据唐鱼（*Tanichthys albonubes*）发育过程特征，胚后发育可以分为孵出期、胸鳍形成期、鳔一室期、卵黄消失期、尾鳍分化期、背鳍分化期、鳔二室期、背鳍形成期、臀鳍形成期、腹鳍形成期、稚鱼期、幼鱼期和成鱼期。在水温23.0～29.0 ℃条件下，初孵仔鱼体全长为（2.760±0.002）mm。孵出后3天，巡游模式建立，仔鱼开口摄食；5天仔鱼卵黄耗尽，完全依赖外源营养；9天尾鳍开始分化，12天尾脊索上弯；15～18天，背鳍褶突起明显，鳍条原基出现；18天第二鳔室出现，肌节开始向"W"过渡；臀鳍与背鳍分化；33天，20%的仔鱼可观察到腹鳍条；45天，57.1%仔鱼身体长出鳞片；50～55天，体全长（15.62±1.65）mm，腹膜闭合，身体透明特点消失，进入幼鱼期。77天，部分性成熟较早的个体开始进行繁殖。同时文中讨论了唐鱼胚后发育特点及其保护生物学。［中国水产科学，2006，13（6）：869－877］

关键词：唐鱼；胚后发育；保护生物学
中图分类号：Q959.468　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1005－8737－（2006）06－0869－09

唐鱼隶属于鲤科（Cyprinidae）鲃亚科（Danioninae）唐鱼属（*Tanichthys*），为一种小型鱼类[1]。1988年被列为国家Ⅱ级保护动物，是仅有的几种原产中国的世界性观赏鱼之一，曾被认为在国内原产地野外灭绝[2-3]。唐鱼主要自然分布于中国广东珠江三角洲一带和越南北部[1,4]，同时越南中部地区还分布有同属种 *T. micagemmae*[5]。唐鱼所属的鲃亚科是鲤科鱼类原始的类群，其分布的地理区系特点是一系列地质事件变动的结果。中国的种类较少，绝大多数分布于南岭以南[6]。唐鱼的分布范围也较狭窄，它作为鲃亚科较具代表性的种类在学术上有较高研究价值。而作为一个濒危物种，对其的研究工作亟待加强。

2001年以来，研究人员多次进行了唐鱼野外放流，试图恢复和壮大野外种群[7]。最近调查显示，广州附近一些偏远地区仍有残存野生种群[3]。作为一种世界性观赏鱼类，国外研究者对唐鱼进行过一些研究[8]，但是国内外对唐鱼的生物学研究资料尚少，尤其是其保护生物学的系统性研究仅处于起步阶段[7-13]。目前认为唐鱼濒危主要是由于栖息地遭受破坏所引起[2-3]，食蚊鱼的入侵也可能是造成其濒危的重要原因之一[14]。有关唐鱼的繁殖习性国内学者已作过报道[7]，并报道了对唐鱼胚胎发育过程的观察结果[9]。在此基础上，本研究继续对唐鱼胚后发育过程进行观察，以全面了解唐鱼的整个发育生活史的特点，进一步充实唐鱼生物学基础资料。

1 材料与方法

实验用仔鱼由本实验室繁殖提供。仔鱼出膜后暂养在1 000 mL烧杯，巡游模式建立后转移到45 cm×30 cm×20 cm玻璃缸中饲养，水深10 cm，共约150尾。孵出后每天仔细观察形态发育特征，记录可测量性状，在整个实验过程中对重要形态发育时期进行拍摄。仔鱼在孵出后第3天开口摄食，3～15天仔鱼投喂由稻草培养液培养的草履虫（*Paramoecium caudatum*）；16～22天投喂微胶囊饵料（欧开牌，华南师范大学海洋研究所生产）；23～50天投喂剪碎的红虫（*Tendipes* spp.）。50天以后利用人工配合饵料饲养。养殖水温条件23.0～29.0 ℃。室内日光灯照明，水面光强为680～783 lx，光周期L∶D＝16 h∶8 h。

收稿日期：2006－03－03；修订日期：2006－04－21.
基金项目：农业部渔业生态环境重点开放实验室开放基金（20059）；广东省渔业生态环境重点开放实验室开放基金资助（2005－09）；广东省科技计划项目资助（2004B40101015）
作者简介：方展强（1953－），男，教授，博士生导师，从事鱼类繁殖生物学研究；Tel：020－85211602；E-mail：fangzhq@scnu.edu.cn

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

2 结果

鱼类胚后发育狭义上指由孵出到仔鱼鳞片覆盖全身所经历的过程;广义上,则包括了孵出后直到成熟以至死亡的整个生活史。本实验对其胚后发育过程的观察和描述采用了后者。唐鱼的胚后发育经历卵黄囊期仔鱼(Yolk-sac larva)、晚期仔鱼(Late stage larvae)、稚鱼(Juvenile)、幼鱼(Young fish)和成鱼(Adult)5个阶段。根据外部形态、器官发育程度等特点又分为12个时期(表1)。各时期的划分均依据50%以上个体出现该时期特征作为发育时间。所标明温度为该阶段平均温度。

2.1 卵黄囊期仔鱼

从仔鱼孵化出膜至卵黄吸收,仔鱼开始完全依靠外源营养为止。从出膜起历时5 d,包括孵出期(Hatching stage)、胸鳍形成期(Pectoral formation stage)和鳔一室期(One chamber air ladder stage)。水温条件(24.0±1.0)℃。

