

蓬莱玉参早期发育的形态学观察

卢斌^{①②} 陈四清^{②*} 李凤辉^② 刘春胜^② 王爽^③
刘长琳^② 燕敬平^②

① 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; ② 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;

③ 烟台海益苗业有限公司 烟台 265619

摘要: 本研究对仿刺参 (*Apostichopus japonicus*) 的一个特殊品系蓬莱玉参产卵、受精及胚胎和幼体发育过程进行显微观察, 并与普通仿刺参进行比较。在 19 ~ 21 °C 水温下, 蓬莱玉参受精卵分别在受精 12 min 和 24 min 后释放第一、二极体, 1 h 后卵裂成 2 细胞期, 之后每 30 min 左右完成一次卵裂, 6 h 后进入囊胚期, 19 h 后发育成原肠胚; 40 h 后进入耳状幼体阶段, 在其后侧臂的一端出现一个不规则形的石灰质骨片, 并发现其位置与水体腔处于同一侧这一规律; 5 d 和 8 d 后发育为中耳状幼体和大耳状幼体, 10 d 后变态发育为樽形幼体, 骨片由不规则状发育为齿轮状, 并出现第二个石灰质骨片; 12 d 后发育为五触手, 14 d 后发育成稚参, 40 d 后发育为幼参。蓬莱玉参胚胎和幼体发育时序与当前已报道的仿刺参无显著差异, 但从幼参开始蓬莱玉参通体始终为白色, 而普通仿刺参在 45 日龄时体表局部出现色素, 疣足处较为明显, 60 日龄幼体一半以上全身布满色素。蓬莱玉参因通体纯白色而受到了众多养殖企业和研究领域的关注, 本文的结果为其今后的研究奠定了可靠的理论基础。

关键词: 蓬莱玉参; 早期发育; 骨片发育; 体色发育

中图分类号: Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 05-867-09

The Morphological Observation on the Early Development of Penglai Milky Cucumber (*Apostichopus japonicus*)

LU Bin^{①②} CHEN Si-Qing^{②*} LI Feng-Hui^② LIU Chun-Sheng^② WANG Shuang^③
LIU Chang-Lin^② YAN Jing-Ping^②

① *College of Fisheries and Life Science, The Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306; ② *The Yellow Sea Fisheries Research Institute,*

Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; ③ *Yantai Haiyi Marine Seedling Co., LTD, Yantai* 265619, China

Abstract: Penglai Milky Cucumber (*Apostichopus japonicus*) is a new strain in Sea Cucumber ranching and aquaculture. In this paper, for a better understanding and identifying the similarities and differences between Penglai Milky Cucumber and Common Sea Cucumber, and for evaluating the potential use and increasing the natural populations of Penglai Milky Cucumber, the embryonic and larval development was observed under the light microscope, and the time course of embryonic and larval development was confirmed. At the water

* 通讯作者, E-mail: chensq@ysfri.ac.cn;

第一作者介绍 卢斌, 男, 硕士研究生; 研究方向: 水产苗种繁育与生产; E-mail: lubinaquaculture@126.com。

收稿日期: 2015-09-30, 修回日期: 2016-01-31 DOI: 10.13859/j.cjz.201605017

temperature of 19 - 21°C and salinity of 31, the first meiosis and second meiosis completed at 12 minutes and 24 minutes respectively after insemination (Fig. 2c, d); the eggs developed to 2 cells at 1 hour, completed a cleavage every 30 minutes, developed to the blastula at 6 hours, and to the gastrula at 19 hours. The fertilized eggs grew into early auricularia at 40 hours after fertilization (Fig. 3a), and then into the mid-auricularia and auricularia at 5 days and 8 days, respectively. In addition, an irregularly shaped calcareous bone appeared at the end of posterior arm of the larva, and the water cavity was observed on the same side (Fig. 4a). The larvae underwent metamorphosis to become doliolaria at 10 days, when the irregular bone developed into gear bone and the second calcareous bone appeared. The larvae developed to pentactula at 12 days, and to juvenile Sea Cucumber at 14 days. There was no significant difference in the developmental time course between Penglai Milky Cucumber and Common Sea Cucumber (Table 1). Penglai Milky Cucumber was in pure white on the whole body after juvenile stage. However, the Common Sea Cucumber showed some pigment at surface in 45 days, especially at the bottom of parapodium (Fig. 5b), and more than half of the juveniles were full of pigment at 60 days. In conclusion, Penglai Milky Cucumber is different from Common Sea Cucumber (Selenka) as indicated by its white body, which makes it attractive to aquaculture companies and institutions, and the data of this study will provide reliable theoretical basis for Penglai Milky Cucumber's research in the future.

