

圆斑星鲈的早期生长发育特征

宁 鑫^{1,2} 柳学周^{1*} 孙中之¹ 徐永江¹ 王妍妍¹

(¹中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 266071)

(²上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

摘 要 圆斑星鲈成熟卵子透明、光滑、无油球, 卵径 1.75 ± 0.08 mm ($n=30$)。在水温 11 ± 0.5 °C、盐度 31~32、 $DO \geq 5$ mg/L 条件下, 受精卵经 159 h 脱膜孵出, 胚胎发育下限温度为 5.14 °C, 发育时间与温度呈负相关关系。初孵仔鱼体色透明, 全长 4.95 ± 0.15 mm ($n=30$), 7 日龄, 仔鱼体覆黑色素, 口和肛门贯通, 口裂 0.32 mm 时开始摄食轮虫; 11 日龄, 卵黄囊耗尽, 仔鱼由内源性营养转化为外源性营养方式, 开始摄食卤虫无节幼体; 17 日龄, 进入尾椎弯曲期, 尾扇和下尾骨形成; 28 日龄, 尾鳍色素沉积; 33 日龄, 尾椎弯曲完成, 仔鱼左眼开始向右侧翻转, 进入变态期, 尾鳍条增至 18 根; 45 日龄稚鱼体表色素带形成, 背、腹鳍各覆 4~5 个棕黑色斑点; 50 日龄, 变态完成, 左眼完全翻转至右侧, 开始营底栖生活; 70 日龄, 幼鱼体被鳞片逐渐形成, 各鳍条均发育至定数, 体态和生活习性与成鱼无异。

关键词 圆斑星鲈 胚胎发育 仔稚鱼 形态特征

中图分类号 S962.3+9 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2011)02-0007-09

Morphological development and growth pattern of *Verasper variegatus*, Temminck et Schlegel in early life stages

NING Xin^{1,2} LIU Xue-zhou^{1*} SUN Zhong-zhi¹

XU Yong-jiang¹ WANG Yan-yan¹

(¹Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology,

Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, 266071)

(²College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

ABSTRACT Morphological and quantitative characteristics of *Verasper variegatus* in early life stages including embryonic development, yolk sac larva, pre-flexion larva, post-flexion larva, and juveniles were recorded. The eggs are 1.75mm 0.08mm in diameter, without oil globule and spherical in shape when they are suspended in sea water. There is negative a relationship between the temperature and the hatching time, and the calculated lower threshold temperature for hatching of embryos is 5.14 °C. The larvae hatched out 159h post fertilization at temperatures of 11 ± 0.5 °C, salinity of 31-32, and $DO \geq 5$ mg/L. The newly hatched larvae is transparent and 4.95±0.15mm in total length. Larval development and growth completely de-

国家“863”计划项目(2006AA10A414;2010AA10A402)、国家鲆鲽类产业技术体系(nycytx-50)和公益性农业行业专项项目(nyhyzx07-046)共同资助

* 通讯作者。E-mail: liuxz@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85830506

收稿日期: 2010-08-26; 接受日期: 2010-10-11

作者简介: 宁 鑫(1984-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事海水鱼类繁育生物学相关研究。E-mail: ning1234xin@126.com, Tel: 13606341534

pended on the energy from the yolk sac and oil globe till 7 DAH (days after hatching). Meanwhile, mouth and anus opened, larvae entered the mixed feeding stage. Larvae entered the complete exogenous feeding stage after the yolk was completely absorbed at 11DAH. The first feeding food was L type rotifers *Brachionus plicatilis*. Larvae began to feed rotifers at 7 DAH. At 11 DAH, larvae were fed nauplii of brine shrimp *Artemia salina* at densities of 0.5 1.5 ind./ml till 46 DAH. Weaning to commercial diet started at 31 DAH and larvae fed mainly commercial diet after 40 DAH. There is no swim bladder present all through the early life history. The flexion of notochord started at 17 DAH at a total length of 7.32 0.23 mm ($n=30$), and finished at 33DAH when the total length reached 11.2 0.33 mm ($n=30$). Meanwhile, metamorphosis began at 33 DAH and completed at 50 DAH with the left eye moved completely to the right side, and the juveniles entered the bottom life stage. At 70 DAH, lateral line formed and the juveniles entered the young stage with the total length up to 25.3 3.23 mm ($n=30$), with similar appearance as the adults. The dorsal fin, pectoral fin, pelvic fin, caudal fin, and anal fin reached their full numbers at 70DAH. There were 4-5 black spots on the dorsal and pectoral fins at 45DAH, which is same as the adults.

KEY WORDS *Verasper variegatus* Embryonic development Larva and juveniles
Morphological characteristics

圆斑星鲽 *Verasper variegatus*, Temminck et Schlegel 属鲽形目 Pleuronectiformes、鲽亚目 Pleuronectoidei、鲽科 Pleuronectidae、星鲽属 *Verasper*, 主要分布在我国黄渤海、韩国和日本的北部沿海。圆斑星鲽肉质细嫩、营养丰富、味道鲜美、抗病力强、耐低温、生长速度快,是一种具有广泛养殖前景的优良鱼种。现今星鲽自然资源稀少,基本形不成捕捞产量,但其消费需要较高,人工繁育是解决目前这种状态的主要途径。

