

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17224

墨西哥湾扇贝选育系早期发育与生长

封杰, 赵乃乾, 郑宇辰, 王文杰, 刘行, 潘英

广西大学 动物科学技术学院, 广西 南宁 530004

摘要: 在水温 28~29℃、盐度 24~25 条件下, 研究墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)选育系的早期发育及幼虫和稚贝的生长。受精卵经 50 min 发育至卵裂, 经 22~24 h 发育至 D 形幼虫, 经 11 d 发育至眼点幼虫并出现足, 进入附着变态阶段。选育系的胚胎发育时间和浮游幼虫前期壳长、壳高与对照系比较差异不显著($P>0.05$); 浮游幼虫后期及至附着变态阶段, 选育系与对照系的壳长和壳高差异显著($P<0.05$)。选育系的附着变态率和存活率与对照系比较均差异显著($P<0.05$), 且优势明显。本研究表明, 墨西哥湾扇贝浮游幼虫发育前期缓慢, 幼虫后期、稚贝期生长迅速; 壳长和壳高的生长速度不同步, 幼虫前期壳长生长快于壳高, 后期壳高生长快于壳长, 并于第 28~30 天时壳高超过壳长。墨西哥湾扇贝选育系在幼虫和稚贝阶段生长速度明显快于对照系, 具有明显的生长优势及生长潜力。

关键词: 墨西哥湾扇贝; 选育系; 胚胎发育; 幼虫; 稚贝

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)02-0336-10

墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)在分类学上隶属于软体动物门(Mollusca)、双壳纲(Bivalvia)、珍珠贝目(Pterioidea)、扇贝科(Pectinidae)、海湾扇贝属, 是海湾扇贝(*A. irradians*)的一个南方地理亚种。墨西哥湾扇贝原产于美国大西洋近海水域, 自 1991 年引种至中国后, 先后在广西、广东等地进行育苗养成实验及推广^[1]。由于墨西哥湾扇贝具有出肉率高、生长速度快、适合在中国南方海域养殖, 特别是其较短的养殖周期使其能避开台风减少损失的特点, 受到业界青睐。目前已形成规模化养殖, 并成为北部湾海域贝类养殖的重要产业^[2]。墨西哥湾扇贝引种至今已有 20 余年, 随着养殖世代的增加, 加之近交和瓶颈效应, 现有养殖群体性状退化严重, 出现个体小型化、生长速度减慢、抗逆性降低、死亡率升高、出肉率降低等问题, 导致墨西哥湾扇贝的养殖效益严重下滑^[3]。刘志刚等^[3]针对墨西哥湾

扇贝种质退化问题, 于 2007 年开始对北部湾海域养殖群体进行连续 5 代的闭锁选育, 获得墨西哥湾扇贝选育系。

目前, 墨西哥湾扇贝的研究主要集中在遗传育种^[4-6]、人工育苗及养殖^[7-9]、生态习性^[10-14]、幼虫变态机理^[15]等方面, 关于墨西哥湾扇贝胚胎发育、幼虫和稚贝的生长与形态学特征的研究尚未见报道。本研究对墨西哥湾扇贝选育系 F_7 群体与对照系的早期发育、幼虫和稚贝的生长进行了比较, 以期对墨西哥湾扇贝繁殖生物学、苗种繁育技术及选育系在广西北部湾海域的引进推广养殖提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于 2014 年 8—10 月在广东省湛江银浪海洋生物技术有限公司水产种苗场进行。墨西哥湾

收稿日期: 2017-06-09; 修订日期: 2017-09-07.

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 14121006-2-5).

作者简介: 封杰(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事海洋贝类遗传育种与繁育研究. E-mail: dzfjdyx@163.com

通信作者: 潘英, 教授, 博士生导师. E-mail: yingpan@gxu.edu.cn

扇贝选育系为 F₇ 群体, 对照系为目前北部湾海域普遍养殖的墨西哥湾扇贝。实验所用选育系与对照系的亲贝均为 2013 年 12 月苗种场同一批次人工育苗所得。

1.2 实验方法

1.2.1 亲贝的处理 挑选性腺发育好、活力强、贝壳完整的选育系与对照系亲贝各 1000 个左右, 选育系和对照系亲贝分别在海水中暂养 1~2 h, 然后将亲贝装篮入池待产。

1.2.2 产卵、受精与孵化 本实验所用育苗池为长 6 m、宽 4 m、高 1.5 m 的长方形水泥池。将清洗后的亲贝按 40 个装一浮篮, 每池吊 3 篮, 池中均匀分布 9 个气石, 连续充气。将阴干处理后的墨西哥湾扇贝亲贝按不同群体分别放入不同的育苗池, 使其自然排放, 待池中精卵达到一定密度后, 将亲贝取出, 转移到其他备用池中, 直至亲贝基本不再排放精卵为止。最后得到选育系苗 8 池, 对照系苗 12 池。孵化期间保持微充气, 水温 28~29℃、盐度 24~25、pH 8.1~8.2。同时分别用 1000 mL 烧杯采集一定量的墨西哥湾扇贝选育系与对照系混合精卵。精卵结合后在 Olympus 显微镜下连续观察并拍照记录墨西哥湾扇贝选育系与对照系胚胎和幼虫发育。每次随机取样观察 30 个。

1.2.3 浮游幼虫的培育 浮游幼虫发育至 D 形幼虫后, 每天早晚换水 2 次, 附着前换水量为原池的 30%, 附着后逐渐增加至 50%~70%。在每次换水后投喂人工培育的单细胞藻类, 主要以湛江等鞭金藻(*Isochrysis zhanjiangensis*)和小球藻(*Chlorella* sp.)为主。在每次换水后投放约 5 mg/L EDTA, 并泼洒适量的光合细菌, 以调节水质, 增加幼虫的营养饵料。在浮游幼虫阶段, 用显微镜连续跟踪观察记录、拍照幼虫的生长情况, 并每天用目

