

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00153

美洲鲈胚胎及仔稚鱼的发育

洪孝友^{1,2} 朱新平^{1,2} 陈昆慈¹ 潘德博¹ 李凯彬¹

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380; 2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 200090)

摘要: 对美洲鲈(*Alosa sapidissima*)早期生活史阶段的生长发育特征进行了观察和测量, 描述了胚胎和仔、稚鱼的生长发育特征。美洲鲈受精卵球形、无油球, 为沉性卵, 卵径 2.85—3.28 mm。在水温 20.3℃—21.9℃孵化条件下, 经过 82h 孵化出膜, 根据其胚胎发育过程的形态特征, 胚胎发育分为受精卵、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、器官形成期和出膜期 7 个发育阶段。美洲鲈初孵仔鱼全长为(8.56±0.36) mm, 其卵黄囊体积为(4.57±0.77) mm³。1 日龄仔鱼脑部发育明显, 口张开, 肛门开通, 胸鳍形成。2 日龄仔鱼卵黄囊体积(0.71±0.23) mm³, 只有刚孵化的 15.54%。3 日龄仔鱼经过 1d 的混合营养期, 卵黄被完全吸收, 4 日龄仔鱼完全营外源性营养, 卵黄囊的体积(V)随孵化时间(h)的变化方程为 $V=4.1583e^{-0.0356h}$ ($R^2=0.9901$)。此后, 背鳍鳍条、尾鳍鳍条、臀鳍鳍条和腹鳍鳍条相继在晚期仔鱼出现, 9 日龄仔鱼尾椎开始弯曲, 21 日龄仔鱼尾椎弯曲完成。27 日龄鱼鳞开始形成, 到 33 日龄稚鱼全身披鳞, 个体发育进入幼鱼期, 仔稚鱼期间的生长模型方程为: $TL=0.0049D^2+0.5091D+9.2578$ ($R^2=0.9885$, TL 为全长, D 为日龄)。

关键词: 美洲鲈; 胚胎; 仔鱼; 稚鱼; 形态; 发育

中图分类号: Q958.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2011)01-0153-10

鲈亚科(Alosinae)鱼类是鲱形总目(Clupeomorpha)、鲱形目(Clupeiformes)、鲱科(Clupeidae)中最大型的一类, 其中大多数属于溯河洄游性鱼类。鲈亚科西鲱属(*Alosa*)的美洲鲈(*Alosa sapidissima*), 分布在北美洲东西沿岸的河流和海洋中, 其与濒临灭绝的中国鲈(*Tenualosa reevesii*)一样均是有较高营养价值和经济效益的溯河产卵洄游性鱼类。在美国, 一些学者对美洲鲈的增殖放流进行了研究, 分析了盐度^[1-3]、温度^[4,5]对美洲鲈仔稚鱼、幼鱼生长及死亡率的影响, 对美洲鲈的资源起到了很好的保护作用。我国在 21 世纪初开始引进美洲鲈受精卵并进行驯养, 养殖效果并不理想, 在有些地区, 如珠江三角洲的池塘养殖, 几乎没有成功的例子。在美洲鲈的驯养过程中, 我国一些学者对其生物学特征^[6,7]、苗种培育、养殖^[6,8]、幼鱼营养需求^[9]及运输中应激反应^[10]等做了一些研究, 但仍有许多问题需要进一

步的研究和解决。

国外主要在 20 世纪 70、80 年代对美洲鲈早期生活史阶段进行了研究, Marcy^[11]观察、描述美洲鲈受精卵的发育过程; Lippson, *et al.*^[12]简单概括了美洲鲈的早期生活史阶段发育, 以此来区别其他的鲱科仔稚鱼; Johnson, *et al.*^[13]通过对美洲鲈的仔稚鱼的生长发育进行观察测量, 表明形态测量不能作为辨别人工培育的和野生的美洲鲈方法; 然而却没有对美洲鲈胚胎发育和胚后发育进行较为连续、详细的研究。为此, 本研究对美洲鲈早期生活史阶段的形态及发育特征等基础生物学进行了观察、描述, 以期了解其胚胎及其仔、稚鱼生长发育规律, 同时为规模化苗种培育工作提供基础数据。

1 材料与方法

实验材料 2008 年 6 月, 成功孵化购自美国西部俄勒冈州河流的美洲鲈鱼受精卵, 在广东清远

收稿日期: 2010-07-23; 修订日期: 2010-10-28

基金项目: 广东省科技兴渔项目(A200901E03)资助

作者简介: 洪孝友(1985—), 男, 湖北广水人; 硕士研究生; 研究方向为种质资源与遗传育种。E-mail: hongxiaoyou1216@163.com

通讯作者: 朱新平(1964—), 男, 研究员, 博士生导师; E-mail: zhuxinping_1964@yahoo.com.cn

阳山黄金鲢鱼养殖场人工养殖近两年。2010 年 5 月, 对池养 2 冬龄美洲鲢进行了多次人工繁殖试验, 成功促使池养美洲鲢亲鱼自然产卵, 获得美洲鲢受精卵 10 万余粒。

受精卵孵化 受精卵置于上下直径分别为 0.9 m 和 1.2 m、水深 1.2 m 的圆锥形桶内进行孵化, 底部不间断的进水, 孵化水温 20.3℃—21.9℃。

胚胎发育观察 将胚胎发育时期细分为受精卵、卵裂期、囊胚期、原肠胚期、神经胚期、器官形成期和出膜期 7 个发育阶段, 每一发育阶段根据发育特征再细分各发育期。每次观察卵数不少于 30 粒, 当其 50%以上发育至某个时期则作为该发育阶段的起始时间, 从前一发育期到下一发育期的时间则为间隔时间, 记录每个发育期的水温。

胚胎发育积温=胚胎发育历时×水温

利用 OPTION 解剖镜对美洲鲢整个胚胎发育过程进行连续活体观察, 用 Nikon4500 相机拍照。胚胎发育早期每 10min 左右观察 1 次, 到达囊胚期后每 0.5h 左右观察 1 次, 每次观察取样 30 粒。发育时间以 50%以上受精卵到达该期的时间为准。