关于圆斑星鲽的早期生长发育研究,日本已有报道,但均是针对日本种群(Hotta *et al.* 2001; Aritaki *et al.* 2001)。我国学者对本土自然海域的圆斑星鲽早期生长发育也进行了相关研究,如陈四清等(2006)报道了圆斑星鲽的早期发育的特征,对胚胎发育和胚后发育做了较为详细的描述,但胚胎发育阶段和仔稚鱼发育过程的图片略有欠缺。王开顺等(2003)报道了圆斑星鲽的胚胎及仔稚鱼的发育研究,但仅观察到仔鱼孵化后50d,另外对胚后发育的描述相对简单。2009~2010年,在国家863计划项目“名贵海水鱼类苗种规模化繁育技术(2006AA10A414)”、“名贵鱼类苗种规模繁育(2010AA10A402)”和国家鲆鲽产业技术体系(nycytx-50)的支持下,作者在中国水产科学研究院黄海水产研究所试验基地青岛忠海水产有限公司开展圆斑星鲽的苗种培育技术研究,在此期间对圆斑星鲽受精卵及仔稚幼鱼发育和生长进行了详尽的形态学观察和数据测量,并特别关注仔稚鱼鳍条的生长、摄食变化、变态期特征及体表黑色素斑的变化过程等,旨在为圆斑星鲽人工育苗生产提供详实的基础资料和技术依据。

1 材料与方 法

研究于2009~2010年在青岛忠海水产有限公司进行。试验雌、雄亲鱼4~5龄,2009年12月~2010年2月在培育池(5 m×5 m×1 m)采用人工控温+控光+激素综合调控,催产激素为促性腺激素释放激素(GnRh)采用背部肌肉注射法诱导,注射剂量70~100 μg/kg;亲鱼培育水温8~18℃,盐度28~30,DO≥6 mg/L,pH 7.5~8.2,日换水量500%~600%,日投饵两次,投喂量为鱼体重的1%~3%。人工调控下亲鱼于2010年2月21日~4月17日产卵,采集卵子和精液进行人工半干法受精。受精卵放于500L圆形玻璃缸中孵化,孵化水温11±0.5℃,盐度31~32,DO≥5 mg/L,连续充气,流水孵化,每30 min取样1次,解剖镜(NIKON-MSZ800)拍照、记录胚胎发育的时序及各发育时相的特征。

仔稚鱼后期培育在容积 5 m^3 的方形抹角水泥池中进行。盐度 $28 \sim 31$, $\text{DO} \geq 6 \text{ mg/L}$, $\text{pH} 7.5 \sim 8.2$, $[\text{NH}_4^+ - \text{N}] \leq 0.3 \text{ mg/L}$, 光照 $300 \sim 500 \text{ lx}$ 。初孵仔鱼前期培育水温为 $11 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 日后逐渐升高 ($0.5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{日}$) 至 $16 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。初孵仔鱼布池密度为 $1 \sim 1.5 \text{ 万尾}/\text{m}^3$, 前 3 d 静水培育, 第 4 天开始每天加水 $10 \sim 70 \text{ cm}$, 第 6 天换水由 20% 逐渐增加到 100%。仔鱼孵化后第 7 天投喂 L 型褶皱臂尾轮虫 *B. plicatilis*, 上下午各 1 次, 投喂密度 $7 \sim 13 \text{ ind.}/\text{ml}$, 同时添加小球藻 *Chlorella sp.*, 密度为 $1.5 \sim 2 \times 10^6 \text{ cells}/\text{ml}$, 2d 清底 1 次; 11 日龄开始交叉投喂卤虫无节幼体 *A. salina*, 密度为 $0.5 \sim 1.5 \text{ ind.}/\text{ml}$, 日投喂两次; 19 日龄停止投喂轮虫和小球藻, 卤虫投喂量增加, 密度为 $2 \sim 4 \text{ ind.}/\text{ml}$; 31 日龄试投喂人工配合饲料; 46 日龄停止投喂卤虫。培育期间, 每天随机取样 35 尾, 解剖镜 (NIKON-MSZ800) 观察记录仔稚鱼形态特征, 分别测量并记录卵黄囊长短径、仔鱼全长等数量性状。

苗种生物学测量尾数为 35 尾, 计算各指标的平均值和方差, 统计分析差异显著性。卵黄囊体积计算参照 Alderdice 等 (1979) 的方法: $V = 4/3 \cdot \pi \cdot (r/2)^2 \cdot R_1/2$, 其中 r 为短径, R_1 为长径。发育阶段孵化积算温度和发育下限温度计算方法: $A = N \times T$, $C = (T_2 N_2 - T_1 N_1) / (N_2 - N_1)$, 其中 A 为孵化积算温度, N 为某阶段发育完成所需时间, T 为某阶段发育完成所需平均温度, C 为发育下限温度 (谢恩义等 2002)。

2 结果

2.1 胚胎发育

圆斑星鲈成熟卵子为圆球形、透明、无油球, 卵黄均匀分布, 在水中呈悬浮性。卵径 $1.75 \pm 0.08 \text{ mm}$ ($n = 30$), 1 ml 体积中含卵子约 300~400 粒; 在水温 $11 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 盐度 $31 \sim 32$, $\text{pH} 7.5 \sim 8.2$, 光照 $500 \sim 1000 \text{ lx}$ 条件下, 成熟受精卵经 159 h 脱膜孵出。胚胎发育具体时序如表 1。

表 1 圆斑星鲈胚胎发育时序表 (孵化水温 $11 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$)

Table 1 Embryonic development of *V. variegatus* at temperatures of $23.5 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$

发育持续时间 Incubation duration	发育时期 Development stage	图 Fig.	发育持续时间 Incubation duration	发育时期 Development stage	图 Fig.
0h00min	受精卵 Fertilized egg	1-1	40h45min	原肠早期 Early gastrula stage	1-13
4h30min	2 细胞期 2T-Cell stage	1-2	55h25min	原肠中期 Mid gastrula stage	1-14
6h28min	4 细胞期 4-Cell stage	1-3	58h27min	原肠晚期 Late gastrula stage	1-15
7h8min	8 细胞期 8-Cell stage	1-4	64h19min	神经胚期 Neurala stage	1-16
8h57min	16 细胞期 16-Cell stage	1-5	79h28min	眼泡形成 Formation of optic vesicle	1-17
11h26min	32 细胞期 32-Cell stage	1-6	87h23min	体节形成 Formation of somite	1-18
13h10min	64 细胞期 64-Cell stage	1-7	95h20min	嗅板 Formation of olfactory plate	
16h40min	128 细胞期 128-Cell stage	1-8	112h54min	晶体形成 Formation of eye lens	1-19
19h53min	桑椹期 Morula stage	1-9	121h19min	听囊形成 Formation of optic capsule	1-20
25h40min	高囊胚期 High blastula stage	1-10	125h44min	肌肉效应 Muscular contraction	
31h10min	低囊胚期 Low blastula stage	1-11	141h13min	脱膜孵化 Hatching	1-21
34h6min	囊胚末期 Late blastula	1-12	159h35min	仔鱼孵出 Larvae hatched out	