2.1.1 孵出期 初孵仔鱼全长(2.760±0.002)mm,身体无或仅有少量淡灰色色素斑,眼淡灰色。头部弯曲紧贴透明围心腔。卵黄囊前部长椭圆到椭圆近球形,往后部渐细成棒状,整体呈梨状。未出现胸鳍原基,绕躯干以及尾部为一连贯的透明鳍膜。消化系统尚未发育(图版Ⅰ-1)。心脏位于身体中轴线偏卵黄囊左侧(图版Ⅰ-A、B、C),搏动有力,心率为147.9次/min,血液淡红色。孵出后4~6 h胸鳍原基出现(24.0±1.0)℃,在2~3肌节外侧隆起小团状物。孵出后6~8 h心脏进入正中线(图版Ⅰ-2)。肌节5+12+15=32,"V"字形。此时仔鱼静息水底,能作偶尔垂直向上冲游。12 h,耳囊两侧开始聚集色素花,成带状,颜色由浅灰色逐步向黑色过渡;身体背面,特别是头前部出现淡黄色,眼浅灰。出现不太明显的口窝,部分仔鱼开始挂壁。

2.1.2 胸鳍形成期 孵出后20~24 h胸鳍芽形成,呈月牙状突起,尚不能动。身体黄色加深,色素花斑收缩成色素小圆点(图版Ⅰ-3)。口窝明显,下凹。此时可以观察到绝大部分仔鱼依靠头部吸附挂在烧杯上。血液循环开始进入环绕躯体的鳍褶,逐步出现一些血管通道小弧,与主循环沟通尚不通畅。2天口裂和鳃裂出现,在显微镜下可以观察到鳃裂处的微小血液循环,初时仅有一小段回路,之后形成第二、三回路(图版Ⅰ-4)。卵黄囊消耗较多,在鳔雏形下方出现黄色到浅橘黄色的小团。至此,消化道可见裂缝出现。卵黄囊靠近头部一段可清晰看到肝脏的出现,尚未分叶。2~2.5天,胸鳍形成,鳍尖可达4~6肌节处,能划动,此时仔鱼多作短时斜向上冲游,尚未能水平游动。环绕躯体的鳍褶出现许多规则的血管弧,血流迅速,与主循环沟通顺畅。消化道裂缝进一步扩大,可达鳔雏形的后部,尚未能见到肠道皱褶。仔鱼开始出现颌部开合动作。

2.1.3 鳔一室期 孵出后3天,鳔充气,一室。鳔充气初期,可以在鳔囊中观察到逐步出现折光很强的圆形小气泡,起始的位置多在鳔囊前端。其后气泡逐步增大,占据鳔囊中部。鳔充气完成需耗时约24 h。充气初期,仔鱼开始脱离烧杯壁,浮集水面,此时仔鱼反复做间断的斜向短距离冲游,努力接近水面。当鳔充气接近鳔囊1/3时,仔鱼依靠鳔的调节作用,开始获得水平游动能力,巡游模式建立(图版Ⅰ-5)。巡游模式建立后的仔鱼集中在水体表层,来回游动做类似搜索食物运动。此时若进行投喂部分仔鱼能进行摄食,但主动追捕猎物能力有限,常观察到刚刚捕捉到的草履虫从仔鱼口中逃出,而仔鱼稍作追逐便放弃。鳔一室期仔鱼卵黄囊尚多,让位于逐步出现的消化道,退居腹部下侧。在卵黄囊前端已经可以观察到一侧肝脏分上下两叶。3.5天左右,肠道皱褶出现,此时仔鱼开口摄食,进入了混合营养期(mixed nutrition stage)。此时,仔鱼在身体侧部和头部可观察到出现少量感觉芽,体一侧5~7个,头部有4~6个。

2.2 晚期仔鱼

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(Exhaustion of yolk stage)、尾鳍分化期(Caudal tip lifting stage)、背鳍分化期(Differentiation of dorsal fin stage)、鳔二室期(Tow chamber air bladder stage)、臀鳍形成期(Formation of anal fin stage)和腹鳍形成期(Formation of pelvic fin stage)。

2.2.1 卵黄消失期 孵出后第5天,卵黄吸收完全(图版Ⅰ-6)。全长为(3.862±0.006)mm。此时鳔从背面观成倒心型,折光性强。仔鱼身体色素花斑开始有规律聚集,背、腹和体侧中线上聚集成线。胸鳍上可以观察到鳍条已经出现,散开成扇状。在体侧可以观测到一些细微皮肤突起,为感觉芽,但排列不规则,而且数量很少。眼乌黑发亮,转动灵活。眼眶内出现银蓝色色素。肌节V形。肠道为直形,此时期仔鱼在空腹状态可以明显观察到肠道皱褶的

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

突起和肠道的缓慢蠕动。

2.2.2　尾鳍分化期　孵化后第 7 天,尾鳍褶斜下方出现了一团模糊的鳍条原基,血流开始在此地方出现。孵出后的第 9 天尾椎骨斜下方开始出现色素花斑,下移入尾鳍褶呈斜扇状,尾鳍开始分化,大部分个体出现鳍条;脊索末端未向上弯曲;全长(4.138 ±0.007)mm,鳔一室;肠道为直条形;肌节 V 形。第 12 天的仔鱼全长(4.753 ±0.054)mm。肌节仍为 V 形,脊索末端略向上弯曲,近末端斜下方隐约可见出现数枚尾鳍鳍条,分辨不甚清晰(图版Ⅰ-7),此为第一组鳍条。仔鱼躯体上的淡黄色消失,代之出现淡暗红色。色素点分布更为有规则。此时期仔鱼在各个水层均停留觅食。