仔鱼培育 养殖用水为山泉水, 水温 20.3℃—21.9℃, 仔鱼孵化出来的第 3 天, 开始投喂刚孵化的卤虫无节幼体。每隔 3h 投喂 1 次, 每天(7: 00—22: 00)6 次。在孵化桶培育到 13 日龄, 仔鱼体长(15.55 ± 1.06) mm 时移到室内 3.0 m×3.5 m, 水深 0.45 m 的水泥池进行培养。用气石增氧、白天注水控温, 水温控制在 24.0℃—25.0℃。每 2h 投喂用小球藻强化过的卤虫, 每天(7: 00—22: 00)8 次, 每次投喂量达到饱和, 每天吸污一次。至 19 日龄开始, 在投喂强化过的卤虫之前, 先投喂山东烟台生产的升索牌微粒子配合饲料进行驯化培育, 培育到 30 日龄仔鱼时则全部投喂微颗粒饲料。

采样测量与观察 从仔鱼出膜第 1 天开始取样进行测量与观察。1—4 日龄仔鱼, 白天 4—6h 取样一次, 夜间(00: 00)再取样一次; 5—10 日龄仔鱼早(7: 30), 晚(18:30)各取样一次; 10—15 日龄, 每天早上(8: 00)取样一次; 15—27 日龄每 2 天取样一次, 27 日龄后, 则为每 3 天取样一次。每次在同一孵化桶或者是培养池取样, 每次随机取样 30 尾。随机取样的仔稚鱼用 10%酒精处死, 然后用解剖镜观察仔稚鱼不同发育时期的形态特征、器官发育, 使用目

测微尺或游标卡尺测量其全长、体长、肛前距、头长、眼径和卵黄囊长短径, 相机拍照。

数据统计 卵黄囊体积(mm³)可依照公式: $V=4/3\pi\cdot R/2\cdot (r/2)^2$ 计算, 式中: R 为卵黄囊长径(mm), r 为卵黄囊短径(mm)。用 Office Excel 进行数据处理、SPSS 15.0 拟合全长和日龄关系的生长模型、Photoshop cs2 进行图片大小修剪等处理, 实验结果以平均值±标准差表示。

2 结 果

2.1 胚胎发育

实验获得受精卵 10 万余粒, 孵化率约为 10%。美洲鲢受精卵在水温 20.3℃—21.9℃下, 经过 82h 孵化出膜, 胚胎发育时间过程(表 1)。

受精卵 美洲鲢受精卵球形, 透明, 无油球, 沉性卵。吸水后膜径 2.85—3.28 mm。受精后 35min, 受精卵的卵质由植物极流向动物极形成盘状突起, 即为胚盘期(图版 I -1)。

卵裂期 胚盘经裂为 2 个大小相等的分裂球, 此为 2 细胞期。美洲鲢的受精卵的卵裂方式与其他硬骨鱼类相同, 属盘状卵裂(图版 I -2)。受精后 60min, 完成第 1 次卵裂, 先是在胚盘中央出现裂痕, 并且逐渐加深, 最后卵裂纵沟把胚盘分裂成 2 个细胞, 为经裂; 受精后 80min, 在与第一次卵裂面的垂直线上纵裂, 把两个细胞分别一分为二, 完成第 2 次卵裂, 进入 4 细胞期(图版 I -3)。1h50min 第 3 次分裂, 进入 8 细胞期, 8 个细胞前排列(图版 I -4)。2h22min 进入 16 细胞期, 细胞大小开始出现不一(图版 I -5)。受精后 2h47min、3h25min 受精卵分别进入了 32 细胞期(图版 I -6)、64 细胞期(图版 I -7)。此后随着细胞的不断分裂, 在受精后 5h30min, 细胞分裂进行到了多细胞期, 在胚盘处形成多层排列隆起的实心细胞团(图版 I -8)。

囊胚期 受精后 8h10min, 细胞进一步分裂, 在受精卵动物极囊胚处形成高高的隆起, 此为高囊胚期(图版 I -9)。之后胚层细胞向下移动, 囊胚层的高度明显降低, 到受精后 9h50min, 则看不到明显的突起(图版 I -10), 此时为胚胎发育的低囊胚期。

原肠胚期 受精后 13h, 囊胚层细胞下包卵黄体, 下包边缘整齐, 胚盘下包达 1/3, 胚胎发育进入原肠早期(图版 I -11)。之后囊胚层继续下包,

17h40min 下包达 1/2(图版 I -12), 为原肠中期。当受精 19h50min 左右, 胚盘继续下包到 2/3 处, 胚环继续向植物极靠近, 胚环改为胚孔(图版 I -13), 即到

表 1 美洲鲟胚胎发育时序
Tab. 1 Time table of *Alosa sapidissima* embryonic development

胚胎发育时期 Stage	发育时间 Developing time (h:min)	水温 Water Temperature (℃)	积温 Sum of temperature (℃·h)	图版号 Plate list
受精卵 Fertilized egg	0:00	20.4	0	—
胚盘期 Blastoderm stage	0:35	20.4	11.90	I-1
2 细胞期 2-cell stage	1:00	20.3	20.38	I-2
4 细胞期 4-cell stage	1:20	20.3	27.15	I-3
8 细胞期 8-cell stage	1:58	20.3	36.62	I-4
16 细胞期 16-cell stage	2:22	20.3	44.74	I-5
32 细胞期 32-cell stage	2:48	20.3	53.54	I-6
64 细胞期 64-cell stage	3:25	20.4	66.09	I-7
多细胞期 Multi-cell stage	5:30	20.5	108.69	I-8
高囊胚期 High blastula stage	8:10	20.7	163.62	I-9
低囊胚期 Low blastula stage	9:50	20.7	198.12	I-10
原肠早期 Early gastrula stage	13:00	21.2	260.97	I-11
原肠中期 Middle gastrula stage	17:40	21.9	332.80	I-12
原肠后期 Late gastrula stage	19:50	21.8	380.14	I-13
神经胚期 Neural stage	22:15	21.2	432.10	I-14
肌节出现期 Somites appear stage	28:35	20.4	563.83	I-15
尾芽期 Tail bud stage	37:00	21.4	739.74	I-16
尾鳍出现期 Appearance of caudal fin	39:40	21.5	796.94	I-17
肌肉效应期 Muscular contraction	43:00	21.8	869.11	I-18
心跳期 Heart-beating stage	50:15	20.4	1022.09	I-19
出膜前期 Pre-hatching stage	56:10	20.7	1143.68	I-20
出膜期 Hatching stage	82:00	20.9	1667.15	—