2.1.1 卵裂前期

卵子正常受精后 42 min 受精膜举起, 卵间隙 $0.23 \pm 0.05 \text{ mm}$, 1 h 25 min 卵黄内侧无色原生质逐渐成辐射状向动物极聚集, 1 h 45 min 帽状胚盘形成 (图 1-1)。

2.1.2 卵裂期

受精后 4 h 30 min, 胚盘经裂, 在胚盘顶部中央出现 1 个纵沟, 将胚盘分成两个均等的细胞; 随后胚盘发生第 2、3、4 次经裂, 卵裂沟与前一次卵裂垂直, 进入 16 细胞期; 11 h 26 min, 发生第 5 次经裂, 进入 32 细胞期, 卵

裂球大小不一;13 h 10 min,胚盘发生第1次纬裂,在动物极处逐渐排成多层,形成表面粗糙的圆帽状细胞群,进入桑葚期(图1-2~图1-9)。

2.1.3 囊胚期

受精后25 h 40 min,圆帽状细胞表面变得光滑,细胞继续分裂增多,形成高囊胚;31 h 10 min,细胞不断分裂,进入低囊胚期,囊胚层边缘开始变薄并向扁平发展,34 h 6 min由囊胚层外缘环状增厚细胞做下包、内卷运动形成胚环,为动物极向植物极下包作用做好准备,开始形成原肠腔(图1-10~图1-12)。

2.1.4 原肠期

外包运动标志着原肠作用的开始,受精后40 h 45 min,原肠腔形成,原肠胚边缘下包,动物极向植物极下包约1/3,随着细胞的不断增殖,58 h 27 min,当胚盘下包卵黄4/5时,胚盾生长加快,胚体雏形开始形成,胚盾中部脊索原基处明显加厚,出现第1对肌节,标志着鱼体各器官的发生开始,此时原口即将关闭(图1-13~图1-15)。

2.1.5 神经胚期

受精后64 h 19 min,原口关闭,丫状胚体雏形形成,神经板由一部分加厚的胚体形成,胚体侧卧,胚盾中部肌节数迅速增加到3~6对,肌节大小不规则,神经板两侧隆起形成神经褶,神经沟的中部开始向两端愈合形成神经管,胚体的头部充实、明显,尾部出现一对克式泡原基,胚体脊索部有少量点状色素(图1-16)。

2.1.6 器官发生期

受精后79 h 28 min,原孔完全关闭,胚体头部两侧隆起形成眼泡,眼部轮廓逐渐明显,肌节增加到6~8对;受精后95 h 25 min,嗅板出现,视囊内陷形成视杯;112 h 54 min,胚体绕卵黄囊2/5,晶体明显,尾部克式泡增大;121 h 19 min,胚体绕卵黄囊3/5,脑开始分化,听囊形成,胚体尾部扭转,但未见心脏搏动,随着脑细胞的增殖,脊索泡逐渐形成(图1-17~图1-20)。

2.1.7 肌肉效应期

受精后125 h 44 min,胚体绕卵黄囊约4/5,尾部扭转明显,克式泡消失,肌节达到30~33对,胚体出现间断性收缩(肌肉效应),频率约10~12次/min,头部抬起,卵黄囊上色素增多,胚体呈“V”形依附其上;听囊中出现耳石1对,心跳频率50~60次/min。

2.1.8 脱膜孵化

胚体抖动幅度和频率加大,频率25~35次/min,头部卵膜破裂,借助鱼体尾部的力量,胚体左右摇摆以先头部后尾部的出膜方式摆动离开卵膜,受精后141 h 13 min,胚体成功脱膜(图1-21)。

2.2 仔稚鱼发育

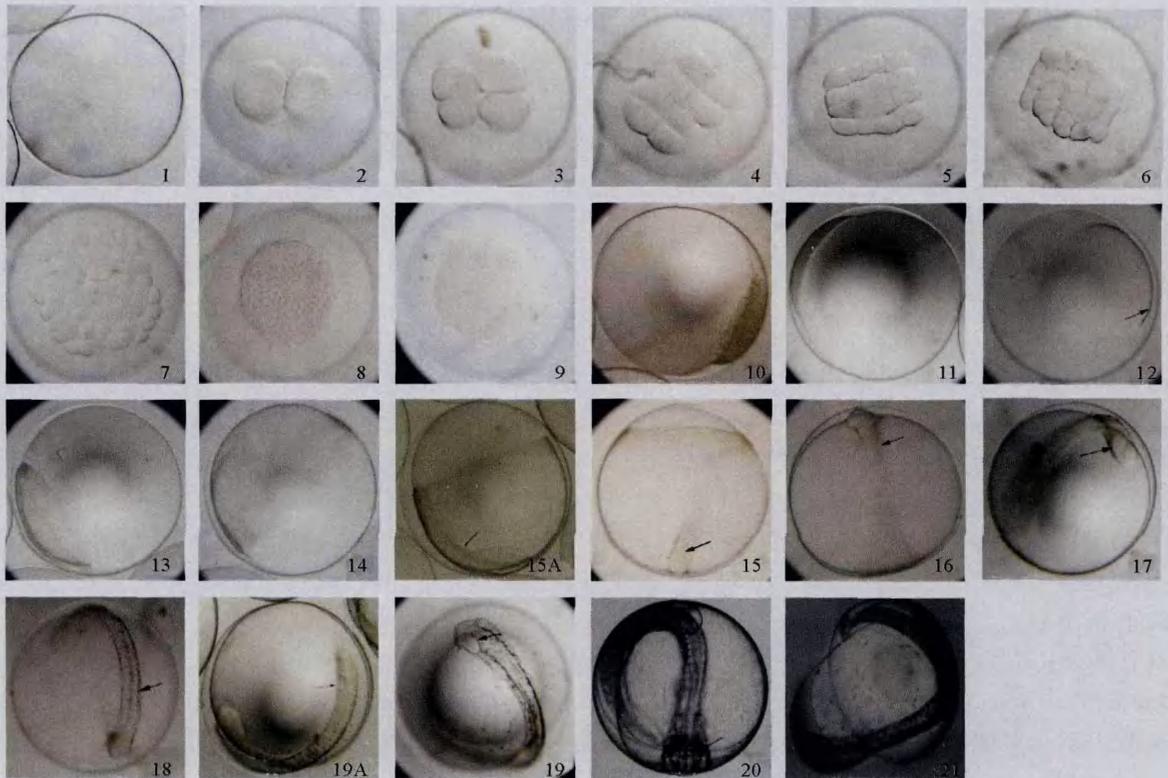
2.2.1 卵黄囊仔鱼(Yolk sac larva)

