

紫刺参早期生长发育与体色形成的研究

陈相堂¹, 赵 斌², 李成林², 韩 莎², 胡 炜²

(1. 烟台市海洋经济研究院, 烟台 264000; 2. 山东省海洋生物研究院, 青岛 266104)

摘要: 本研究对紫刺参胚胎和幼体发育过程进行了显微观测, 比较分析了其幼体早期生长情况与体色形成过程。结果表明: (1) 在水温 $21.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 条件下, 紫刺参受精卵在受精 10~15min 后释放第一极体, 5h 30min~6h 30min 进入囊胚期, 18~20h 发育成原肠胚; 30~34h 进入耳状幼体阶段, 8~10d 变态发育为樽形幼体, 12~14d 发育成稚参; 紫刺参胚胎和幼体发育时序与普通刺参无显著差异。(2) 紫刺参早期发育中的樽形幼体发生率和附着变态率分别为 $58.4 \pm 4.7\%$ 和 $45.1 \pm 2.7\%$, 高于普通刺参。(3) 紫刺参浮游阶段后期随日龄增长表现出较普通刺参发育更快的优势, 在日龄 6~7d 表现出显著差异 ($P < 0.05$)。 (4) 紫刺参稚参在日龄 35d 前后自背部开始着色, 50d~60d 腹部开始着色, 110d 体表紫色转变近乎成参体色, 完成变色过程。

关键词: 紫刺参; 早期发育; 生长; 体色发育

中图分类号: 917.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2019)06-0095-07

DOI: 10.11759/hyxx20190226002

紫刺参是仿刺参(*Apostichopus japonicus*)中一个具特殊表观特征的品系, 其通体呈紫色, 外观鲜艳亮丽, 较普通刺参更具市场开发潜力^[1]。目前, 我国刺参养殖产业在取得长足发展之后, 基于新业态下产业提质增效与转型升级需求, 亟待突破种质退化、抗逆性差等制约瓶颈, 选育表观独特、经济性良好的特色品种成为育种方向的突破口^[2-3]。因此, 开展紫刺参这一具有优良表观特色品系的繁殖生物学及其着色机理的系统研究, 在对推进其产业化开发应用中提供相应技术支持和基础理论等方面具有重要的意义和作用。

自然界刺参体色可随生长环境的变化而改变, 多呈青色、黄色、土黄色、黑色、褐色等, 偶有白色^[4-6]。动物体色主要对其自身起保护作用, 在某些海水鱼类中, 体色也是判定是否健康的指标之一。目前, 关于紫刺参相关研究主要为温度、盐度等环境因子对其生长、能量收支等生理生化指标的影响^[7], 对不同体色刺参早期发育生物学多集中在青色、白色、红色等品系^[6-8], 有关紫刺参早期生长发育与体色形成过程与作用机理尚不多见。本实验以普通刺参为对照, 研究了紫刺参产卵、受精、胚胎和幼体发育过程, 以及幼体早期生长与体色形成过程, 研究结果可为紫刺参良种繁育及其生理生态学研究提供科学依据与基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 亲参

以本研究课题组经多年选育获得的紫刺参为亲体, 2018年4月置于室内玻璃缸槽中暂养待用。暂养期间主要水质理化因子为: pH 值 7.8~8.5、溶解氧 5 mg/L 以上、水温 $15 \sim 17^\circ\text{C}$ 、盐度 31.8~32.4, 每日按刺参体重 1%~3%的投饵量投喂配合饲料, 至催产前 3 天停止投喂。

1.1.2 催产与受精

筛选个体重 200 g/头以上, 生长摄食好、伸展自如、活力强的紫刺参亲体, 采用阴干加流水刺激的方

收稿日期: 2019-02-26; 修回日期: 2019-06-04

基金项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”专项(2018YFD0901602); 山东省泰山产业领军人才工程(LJNY201613); 山东省现代农业产业技术体系刺参产业创新团队建设工程(SDAIT-22-01); 山东省农业良种工程(2017LZGC010)

[Foundation: National Key R & D Program of China, No. 2018YFD0901602; the Taishan Industry Leading Talents Project, No. 2016-2020; the Innovation Team Building of Sea Cucumber Industry in Shandong Province Modern Agricultural Technology System, No. SDAIT-22-01; Agricultural Seed Engineering Project of Shandong Province, No. 2017LZGC 010]