了胚胎发育的原肠后期。

神经胚期 胚孔关闭后, 形成胚体。受精 22h15min 后, 两侧神经褶向正中央愈合, 形成神经管, 神经管前端膨大隆起, 开始分化, 形成前、中、后三个脑泡(图版 I -14)。胚体后部的中胚层不断分化, 受精后 28h35min, 形成体节(图版 I -15)。

器官形成期 随着胚体的发育, 胚体肌节继续分化增多, 肌节清晰可见, 头部结构越来越复杂, 晶体、耳囊出现, 受精后 37h 尾芽离开卵黄囊(图版 I -16)。随着尾芽的伸长, 39h40min 在尾芽的边缘表皮外突成皮褶状的鳍(图版 I -17), 此时即为尾鳍出现期。43h 胚体缓慢而轻微地收缩, 胚体进入的肌肉效应期(图版 I -18), 此时随着胚体的发育, 尾部不断伸长。50h15min 可以看到美洲鲟胚体有明显的心脏跳动(图版 I -19), 随着时间的推移, 跳动的越来越厉害, 同时尾部脱离卵黄囊的部位越来越大。

出膜期 胚体靠尾部的力量不断地在卵膜内翻滚摆动, 头部或者是尾部破膜而出(图版 I -20)。82h 大部分受精卵孵化出膜, 出膜的仔鱼躯体细小, 而卵黄囊较大, 没有油球, 活动能力较弱, 常静止水底, 偶尔靠尾部的摆动浮到水面, 然后自由沉到水底。

2.2 仔稚鱼发育

早期仔鱼 刚出膜的仔鱼全长 8.16—9.06 mm, 体长(8.38±0.37) mm, 卵黄囊椭圆形, 长径(2.26±0.11) mm 约占全长的 1/4, 短径(1.96±0.13) mm, 体积为(4.57±0.77) mm³。胸鳍原基形成, 卵黄囊上有大量半透明的星状斑纹(表 2)。

出膜 10h 的仔鱼眼睛布满黑色素, 心脏跳动清晰可见, 口张开, 直肠形成, 可见仔鱼脑部面积比刚孵化时明显要大, 此时仔鱼已会简单游动。出膜 14h 的仔鱼胸鳍鳍条开始出现, 不时扇动。口裂变大, 肛门开通, 脑部进一步发育变大。1 日龄仔鱼卵黄囊

长径(1.77±0.12) mm, 短径(1.46±0.18) mm, 体积不到刚孵化时的一半。此时仔鱼眼睛突出, 卵黄囊上方的体肌节清晰可见, 肠道背部边缘分布着星状黑色素, 4 对鳃弓原基开始形成。

表 2 美洲鲈仔稚鱼发育时期形态度量
Tab. 2 Morphological measure of larval and juvenile of *Alosa sapidissima* development stage

发育阶段 stage	孵出时间 Time after hatching (h/d)	卵黄囊体积 Volume of yolk sac (mm ³)	全长 Total length (mm)	头长 Head length (mm)	肛前距 Preanal length (mm)	眼径 Eye diame- ter (mm)	体高 Body height (mm)	图版号 Plate list
早期	0h	4.57±0.77	8.56±0.36	1.01±0.04	7.02±0.31	0.45±0.03	—	II -1
仔鱼	6h	3.38±0.57	9.50±0.28	—	7.84±0.37	—	—	II -2
Early	10h	2.72±0.49	9.77±0.30	—	7.87±0.23	—	—	II -3
larvae	14h	2.21±0.26	9.86±0.17	—	7.89±0.11	—	—	II -4
stage	1d	2.01±0.52	9.96±0.49	1.18±0.11	7.96±0.51	0.46±0.05	—	II -5
	32h	1.33±0.49	10.38±0.46	—	8.38±0.39	—	—	II -6
	2d	0.71±0.23	10.58±0.37	1.31±0.04	8.45±0.33	0.47±0.02	—	II -7
	3d	0.33±0.34	11.28±0.45	1.33±0.08	9.03±0.37	0.48±0.01	—	II -8
晚期	4d	—	11.49±0.58	1.45±0.06	9.40±0.72	0.49±0.23	0.79±0.07	II -9
仔鱼	6d	—	12.50±0.79	1.67±0.11	9.89±0.68	0.52±0.03	0.90±0.15	II -10
Late	9d	—	13.68±0.98	1.87±0.22	10.87±0.78	0.58±0.37	1.05±0.29	II -11
larvae	11d	—	15.71±0.81	2.37±0.12	12.47±0.68	0.72±0.04	1.55±0.11	II -13
stage	13d	—	17.03±1.22	2.56±0.13	13.33±0.93	0.76±0.05	1.69±0.18	II -15
	17d	—	20.17±1.01	3.28±0.13	15.12±0.82	0.95±0.06	2.24±0.23	II -17
	23d	—	23.07±1.06	4.83±0.32	15.98±0.80	1.56±0.12	3.08±0.37	II -19
稚鱼期	27d	—	26.15±1.15	5.81±0.20	17.09±0.71	1.98±0.09	4.21±0.35	II -20
Juvenile	30d	—	27.21±1.98	5.95±0.58	17.39±1.06	2.39±0.10	4.77±0.57	II -21
stage	33d	—	33.10±1.58	7.65±0.52	20.35±1.02	2.42±0.14	6.49±0.50	II -22

出膜 32h 的仔鱼下颌骨形成, 颊部明显。直肠变粗, 直肠前段有些膨大, 稍微弯曲, 直肠边缘有较多的枝状黑色素。胸鳍扩大, 辐射状鳍条清楚, 快速扇动, 全身肌节清晰可见。2 日龄仔鱼卵黄囊长径(1.41±0.13) mm, 短径(0.98±0.17) mm, 体积只有刚孵化的 15.54%。口张合速度加快, 尾部脊索部位开始有分支状色素, 前肠明显分化为食道和略为膨大的胃。

3 日龄仔鱼卵黄囊长径(1.15±0.12) mm, 短径(0.74±0.19) mm, 卵黄囊即将完全吸收。肠道有食物。胸鳍增大, 背部鳍膜变厚变大, 四对鳃弓原基清晰可见。