初孵仔鱼全长 4.95 ± 0.15 mm($n=30$),卵黄囊长椭圆形,长径 1.70 ± 0.10 mm,短径 0.98 ± 0.05 mm,眼径为0.10 mm,占头长的45.2%,头长占肛前距的16%。仔鱼体色透明,无油球,躯干部和卵黄囊上分布枝状色素,近尾部脊椎两侧各有1片带状黑色素带。仔鱼体节38对,晶体透明,耳石清晰,消化肠管短且平直,紧贴卵黄囊。仔鱼头部向下悬浮于水中并间歇性蹿动,有集群现象(图2-1)。

2日龄全长 5.82 ± 0.13 mm($n=30$),卵黄囊明显减小,长径 1.23 ± 0.12 mm,短径 0.53 ± 0.08 mm,眼径0.12 mm,占头长的56.7%,头长占肛前距的26.1%。仔鱼头部、脊髓部和卵黄囊上色素点增多、明显,眼睛周围出现浅黄色色素,但尾端部透明,无色素;肠道膨大,近肛门“U”处点状色素沉集(图版2-3)。

3日龄全长 6.08 ± 0.16 mm($n=30$),卵黄囊梨形,长径 0.72 ± 0.07 mm,短径 0.36 ± 0.10 mm,眼径0.17 mm,占头长的42.7%,肛前长2.3 mm,头长占肛前距的30.6%。仔鱼近尾部脊椎两侧带状黑色素带明显增大,尾端部透明仍无色素。仔鱼肠道中部弯曲,肠内褶皱形成;胸鳍鳍膜形成,长约0.5 mm,背鳍膜和其上的色素带伸长,以近至头部。仔鱼游泳能力增强,集群分布(图2-4)。

7日龄全长 6.36 ± 0.21 mm($n=30$),卵黄囊长径 0.43 ± 0.13 mm,短径 0.29 ± 0.06 mm,眼径0.23 mm,占头长的51.2%,肛前长3.1 mm,头长占肛前距的37.5%。口和肛门贯通,口裂0.32 mm,消化道褶皱增多,



1. 受精卵; 2. 2细胞; 3. 4细胞; 4. 8细胞; 5. 16细胞; 6. 32细胞; 7. 64细胞; 8. 128细胞; 9. 桑椹胚; 10. 高囊胚;
 11. 低囊胚; 12. 囊胚末期, 示胚环; 13. 原肠早期; 14. 原肠中期; 15. 原肠末期; 15A. 示胚盾延伸; 16. 神经胚, 示Y状胚体锥形;
 17. 眼泡形成, 示眼泡; 18. 体节形成, 示体节; 19A. 示克式泡; 19. 晶体形成, 示晶体; 20. 听囊形成, 示泡状听囊; 21. 脱膜孵化
1. Fertilized egg; 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. 128-cell stage;
 9. Morula stage; 10. High blastula stage; 11. Low blastula stage; 12. Late blastula, germ ring; 13. Early gastrula stage; 14. Mid gastrula stage; 15. Telo-phase of gastrula stage; 15A. Embryonic shield extending; 16. stage; 17. Formation of optic vesicle, optic vesicle;
 18. Formation of somite, somit; 19. Formation of eye lens, eye lens; 20. Formation of optic capsule, optic capsule; 21. Hatching out

图1 圆斑星鲽胚胎发育

Fig.1 Embryonic development of *V. variegates*

呈倒“V”形。体被黑色素, 脊索、头部、肠道、眼囊、晶体均被点状黑色素细胞群, 并有扩散的趋势, 仅尾端部和部分脊索两侧透明无色细胞。仔鱼尾鳍原基和胸鳍鳍条原基出现(图 2-5)。

11日龄全长 6.89 ± 0.13 mm ($n=30$), 卵黄囊完全消耗, 仔鱼由内源性营养完全转化为外源性营养方式, 眼径 0.41 mm, 占头长的 45.7%, 肛前长 3.3 mm, 头长占肛前距的 41.2%。消化道形成第一个明显盘绕、饱满, 初食卤虫无节幼体, 摄食量 0.5~1.5 个/尾。体被黑褐色色素, 尾部扇形色素带已向周围扩散开, 其他部位色素细胞也向体边扩散。仔鱼游动迅速, 喜在有光线和水流处逗留(图 2-6)。

2.2.2 尾椎弯曲仔鱼(Preflexion larva)

17日龄全长 7.32 ± 0.23 mm ($n=30$), 眼径 0.62 mm, 占头长的 41.2%, 肛前长 3.6 mm, 头长占肛前距的 47.8%。仔鱼体高增加, 消化道进一步盘绕; 体呈黑色, 脊索上隐约看见侧线, 饱食卤虫后, 腹部明显变红, 进入尾椎弯曲期(图 2-7)。