2.2.3　背鳍分化期　孵出后第 15 天,全长(5.868 ±0.388)mm。背鳍褶突起明显,可观察到鳍条原基的出现,与此稍前,臀鳍原基亦已经出现(图版Ⅰ-8)。此时尾鳍发育出第二组鳍条,位于第一组鳍条上侧,比第一组向外。2 个组鳍条分举尾椎骨上下两侧,仍为歪尾型。鳔一室;肠仍为直条形。孵出后 30 天左右背鳍分化才完全完成。

2.2.4　鳔二室期　孵出后 18 天左右,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。孵化后 20 天有 73.3% 仔鱼长出第二鳔室,全长为(6.758 ±0.519)mm。肠道开始出现弯折(图版Ⅰ-9),形成第 1 个弯曲。背鳍突起明显,有约 33% 的仔鱼长出 1 ~ 3 枚鳍条。有 73.3% 的仔鱼长出 3 ~ 10 枚臀鳍条。此时期可见在鳔下方有一团圆形颗粒结构,初步确定为早期性腺。脊索末端向上歪曲,一叶尾鳍条为 3 ~ 7 枚。肌节开始向"W"过渡。

2.2.5　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。孵出后 30 天鳍条基本长齐,臀鳍条 i-9。

2.2.6　腹鳍形成期　孵出后 33 天,全长(11.173 ±0.539)mm。仔鱼长出腹鳍芽,20% 的仔鱼可观察到腹鳍条(图版Ⅰ-10)。躯体后部鳍褶仍残存较多。尾鳍正尾型,鳍条发育完全。背鳍和臀鳍已经发育完全,鳍条均清晰可见,背鳍条 i-7,臀鳍条 i-12。肌节类型转入"W"型。肠道形成第二个弯曲。感觉芽逐步隐退。此时可观察到尾鳍中央靠近尾柄的地方呈现特征性的红色。

2.3　稚鱼

稚鱼期(Juvenile stage)　孵出后的 45 天,全长(14.45 ±2.24)mm。仔鱼腹鳍条基本长出,42.9% 的仔鱼完成腹鳍的分化;85.7% 的仔鱼长出鳞片,57.1% 仔鱼身体前后均长出鳞片,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。初次出现的鳞片鳞纹只有 1 ~ 2 圈,且多数不完全闭合。此时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,均为逆时针盘曲。部分个体在尾柄和尾鳍联结处出现一小团黑斑,尾鳍上出现橘红色素点。体侧出现类似成鱼的 3 条色带,呈银绿色金属光泽。

2.4　幼鱼

幼鱼期(Young fish stage)　孵出后 50 ~ 55 天,全长(15.62 ±1.65)mm,仔鱼身上鳞片基本长出,腹膜闭合,体色为银白色。身体透明这一仔鱼特点消失,标志着进入幼鱼期(图版Ⅰ-11)。此时鳞片鳞纹只有 2 ~ 3 圈。进入幼鱼阶段的个体形态与成鱼类似,体侧色带显示出鲜艳颜色。

2.5　成鱼

成鱼期(Adult stage)　在进入成鱼阶段前,仔幼鱼全长的生长非常迅速。孵出后 77 天左右,部分性成熟较早的个体可以进行繁殖,但只能产少量的卵。且嗜食卵子,产卵高潮期表现亦不甚激烈。此时雌性个体较雄性个体易于辨别。同一批仔鱼雌、雄的成熟时间基本一致。初次性成熟的雄鱼尾部红色色斑变得艳丽,出现追逐雌鱼和驱赶同性的行为。室内饲养条件下初次成熟雌鱼和雄鱼的全长为:(22.5 ±2.53)mm 和(20.2 ±1.86)mm,水温(25.3 ±2.6)℃。90 天后,雌、雄鱼之间的性别特征渐趋明显(图版Ⅰ-12、13)。雌鱼由于怀有的成熟卵子量渐增,腹部开始膨大,雄鱼体色渐趋华丽,雄鱼间的争斗现象逐渐增多。在实验室养殖条件下,性成熟的唐鱼具有连续产卵的特性,周年可以繁殖,1 年能繁殖 4 代。整个生长阶段,体质量(W)与全长(L)关系的回归分析方程雌性为 $W = 0.008\ 6\ L^{3.331\ 6}$, $R^2 = 0.983\ 7$(图 1);雄性为 $W = 0.013\ 8\ L^{3.144\ 3}$, $R^2 = 0.977\ 2$(图 2)。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

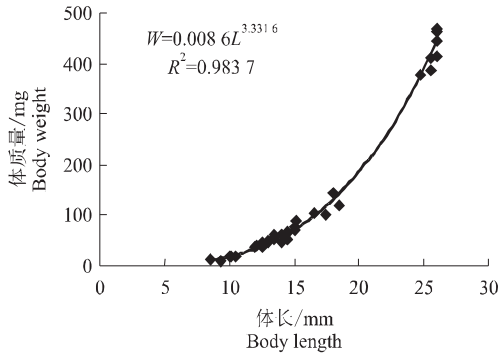


图1 雌鱼全长与体质量关系

Fig. 1 Relation between total length and body weight in female

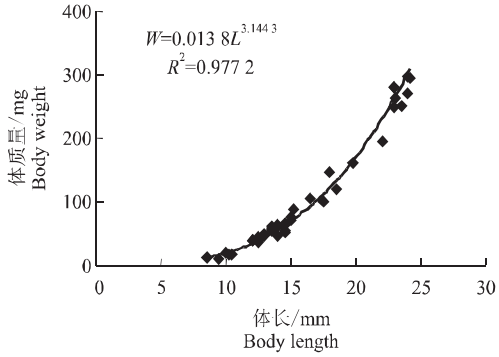


图2 雄鱼全长与体质量关系

Fig. 2 Relation between total length and body weight in male

表1 唐鱼胚后发育各期主要特征

Tab. 1 Main characteristics of postembryonic development of *Tanichthys albonubes*