晚期仔鱼 4 日龄仔鱼体长(11.23±0.69) mm, 卵黄囊已被完全吸收, 开始转化为外源性营养, 背鳍原基可见, 头骨变厚, 开始不透明, 头盖骨开始形成。仔鱼发现食物后, 划动胸鳍身体弯成“S”型的攻击态, 然后迅速挺直身体前冲捕食。6 日龄仔鱼背

鳍鳍条可见, 鱼体在身体后半部的体侧中部有 4—8 个排成一排的星状黑色素, 个体间大小差异变大。

9 日龄仔鱼臀鳍原基褶膜变宽变厚, 尾椎骨稍微上翘, 尾鳍鳍条开始发育。10 日龄仔鱼体测中部一排星状黑色素变多, 并延伸到身体的前半部(图版 II -12)。

11 日龄仔鱼尾鳍鳍条清晰可见, 肠道壁上色素增大成带状。12 日龄仔鱼臀鳍开始出现(图版 II -14)。13 日龄仔鱼尾柄上的一排星状斑纹延至头部, 总的数量不多。15 日龄臀鳍鳍条明显(图版 II -16)。17 日龄仔鱼腹鳍开始出现, 体侧面的星状黑色素现在扩至全身, 分布无规律, 背部斑纹较密集。在灯光下, 仔鱼成群在池水上层不停的做有规律的顺时针或逆时针运动。21 日龄仔鱼尾椎弯曲完成, 仔鱼的鳔明显充气。(图版 II -18)。

23 日龄仔鱼, 鳔在腹腔背部, 身体 1/2 段靠前, 鳔长(2.03±0.68) mm, 心脏贯通到背主动脉、尾主动

脉, 红色血液清晰可见。鳃盖骨右下方幽门盲囊出现, 尾鳍开始分叉。

稚鱼期 27 日龄仔鱼体长(22.79 ± 1.08) mm, 银白色的腹膜已覆盖整个内腔, 鱼体背部、尾柄有金属光泽, 鳞片开始形成。

30 日龄仔鱼尾柄、体侧面开始有大量鳞片, 全身大部分已经不透明。33 日龄仔鱼鱼体全身披鳞, 鱼体变态完成, 美洲鲈从稚鱼进入幼鱼阶段。

卵黄囊体积变化 美洲鲈仔鱼卵黄囊的体积变化为 $V = 4.1583e^{-0.0356h}$ ($R^2 = 0.9901$) (图 1)。可见美洲鲈的卵黄囊吸收的较快, 在孵化后不到 1d 的时候卵黄囊已经吸收过半, 2d 的时候则剩下 1/5 不到。

美洲鲈仔稚鱼生长模型 美洲鲈仔稚鱼的全长和日龄进行回归分析, 建立的仔稚鱼的拟合生

长模型(图 2): $TL = 0.0049D^2 + 0.5091D + 9.2578$ ($R^2 = 0.9885$), 线性方程为 $TL = 0.6613D + 8.5404$ ($R^2 = 0.9842$)。

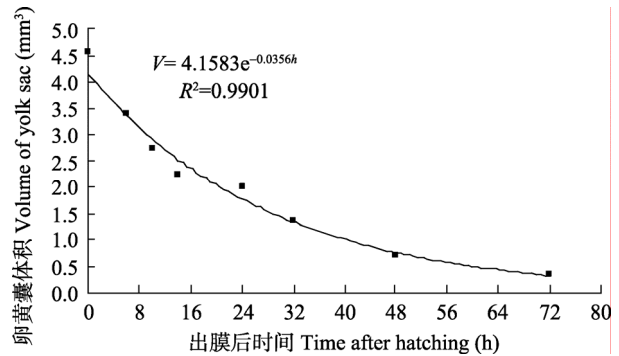


图 1 美洲鲈仔鱼卵黄囊体积变化
Fig. 1 Volume of changes of yolk sac in *Alosa sapidissima* larvae

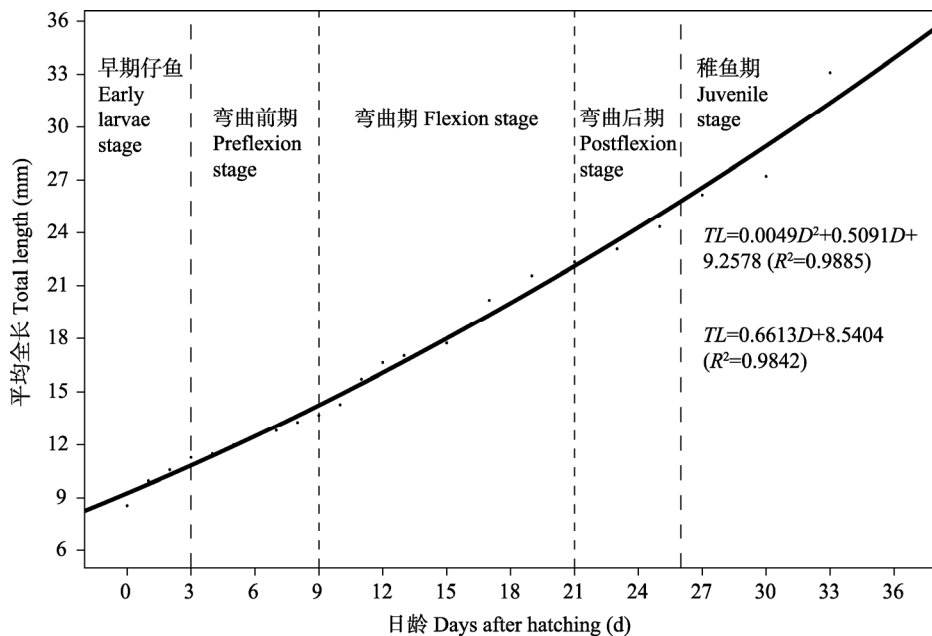


图 2 美洲鲈仔稚鱼的生长
Fig. 2 Growth of *Alosa sapidissima* larvae, juveniles

3 讨论

3.1 美洲鲈的胚胎发育

美洲鲈受精卵膜径 2.85—3.28 mm, 没有油球, 在水温 20.3℃—21.9℃孵化条件下, 经过 82h 孵化出膜, 积温为 1667.15℃·h, 这和 Greene, *et al.*^[14]报道的美洲鲈受精卵孵化公式较吻合: $\log_e(D) = 8.9 - 2.484\log_e(T)$, D 为孵化天数, T 为水温(℃), 24℃时, 孵化时间为 3d; 27℃时, 孵化时间为 2d。同为鲈亚

