

钱塘江口弹涂鱼繁殖特征及早期发育

王磊 唐文乔* 孙莎莎 周天舒

上海海洋大学鱼类研究室 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306

摘要: 对采自钱塘江口沿岸滩涂 (E 30°15', N 121°27') 的弹涂鱼 (*Periophthalmus modestus*) 进行了繁殖特征和早期发育研究。弹涂鱼的个体绝对繁殖力 (F) 为 1 432 ~ 2 978 粒, 平均 1 998 粒; 体长相对繁殖力 (F_L) 为 36 ~ 62 粒/mm, 平均 45 粒/mm; 体重相对繁殖力 (F_w) 为 528 ~ 1 530 粒/g, 平均 864 粒/g ($n = 83$)。雌鱼性体指标 (GSI) 为 8.47% ~ 25.39%, 平均 14.49% ($n = 83$); 雄鱼 GSI 为 0.10% ~ 0.57%, 平均 0.25% ($n = 76$)。弹涂鱼的成熟卵为沉性黏着性卵, 有黏着丝, 卵径 (0.42 ± 0.01) mm ($n = 500$); 受精卵椭圆形, 长径 (0.75 ± 0.02) mm, 短径 (0.56 ± 0.03) mm, 长短径比例 0.74 ± 0.03 ($n = 300$); 受精卵为端黄卵, 胚盘形成于动物极, 作盘状卵裂。胚胎发育可划分为 29 个发育时相, 在 (27 ± 0.5) °C、盐度 10 和 pH 7.8 ± 0.3 条件下, 经历 124.13 h 孵出仔鱼, 所需的积温达 3 351.34 h·°C。初孵仔鱼全长 (2.17 ± 0.09) mm ($n = 9$), 器官发育完善, 胸鳍和鳔等器官已形成, 眼睛有大量黑色素沉积, 心率达 (154.33 ± 5.87) 次/min ($n = 20$)。实验条件下, 初孵仔鱼投喂褶皱臂尾轮虫 (*Brachionus plicatilis*) 培育至 23 d。3 ~ 4 d 龄卵黄囊已完全吸收, 进入后期仔鱼; 7 d 龄, 脊椎骨开始弯曲, 消化管呈折型; 11 d 龄, 尾鳍开始分化, 尾椎骨开始上翘, 上颌出现牙齿; 15 d 龄, 下颌出现牙齿; 23 d 龄, 尾鳍鳍条发育完整, 除第一背鳍外, 其他各鳍已形成。幼鱼在培育过程中出现了两个死亡高峰期, 第一个高峰出现在仔鱼孵化后 5 ~ 7 d 龄的开口期, 第二个高峰则出现在 20 ~ 23 d 龄的变态期。

关键词: 繁殖力; 胚胎发育; 胚后发育; 弹涂鱼; 钱塘江口

中图分类号: Q492 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2013)04-497-10

Reproductive Characteristics, Embryonic and Post-embryonic Development of *Periophthalmus modestus* from Qiantang River Estuary

WANG Lei TANG Wen-Qiao* SUN Sha-Sha ZHOU Tian-Shu

Laboratory of Fishes, Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: This paper describes the reproductive characteristics, embryonic and post-embryonic development of Mudskipper (*Periophthalmus modestus*) from Qiantang River Estuary (E 30°15', N 121°27'). Fertilized eggs were obtained through a semi-dry artificial fertilization method and were cultured in constant temperature in seawater with weak aeration. Embryonic development of mudskipper was characterized by continual viviparception. The results indicated that the individual absolute fecundity (F) ranged from 1 432 to 2 978 eggs, with an average of 1 998 eggs ($n = 83$). The individual relative fecundity per millimeter (F_L) ranged

基金项目 公益性行业(农业)科研专项(No. 201203065), 上海市教委 E-研究院项目(No. E03009), 上海市重点学科建设项目(No. S30701);

* 通讯作者, E-mail: wqtang@shou.edu.cn;

第一作者介绍 王磊, 男, 博士研究生; 研究方向: 水生生物学; E-mail: d100102013@st.shou.edu.cn.

收稿日期: 2013-02-25, 修回日期: 2013-05-21

from 36 to 62 eggs (average 45 eggs) and the individual relative fecundity per gram (F_w) ranged from 528 to 1 530 eggs (average 864 eggs) ($n = 83$). The Gonadosomatic Indexes (GSI) for females and males were 8.47% - 25.39% (average 14.49%, $n = 83$) and 0.10% - 0.57% (average 0.25%, $n = 76$), respectively. The fertilized eggs were demersal with adhesive filaments and elliptical in shape (0.75 ± 0.02 mm and 0.56 ± 0.03 mm in long-axis and short-axis diameter, respectively, $n = 300$). At the water temperature of $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$, salinity of 10 and pH of 7.8 ± 0.3 , the embryonic development required 124.13 h and the accumulated temperature was up to 3 351.51 $\text{h}\cdot^\circ\text{C}$. Before the larvae were hatched, the organs had already differentiated normally, such as distinct gut, visible anus, air bladder elliptical in shape, and melanophore of eyes. The heart rate could be up to 154.33 ± 5.87 per minute ($n = 20$). Newly hatched larvae (2.17 ± 0.09 mm in total length, $n = 9$) possessed a yolk sac ($0.98 - 1.87$ mm in diameter, $n = 9$). The larvae completely absorbed the yolk and started feeding at the third to fourth day after hatching at the water temperature of $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$; eleven days after hatching, the tail notochord of larvae became askew up; the upper and lower jaw teeth occurred at eleven and fifteen days after hatching, respectively; twenty-three days after hatching, all fins except the first dorsal fin had been formed. At the whole course, the larvae were feeding on rotifers (*Brachionus plicatilis*) with the size $0.038 - 0.074$ mm. There were two death peaks, the first was five to seven days after hatching, which was caused by the inability of larvae to eat food, and the second was twenty to twenty-three days after hatching, which was caused by failure of the larvae in the period of metamorphosis to adapt to their environment and the lack of suitable food.

