# 美洲鲥的人工繁殖及胚胎发育的研究

徐钢春[1,3]，张呈祥[2,3]，郑金良[3]，顾若波[1,3]

(1. 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心，农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室，江苏 无锡 214081; 2. 江阴市水产指导站，江苏 江阴 214431; 3. 长江珍稀鱼类保护研究中心，江苏 江阴 214431)

**摘要**: 2007~2009 年，利用深井水及设有钢架保温大棚的土池成功进行了美洲鲥(*Alosa sapidissima*)的亲鱼培育与人工繁殖的研究，同时观察了美洲鲥的胚胎发育过程。结果表明: 2 龄美洲鲥在池塘中经专池培育并采用激素+不饱和脂肪酸+维生素 E 投喂、水流刺激等培育措施使雌雄鱼的性腺成熟率达 60%~80%。性腺成熟的亲鱼经生态调控促使产卵或人工催产繁殖，生态调控促使产卵中水温保持在 16~23℃，池水始终保持流动状态，50 对美洲鲥亲鱼自 4 月中下旬至 5 月底陆续产卵，共收集鱼卵 9.0 万粒，平均受精率 10%，孵化率 70%~80%; 人工催产试验中，采用 LHRH-$A_2$+鱼类催产助剂、LHRH-$A_2$+HCG+DOM+鱼类催产助剂和 LHRH-$A_2$+HCG+鱼类催产助剂 3 种催产剂配伍，背鳍基部两针注射法，催产率 20%~100%，获卵 10.57 万粒，受精率 0~21.5%，孵化率 0~70%。美洲鲥受精卵呈卵圆形，卵膜径为(4.03±0.25)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 30 个具体发育时期，在水温(20±1)℃下，历时约 71 h40 min 完成整个胚胎发育过程。

**关键词**: 美洲鲥(*Alosa sapidissima*); 人工繁殖; 胚胎发育

**中图分类号**: S961　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2012)07-0089-08

美洲鲥(*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到美国的佛罗里达州河流和海洋中[1]。美洲鲥系生殖洄游鱼类，丰腴肥硕，肉鲜味美，具很高的经济价值，被世界各地广泛引种。

美洲鲥因与中国鲥(*Macrura reevesii*)的外形相似、肉质相媲美，在长江鲥鱼濒临灭绝的情况下，美洲鲥养殖在中国有广阔的市场前景。中国自 2003 年从美国密西西比河引种受精卵孵化、养殖，并对美洲鲥的受精卵孵化、苗种培育、运输和越冬等方面进行了研究[2-7]; 虽然国外有关美洲鲥的研究报道已有不少[8-11]，但尚无池塘人工培育亲鱼进行繁殖成功的报道。国内靠引进受精卵孵化鱼苗的方式，已不能满足规模化人工养殖的需要。因此，要发展人工养殖，必须突破美洲鲥的人工繁殖技术。2007 年 6 月，作者从美国引进美洲鲥受精卵孵化、培育并利用地下水及钢架保温大棚的土池成功进行了的亲鱼培育，于 2009 年 5 月对性腺成熟良好的 2 龄美洲鲥采用激素催熟、流水刺激促产的措施进行人工繁殖并取得了成功。作者通过对美洲鲥的人工繁殖、生态控制产卵及早期发育的研究，旨在为美洲鲥的规模化育苗生产提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 亲鱼培育条件

试验用养殖池塘为东西向的长方形的土池，面积为 4 000 $m^2$，砂泥底质，水深 4 m，外设钢架保温结构(图 1)，培育用水为深井水。

### 1.2 亲鱼来源与培育

试验所用美洲鲥为从美国密西西比河引种的受精卵孵化、池塘养成的 2 冬龄商品鱼。选择体质量 900~1 300 g、体形正常、无伤无病的个体留作后备亲鱼。亲鱼培育在专池内进行，放养量为 3~5 尾/$m^3$; 培育过程中，投喂膨化配合颗粒饲料(海水鱼类配合

收稿日期: 2011-02-09，修回日期: 2011-03-09

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD26B05); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心)资助项目(2009JBFA01)

作者简介: 徐钢春，(1979-)，男，福建永定人，助理研究员，主要从事鱼类繁殖生理生态学研究及养殖技术工作，电话: 0510-85559775, E-mail: xugc@ffrc.cn; 顾若波，通信作者，研究员, E-mail: gurb@ffrc.cn