作者简介: 陈相堂(1964-), 男, 山东烟台人, 高级工程师, 主要从事海水增养殖技术研究, E-mail: jm.zb@163.com; 李成林, 通信作者, 男, 山东青岛人, 研究员, 主要从事海洋生物遗传育种与健康增养殖技术等研究, 电话: 0532-82657692, E-mail: lcl_xh@hotmail.com

法进行人工催产,产卵水温 20.5℃,发现排放雄参及时捞出,置于专用塑料桶中自行排放。当采卵密度达到 20~30 个/mL 时将所有亲参取出,置于另外池中继续排放。随后将采卵池水温升至 21.0 ± 0.2℃进行孵化。孵化期间,每小时搅池一次,24 h 连续微充气以保证受精卵均匀分布。

1.1.3 培育管理

孵化至小耳幼体时按 0.15 个/mL 的密度分池培育,培育水温保持在 21.0 ± 0.2℃,投喂苹果干酵母和海洋红酵母,日投喂量为小耳幼体 1.0×10⁴个/mL、中耳幼体 2.0×10⁴个/mL、大耳幼体 3.0×10⁴个/mL。待发育到大耳幼体末期水管系统出现分化并有 10%~20%樽形幼体形成时,投放消毒处理好的波纹板框作为附着基质。幼体附着后投喂饵料由酵母逐步过渡为人工配合饲料,投喂量为参苗体重的 0.5%~2%,并根据摄食情况适当调整。

1.2 方法

1.2.1 观察方法

1.2.1.1 胚胎及幼体发育

受精卵至囊胚期取样间隔 5 min,囊胚期至原肠胚期取样间隔 30 min,小耳幼体至五触手幼体时取样间隔 8 h,五触手幼体至稚参时取样间隔 24 h。每次取样均为 2 份,每份 30~50 个样本,置于胚胎皿中,用显微镜及解剖镜观测。以超过总数 50%的样本发育至某个阶段时定为一个时序。

1.2.1.2 体色形成

选取同一时段产卵孵化的紫刺参与普通刺参,在幼体附着发育至五触手幼体后,每 3 d 取样一次,每次随机取 30 头稚参,置于黑色背景下的培养皿中,观测体色转变情况并使用数码相机拍照记录。

1.2.2 测定方法

1.2.2.1 胚胎及幼体发育阶段测定

受精后 5h 统计分裂卵数占总处理卵数的百分比得到卵裂率,受精后 20 h 统计囊胚和原肠期胚胎数占总受精卵数的百分比得到早期胚胎存活率,受精后 30 h 统计小耳幼体数占总幼体数的百分比得到小耳幼体发生率。每天随机取样测量紫刺参幼体和对照组幼体的体长和体宽,直至 3 月龄。

卵裂率(%)=卵裂细胞数/总观察卵数×100%

早期胚胎存活率(%)=上浮囊胚和原肠期胚胎数/
受精卵数×100%

小耳幼体发生率(%)=小耳幼体数/总幼体数×100%

樽形幼体发生率(%)=樽形幼体数/总幼体数×100%

附着变态率(%)=附着基上幼体数/总幼体数×100%

1.2.2.2 2 月龄至 3 月龄生长测定

体长测定采用韩莎等^[9]方法并加以改进,随机选取 30 头刺参,以 0.05 mol/L 硫酸镁溶液浸泡 5 min,待参苗自然伸展后用电子游标卡尺测量。体重测定方法为每次随机选取一定数量的待测刺参,放置在滤纸上吸干体表水分,用电子天平进行称量,称重完成后将刺参放回水中计数,测算出平均体重,并重复测定 5 次。

1.2.2.3 体色变化统计和色度测定

稚参体色变化统计时以观察到 80%个体某一位完成变色时定为一个变色阶段。在刺参日龄 140~150d 时,使用 FRU WR-10 色差仪测定体色色度。色差仪使用前用白板进行校准,每次测定 30 头刺参背部和腹部中部区域的体色值取均值,测定过程中避免外源灯光对刺参体色的影响。

1.2.3 数据处理与统计分析

数据采用 SPSS13.0、Microsoft Office Excel 2013 软件进行统计学分析,相同日龄的紫刺参和普通刺参生长数据以 *t* 检验统计进行分析,以 *P*<0.05 为差异显著。