Key words: Fecundity; Embryonic development; Post-embryonic development; Mudskipper (*Periophthalmus modestus*); Qiantang River Estuary

弹涂鱼类 (Mudskippers) 是可以长时间离水跳跃和爬行的一群小型鱼类, 主要栖息于西太平洋及印度洋的暖温带沿岸滩涂湿地 (Nelson 2006), 在中国分布自渤海湾至海南的沿海滩涂地区 (伍汉霖等 2008)。弹涂鱼类隶属于鲈形目 (Perciformes) 虾虎鱼科 (Gobiidae), 共有 4 属 31 种, 分别为弹涂鱼属 (*Periophthalmus*) 18 种 (Nelson 2006, Jaafar et al. 2008)、齿弹涂鱼属 (*Periophthalmodon*) 3 种 (Murdy 1989)、大弹涂鱼属 (*Boleophthalmus*) 6 种 (Murdy 1989, Polgar et al. 2013) 和青弹涂鱼属 (*Scartelaos*) 4 种 (Murdy 1989)。中国共有 3 属 6 种, 其中弹涂鱼属记录 3 种, 即弹涂鱼 (*Periophthalmus modestus*)、银线弹涂鱼 (*P. argenteolineatus*) 和大鳍弹涂鱼 (*P. magnuspinnatus*) (王正琦等 2006, 伍汉霖等 2008)。弹涂鱼是我国沿海滩涂湿地常见的弹涂鱼类, 因具有很强的离水跳爬能力, 成为许多肉食性鸟类停栖觅食的诱饵, 在维持滩涂湿地物种多样性方面具有重要作用, 成为滨海湿地环保专家关注的指示生物 (伍汉霖等 2008)。

近年来, 由于大规模的海岸开发、围垦造陆以及沿海污染, 使得弹涂鱼的栖息环境日益严峻。目前对于弹涂鱼的研究主要涉及到其食性 (袁传宓 1963)、行为学 (Ikebe et al. 1996) 和生活史 (Baeck et al. 2008) 的相关内容, 而对于其繁殖生物学的研究较少。本文详细研究了弹涂鱼的繁殖特征和早期发育过程, 为其繁育和放流提供基础的繁殖生物学资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料 2012 年 7 月用预埋竹筒诱捕的方法, 从钱塘江口南岸 ($E 30^\circ 15'$, $N 121^\circ 27'$) 滩涂采集弹涂鱼。挑选身体健康、发育良好的个体作为实验鱼, 暂养于水深 1 cm、盐度 9~12 和水温为 $22 \sim 27^\circ\text{C}$ 的 $45 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ 塑料箱中, 密度为每箱 20 尾。暂养期间投喂冰冻摇蚊幼虫, 购自共鳞实业 (深圳) 公司, 每 2 d 100% 换水一次。

1.2 繁殖力测定 选取卵巢发育成熟 (卵巢饱满、卵粒透明亮黄色) 的 83 尾雌鱼, 用于繁殖力测定。测量每尾鱼的全长、体长、体重、去

内脏体重(somatic weight, W_s)和性腺重(gonad weight, W_g)等指标。个体绝对繁殖力采用重量取样法,即随机从卵巢的前、中、后部称取约(0.05 ± 0.01) g 样品,计数所取样品中充满卵黄颗粒的全部卵粒数。相关指标的计算公式如下:个体绝对繁殖力(F) = (卵粒数/样本卵巢重) × 卵巢重;体长相对繁殖力(F_L) = F /体长;体重相对繁殖力(F_w) = F/W_s ;性体指标(gonadosomatic indexes, GSI) = W_g/W_s 。

1.3 人工繁殖方法 选取发育良好的个体,腹腔注射促黄体素释放激素(luteinizing hormone releasing hormone analogue 2, LHRH- A_2)和人绒毛膜促性腺激素(human chorionic gonadotropin, HCG)。每尾雌鱼先注射 0.2 μ g LHRH- A_2 和 20 IU HCG, 24 h 后注射 20 IU HCG。在雌鱼进行第 2 次注射时,雄鱼注射 20 IU HCG。约 24 h 后挑选发育良好的亲鱼进行半干法人工授精。然后将受精卵分散倒入干净的培养皿中,放入灭菌的人工海水里充氧培养。

1.4 胚胎发育观察 将附着有受精卵的培养皿(4 个培养皿,每个培养皿的受精卵约为 200 粒)放入恒温的水浴锅中培养和观察。培养条件为水温(27 ± 0.5) °C、盐度 10 和 pH 7.8 ± 0.3。用 Olympus IX71 倒置显微镜对胚胎进行连续的观察拍照。当超过 50% 的受精卵具有某发育期特征时,则判定受精卵进入了该发育期,前一阶段到下一发育阶段的起始时间为间隔时间。记录胚胎发育的时序及特征。胚胎的形态参数采用 Olympus DP2-BSW 图像分析软件测量。各发育期的形态特征和分期依洪万树等(1988)的方法,发育积温($h \cdot ^\circ C$) = 培养水温 × 发育时间。

