

# Observation of Embryonic Development of *Brachymystax lenok*

Likun Zhang, Xiaotian Gao, Zhong Fu, Li Chen, Xuelian Ren, Guohua Xiao\*

Hebei Ocean and Fisheries Science Research Institute, Qinhuangdao Hebei  
Email: \*ywxgh@163.com

Received: Aug. 15<sup>th</sup>, 2017; accepted: Aug. 29<sup>th</sup>, 2017; published: Sep. 11<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

The embryonic development of *Brachymystax lenok* was observed under the condition of natural temperature incubation. It was divided into six stages including fertilized egg, cell division, blastula, gastrula, neurula, organogenesis, and twenty-six developmental phases, whose characteristics were described in detail. Under the conditions water temperature 4.4°C~12.5°C and pH 6.8~7.0 and DO 8.1~8.5 mg/L and illumination intensity 500~800 Lx, the larvae hatched 633 hours after fertilization, the cumulative temperature of embryonic development was 206.33°C·d.

## Keywords

Brachymystax Lenok, Embryonic Development, Accumulative Temperature

---

## 细鳞鲑胚胎发育观察

张立坤, 高晓田, 付仲, 陈力, 任雪莲, 肖国华\*

河北省海洋与水产科学研究院, 河北 秦皇岛  
Email: \*ywxgh@163.com

收稿日期: 2017年8月15日; 录用日期: 2017年8月29日; 发布日期: 2017年9月11日

---

## 摘要

本研究观察了自然水温孵化条件下, 细鳞鲑的胚胎发育过程。细鳞鲑胚胎发育要经过受精卵、卵裂、囊胚、原肠、神经胚和器官形成等6个发育阶段, 26个发育时期, 详细描述了各个发育时期的胚胎发育特征。水温4.4°C~12.5°C、pH值6.8~7.0、溶解氧8.1~8.5 mg/L、光照强度500~800 Lx的孵化条件下, 细鳞鲑受精卵经过633 h破膜, 积温206.33°C·d。

---

\*通讯作者。

## 关键词

细鳞鲑, 胚胎发育, 积温

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)是一种名贵的陆封型冷水性鱼类,也是一种繁殖狭温性鱼类[1]。近年来由于自然和人为因素的双重影响,野生鱼类生态环境日趋恶化,细鳞鲑野生鱼类资源已到了濒临枯竭的边缘。为了拯救这一物种免于灭绝,1988年被列入国家 II 级野生保护动物[2]。2007年河北塞罕坝被批准为国家级自然保护区,河北省加大了细鳞鲑资源保护力度及人工增殖放流规模,另一方面细鳞鲑的人工养殖也在悄然兴起。鉴于此,河北省海洋与水产科学研究院自2012年进行了“细鳞鲑规模化人工繁育及产业化技术研究”项目,对细鳞鲑亲鱼强化培育、亲鱼促熟催产、受精卵孵化、系统发育规律、苗种培育、成鱼养殖和病害防治等关键技术进行了系统的研究。本文,详细描述了细鳞鲑胚胎发育全过程,统计出胚胎发育整个过程所需的积温,讨论了环境条件尤其是水温对胚胎发育的影响,充实了细鳞鲑生物学基础资料,为细鳞鲑规模化苗种培育提供理论参考。

## 2. 材料与方 法

### 2.1. 材料来源

细鳞鲑亲鱼来自于吉林延边州国家级水产种质自然保护区,经过一年的驯养和强化培育,3~5龄的亲鱼体重达到1.5~5.0 kg。2013年3月下旬,在青龙满族自治县塔庄冷水鱼养殖科技示范园进行了细鳞鲑人工催产。在水温稳定在6℃时,采用宁波激素二厂生产的渔用激素LRH-A<sub>2</sub>和HCG进行催产,第一针只注射LRH-A<sub>2</sub>,雌性亲鱼2~4 μg/kg鱼体重,雄鱼注射剂量减半或不注射;一周后,注射第二针,为LRH-A<sub>2</sub>和HCG两种激素的混合物,雌性亲鱼注射2~4 μg/kg鱼体重的LRH-A<sub>2</sub>和800~1000单位/kg鱼体重的HCG,雄鱼注射剂量减半或不注射。自注射第一针激素开始,每隔4~6天捕捞亲鱼检查其性腺发育,从中挑选出发育成熟的雌雄亲鱼移入产卵室待产。细鳞鲑人工授精方法一般采用干法授精,一条雌性亲鱼配2~4条成熟的雄性亲鱼。随即将采集到的受精卵作为观察对象,进行细鳞鲑胚胎发育规律研究。

