

## 美洲鲈仔、稚、幼鱼的形态发育与生长特征

张呈祥<sup>1,3</sup>, 徐钢春<sup>2,3</sup>, 徐跑<sup>2,3</sup>, 郑金良<sup>3</sup>, 顾若波<sup>2,3</sup>

(1. 江阴市水产指导站, 江苏 江阴 214431; 2. 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 24081;  
3. 长江珍稀鱼类保护研究中心, 江苏 江阴 214431)

**摘要:** 通过对美洲鲈(*Alosa sapidissima*)仔、稚、幼各发育期的连续取样, 系统观察了仔、稚、幼各期的形态变化及生长发育特征。结果显示: 在水温(20±1)℃下, 初孵仔鱼全长(6.75±0.60) mm; 2日龄仔鱼即开口摄食, 进入混合营养期; 4日龄仔鱼卵黄囊吸收完毕进入晚期仔鱼阶段, 完全依靠外源物质获取能量, 主要以鳔室、脊椎形成及各鳍的分化与形成为主要标志; 培育至36 d, 仔鱼鳃盖后缘及脊椎骨两侧线有少量鳞片状突起, 标志美洲鲈结束仔鱼期进入稚鱼期; 培育至65 d, 仔鱼身上鳞片基本长出, 腹膜闭合, 美洲鲈完成变态成为幼鱼。仔鱼培育期间, 除了严格控制培育水温在(20±1)℃外, 2日龄仔鱼开口后就应及时投喂轮虫类开口饵料, 密度为5~10 ind/mL, 这是苗种培育中不可忽视的重要环节。稚鱼期间在主食枝角类、桡足类的同时进行驯食。本实验采用特制缓沉饲料及时驯化转食再过渡到全部摄食人工浮性膨化颗粒饲料, 驯食时间为21 d, 驯食是成功进行人工池塘养殖的关键所在。本研究旨在探讨提高美洲鲈早期培育过程中的成活率及成功进行池塘养殖的可行性。[中国水产科学, 2010, 17(6): 1227-1235]

**关键词:** 美洲鲈; 仔鱼; 稚鱼; 幼鱼; 形态发育; 生长特征

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)06-1227-09

美洲鲈(*Alosa sapidissima*)隶属于鲱形总目(Clupeomorpha)、鲱形目(Clupeiformes)、鲱科(Clupeidae)、西鲱属(*Alosa*), 主要分布于北美洲大西洋西岸从加拿大魁北克省(Quebec)到美国的佛罗里达州(Florida)河流和海洋中<sup>[1]</sup>。美洲鲈系生殖洄游鱼类, 丰腴肥硕, 肉鲜味美, 具有很高的经济价值, 已被世界各地广泛引种。

美洲鲈因与中国鲈(*Macrura reevesii*)的外形相似, 肉质亦可媲美, 在中国鲈濒临灭绝的情况下, 美洲鲈养殖在中国有广阔的市场前景。中国自2003年引进美洲鲈受精卵, 并成功孵化、养殖。国内学者对美洲鲈人工孵化、苗种培育、运输及养殖已有研究报道<sup>[2-5]</sup>, 更多的则侧重于养殖技术方面。在早期发育方面, 虽然国外学者对美洲

鲈的产卵、孵化、声觉发育及幼鱼食性等<sup>[6-11]</sup>进行了较系统的研究, 但至今尚未有池养美洲鲈仔、稚、幼鱼形态发育及生长特征的研究报道。本实验对美洲鲈仔、稚、幼鱼发育进行观察, 了解其形态发育的特点, 明确各器官形成的关键期, 分析其器官形成与环境相适应的特点, 观察其摄食行为, 旨在制定合理的投喂策略以提高其早期培育过程中的成活率, 从而成功进行池塘养殖。

### 1 材料与方法

#### 1.1 受精卵的获取及孵化

实验在江阴市申港三鲜养殖有限公司养殖基地进行。2009年5月8日选择体质健壮、性成熟特征明显的2龄美洲鲈亲鱼, 经激素催产、人工

收稿日期: 2009-12-23; 修订日期: 2010-02-02.

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资助项目(2009JBFA01).

作者简介: 张呈祥 (1963-), 男, 高级工程师, 研究方向: 水产保种繁育及养殖技术推广.