饲料，常熟泉兴营养添加剂有限公司)并拌不饱和脂肪酸 2.5%、维生素 E0.3%和 0.075‰的激素(LHRH-$A_2$，宁波第二激素厂)，一般日投喂量为亲鱼总体质量的 2%~5%，分两次投喂(7:00、16:00)。

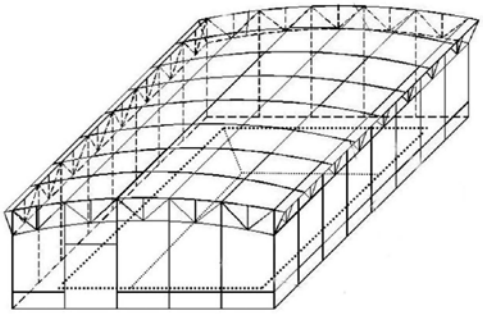

图 1　美洲鲥养殖池示意图

Fig. 1　The schematic diagram of *Alosa sapidissima* cultivation pond

## 1.3　生态控制产卵

在繁殖季节前 30 d，选择已达性成熟的亲鱼，以 l : 1 比例配对，放养于长 30 m×15 m×3 m 的水泥池，水泥池底部呈扁漏斗形便于集卵，放养亲鱼 50 对。深井水培育，池水始终保持 4~7 $m^3$/h 的流动状态，培育池微孔充气，水温保持在 16~23℃，保持昼夜规律且白天光照强度保持在 50~100 lx。发现美洲鲥亲鱼相互追逐或顶水形成水花时，加大水流至 10~15 $m^3$/h 并及时集卵。

## 1.4　人工催产、产卵及孵化

2009 年 5 月 8 日镜检雄鱼精子有活力、解剖雌鱼发现性腺发育已达Ⅳ期晚期(图 2)，即选择体质健壮、轮廓明显的美洲鲥亲鱼进行药物催产，雌雄配比为 1 : 1，催产药物为 LHRH-A2(促黄体素释放激素)、HCG(促绒毛膜性腺激素)、DOM(马来地欧酮)和鱼类催产助剂(主要成分：左旋甲状腺素钠(Thyroxine Sodium, T4)、地塞米松(Dexamethasone)，宁波第二激素厂)。采用背鳍基部两针注射法，催产药物配伍组别、催产剂量及针距见表 1。注射催产药物后的亲鱼放入暂养池(长×宽×高分别为 5.0 m×4.0 m×1.5 m 的室内水泥池)，效应时间 12~16 h，人工干法授精获得受精卵。受精卵置于一种特制流水孵化桶装置孵化[12]。孵化用水为深井水，曝气 3 d 以上。每天用便携式多参数水质分析仪(Hydrolab Quanta)监测水质，水温(20±1) ℃，溶氧＞6.0 mg/L, pH 为(7.8±0.3)。

图 2　美洲鲥雌性个体卵巢Ⅳ期晚期性腺发育

Fig. 2　The development of *Alosa sapidissima* ovary at late IV phase

## 1.5　取样与观察

观察胚胎发育时，每次随机抽取 20 枚受精卵，在上海光学牌 XTL-3400 型解剖镜下，每隔一定时间对胚胎发育情况进行观察和运用 Digital camera for

**表 1　两针注射法的催产药物及剂量**

**Tab. 1　Oxytotins and their dosages of two needle injections**

| 配伍组别 | 性别 | 第一针 | | | | 第二针 | | | | 两针间隔时间(h) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | LHRH-$A_2$ (μg/kg) | DOM (mg/kg) | HCG (IU/kg) | 催产助剂 (mg/kg) | LHRH-$A_2$ (μg/kg) | DOM (mg/kg) | HCG (IU/kg) | 催产助剂 (mg/kg) | |
| Ⅰ | ♀ | 20 | 0 | 0 | 8 | 80 | 0 | 0 | 20 | 16 |
| | ♂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 15 | 0 |
| Ⅱ | ♀ | 10 | 3 | 0 | 8 | 50 | 8 | 0 | 20 | 12 |
| | ♂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 4 | 0 | 15 | 0 |
| Ⅲ | ♀ | 10 | 0 | 200 | 8 | 50 | 0 | 800 | 20 | 12 |
| | ♂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 0 | 400 | 15 | 0 |

microscope300 成像系统拍照测量，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 80 mg/L 左右的甲磺酸三卡因(MS-222)麻醉后观察。