微尺测量每个群体 30 个幼虫的壳长和壳高数据, 直到附着变态期。

1.2.4 变态附着及稚贝培育管理 当约 30%幼虫出现眼点时, 向每个池子内悬挂 70~90 吊聚乙烯塑料板附着基。实验所用附着基为长 30 cm、宽 30 cm、厚约 0.5 mm 的方形黑色塑料板, 用细线将 12 片板叠串吊挂池中, 平行板间距为 10 cm。附着基用 50 mg/L KMnO₄ 溶液浸泡消毒 10 h 并用淡水清洗干净使用。变态附着后的贝苗前期投喂小球藻, 后期改投虾塘水, 投喂 2~3 次/d。投饵时采用边投饵边排水的方式。在此期间, 对选育系和对照系稚贝的生长情况用显微镜进行持续跟踪观察并拍照, 每 2 d 用带目微尺的显微镜测量每个群体 30 个个体的壳长和壳高等数据, 直至稚贝出池。其间分别于第 15 天统计附着变态率, 第 20 天统计存活率。

变态率=稚贝数/(稚贝数+眼点幼虫数) × 100%

存活率=稚贝存活数/附着稚贝数 × 100%

1.3 数据处理

数据经 Excel 2010 软件初步处理, 利用 SPSS 21.0 统计软件分别对壳长、壳高等生物指标进行统计分析, 数值以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$), 显著水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 墨西哥湾扇贝选育系的生物学参数

随机测量 30 个亲贝的壳长、壳宽、壳高、体重、软体质量、闭壳肌质量等经济性状(表 1)。

2.2 墨西哥湾扇贝选育系的胚胎发育

在实验条件下, 墨西哥湾扇贝从受精发育至早期稚贝历时 17~19 d。墨西哥湾扇贝选育系与对照系胚胎发育过程见表 2、图版 I。

表 1 墨西哥湾扇贝实验用亲贝的生物学参数
Tab. 1 The traits of *Argopecten irradians concentricus* for spawning

品系 line	壳长/mm	壳宽/mm	壳高/mm	体重/g	软体质量/g	闭壳肌质量/g
	shell length	shell width	shell height	body weight	soft tissue weight	adductor weight
选育系 selective line	56.06±2.16 ^a	28.46±1.89 ^a	53.76±2.10 ^a	28.95±3.42 ^a	14.35±1.86 ^a	7.06±1.05 ^a
对照系 control line	48.51±2.85 ^b	25.53±1.93 ^b	46.32±2.33 ^b	19.18±2.99 ^b	12.48±0.71 ^b	4.19±0.92 ^b

注: 同一指标, 字母相同表示差异性不显著($P>0.05$); 字母不同则表示差异性显著($P<0.05$).
Note: For the same index, the same letters mean no significant difference ($P>0.05$); different letters mean significant difference ($P<0.05$).

表 2 墨西哥湾扇贝选育系与对照系的胚胎和幼虫发育(28~29℃)

Tab. 2 Embryonic and larval development of *Argopecten irradians concentricus* of the selective and control lines (28–29℃)

发育阶段 developmental stage	受精后时间 time after fertilization	
	选育系 selective line	对照系 control line
第一极体 first polar body	10 min ^a	15 min ^b
第一极叶 first polar lobe	30 min ^a	35 min ^b
2 细胞期 two-cell stage	50 min ^a	55 min ^b
4 细胞期 four-cell stage	1 h 10 min ^a	1 h 25 min ^b
8 细胞期 eight-cell stage	1 h 40 min ^a	2 h 15 min ^b
多细胞期 multicellular stage	2 h 30 min ^a	2 h 50 min ^b
囊胚期 blastula stage	4 h ^a	5 h 10 min ^b
D 形幼虫 D-shaped larvae	22 h ^a	23 h ^b
壳顶幼虫 umbo larvae	11 d ^a	11 d ^a
匍匐幼虫 creeping larvae	13 d ^a	14 d ^b
早期稚贝 early juvenile	17 d ^a	19 d ^b

注：同一发育阶段，字母相同表示两种群体发育时间差异性不显著($P>0.05$)；字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。

Note: For the same stage, same letters mean no significant difference ($P>0.05$); different letters mean significant difference ($P<0.05$).

2.2.1 受精 墨西哥湾扇贝为典型的雌雄同体。成熟卵子呈球形(图版 I-1)，卵径为(50.0±3.2) μm，沉性卵。墨西哥湾扇贝选育系受精后 10 min，受精卵释放出第一极体(图版 I-2)。受精 30 min 后，细胞质向植物极流动，使得植物极一端逐渐变大，并向外突出形成透明的极叶(图版 I-3)。

2.2.2 卵裂 受精后 50 min，动物极不断向两侧扩大，中间出现凹陷，植物极往上收缩，细胞纵裂成 2 个大小不等的分裂半球，受精卵进入 2 细胞期(图版 I-4)。受精后 1 h 10 min，受精卵开始第 2 次分裂，形成 4 个分裂球，即 4 细胞期(图版 I-5)。再过 30 min，受精卵再次分裂，此次分裂将受精卵分割成相连的 8 个小细胞(图版 I-6)。受精后大约 2 h 30 min，进行第 4 次卵裂，进入 16 细胞期(图版 I-7)。受精卵每分裂 1 次，分裂球数目增加 1 倍。受精后约 4 h 进入囊胚期(图版 I-8)。

2.2.3 D 形幼虫 在实验条件下，墨西哥湾扇贝受精卵经过 22~24 h 发育，幼虫壳长达到 90~95 μm，胚体两侧覆盖 2 片透明的幼虫壳，包被幼虫的壳在背部直线铰合呈“D”形，成为 D 形幼虫(图版 I-9)。此时幼虫的运动器官面盘形成，

其四周被有纤毛，幼虫主要借面盘向前游动。消化道也逐渐形成，已具备吞食和消化食物的能力，可开口摄食单细胞藻类。

2.2.4 壳顶幼虫 受精后第 7~8 天，此时壳长普遍达到(161.11±5.46) μm。壳顶幼虫初期，铰合线开始向背部隆起，顶端由平直渐渐向上隆起，改变了原来直线状态，形成壳顶，壳逐渐变成椭圆形。壳顶幼虫后期，面盘发达，游泳能力强(图版 I-10)。壳顶突出更明显，足部开始长出，出现鳃，面盘此时仍很发达。第 11 天可观察到成为壳顶幼虫期，此时平均壳长为(203.89±13.17) μm。经约 11 d 的人工培育，幼体出现足和眼点，并转入附着变态阶段。