通讯作者: 顾若波. E-mail: gurb@ffrc.cn

授精获得受精卵。受精卵置于一种无死角的流水孵化桶装置<sup>[12]</sup>中孵化。孵化用水为曝气 3 d 以上的深井水,水温控制在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.2 仔稚幼鱼的培育

受精卵出膜后第 2 天,仔鱼窜游在孵化桶的水面,此时及时转移仔鱼饲养在长 $\times$ 宽 $\times$ 高分别为 1.0 m $\times$ 2.0 m $\times$ 1.0 m 的室内水泥池中,密度为 200~300 尾/ $\text{m}^3$ 。采用静水充气养殖,培育用水为经过 KDF(Kinetic degradation fluxion)净水器处理的过滤水,并在蓄水池充分曝气。发育至幼鱼期后则置于 4 000  $\text{m}^2$  的土池中培育,密度为 1~2 尾/ $\text{m}^2$ 。

仔鱼的开口饵料为轮虫类,采集于天然水体,优势种为萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)和前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)。经 200 目筛网过滤后投喂,密度 5~10 ind/mL。至晚期仔鱼阶段开始投喂枝角类(Cladocera)和桡足类(Copepoda),密度 3~5 ind/mL。到稚鱼期则开始驯食,投喂特制配合饲料(天邦饲料有限公司生产的鳗鱼饲料,与水的质量比为 9:1)。发育至幼鱼后投喂浮性膨化饲料(常兴牌海水鱼类配合饲料,粗蛋白含量为 42%~45%)。整个室内培育期间(幼鱼期前),每天换水 1/3、及时吸污和定时投饵并根据摄食情况适当调整投喂量。

每天用便携式多参数水质分析仪(Hydrolab Quanta)监测水质,并保持育苗池中水温( $T$ )在 $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ ,溶氧(DO) $> 6.0\text{mg/L}$ ,pH  $7.8\pm 0.3$ 。

### 1.3 取样与观察

仔鱼出膜后,每隔 12 h 取样 10 尾,在 XTL-3400 型解剖镜和 Olympus BH-2 显微镜下,观察外部形态变化,运用 Digital camera for microscope 300 成像系统拍照测量;至稚鱼后用数显游标卡尺测量全长,用 Canon IXUS80IS 拍照。组织切片采用整鱼 Bouin 氏液固定,石蜡包埋,连续横切片(厚度 6~7  $\mu\text{m}$ ),苏木精-伊红(HE)染色<sup>[13]</sup>,Olympus BH-2 显微镜观察并拍,扫描电镜技术参考文献[14],所得数据用 SPSS11.5 统计软件进行分析,取平均值 $\pm$ 标准差。

## 2 结果与分析

### 2.1 仔、稚、幼鱼的形态发育

**2.1.1 卵黄囊期或早期仔鱼** 初孵仔鱼(刚出膜的仔鱼)长 $(6.75\pm 0.60)$  mm。卵黄囊呈圆球形,直径 $(2.0\pm 0.21)$  mm,雪花状色素细胞布满整个卵黄囊,体色透明,眼的黑色素明显;未开口,可见明显的心跳,频率 100~120 次/min,肌节“V”型,约 55 节,耳囊和 2 对圆形或近圆形的耳石清晰可见;脊索前端稍弯曲,头部紧贴卵黄囊,肛门前位。胸鳍基柄呈扇状,鳍褶明显,尾鳍褶出现一些散射状小丝。初孵仔鱼多静伏在水底,对外界反应迅速,稍有惊动便急速窜游(图版 I-1)。

1 日龄仔鱼全长 $(8.18\pm 0.84)$  mm,口器形成,后脑发达,血细胞无色,心房、心室形成;卵黄囊变小,呈梨形,前端膨大,后段稍尖细,胸鳍加长变宽,胃已拉长近似葫芦状,肠道变粗,直肠的后上方出现一个透明的圆形膀胱,肛门尚未开口,3 条前部带状后部雪花状色素带分布在肠道部的两体侧,尾部鳍褶分化出 20 余条辐射状的弹性丝(图版 I-2)。