1.5 胚后发育观察 将孵化后的仔鱼转移至 96 L 的玻璃缸中,饲养水温(27 ± 0.5) °C,盐度 10, pH 8.3 ± 0.4, 水体溶氧 ≥ 6 mg/L,光照周期为 12D:12N,光照强度为(297 ± 12) lx。初孵仔鱼用经小球藻(*Chlorella vulgaris*)和牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)喂养的褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)投喂。饵料投喂密度为 30 ~ 50 个/ml,投喂频率 6 ~ 7 次/d。采用

NIKON SMZ1500 和 Olympus SZX16 型显微镜对仔稚鱼发育进行观察,每次观察 9 尾,详细记录各个发育时期的主要形态特征,同时进行显微拍照。

2 结果与分析

2.1 繁殖力 弹涂鱼 F 为 1 432 ~ 2 978 粒,平均 1 998 粒; F_L 为 36 ~ 62 粒/mm,平均 45 粒/mm; F_w 为 528 ~ 1 530 粒/g,平均 864 粒/g($n = 83$)。雌鱼 GSI 为 8.47% ~ 25.39%,平均 14.49% ($n = 83$); 雄鱼 GSI 为 0.10% ~ 0.57%,平均 0.25% ($n = 76$)。V 期的成熟卵为亮黄色,呈球形,沉性,具有的附着丝黏性较弱,卵径(0.42 ± 0.01) mm($n = 500$)。

2.2 胚胎发育 受精卵充分吸水后呈椭球形,长径(0.75 ± 0.02) mm,短径(0.56 ± 0.03) mm,长短径比例为 0.74 ± 0.03($n = 300$); 受精卵为端黄卵,胚盘形成于动物极,为不完全盘状卵裂。

2.2.1 卵裂阶段 受精后约 0.83 h,胚盘中间形成凹陷的分裂沟,胚盘分裂形成 2 个均等的分裂球,分裂为不完全卵裂。第 1 次卵裂后,胚胎发育明显加快,以后平均每隔 0.3 ~ 0.4 h 进行 1 次卵裂; 4 细胞期,细胞分裂逐渐形成球状; 16 细胞期,分裂细胞排列开始不规则; 进入 32 细胞期后,分裂球的个体差异变大(图 I: 1 ~ 7)。

2.2.2 囊胚阶段 受精后约 4.23 h 进入囊胚期,此时分裂球在解剖镜下已不易区分,只有特别大的分裂球及边缘的分裂球才能看到。分裂球高耸于动物极,以后随着胚盘细胞的进一步分裂变小,胚盘逐渐变矮(图 I: 8 ~ 9)。

2.2.3 原肠阶段 受精后约 8.20 h 进入原肠期,胚盘已经开始下包。在整个原肠胚阶段中,胚盘下包至卵黄体约 1/2 处,发育较缓慢(图 I: 10 ~ 12)。

2.2.4 神经胚阶段 受精后约 12.62 h 进入神经胚期,胚盘下包绝大部分卵黄,仅卵黄栓外露。在脊索形成部分的前部逐渐膨大隆起,标志着脑泡开始分化形成,随着发育的不断深入,

脑部神经沟分化逐渐变得清晰可见。卵黄未被包住的部分演变成卵黄栓,卵黄栓逐渐变小,受精约 14.16 h 后胚孔封闭(图 I:13)。

2.2.5 器官形成阶段 受精后约 15.00 h 体节出现,背脊中部出现 4~6 对肌节(图 I:14)。受精后 21.18 h 尾芽离开卵黄囊(图版 I:15)。随着尾芽的伸长,22.02 h 在尾芽的边缘表皮外突成皮褶状的鳍,此时即为尾鳍出现期。受精后 26.88 h,耳囊内出现两颗微小而发亮的耳石,内耳即形成。受精后 30.05 h,可以看到胚体有明显的心跳动(图版 I:16),随着时间的推移,跳动频率加快,同时尾部脱离卵黄囊的部位越来越大。受精后 32.37 h 观察到胚体形成肠

管。受精后 42.47 h 血液循环开始,可明显观察到红色血液。随后形成胸鳍原基和鳔的雏形(图版 I:18~19)。

2.2.6 出膜阶段 受精后 115.24 h 开始进入出膜阶段,出膜前胚体运动明显加快,运动方式有翻转和旋转,心搏动有力,孵化前心跳次数达 (154.33 ± 5.87) 次/min ($n = 20$),淡红色血液快速循环。眼睛沉积大量黑色素,胸鳍和鳔等器官初步形成。出膜时,由胚体尾部或头部首先破膜,再翻转、旋转,使膜的破口变大,最后胚体弹出。受精后 124.13 h 约 50% 的个体孵出,受精后 152.42 h 约 90% 的个体孵出。胚胎发育时序见表 1。