Key words: Penglai Milky Cucumber; Early development; Bone development; Pigment change

仿刺参 (*Apostichopus japonicus*) 的一个特殊品系蓬莱玉参又名白玉参(刘长琳等 2015), 其全身纯白并且发现于蓬莱, 故命名为蓬莱玉参。因其通体洁白似玉、野生数量稀少, 一直受到海参养殖界的关注。目前很多养殖企业都在尝试进行该品种的繁育和养殖, 但一直未见规模化繁育成功的相关报道。本课题组于 2015 年 5 月在烟台海益苗业有限公司开展了蓬莱玉参的规模化繁殖, 一次催产即获得子二代 8 亿幼体, 为国内首次大规模人工繁育, 并于当年 7 月 4 日通过验收。

刺参白化主要是因为其体内 *MITF* 基因的低表达导致黑色素细胞的缺失(赵鹤凌等 2012), 而抑制 *MITF* 基因激活的主要原因是 *PKA*、*PKC*、*Ras* 和 *FGFR4* 等基因的低表达(马得友 2014)。刘长琳等(2015)研究并分析了蓬莱玉参体壁营养成分; 朱厚祥等(2013)研究了不同环境因子对白刺参(即白色仿刺参)幼参生长及存活的影响。但尚未见蓬莱玉参早期发育的相关报道。基于此, 开展了蓬莱玉参产卵、受精、胚胎及幼体发育过程的显微观察,

以期探明蓬莱玉参与其他刺参的早期发育异同。

1 材料与方法

1.1 亲体

蓬莱玉参亲体由烟台海益苗业有限公司多年选择培育而成。本次实验采用体重 300 ~ 400 g 且全身纯白的亲体。

1.2 产卵与受精

催产前取样解剖观察亲体性腺发育情况, 性腺为橙黄色饱满即可进行催产(图 1)。催促亲体排卵受精的方法为阴干、流水与高温刺激。产卵时间控制在夜间, 产卵期间做到安静、避光。本实验以雌参开始产卵时间为受精起点, 定时取样, 显微观察和记录胚胎发育时序。

1.3 培养条件

蓬莱玉参受精卵培养在 4 m × 6 m 的水池内, 水深为 1.2 m, 水温为 19 ~ 21°C, 盐度为 31。当受精卵发育至初耳状幼体时, 进行参苗分池, 采用虹吸法及 260 目筛绢过滤, 幼体培养密度为 200 ~ 400 个/L; 当幼体发育至大耳状

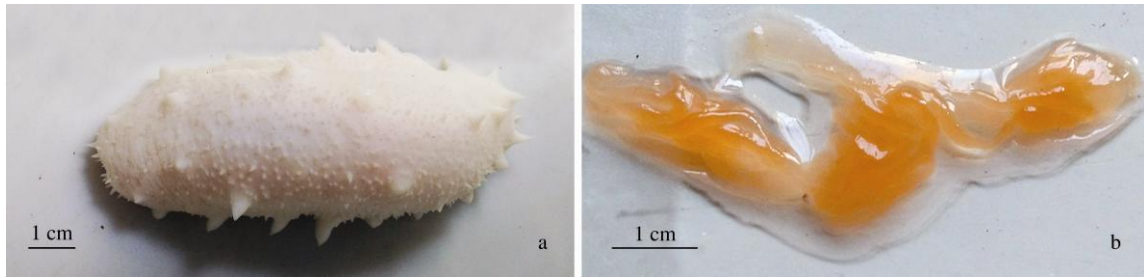


图 1 蓬莱玉参 (a) 与雌参成熟性腺 (b)

Fig. 1 Penglai Milky Cucumber (a) and female mature gonad (b)

幼体末期时, 投放波纹板附着器。幼体附着前每天投喂 3 次海洋红酵母、食用酵母及螺旋藻粉混合开口饵料; 附着后每天投喂 2 次马尾藻粉、鼠尾藻粉、其他添加剂与海泥的混合饵料。

1.4 观察方法

1.4.1 胚胎及幼体发育 受精卵至囊胚期, 每 5 min 取一次样; 囊胚期至原肠胚期, 每 30 min 取一次样; 初耳状幼体至五触手幼体, 每 8 h 取一次样; 五触手幼体至稚参, 每 24 h 取一次样。每次取样均为两份, 每份 20 个样以上, 置于凹玻片中, 用 Nikon Eclipse 80i 显微镜与 Nikon SMZ1000 体视显微镜观察, 并使用 Nikon DS-U3 CCD PC 端控制单元拍照记录。观察时超过一半以上的样品发育为一个阶段时定为一个时序。

1.4.2 早期骨片发育 以 10% 的 NaOH 溶液浸泡蓬莱玉参幼体 30 min 提取骨片, 置于凹玻片中, 使用 Nikon Eclipse 80i 显微镜观察拍照记录。

1.4.3 体色发育 取同一天孵化的蓬莱玉参与普通仿刺参幼体, 每 72 h 取一次样, 各随机取 30 个幼参, 按颜色深浅排序 1~30, 再各从 10~20 中随机取 1 个样, 置于培养皿中, 以黑色为底色, 附上标尺, 并使用数码相机拍照记录。