序号 No.	发育期 Developmental stage	各发育期主要特征 Main characteristics	累积时间/d Accumulation time	图版序 Plate
1	孵出期 Hatching stage	身体无或仅有少量淡灰色色素斑;未出现胸鳍原基;消化系统尚未发育;心率为147.9次/min,血液淡红色;全长(2.760±0.002)mm	0	Ⅰ-1
2	胸鳍形成期 Pectoral fin formation	胸鳍呈月牙形突起,尚不能动;2~2.5 d,胸鳍形成,鳍尖可达4~6肌节处,能划动,此时仔鱼多作短时斜向上冲游,尚未能水平游动;全长(3.220±0.021)mm	1-3	Ⅰ-2
3	鳔一室期 One chamber air bladder stage	鳔充气,一室,巡游模式建立;肠道皱褶出现;感觉芽出现;全长(3.649±0.009)mm	3	Ⅰ-3
4	卵黄消失期 Exhaustion of yolk stage	卵黄吸收完全;肠道为直形;全长(3.862±0.006)mm	5	Ⅰ-4
5	尾鳍分化期 Caudal tip lifting	7天尾鳍褶斜下方出现了一团模糊的鳍条原基,孵出后的第9天尾椎骨斜下方开始出现色素花斑并下移入尾鳍褶呈斜扇状,尾鳍开始分化,大部分个体出现鳍条;脊索后端未向上弯曲;全长(4.138±0.007)mm	9	Ⅰ-5
6	背鳍分化期 Differentiation of dorsal fin stage	背鳍褶突起明显,鳍条原基的出现,臀鳍原基亦已经出现;鳔一室;肠仍为直条形;全长(5.868±0.388)mm	15	Ⅰ-6
7	鳔二室期 Two chamber air bladder stage	第二鳔室形成;肠道开始出现弯折,形成第一个弯曲;背鳍突起明显,约33%的仔鱼长出1~3枚鳍条;有73.3%的仔鱼长出臀鳍条3~10;全长(6.758±0.519)mm	20	Ⅰ-7
8	臀鳍形成期 Formation of anal fin stage	鳍条形成完全,i-9	30	Ⅰ-8
9	腹鳍形成期 Formation of pelvic fin stage	仔鱼长出腹鳍芽,20%的仔鱼可观察到腹鳍条;尾鳍正尾型;背鳍和臀鳍已经发育完全,鳍条均清晰可见,背鳍条i-7,臀鳍条i-9;肌节类型转入"W"型;肠道尚未闭合,鳍褶基本消失;全长(11.173±0.539)mm	33	Ⅰ-9
10	稚鱼期 Juvenile stage	仔鱼腹鳍条基本长出,42.9%的仔鱼完成腹鳍的分化;85.7%的仔鱼长出鳞片,但身体透明这一特点尚未消失;腹膜尚未闭合,鳍褶基本消失;全长(14.45±2.24)mm	45	Ⅰ-10
11	幼鱼期 Young fish stage	仔鱼身上鳞片基本长出,腹膜闭合,呈银白色;全长(15.62±1.65)mm	50-55	Ⅰ-11
12	成鱼期 Adult stage	90天达初次性成熟,雌、雄个体可以区别,部分性成熟较早的个体77天可以进行繁殖;全长(♀)(22.5±2.53)mm、(♂)(20.2±1.86)mm	77-90	Ⅰ-12 Ⅰ-13

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

3 讨论

3.1 唐鱼胚后发育特点

3.1.1 心脏位置 唐鱼初孵仔鱼心脏在鱼体中轴线的左侧,随着发育时间的增加,心脏位置落入围心腔逐步转移到身体中轴线上。这与许多淡水鱼类初孵仔鱼的特征不同。如对斑马鱼(*Brachydanio rerio*)初孵仔鱼心脏位置的观察发现,初孵仔鱼的心脏已经居于身体的正中线[15-16]。一些鱼类,如泥鳅(*Misgurnus anguillicaudaius*),初孵仔鱼发育极不完善,出膜后7 h 30 min才在内耳的前下方出现心管,其后才产生节律性搏动[15]。因此可以认为,初孵仔鱼心脏位置的变动特点是种的发育特征。其他的一些对初孵仔鱼心脏位置的描述较为简单,如麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)初孵仔鱼心脏位于卵黄囊前方[16],尖鳍鲤(*Cyprinus acutidoralis*)初孵时期心脏落入围心腔[17],具体的位置则没有明确描述。在对与唐鱼亲缘关系最为接近的稀有鲍鲫(*Gobiocypris rarus*)胚胎发育的观察中,研究者也没有直接指出它初孵时心脏位置[18],但从胸鳍发育已经相当完善的情况推测,其心脏应当已经落入身体正中线。

唐鱼仔鱼心脏位置随卵黄囊卵黄的消耗变化而变动。随着卵黄囊前部卵黄的消耗,腾出的空间让围心腔得到扩展,心脏随着移动。由此推测,唐鱼仔鱼心脏在发育初期位居身体一侧的原因可能是心脏位于身体一侧,可减少来自卵黄的挤压作用,从而降低搏动的代谢耗能,这是仔鱼进化过程中的最佳选择,实验观察到了初孵时心脏居于左侧的现象。至于为何选择在左侧而不是右侧,这可能与胚胎时期胚胎的卷曲方式有关,尚有待作进一步地研究。