## 2 结果

### 2.1 产卵效果

生态控制产卵组中，发现美洲鲥亲鱼互相追逐或者有顶水现象时，加大水流量，达 10~15 $m^3$/h，50 对美洲鲥亲鱼自 4 月中下旬至 5 月底陆续产卵，共收集鱼卵 9.0 万粒，平均受精率 10%，孵化率 70%~80%。

从 4 月 10 日起，共催产美洲鲥亲鱼 4 批，77 对亲鱼，催产率 20%~100%，获卵 10.57 万粒，受精率 0~21.5%，孵化率 0~70%，具体见表 2。从试验设计的 3 种催产药物配伍(LHRH-$A_2$+鱼类催产助剂、LHRH-$A_2$+ DOM+鱼类催产助剂、LHRH-$A_2$+ HCG+鱼类催产助剂)的催产效果来看，LHRH-$A_2$+ DOM+鱼类催产助剂的药物组合在产卵率、受精率、孵化率略好于其他两种组合；但从同一药物配伍的不同批次催产效果来看，催产水温(即合适的催产时间)为 14~19℃是比较适宜的人工繁殖水温。

表 2 美洲鲥人工繁殖情况表

**Tab. 2 Data of artificial propagation of American Shad**

| 催产日期 | 配伍组别 | 水温(℃) | 配组(对) | 效应时间(h) | 产卵量(万粒) | 产卵率(%) | 受精率(%) | 孵化率(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2009-04-10 | Ⅰ | 10~14 | 5 | 16 | 0.32 | 20.0 | 0 | 0 |
| 2009-04-25 | | 14~19 | 8 | 14 | 0.85 | 50.0 | 15.8 | 70.0 |
| 2009-05-10 | | 18~23 | 7 | 13 | 1.25 | 85.7 | 11.2 | 65.0 |
| 2009-05-25 | | 25~30 | 6 | 6~10 | 1.00 | 100 | 1.8 | 68.0 |
| 2009-04-10 | Ⅱ | 10~14 | 6 | 15 | 0.40 | 16.7 | 0 | 0 |
| 2009-04-25 | | 14~19 | 10 | 12 | 1.50 | 80.0 | 21.5 | 65.0 |
| 2009-05-10 | | 18~23 | 7 | 11 | 1.30 | 85.7 | 12.0 | 60.0 |
| 2009-05-25 | | 25~30 | 5 | 3~8 | 1.10 | 100 | 0 | 0 |
| 2009-04-10 | Ⅲ | 10~14 | 5 | 15 | 0.18 | 20.0 | 0 | 0 |
| 2009-04-25 | | 14~19 | 7 | 13 | 0.72 | 42.9 | 10.6 | 63.0 |
| 2009-05-10 | | 18~23 | 6 | 12 | 1.05 | 50.0 | 18.6 | 60.0 |
| 2009-05-25 | | 25~30 | 5 | 4~8 | 0.90 | 80.0 | 0 | 0 |

### 2.2 成熟卵

美洲鲥成熟卵卵圆形，透明显浅黄色，卵径(3.09±0.08)mm。卵遇水受精后，卵膜同时吸水膨胀，约 20 min 膨胀完毕，呈圆球形，卵膜径为(4.03±0.25)mm，不具油球，属于沉性卵。

### 2.3 胚胎发育(图 3)

根据胚胎的外形与内部主要特征，将胚胎发育分为 30 个期(表 3)，为了解其生理意义可概括为 7 个生理阶段，历时约 71 h40 min 完成整个胚胎发育过程。

#### 2.3.1 受精卵阶段(图 3-1~3-2)

美洲鲥的卵受精后约 40 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。另一端朝下为胚胎的植物极卵黄。

#### 2.3.2 卵裂阶段(图 3-3~3-9)

受精后 1 h30 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，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 h25 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 4 h20 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。

#### 2.3.3 囊胚期阶段(图 3-10~3-11)

受精后 7 h20 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 2 h10 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。