表 1 弹涂鱼的胚胎发育时相

Table 1 The embryo development stage of the *Periophthalmus modestus*

发育时相 Development stage	发育时间(h) Time after fertilization	持续时间(h) Duration time	积温(h·℃) Accumulated temperature	图版 I Plate I
受精卵 Fertilized egg	0	0.57	0	
胚盘形成期 Blastodisc	0.57	0.26	15.39	
2 细胞期 2-cell stage	0.83	0.59	22.41	1
4 细胞期 4-cell stage	1.42	0.45	38.34	2
8 细胞期 8-cell stage	1.87	0.38	50.49	3
16 细胞期 16-cell stage	2.25	0.45	60.75	4
32 细胞期 32-cell stage	2.71	0.46	73.17	5
64 细胞期 64-cell stage	3.15	0.72	85.05	6
桑葚胚期 Morula stage	3.87	0.36	104.49	7
高囊胚期 High blastula stage	4.23	1.83	114.21	8
低囊胚期 Low blastula stage	6.06	2.14	163.62	9
原肠早期 Early gastrula stage	8.20	3.16	221.40	10
原肠中期 Middle gastrula stage	11.36	0.80	306.72	11
原肠晚期 Late gastrula stage	12.16	0.46	328.32	12
神经胚期 Neurula stage	12.62	1.54	340.74	13
胚孔封闭期 Blastopore closure	14.16	0.84	382.32	
胚体形成期 Embryo formation	15.00	2.85	405.00	14
视泡出现期 Eye sac formation	17.85	0.33	481.95	
克氏泡出现期 Kupffer's appearance	18.18	3.00	490.86	
尾芽期 Tail bud appearance	21.18	0.84	571.86	15
鳍褶出现期 Fin fold stage	22.02	2.01	594.54	
听囊期 Otocyst stage	24.03	2.85	648.81	
耳石出现期 Otoliths appearance	26.88	3.17	725.76	
心搏动期 Heart beating	30.05	2.32	811.35	16
肠管形成期 Intestinal canal formation	32.37	10.10	873.99	
血液循环期 Blood circulation	42.47	7.98	1 146.69	
胸鳍原基期 Pectoral fin appearance	50.45	19.55	1 362.15	17
黑色素出现期 Melanophore appearance	70.00	9.83	1 890.00	18
鳔雏形期 Air bladder formation	79.83	35.41	2 155.41	19
开始孵化 start hatch	115.24	8.89	3 111.48	
孵出 Hatch larva	124.13	28.29	3 351.51	20

2.3 早期胚后发育过程 初孵仔鱼(图 II:1), 全长(2.17 ± 0.09) mm, 卵黄囊呈圆球形, 囊径为 $0.98 \sim 1.87$ mm。鱼体无色透明, 肌节明显, 肛门可见, 以卵黄囊为营养。背鳍褶、腹鳍褶和尾部鳍褶连成一体, 背鳍褶始于中脑上方, 腹鳍褶始于卵黄囊后部。消化管直而短粗, 肛门已通。刚孵出的仔鱼, 卧于水底, 间歇性游动, 常游动至水面, 具有较弱的趋光性。

1 d 龄(图 II:2), 为前期仔鱼, 全长(2.41 ± 0.03) mm。卵黄囊缩小, 囊径为 $0.13 \sim 0.39$ mm, 口稍张开, 鳔形成, 仔鱼可较长时间游动。

4 d 龄(图 II:3), 进入后期仔鱼, 全长(2.43 ± 0.07) mm。卵黄囊完全吸收, 开始以吞食方式摄食。鳔呈椭圆形, 长时间在水体上层作水平性游动, 具有明显的趋光性。

7 d 龄(图 II:4), 全长(2.98 ± 0.09) mm, 眼球、消化管上方、尾椎骨下方等处出现黑色素, 脊椎骨开始弯曲, 消化管呈折型。

11 d 龄(图 II:5), 全长为(3.53 ± 0.07) mm, 仔鱼尾椎骨开始上翘; 上颌出现牙齿, 除第一背鳍外, 各鳍鳍条开始骨化分节。上颌短, 下颌长, 身体黑色素增加, 尾鳍基部有较大的黑色素斑点, 体表沉积大量黄色素细胞, 身体呈黄色。

15 d 龄(图 II:6), 全长为(4.58 ± 0.10) mm, 下颌出现牙齿。

19 d 龄(图 II:7), 全长为(5.78 ± 0.14) mm, 脊索平直, 各鳍分化, 鳍条形成, 背鳍基部、臀鳍基部、尾柄上下侧及臀鳍鳍条黑色素分布显著

增加。

23 d 龄(图 II:8), 全长为(6.38 ± 0.13) mm, 口裂增大, 尾鳍鳍条发育完整, 除第一背鳍外, 其他各鳍已形成。上下颌黄色素数量增多(表 2)。

观察表明, 仔鱼存在两个死亡高峰, 第一个出现在孵化后的 5~7 d; 第二个出现在孵化后 20~23 d。

3 讨 论

3.1 弹涂鱼的繁殖特征 鱼类的繁殖策略是鱼类进化过程中长期适应环境而形成的, 个体繁殖力是衡量种群繁殖力的重要指标(殷名称 1995)。本研究表明, 弹涂鱼的 F 平均仅为 1 998 粒, 略低于大鳍弹涂鱼(平均 2 746 粒)(周天舒等 2012) 和杜氏大弹涂鱼(*B. dussumieri*) (平均 2 371 粒)(Hoda 1986), 明显低于大弹涂鱼(平均 7 293 粒或 12 600 粒)(张其永等 1990, 蔡泽平 1996) 和奇弹涂鱼(*P. barbarus*) (平均 12 175 粒)(King et al. 2001)。与其他虾虎鱼类, 如斑尾复虾虎鱼(*Synechogobius ommaturus*) (F 为 18 065 ~ 24 607 粒, F_L 为 84 ~ 88 粒/mm, F_w 为 157 ~ 488 粒/g)(冯坚等 2004) 和纹缟虾虎鱼(*Tridentiger trigonocephalus*) (F 平均 12 689 粒, F_L 平均 207 粒/mm, F_w 平均 3 240 粒/g)(赵优等 2008) 相比, 弹涂鱼的绝对繁殖力也显著较小。