此外,不同水温条件下,唐鱼初孵仔鱼的发育程度有较大差别。一般认为,高温和缺氧会导致胚胎提前出膜。本研究发现,在水温低于20 ℃的条件下,唐鱼初孵仔鱼发育至胸鳍芽突起时期,此时头背部出现淡黄色,色素花斑呈灰黑色,其颜色较深,鳍膜舒展,心脏位置也较为接近身体中轴线。但在23~30 ℃间初孵仔鱼身体没有任何色素花斑,心脏位置偏左,胸鳍未出现,鳍膜尾部处尚未充分舒展。20~23 ℃间发育的仔鱼初孵特征则介乎以上两者之间。在野外自然条件下,唐鱼繁殖季节在3~11月之间[3],期间水温变动在18~32 ℃内。由此推测,唐鱼初孵仔鱼的形态特征将可能出现以上的梯度变化。

3.1.2 仔鱼卵黄囊的消耗方式 关于鱼类仔鱼对卵黄吸收方面的研究报道较多[19-23]。鲤科和鳅科鱼类的卵黄囊前部先被吸收,故呈长柱形或卵圆形[15-16];鲈形目的歧尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)卵黄囊先从后部吸收,故卵黄囊呈圆形[23];鲇形目的几种胡鲇卵黄囊不呈明显的前部或后部先吸收的现象,而是趋于逐步吸收缩小,最后在腹部残留一条长条的卵黄囊[19-22]。本实验发现,唐鱼仔鱼卵黄囊的形状从初孵时的近似梨状转变成瓢状、芒果状,退居腹部后下侧,直至消失。这种特点与大多数的鲤科鱼类仔鱼的卵黄囊吸收特点存在一定差异。唐鱼卵黄囊的变化方式与内脏器官的发育是相适应的。例如鳔的逐步发育,卵黄囊最先在鳔下侧部分迅速吸收;接着消化系统的出现,如肝脏最早在卵黄囊前部出现,卵黄囊前部也进行快速吸收;随着消化道裂的扩张,卵黄囊靠近这些结构的部分均被迅速吸收;同时卵黄囊的吸收也推进了居维叶氏管的前移。仔鱼消化道最初形成时呈直条形,前部膨大呈囊状,直接导致了卵黄囊退居腹部后侧,并在这个位置最终被吸收完毕。

3.1.3 感觉芽 鱼类仔鱼体表出现管状突起的感觉芽是仔鱼的感觉器官。唐鱼仔鱼体表感觉芽最早在孵出后的2.5~3天观察到,较为稀少,此时也是巡游模式即将建立的时期。感觉芽在此时期出现的生理和生态意义在于:感觉芽是仔鱼的感觉器官,此前的仔鱼活动较少,暂不需要较为敏感的感知水流等环境变化的感觉器官;一旦仔鱼巡游模式建立,游动变得频繁,摄食活动也将展开,要求精确地对水流等环境变化的感知,这就需要得到感觉芽等感觉器官的帮助。因此,感觉芽的出现与仔鱼的发育和生态行为模式的转变相适应。不同种类的仔鱼感觉芽的有无和多寡存在较大差异,蛇鲍(*Saurogobiodabryi*)仔鱼孵出后的3天可观察到体一侧的感觉芽约有21个,头部也有23~26个[16];底层孵化的鲇鲇(*Pangasius sutchi*)和泥鳅仔鱼体表也具有较多的感觉芽[15,20];而同为底层孵化的鲶鲇属的几种仔鱼的头部或体表则均没有发现感觉芽[22]。但是,唐鱼仔鱼发育至腹鳍芽后,感觉芽逐步消失,成鱼在形态上没有侧线,是否存在着替代感觉芽和侧线的其他结构来行使感知水流的功能,这有待作进一步研究。

3.1.4 发育时间 室内饲养条件下唐鱼胚后发育速度较慢,在水温23.0~29.0 ℃的条件下需要50 d左右。稀有鲍鲫在水温24.7~31.8 ℃室内养殖条件下,25~30 d即可完成胚后发育[18]。这可能与两

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

者种间差异有关，也可能与养殖条件例如温度有关。温度较高的条件下可以缩短发育时间。唐鱼的性成熟时间较早，最短时间记录为77 d，较之先前的记录102 d[9]缩短了近1个月，其原因可能与营养供应有关。唐鱼性成熟时间短的这一特点对于以它作为实验动物培养非常有利。近期的实验结果表明，人工饲养的唐鱼在短期内就能繁殖多代，而且在冬季加温条件下则可正常产卵繁殖，具有1年内繁殖4代左右的特点。目前进行的纯系化培育已经达5代，再经过4~5年便可实现纯系化。因此，唐鱼在水生态毒理学研究中的应用将有着广阔前景。

3.2 唐鱼保护生物学研究

唐鱼体型小，野外被捕食的压力大，在幼鱼阶段尤其如此。分布区内的歧尾斗鱼和食蚊鱼（*Gambusia affinis*）的存在可能对该种群产生威胁[3]。唐鱼性成熟较早，小型鱼类普遍具有这一特点。一般认为这是应对诸如捕食等环境压力的重要策略。性成熟早能缩短繁殖周期，在种群遭受破坏后，部分存活个体能迅速恢复种群数量。同时，唐鱼成熟雌性个体还具有连续产卵的特性[9]，这一特性使得在一个繁殖季节中的后代分批产出，一方面能避免同一时间内产生大量个体导致种内竞争过分激烈；另一方面能避免在某段恶劣环境将后代产出导致繁殖失败。分批产出后代可以保证一个繁殖季节一定有部分后代能够存活。这些生物学特性是在长期进化过程中对环境压力的应对策略。此外，其生活史特点可能有助于群体保持较高的遗传多样性[24]。