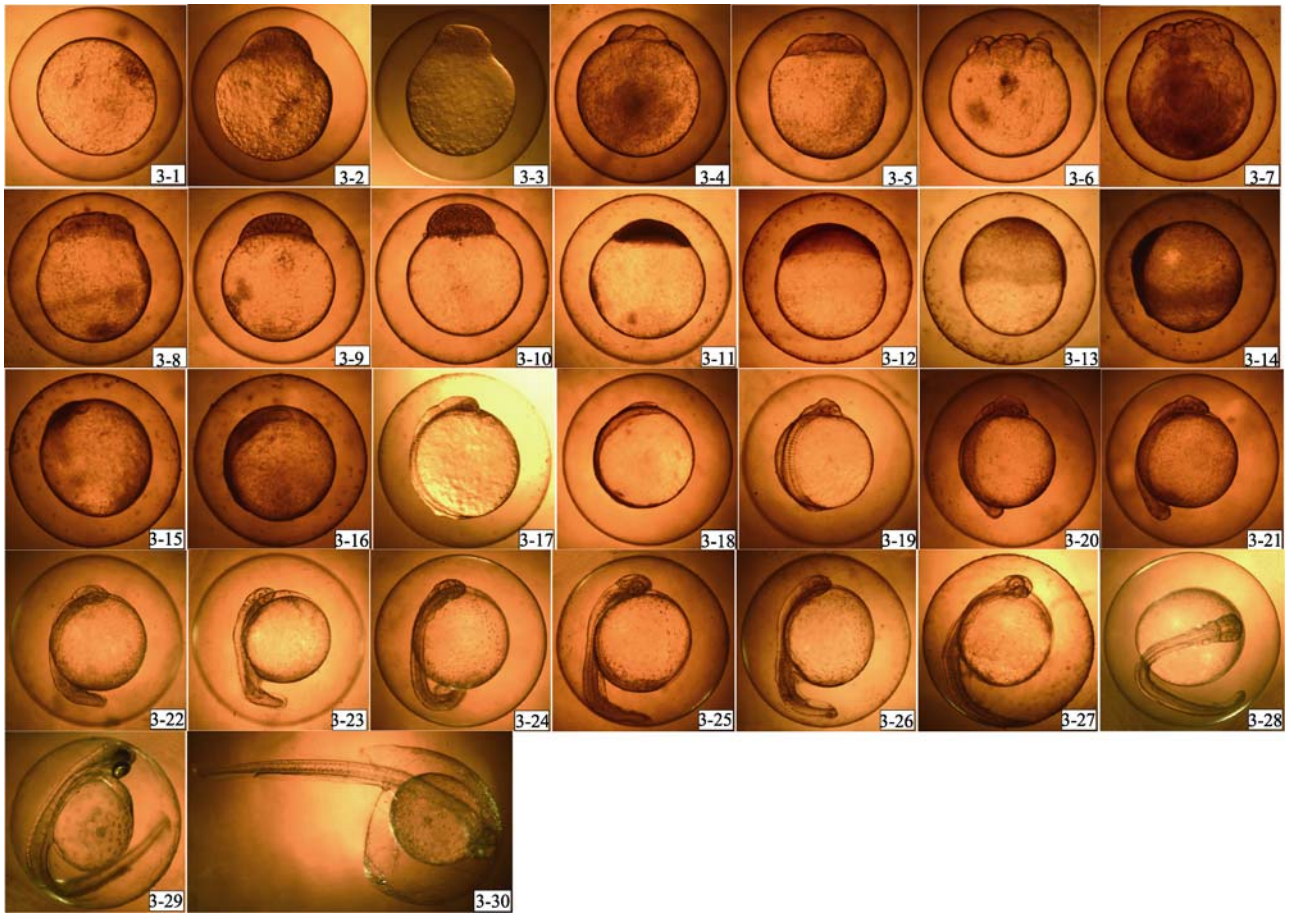


图 3　美洲鲥的胚胎发育

Fig. 3　Embryonic development of *Alosa sapidissima*

3-1.受精卵; 3-2.胚胎隆起期; 3-3.2 细胞期; 3-4.4 细胞期; 3-5.8 细胞期; 3-6.16 细胞期; 3-7.32 细胞期; 3-8.64 细胞期; 3-9.桑椹期; 3-10.高囊胚期; 3-11.低囊胚期; 3-12.原肠早期; 3-13.原肠中期; 3-14.原肠后期; 3-15.神经胚期; 3-16..胚体形成期; 3-17.肌节出现期; 3-18.眼囊期; 3-19.嗅板期; 3-20.尾芽期; 3-21.晶体出现期; 3-22.尾鳍出现期;3-23.耳囊期; 3-24.心跳期; 3-25.肌肉效应期; 3-26.肛门出现期; 3-27.耳石出现期; 3-28.膜内转动期; 3-29.眼球色素出现期; 3-30.出膜期