科的中国鲈受精卵膜径为 2.1—2.3 mm, 卵黄囊中有集中的油球 10 多颗, 随着发育集中为 2—3 颗, 在水温 25℃—27℃、29℃—30℃下, 孵化时间分别约为 17—19h 和 13—16h^[15], 积温均不到 550℃·h, 与美洲鲈受精卵孵化时间和积温均不同。

3.2 美洲鲈胚后仔鱼发育分期

根据胚后发育仔鱼卵黄囊吸收, 体表器官以及营养方式的变化, 可以将美洲鲈分为早期仔鱼、晚期仔鱼、稚鱼和幼鱼。在水温 20.3℃—21.9℃下, 4

日龄仔鱼卵黄完全吸收, 进入后期仔鱼。美洲鲈仔鱼经过 23d 的生长, 鱼体的运动器官已发育完全, 进入稚鱼期。27 日龄的仔鱼鱼体开始有鳞片出现, 至 33 日龄, 美洲鲈全身披满鳞片, 鱼体完成了从稚鱼到幼鱼的发育, 进入了幼鱼期。而若依据形态变化, 主要是尾椎弯曲来划分仔稚幼鱼各期^[16], 则美洲鲈的晚期仔鱼可以细分为弯曲前仔鱼期、弯曲仔鱼期、弯曲后仔鱼期。Johnson^[13]报道美洲鲈仔鱼体长为 12—15mm 时开始进入弯曲期, 本研究美洲鲈尾椎弯曲从 9 日龄[体长(13.31±1.15) mm, $n=30$]开始到 21 日龄仔鱼结束, 再经过 5d 生长, 仔鱼从弯曲后仔鱼期进入稚鱼期。而唇鲮 (*Hemibarbus labeo*)^[17]的弯曲期仔鱼为 9—12 日龄仔鱼(19.0℃—23.0℃)、高体革鲮(*Scortum barcoo*)^[18]为 5—17 日龄仔鱼(26.6℃—29.7℃)、条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[19]为 15—24 日龄仔鱼(21.0℃—24.0℃), 大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)^[20]则为 16—20 日龄仔鱼(19.0℃—22.0℃)。不同种类的鱼, 因卵黄囊大小、仔稚鱼期持续时间和发育速度等不同, 它们的弯曲期起始时间和持续时间也不相同。

3.3 生长

美洲鲈刚孵化仔鱼全长为 8.16—9.06 mm [(8.56±0.36) mm], 卵黄消失时美洲鲈体长为 10.45—12.28 mm [(11.23±0.69) mm], 与 Marcy^[21]测得美洲鲈刚孵化全长为 7.0—10.0 mm、卵黄囊消失体长为 9.0—12.0 mm 的结果相仿。中国鲈^[22]在 27℃—34℃ 初孵仔鱼全长为 2.31—2.87 mm [(2.63±0.22) mm, $n=5$], 卵黄囊消失时全长约在 7.0 mm, 日龄(D , d) 与全长(TL , mm) 的生长直线回归方程为 $TL=0.8475D+0.94$, ($5\leq D\leq 30$, $R^2=0.9940$), 而美洲鲈的生长直线回归方程为 $TL=0.6613D+8.5404$, ($0\leq D\leq 33$, $R^2=0.9842$)。可见美洲鲈初孵仔鱼要比中国鲈大, 但是没有中国鲈长得快, 美洲鲈平均日增全长 0.6613 mm, 而中国鲈为 0.8475 mm。

中国鲈有两个死亡高峰, 一个是 4—5d 卵黄囊吸收完毕时, 另一个是 7—8d 的油球吸收完毕时候, 其认为是仔鱼没有得到必要数量的适口饵料^[23]。而美洲鲈 3 日龄仔鱼开始摄食, 4 日龄仔鱼便完成了从混合营养到外源营养的转化, 且仔鱼没有油球, 混合营养期只有 1d 左右, 与秘鲁鱼(*Engraulis ringens*)^[24]、比目鱼(*Platichthys flesus*)^[25]、鲢鱼

(*Miichthys miiuy*)^[26]等相类似, 因此在这个关键时刻容易遭受饥饿, 从而会导致高死亡率^[27-29], 这也许是国内养殖美洲鲈仔稚鱼成活率低的一个重要原因。本实验严格控制水温以及投喂适口饵料保证了仔鱼高的成活率, 达到 88%。混合营养期作为鱼类早期发育的一个重大的临界期^[27], 延迟初次摄食时间将会导致鱼类低的存活率和较差的生长状况, 因此在此阶段除了注意环境条件外, 适时的在一定密度下添加适口性开口饵料就显得非常重要。

参考文献:

- [1] Chittenden M E. Salinity tolerance of young American Shad, *Alosa sapidissima* [J]. *Chesapeake Science*, 1973, **14**: 207—210
- [2] Limburg K E, Ross R M. Growth and mortality rates of larval American shad, *Alosa sapidissima*, at different salinities [J]. *Estuaries and Coasts*, 1995, **18**: 335—340
- [3] Zydlewski J, McCormick S D. The ontogeny of salinity tolerance in the American shad, *Alosa sapidissima* [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, **54**: 182—189
- [4] Chittenden M E. Responses of young American Shad, *Alosa sapidissima*, to low temperatures [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1972, **101**: 680—685
- [5] Lankford Jr T E, Targett T E. Low-temperature tolerance of age-0 Atlantic Croakers: recruitment implications for U.S. Mid-Atlantic Estuaries [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2001, **130**(2): 236—249
- [6] Pan T S, Li H Y, Hou G J. Biological characteristics and big-sized fingerling rearing of *Alosa sapidissima* [J]. *Reservoir Fisheries*, 2006, **26**(4): 33—34 [潘庭双, 李海洋, 侯冠军. 美洲鲈鱼的生物学特性及大规模苗种培育技术. 水利渔业, 2006, **26**(4): 33—34]
- [7] Du H, Wei Q W. Biological characteristics and resource status of *Alosa sapidissima* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2004, **34**(1): 62—64 [杜浩, 危起伟. 美洲鲈的生物学特征及资源状况. 淡水渔业, 2004, **34**(1): 62—64]
- [8] Wu W H, Wang B, Shi W, et al. Study on culture technology of American shad (*Alosa sapidissima*) on a large scale I. Juveniles culturing [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2004, **17**(2): 61—64 [吴文化, 王斌, 师伟, 等. 美洲鲈鱼苗种规模化养殖技术研究——I. 稚鱼培育. 水产学杂志, 2004, **17**(2): 61—64]
- [9] Yang K, Zhang J, Wang L Q, et al. Effects of different dietary protein contents on the growth of American shad juveniles [J]. *Fisheries Science*, 2008, **27**(11): 581—583 [杨坤, 张静, 汪留全, 等. 不同饲料蛋白水平对美洲鲈幼鱼生长