23日龄全长 8.85 ± 0.16 mm ($n=30$), 眼径 0.65 mm, 占头长的 36.7%, 肛前长 3.8 mm, 头长占肛前距的 50.0%。仔鱼尾端脊索椎骨上曲, 尾扇和下尾骨形成, 全身仅尾部末与背、臀鳍边缘无色, 鳍边缘清晰; 下颌向前突出, 略长于上颌, 口周围遍布点状和枝状的黑色素(图 2-8)。

2.2.3 尾椎弯曲后仔鱼(Postflexion larva)

28日龄全长 9.34 ± 0.21 mm ($n=30$), 眼径 0.71 mm, 占头长的 29.6%, 肛前长 4.1 mm, 头长占肛前距的 59.1%。仔鱼腹部色素密布, 肠道盘旋, 消化道发达; 活动迅速, 各鳍条逐渐发育完善, 尾鳍条数为 12 根, 背鳍条数 64~66 根, 臀鳍条数为 46 根。前鳃盖前后部鳃盖棘数分别为 5~6 根和 8~9 根。仔鱼体被黑色, 膜鳍黑色素带共 5 条: 背部脊索和腹部脊索上屈基部分别各有 1 条带, 尾鳍部脊索两侧各有 1 条带, 肛门部 1 条带(图 2-9)。

33日龄全长 11.2 ± 0.33 mm ($n=30$), 眼径 0.82 mm, 占头长的 27.6%, 肛前长 4.29 mm, 头长占肛前距的 52.1%。仔鱼尾椎弯曲完成, 上弯曲的尾椎形成尾鳍, 尾鳍色素沉着明显, 尾鳍条数增至 18 根, 背鳍条数为 76 根, 臀鳍条数为 58 根。仔鱼左眼开始向右侧偏转, 进入仔鱼发育的另一阶段——变态期。

2.2.4 稚鱼期

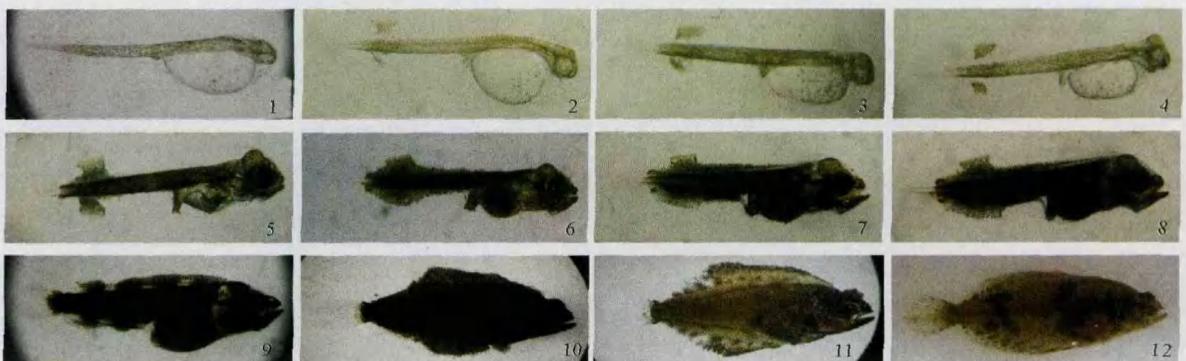
35日龄全长 15.7 ± 0.53 mm ($n=30$), 眼径 0.96 mm, 占头长的 26.4%, 肛前长 4.53 mm, 头长占肛前距的 61.1%。鱼体增宽, 鼻瓣出现, 前鳃盖后部鳃盖棘增至 11~12 根。稚鱼约 63% 的左眼上升一半, 开始伏底, 游动迅猛(图 2-10)。

42日龄全长 17.4 ± 0.33 mm ($n=30$), 眼径 1.10 mm, 占头长的 26.3%, 肛前长 5.12 mm, 头长占肛前距的 75.2%。尾鳍发育完成, 鳍条数 20 根(定数), 背鳍条增至约 82 根, 臀鳍条约 62 根, 胸鳍透明。稚鱼侧线清晰, 体色略变淡, 背、腹鳍出现 4~5 个棕黑色斑点, 并出现两条宽约 0.8 mm 的黄褐色条带由尾部延伸到腮盖后方, 体表也分布数个小色素斑。稚鱼约 72% 的左眼翻转至头部中央, 40% 成功伏底, 此时捕食及游泳方式已近似成鱼(图 2-11)。

50日龄全长 19.3 ± 2.03 mm ($n=30$), 眼径 1.32 mm, 占头长的 26.6%, 肛前长 5.23 mm, 头长与肛前距比值为 79.2%。稚鱼左眼完全转至右侧, 完成变态, 营底栖生活, 15% 的稚鱼体色由黑色向灰色转换, 应激反应时体色变浅, 无眼侧的黑色素开始逐渐消退变浅; 腹鳍 6 根, 背鳍 82 根, 臀鳍条 62 根, 胸鳍基部开始退缩。

2.2.5 幼鱼期(Juvenile)

70日龄全长 25.3 ± 3.23 mm ($n=30$), 眼径 1.96 mm, 占头长的 26.4%, 肛前长 8.72 mm, 头长占肛前距的 79.3%。鱼体变态完成, 进入幼鱼期, 体态和生活习性与成鱼无异。幼鱼鳍条发育完成, 胸鳍鳍条数增多至 11 根, 尾鳍开始分叉; 体表特征性圆斑形成, 通常规律幼鱼(视鱼不同数目各异)尾鳍圆斑数 ≥ 2 , 背鳍 ≥ 4 , 臀鳍 ≥ 3 个; 体被鳞片逐渐形成, 有眼侧出现近圆形鳞片, 基部鳞棘约 9 枚, 无眼侧为长扇形鳞片, 基部鳞棘 1 个(图 2-13)。