2 结果

2.1 胚胎及浮游幼体发育

紫刺参及其他品种海参胚胎及幼体发育时序比较如表 1 所示。在培育水温 21.0±0.2℃时,紫刺参受精卵分别在受精 15 min 和 30 min 后释放第一、二极体,1 h 卵裂成 2 细胞期,6 h 进入囊胚期,19 h 发育成原肠胚;32 h 进入耳状幼体阶段,3 d 和 7 d 发育为中耳幼体和大耳幼体,8—10 d 后变态发育为樽形幼体,9—12 d 后发育为五触手幼体,12—14 d 后发育成稚参。紫刺参胚胎和幼体发育时序与对照组普通刺参相近,并存有相对略快的优势,而在浮游和附着阶段,幼体生长发育呈现出快于白刺参(*Apostichopus* sp.),但与加州红参(*Parastichopus californicus*)和糙海参(*Holothuria scabra*)有较大差异,在 2 细胞期后明显快于加州红参,在大耳幼体之前慢于糙海参。

紫刺参早期发育过程相关数据如表 2 所示。受精卵的卵裂率为 96.9%±1.6%,早期胚胎存活率为 92.9%±2.2%,小耳幼体发生率为 87.5%±2.0%,与普通刺参无显著差异(*P*>0.05);樽形幼体发生率和附着变态率分别为 58.4%±4.7%和 45.1%±2.7%,高于普通刺参,经显著性分析差异不显著(*P*>0.05)。

表 1 5 种不同海参早期发育时序比较

Tab. 1 The early development comparison among five different sea cucumbers

发育阶段	紫刺参	普通刺参 (对照组)	白刺参 (卢斌 2016)	加州红参 (夏斌 2017)	糙海参 (严俊闲 2012)
第一极体出现	10—15 min	12—14 min	12 min	10—20 min	10—15 min
第二极体出现	25 min—30 min	30 min	24 min	30 min—1 h	12—18 min
2 细胞期	45 min—1 h 5 min	50 min—1 h 10 min	1 h	1—2 h	30—45 min
4 细胞期	1 h 30 min—2 h	1 h 30 min—2 h	1 h 30 min—2 h	2—3 h	45 min—1 h
8 细胞期	2 h—2 h 20 min	2 h—2 h 30 min	2 h—2 h 30 min	3—4 h	1 h—1 h 20 min
多细胞期	2 h 20 min—5 h 30 min	2 h 30 min—5 h 30 min	2 h 30 min—5 h 30 min	4—9 h	1 h 30 min—3 h 10 min
囊胚期	5 h 30 min—6 h 30 min	5 h 30 min—6 h 30 min	6 h	10—18 h	3—5 h
原肠期	18—20 h	18—20 h	19 h	2—3 d	8 h 30 min—19 h
小耳幼体	30—34 h	30—34 h	40 h	4 d	19—34 h
中耳幼体	3—4 d	3—4 d	5 d	5—10 d	2—4 d
大耳幼体	7—8 d	7—8 d	8 d	10—14 d	5—9 d
樽形幼体	8—10 d	9—10 d	10 d	12—16 d	7—12 d
五触手幼体	9—12 d	10—12 d	12 d	16—19 d	12—15 d
稚参	12—14 d	12—14 d	14 d	18—20 d	15 d

表 2 紫刺参与普通刺参早期发育情况比较

Tab. 2 The early development of *Apostichopus japonicus* between normal and purple sea cucumber

组别	卵裂率/%	早期胚胎存活率/%	小耳幼体发生率/%	樽形幼体发生率/%	附着变态率/%
紫刺参	96.9±1.6	92.9±2.2	87.5±2.0	58.4±4.7	45.1±2.7
普通刺参	97.3±2.6	91.6±2.9	87.3±2.4	55.8±3.9	43.2±2.6

紫刺参浮游阶段随日龄增长表现出较普通刺参发育更快的优势(图 1、图 2), 并在日龄 6—7d 表现出显著差异($P<0.05$), 8d 时体长和体宽分别为 1 063 μm 和 704 μm ; 日龄 8—9d 紫刺参体长和体宽出现回缩, 回缩时间明显快于普通刺参。