3-1.fertilized egg; 3-2.blastodisc forming; 3-3.2 cell stage; 3-4. 4 cell stage; 3-5. 8 cell stage; 3-6. 16 cell stage; 3-7. 32 cell stage; 3-8. 64 cell stage; 3-9.morula; 3-10.high blastula; 3-11.low blastula; 3-12.Early gastrula; 3-13. mid gastrula; 3-14.late gastrula; 3-15. neural embryo formation; 3-16. embryo body stage; 3-17. appearance of myomere; 3-18.optic capsule stage; 3-19.olfactory blank appearance; 3-20.tail-bud stage; 3-21.crystal stage; 3-22.rudiment of tail fin; 3-23.otocyst stage; 3-24.heart-beating stage; 3-25.muscular contraction; 3-26. appearance of anus; 3-27. appearance of statolith; 3-28. embryos running; 3-29.appearance of eyeball pigment; 3-30. embryos hatching

**2.3.4　原肠期阶段(图 3-12~3-14)**

受精后 9 h30 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 10 h32 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 12 h20 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。

**2.3.5　神经胚期阶段(图 3-15~3-16)**

原肠期下包过程中细胞数量不断增加，受精后 13 h10 min，植物极由胚层包裹形成圆孔—胚孔，孔中可见卵黄栓。此时胚体形状已明显，附着于卵黄囊的一侧，头部两侧膨大，胚体尾部还未完全收缩成型，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 15 h40 min，卵黄最终被全部包起，为胚孔闭合期，此时胚体轮廓逐渐清晰，亦即胚体形成期。

**2.3.6　器官形成期阶段(图 3-17~3-29)**

受精后 17 h45 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

表 3　美洲鲥胚胎发育过程

**Tab. 3　Embryonic development schedule of *Alosa sapidissima*** (20±1) ℃

| 发育期 | 受精后时间 | 图序 |
|---|---|---|
| 受精卵吸水膨胀 | 20 min | 3-1 |
| 胚盘隆起期 | 40 min | 3-2 |
| 2 细胞期 | 1 h30 min | 3-3 |
| 4 细胞期 | 2 h | 3-4 |
| 8 细胞期 | 2 h25 min | 3-5 |
| 16 细胞期 | 2 h50 min | 3-6 |
| 32 细胞期 | 3 h15 min | 3-7 |
| 64 细胞期 | 3 h45 min | 3-8 |
| 桑椹期 | 4 h20 min | 3-9 |
| 高囊胚期 | 5 h40 min | 3-10 |
| 低囊胚期 | 7 h20 min | 3-11 |
| 原肠早期 | 9 h30 min | 3-12 |
| 原肠中期 | 10 h32 min | 3-13 |
| 原肠晚期 | 12 h20 min | 3-14 |
| 神经胚期 | 13 h52 min | 3-15 |
| 胚体形成期 | 15 h40 min | 3-16 |
| 肌节出现期 | 17 h45 min | 3-17 |
| 眼囊期 | 19 h24 min | 3-18 |
| 嗅板期 | 21 h10 min | 3-19 |
| 尾芽期 | 23 h22 min | 3-20 |
| 晶体出现期 | 26 h45 min | 3-21 |
| 尾鳍出现期 | 30 h50 min | 3-22 |
| 耳囊出现期 | 34 h10 min | 3-23 |
| 心跳期 | 40 h22 min | 3-24 |
| 肌肉效应期 | 48 h10 min | 3-25 |
| 肛门出现期 | 51 h45 min | 3-26 |
| 耳石出现期 | 53 h55 min | 3-27 |
| 膜内转动期 | 62 h10 min | 3-28 |
| 眼球色素出现 | 68 h20 min | 3-29 |
| 出膜期 | 71 h40 min | 3-30 |

膜状结构把胚体和卵黄囊隔开，形成尾芽；受精后 26 h45 min，眼囊逐渐凹陷呈杯状，眼杯中可见晶体；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，即尾鳍原基，在脊索前端上方出现小泡状耳囊；受精后 40 h20 min，脊索非常清晰，肌节也增至 23 对，心脏位于头部的前下方呈葫芦状并开始搏动，心搏率 100~130 次/min。受精后 48 h10 min，胚体出现微弱的间歇性抽动，即肌肉效应期。此后，直肠、耳石出现，直肠位于尾部的后段呈管状并可见椭圆形耳囊里左右对称的 2 对发亮的钙质耳石，同时在胚体头部背面 2 个耳囊中间出现椭圆形板状脑泡，脑还未分化。受精后 62 h10 min，整个胚胎在卵膜内不停转动；受精后 68 h20 min，眼球腹部内侧出现黑褐色的色素。