2.2.5 匍匐幼虫 受精后第 13~14 天，匍匐幼虫期眼点明显，足发达，幼虫的棒状足已能够自由伸缩，可借助足匍匐运动。消化腺分化更完全，鳃增加至数对。此时运动器官为面盘和足，幼虫可借面盘时而浮游，又可利用足时而匍匐。后期面盘逐渐退化，最终幼虫失去游动能力，只能匍匐运动(图版 I-11)。

2.2.6 稚贝 幼虫经过 4~6 d 的匍匐生活后，开始附着变态为早期稚贝。面盘萎缩，其上的纤毛开始脱落。贝壳边缘次生壳逐渐形成(图版 I-12)，随后次生壳向外侧不断增大(图版 I-13，图版 I-14)。次生壳开始逐渐钙化、变硬，颜色加深；鳃、外套眼、外套缘触手清晰可见(图版 I-15)。足丝腺分泌足丝开始附着生活，鳃发达，用以呼吸和滤食。第 20 天左右贝壳颜色加深，壳体表面出现纹路，生长线明显，形成外形与成贝相似的稚贝(图版 I-16)。

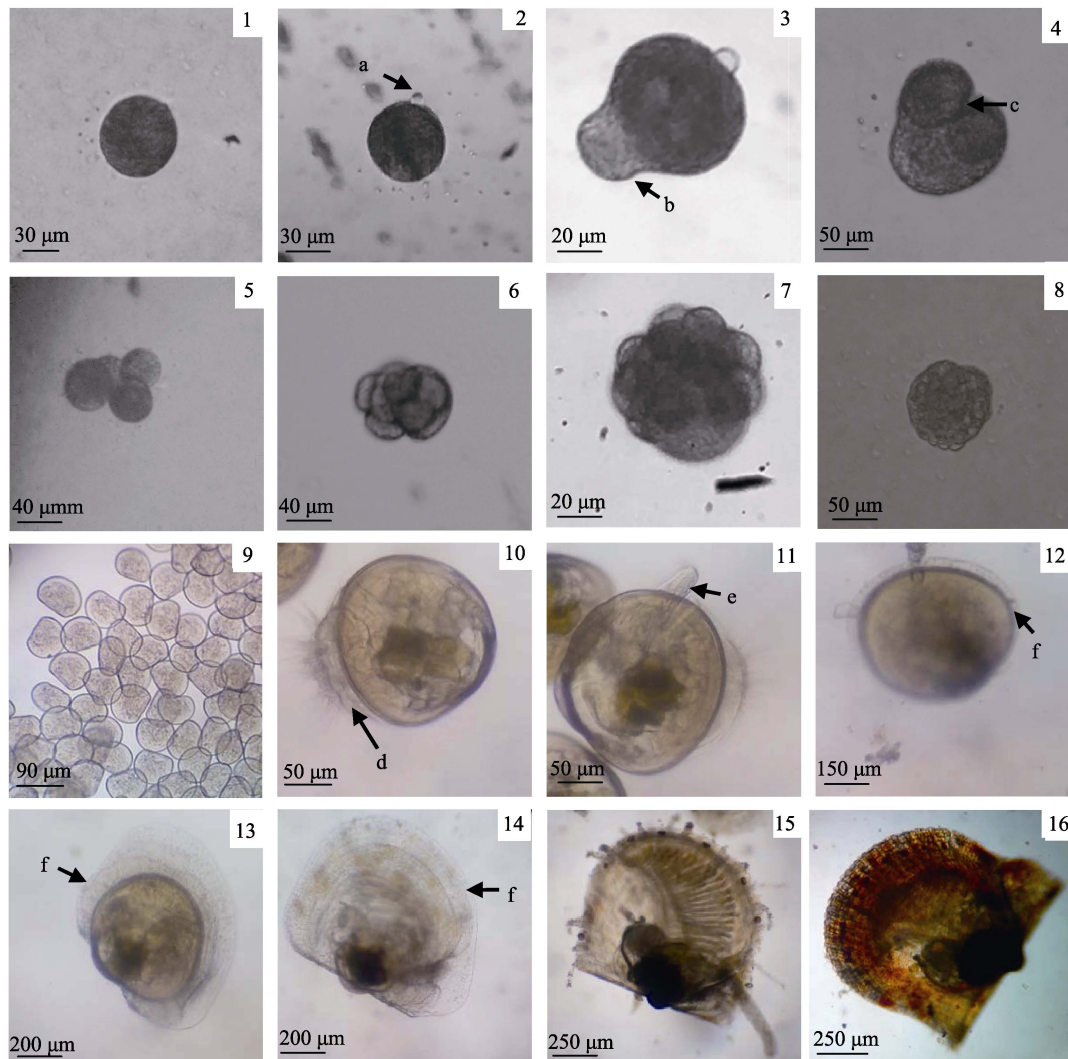
2.3 墨西哥湾扇贝选育系与对照系浮游幼虫期的生长发育比较

在实验条件下，墨西哥湾扇贝选育系受精卵经过 22 h 发育成 D 形幼虫，壳长为(92.00±2.74) μm，壳高为(77.60±2.51) μm；对照系壳长为(91.60±2.30) μm，壳高为(77.60±2.51) μm，此时选育系与对照系的壳长、壳高大小相似，不存在显著性差异($P>0.05$)。在第 7 天时，选育系与对照系壳长第一次出现显著性差异($P<0.05$)，第 8 天时无显著性差异($P>0.05$)，第 9~11 天存在显著性差异($P<0.05$)。选育系与对照系的壳高在第 4、7、8 天出

现显著性差异($P < 0.05$)。经过 11 d 发育, 达到附着变态期, 此时选育系的壳长为 $(203.89 \pm 13.17) \mu\text{m}$, 对照系的壳长为 $(190.56 \pm 10.14) \mu\text{m}$, 差异显著($P < 0.05$); 选育系壳高 $(178.89 \pm 9.61) \mu\text{m}$, 对照系壳高为 $(173.89 \pm 7.41) \mu\text{m}$, 差异不显著($P > 0.05$)(表 3)。

由图 1 可知, 墨西哥湾扇贝选育系与对照系浮游幼虫在前 5 天生长较慢, 第 6 天后生长较快。选育系前 5 天壳长的日增长量为 $(9.78 \pm 1.34) \mu\text{m}$,