### 2.2. 试验方法

#### 2.2.1. 样品采集与观察

每天用解剖镜(1~5×10倍)进行胚胎活体观察,采用OPTPro成像软件将具有各发育时期典型特征胚胎拍摄成像。每批次观察的受精卵数量不少于20粒。自受精起0~12 h内,每隔0.5 h取样观察一次;12~48 h,每隔1 h取样观察一次;48~84 h,每隔2 h取样观察一次;84 h以后,每隔6 h各取样一次。孵化过程中每隔2小时记录孵化水温,以便精确计算积温。

#### 2.2.2. 孵化条件

孵化水源为山泉水,通过引水管道直接流入孵化缸,孵化缸入水口加装过滤棉网袋,滤除水中杂质。孵化箱悬于孵化缸中,不间断流水、充气孵化。孵化期间各因子的变化范围:自然水温4.4℃~12.5℃,

pH 值 6.8~7.0, 溶解氧 8.1~8.5 mg/L, 光照强度 500~800 Lx。

### 2.3. 发育积温计算方法

细鳞鲑胚胎发育以该批样品 70% 以上胚胎出现该时期典型发育特征为标准, 并将这个时间记为该发育阶段的起始时间。

各阶段积温的计算方法:

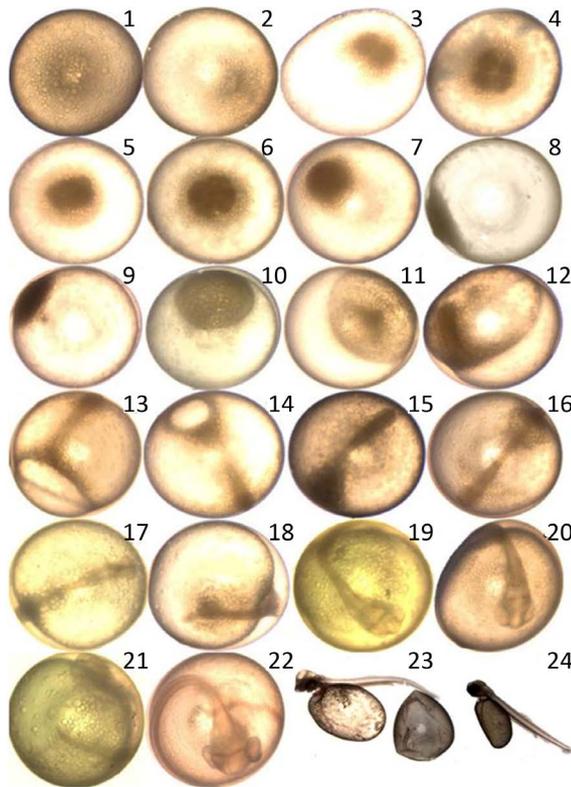
$$K(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}) = N \times T \quad [3] [4]$$

式中: N 为各发育阶段所需时间(d), T 为该阶段的平均水温( $^{\circ}\text{C}$ )。

## 3. 结果

### 3.1. 细鳞鲑胚胎发育过程

在水温  $4.4^{\circ}\text{C}$ ~ $12.5^{\circ}\text{C}$  范围内, 细鳞鲑卵自受精到孵化出膜历时 663 h。参照鱼类胚胎发育的相关文献 [5] [6] [7], 将细鳞鲑胚胎发育分为 6 个阶段, 26 个发育时期(图 1)。细鳞鲑胚胎 6 个发育阶段分别为受精卵阶段、卵裂阶段、囊胚阶段、原肠阶段、神经胚阶段、器官形成阶段(表 1), 其中受精卵耗时 3 h, 卵裂历时 38 h, 囊胚 94 h, 原肠期 66 h, 神经胚 17 h, 器官形成至破膜经历 445 h。