**2.3.7　孵出期阶段(图 3-30)**

出膜前期，尾继续增长，鳍褶变宽，此时皮肤褶从背部连到尾部；受精后约 69 h50 min，仔鱼开始出膜，出膜前仔鱼剧烈颤动，以头部或尾部先出膜。受精后 71 h40 min, 50%仔鱼出膜。

## 3　讨论

### 3.1　美洲鲥亲鱼性腺的成熟度、卵质量对受精和胚胎发育的影响

美洲鲥属典型的溯河产卵洄游性鱼类，水温是限制美洲鲥产卵的主要生态环境因子之一，在天然条件下美洲鲥最适产卵水温为 12~17℃[13]。从试验的结果来看，适宜的产卵水温为 14~19℃，与自然产卵场水温相近[13]、也与杜浩[6]的报道一致，这也是自然选择的结果，物种繁殖选择适当的水温产卵以提高后代成活率，达到繁殖最高效率[14]。

朱洗等[15]在研究金鱼(*Carassius auratus*)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、鳊鱼(*Megalobrama terminalis*)的不同成熟程度卵的受精和胚胎发育的关系时，将不同成熟的卵分为 3 种类型：不够成熟、适时成熟、过分成熟，并指出只有在适时成熟时期得到受精，胚胎才能有正常的发育；而适时成熟期持续的时间长短则与水温息息相关。准确地把握美洲鲥卵子的适时成熟期进行催产是人工繁殖的关键。本实验中，由于美洲鲥对人工操作应激强烈，易产生“紧张综合症”，发情特征不明显，难以把握最佳授精时间且易形成排卵、产卵的不协调，排出的卵得不到及时的受精，也就使得受精率极其低下。

2008 年 5 月份下旬，作者发现部分雌鱼腹部软且轮廓明显，轻压即有卵子流出，不需注射催产剂，但受精率几乎为零；经组织切片分析发现卵子内含物少，营养物质积累不够。2008 年秋季作者对美洲鲥进行了营养强化培育，采用营养与激素双调控的措施；实践证明，不管用激素人工催产还是生态控制都能取得繁殖的成功。这与张根玉等[16]的观点一致，他认为在自然界中挑选高质量的亲鱼进行强化培育是解决人工繁殖的关键；也正如王吉桥[17]所说“亲鱼是鱼类人工繁殖的物质基础，性腺发育是人工繁殖的关键，而亲鱼培育则是关键中的关键。”同样，张胜利[18]也采用营养与激素双调控的措施成功

解决双斑东方鲀的全人工繁殖。

### 3.2 美洲鲥人工催产和生态控制产卵特性

鱼类人工催产时催产剂的选择一般根据从脑水平、垂体水平和性腺水平 3 个方面进行诱导[19]，设计并实践出最优催产剂配伍；其次，再根据催产亲鱼及其性腺成熟系数摸索催产剂量，如此，才能使催产亲鱼血清中鱼类促性腺激素(GTH)含量达到一定的数值，实现排卵和产卵。而对于美洲鲥鱼而言，人工繁殖步骤中造成应激因素的避免也是成功繁殖的因素；由于过度的应激反应容易引起卵子的排卵和产卵过程不协调，造成滞产或导致亲鱼死亡。本研究中，LHRH-$A_2$+ DOM+鱼类催产助剂的药物组合在诱导产卵及产卵率、受精率、孵化率均有更好的效果；特别要注意的是，繁殖中催产剂量的比鲤科鱼类要大的多[17]，这是否与洄游性鱼类须更多的激素刺激有关有待于进一步研究。

在本试验中，作者把在美国哥伦比亚天然条件下人工授精获得的美洲鲥受精卵进行运输至江苏省江阴市，再进行孵化、培育，并利用地下水及钢架保温大棚的土池成功进行了养殖，将所得后代养殖、培育至性成熟，再进行人工繁殖；首次在国内实现了美洲鲥的全人工繁殖。此外，由于人工繁殖中的操作对美洲鲥造成应激反应而使得人工繁殖效率降低、成本升高，作者还采用水温、水流等生态环境因子的适当控制，促使亲鱼自行在产卵池中产卵。这在尖塘鳢 (*Oxyeleotris marmoratus*)[20]、松江鲈鱼 (*Trachidermus fasciatus*)[21]等鱼类中也有类似情况。本研究中，生态控制产卵的平均受精率为 10%，孵化率为 70%~80%，控制水温在 14~19℃并在发情时加大水流这方法控制产卵效果更好。