壳高日增长量为 $(8.04 \pm 1.82) \mu\text{m}$; 第 6 天壳长的日增长量为 $(12.13 \pm 3.46) \mu\text{m}$, 壳高日增长量为 $(10.19 \pm 3.44) \mu\text{m}$; 整个浮游幼虫期的壳长日增长量为 $(11.19 \pm 3.08) \mu\text{m}$, 壳高日增长量为 $(10.13 \pm 2.78) \mu\text{m}$ 。对照系前 5 天壳长的日增长量为 $(8.77 \pm 2.71) \mu\text{m}$, 壳高日增长量为 $(7.04 \pm 3.80) \mu\text{m}$; 第 6 天的壳长日增长量为 $(10.65 \pm 2.73) \mu\text{m}$, 壳高日增长量为 $(10.19 \pm 3.29) \mu\text{m}$; 整个浮游幼虫期的壳长日增长量为



图版 I 墨西哥湾扇贝的胚胎、幼虫发育及稚贝生长

- 1: 受精卵; 2: 排出极体; 3: 极叶伸出; 4: 2 细胞期; 5: 4 细胞期; 6: 8 细胞期; 7: 16 细胞期; 8: 囊胚期; 9: D 形幼虫;
10: 壳顶幼虫; 11: 匍匐幼虫; 12. 13. 14: 次生壳形成与生长; 15. 16: 稚贝。
a: 第一极体; b: 极叶; c: 卵裂沟; d: 面盘; e: 足; f: 次生壳。

Plate I Embryonic and larval development, juvenile growth of *Argopecten irradians concentricus*
1: fertilized egg; 2: release of polar body; 3: release of polar lobe; 4: two-cell stage; 5: four-cell stage; 6: eight-cell stage;
7: 16-cell stage; 8: blastula stage; 9: D-shaped larvae; 10: umbo larvae; 11: creeping larvae; 12. 13. 14: formation and growth of secondary shell; 15. 16: juveniles.
a: first polar body; b: polar lobe; c: cleavage furrow; d: velum; e: foot; f: secondary shell.

表 3 墨西哥湾扇贝选育系与对照系浮游幼虫期壳长和壳高的生长
Tab. 3 Growth data of shell length and shell height of the selective and control lines in pelagic larvae stage of *Argopecten argopecten irradians concentricus*

日龄 days of age	平均壳长/ μm mean shell length		平均壳高/ μm mean shell height	
	选育系 selective line	对照系 control line	选育系 selective line	对照系 control line
1	92.00 $\pm$ 2.74 ^a	91.60 $\pm$ 2.30 ^a	77.60 $\pm$ 2.51 ^a	77.60 $\pm$ 2.51 ^a
2	101.40 $\pm$ 2.19 ^a	101.00 $\pm$ 2.23 ^a	84.00 $\pm$ 4.18 ^a	85.60 $\pm$ 7.37 ^a
3	109.17 $\pm$ 2.04 ^a	107.50 $\pm$ 2.74 ^a	94.17 $\pm$ 2.79 ^a	92.00 $\pm$ 4.00 ^a
4	121.62 $\pm$ 3.54 ^a	113.12 $\pm$ 7.99 ^a	105.62 $\pm$ 4.17 ^a	96.38 $\pm$ 7.82 ^b
5	131.11 $\pm$ 3.33 ^a	126.67 $\pm$ 5.59 ^a	117.78 $\pm$ 6.18 ^a	112.78 $\pm$ 6.18 ^a
6	146.67 $\pm$ 5.59 ^a	140.00 $\pm$ 7.90 ^a	130.78 $\pm$ 4.66 ^a	125.56 $\pm$ 9.82 ^a
7	161.11 $\pm$ 5.46 ^a	152.22 $\pm$ 6.18 ^b	148.11 $\pm$ 6.58 ^a	137.78 $\pm$ 5.65 ^b
8	168.33 $\pm$ 7.50 ^a	160.00 $\pm$ 9.68 ^a	158.67 $\pm$ 5.57 ^a	146.67 $\pm$ 10.31 ^b
9	182.08 $\pm$ 6.56 ^a	174.58 $\pm$ 8.38 ^b	167.92 $\pm$ 6.20 ^a	162.08 $\pm$ 9.16 ^a
10	188.75 $\pm$ 9.32 ^a	180.00 $\pm$ 6.03 ^b	174.17 $\pm$ 7.33 ^a	170.83 $\pm$ 6.68 ^a
11	203.89 $\pm$ 13.17 ^a	190.56 $\pm$ 10.14 ^b	178.89 $\pm$ 9.61 ^a	173.89 $\pm$ 7.41 ^a

注：同一指标，在同一日龄下，字母相同则表示两群体的差异性不显著($P>0.05$)；字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。
Note: For the same index in the same day, the same letters mean no significant difference ($P>0.05$); different letters mean significant difference ($P<0.05$).

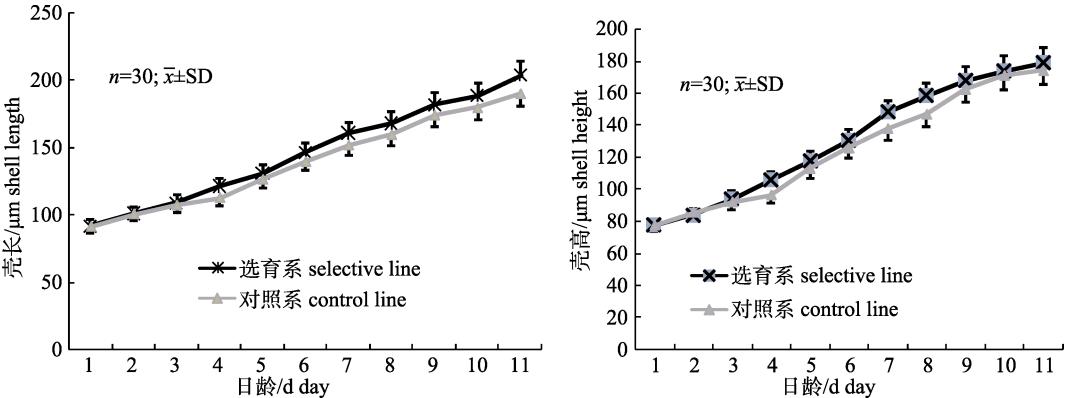


图 1 墨西哥湾扇贝选育系与对照系浮游幼虫期的壳长、壳高随日龄的变化
Fig. 1 Daily growth of shell length and shell height of the selective and control lines in pelagic larvae stage of *Argopecten argopecten irradians concentricus*