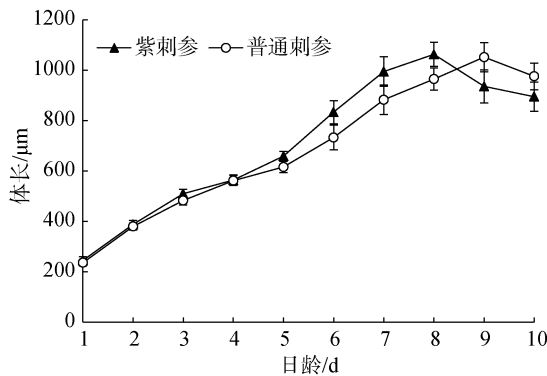


图 1 紫刺参与普通刺参浮游期幼体体长生长比较

Fig. 1 The body length of auricularia between normal and purple sea cucumber

2.2 2 月龄和 3 月龄阶段生长情况

紫刺参稚参 2 月龄和 3 月龄阶段生长情况如表 3

所示。2 月龄和 3 月龄阶段体长和体重日增长分别为 $0.22 \pm 0.01 \text{ mm/d}$ 、 $0.41 \pm 0.23 \text{ mg/d}$ 和 $0.39 \pm 0.03 \text{ mm/d}$ 、 $5.56 \pm 0.30 \text{ mg/d}$, 与实验对照组普通刺参表现出显著性差异($P<0.05$)。

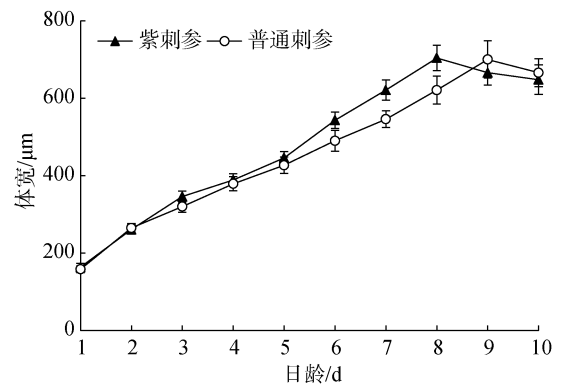


图 2 紫刺参与普通刺参浮游期幼体体宽生长比较

Fig. 2 The body width of auricularia between normal and purple sea cucumber

2.3 体色形成

紫刺参稚参自日龄 35 d 前后开始变色, 首先是从背部开始着色, 40—55 d 背部陆续着色, 50—60 d

表 3 紫刺参与普通刺参 2 月龄~3 月龄稚参生长情况

Tab. 3 The growth of *Apostichopus japonicus* from 2 months to 3 months

组别	2 月龄		3 月龄	
	体长日增长/(mm/d)	体重日增长/(mg/d)	体长日增长/(mm/d)	体重日增长/(mg/d)
紫刺参	0.22±0.01	0.41±0.23	0.39±0.03	5.56±0.30
普通刺参	0.18±0.02	0.38±0.27	0.33±0.03	4.79±0.41

表 4 紫刺参显色时序与体长和体重的关系

Tab. 4 Color rendering age of purple sea cucumber between body length, weight and days

日龄/d	着色阶段	体长/cm	体重/g	备注
35	无色	<0.12	<0.007	
35~45	背部开始着色	0.12~0.15	0.007~0.008 5	
40~55	背部陆续着色	0.15~0.5	0.007 5~0.015	
50~60	腹部开始着色	0.4~0.5	0.012 5~0.015	
60~85	腹部陆续着色	0.5~1.2	0.015~0.045	此时腹部着色比背部浅
80~110	完全着紫色	1.2~3.6	0.045~0.6	90d 后体长增长放缓; 个别个体腹部略透明, 肠道可见
110~140	体表紫色转变接近成参	3.6~4.4	0.6~1.5	体长和体重增长显著, 变色完成

腹部开始着色, 60—85 d 腹部陆续着色, 此时腹部着色比背部浅, 80—110 d 体表完全着色呈紫色, 但部分个体腹部略透明, 肠道可见。110 d 后体长和体重增长显著, 体表紫色转变接近成参体色, 完成变色过程, 详见表 4。色差仪测得背部体色平均值为(L=19.0, a=6.4, b=1.5), 腹部体色平均值为(L=27.8, a=4.9, b=1.3), 色差 ΔE 值 ≤ 5 。