从美洲鲥繁殖特性可以看出，合适的催产剂配伍和生态环境因子中水温、水流等均可诱导鱼类促性腺激素升高并实现排卵、产卵。

### 3.3 美洲鲥胚胎发育特点

美洲鲥胚胎发育过程多与硬骨鱼类相似，卵裂为不完全的盘状卵裂，但心脏搏动的时间比肌肉效应早，这点与星斑裸颊鲷(*Lethrinus nebulosus*)相同[22]，而与中国鲥鱼等许多其他的硬骨鱼类不同，后者一般先有肌肉效应，再产生心跳期[23-28]。

美洲鲥因与中国鲥鱼外形、肉质极其相似而深受消费者青睐，现将两者的胚胎发育作一比较，结果见表 4。

表 4 美洲鲥和中国鲥鱼胚胎、初孵仔鱼的比较

**Tab. 4 Comparison of *Alosa sapidissima* embryonic and larval with *Macrura reevesii***

| 胚胎发育特征 | 美洲鲥 | 中国鲥鱼[23,24] |
|---|---|---|
| 孵化水温 | 20±1 ℃ | 26.5~27℃ |
| 卵的性质 | 沉性 | 半漂浮性 |
| 卵色 | 浅黄色 | 透明无色 |
| 成熟卵卵径 | 2.99~3.18 mm | 0.69~0.95 mm |
| 膨胀后卵径 | 3.59~4.16 mm | 1.37~2.20 mm |
| 油球 | 无 | 有 |
| 卵黄囊 | 有 | 有 |
| 初孵仔鱼全长 | 6.75 mm | 2.75 mm |
| 孵化时间 | 71 h40 min | 17 h |

人工孵化时，成熟未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；而且心脏跳动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，要求无死角。

美洲鲥鱼仔鱼在脱膜孵出之前，胚体环卵接近 1 周。在出膜前的几分钟内肌肉收缩频率明显加快，收缩幅度也有所增加。脱膜孵化的速度非常快，基本上都在几秒钟内就可以完成，而且基本都是尾部先出膜，膜前仔鱼先将卵膜溶出一个孔，然后通过尾部的强有力的摆动撕破卵膜从而弹出，此时仔鱼活力不够常有卡住而不能出膜的危险；少部分是头先出膜，而处于出膜前期眼球色素已出现而不出膜的卵，则可采取“敲桶震荡”法，利用其极其敏感声波感觉[29]刺激其出膜。

参考文献:

[1] Whitehead P J P. FAO Species Catalogue[M]. Rome: United Nations Development Programme, 1985. 1-303.

[2] DB32/T 1317-2008, 美洲鲥鱼受精卵孵化技术规程[S].

[3] 杜 浩. 美洲鲥(*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. 15-22.

[4] 董岩, 章秋虎. 美洲鲥鱼孵化驯养和人工育苗关键技术[J]. 科学养鱼, 2009, 6: 9-10.

[5] 刘慧中, 张呈祥. 美洲鲥鱼苗种培育技术[J]. 科学养

鱼, 2004, 6: 8.

[6] 杜 浩, 危起伟, 甘 芳, 等. 苯唑卡因对美洲鲥运输应激的缓解作用研究[J].中国水产科学, 2006, 13(5): 787-793.

[7] 张呈祥, 郑金良. 美洲鲥鱼温室越冬养殖技术[J]. 科学养鱼, 2006, 4: 24-25.

[8] 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]. Estuaries and Coasts,1980,3(1):65-68.

[9] Chittenden M E. Salinity tolerance of young American Shad, *Alosa sapidissima*[J]. Chesapeake Science, 1973, 14(3): 207-210.

[10] 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]. Fishery Bulletin, 2002, 100(3): 632-640.

[11] Hendricks M L, Hoopes R l, Arnold D A, et al.Homing of hatchery-reared American shad to the Lehigh River, a tributary to the Delaware River) [J]. North American Journal of Fisheries Management, 2002, 22: 243-248.

[12] 江阴市申港三鲜养殖有限公司, 中国水产科学院淡水渔业研究中心. 一种无死角流水孵化桶装置[P]. 中国专利: ZL200920047876.6. 2009-8-21.

[13] Stevens D E, Miller L W. Distribution of sturgeon larvae in the Sacramento-San Joaquin River system[J]. California Fish and Game, 1970, 56(2): 80-86.

[14] 刘鉴毅, 章龙珍, 庄平, 等. 点篮子鱼人工繁育技术研究[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 73-81.

[15] 朱洗. 金鱼、鲤、鳊的不同成熟程度卵球的受精和胚胎发育的关系[J]. 实验生物学报, 1960, 7(12): 47-58.