- 的影响. 水产科学, 2008, **27**(11): 581—583]
- [10] Du H, Wei Q W, Gan F, *et al.* Transport stress catabatic effect of anesthetic benzocaine on American shad (*Alosa sapidissima*) [J]. *Journal of Fishery Science of China*, 2006, **13**(5): 787—792 [杜浩, 危起伟, 甘芳, 等. 苯唑卡因对美洲鲟运输应激的缓解作用研究. 中国水产科学, 2006, **13**(5): 787—792]
- [11] Marcy B C J R. Early life history studies of American shad in the lower Connecticut River and the effects of the Connecticut Yankee plant [C]. American Fisheries Society, 1976, 141—168
- [12] Lippson, A J, R L Moran. Manual for identification of early developmental stages of fishes of the Potomac River estuary [M]. Maryland Department of Natural Resources. 1974, 47—48
- [13] Johnson J R, Loesch J G. Morphology and development of hatchery-cultured American shad, *Alosa sapidissima* (Wilson) [J]. *Fishery Bulletin*, 1983, **81**: 323—339
- [14] Greene K E, Zimmerman J L, Laney R W, *et al.* Thomas-Blate. Atlantic coast diadromous fish habitat: A review of utilization, threats, recommendations for conservation, and research needs [C]. Atlantic States Marine Fisheries Commission Habitat Management Series No. 9, Washington, D.C. 2009, 14
- [15] Lu G, Zhong Z L, Zhao C C. A Study on the Natural Propagation and Artificial Propagation of *Macrura reevesii* in Qiantang River [D]. Proceedings of Shanghai Fisheries College. 1964, (1): 1—28 [陆桂, 钟展烈, 赵长春. 钱塘江鲟鱼的自然繁殖及人工繁殖. 上海水产学院论文集, 1964, (1): 1—28]
- [16] Shiogaki M, Doutsu Y. The spawning of sea culpin *Pseudoblennius cottoides* [J]. *Bulletin Fishery Nagasaki University*, 1974, **38**: 71—76 (In Japanese)
- [17] Yao Z L, Li L, Mi G Q, *et al.* The early morphological development of *Hemibarbus labeo* in Oujiang River [J]. *Fisheries Science*, 2008, **27**(3): 121—124 [姚子亮, 李黎, 宓国强, 等. 瓯江产唇鲮的早期形态发育研究. 水产科学, 2008, **27**(3): 121—124]
- [18] Luo Y J, Zhu X P, Pan D B, *et al.* Growth and development of larva, juveniles of *Scortum barcoo* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, **32**(5): 698—710 [骆豫江, 朱新平, 潘德博, 等. 高体革鲃仔稚鱼的生长和发育. 水产学报, 2008, **32**(5): 698—710]
- [19] Liu X Z, Xu Y J, Wang Y Y, *et al.* Characters of development and growth of early life stage of the rock bream *Oplegnathus fasciatus* [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, **54**(2): 332—341 [柳学周, 徐永江, 王妍妍, 等. 条石鲷的早期生长发育. 动物学报, 2008, **54**(2): 332—341]
- [20] Fang J Z, Chu M B, Xiao Q, *et al.* Morphological studies on the early development of large yellow croake, *Pseudosciaena Crocea* (Richardson) [J]. *Marine Sciences*, 2003, **27**(6): 1—6 [方家仲, 褚茂兵, 肖勤, 等. 大黄鱼早期发育的形态学研究. 海洋科学, 2003, **27**(6): 1—6]
- [21] Marcy B C, Jr. Spawning of the American shad, *Alosa sapidissima*, in the lower Connecticut River [J]. *Chesapeake Science*, 1972, **13**: 116—119
- [22] Zhu C D, Jin Y D. A preliminary study on feeding habits and growth of *Macrura reevesii* during the early larval stages. [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1985, **9**(1): 9—19 [朱成德, 金佯道. 鲟鱼仔幼鱼食性与生长的初步研究. 水生生物学报, 1985, **9**(1): 9—19]
- [23] Lu G, Zhong Z L, Zhao C C. The study of proliferation of *Macrura Reevesii* in Qiantang River [C]. Proceedings of the seventh plenary conference of western Pacific fisheries commission, China, Beijing, Science Press. 1966, 95—101 [陆桂, 钟展烈, 赵长春. 钱塘江鲟鱼增殖问题的初步研究. 太平洋西部渔业委员会第七次全体会议论文集, 科学出版社. 1966, 95—101]
- [24] Ware D M, de Mendiola B R, Newhouse D S. Behavior of first feeding peruvian anchoveta larvae, *Engraulis ringens* J. [J]. *Rapp P-V Reun Cons Int Explor Mer*, 1981, **178**: 467—474
- [25] Yin M C, Blaxter J H S. Feeding ability and survival during starvation of marine fish larvae reared in the laboratory [J]. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 1987, **105**: 73—83
- [26] Shan X J, Cao L, Huang W, *et al.* Feeding, morphological changes and allometric growth during starvation in miiuy croaker larvae [J]. *Environmental Biology Fishes*, doi:10.1007/s10641-008-9412-0
- [27] Yin M C. Advances and studies on early history of fish [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1991, **15**(4): 348—358 [殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展. 水产学报, 1991, **15**(4): 348—358]
- [28] Blaxter J H S, Hempel G. The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.) [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1963, **28**: 211—240
- [29] May R C. Effects of delayed initial feeding on larvae of the grunion, *Leuresthes tenuis* (Ayres) [J]. *Fishery Bulletin*, 1971, **69**: 411—425