1.受精卵; 2.细胞期; 3.细胞期; 4.细胞期; 5.细胞期; 6.细胞期; 7.囊胚早期; 8.囊胚中期; 9.囊胚晚期; 10.原肠早期; 11.原肠中期; 12.原肠晚期; 13.神经胚期; 14.眼基出现期; 15.胚孔封闭期; 16.脑部分化期; 17.胸鳍原基期; 18.尾芽形成期; 19.心跳期; 20.晶体出现期; 21.尾鳍出现期; 22.眼色素出现期; 23.出膜期; 24.1 日龄苗

**Figure 1.** Embryonic Development stage of *Brachymystax lenok*  
**图 1.** 细鳞鲑胚胎发育时序

**Table 1.** Embryonic Development of *Brachymystax lenok*  
**表 1.** 细鳞鲑胚胎发育进程表

发育时期 Development stage	起始时间 Star Time	持续时间/h Duration of each stage	水温/°C Tater temperature	积温/°C.d Accumulated temperature	图序 Plate
受精卵 Fertilized egg	0	3 h	6.0		I-1
1 细胞期 1-cell stage	3 h	5 h	6.10	0.75	I-2
2 细胞期 2-cell stage	8 h	4 h	5.94	2.02	I-3
4 细胞期 4-cell stage	12 h	4 h	6.00	3.01	I-4
8 细胞期 8-cell stage	16 h	4.5 h	5.90	4.01	I-5
16 细胞期 16-cell stage	20.5 h	20.5 h	6.00	5.12	I-6
囊胚早期 Early blastula stage	41 h	30 h	5.40	10.25	I-7
囊胚中期 Mid-blastula stage	71 h	39 h	6.12	17.00	I-8
囊胚晚期 Late-blastula stage	110 h	25 h	6.32	26.95	I-9
原肠早期 Early gastrula stage	135 h	23 h	6.43	33.53	I-10
原肠中期 Mid-gastrula stage	158 h	32 h	6.32	39.69	I-11
原肠晚期 Late gastrula stage	190 h	11 h	7.44	48.12	I-12
神经胚期 Neural plate stage	201 h	17 h	6.91	51.53	I-13
眼基出现期 Eye anlage stage	218 h	23 h	7.88	56.42	I-14
胚孔封闭期 Blastopore closed stage	241 h	26 h	7.36	63.97	I-15
脑部分化期 Brain differentiation stage	267 h	47 h	8.29	71.94	I-16
胸鳍原基期 Pectoral fin anlage stage	314 h	23 h	7.21	88.17	I-17
尾芽形成期 Caudal bud appearance	337 h	30 h	6.83	95.08	I-18
心跳期 Heart beating	367 h	43 h	8.29	103.57	I-19
眼晶体出现期 Eye lens formationg	410 h	34 h	7.78	118.42	I-20
尾鳍出现期 Caudal fin appearance stage	444 h	61 h	7.92	129.43	I-21
眼色素出现期 Eye pigment stage	505 h	158 h	8.62	149.58	I-22
出膜期 Hatching	663 h			206.33	I-23

### 3.1.1. 受精卵

细鳞蛙的卵呈圆球形，黄色，光泽明亮。比重比水大，无粘性。端黄卵，卵内含有丰富的卵黄，卵黄囊内颗粒状油脂。未吸水前卵直径 4.06~4.43 mm，吸水后形成卵间隙，卵径为 4.30~5.50 mm (图 1(1))，卵膜较厚。精子进入卵子后，卵子受精子的作用而激活，原生质逐渐向动物极移动和集中。受精约 3h 后，在动物极形成一个隆起的胚盘，即 1 细胞期(图 1(2))。从此细胞进入卵裂期。

### 3.1.2. 卵裂期

#### 1) 二细胞期

受精 8 h 后，在胚盘的正上方出现一纵向的分裂沟，分裂沟不断加深将胚盘分割成两个大小相等的分裂球，即 2 细胞期(图 1(3))。

#### 2) 四细胞期

受精 12 h 后，发生第二次分裂，与第一次分裂相垂直，形成 4 个等大的细胞，进入 4 细胞期(图 1(4))。

#### 3) 八细胞期

受精 17 h 后，进行第三次卵裂，与第一次的分裂面平行，形成大小相似的 8 个分裂球(图 1(5))，胚盘呈长方形。

#### 4) 十六细胞期

受精 20.5 h 后，第四次卵裂与第二次分裂面平行，形成大小相似的 16 细胞(图 1(6))。

#### 5) 桑椹期

经过 32、64 细胞，继续进行分裂，细胞越来越小层次逐渐增多，排列规律亦不明显。受精 35 h 后，分裂的多层细胞高高的举在卵黄上方，形似桑椹，即桑椹胚，此时细胞界限清楚。