2 结果

2.1 排卵

2015 年 5 月 13 日 15:00 时开始催产, 雌参阴干 1 h, 流水刺激 30 min 后置于产卵池中。

雄参于 18:20 时开始排精, 精液为乳白色细线状, 很快变为烟雾状; 约 20 min 后雌参开始排卵, 为较粗的橘黄色绒线状。产卵后池水呈乳白色黏稠状, 水面漂浮着泡沫。雌参产完卵后, 每隔 1 h 搅动一次水体, 以保证受精卵不会沉底缺氧死亡。

2.2 胚胎发育

2.2.1 卵裂期 蓬莱玉参的卵细胞呈球状 (图 2a), 开始受精时被多数的精子围绕 (图 2b)。受精卵在受精后 12 min 释放第一极体 (图 2c), 24 min 后释放第二极体 (图 2d), 约 1 h 后首次卵裂 (图 2e, f), 发育为 2 细胞。之后每隔 30 min 完成一次卵裂, 依次发育为 4 细胞、8 细胞、16 细胞、32 细胞、多细胞 (图 2g~n)。实验观察发现, 首次卵裂都是经过极体, 并且极体端卵裂速度比非极体端略快 (图 2f)。

2.2.2 囊胚期 受精 6 h 后进入囊胚初期, 此时细胞间隔紧密 (图 2o)。受精 12 h 后进入旋转囊胚期, 囊胚上浮并顺时针或逆时针旋转, 转速约为 16 r/min (图 2p)。受精 16 h 后进入椭圆旋转囊胚期, 随着囊胚的不停旋转, 胚胎的一端增厚, 为植物极; 另一端变薄, 为动物极 (图 2q)。实验观察发现, 椭圆旋转囊胚的旋转中心轴为动植物极, 且以动物极为前进方向游走。

2.2.3 原肠期 受精 19 h 后进入原肠胚初期。胚胎的植物极的一端逐渐变平, 内陷, 出现原肠原基 (图 2r); 随着内陷的不断深入, 出现胚孔 (图 2s); 原肠内陷到胚体的一半时, 原