2 日龄仔鱼全长 $(9.30\pm 0.50)$  mm,卵黄囊大部分被吸收,仅剩 1/3,口、咽、胃和肠相通,口径 $(0.31\pm 0.08)$  mm,肛门开口于体外,可见排泄物,少数仔鱼开始觅食,逐渐建立外源性摄食关系;3 条前部带状后部雪花状色素细胞带分布在体侧从口的下端一直延伸到肛门处,尾部鳍褶逐渐呈扇形,辐射状的弹性丝下部也分布有 2~3 点雪花状色素(图版 I-3)。

3 日龄仔鱼全长 $(10.10\pm 1.10)$  mm,脑分化为前中后三节,卵黄囊仅剩一点,口径 $(0.35\pm 0.10)$  mm,鳃弓出现,肠道粗大,内褶出现并开始出现不规则的蠕动,仔鱼下颌开始活动,此时仔鱼对小型轮虫的摄食发生率约为 50%;背部鳍褶逐渐消失,背鳍原基出现,尾部鳍褶呈明显扇形且尾椎骨稍微上翘,体侧的肠道部带状色素细胞带颜色有所加深(图版 I-4)。

4 日龄仔鱼全长 $(11.00\pm 1.05)$  mm,肛前体长为

肛后体长的4倍,眼睛较大,眼眶达 $(0.39 \pm 0.11)$  mm,口径达0.62 mm。卵黄囊基本吸收完毕,心脏变大,视杯更多地包围晶体,视杯色素集聚,眼乌黑外凸,耳囊中后部的耳石清明显;背鳍进一步发育,仔鱼摄食能力增强,肠道中开始出现异物颗粒;未见鳔开始充气,但此时仔鱼游泳能力增强,在无外力的情况下靠身体的“蛇形”摆动可以窜游到水面,仔鱼开始集群活动,逐渐向池角、池边集群、环游(图版 I-5)。

**2.1.2 晚期仔鱼阶段** 晚期仔鱼完全依靠外源物质获取能量,主要以鳔室、脊椎形成以及各鳍的分化与形成为主要标志。

6日龄仔鱼全长 $(11.90 \pm 1.32)$  mm,体高 $(0.92 \pm 0.15)$  mm。耳囊中靠前部耳石变化不大,后部耳石长变大呈椭圆形,第2及第3鳃弓外缘形成4~5个短突状的原基形成,鳃弧中都有血液循环入鳃动脉,腹大动脉,肠胃间有大量的血液流动形成网状血流,心室及心房内的血细胞为红褐色,其余部分的血细胞淡黄色。此时胸鳍已伸长成扇形,扇动频繁,背鳍鳍条原基呈辐射状,扇形尾鳍上部也分布辐射状弹丝及色素,尾鳍下部鳍条原基出现。口器翕张频繁,追击饵料生物,“S”型肠环明显,食性转换,肠道镜检可见消化后的枝角类及桡足类浮游动物(图版 II-1);管鳔与胃前端相通,已充气,此时仔鱼背面观似一根狭长针,侧面观则像一条长带(图版 I-6)。

10日龄仔鱼全长 $(12.80 \pm 1.65)$  mm,体高 $(1.20 \pm 0.23)$  mm。第2及第3鳃弓外缘形成鳃丝,摄食能力增强,肠道食物饱满;背部鳍褶消失,14枚背鳍条清晰可见;脊索末端向上弯曲,近末端斜下方可见19枚尾鳍鳍条,色素明显增多,扇形尾鳍褶外缘内凹;与此同时,臀鳍原基亦出现(图版 I-7)。

12日龄仔鱼全长 $(14.80 \pm 1.41)$  mm,体高 $(1.65 \pm 0.35)$  mm。口径已达 $(1.00 \pm 0.12)$  mm,5鳃弓外缘均有鳃丝形成,锯齿状鳃盖开始形成(图版 II-2);管鳔充放气明显(图版 II-3),脊椎骨形成,臀鳍清晰可见16枚鳍条,此时可观察到尾鳍中央

靠近尾柄的地方呈黑色,尾鳍后缘分叉呈典型的叉型尾(图版 I-8)。

30日龄仔鱼全长 $(19.00 \pm 3.05)$  mm,体高 $(2.20 \pm 0.71)$  mm。脂眼睑发达,显银白色,鳃盖完全长成,鳃丝呈血红色;腹鳍出现,尾鳍上下叶进一步发育,等长,叉型更加明显。此时,色素细胞全身均有分布。肠道仍为直形,追击生物饵料的行为明显,“肠环”变粗,晚间鱼群有一定的趋光性(图版 I-9)。