3 讨论

3.1 紫刺参及其他刺参早期发育比较

本研究比较分析了紫刺参与普通刺参(*Apostichopus japonicus*)^[10]、白刺参(*Apostichopus* sp.)^[11]、加州红参(*Parastichopus californicus*)^[12]和糙海参(*Holothuria scabra*)^[13]的发育时序, 结果表明, 在胚胎发育和浮游幼体发育期, 紫刺参更接近于普通刺参, 略快于白刺参, 但在各个时序上无显著差异。在胚胎发育阶段, 紫刺参、仿刺参和白刺参均在 6—8 h 发育至囊胚期、18—21 h 发育至原肠期, 而加州红参发育至囊胚期和原肠期的时间分别为 10—18 h、24—36 h, 发育较慢; 糙海参在 3—5 h 和 8 h 30 min—19 h 即发育到囊胚期和原肠期, 发育速度显著快于紫刺参、仿刺参和白刺参。出现这种现象的原因分析认为, 除品种差异外, 水温的变化对刺参受精卵的孵化和幼体发育时间也有很大的影响^[14]。加州红参自然分布于温哥华岛海域, 自然产卵繁育水温为

12~14℃^[12], 糙海参为热带种, 在国内主要分布于广东、海南、南沙群岛海域, 观察幼体发育时水温为 25~31℃^[13]; 而包括紫刺参、白刺参在内的仿刺参是北方特有品种, 自然产卵繁殖水温为 17~18℃, 可见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, 这与卢斌等^[11]研究结果一致。

3.2 紫刺参早期生长情况

不同体色的刺参早期生长情况不尽相同。卢斌等研究发现白刺参和仿刺参的发育在各个时序上无明显差异^[11]。胡美燕等发现了日本红刺参♀×中国刺参♂的杂交后代存在一定的生长优势, 经过 160 d 的生长发育杂交后代在体长和体重增长方面优势非常明显^[15]。在本实验中, 2 月龄和 3 月龄阶段体长和体重日增长分别为 0.22 ± 0.01 mm/d、0.41 ± 0.23 mg/d 和 0.39 ± 0.06 mm/d、5.56 ± 0.30 mg/d, 与实验对照组普通刺参表现出显著性差异($P < 0.05$), 表明紫刺参在 3 月龄前后的稚参阶段与普通刺参相比具有明显的生长优势, 而整个养殖周期的生长情况是否与普通刺参存有差异尚需今后进一步实验研究。

3.3 紫刺参体色形成研究

自然界中, 单一物种的种群中经常存在多种表型上具有差异显著的个体, 通常是由基因、环境因素或者发育对策的不同导致^[16]。刺参具有青色、黑色、白色、紫色等多种不同体色, 其形态差异在稚参体色

发生阶段即可区分^[17]，在体色发生阶段，紫刺参与普通刺参的色素调控基因的表达有明显差异^[18]。本研究发现，在相同条件下，紫刺参开始变色的时间比普通刺参平均日龄早 3 d，而整个变色时间期间较普通刺参延长 5—8 d，其变色过程均从背部开始，逐渐过渡到腹部，且颜色、色度均有个体间的差异。研究发现，在体色浅青和深青刺参以及紫刺参中均可检测到黑色素、虾青素、 β -胡萝卜素和叶黄素，且除蝶酸外的其他色素均在紫刺参中含量最高^[7]，其中黑色素是刺参体色形成中的一种关键色素，其含量随着刺参体色的加深而增加^[19]。有研究报道，白刺参体壁中表皮黑色素细胞最少，且其黑色素细胞中含有较少的黑素体，包括无黑色素的前黑素体^[20]，随着刺参体色的加深，黑色素颗粒的含量也随之增加。

在水产动物的体色度量方面，易新文等曾采用国际发光照委员会 CIE 规定的 L*、a*、b* 色空间表示法，使用色差计测量了大黄鱼体色^[21]。此外，此方法也在马氏珠母贝和三角帆蚌等珍珠贝的壳色测量上得到了应用^[22-23]。本研究利用色差仪测量了紫刺参体色，后续将进一步研究紫刺参不同色素含量，以期量化水产动物体色分化程度提供有效手段。

4 结语

本实验系统研究了紫刺参的胚胎发育、浮游幼体发育、附着变态以及幼体发育过程，结果表明，在水温 21.0℃ 条件下，紫刺参至浮游前期各个时序上的发育情况与普通刺参相近，但当发育至浮游阶段后期时，随日龄增长紫刺参表现出较普通刺参发育更快的优势，在日龄 6~7 d 时表现尤为显著，本研究结果可为紫刺参良种繁育及其生理生态学研究提供科学依据与基础资料。同时，研究发现紫刺参体色形成过程较普通刺参时间长，利用色差仪可对紫刺参色度值进行定性定量测定，有关紫刺参体色发育的深层机理及相关生物学规律有待今后进一步实验研究。