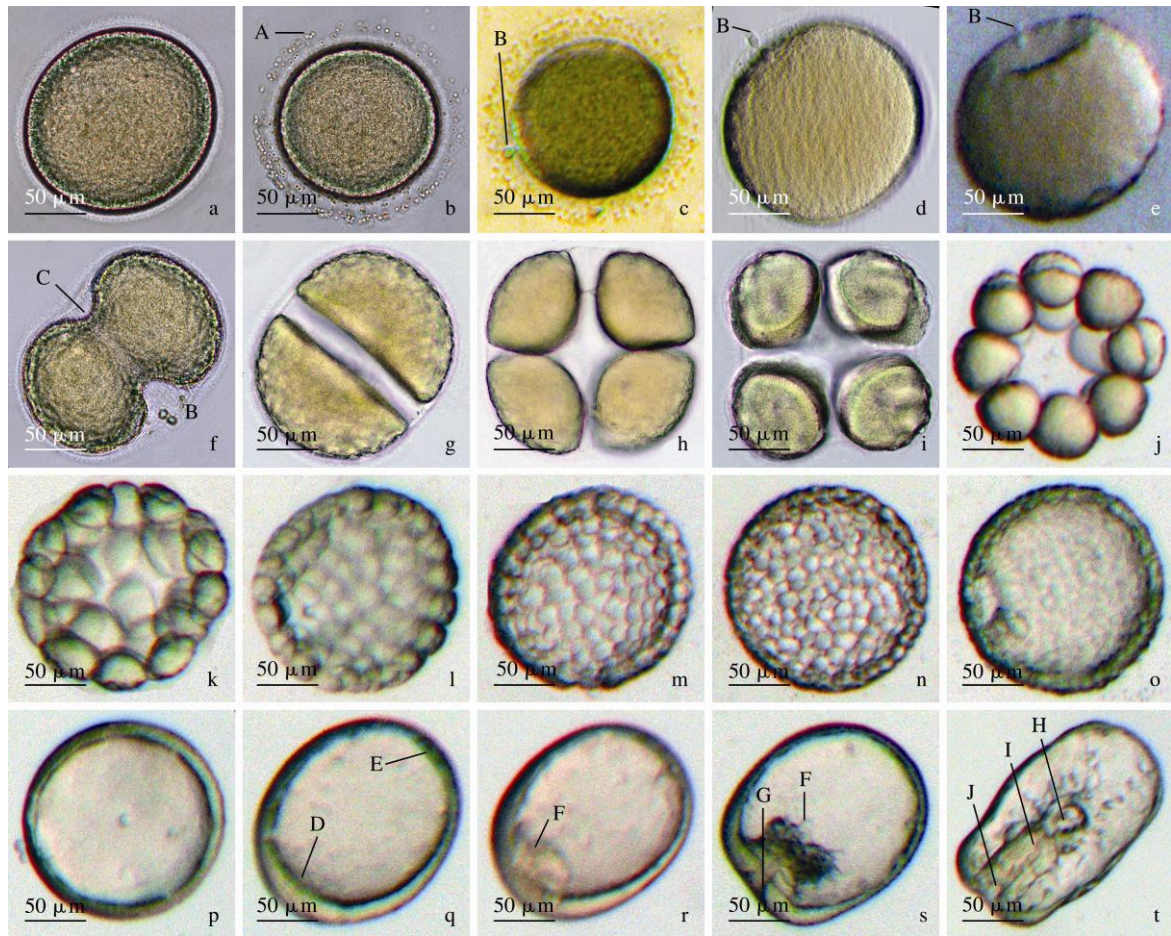


图 2 蓬莱玉参胚胎发育

Fig. 2 Embryonic development of Penglai Milky Cucumber

a. 卵细胞; b. 精子入卵; c. 释放第一极体; d. 释放第二极体; e, f. 首次卵裂; g. 2 细胞; h. 4 细胞; i. 8 细胞; j. 16 细胞; k. 32 细胞; l. 64 细胞; m. 128 细胞; n. 256 细胞; o. 囊胚期; p, q. 旋转囊胚期; r, s. 原肠胚初期; t. 原肠胚。

a. Egg; b. Sperm penetration; c. The first polar body; d. The second polar body; e, f. First cleavage; g. 2 cells; h. 4 cells; i. 8 cells; j. 16 cells; k. 32 cells; l. 64 cells; m. 128 cells; n. 256 cells; o. Blastula; p, q. Rotary blastula; r, s. Early-gastrula; t. Gastrula.

A. 精子; B. 极体; C. 卵裂沟; D. 植物极; E. 动物极; F. 原肠原基; G. 胚孔; H. 口; I. 消化道; J. 肛门。

A. Sperm; B. Polocyte; C. Cleavage furrow; D. Vegetal pole; E. Animal pole; F. Mesenteron rudiments; G. Blastopore; H. Mouth; I. Digestive tract; J. Anus.

肠胚壁内陷，与原肠连接形成口，口部与原肠相连的部分成为消化道，胚孔发育为幼体的肛门（图 2t）。

2.3 幼体发育

蓬莱玉参的早期幼体发育经过耳状幼体、樽形幼体、五触手幼体和稚参幼体 4 个时期，各时期出现的时间分别是受精后 40 h、10 d、

12 d 和 14 d。

2.3.1 耳状幼体 根据耳状幼体的大小及水体腔出现时段，分为初耳状幼体、中耳状幼体和大耳状幼体。耳状幼体各个时期出现的时间分别为 40 h、5 d 和 8 d。