虽然弹涂鱼的绝对繁殖力较低, 但是弹涂鱼为洞穴产卵鱼类, 洞穴既为其受精卵提供了

表 2 弹涂鱼仔鱼的形态特征(mm, $n=9$)

Table 2 The morphological characters of larvae in *Periophthalmus modestus*

发育时期 Development stage	全长 Total length	脊索长 Notochord length	体高 Body height	口裂 Mouth cleft	眼径 Eye diameter	图 II Plate II
初孵仔鱼 0 d larvae	2.17 ± 0.09	2.02 ± 0.04	0.45 ± 0.005	0.17 ± 0.003	0.19 ± 0.005	1
1 d 仔鱼 1 d larvae	2.41 ± 0.03	2.29 ± 0.02	0.45 ± 0.015	0.18 ± 0.002	0.20 ± 0.009	2
4 d 仔鱼 4 d larvae	2.43 ± 0.06	2.29 ± 0.02	0.48 ± 0.012	0.18 ± 0.003	0.21 ± 0.007	3
7 d 仔鱼 7 d larvae	2.97 ± 0.05	2.57 ± 0.04	0.56 ± 0.015	0.21 ± 0.006	0.24 ± 0.009	4
11 d 仔鱼 11 d larvae	3.53 ± 0.07	3.04 ± 0.07	0.63 ± 0.014	0.23 ± 0.009	0.28 ± 0.012	5
15 d 仔鱼 15 d larvae	4.58 ± 0.10	3.76 ± 0.07	0.67 ± 0.012	0.26 ± 0.011	0.29 ± 0.014	6
19 d 仔鱼 19 d larvae	5.78 ± 0.14	4.06 ± 0.16	0.68 ± 0.011	0.36 ± 0.015	0.38 ± 0.015	7
23 d 仔鱼 23 d larvae	6.39 ± 0.13	4.67 ± 0.13	0.72 ± 0.014	0.50 ± 0.012	0.43 ± 0.023	8

稳定的发育环境,又较好地避免其他水生生物的捕食,从而提高了受精卵的存活率。因此弹涂鱼为典型的 *k* 对策者,其繁殖策略在于提高每个受精卵发育至成鱼的成功率。

3.2 弹涂鱼的胚胎发育特点 鱼类的胚胎发育时间和积温是由物种本身和胚胎发育的环境因子共同决定的(殷名称 1995)。大弹涂鱼在水温 26.5 ~ 29.0℃ 时经 87.58 h 陆续孵出仔鱼(洪万树等 1988),所需积温为 2 320.87 ~ 2 539.82 h·℃。大鳍弹涂鱼在水温 27.0℃,盐度 10 条件下,受精卵孵出仔鱼需要 158.77 h,所需积温达 4 286.79 h·℃(周天舒等 2012)。本实验研究结果表明,弹涂鱼在 (27.0 ± 0.5)℃ 盐度 10 条件下,孵化需 124.13 h,所需积温为 3 351.51 h·℃。同属的弹涂鱼和大鳍弹涂鱼在孵化积温上的巨大差异,可能与其成熟卵的大小相关,本研究中弹涂鱼成熟卵卵径仅为 (0.42 ± 0.01) mm,显著小于大鳍弹涂鱼成熟卵的卵径 1.72 ~ 2.33 mm(周天舒等 2012)。

不同鱼类孵化出膜时,仔鱼的某些器官发育程度也有所不同。唐鱼 (*Tanichthys albonubes*) 胸鳍原基在孵化后 20 ~ 24 h 才形成月牙状突起,尚不能动(陈国柱等 2004)。条石鲷 (*Oplegnathus fasciatus*) 初孵仔鱼已出现胸鳍原基,但鳔原基需 4 d 才形成(柳学周等 2008)。大鳍弹涂鱼出膜时,胸鳍已形成,发育程度较高,并且鳔已形成,初孵仔鱼可悬浮于水中,孵化出膜前的心率可达 283 次/min 左右(周天舒等 2012)。本研究表明,弹涂鱼出膜时器官发育已较完善,已形成胸鳍和鳔等器官,且眼睛有大量黑色素沉积,出膜前期心搏动可达 (154 ± 5.87) 次/min 左右。虽然较长的发育时间对胚胎的孵化率和成活率都具有不利影响,但相对完善的器官发育程度和较快的心率,预示弹涂鱼初孵仔鱼具有较强的活动能力和代谢水平,这为弹涂鱼仔鱼迅速适应滩涂湿地的多变环境提供了生存基础。

3.3 弹涂鱼的胚后发育特点 鱼类的早期生活史中存在着开口期和变态期两个敏感期(殷名称 1991)。本研究发现,在弹涂鱼的培养过

程中也出现两个死亡高峰,第一个死亡高峰出现在孵化后的 5 ~ 7 d,为初孵仔鱼卵黄囊吸收完全后。这一时期的仔鱼如没有及时获得外源性营养会因能量衰竭而死,这在其他弹涂鱼类也有类似现象(张其永等 1988)。因此,结合弹涂鱼仔鱼卵黄囊吸收快、混合营养期短的特点,在仔鱼孵化后第 2 ~ 3 d 就应及时投喂粒径适中、质量较高的饵料,使得仔鱼能顺利渡过从内源性营养向外源性营养转换这一关键时期。