36日龄仔鱼全长 $(23.00 \pm 3.97)$  mm,此时体高达 $(3.00 \pm 0.85)$  mm。鳍褶基本消失,鳃盖已完全遮盖鳃丝,无法直接从侧面看到鳃丝,由于白色腹膜的遮盖,已经不能活体观察肠道中的状况,解剖发现“Y”型胃形成并有数根幽门盲囊,管鳔型单室鳔始于胃盲囊端部,肠道无盘曲呈直管状。鱼苗十分活跃,摄食能力很强,喜趋光、集群,在主食浮游动物的同时,亦可驯化摄食人工饲料,若及时驯化则可顺利过渡到全部摄食膨化饲料阶段(图版 I-10)。

**2.1.3 稚鱼** 42日龄的稚鱼腹鳍条基本长出,80%的仔鱼完成腹鳍的分化;仔鱼鳃盖后缘及前端及脊椎两侧附近有少量鳞片状突起,在光线照射下反光,但身体透明这一仔鱼特点尚未消失(图版 I-11),正面观依稀可见鲜红的鳃丝,背部布满黑斑,臀鳍基部分布着一线状黑色素斑。此时稚鱼全长 $(26.00 \pm 5.30)$  mm,体高 $(3.50 \pm 0.85)$  mm,眼径为 $(0.27 \pm 0.09)$  mm,全长为头长的5.50倍。初次出现的鳞片近圆形、分前区和后区两部分,前区为不闭合均匀鳞纹,后区边缘细花状。

50日龄的稚鱼上颌两侧各具一列绒毛状微齿,眼眶呈金属光泽,鳞片继续增加,脊椎骨以下部位均已长全鳞片,呈银白色,锯齿状棱鳞形成(图版 II-4)。解剖和切片显微观察发现,鳃弓5对,第1鳃弓鳃耙数 $27+43$ ,鳃耙细长而密集,最长鳃耙0.85 mm,鳃耙间距 $0.04 \sim 0.05$  mm,肠道柱状纤毛长而发达(图版 II-5),“Y”形胃发达,肠道幽门盲囊60~65条(图版 I-12、13)。

**2.1.4 幼鱼(鳞片长齐之后的鱼苗)** 65 日龄的幼鱼全长(57.00±8.05) mm, 体长(48.50±6.10) mm, 体高(12.30±1.29) mm, 体质量(1.65±0.32) g, 眼径为(3.50±0.40) mm, 口径长(7.0±0.09) mm, 全长为头长的 5.15 倍。全身鳞片基本长出, 腹膜闭合, 鳃盖后上端近分布一黑斑连带一条细长不发达侧线(图版 II-6), 侧线鳞 52~55, 在侧线上部还分布着四点黑斑, 侧面观体色为银白色, 背部青灰色带蓝绿色光泽, 尾鳍末端呈黑色“V”型带, 鳞片清晰, 已全身被鳞, 标志着进入幼鱼期。此时鳞片长方形, 鳞纹增密, 前区隐约可见一环带, 后区呈龟裂状。鳍条分节特征已与成鱼相同, 各鳍鳍式: 背鳍 D.15-19, 胸鳍 P.16-18, 臀鳍 A.18-24, 腹鳍 V.8-9, 尾鳍 T.25。此时, 性腺已经分化, 肉眼无法辨别雌雄, 其生殖导管独立于泌尿管, 位于肛门与泌尿孔之间, 由前至后依次为: 肛门、生殖孔和泌尿孔。至此, 除体高/全长比相对较小之外, 外部形态较成鱼基本无区别, 早期发育完成(图版 I-14、15)。

## 2.2 仔、稚、幼鱼的人工饲养及生长曲线

从美洲鲌仔、稚、幼鱼摄食特性的研究表明, 该鱼的食性转化是一个渐变的过程, 而不是突变过程。根据该鱼的发育阶段, 生产上采取: “轮虫开口+培育浮游动物(枝角类和桡足类)+特制缓沉饲料+浮性膨化颗粒饲料”的饲养模式。除了保持培养水体的理化环境相对稳定外, 尽量投喂高质量的饵料, 保证充足的营养, 顺利完成食性转化的过程, 提高苗种培育的成活率。