(9.90 $\pm$ 2.95) μm , 壳高日增长量为(9.63 $\pm$ 3.66) μm 。结果表明墨西哥湾扇贝选育系在浮游幼虫阶段生长速度略快于对照系。

2.4 墨西哥湾扇贝选育系与对照系稚贝附着期的生长发育比较

经过 11 d 生长, 墨西哥湾扇贝进入附着期后, 生长速度迅速增加, 选育系的生长优势开始凸显。从表 4 可知, 墨西哥湾扇贝选育系无论在壳长、壳高指标上均大于同时期的对照系, 除第 14 天外, 选育系的壳长和壳高与对照系相比均差异性显著($P<0.05$)。

由表 4 可知, 墨西哥湾扇贝在稚贝附着期壳高的生长速度均快于壳长(选育系壳长增长量 148.53 $\mu\text{m}/\text{d}$, 壳高增长量 173.16 $\mu\text{m}/\text{d}$; 对照系壳长增长量 99.96 $\mu\text{m}/\text{d}$, 壳高增长量 108.43 $\mu\text{m}/\text{d}$ 。选育系稚贝在第 28 天时壳高的长度开始超过壳长, 而对照系则是在第 30 天时壳高开始超过壳长, 表明选育系的生长优势可能与壳高生长速度有关。

由图 2 可知, 选育系壳长、壳高在整个附着期间均高于对照系, 第 14 天后两群体间壳长、壳高差异显著($P<0.05$), 墨西哥湾扇贝选育系表现出明显的生长优势。同时发现墨西哥湾扇贝附着

期稚贝选育系与对照系在第 12~22 天壳长和壳高的增长较为平缓,第 22 天后壳长和壳高均迅速增长,显示出墨西哥湾扇贝在附着前期生长缓慢而附着后期生长迅速的生长特点。

2.5 墨西哥湾扇贝选育系与对照系稚贝的附着变态率与存活率比较

由图 3 可知,在第 15 天对墨西哥湾扇贝进行变态率观察统计,选育系变态率为 93.55%,对照系变态率为 80.58%,选育系变态率远高于对照系且两群体间变态率差异显著($P<0.05$)。第 20 天时

墨西哥湾扇贝选育系存活率为 90.53%,对照系存活率为 78.65%,选育系存活率远高于对照系且两群体间存活率差异显著($P<0.05$)。结果表明,选育系的附着变态率、存活率均表现出明显优势。

3 讨论

3.1 墨西哥湾扇贝的胚胎发育

在动物进化历程中,胚胎发育过程比较保守,尤其是在胚胎发育的早期阶段相似性较高^[16]。在水温 28~29℃、盐度 24~25 条件下,墨西哥湾扇贝

表 4 墨西哥湾扇贝选育系与对照系附着稚贝的壳长和壳高生长
Tab. 4 Growth of shell length and shell height of the selective and control lines in attachment juvenile stage of *Argopecten argopecten irradians concentricus*

日龄 days of age	平均壳长/ μm mean shell length		平均壳高/ μm mean shell height	
	选育系 selective line	对照系 control line	选育系 selective line	对照系 control line
12	218.89 $\pm$ 6.51 ^a	206.67 $\pm$ 8.66 ^b	208.89 $\pm$ 9.28 ^a	194.44 $\pm$ 7.68 ^b
14	302.50 $\pm$ 31.96 ^a	279.38 $\pm$ 24.27 ^a	251.25 $\pm$ 28.00 ^a	246.25 $\pm$ 14.08 ^a
16	412.50 $\pm$ 29.64 ^a	356.25 $\pm$ 24.46 ^b	342.50 $\pm$ 36.94 ^a	304.38 $\pm$ 19.53 ^b
18	528.75 $\pm$ 40.51 ^a	446.25 $\pm$ 34.62 ^b	427.50 $\pm$ 38.45 ^a	345.00 $\pm$ 29.28 ^b
20	643.75 $\pm$ 55.79 ^a	538.75 $\pm$ 39.07 ^b	525.00 $\pm$ 67.82 ^a	421.25 $\pm$ 33.14 ^b
22	798.75 $\pm$ 95.53 ^a	643.75 $\pm$ 55.28 ^b	645.00 $\pm$ 72.70 ^a	501.25 $\pm$ 46.12 ^b
24	1192.71 $\pm$ 35.28 ^a	798.57 $\pm$ 71.20 ^b	1032.43 $\pm$ 75.53 ^a	669.86 $\pm$ 59.25 ^b
26	1639.00 $\pm$ 170.68 ^a	1104.67 $\pm$ 122.80 ^b	1584.00 $\pm$ 213.86 ^a	941.67 $\pm$ 120.48 ^b
28	2136.75 $\pm$ 199.37 ^a	1373.62 $\pm$ 122.13 ^b	2157.38 $\pm$ 206.41 ^a	1287.00 $\pm$ 173.73 ^b
30	2606.83 $\pm$ 145.87 ^a	1738.50 $\pm$ 119.68 ^b	2728.00 $\pm$ 103.65 ^a	1771.00 $\pm$ 188.61 ^b
32	3054.86 $\pm$ 146.17 ^a	2064.86 $\pm$ 195.10 ^b	3163.28 $\pm$ 213.38 ^a	2097.86 $\pm$ 213.74 ^b
34	3486.67 $\pm$ 238.71 ^a	2405.71 $\pm$ 126.87 ^b	4018.33 $\pm$ 454.99 ^a	2580.00 $\pm$ 149.44 ^b

注: 同一指标, 在同一日龄下, 字母相同则表示两种群体差异性不显著($P>0.05$); 字母不同则表示差异性显著($P<0.05$)。
Note: For the same index in the same day, the same letters mean no significant difference ($P>0.05$); different letters mean significant difference ($P<0.05$).