饵料的粒径是仔鱼能否摄取的首要因素,仔鱼一般能摄取占其口宽 0.2 ~ 0.5 倍粒径的饵料(殷名称 1991)。本研究表明,弹涂鱼开口摄食时仔鱼全长 2.41 ~ 2.43 mm,口裂宽 0.18 mm 左右,投喂 0.038 ~ 0.074 mm 粒径的褶皱臂尾轮虫,在仔鱼肠道内检测到了轮虫,表明用褶皱臂尾轮虫幼体作为弹涂鱼仔鱼的开口饵料是可行的。

弹涂鱼的第二个死亡高峰出现在孵化后 20 ~ 23 d,此时期为仔鱼由水体中上层的游泳模式逐渐向水体底栖的爬行模式过渡阶段,其形态、行为和生理结构都发生着较大的变化。许多具有变态特性的鱼类如大弹涂鱼(张其永等 1988)和半滑舌鲷 (*Cynoglossus semilaevis*) (万瑞景等 2004) 等都出现仔鱼后期培育过程中高死亡率现象。因此,在弹涂鱼仔鱼变态期间,应根据其行为和生理特征,提供适宜的培育环境及饵料,促使其顺利完成变态过程。

参 考 文 献

- Baeck G W, Takita T, Yoon Y H. 2008. Lifestyle of Korean mudskipper *Periophthalmus magnuspinnatus* with reference to a congeneric species *Periophthalmus modestus*. *Ichthyological Research*, 55(1): 43 - 52.
- Hoda S M. 1986. Maturation and fecundity of the mudskipper *Boleophthalmus dussumieri* (Cuv. & Val.) from the Karachi Coast. *Mahasagar-Bulletin of the National Institute of Oceanography*, 19: 73 - 78.
- Ikebe Y, Oishi T. 1996. Correlation between environmental parameters and behaviour during high tides in *Periophthalmus modestus*. *Journal of Fish Biology*, 49(1): 139 - 147.
- Jaafar Z, Larson H K. 2008. A new species of mudskipper, *Periophthalmus takita* (Teleostei: Gobiidae: Oxudercinae),

- from Australia, with a key to the genus. *Zoological Science*, 25(9): 946–952.
- King R P, Udo M T. 2001. Fecundity of the mudskipper *Periophthalmus barbarous* (Gobiidae) in Imo River, Nigeria. *Archive of Fishery and Marine Research*, 49(2): 117–124.
- Murdy E O. 1989. A taxonomic revision and cladistic analysis of the Oxudercine gobies (Gobiidae: Oxudercinae). *Records of the Australian Museum Supplement*, 11(Supp1): 1–93.
- Nelson J S. 2006. *Fishes of the World*. 4th ed. New York: John Wiley and Sons Inc Press, 422–423.
- Polgar G, Jaafar Z, Konstantinidis P. 2013. A new species of mudskipper, *Boleophthalmus poti* (Teleostei: Gobiidae: Oxudercinae) from the Gulf of Papua, Papua New Guinea, and a key to the genus. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 61(1): 311–321.
- 蔡泽平. 1996. 深圳湾大弹涂鱼种群结构与生殖特征. *生态学报*, 16(1): 77–82.
- 陈国柱, 方展强, 马广智. 2004. 唐鱼胚胎发育观察. *中国水产科学*, 11(6): 489–495.
- 冯坚, 竺俊全, 郑忠明, 等. 2004. 矛尾复虾虎鱼个体生殖力的研究. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 23(4): 302–305.
- 洪万树, 戴庆年, 张其永, 等. 1988. 大弹涂鱼的早期发育研究. *热带海洋*, (2): 1–8.
- 柳学周, 徐永江, 王妍妍, 等. 2008. 条石鲷的早期生长发育特征. *动物学报*, 54(2): 332–341.
- 万瑞景, 姜言伟, 庄志猛. 2004. 半滑舌鳎早期形态及发育特征. *动物学报*, 50(1): 91–102.
- 王正琦, 杨金权, 唐文乔. 2006. 一种长期被误鉴的中国新纪录鱼类——大鳍弹涂鱼. *动物分类学报*, 31(4): 906–910.
- 伍汉霖, 钟俊生. 2008. *中国动物志: 硬骨鱼纲 鲈形目 虾虎鱼亚目*. 北京: 科学出版社, 703–711.
- 殷名称. 1991. 鱼类早期生活史研究与其进展. *水产学报*, 15(4): 348–358.
- 殷名称. 1995. *鱼类生态学*. 北京: 中国农业出版社, 124–269.
- 袁传宓. 1963. 弹涂鱼和大弹涂鱼消化道的比较解剖及其和食性的关系. *南京大学学报: 自然科学版*, (2): 36–46.
- 张其永, 沈曙光, 张文胜, 等. 1990. 大弹涂鱼的年龄、生长和生殖力研究. *水产学报*, 14(3): 179–188.
- 张其永, 张杰. 1988. 大弹涂鱼仔鱼的摄食、生长和成活的研究. *水产学报*, 12(3): 203–211.
- 赵优, 庄平, 章龙珍, 等. 2008. 纹缟虾虎鱼胚胎与早期仔鱼的发育特征. *中国水产科学*, 15(4): 533–541.
- 周天舒, 王磊, 唐文乔, 等. 2012. 大鳍弹涂鱼的胚胎发育及其对盐度的耐受性. *水生生物学报*, 36(5): 913–921.