美洲鲌 2 日龄仔鱼即开口摄食, 为混合营养期, 此时应及时投喂轮虫, 投喂密度 5~10 ind/mL, 确保顺利开口; 6 日龄仔鱼即开始摄食枝角类浮游动物, 确保仔鱼饱食, 投喂量 3~5 ind/mL; 36 日龄稚鱼主食枝角类、桡足类浮游动物的同时亦驯化摄食人工饲料, 采用特制缓沉饲料及时驯化转食再过渡到全部摄食膨化饲料, 驯食 3 周左右即可全部投喂浮性膨化颗粒饲料。当仔、稚、幼鱼发育到食性转化时期, 前后两种饵料必须交叉, 使其有一段重叠时间, 以适应食性的逐渐转变(图 1)。

美洲鲌仔、稚、幼鱼的全长( $L$ , mm)和日龄( $D$ , d)的关系式为  $L=9.325 1e^{0.0261D}$  ( $n=10, R^2=0.974 8$ ) (图 1)。

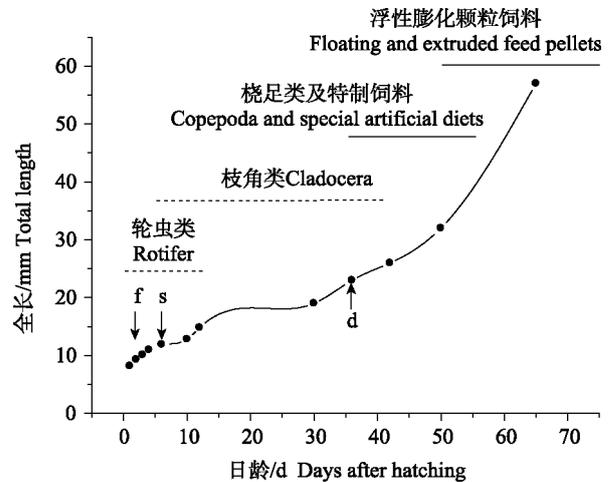


图 1 美洲鲌的生长曲线及人工投饲方法

f:首次投喂; s:鳔出现; d:转食驯养。

Fig.1 Growth (standard length) of american shad larvae and postlarvae during culture and their feeding regimen f: first feeding; s: swim bladder inflation; d: start domesticating.

## 3 讨论

### 3.1 美洲鲌仔、稚、幼鱼的发育特征

总的来说, 美洲鲌仔、稚、幼鱼的发育符合硬骨鱼类发生发育的一般规律, 但由于种的差异性, 其胚后发育又不同于其他鲱科鱼类的特点, 主要表现在以下几个方面:

(1) 美洲鲌初孵仔鱼全长为 6.75 mm, 长于中国鲌(2.75 mm)<sup>[15]</sup>, 卵黄囊大且分布有密集的雪状斑点, 不具油球; 初孵仔鱼的消化道、肛门已分化出现。

(2) 美洲鲌仔鱼发育至第 2~3 天开口, 开口口径为(0.31±0.08) mm, 属开口大口径鱼类, 开口后即可摄食大型轮虫, 此时卵黄囊仍有 1/3 未被吸收, 随着发育卵黄囊被逐渐消化至第 4 天消失, 而中国鲌(*Macrura reevesii*)开口口径为 0.19 mm, 在水温 26~29.5℃下至第 5 天左右被完全吸收<sup>[15]</sup>。

(3) 研究表明, 鳔的形成及充气与鱼类个体的游泳和摄食有着密切的关系, 是仔鱼准备开口摄食的标志之一<sup>[16-17]</sup>。但是, 美洲鲌仔鱼鳔出现

的时间较晚,至第6天才充气,为管鳔,而其出膜后第2~3天开口摄食,此期间美洲鲟仔鱼主要靠狭长呈带状的身体的蛇形摆动来主动摄食的。观察还发现,鳔在夜间充气,而在白天几乎未见仔鱼鳔充气,这与 Anonymous<sup>[18]</sup>认为海鲈仔鱼在低光照强度和黑暗中鳔的充气率最大的研究结果一致; Battaglione 等<sup>[19]</sup>认为光照是影响澳大利亚鲈仔鱼鳔充气的主要因子。