STUDY ON THE DEVELOPMENT OF THE EMBRYO AND LARVA OF AMERICAN SHAD, *ALOSA SAPIDISSIMA*

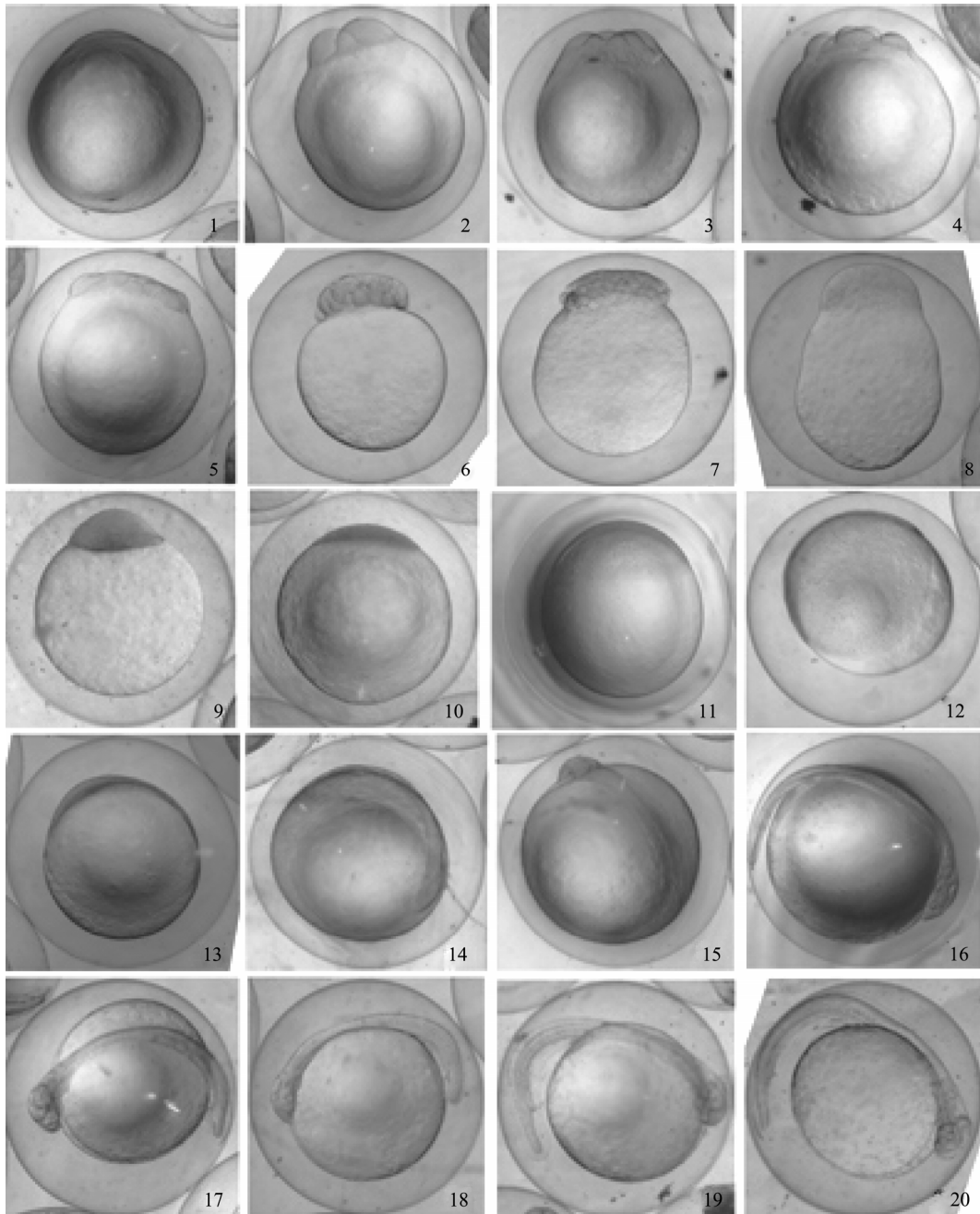
HONG Xiao-You^{1,2}, ZHU Xin-Ping^{1,2}, CHEN Kun-Ci¹, PAN De-Bo¹ and LI Kai-Bin¹

(1. Pearl River Fisheries Research Institute Chinese of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China)

Abstract: The American shad (*Alosa sapidissima*) is a potential aquaculture species with high economic value just like the Chinese shad (*Tenualosa reevesii*). The fertilizing eggs of American shad were introduced from West coast of American in 2008 and the observation of morphological development of larva and juvenile of American shad were carried on. Under the water temperature of 20.3 °C—21.9 °C, the duration of hatching lasted 82h, according to the morphological characteristics, the embryonic development of *Alosa sapidissima* may be divided into 7stages: the fertilized egg stage, the cleavage stage, the blastula stage, the gastrula stage, the neural stage, the organogenesis stage and the hatching stage. The fertilizing egg of *Alosa sapidissima* was spherical, semibuoyant and no oil globule with diameter of 2.85—3.28 mm. The total length of the newly hatched larva was (8.56±0.36) mm and the volume of the yolk sac was (4.57±0.77) mm³ by using the formula of $V=4/3\pi\cdot R/2\cdot(r/2)^2$. The mouth and anus opened during 1 day after hatching (DAH), meanwhile the brain began to development and the pectoral fin had formed. The volume of the yolk sac of the 2-day-old larva was (0.71±0.23) mm³, just 15.54% of the newly hatched larva. Larva growth and development depend on the energy of yolk sac from newly hatched larva to 3DAH. Then larva entered a mixed feeding stage, finally the larva exhausted all the yolk sac and undertaken exogenous feeding stage in 4DAH, the relationship between the volume of the yolk sac (V) and the hour after hatching (h) was $V=4.1583e^{-0.0356h}$ ($R^2=0.9901$). Then the dorsal fin, caudal fin rays, anal fin rays and pelvic fin rays appeared in the late-stage larva and meanwhile the notochord flexion began on 9DAH. Fin ray of each fin completely developed. The scale occurred on 27DAH, the ontogeny of 33DAH juvenile went into the fingerling stages. The regression equation of the relationship between body total length (TL) and age in days (D) was $TL=0.0049D^2+0.5091D+9.2578$ ($R^2=0.9885$).