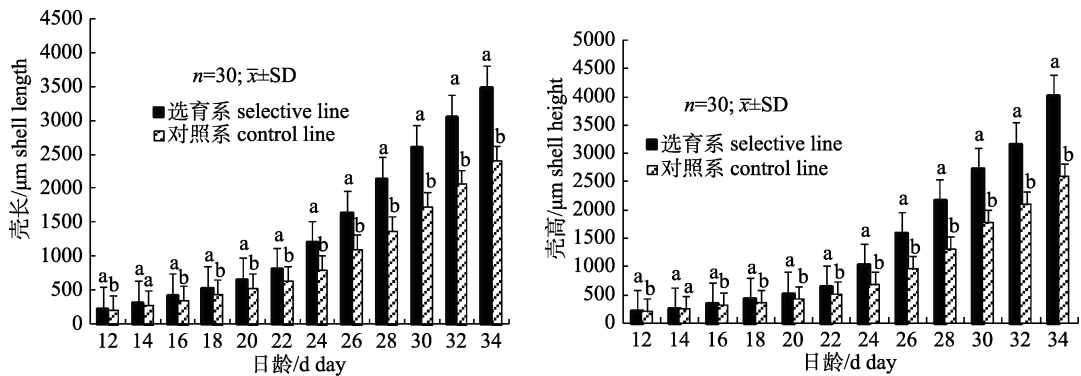


图 2 墨西哥湾扇贝选育系与对照系附着稚贝的壳长和壳高生长

同一指标, 在同一日龄, 字母相同则表示差异不显著($P>0.05$); 字母不同则表示差异显著($P<0.05$)。
Fig. 2 Growth of shell length and shell height of the selective and control lines in attachment juvenile stage of *Argopecten argopecten irradians concentricus*
For the same index in the same day, the same letters mean no significant difference ($P>0.05$); different letters mean significant difference ($P<0.05$).

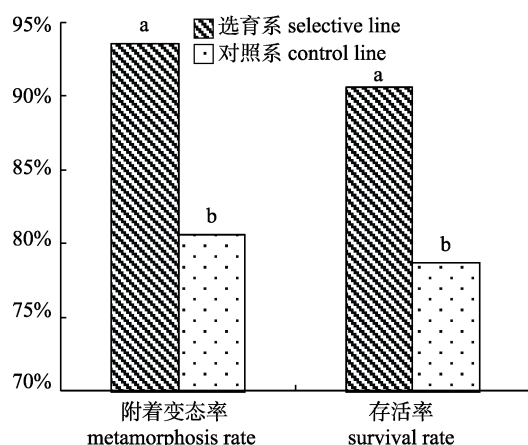


图 3 墨西哥湾扇贝附着期稚贝选育系与对照系变态率与存活率比较

同一指标, 字母相同则表示差异不显著 ($P>0.05$); 字母不同则表示差异显著 ($P<0.05$).

Fig. 3 Metamorphosis rate and survival rate of *Argopecten irradians concentricus* in attachment juvenile stage. For the same index, the same letters mean no significant difference ($P>0.05$); different letters mean significant difference ($P<0.05$).

胚胎和胚后发育主要经历了早期胚胎发育期、担轮幼虫期、面盘幼虫期和稚贝 4 个时期, 与菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)^[17]、翡翠贻贝 (*Perna viridis*)^[18]、长牡蛎 (*Crassostrea gigas*)^[19]、偏顶蛤 (*Modiolus modiolus*)^[20] 等双壳贝类胚胎发育各阶段相似。墨西哥湾扇贝在结束浮游生活即将进入附着变态时, 可以看到在鳃原基的背部形成 1 对球形的由黑色素聚集的感觉器官——眼点。一般以眼点的出现作为幼虫附着变态的标志, 许多双壳贝类如牡蛎、扇贝、珍珠贝等^[21] 的幼虫附着变态过程中也存在这一现象。此外, 墨西哥湾扇贝在附着变态之后, 在胚壳的基础上, 外套膜开始分泌形成新的次生壳, 标志着该贝已发育到稚贝期。

研究发现在各自胚胎发育适宜的水温条件下^[21], 与虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 12~15℃、栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 18~20℃、海湾扇贝 22~23℃ 以及华贵栉孔扇贝 (*C. nobilis*) 26~29.5℃ 相比, 墨西哥湾扇贝的胚胎发育速度均明显高于其他种的扇贝, 表明在胚胎发育过程中细胞增殖与分化同时进行, 但发育速度不同, 多与水温有关^[21]。此外, 墨西哥湾扇贝从 D 形幼虫 ($92.00\ \mu\text{m} \pm 2.74\ \mu\text{m}$) 发育至早期稚贝 ($302.50\ \mu\text{m} \pm 31.96\ \mu\text{m}$), 与虾夷扇

贝、栉孔扇贝、海湾扇贝、华贵栉孔扇贝等几种扇贝的壳长变化范围^[21] 相比, 它们虽同属扇贝科, 早期胚胎和幼虫发育形态变化相似, 但发育速度并不同步, 这可能与其所栖息的自然生态环境及该种墨西哥湾扇贝具有较快的发展速度有关。墨西哥湾扇贝为海湾扇贝的热带亚种, 是一种快速生长型贝类, 其胚胎发育最适温度为 27~28℃^[10], 因其适应较高水温的特性^[22], 适应在南方更高水温环境中完成胚胎发育, 胚胎发育速度较快, 能更快发育到浮游幼虫时期。

3.2 墨西哥湾扇贝选育系的幼虫发育、稚贝生长

在相同环境条件下 (水温 28~29℃、盐度 24~25), 墨西哥湾扇贝选育系在幼虫发育前期比对照系生长速度快, 但差异性不显著 ($P>0.05$); 进入附着期后, 墨西哥湾扇贝选育系各生长指标均大于对照系, 选育系与对照系的壳长、壳高差异性显著 ($P<0.05$); 对附着期稚贝变态率和存活率进行比较发现选育系具有显著优势 ($P<0.05$)。研究表明, 墨西哥湾扇贝选育系在幼虫和稚贝阶段的生长率、变态率、存活率均远超对照系, 选育系表现出明显的生长优势。此外, 墨西哥湾扇贝选育系稚贝附着阶段生长速度与浙江^[23] 沿海养殖的墨西哥湾扇贝群体同期比较, 墨西哥湾扇贝选育系 (水温 28~29℃, 日增长 $57.30\ \mu\text{m}$) 的壳高日增长远高于浙江养殖的墨西哥湾扇贝群体 (水温 26~27℃, 日增长 $33.9\ \mu\text{m}$), 表明墨西哥湾扇贝选育系在稚贝阶段生长优势明显。