(4) 胚后发育过程中,仔、稚、幼鱼的体色素变化有一定规律,具有种的特点,如孵化后3 d,3条前部带状后部雪花状色素细胞带分布在体侧,从口的下端一直延伸到肛门处,可作为仔鱼阶段种类特征之一;稚鱼阶段美洲鲟臀鳍基部分布着一线状黑色素斑,幼鱼期美洲鲟侧线不发达,鳃盖后缘侧线及侧线上方分布大小不等的5个黑斑,这是其区别于其他鲱科鱼类的稚、幼鱼的显著特征之一。

### 3.2 美洲鲟生长特性及池塘人工饲养

美洲鲟仔幼稚鱼的生长发育与食性转换过程要经历2个危险期和1个关键期。

美洲鲟仔鱼在水温(20±1)°C的条件下,2日龄仔鱼,逐渐建立外源性摄食关系,4日龄仔鱼,个体发育进入晚期仔鱼阶段,仔鱼的全长达到(11.00±1.05) mm,鱼体全长的增长速度达1.06 mm/d,是同属的中国鲟鱼的2.72倍<sup>[18]</sup>。

美洲鲟在4 d内完成前期仔鱼阶段的发育并出现高达1.06 mm/d的全长增长,说明前期仔鱼阶段,仔鱼在视觉、摄食、消化和运动器官发育和全长增长上,自身的营养物质(卵黄)的消耗很大,仔鱼自身营养物质耗尽后,如果不能及时得到外源营养的补充,将出现大量的死亡。因此,在前期仔鱼培育期间,除了严格控制培养水温为(20±1)°C外,在仔鱼开口后、卵黄耗尽前,即仔鱼孵化后第2~3天就应及时投喂经200目筛网过滤的饵料如萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)和前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)等,并保持饵料的密度为5~10 ind/mL,以便仔鱼顺利建立起外源性摄食关系和渡过鱼类生命周期中从内源

性营养向外源性营养转换这一关键的临界期<sup>[20]</sup>,即第一危险期。

当美洲鲟仔鱼发育至全长(11.90±1.32) mm时,进入晚期仔鱼阶段,游泳能力、摄食能力大为增强,轮虫已不足以满足其摄食和能量代谢平衡的需求,而且个体生长发育速度的差异造成个体大小开始分化,是鱼类早期发育阶段又一个容易引起大量死亡的时期,为第二危险期。据报道,如果从仔鱼开始只提供单一大小的活饵料,最终会因仔鱼搜索和捕食饵料生物所消耗的能量超过饵料生物所能补充的能量而危及仔鱼的进一步生长和存活<sup>[21]</sup>。因此,应适时调整饵料生物种类,增投或改投枝角类和桡足类等较大个体的饵料动物,以满足生长发育所需的营养需求。

30日龄时,美洲鲟全长达(19.00±3.05) mm,仔鱼摄食能力已很强,可大量摄食人工投喂的浮游动物,与 Heinrich<sup>[22]</sup>的研究结果一致;喜趋光、集群,在主食浮游动物的同时,亦可驯化摄食人工饲料,若及时驯化则可顺利过渡到全部摄食膨化饲料阶段,转食的成功与否是决定美洲鲟能否进行池塘人工养殖的关键。此外,多年的池塘养殖实验表明,幼鱼期后的美洲鲟喜欢清新水质,如果静水养殖池中浮游植物的过度繁殖容易造成美洲鲟的死亡。此阶段是美洲鲟人工池塘养殖的关键期,是否将美洲鲟仔鱼驯养成水面争食浮性颗粒料,不仅关系到能否加速鱼苗的生长,驯食不到位极易产生“僵苗”或导致死亡。

### 参考文献:

- [1] Whitehead P J P. FAO species catalogue. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Part 1 - Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae[M]. Rome:United Nations Development Programme, 1985: 1-303.
- [2] 杜浩. 美洲鲟(*Alosa sapidissima*)人工孵化、养殖及转运关键技术的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005: 1-62.
- [3] 潘庭双, 侯冠军, 李海洋. 美洲鲟鱼大规格苗种培育技术[J]. 科学养鱼, 2006(1): 13.