### 3.1.3. 囊胚期

#### 1) 囊胚早期

受精 41 h 后，胚胎细胞不断地分裂，分裂球越来越小，细胞界限不清楚，有很多分裂球堆积在卵黄囊上方，此时隆起最高，中间为囊胚腔，胚盘边缘与卵黄囊交界清晰，此时期为囊胚早期(图 1(7))。

#### 2) 囊胚中期

此后囊胚细胞继续不断分裂，分裂球变小，细胞间的界限逐渐模糊不清。受精 71 h 后，胚胎边缘细胞不断增多，胚盘面积不断扩大，并开始下包，囊胚顶变得稍扁平，进入囊胚中期(图 1(8))。

#### 3) 囊胚晚期

受精 101 h 后，胚胎细胞继续下包，胚盘高度下降变为扁平紧贴在卵黄囊上方，外形上似受精卵刚形成胚盘，进入囊胚晚期(图 1(9))。

### 3.1.4. 原肠期

#### 1) 原肠早期

受精 135 h 后，囊胚细胞向植物极扩展，边缘细胞向胚盘边缘流动，外包并内卷形成一圈环状隆起即胚环，胚胎中轴部分出现一增厚的胚盾，胚胎细胞下包到卵黄的 1/2，进入原肠早期(图 1(10))。

#### 2) 原肠中期

受精 158 h 后，胚盘细胞下包至卵黄囊 2/3 处，进入原肠中期(图 1(11))，胚盾明显增长。

#### 3) 原肠晚期

受精 190 h 后，胚盘细胞下包至卵黄的 3/4 处，胚盾继续延伸，胚体雏形开始形成，并于前端形成略微膨大的脑泡原基，之后植物极由胚层细胞包裹形成圆孔，即胚孔，进入原肠晚期(图 1(12))。

### 3.1.5. 神经胚期

发育至 201 h, 胚盾中线形成神经索(图 1(13)), 脑部逐渐膨大, 胚盘下包至卵黄囊底部, 下包 4/5, 植物极部分露出胚环以外, 形成卵黄栓, 胚孔继续收缩, 逐渐合拢, 241 h 左右, 胚孔完全封闭, 此时, 脑泡原基清晰可见, 胚体已初步形成。

### 3.1.6. 器官形成期

#### 1) 眼基出现期

受精 218 h 后, 在前脑两侧, 形成一对肾形突起, 即眼的原基(图 1(14))。

#### 2) 胚孔封闭期

胚体经过 241 h 发育, 胚孔逐渐关闭(图 1(15)), 此时脊索呈柱状。镜检可见 4~6 对肌节对称分布于胚体两侧, 之后肌节数量逐渐增多。

#### 3) 脑分化期

受精 267 h 后, 脑分化出前、中、后脑(图 1(16))。眼囊发育明显, 呈长椭圆形, 在脑泡两侧。

#### 4) 胸鳍原基期

受精 314 h 后, 在胚体脑后下方出现两个左右对称的长卵圆形的盾状原点, 即为胸鳍原基(图 1(17))。此时鱼体头部膨大明显, 分为前、中、后三部分, 椭圆形眼囊大而明显, 尾部为尾泡。

#### 5) 尾牙形成期

受精 337 h 后, 胚体末端出现锥状尾牙, 尾牙与卵黄球分离, 尾部延长弯曲贴于卵黄囊的上面(图 1(18))。眼囊轮廓清晰, 且眼囊逐渐变圆。首次出现胎动, 间隔一段时间身体扭动几下。

#### 6) 心跳期

受精 367 h 后, 头部眼囊与听囊之间的后下方出现近圆形心脏, 开始出现轻微搏动(图 1(19)), 随着胚胎发育时间延长搏动频率加快、跳动有力, 此时胸鳍雏形出现在胚体两侧, 尾部活力增强。

#### 7) 晶体出现期

受精 410 h 后, 眼囊中间出现圆形的晶囊。眼囊随着胚胎发育不断扩大并向外伸展, 在眼囊与脑相连处形成较细的眼柄, 眼囊继续向外突出抵达与其相连的外胚层, 通过外胚层的诱导作用, 使眼囊内陷而形成双层壁的眼杯, 此后, 通过诱导作用, 逐渐形成眼的水晶体(图 1(20))。胸鳍明显。