1. 初孵仔鱼; 2. 1日龄仔鱼; 3. 2日龄仔鱼; 4. 3日龄仔鱼; 5. 7日龄仔鱼; 6. 11日龄仔鱼; 7. 17日龄仔鱼;

8. 23日龄; 9. 28日龄仔鱼; 10. 35日龄稚鱼; 11. 42日龄稚鱼; 12. 50日龄幼鱼; 13. 70日龄幼鱼

1. Newly hatched larva; 2. Larvae of 1 DAH; 3. Larvae of 2 DAH; 4. Larvae of 3 DAH; 5. Larvae of 7 DAH; 6. Larvae of 11 DAH;

7. Larvae of 17 DAH; 8. Larvae of 23 DAH; 9. Larvae of 28 DAH; 10. Juvenile of 35 DAH; 11. Juvenile of 42 DAH;

12. Young of 50 DAH; 13. Young of 70 DAH (DAH: Days after hatching)

图2 圆斑星鲈仔稚鱼发育

Fig. 2 Post embryonic development of *V. variegates*

2.3 胚胎发育及个体生长

2.3.1 温度对胚胎发育的影响

试验结果显示,9~17 °C 范围内,圆斑星鲈胚胎发育时间与温度呈负相关关系,二者符合乘幂函数关系式: $N=72.107T^{-1.0312}$, $R^2=0.9906$ (图 3);根据受精卵在不同温度下的孵化情况,计算得知其孵化的积算温度为 1 756.95,胚胎发育下限温度 5.14 °C。水温 11~17 °C 时,圆斑星鲈受精卵的孵化率为 67.70%~48.40%,11 °C 时孵化率达到最大值 67.7%,畸形率最低值 13.80%;仔鱼畸形率在 5 °C、9 °C 时分别为 100%、90%,在其他温度处理下均相对较低(图 4),说明低温不适于圆斑星鲈胚胎孵化。圆斑星鲈胚胎孵化的适宜温度和最适水温范围分别为 11~17 °C、11~13 °C。

2.3.2 生长与摄食

圆斑星鲈早期生长与日龄符合如下模式: $TL=5.102e^{0.109od}$ ($R^2=0.9932$),式中, TL 为全长, d 为日龄,早期生长曲线如图 5 所示。仔鱼在卵黄囊期,生长主要依赖内源性营养物质—卵黄囊,日生长速度为 0.28 mm/d(0~5 日龄);开口后进入混合营养阶段,生长能量依靠内、外源性营养物质共同提供,日生长速度为 0.043 mm/d(6~9 日龄),生长速度有所减慢;11 日龄后,仔鱼顺利度过内外源性营养的转化;仔鱼在外源性营养阶段中发育有了明显的提高,摄食和活动能力显著增强。卵黄囊吸收情况见图 6。

2.3.3 圆斑星鲈尾椎弯曲

17 日龄,尾椎始见弯曲,尾部鳍膜部分增厚;23 日龄,尾端脊索椎骨上曲,尾扇和下尾骨形成;33 日龄,尾鳍形成,色素沉着明显,尾鳍条增至 18 根,尾椎弯曲完成。尾椎的变化过程也是鲈鱼类早期发育变态的标志之一(柳学周等 2009)。

2.3.4 圆斑星鲈体表色素带发生

圆斑星鲈体表色素带从早期胚体发育时出现至幼鱼体表圆斑形成结束,完成体表整个色素带的发生过程。胚体上色素最早出现在神经胚期;器官发生期时,胚体、卵黄囊上和脊索部分的点状色素开始明显增多;初孵仔鱼已可以明显观察到躯干部和卵黄囊上分布枝状色素,近尾部脊椎两侧均有一带状黑色素区域,其他部位均透明,2 日龄时仔鱼眼附近有浅黄色色素分布,近肛门“U”处点状色素开始沉集。随着仔鱼的不断的生长,7 日龄时,仔鱼体被黑色素,脊索、头部、肠道、眼囊、晶体均被枝状或点状黑色素细胞群,尾部扇形色素带最先扩散;28 日

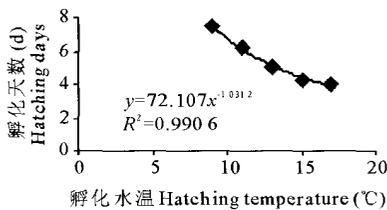


图 3 不同温度对圆斑星鲈受精卵孵化所需的天数
Fig. 3 Hatching time of embryos of *V. variegatus* at different temperature

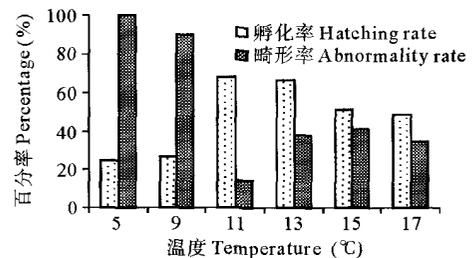


图 4 不同温度对圆斑星鲈受精卵孵化的影响
Fig. 4 Effects of temperature on the hatching of embryos of *V. variegatus*

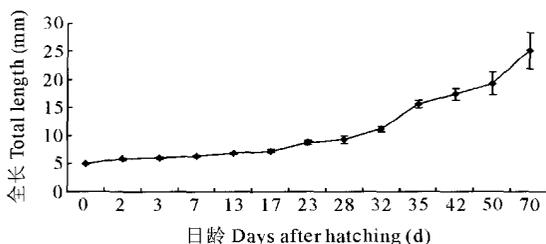


图 5 圆斑星鲈早期生长曲线(0~70 日龄)
Fig. 5 Growth curve of *V. variegatus* in early life stages