- [4] 刘青华, 贾艳菊, 高永利, 等. 美洲鲟鱼养殖的瓶颈和对策[J]. 科学养鱼, 2006(4): 5.
- [5] 张呈祥, 郑金良. 美洲鲟鱼温室越冬技术[J]. 科学养鱼, 2006(4): 25.
- [6] Higgs D M, Plachta D T T, Rollo A K, et al. Development of ultrasound detection in American shad (*Alosa sapidissima*)[J]. J Exp Biol, 2004, 207(1): 155–163.
- [7] Barton C, Marcy J R. Spawning of the American shad, *Alosa sapidissima* in the lower Connecticut River[J]. Chesapeake Sci, 1972, 13(2): 116–119.
- [8] Bilkovic D M, Olney J E, Hershner C H. Spawning of American shad (*Alosa sapidissima*) and striped bass (*Morone saxatilis*) in the Mattaponi and Pamunkey Rivers, Virginia[J]. Fish Bull, 2002, 100(3): 632–640.
- [9] Hendricks M L, Hoopes R I, Arnold D A, et al. Homing of Hatchery-Reared American Shad to the Lehigh River, a Tributary to the Delaware River[J]. North Am J Fish Manag, 2002, 22: 243–248.
- [10] Domermuth R B, Reed R J. Food of Juvenile American Shad, *Alosa sapidissima*, Juvenile Blueback Herring, *Alosa aestivalis*, and Pumpkinseed, *Lepomis gibbosus*, in the Connecticut River below Holyoke Dam, Massachusetts[J]. Estu Coasts, 1980, 3(1): 65–68.
- [11] Chittenden M E. Salinity Tolerance of Young American Shad, (*Alosa sapidissima*)[J]. Chesapeake Sci, 1973, 14(3): 207–210.
- [12] 江阴市申港三鲜养殖有限公司, 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心. 一种无死角流水孵化桶装置: 中国, 200920047876.6[P]. 2010-7-21.
- [13] Haacke C, Hess M, Melzer R R, et al. Fine structure and development of the Retina of the Grenadier anchovy *Coilia nasus* (Engraulidae, Clupeiformes) [J]. Morphol, 2001, 248(1): 41–55.
- [14] Dong Q, Huang C, Tiersch T. Spermatozoal ultrastructure of diploid and tetraploid Pacific oysters[J]. Aquaculture, 2005, 249(1-4): 487–496.
- [15] 邱顺林, 刘琳, 王鸿泰. 鲟鱼的早期发育[J]. 水产学报, 1987, 11(1): 45–52.
- [16] 门强, 雷霖霖, 武云飞. 鳔器官的发育对人工培育鱼苗的影响[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 80–84.
- [17] 马爱军, 雷霖霖, 马英杰, 等. 真鲷仔幼稚鳔发育与分化研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(4): 593–598.
- [18] Anonymous. Bass and bream go commercial[J]. Fish Farmer, 1987, 10(5): 30–32.
- [19] Battaglione S C, Talbot R B. Initial swimbladder inflation in intensively reared Australian Bass larvae, *Macquaria novemaculeata*(Steindler)(Perciformes: Percichthyidae)[J]. Aquaculture, 1990, 86: 431–442.
- [20] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 132–151.
- [21] 殷名称. 鱼类仔鱼期的摄食和生长[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 335–342.
- [22] Heinrich J W. Culture feeding and growth of alewives hatched in the laboratory[J]. Prog Fish-cult, 1981, 43(1): 1–5

## Morphological development and growth of American shad (*Alosa sapidissima*) at larvae, fry and juvenile stages

ZHANG Chengxiang<sup>1,3</sup>, XU Gangchun<sup>2,3</sup>, XU Pao<sup>2,3</sup>, ZHENG Jinliang<sup>3</sup>, GU Ruobo<sup>2,3</sup>

(1. Jiangyin Fishery Technical Extension Station, Jiangyin 214431, China; 2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 3. Yangtze River Rare Fish Conservation Research Center, Jiangyin 214431, China)