2.3.1.1 初耳状幼体 受精 40 h 后进入耳状幼体时期。耳状幼体形成初期，只能粗略地分辨

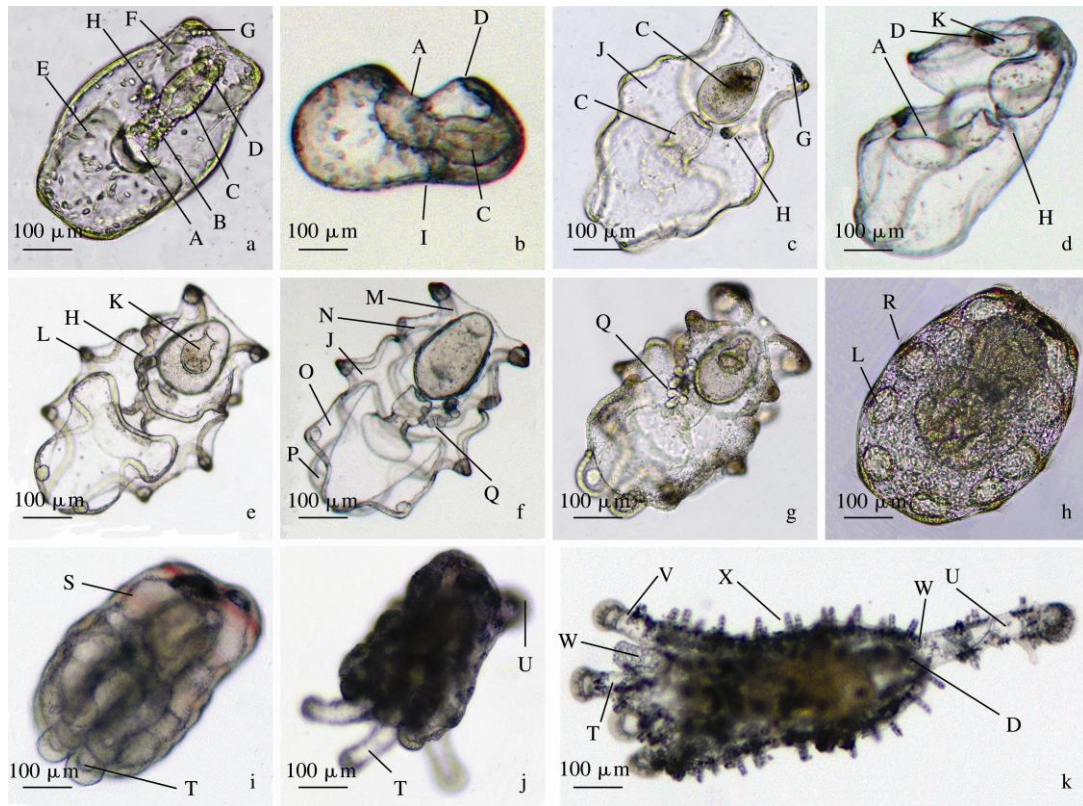


图 3 蓬莱玉参的幼体发育图

Fig. 3 Larval development of Penglai Milky Cucumber

a. 初耳状幼体正面观; b. 初耳状幼体侧面观; c. 中耳状幼体正面观; d. 中耳状幼体侧面观; e. 大耳状幼体前期; f. 大耳状幼体中期; g. 大耳状幼体后期; h. 樽形幼体; i. 樽形幼体后期; j. 五触手幼体; k. 稚参。

a. Early-auricularia (frontal view); b. Early-auricularia (lateral view); c. Mid-auricularia (frontal view); d. Mid-auricularia (lateral view); e. Prophase of late auricularia; f. Metaphase of late auricularia; g. Anaphase of late auricularia; h. Doliolaria; i. Anaphase of doliolaria; j. Pentactula; k. Juvenile.

A. 口; B. 食道; C. 胃; D. 肛门; E. 口前环; F. 口后环; G. 石灰质骨片; H. 水体腔; I. 水孔; J. 间背臂; K. 排泄腔; L. 球状体; M. 后侧臂; N. 后背臂; O. 前背臂; P. 口前臂; Q. 五触手原基; R. 纤毛; S. 神经环; T. 触手; U. 第一管足; V. C型骨片; W. 板状骨片; X. 桌形骨片。

A. Mouth; B. Esophagus; C. Stomach; D. Anus; E. Preoral loop; F. Postoral loop; G. Calcareous bone; H. Somatocoel; I. Waterstoma; J. Interdorsal arm; K. Cloaca; L. Spheroplast; M. Posterolateral arm; N. Posterodorsal arm; O. Anterodorsal arm; P. Preoral arm; Q. Tentacle primordium; R. Cilium; S. Nerve ring; T. Tentacle; U. The first podia; V. C-type bone; W. Platelike bone; X. Table-type bone.

出口、消化系统和肛门(图 3a)。幼体侧面看似一只“拖鞋”或耳朵(图 3b), 故称为耳状幼体。幼体前端和后端的纤毛带向腹面弯曲覆盖, 分别形成口前环和口后环(图 3a)。显微镜下可清晰地观察到口前环上的纤毛在摆动, 纤毛的摆动形成水流帮助幼体将食物卷入口

中; 在幼体后侧臂的一侧有一处颜色加深, 为“石灰质骨片”雏形(图 3b)。在初耳状幼体期间, 从正面观察幼体, 可看到胃部一侧有一腔体, 为水体腔; 从侧面观察幼体, 可看到水体腔与背壁相连, 背壁连接处为水孔(图 3b)。

2.3.1.2 中耳状幼体 受精 5 d 后进入中耳状

幼体时期。由于初耳状幼体已开口摄食，幼虫的个体逐渐发育长大，为初耳状幼体的 1.5 ~ 2.0 倍。中耳状幼体的特点是：纤毛扩增，侧脊纤毛带弯曲突起，形成间背臂；食道变宽，食道壁变薄；胃壁变薄、变大呈球状；后端的排泄腔形成，位于口后环中间部位；水体腔稍微变大，没有发生明显的变化；石灰质骨片颜色加深更为明显（图 3c, d）。

2.3.1.3 大耳状幼体 受精 8 d 后进入大耳状幼体时期。此时期幼体个体达到最大值，大小为初耳状幼体的 2 ~ 3 倍。在大耳状幼体时期，幼体体臂末端依次出现 5 对球状体，出现顺序为：后侧臂、后背臂、间背臂、前背臂和口前臂；大耳状幼体末期，水体腔处分化长出五触手原基（图 3e, f）。9 日龄幼体的纤毛开始脱落，游泳能力变差，此时需投放附着基，以确保幼体不会沉到地面，影响后期的发育与变态。大耳状幼体后期消化系统萎缩，停止摄食，整体向樽形收缩（图 3g）。