3.3 墨西哥湾扇贝选育系早期发育阶段的生长规律

在水温 28~29℃、盐度 24~25 条件下, 墨西哥湾扇贝的早期发育阶段呈现出胚胎和早期幼虫阶段生长缓慢, 幼虫发育后期与稚贝阶段快速生长的规律, 表现出“先慢后快”的生长特点。墨西哥湾扇贝选育系稚贝附着期生长速度远高于对照系, 在附着变态率、存活率上选育系也表现出明显优势。本研究表明, 墨西哥湾扇贝选育系与对照系在幼虫阶段壳长和壳高的生长速度不同步, 在 D 形幼虫至壳顶幼虫阶段壳长生长快于壳高, 幼虫后期壳高生长速度远大于壳长, 选育系与对照系分别于第 28 天和第 30 天壳高普遍超过壳长; 幼

虫经 16 d 生长, 选育系的壳高生长速度明显超过对照系, 表明墨西哥湾扇贝选育系的生长优势可能与壳高的生长速度有关。有关研究表明, 虾夷扇贝^[24]、华贵栉孔扇贝^[25]的壳高是影响体重的主要因素; 杨世平等^[26]对墨西哥湾扇贝经济性状的研究发现, 壳长、壳高对墨西哥湾扇贝闭壳肌重有较大的决定效应。根据墨西哥湾扇贝选育系的壳高生长率高于对照系这一特点, 我们初步推断壳高生长速度是影响墨西哥湾扇贝选育系生长速度的主要生长指标。

今后还需要进一步探究墨西哥湾扇贝选育系在不同养殖阶段(中培和养成期)、不同海域环境下的生长对比, 以及各个养殖海域最适养殖容量、养殖密度等, 为墨西哥湾扇贝选育系在广西北部湾海域的引进及推广养殖提供科学参考。

参考文献:

- [1] Zhang F S, He Y C, Qi L X, et al. Introduction and spat-rearing of the F₁ generation of *Argopecten irradians concentricus* Say[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1994, 25(4): 372-377. [张福绥, 何义朝, 元铃欣, 等. 墨西哥湾扇贝的引种和子一代苗种培育[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(4): 372-377.]
- [2] Peng Z M, Liu F S M, Liu Z G. Research progress of artificial culture and genetic breeding of *Argopecten irradians concentricus* Say[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2014, 32(1): 91-97. [彭张明, 刘付少梅, 刘志刚. 墨西哥湾扇贝人工养殖及遗传育种研究进展[J]. 广东海洋大学学报, 2014, 32(1): 91-97.]
- [3] Liu Z G, Wang H, Zheng Y L. The effect of parental selection on inbred first filial generation of *Argopecten irradians concentricus* Say[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(4): 443-451. [刘志刚, 王辉, 郑云龙. 墨西哥湾扇贝亲代选择对自交子一代的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(4): 443-451.]
- [4] Peng Z M. Selective breeding and culture of new *Argopecten irradians concentricus* line[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015. [彭张明. 墨西哥湾扇贝新品系的选择育种及养殖[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015.]
- [5] Zhang H B, Liu X, Zhang G F, et al. Growth and survival of reciprocal crosses between two bay scallops, *Argopecten irradians concentricus* Say and *A. irradians irradians* Lamarck[J]. *Aquaculture*, 2007, 272(S1): S88-S93.
- [6] Nan L H, Zhang J S, Feng W, et al. Inter-specific hybridization between *Argopecten purpuratus* and *Argopecten irradians concentricus*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(20): 131-135. [南乐红, 张金盛, 丰玮, 等. 紫扇贝和墨西哥湾扇贝种间杂交的初步研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(20): 131-135.]
- [7] You Z J. The techniques of indoor artificial breeding and nursery culture stage of *Argopecten irradians concentricus*[J]. *Shandong Fisheries*, 2004, 21(2): 7-8. [尤仲杰. 墨西哥湾扇贝室内人工育苗及中间培育技术[J]. 齐鲁渔业, 2004, 21(2): 7-8.]
- [8] You Z J, Chen Q J, Ma B, et al. Artificial large scale breeding of *Argopecten irradians concentricus* in East China Sea[J]. *Marine Sciences*, 2001, 25(2): 18-19. [尤仲杰, 陈清建, 马斌, 等. 墨西哥湾扇贝东海海域人工育苗规模化实验[J]. 海洋科学, 2001, 25(2): 18-19.]
- [9] Li Z M, Liu Z G, Liu F S M, et al. Cultured density of new *Argopecten irradians concentricus* line in nursery and adult culture stage[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(6): 1557-1565. [栗志民, 刘志刚, 刘付少梅, 等. 中培期和养成期墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians concentricus*) 新品系养殖密度的研究[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(6): 1557-1565.]
- [10] He Y C, Zhang F S, Li B Q. Effect of temperature on embryo and larval development of the scallop *Argopecten irradians concentricus* Say[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1999, 30(3): 284-289. [何义朝, 张福绥, 李宝泉. 温度对墨西哥湾扇贝胚胎和幼虫发育的影响[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(3): 284-289.]
- [11] You Z J, Lu T X, Ma B, et al. Influences of some environmental factors on growth and survival of *Argopecten irradians concentricus* larvae and juveniles[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2003, 22(3): 22-29. [尤仲杰, 陆彤霞, 马斌, 等. 几种环境因子对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝生长与存活的影响[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(3): 22-29.]
- [12] You Z J, Lu T X, Ma B, et al. Influences of salinity on growth and survival of *Argopecten irradians concentricus* larvae and juveniles[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2003, 38(3): 58-60. [尤仲杰, 陆彤霞, 马斌, 等. 盐度对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝生长与存活的影响[J]. 动物学杂志, 2003, 38(3): 58-60.]
- [13] Lu T X, Chen Q J. The effect of pH and exposure time on the growth and survival of *Argopecten irradians concentricus* larvae and juveniles[J]. *Fisheries Science*, 2003, 22(2): 6-8. [陆彤霞, 陈清建. 酸碱度和干露对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝的影响[J]. 水产科学, 2003, 22(2): 6-8.]
- [14] You Z J, Chen Q J. Influences of temperature on growth and survival of *Argopecten irradians concentricus* larvae and juveniles[J]. *Fisheries Science*, 2003, 22(1): 8-10. [尤仲杰, 陈清建. 温度对墨西哥湾扇贝幼虫和稚贝生长与存活的影响]