#### 8) 尾鳍出现期

胚胎经过 444 h 发育, 尾的边缘表皮外突形成皮褶状的鳍(图 1(21))。眼杯扩大, 再经过 154 h 背鳍、臀鳍雏形初现, 到 615 h 时尾鳍鳍条清晰可见。心跳速率增大到 60 次/min 左右。

#### 9) 眼色素出现期

受精 505 h 后, 显微观察可见眼囊中有清晰的黑色素分布, 之后眼囊颜色逐渐加深, 直至出现两个黑色眼点(图 1(22)), 密集血管分布于卵黄上。这一时期胚体摆动能力增强, 卵膜逐渐变薄, 为幼体破膜做准备。

#### 10) 出膜期

胚体在卵膜内不停摆动, 肌肉抽动更加频繁有力, 经历 663 h 后, 胚体破膜而出(图 1(23)), 大多数头部首先破膜。新破膜仔鱼平均全长 1.25 cm 左右, 平均体重约 0.0429 g。身体呈棕褐色, 眼黑色, 卵黄囊由圆形变椭圆形, 其长径 0.55 cm 左右。心脏搏动有力, 心率为 120 次/分, 全身躯干部可见红色血液流动。肛门突出, 消化道为直管形状, 内有皱褶环, 末端呈 45 度弯曲, 在消化道末端可见一圆形的膀胱。肌节清楚, 口已开启。胸鳍已展开, 尾鳍雏形出现。从背部到尾部为一连贯的透明鳍膜。孵出后仔鱼侧卧水底, 遇到惊吓靠尾部摆动而垂直上浮。

### 3.2. 积温

在水温 4.4℃~12.5℃范围内, 从受精卵至孵化出膜需要的积温约 206.33℃·d 左右, 卵裂期需要积温 10.25℃·d, 占总积温的 4.96%; 囊胚期需要积温 23.28℃·d, 占总积温的 11.28%; 原肠期需要积温 18.00℃·d, 占总积温的 8.72%; 神经胚期 4.89℃·d, 占总积温的 2.37%; 器官形成期需要积温最多, 为 149.91℃·d, 占总积温的 72.66%。

## 4. 讨论

### 4.1. 温度对细鳞鲑胚胎发育的影响

鱼类的胚胎发育都要有一个适合的水温范围, 通常在适当的水温范围内, 温度越高, 发育越快, 在胚胎发育过程中, 温度直接影响发育的速率[8]。对 2013 年不同批次细鳞鲑受精卵的孵化积温进行比较, 4 月 4 日的第一批受精卵孵化水温在 4.4℃~12.5℃范围内, 孵化时间 28 天, 其中在 4.4℃~10℃有 20 天, 10℃~12.5℃有 8 天。4 月 20 日的第四批受精卵孵化水温 6.0℃~12.5℃, 其中 6.0℃~10.0℃有 10 天, 10℃~12.5℃有 10 天, 孵化共持续时间 20 天。孵化水温的升高加快了细鳞鲑胚胎发育速度, 孵化时间相应缩短了将近 8 天。然而, 鱼类的胚胎发育具有种的特异性, 主要受遗传因素的影响[9]。温度影响了胚胎发育速度, 但对细鳞鲑胚胎发育总积温影响不大。通过不同批次受精卵孵化积温比较发现: 孵化温度降低, 孵化积温略有升高。如第四批孵化积温 205.41℃·d, 第一批孵化积温 206.38℃·d。

施德亮、危起伟[10]等人对秦岭细鳞鲑的胚胎发育进行了研究, 将秦岭细鳞鲑的胚胎分为 6 个阶段, 26 个发育时期, 发育阶段和时期的划分及各发育期特征描述都与本研究基本一致, 但各个发育阶段、发育时期所用时间和所需积温存在一定差异。如秦岭细鳞鲑胚胎发育总积温 193.35℃·d, 比本研究少了 12.98℃·d。经分析, 研究结果存在差异的原因大概有两个方面: (一) 孵化条件不同, 特别是孵化温度不同。施德亮等人的孵化温度为 9.31℃~12.80℃, 而本研究 4.4℃~12.5℃, 前者孵化温度高于本研究, 孵化温度的升高加快了细鳞鲑胚胎发育的速度, 同时也略微缩短了胚胎发育所需的积温, 也与前面结论“孵化温度降低, 孵化积温略有升高。”相吻合。(二) 秦岭细鳞鲑与延吉的细鳞鲑遗传特性的差别。二者虽属同种也未达到亚种的差别, 但还是存在一定的遗传差异, 从而导致胚胎发育时间和积温存在一定的差别。