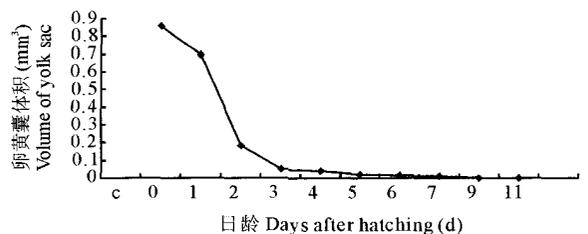


图 6 圆斑星鲈卵黄囊吸收过程
Fig. 6 Exhaustion of yolk sac of *V. variegatus* larvae

龄,尾鳍色素沉着,可清楚辨别尾鳍条数为12根,此时仔鱼膜鳍上黑色素带共有5条:背部脊索和腹部脊索上屈基部分别各有1个带,尾鳍部脊索两侧各有1个带,肛门部1条带;45日龄稚鱼体色变淡,背、腹鳍出现4~5个棕黑色斑点,体表分布数个色素斑,此时体表的色斑数已与成鱼无异;50日龄后,稚鱼完成变态,体色由黑色向灰色转变,无眼侧黑色素消退变浅,逐渐转化成成鱼体色。

2.3.5 变态眼偏转发生

圆斑星鲽仔鱼于33日龄左眼开始向右侧偏转,进入变态期;35日龄,稚鱼约63%左眼翻转一半,并开始尝试伏底;42日龄,稚鱼约72%左眼翻转至头部中央,40%成功伏底,此时捕食及游泳方式已近似成鱼;50日龄,稚鱼完成变态,左侧眼变态、凹陷,无眼侧体色素逐渐消退至白黄色。

3 讨论

3.1 胚胎发育

本研究中,胚胎发育过程各期的划分主要参考其同属鱼种条斑星鲽 *Verasper moseri* 的划分方法:仔稚幼鱼化分为卵黄囊仔鱼、尾椎弯曲仔鱼、尾椎弯曲后仔鱼、稚鱼期和幼鱼期,各期主要依据仔鱼形态变化及器官变化划分(柳学周等 2009)。圆斑星鲽卵子为悬浮性、无油球卵,卵黄均匀分布,这与条斑星鲽、星斑川鲽 *Platichthys stellatus* 相似(柳学周等 2009;陈四清等 2009;王波等 2008)。圆斑星鲽卵径 $1.75 \pm 0.08 \text{ mm}$,与条斑星鲽卵径相近,明显大于其他鲆鲽类的卵径,为大卵径鱼类,在水体中呈悬浮状态,孵化时一般用底部锥形网箱充气孵化,避免卵长时间堆积影响孵化率。本试验条件下,受精卵经159 h脱膜孵出,这与王开顺等(2003)报道的153 h相近,比Aritaki等(2001)和陈四清等(2006)分别报道的孵化时间197 h和192 h略短。温度是影响孵化时间的关键因素,温度对胚胎发育的影响试验结果也同样显示 $9 \sim 17 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内,圆斑星鲽胚胎发育时间与温度呈负相关关系,二者符合乘幂函数关系式: $N = 72.107T^{-1.0312}$, $R^2 = 0.9906$ 。柳学周等(2004)认为低温可能抑制了胚胎孵化酶的分泌和作用;而高温在初期促进了孵化酶的分泌并激活了酶的活力是引起的高温胚胎发育快但死亡率高的原因,具体的机制仍需进一步的酶生物化学研究确认。

3.2 仔稚鱼发育

圆斑星鲽仔鱼7日龄开口,开始摄食L型褶皱臂尾轮虫。仔鱼卵黄囊于11日龄吸收完全,与已有圆斑星鲽的报道相似;但比条斑星鲽(7日龄)、漠斑牙鲆 *Paralichthys lethostigma* (6日龄)等鲆鲽类鱼类明显消耗偏慢(陈四清等 2006;柳学周等 2009;马学坤等 2008),推测主要是培养水温影响了卵黄囊的消耗速度。圆斑星鲽仔鱼全长 $4.95 \pm 0.15 \text{ mm}$,大于其他鲆鲽鱼类,可能与其卵子直径较大和早期生活史有关,其他一些鲆鲽鱼类的研究表明,卵径的大小直接影响到初孵仔鱼的大小(表2),实际生产中根据鱼卵径的大小可以提前初步判断仔鱼的大小范围,以便于合理安排养殖密度,提高成活率,降低相应养殖成本。

表2 几种鲆鲽类初孵仔鱼全长及卵径比较

Table 2 Comparison of the total length of newly hatched larvae and egg diameter of *V. variegatus* with other pleuronectiformes

品种 Species	初孵仔鱼全长 Total length (mm)	卵径 Egg diameter (mm)	参考文献 Reference
条斑星鲽 <i>V. moseri</i>	4.92 ± 0.29	1.7~1.9	柳学周等 2009
星突江鲽 <i>Platichthys stellatus</i> Pallas	2.3~2.5	0.91~1.06	陈四清等 2009
星斑川鲽 <i>P. stellatus</i>	1.80~2.08	0.88~1.0	王波等 2008
高眼鲽 <i>Cleisthenes herzensteini</i> Schmidt	2.56~2.63	0.80~0.91	姜言伟等 1980
半滑舌鲷 <i>Cynoglossus semilaevis</i> Günther	2.56~2.68	1.18~1.31	万瑞景等 2004
牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	2.0	0.8 ± 0.01	田永胜等 2004
大菱鲆 <i>Scophthal musmaximus</i> L.	2.5	0.98	雷霖霖等 2003
大西洋牙鲆 Atlantic flounder	2.47	0.977	王波等 2007
宽体舌鲷 <i>C. robust</i>	1.75~1.85	0.85~0.90	Fujita et al. 1957
短吻三线舌鲷 <i>C. abbreviatu</i>	3.28	1.19~1.23	万瑞景等 2004