参考文献:

- [1] 赵斌, 胡炜, 李成林, 等. 温度和盐度对紫刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)稚参存活、生长和着色的影响[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(3): 700-706.
Zhao Bin, Hu Wei, Li Chenglin, et al. Effects of temperature and salinity on survival, growth, and coloration of juvenile *Apostichopus japonicus* selenka[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2018, 49(3): 700-706.
- [2] 李成林, 宋爱环, 胡炜, 等. 山东省刺参养殖产业现状分析与可持续发展对策. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 126-132.
Li Chenglin, Song Aihuan, Hu Wei, et al. Status analysis and sustainable development strategy of sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka aquaculture industry in Shandong Province. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(4): 126-132.
- [3] 胡炜, 李成林, 韩莎, 等. 异常气候和环境对刺参养殖业的影响及应对策略[J]. 海洋科学, 2018, 42(2): 159-166.
Hu Wei, Li Chenglin, Han Sha, et al. Effects of abnormal climate and environment on sea cucumber aquaculture industry and its countermeasures[J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(2): 159-166.
- [4] 张春云, 王印庚, 荣小军, 等. 国内外海参自然资源、养殖状况及存在问题. 海洋水产研究, 2004, 25(3): 89-97.
Zhang Chunyun, Wang Yingeng, Rong Xiaojun, et al. Natural resources, culture and problems of sea cucumber worldwide, 2004, 25(3): 89-97.
- [5] 纪婷婷. 刺参(*Apostichopus japonicus*)对温度变化的生态生理学响应机制[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Ji Tingting. Ecological and physiological mechanisms on temperature change in sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [6] 张鹏, 董双林. 温度对青色系与红色系仿刺参生长和能量分配的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(8): 24-30.
Zhang Peng, Dong Shuanglin. Effect of temperature on the growth and energy metabolism of red and green variant of *A. japonicus*[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2013, 43(8): 24-30.
- [7] Bai Y C, Chen Y, Pan Y, et al. Effect of temperature on growth, energy budget, and physiological performance of green, white, and purple color morphs of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2018, 49(3): 625-637.
- [8] 朱厚祥, 孔令锋, 李琪, 等. 盐度、温度和培育密度对白刺参幼虫生长及存活的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2013, 43(7): 034-039.
Zhu Houxiang, Kong Lingfeng, Li Qi, et al. Effects of salinity, temperature and stocking density on the growth and survival of white race sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) Larvae[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2013, 43(7): 034-039.
- [9] 韩莎, 胡炜, 李成林, 等. 薄荷醇对仿刺参幼参的麻醉效果[J]. 海洋科学, 2016, 40(3): 10-16.
Han Sha, Hu wei, Li Chenglin, et al. Anesthetic effect of menthol on juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(3): 10-16.