唐鱼野外生态资料相当缺乏[3]。虽然认为目前在广州附近地区天然水域仍存在野生种群，但由于自2001年以来多个地方进行过人工放流，而且广州地区一直存在观赏鱼养殖户养殖唐鱼，因此，要注意所发现的被认为是残存的野生种群是否有部分为人工种群逸生而来。历史资料显示，曾在广州、清远、东莞和香港新界等地采集到唐鱼标本[1,3]，可见历史上唐鱼的分布地区不算狭窄。

目前认为，栖息地生态环境遭到破坏是唐鱼濒危的主要因素[25]。唐鱼栖息地长期以来被认为是在一些山涧小溪[1,3,25]，因此人工放流的时候也倾向于在这些地区选址[7]。本研究结果显示，唐鱼仔鱼期的感觉芽较少，而且成鱼无侧线[1]，推测它们不应当生活在水流较快的溪流中。因为感觉芽、侧线系统与感知水流有关，生活在水流较急速的种类感觉芽较多，侧线系统也较为发达。同时，唐鱼繁殖期一般发生在广东雨水较多的季节[3]，常常发生山溪水流暴涨、水流湍急的情况。唐鱼体型较小游动能力较弱，对抗不了这种水流。即使原先生活在山溪中，最终大部分也被冲到低洼地。因此，在低洼地如湖沼、农田灌溉区才可能是它们的主要栖息地，但是这些栖息地是受人类活动干扰最强烈的地区。30多年来恰是珠江三角洲经济飞速发展时期，从前白云山下的农田灌溉区已经迅速转变成工厂或住宅区，栖息地遭受破坏加上随之而来的工业污染可能是最终导致唐鱼退出这些地区的重要原因。最近发现的野生种群就是在广州北部较为落后偏远的地方[3]，其环境破坏相对较少。例如稀有鲍鲫（*Gobiocyprisrarus*）是一种分布区较窄（主要是在沟渠等小水体）、喜集群的小型鱼类[26]，体型比唐鱼稍大，正面临分布区工农业发展带来的栖息地遭受破坏的威胁[2]。作者认为，唐鱼人工放流地点应当将农田保护区考虑在内。另外，调查和放流工作也不应当仅仅局限在广州地区，异地保护的研究工作也应尽快开展。相对于中华鲟和胭脂鱼（*Myxocyprinus asiaticus*）等大型鱼类而言，唐鱼还必须面对食蚊鱼入侵所带来的影响。食蚊鱼的生态位与唐鱼较为接近，其竞争和捕食作用可能影响到唐鱼野外种群的稳定[14]。因此，唐鱼保护生物学研究需考虑到更多层面。2005年，广州提出成立专门的唐鱼保护区，相信这些措施必定能大大促进唐鱼的保护工作。

参考文献：

[1] 潘炯华，钟 麟，郑慈英，等. 广东淡水鱼类志[M]. 广州：广东科技出版社，1991. 77-78.

[2] 乐佩琦，陈宜瑜，张春光，等. 中国动物红皮书：鱼类[M]. 北京：科学出版社，1998.

[3] 易祖盛，陈湘粦，巫锦雄，等. 野生唐鱼在广东的再发现[J]. 动物学研究，2004，25(6)：551-555.

[4] Kottelat M. Freshwater fishes of northern Vietnam[A]. A preliminary check-list of the fishes known or expected to occur in northern Vietnam with comments on systematics and nomenclature [M]. Washington: World Bank, 2001. 140.

[5] Freyhof J, Herder F. *Tanichthys micagemmae*, a new miniature cyprinid fish from Central Vietnam (Cypriniformes: Cyprinidae) [J]. Ichthyol Explor Freshwaters, 2001, 12(3): 215-220.

[6] 陈宜瑜. 中国动物志硬骨鱼纲鲤形目(中卷)[M]. 北京：科学出版社，1998. 1-16.

[7] 梁健宏，连常平，刘汉生，等. 唐鱼全人工繁育试验[J]. 水利渔业，2003，23(6)：30-31.

[8] Richardson J M L. Shoaling in white cloud mountain minnows, *Tanichthys albonubes*: Effects of predation risk and prey hunger [J]. Animal Behaviour, 1994, 48(3): 727.