2.3.2 樽形幼体 受精 10 d 后幼体进入樽形幼体时期。此时期最显著的特点是个体变小，5 对球状体连接 5 条纤毛带，呈鲜红色，为幼体神经，纤毛带上少许纤毛（图 3h）。11 日龄时幼虫的 5 对球状体相互紧挨，个体缩小至幼体期最小值，大小与初耳状幼体相似。此时五触手已经初步形成，能明显地看到它们在体内蠕动，有个别幼体伸出 1 ~ 3 个触手（图 3i）。

2.3.3 五触手幼体 受精 12 d 后幼体进入五触手时期。此时期幼体的 5 个触手都已伸出，幼体开始通过五触手和第一管足进行爬行与摄食。触手呈灯笼状，主要作用是吸附爬行和来回拨动形成水流将食物引入口中（图 3j）。

2.3.4 稚参 受精 14 d 后幼体发育成稚参。稚参幼体的触手上有 C 形骨片，触手基部处有 2 ~ 3 块大型板状骨片；幼体体壁周围覆盖着大量的桌形骨片，似乎作为幼体自我保护的盔甲；稚参肛门处有 3 块板状骨片，随着肛门的收缩而张开合闭；幼体尾部只有一根管足（图 3k）。

2.4 早期骨片发育

在蓬莱玉参早期发育阶段，有三类骨片较为特殊，分别是石灰质骨片、竹篮状骨片、X 型骨片。其中石灰质骨片出现于耳状幼体早期的后侧臂与水体腔同侧的一端上，起初一个，形状为不规则的多角形（图 4a）；幼体发育至樽形幼体时，出现两个石灰质骨片。竹篮状骨片出现于大耳状幼体后期的五触手原基处，由起初的环状结构发育为竹篮状结构（图 4b, c）。稚参幼体身上的桌形骨片和板状骨片都是由简单的 X 型骨片发育而成的，X 型骨片首先出现于樽形幼体时期的体壁上（图 4c）。

2.5 幼参的体色发育

受精后 40 d 幼体发育成幼参。因幼体呈白色半透明、大小似米粒，故生产上称之为“小白点”（图 5a）。此阶段幼参已经长了多个疣足和管足，其中疣足长出的时间晚，第一对疣足在出现第三管足之后在头部长出。实验观察发现，在同一批幼参中，普通刺参在 45 日龄时出现色素，其中，疣足基部的色素积累较为明显，而蓬莱玉参为纯白色；普通刺参在 50 日龄时颜色加深，60 日龄幼体全身布满色素，而蓬莱玉参全身为纯白色（图 5b ~ d）。

3 讨论

3.1 三种海参幼体发育时序的比较

本实验研究了蓬莱玉参的早期发育时序，与仿刺参（朱峰 2009）、糙海参（*Holothuria scabra*）（严俊闲等 2012）的发育时序进行比较（表 1）。蓬莱玉参和仿刺参在各个时序上无明显差异。在胚胎发育阶段，蓬莱玉参和仿刺参均在受精 19 ~ 21 h 内发育为原肠胚，而糙海参发育速度明显快于前两者，在受精 8 h 后发育为原肠胚。谭杰等（2012）在研究仿刺参受精及早期胚胎发育时发现，在水温为 22 ~ 23℃ 时，受精卵排放第一极体的时间为受精后 12 min，第二极体为 20 min，受精 80 min 后发育为 2 细胞。本实验结果与之相似。温度升高会影响受精卵极体排放、卵裂和胚胎发育及幼体变态的时间（Desrosiers et al. 1996, Eudeline

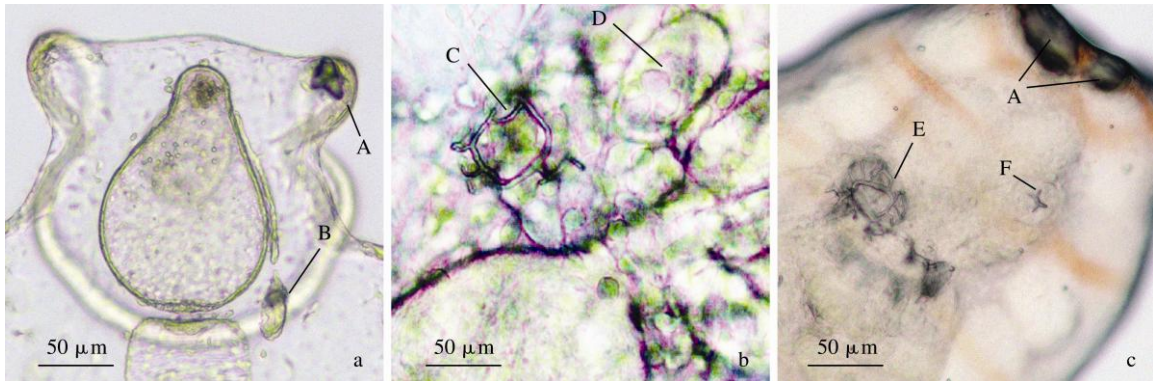


图 4 早期幼体骨片的发育

Fig. 4 Bone development of the early larva

a. 中耳状幼体; b. 大耳状幼体后期; c. 樽形幼体。a. Mid-auricularia; b. Anaphase of late-auricularia; c. Doliolaria.
 A. 石灰质骨片; B. 水体腔; C. 花环状骨片; D. 五触手原基; E. 竹篮状骨片; F. X 型骨片。
 A. Calcareous bone; B. Somatocoel; C. Garland-type bone; D. Tentacle primordium; E. Basket-type bone; F. X-type bone.