- [10] 朱峰. 仿刺参 *Apostichopus japonicus* 胚胎发育和主要系统的组织学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Zhu Feng. The study on the embryonic development and major organs' histology of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [11] 卢斌, 陈四清, 李凤辉, 等. 蓬莱玉参早期发育的形态学观察[J]. 动物学杂志, 2016, 51(5): 867-875.
Lu Bin, Chen Siqing, Li Fenghui, et al. The morphological observation on the early development of Penglai milky cucumber (*Apostichopus japonicus*)[J]. Chinese Journal of Zoology, 2016, 51(5): 867-875.
- [12] 夏斌, 任贻超, 王永香, 等. 加利福尼亚红刺参胚胎及幼体发育过程[J]. 水产学报, 2017, 41(2): 221-229.
Xia Bin, Ren Yichao, Wang Yongxiang, et al. Studies on embryonic and larval development of red giant sea cucumber (*Parastichopus californicus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(2): 221-229.
- [13] 严俊贤, 王世峰, 周永灿, 等. 糙海参胚胎和幼体发育的形态观察[J]. 水产学报, 2012, 36(7): 1073-1080.
Yan Junxian, Wang Shifeng, Zhou Yongcan, et al. Studies on embryonic and larval development of sea cucumber (*Holothuria scabra*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(7): 1073-1080.
- [14] 隋锡林. 影响刺参幼体发育及存活率的主要因子[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(4): 314-321.
Sui Xilin. The main factors influencing the larval development and survival rate of the sea cucumber[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1989, 20(4): 314-321.
- [15] 胡美燕, 李琪, 孔令锋, 等. 中国刺参与日本红刺参杂交子一代的早期生长比较[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(S1): 375-380.
Hu Meiyan, Li Qi, Kong Lingfeng, et al. Comparative study on juvenile growth of hybrids between Chinese and Japanese stocks of sea cucumber (*Stichopus japonicus*)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(S1): 375-380.
- [16] Leimar O. The evolution of phenotypic polymorphism: randomized strategies versus evolutionary branching[J]. The American Naturalist, 2005, 165(6): 669-681.
- [17] Bai Y C, Zhang L B, Liu S L, et al. The effect of salinity on the growth, energy budget and physiological performance of green, white and purple color morphs of sea cucumber, *Apostichopus japonicas*[J]. Aquaculture, 2015, 437: 297-303.
- [18] Xing L L, Sun L N, Liu S L, et al. De Novo assembly and comparative transcriptome analyses of purple and green morphs of *Apostichopus japonicus* during body wall pigmentation process[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part D, 2018, 28: 151-161.
- [19] Zhu J, Zhang X M. Morphological studies on the development of melanophores and scales in malpigmented *paralichthys olivaceus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2004, 28(6): 653-658.
- [20] Xing L L, Sun L N, Liu S L, et al. Comparison of pigment composition and melanin content among white, light-green, dark-green, and purple morphs of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 36(12): 45-51.
- [21] 易新文, 张文兵, 麦康森, 等. 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长、肌肉脂肪酸组成和体色的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(5): 751-760.
Yi Xinwen, Zhang Wenbing, Mai Kangsen, et al. Effects of dietary fish oil replaced with rapeseed oil on the growth, fatty acid composition and skin color of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(5): 751-760.
- [22] 王照旗, 韩学凯, 白志毅, 等. 三角帆蚌紫色选育系1龄阶段内壳色及生长性状的遗传参数估计[J]. 水产学报, 2014, 38(05): 644-650.
Wang Zhaoqi, Han Xuekai, Bai Zhiyi, et al. Estimates of genetic parameters for inner shell color and growth traits during one year old stage in the purple strain of *Hyriopsis cumingii* using microsatellite based parentage assignment[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(05): 644-650.
- [23] 顾志峰, 王嫣, 石耀华, 等. 马氏珠母贝两个不同地理种群的形态性状和贝壳珍珠质颜色比较分析[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(1): 79-86.
Gu Zhifeng, Wang Yan, Shi Yaohua, et al. Comparison of morphometrics and shell nacre colour between two geographical populations of pearl oyster, *Pinctada martensii* (Dunker)[J]. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(1): 79-86.

Study on early development and body color formation of purple sea cucumber, *Apostichopus japonicus*

CHEN Xiang-tang¹, ZHAO Bin², LI Cheng-lin², HAN Sha², HU Wei²

(1. Yantai Marine Economic Research Institute, Yantai 264000; 2. Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, China)

Received: Feb. 26, 2019

Key words: purple sea cucumber; early development; growth; body color development

Abstract: In this study, the spawn, fertilization, embryo and larval development, early growth and body color formation of purple sea cucumber were studied. The results showed that: (1) At $21.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$, the fertilized eggs released the first polar bodies after 10~15 minutes of fertilization, entered blastocyst stage after 5 h 30 min~6 h 30 min and developed into gastrointestinal embryo after 18~20 h, entered auricularia stage after 30~34 h, metamorphosed into doliolaria after 8~10 days, and developed into juvenile sea cucumber after 12~14 days, respectively; the development sequence of embryos and larvae of purple sea cucumber was not significantly different from that of normal sea cucumber reported so far. (2) The doliolaria developmental rate and transformation rate of purple sea cucumber were $58.4 \pm 4.7\%$ and $45.1 \pm 2.7\%$ respectively, which were higher than those of common sea cucumber. (3) The growth of purple sea cucumber in the late planktonic stage was faster than that of common sea cucumber, and there was a significant difference on 6~7 d of age ($P < 0.05$). (4) Before and after the age of 35 d, juvenile purple sea cucumber began to stain its back, and abdominal discoloration begins on 50~60 d, and after 110 days, the purple on the body surface changed to almost parametric body color, completing the process of discoloration.

(本文编辑: 赵卫红)