- 响[J]. 水产科学, 2003, 22(1): 8-10.]
- [15] Zhang T, Que H Y, Ge M L, et al. Induction of metamorphosis of the southern bay scallop *Argopecten irradians concentricus* larvae by chemical cues[J]. Chinese Journal of Zoology, 2003, 38(4): 66-71. [张涛, 阙华勇, 盖明礼, 等. 化学物质对墨西哥湾扇贝幼虫变态的诱导[J]. 动物学杂志, 2003, 38(4): 66-71.]
- [16] Zhao W H, Zhu X P, Wei C Q, et al. Observation on the embryonic development of yellow pond turtle *Mauremys mutica* Cantor 1842[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(5): 649-656. [赵伟华, 朱新平, 魏成清, 等. 黄喉拟水龟胚胎发育的观察[J]. 水生生物学报, 2008, 32(5): 649-656.]
- [17] Bi K, Bao Z M, Huang X T, et al. Cytological observations on fertilization and early embryonic development in *Ruditapes philippinarum*[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(6): 623-627. [毕克, 包振民, 黄晓婷, 等. 菲律宾蛤仔受精及早期胚胎发育过程的细胞学观察[J]. 水产学报, 2004, 28(6): 623-627.]
- [18] Yang P, Yan X W, Zhang Y H, et al. Artificial breeding of green mussel *Perna viridis* in north China coast[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(5): 456-461. [杨鹏, 闫喜武, 张跃环, 等. 北方沿海翡翠贻贝人工育苗技术研究[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(5): 456-461.]
- [19] Tian C Y, Liang Y, Wang R C, et al. Observation on the gametes and sperm penetration with scanning electron microscope and a preliminary study of the embryonic development in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2000, 18(2): 51-55. [田传远, 梁英, 王如才, 等. 太平洋牡蛎配子和精子入卵的扫描电镜观察及胚胎发育的初步研究[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(2): 51-55.]
- [20] Ning J H, Pang Y L, Song J, et al. Development of embryo and larva of *Modiolus modiolus* and effects of temperature on growth and development of the pelagic larva[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 196-203. [宁军号, 庞云龙, 宋坚, 等. 偏顶蛤胚胎和幼虫发育及温度对其浮游幼虫生长和发育的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 196-203.]
- [21] Wang R C, Wang Z P. Science of Marine Shellfish Culture[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2008. [王如才, 王昭萍. 海水贝类养殖学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2008.]
- [22] Liu Z G, Wang H, Li Z M, et al. Effect of temperature on growth of *Argopecten irradians concentricus* of various sizes[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(5): 47-52. [刘志刚, 王辉, 栗志民, 等. 温度对不同大小墨西哥湾扇贝生长的影响[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(5): 47-52.]
- [23] Lu T X, You Z J, Chen Q J. Study on the growth of *Argopecten irradians concentricus* in Zhejiang coast[J]. Journal of Ningbo University: Natural Science and Engineering Edition, 2003, 16(2): 131-135. [陆彤霞, 尤仲杰, 陈清建. 浙江海域墨西哥湾扇贝生长的研究[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2003, 16(2): 131-135.]
- [24] Chang Y Q, Zhang C S, Cao X B, et al. Effect of morphometrical traits on weight traits in one-year old yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2008, 23(5): 330-334. [常亚青, 张存善, 曹学彬, 等. 1 龄虾夷扇贝形态性状对重量性状的影响效果分析[J]. 大连海洋大学学报, 2008, 23(5): 330-334.]
- [25] Zheng H P, Sun Z W, Zhang T, et al. Correlation and path analysis to quantitative traits of noble scallop *Chlamys nobilis* Reeve at one-year old[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(20): 322-326. [郑怀平, 孙泽伟, 张涛, 等. 华贵栉孔扇贝 1 龄贝数量性状的相关性及通径分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(20): 322-326.]
- [26] Yang S P, Liu H L, Lao Z, et al. Effects of main economic traits on adductor weight of *Argopecten irradians concentricus* Say[J]. Fishery Modernization, 2013, 40(3): 41-45. [杨世平, 刘慧玲, 劳赞, 等. 墨西哥湾扇贝经济性性状对闭壳肌重决定效应分析[J]. 渔业现代化, 2013, 40(3): 41-45.]

Early development and growth of a selective line of *Argopecten irradians concentricus*

FENG Jie, ZHAO Naiqian, ZHENG Yuchen, WANG Wenjie, LIU Xing, PAN Ying

College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract: Development of embryos, larvae, and juveniles of *Argopecten irradians concentricus* were observed using an optical microscope, with a digital camera at water temperatures of 28°C to 29°C and salinity of 24 to 25. Zygotes began the first cleavage at 50 min post-fertilization, developed to D-shaped larvae between 22 and 24 h, and the larvae developed eye points and feet at day 11 and entered the attachment metamorphosis stage. There was no significant difference in the time of embryo development between the selective and control lines ($P>0.05$). The shell length and shell height were not significantly different at the embryonic and early larval stages between the selective and control lines ($P>0.05$), but there was a significant difference in shell length and shell height at the post-larval and attachment metamorphosis stages between the selective and control lines ($P<0.05$). The metamorphosis and survival rates of the selective line were significantly different from those of the control line ($P<0.05$), and the selective line has obvious advantages. The results show that the growth of the early planktonic larval stage of *A. irradians concentricus* was slow but at the post-larval and juvenile stages, it was rapid. The growth of shell length and shell height of *A. irradians concentricus* was not synchronized. The growth speed of shell length exceeded that of shell height at the earlier larval stage, and at the later larval stage, the growth speed of shell height exceeded that of shell length; at 28 to 30 days, shell height exceeded shell length. At the larval and juvenile stages, the growth of the selective line significantly exceeded that of the control line. The selective line has obvious growth advantages and growth potential.

Key words: *Argopecten irradians concentricus*; selective line; embryonic development; larvae; juveniles

Corresponding author: PAN Ying. E-mail: yingpan@gxu.edu.cn