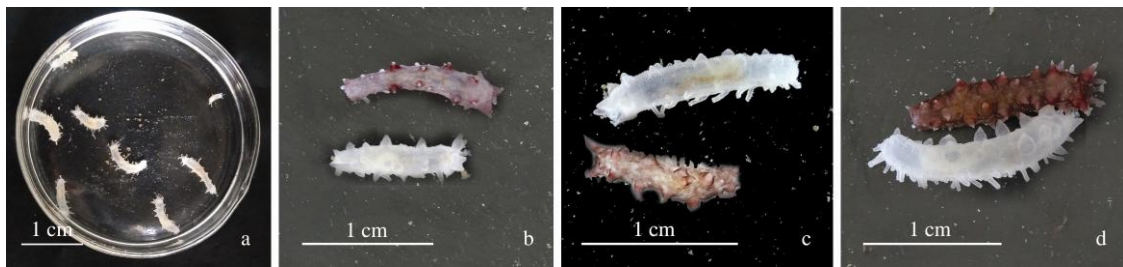


图 5 同批蓬莱玉参与普通刺参不同日龄的体色对比

Fig. 5 Body color comparison between Penglai Milky Cucumber and Sea Cucumber at different ages

a. 40 日龄蓬莱玉参; b. 45 日龄普通刺参与蓬莱玉参; c. 50 日龄蓬莱玉参与普通刺参; d. 60 日龄普通刺参与蓬莱玉参。
 a. 40 d Penglai Milky Cucumber; b. 45 d Sea Cucumber and Penglai Milky Cucumber; c. 50 d Penglai Milky Cucumber and Sea Cucumber; d. 60 d Sea Cucumber and Penglai Milky Cucumber.

表 1 三种不同海参早期发育时序的比较

Table 1 The early development sequence comparison among different Sea Cucumbers

发育阶段 Developmental stage	蓬莱玉参 <i>Apostichopus</i> sp.	仿刺参 (朱峰 2009) <i>Apostichopus japonicus</i>	糙海参 (严俊闲等 2012) <i>Holothuria scabra</i>
第一极体出现 The first polar body	12 min	15 min	10 min
第二极体出现 The second polar body	24 min	40 min	12 min
2 细胞 2 cells	1 h	1 h	30 min
完成一次卵裂的时间 The time to complete the first cleavage	≈ 30 min	≈ 30 min	≈ 15 min
囊胚期 Blastula	6 h	6 h	3 h 10 min
原肠胚 Gastrula	19 h	21 h	8 h 10 min
初耳状幼体 Early-auricularia	40 h	32 h	19 h
中耳状幼体 Mid-auricularia	5 d	4 d	2 d
大耳状幼体 Late auricularia	8 d	8 d	5 d
樽形幼体 Doliolaria	10 d	9 d	8 d
五触手幼体 Pentactula	12 d	11 d	12 d
稚参 Juvenile	14 d	12 d	15 d

et al. 2000, 胡利华等 2015)。糙海参在发育为樽形幼体之前, 到达各发育阶段的时间明显比蓬莱玉参和仿刺参的短, 而发育成五触手和稚参所需的时间则更长。水温的变化对刺参受精卵的孵化和幼体发育时间有很大的影响(隋锡林 1989)。糙海参养殖于南方, 幼体发育时平均水温为 29℃; 而蓬莱玉参和仿刺参养殖于北方, 平均水温为 21℃。因此温度的差异是影响海参胚胎发育及幼体变态发育时序的关键因素之一。

3.2 早期骨片发育

骨片位于海参体壁真皮层, 其组成特征稳定, 可作为海参快速鉴定的理想指标(李赟等 2008)。众多学者对国内外多种海参骨片的种类和形态特征进行了观察研究(李赟等 2008, 文菁等 2011), 但仅限于成年海参的骨片, 本实验通过观察早期幼体的骨片发生, 发现后期复杂的桌形骨片及板状骨片是由早期的 X 型骨片发育而成; 并且发育早期的骨片亦可以作为海参分类的依据之一。严俊闲等(2012)在对糙海参的胚胎及幼体发育的研究中发现, 糙海参从小耳状幼体开始在幼体后端中线向后长出一个较大的突起物, 突起物上有一个石灰质骨片, 并提出耳状幼体中的石灰质骨片可作为区分刺参科和海参科的指标。本实验观察的结果是在耳状幼体后侧臂与水体腔同侧的一端出现一个形状不规则的石灰质骨片, 发育至樽形幼体时期出现第二个石灰质骨片。同属于刺参科的仿刺参(朱峰 2009)、花刺参(*Stichopus variegates*)(严俊闲 2012)、斐济刺参(*Stichopus* sp.)(Hu et al. 2010)均出现相同的现象, 而属于海参科的糙海参和 *Holothuria arguinensis* (Dom ínguez-Godino et al. 2015)的石灰质骨片位于突起物上, 这种结构特点为严俊闲(2012)的观点提供了直接证据。