图版 I 说明

弹涂鱼胚胎发育时相

1. 2 细胞(→:示分裂形成的 2 细胞); 2. 4 细胞; 3. 8 细胞; 4. 16 细胞; 5. 32 细胞; 6. 64 细胞; 7. 桑葚胚; 8. 高囊胚期; 9. 低囊胚期; 10. 原肠早期; 11. 原肠中期; 12. 原肠晚期; 13. 神经胚期(→:示形成的卵黄栓); 14. 胚体形成(→:示形成的胚体); 15. 尾芽期(→:示形成的尾芽); 16. 心搏动期; 17. 胸鳍原基(→:示形成的胸鳍原基); 18. 黑色素出现期; 19. 鳔形成期; 20. 初孵仔鱼。

Explanation of Plate I

The embryonic development of *Periophthalmus modestus*

1. 2-cell stage (→:2 cell); 2. 4-cell stage; 3. 8-cell stage; 4. 16-cell stage; 5. 32-cell stage; 6. 64-cell stage; 7. Morula stage; 8. High blastula stage; 9. Low blastula stage; 10. Early gastrula stage; 11. Middle gastrula stage; 12. Late gastrula stage; 13. Neurula stage (→:yolk plug); 14. Embryo formation (→:embryo); 15. Tail bud appearance (→:tail bud); 16. Heart beating; 17. Pectoral fin appearance (→:pectoral fin); 18. Melanophore appearance; 19. Air bladder formation; 20. Hatch larva. All of the photos are magnified by 40 times under a microscope.

图版 II 说明

弹涂鱼早期胚后发育过程

1. 0 d 仔鱼; 2. 1 d 仔鱼(→:示仔鱼的卵黄囊); 3. 4 d 仔鱼; 4. 7 d 仔鱼; 5. 11 d 仔鱼(→:示尾椎骨上翘,及臀鳍的形成); 6. 15 d 仔鱼(→:示上下颌出现的牙齿); 7. 19 d 仔鱼; 8. 23 d 仔鱼。

Explanation of Plate II

The early post-embryonic development of *Periophthalmus modestus*

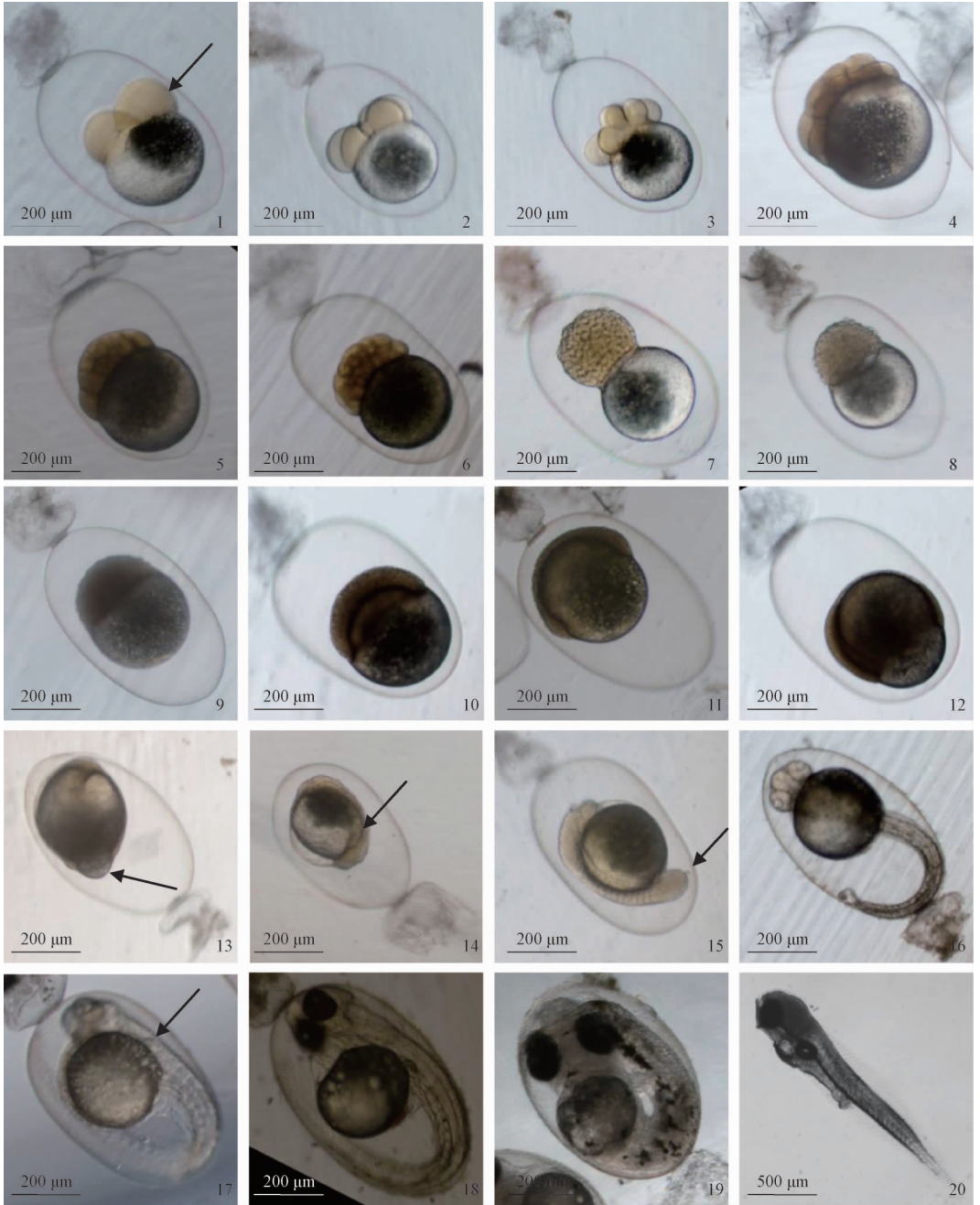
1. 0 d larva after hatching (LAH); 2. 1 d LAH (→:yolk sac); 3. 4 d LAH; 4. 7 d LAH; 5. 11 d LAH (→:the tail notochord askew up); 6. 15 d LAH (→:the jaw teeth); 7. 19 d LAH; 8. 23 d LAH.