**Abstract:** The morphological development of American shad (*Alosa sapidissima*) in their early life cycle was observed and classified into larvae, fry and juvenile stages. The size of young fish during developmental stages was recorded. The larvae were (6.75±0.60) mm in total length at hatching. The feeding activities began at 2 days of age when water temperature was maintained at (20±1)°C, and they exhibited multiple feeding behaviors. Larval American shad finished yolk-sac absorption 4 days after hatching. At this stage, swim bladder, vertebrae and fins presented, and larvae required exogenous food. After 36 days, a few scales occurred at the back of the operculum and on the lateral lines of fish, which indicated that larvae had metamorphosed into fry. Thereafter, fry developed into juveniles after 65 days, and their bodies were mostly covered with scales and their peritoneum completely developed. Understanding the morphological development of these early life stages could contribute greatly to the subsequent successful culture of American shad. Research results indicate that temperature, water quality, and initial feeding strategy are most critical to fish farming of this species. Therefore, the following criteria are recommended: water temperature should be controlled at (20±1)°C during the early culture of this species; larval fish should be fed with rotifers at a density of 5–10 ind/m.L on the second day after hatching; cladocerans and copepods are the most suitable foods for fry of American shad. In addition, we developed a semi-buoyant diet as an additional food supply for the fry. We succeeded in training *A. sapidissima* fry to feed this artificial food for 21 d until they fed commercial products (floating pellets). Weaning of fry from the artificial food assures the success of pond culture of this species. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010,17(6): 1227–1235]

**Key words:** *Alosa sapidissima*; larva; fry; juvenile; morphological development; growth feature

**Corresponding author:** GU Ruobo. E-mail: gurb@ffrc.cn

张呈祥等: 美洲鲥仔、稚、幼鱼的形态发育与生长特征

ZHANG Chengxiang et al: Morphological development and growth of American shad (*Alosa sapidissima*) at larvae, fry and juvenile stages

图版 I 美洲鲥的仔、稚、幼鱼发育

1. 初孵仔鱼; 2. 1日龄仔鱼; 3. 2日龄仔鱼; 4. 3日龄仔鱼; 5. 4日龄仔鱼; 6. 6日龄仔鱼; 7. 10日龄仔鱼; 8. 12日龄仔鱼; 9. 30日龄仔鱼; 10. 36日龄仔鱼; 11. 42日龄稚鱼侧面观; 12. 42日龄稚鱼正面观; 13. 50日龄稚鱼; 14. 65日龄幼鱼侧面观; 15. 65日龄幼鱼正面观

**Plate I Post-embryonic development of *Alosa sapidissima***

1. Newly hatched larvae; 2. larva of 1d post hatching(dph); 3. larva of 2 dph; 4. larva of 3 dph; 5. larva of 4 dph; 6. larva of 6 dph; 7. larva of 10 dph; 8. larva of 12 dph; 9. larva of 30 dph; 10. larva of 36 dph; 11. fry of 42 dph; 12. fry stage; 13. fry of 50 dph; 14. juvenile stage; 15. juvenile of 65 dph.

张呈祥等: 美洲鲈仔、稚、幼鱼的形态发育与生长特征

ZHANG Chengxiang et al: Morphological development and growth of American shad (*Alosa sapidissima*) at larvae, fry and juvenile stages

图版 II 美洲鲈的局部特征

1. 6 日龄仔鱼肠道, 箭头示食物; 2. 12 日龄仔鱼头部, 箭头示鳃丝; 3. 12 日龄仔鱼腹部, 箭头示管鳔; 4. 50 日龄稚鱼梭鳞扫描电镜, 箭头示梭鳞; 5. 50 日龄稚鱼肠道横切, 箭头示纤毛; 6. 65 日龄幼鱼横切, 箭头示侧线。

**Plate II Local character of *Alosa sapidissima***

1. Intestines of 6 d larvae after hatching, arrow showing chyme; 2. Head of 12 d larva after hatching, arrow showing gill; 3. Abdomen of 12 d larva after hatching, arrow showing swim bladder; 4. Abdominal scale of 50 d fry, arrow showing abdominal scale; 5. Intestines of 50 d fry, arrow showing cilia; 6. Lateral line of 65 d juvenile, arrow showing lateral line.