眼偏转是鲆鲽类鱼类变态的一个重要特征,眼睛的完全移位,标志着稚鱼的变态完成。鱼种的不同,眼睛偏位的起始和完成时间均有所差异。本研究显示,圆斑星鲽从32日龄左眼开始向右侧翻转,进入变态期,至50日龄稚鱼完成变态,共持续18d。已有研究报道圆斑星鲽变态持续时间为20d和14d(王开顺等 2003),这可能与仔鱼的培育条件和卵子自身营养储备的差异有关。漠斑牙鲆从26日龄开始进入变态期——右眼向左眼翻转,至40日龄结束,持续时间14d(马学坤等 2008);大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 于25日龄开始变态,38日龄结束,持续13d(雷霖霖等 2003);条斑星鲽整个变态过程持续18d,与圆斑星鲽相同(柳学周等 2009)。变态期为鲆鲽鱼类发育的第2个危险期,准确掌握其变态时间,有利于苗种顺利度过,以提高成活率。

圆斑星鲽鳍条的整个发育过程中,没发现有类似漠斑牙鲆、牙鲆等鱼的冠状幼鳍(马学坤等 2008;王波等 2007),亦未发现冠状鳍条原基的形成,仅在7日龄时仔鱼头部出现1个骨状突起,后渐渐消失,其具体结构和功能尚有待于进一步研究确认。胸鳍鳍膜在3日龄形成,长约0.5mm,7日龄尾鳍原基形成,与王开顺等(2003)报道的结果基本一致,比陈四清等(2006)报道的胸鳍原基出现的时间提前了2d,可能与培育条件的差别有关。条斑星鲽的胸鳍膜出现较早,1日龄时已开始出现(柳学周等 2009)。鲆鲽类鱼种不同,尾鳍的形成数目和时间也有差异,42日龄,圆斑星鲽尾鳍达到定数(20根),与漠斑牙鲆相似(40日龄,尾鳍条发育完成),但比条斑星鲽(32日龄,尾鳍数达定数19根)、大菱鲆(20日龄,尾鳍数20根)略慢,鳍条发育完成的时间一定程度上和仔稚鱼生活特征有一定关系,可能会影响摄食和游泳行为(柳学周等 2009;雷霖霖等 2003)。圆斑星鲽整个发育过程中体色的变化遵循体色透明-躯干部出现黑色素带-枝状或点状黑色素细胞群增多-体呈黑色(除尾部)-尾鳍色素沉着-背、腹鳍4~5个棕黑色斑点-体色由黑向灰色转化-无眼侧退色-有眼侧体色变浅;这与当前大多数有关鲆鲽鱼类的报道类似,如大菱鲆、大西洋牙鲆 *Paralichthys dentatu*、漠斑牙鲆、条斑星鲽、半滑舌鳎 *Cynoglossus semilaevis* Günther 等均有一个体色变化的过程,鲆鲽类尤为特别的是稚鱼进入变态期后,无眼侧的色素细胞显著消退或者全部褪色呈乳白色,这与其他一些游泳性鱼类不同,其具体的机制与其底栖生活密切相关(Hotta *et al.* 2001;王波等 2007)。

参 考 文 献

- 马学坤,柳学周,温海深,张璐. 2008. 漠斑牙鲆胚胎及仔稚鱼发育的形态学观察. 南方水产,4(1):41~47
- 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
- 王开顺,张志峰,康庆浩,张全启,张福玲. 2003. 圆斑星鲽胚胎及仔鱼发育的观察. 中国水产科学,10(6):451~456
- 王思锋,张志峰,张全启,王开顺. 2006. 圆斑星鲽仔鱼变态前消化系统发生的形态学和组织学研究. 中国水产科学,13(1):1~7
- 王波,张朝晖,谭萌,孙丕喜,薛江华,赵明. 2007. 大西洋牙鲆胚胎发育的形态观察. 海洋科学进展,25(2):191~199
- 王波,刘振华,孙丕喜,王宗灵,刘萍,滕照军. 2008. 星斑川鲽胚胎发育的形态观察. 海洋学报,30(2):130~136
- 陈四清,于东祥,马爱军,柳学周. 2002. 圆斑星鲽(*Verasper variegatus*, Temminck et Schlegel)生物学特性研究. 现代渔业信息,17(10):25~27
- 陈四清,高天翔,王琛,张岩,张鑫磊,陈艳翠. 2006. 圆斑星鲽早期发育特征的研究. 中国海洋大学学报,36(2):281~286
- 柳学周,徐永江,刘新富,陈超,王妍妍,马爱军. 2009. 条斑星鲽(*Verasper moseri*)的早期生长发育特征. 海洋与湖沼,40(6):699~706
- 柳学周,徐永江,马爱军,姜言伟,翟介明. 2004. 温度、盐度、光照对半滑舌鳎胚胎发育的影响及孵化条件调控技术研究. 海洋水产研究,25(6):1~6
- 谢恩义,阳清发,何学福. 2002. 瓣结鱼的胚胎及幼鱼发育. 水产学报,26(2):115~121
- 雷霖霖,马爱军,刘新富,门强. 2003. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)胚胎及仔稚幼鱼发育研究. 海洋与湖沼,34(1):10~18
- Aritaki, M., Ohta, K., and Hotta, Y., and Tanaka, M. 2001. Morphological development and growth of laboratory-reared spotted halibut *Verasper variegatus*. Nippon Suisan Gakkaishi, 67(1): 58~66
- Aritaki, M., Suzuki, S., and Hatanabe, K. 2000. Morphological development and growth of laboratory-reared barfin flounder *Verasper miser*. Nippon Suisan Gakkaishi, 66(3): 446~453
- Alderdice, D. F., Rosenthal, H., and Velsen, F. P. J. 1979. Influence of salinity and cadmium on capsule strength in Pacific herring eggs. Helgolander Marine Research, 32(1-2): 149~162
- Cho, K. C., Kim, J. H., Go, C. S., Kim, Y., and Kim, K. K. 1995. A study on seedling production of the spotted flounder, *Verasper variegatus*. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 50: 41~57
- Hotta, Y., Aritaki, M., Tagawa, M., and Tanaka, M. 2001. Early life history of spotted halibut *Verasper variegatus*; metamorphosis and settlement analyzed by laboratory experiments. Saibai Giken, 29(1): 59~72