### 4.2. 细鳞鲑卵直径与亲鱼个体大小的关系

在人工授精过程中发现, 细鳞鲑卵的直径与亲鱼规格呈正相关, 个体大的亲鱼所产的卵粒直径也大, 小个体的亲鱼所产卵粒直径往往也小。细鳞鲑受精卵吸水膨胀后直径范围 0.43~0.55 cm。细鳞鲑卵的大小对受精率和胚胎发育的影响还有待进一步观察。

### 4.3. 胚胎发育过程中的敏感期

细鳞鱼胚胎发育共分为 6 个阶段, 每个阶段的发育呈现出明显的差异, 对外界敏感程度有所不同。胚胎发育过程中, 主要有两个敏感期, 对于外界刺激很敏感, 切记孵化温差过大、人为因素晃动受精卵致其死亡。一是在原肠期, 出现胚环和胚盾时对外界刺激比较敏感; 二是胚胎胚孔封闭刚步入器官形成期的时间, 对外界刺激非常敏感。

### 4.4. 胚胎发育过程中应注意的问题

细鳞鲑受精卵孵化水源采用山泉水或地下水较好, 水质清澈干净, 可延缓水霉病的发生。河水、水库水水质较差, 有机质较多, 使用前最好要进行沉淀、过滤, 而且提前预防水霉病发生。

随着胚胎的发育, 受精卵耗氧量会逐渐上升。另外胚胎发育过程中由于卵的质量、环境条件等种种

原因会导致一部分受精卵逐渐死亡，死卵在腐败过程中耗氧更加严重。以上两个因素都可能导致孵化容器内局部缺氧，而影响受精卵孵化率。因此，受精卵在孵化容器内铺陈的层数不宜太多，另外要及时清除死卵，避免缺氧引起受精卵大批死亡。

根据多年细鳞鲑受精卵的孵化经验，受精卵孵化温度宜控制在 6℃~10℃ 范围内，孵化温度过低，会导致孵化期延长，同时也会导致破膜时间过长而苗种培育过程中苗种参次不齐，不利于提高苗种成活率。另外，温度过高，也会导致畸形率大大升高，死亡率上升。

细鳞鲑属于典型的冷水性鱼类，受精卵孵化过程较长，孵化过程中发生水霉病是普遍存在现象。孵化过程中要采用福尔马林、制霉菌素、水杨酸等药物定期预防和治疗。另外，还要适时进行人工挑出死卵，清除水霉传染源；一般胚胎发育到器官形成阶段的中后期，就可进行挑死卵；受精卵处于眼色素出现期时，挑除死卵的时机最好，受精卵敏感度很低，不易引起死亡。

## 基金项目

河北省科技后奖励项目，编号 16256703H；河北省现代农业产业技术体系，编号 HBCT2013100203。

## 参考文献 (References)

- [1] 董崇智, 李怀明, 等. 中国淡水冷水性鱼类[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2001.
- [2] 乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书(鱼类) [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 35-37.
- [3] 尚玉昌. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 36-37.
- [4] 李庆芬. 基础生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 25.
- [5] 刘筠. 中国养殖鱼类繁殖生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1993.
- [6] 楼允东. 组织胚胎学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [7] 陈礼强, 吴青, 郑曙明, 刘法江. 细鳞裂腹鱼胚胎和卵黄囊的发育[J]. 中国水产科学, 2008, 15(6): 927-934.
- [8] 解玉浩, 李勃. 池沼公鱼的胚胎发育[J]. 水产学报, 1987, 11(4): 307-314.
- [9] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 136-137.
- [10] 施德亮, 危起伟, 孙庆亮, 李罗新, 杜浩. 秦岭细鳞鲑早期发育观察[J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 557-567.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ojfr@hanspub.org](mailto:ojfr@hanspub.org)