3.3 幼参体色的发育

动物的体色主要起保护作用, 在某些海水养殖鱼类中, 体色也是鉴定是否健康的标准之一。朱杰等(2002)在研究大菱鲆(*Scophthalmus*

maximus) 早期胚胎发育过程中发现, 1 日龄仔鱼的体干背部及鳍膜上出现色素, 在 5 日龄仔鱼时期体干及鳍膜上的色素量增加。在褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) 早期仔鱼发育过程中, 其体表色素也有类似的变化(Zhu et al. 2004)。赵鹤凌(2011)在研究仿刺参白化机制时发现, 普通仿刺参在 60 日龄时体壁黑色素含量与白化仿刺参存在显著差异; 而本实验的结果是普通仿刺参与蓬莱玉参在 45 日龄时色素存在显著差异, 这可能是养殖条件的差异造成的。马得友(2013)在研究刺参白化发生与子代体色分离中发现, 白化仿刺参子代存在体色分离现象, 当幼体发育到 6 000 头/kg 时有 65% 的幼体出现体色分离现象, 并且随着幼体的逐渐长大分离率越大。本实验结果是蓬莱玉参在 1 000 头/kg 时仍未出现体色分离现象。蓬莱玉参未出现体色分离现象的原因, 一方面可能是养殖条件的差异; 另一方面可能是蓬莱玉参的体色遗传较为稳定。这有待于进一步的探索。

参 考 文 献

- Desrosiers R R, D'áilets J. 1996. Early developmental events following fertilization in the giant scallop *Placopecten magellanicus*. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 53(6): 1382-1392.
- Dom ínguez-Godino J A, Slater M J. 2015. A new species for sea cucumber ranching and aquaculture: Breeding and rearing of *Holothuria arguinensis*. Aquaculture, 438(2015): 122-128.
- Eudeline B, Allen S K. 2000. Delayed meiosis and polar body release in eggs of triploid pacific oysters, *Crassostrea gigas*, in relation to tetraploid production. Journal of Experimental Marine Biology & Ecology, 248(2): 151-161.
- Hu C, Xu Y. 2010. Larval development and juvenile growth of the sea cucumber *Stichopus* sp. (Curry fish). Aquaculture, 300(1/4): 73-79.
- Zhu J, Zhang X M. 2004. Morphological studies on the development of melanophores and scales in malpigmented *paralichthys olivaceus*. Acta Hydrobiologica Sinica, 28(6): 653-658.
- 胡利华, 周朝生. 2015. 温度和盐度对南移养殖刺参(*Apostichopus*

- japonicus*) 胚胎和幼体发育的影响. 宁波大学学报: 理工版, 28(1): 8–14.
- 李贲, 费来华. 2008. 十五种海参骨片的形态学研究. 中国海洋大学学报, 38(2): 211–216.
- 刘长琳, 王有廷. 2015. 蓬莱玉参 (*Apostichopus* sp.) 体壁的营养成分分析及评价. 渔业科学进展, 36(5): 112–118.
- 马得友. 2013. 基于高通量测序的刺参白化发生和白参子代体色分离表征研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文.
- 隋锡林. 1989. 影响刺参幼体发育及存活率的主要因子. 海洋与湖沼, 20(4): 314–321.
- 谭杰, 孙慧玲. 2012. 刺参受精及早期胚胎发育过程的细胞学观察. 水产学报, 36(2): 272–277.
- 文菁, 胡超群. 2011. 中国 15 种海参的分子系统发育和骨片演化的分析. 海洋科学, 35(5): 66–72.
- 严俊贤. 2012. 六种南海海参的系统发育与糙海参和花刺参的胚胎与幼体发育研究. 海口: 海南大学硕士学位论文.
- 严俊贤, 王世峰. 2012. 糙海参胚胎和幼体发育的形态观察. 水产学报, 36(7): 1073–1080.
- 赵鹤凌. 2011. 刺参 *Apostichopus japonicus* (Selenka) 白化特征发生机理的基础研究. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文.
- 朱峰. 2009. 仿刺参 *Apostichopus japonicas* 胚胎发育和主要系统的组织学研究. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文.
- 朱厚祥, 孔令锋. 2013. 盐度、温度和培育密度对白刺参幼虫生长及存活的影响. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 43(7): 34–39.
- 朱杰, 张秀梅. 2002. 大菱鲆早期变态发育和体表黑色素细胞形态学观察. 水产学报, 26(3): 193–200.