[16] 张根玉, 朱雅珠, 张海明, 等. 美国鲥鱼人工繁殖技术研究[J]. 水产科技情报, 2008, 35(5): 221-223.

[17] 王吉桥, 赵兴文. 鱼类增养殖学[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2000, 76-100.

[18] 张胜利. 双斑东方鲀的全人工繁殖试验[J]. 海洋渔业, 2004, 26(2): 122-125.

[19] 徐钢春. 刀鲚(*Coilia nasus*)性腺发育、人工繁殖及早期生活史的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010. 1-14.

[20] 陈永乐, 刘毅辉, 朱新平, 等. 尖塘鳢的全人工繁殖及其胚胎发育[J]. 水产学报, 2005,29(6): 769-775.

[21] 王金秋, 潘连德, 梁天红, 等. 松江鲈鱼(*Trachidermus fasciatus*)胚胎发育的初步观察[J]. 复旦学报(自然科学版), 2004, 43(2): 250-254.

[22] 舒 琥, 谭枫野, 李彩兰, 等. 星斑裸颊鲷胚胎及卵黄囊期仔鱼发育研究[J]. 海洋科学, 2005, 19(10): 11-18.

[23] 邱顺林, 刘琳, 王鸿泰. 鲥鱼的早期发育[J]. 水产学报, 1987, 11(1): 45-52.

[24] 陆桂, 钟展烈, 赵长春, 等.钱塘江鲥鱼的自然繁殖及人工繁殖[J]. 上海水产学院学报, 1964, 1: 1-28.

[25] Wei G, Huang L, Chen Y, et al. Observation on the embryonic development of *Pseudobagrus nitidus*[J]. Journal of Southwest China Normal University(National Science), 2002, 27(4): 467-571.

[26] 王开顺, 张志峰, 康庆浩, 等. 圆斑星鲽胚胎及仔鱼发育的观察[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 451-456.

[27] 张海发, 刘晓春, 刘付永忠, 等. 斜带石斑鱼胚胎及仔稚幼鱼形态发育[J]. 中国水产科学, 2006, 13(5): 689-698.

[28] 顾若波, 徐钢春, 闻海波, 等. 似刺鳊鮈的胚胎及胚后发育[J]. 中国水产科学 2008, 15(3): 414-423.

[29] Higgs D M, Plachta D T, Rollo A K, et al. Development of ultrasound detection in American shad (*Alosa sapidissima*)[J]. The Journal of Experimental Biology, 2004, 207: 155-163.

# Artificial propagation and embryonic development of American Shad, *Alosa sapidissima*

XU Gang-chun[1,3], ZHANG Cheng-xiang[2,3], ZHENG Jin-liang[3], GU Ruo-bo[1,3]

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China; 2. Spread Station of Aquiculture Technology of Jiangyin, Jiangyin 214431, China; 3. Research Center for the Yangtze River Rare Fish Conservation, Jiangyin 214431, China)

**Received:** Feb., 9, 2011
**Key words:** *Alosa sapidissima*; artificial propagation; embryo development

**Abstract:** From 2007 to 2009, preliminary success was achieved in *Alosa sapidissima* artificial breeding and reproduction by using phreatic water and earthen ponds with arch-steel shelters. Here we describe the complete embryonic development of *A. sapidissima* in detail. The results showed that the maturation rate of gonad in two-year-old male and female *A. sapidissima* could reached 60%~80% by feeding of hormone, unsaturated fatty acid and vitamin E as well as water flow stimulation in special rearing ponds. The reproduction of sexually mature fish could be conducted by ecological control or artificial insemination. The temperature of continuous-flow water was maintained at 16~23 °C under ecological condition. From the middle ten days of April to the last ten-day period of May, a total of 90 000 fish eggs were harvested from 50 fish with the average fertility rate of 10% and the hatching rate of 70%~80%. Additionally, sexually mature fish were artificially induced to release gameters by intramuscular injection of LHRH-A2 and induced hormone or LHRH-A2, HCG, DOM, and induced hormone, or LHRH-A2, HCG and induced hormone. A total of 105 700 eggs were obtained, and the fertility rate and hatching rate were 0~21.5% and 0~70%, respectively. Fully mature eggs were perfectly spherical and egg diameter was 4.03±0.25 mm. In the present study, embryonic development can be divided into seven periods and thirty stages. The incubation period for Alosa sapidissima was 71 h and 40 min at a water temperature of 20ºC. ± 1ºC.

（本文编辑: 谭雪静）