王 磊等:钱塘江口弹涂鱼繁殖特征及早期发育

图版 I

WANG Lei *et al.*: Reproductive Characteristics, Embryonic and Post-embryonic Development of *Periophthalmus modestus* from Qiantang River Estuary

Plate I



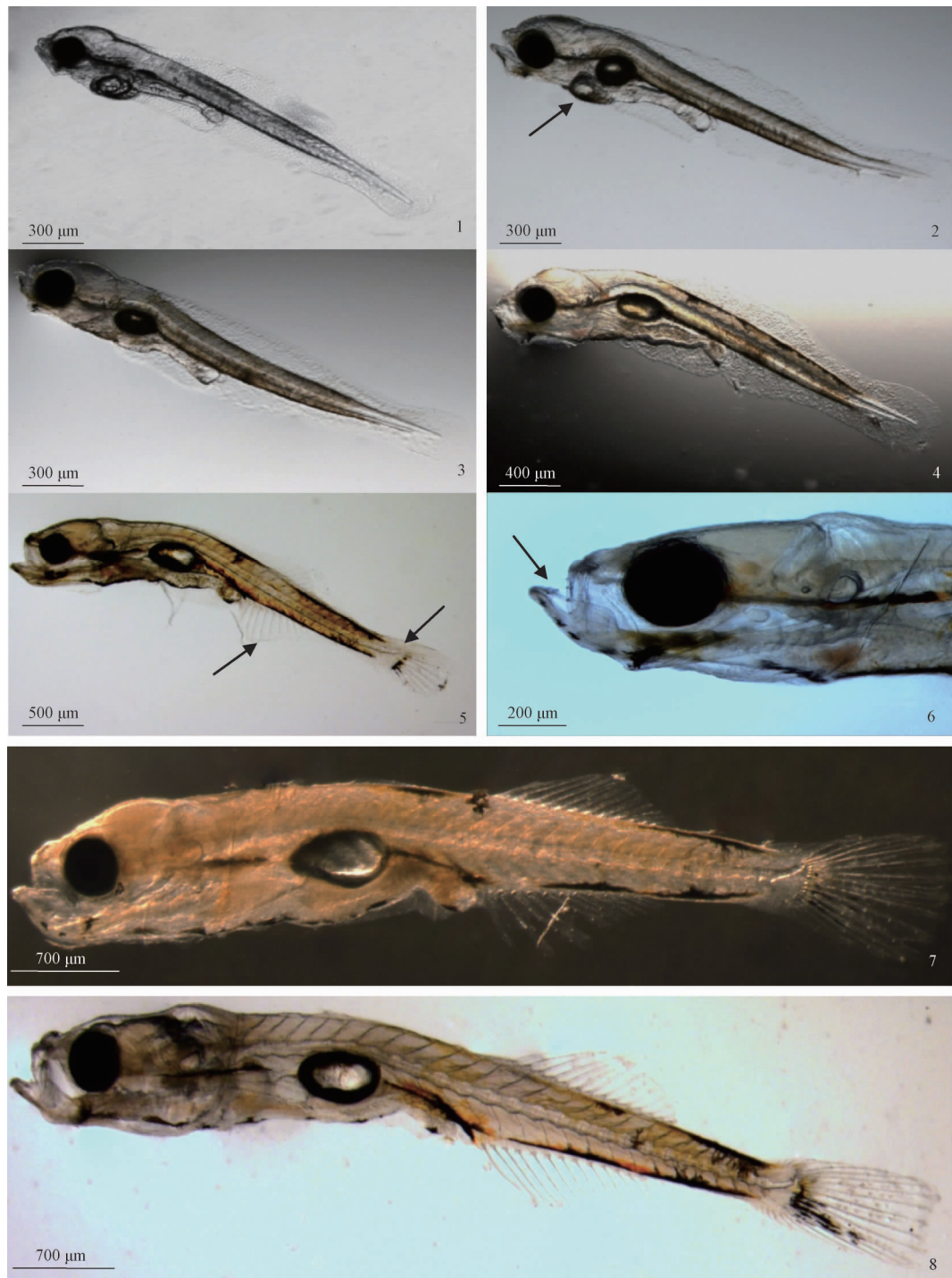
图版说明见文后

王 磊等:钱塘江口弹涂鱼繁殖特征及早期发育

图版 II

WANG Lei *et al.*: Reproductive Characteristics, Embryonic and Post-embryonic Development of *Periophthalmus modestus* from Qiantang River Estuary

Plate II



图版说明见文后