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

[9] 陈国柱,方展强,马广智.唐鱼胚胎发育观察[J].中国水产科学,2004,11(6):489-496.
[10] 陈国柱,方展强,马广智.唐鱼仔鱼对饥饿的应对策略研究[J].华南师范大学学报(自然科学版),2006,(1):108-113.
[11] 方展强,陈丽玉,陈国柱.唐鱼脑的组织形态学观察[J].动物学杂志,2006,41(2):25-29.
[12] 方展强,蓝观辉.唐鱼摄食不同蛋白含量饲料的比较研究[J].水利渔业,2006,26(2):27-30,111.
[13] 王瑞龙,马广智,方展强.重金属铜、镉、锌对唐鱼的急性毒性及安全浓度评价[J].水产科学,2006,25(3):117-120.
[14] 陈国柱.唐鱼生物学特性及实验动物化研究[D].广州:华南师范大学,2005.64-68.
[15] 郑文彪.泥鳅胚胎和幼鱼发育的研究[J].水产学报,1985,9(1):37-47.
[16] 孟庆闻.7 种鱼类仔鱼的形态观察[J].水产学报,1982,6(1):65-76.
[17] 易祖盛,王春,陈湘粦.尖鳍鲤的早期发育[J].中国水产科学,2002,9(2):120-124.
[18] 常剑波,王剑伟,曹文宣.稀有鲍鲫胚胎发育研究[J].水生生物学报,1995,19(2):97-102.
[19] 潘炯华,郑文彪.胡子鲇的胚胎和幼鱼发育的研究[J].水生生物集刊,1982,7(4):437-444.
[20] 潘炯华,郑文彪.苏氏圆腹[illegible]鲇的胚胎和幼鱼发育研究[A].鱼类学论文集第三辑[M].北京:科学出版社,1983.1-12.
[21] 潘炯华,朱洁心,郑文彪.蟾胡子鲇的生殖习性和胚胎发育[J].动物学杂志,1982,(6):19-22.
[22] 潘炯华,郑文彪.两栖胡鲇的早期发育研究[J].华南师范大学学报(自然科学版),1984(2):1-7.
[23] 郑文彪.叉尾斗鱼的胚胎和幼鱼发育的研究[J].动物学研究,1984,5(3):261-268.
[24] 王剑伟,宋天祥,曹文宣.稀有鲍鲫胚后发育和幼鱼生长的初步研究[J].水生生物学报,1998,22(2):128-134.
[25] 李红敬.华南地区淡水鱼类保护对策研究[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2002,15(4):420-423.
[26] 王剑伟,王伟.野生和近交稀有鲍鲫的遗传多样性[J].生物多样性,2000,8(3):241-247.

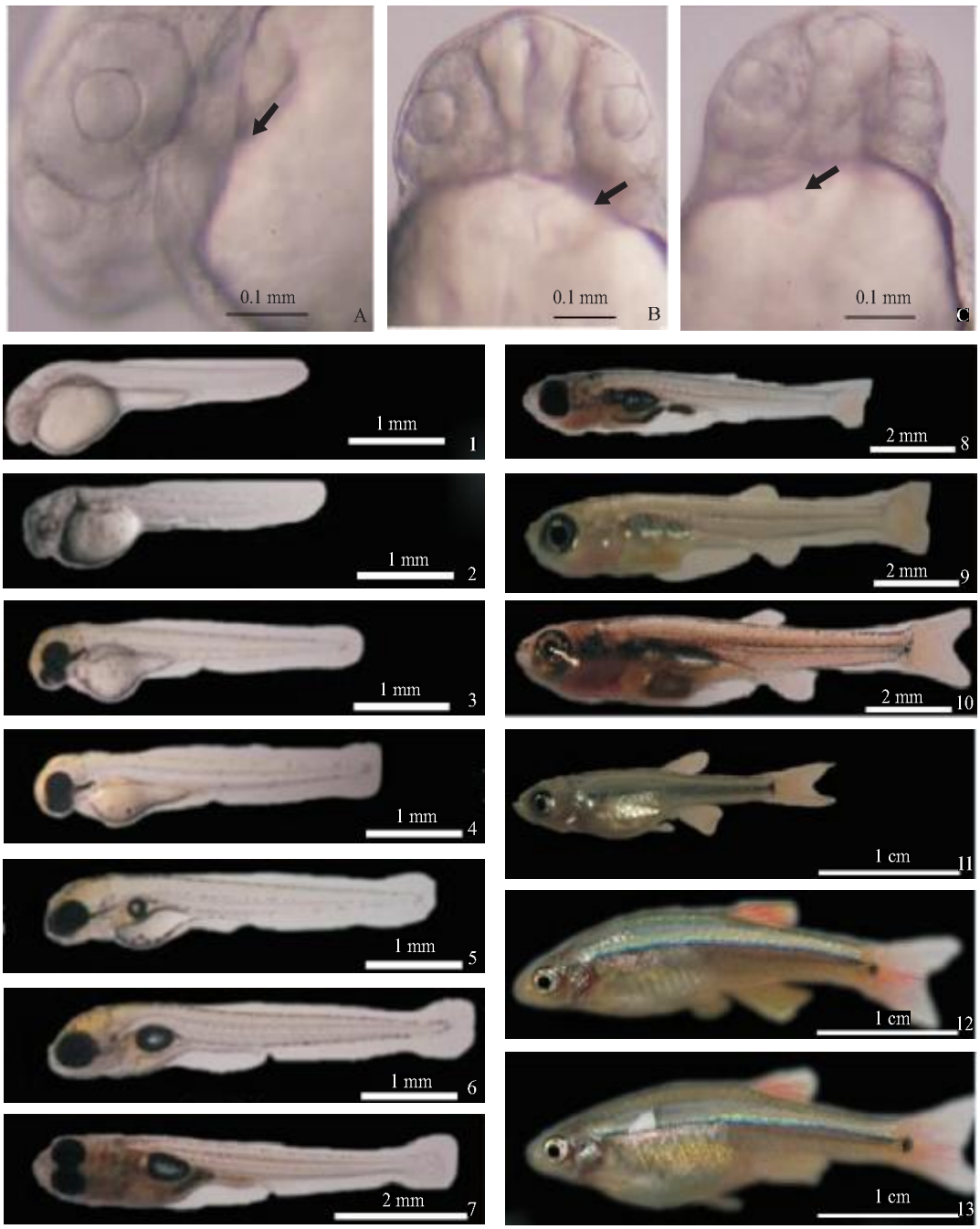
Post-embryonic development of *Tanichthys albonubes*