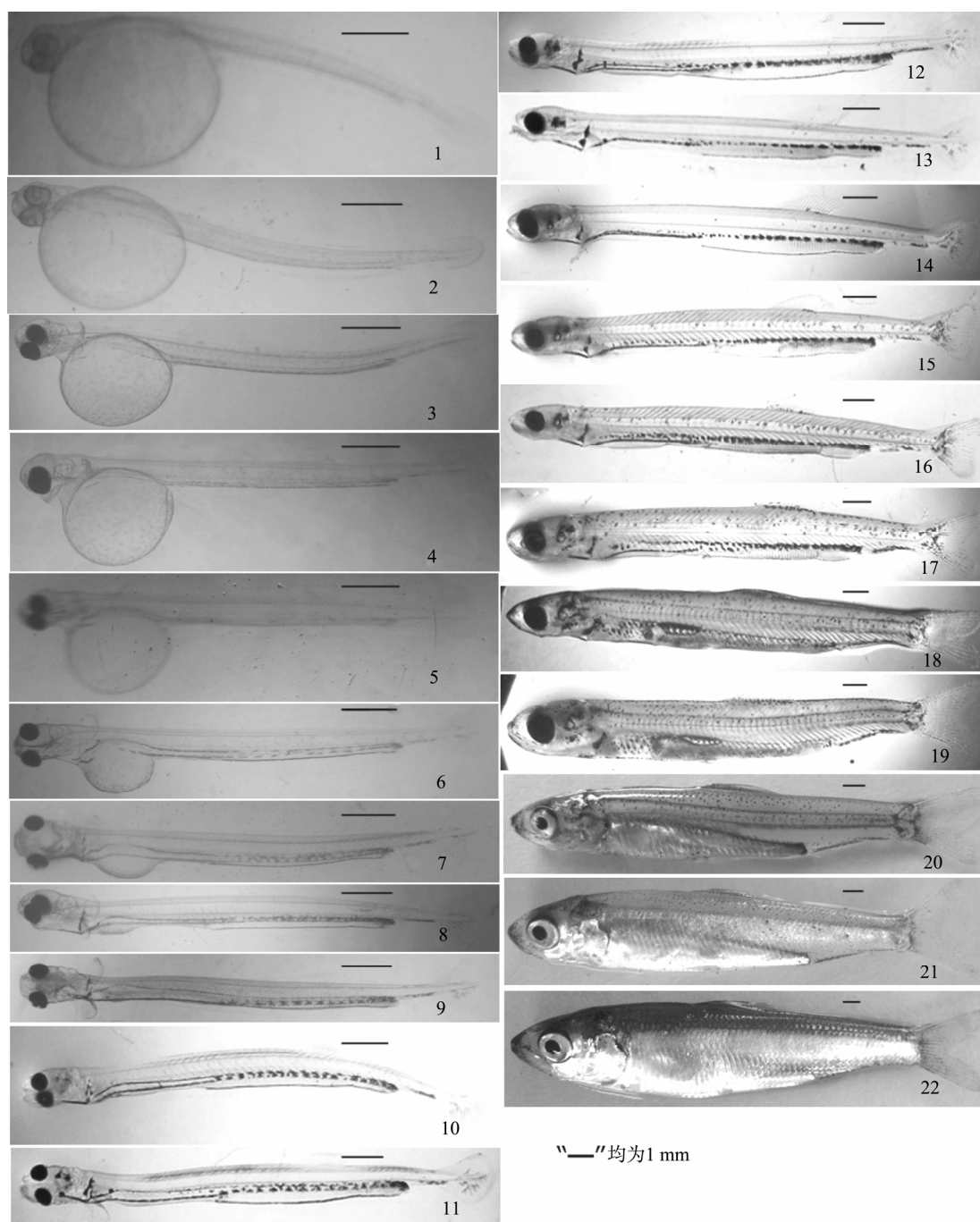
Key words: *Alosa sapidissima*; Embryonic; Larvae; Juvenile; Morphological; Development



图版 I Plate I

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. 多细胞期; 9. 高囊胚期; 10. 低囊胚期; 11. 原肠早期; 12. 原肠中期; 13. 原肠后期; 14. 神经胚期; 15. 肌节出现期; 16. 尾芽期; 17. 尾鳍出现期; 18. 肌肉效应期; 19. 心跳期; 20. 出膜前期

1. Blastoderm 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. Multi-cell stage; 9. High blastula stage; 10. Low blastula stage; 11. Early gastrula stage; 12. Middle gastrula stage; 13. Late gastrula stage; 14. Neural stage; 15. Somites appear stage; 16. Tail bud stage; 17. Appearance of caudal fin; 18. Muscular contraction; 19. Heart-beating stage; 20. Pre-hatching stage



图版 II Plate II

1. 刚出膜仔鱼; 2. 出膜 6h 仔鱼; 3. 出膜 10 小时仔鱼; 4. 出膜 14h 仔鱼; 5. 1 日龄仔鱼; 6. 出膜 32h 仔鱼; 7. 2 日龄仔鱼; 8. 3 日龄仔鱼; 9. 4 日龄仔鱼; 10. 6 日龄仔鱼; 11. 9 日龄仔鱼; 12. 10 日龄仔鱼; 13. 11 日龄仔鱼; 14. 12 日龄仔鱼; 15. 13 日龄仔鱼; 16. 15 日龄仔鱼; 17. 17 日龄仔鱼; 18. 21 日龄稚鱼; 19. 23 日龄稚鱼; 20. 27 日龄稚鱼; 21. 30 日龄稚鱼; 22. 33 日龄幼鱼

1. Newly hatched larva; 2. 6 hours after hatching; 3. 10 hours after hatching; 4. 14 hours after hatching; 5. 1-day old larva after hatching; 6. 32 hours after hatching; 7. 2-day old larva after hatching; 8. 3-day old larva after hatching; 9. 4-day old larva after hatching; 10. 6-day old larva after hatching; 11. 9-day old larva after hatching; 12. 10-day old larva after hatching; 13. 11-day old larva after hatching; 14. 12-day old larva after hatching; 15. 13-day old larva after hatching; 16. 15-day old larva after hatching; 17. 17-day old larva after hatching; 18. 21-day old larva after hatching; 19. 23-day old juvenile after hatching; 20. 27-day old juvenile after hatching; 21. 30-day old juvenile after hatching; 22. 33-day old juvenile after hatching