FANG Zhan-qiang, CHEN Guo-zhu, MA Guang-zhi
(College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: *Tanichthys albonubes*, a cyprinid fish belonging to Danioninae, endemic fish in South China, mainly distributed in Pearl River Delta. Due to habitats destroying, they have been an endangered species since 1980s, and have been recorded in Endangered Species Red Book (Fish), classified as national protected species, grade II. In this study the post-embryonic development of *T. albonubes* was researched. The larvae were reared under the conditions below: water temperature 23.0-29.0 ℃; light recycling L: D = 16 h: 8 h and light intensity 680-783 lx, feed *Paramoecium caudatum*, microcapsule diets and *Tendipes* spp. according to its development stages. The results indicate that the total length of hatching larvae are (2.760 ± 0.002) mm. Three days after hatching, patrol swimming is built, and the larvae begin to feed. Five days after hatching, the yolk-sac is exhausted and the larvae completely live on preying; the muscle node is shaped like V. Nine days after hatching, caudal tip lifting stage begins. Twelve days after hatching, the larvae tail notochord become askew up. The back fin ply heaves obviously and fin anlage appears when 15-18 days after hatching, the total length is (5.868 ± 0.388) mm. Eighteen days after hatching, the second chamber air bladder is formed. Anal fin stage begins at the same time of dorsal fin formation stage. Thirty-three days after hatching, the bud of ventral fin appears; and about 20% of larvae having pelvic fin can be observed; the total body length of larvae is (11.173 ± 0.539) mm. Forty-five days after hatching, about 57.1% of larvae have scales; the total length is (14.45 ± 2.24) mm. Fifty to fifty-five days after hatching, the total body length is (15.62 ± 1.65) mm; the scale covers the whole body of larvae which means the beginning of young stage. Seventy-seven days after hatching, some young fish become mature and they can reproduce. The characteristics of post-embryonic development and the conservation of *T. albonubes* were discussed in this paper. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(6): 869-877]

Key words: *Tanichthys albonubes*; post-embryonic development; conservation

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn



图版 I plate I

（图版 I 说明在下页 The explanation of plate I at the next page）

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn

图版 Ⅰ　唐鱼的胚后发育

A:初孵仔鱼侧面观,箭头所指位置为心脏所在;B:初孵仔鱼腹面观,箭头所指位置为心脏所在;C:初孵仔鱼背面观.

1:初孵仔鱼;2:孵出 6 小时仔鱼;3:1 天仔鱼;4:2 天仔鱼;5:3 天仔鱼,巡游模式建立;6:5 天仔鱼,卵黄耗尽;7:12 天仔鱼,尾鳍分化期;8:18 天仔鱼,臀鳍、背鳍分化期;9:20 天仔鱼,鳔二室期;10:33 天仔鱼,腹鳍分化期;11:55 天,幼鱼期;12:90 天雄鱼;13:90 天雌鱼.

Plate Ⅰ　Post-embryonic development of *Tanichthy albonubes*

A: Hatching larva flank view, the arrowhead pointing to the location of heart; B: Hatching larva abdomen view; C: Hatching larvae rear view.

1: Hatching larva; 2: 6 h old larvae; 3: 1 d old larvae; 4: 2 d old larvae; 5: 3 d old larvae, cruising swimming was formed; 6: 5 d old larvae, yolk-sac was completely absorbed; 7: 12 d old larvae, differentiation of tail fin; 8: 18 d old larvae, differentiation of anal and dorsal fin stage; 9: 20 d larvae, two chamber air bladder stage; 10: 33 d larvae, pelvic fin bud stage; 11: 55 d old larva; 12: 90 d mature male fish; 13: 90 d mature female fish.

《中国学术期刊文摘》中文版和英文版

2007 年征订启事

《中国学术期刊文摘》分中文版(简称 CSAC)和英文版(简称 CSAE)两种,各自收录了我国高水平学术期刊中基础科学、医学、农业科学和工程技术领域约 40 个学科的论文文摘,全景展现我国的科研成果与进展。

作为综合性科技类检索刊物,《中国学术期刊文摘》致力于将我国科学技术各领域的原创性学术成果全面、快速地向科技工作者交流、传播,其中 CSAE 是我国第一份综合性英文版科技类学术检索刊物。

《中国学术期刊文摘》由中国科学技术协会主管,科技导报社主办并负责编辑、出版、发行,对科研单位、高等院校、图书馆以及广大科技工作者检索和了解我国的科技研究成果、学术研究动向具有重要的参考价值。

《中国学术期刊文摘(中文版)》刊号为 CN 11 - 3501/N, ISSN 1005 - 8923, 2007 年为半月刊,大 16 开,国内定价 38.00 元/册,全年定价 912 元,邮发代号:82 - 707。

《中国学术期刊文摘(英文版)》刊号为 CN 11 - 5411/N, ISSN 1673 - 4084, 2007 年改为月刊,大 16 开,国内定价 15.00 元/册,全年定价 180 元,邮发代号:80 - 487。

欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆订阅。

通讯地址:北京市海淀区学院南路 86 号科技导报社(邮编 100081)
联系电话:010 - 62103122
联 系 人:姚玉琴
征订信箱:wzbjb@cast.org.cn
单位主页:http://www.csac.org.cn
户　　名:科技导报社
账　　号:0200001409089017271
开户银行:工商银行百万庄支行

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.com.cn