

文章编号:1000-0615(2007)04-0443-09

## 墨西哥湾扇贝亲代选择对自交子一代的影响

刘志刚<sup>1</sup>, 王辉<sup>1</sup>, 郑云龙<sup>2</sup>

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025;

2. 湛江银浪海洋生物技术有限公司, 广东 湛江 524022)

**摘要:** 试验从来自同一养殖群体的 1000 个随机个体墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians concentricus* Say) 中选取规格最大(壳长 58.3~61.9 mm)、中等(壳长 49.5~50.8 mm)、最小(壳长 38.9~41.1 mm) 的性成熟个体各 3 个作为亲贝, 按规格分成大、中、小 3 组, 利用该贝雌雄同体的特性分别进行各组内亲本个体自交。在相同环境及试验条件下通过比较各自交组受精率、孵化率、稚贝育成率、海上暂养及标粗期存活率、养成期存活率、壳长壳高体重日增长率和选择反应等指标的差异, 分析亲本选择对自交子代生产性能的影响。结果表明, 从上述各指标看, 大规格亲贝优于中规格亲贝 ( $P < 0.01$ ); 中规格亲贝优于小规格亲贝 ( $P < 0.01$ )。大规格亲贝壳高、壳长和体重的选择反应分别为 6.0 mm、5.4 mm 和 6.3 g, 中规格亲贝分别为 -0.4 mm、-0.1 mm 和 -0.7 g, 小规格亲贝分别为 -4.7 mm、-5.3 mm 和 -7.6 g。大规格亲贝壳高、壳长和体重的实现遗传力分别为 0.52、0.49 和 0.40。研究证明, 墨西哥湾扇贝亲代选择对自交子一代生产性能具有极显著影响 ( $P < 0.01$ ), 大规格亲贝自交后代表现出明显生长优势, 截断选择策略有效。

**关键词:** 墨西哥湾扇贝; 选择; 自交; 子一代; 生产性能

**中图分类号:** S 917 **文献标识码:** A

## The effect of parental selection on inbred first filial generation of *Argopecten irradians concentricus* Say

LIU Zhi-gang<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, ZHENG Yun-long<sup>2</sup>

(1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China;

2. Zhanjiang Silver Wave Marine Biotechnology Ltd., Zhanjiang 524022, China)

**Abstract:** In the experiment the same culture population of 1000 individuals of *Argopecten irradians concentricus* Say was divided into 3 groups according to shell length: large group (shell length 58.3–61.9 mm), middle group (shell length 49.5–50.8 mm) and small group (38.9–41.1 mm), and 3 individuals, which as parents were sexually matured and of the same age, were chosen from 3 groups each. Autogamy experiments were carried out within each group of parents selected, respectively. Under identical environmental and experimental conditions, based on the comparisons of differences between 3 groups in terms of such indices as insemination

收稿日期: 2006-10-08

资助项目: 广东省科技厅(2005B26001079); 黑龙江省博士后基金资助项目(LRB04-128)

作者简介: 刘志刚(1963-), 男, 广东潮州人, 副教授, 从事贝类生态、育种、养殖研究。Tel: 0759-2230818, E-mail: liuzg@gdou.edu.cn

通讯作者: 王辉, Tel: 0759-2362572, E-mail: whh524@sina.com

rate, hatching rate, juvenile survival rate, survival rates across nursing period and across formal culture period, daily growth rates of shell length, shell height, survival rate and responses to selection, the effect of parental selection on the growth performance of self-fertilized progeny were examined. Results showed that large-size parents were better than middle ones ( $P < 0.01$ ); middle-size parents were superior to small-size ones ( $P < 0.01$ ). Responses to selection of shell height, shell length and wet weight for large-size parents were 6.0 mm, 5.4 mm and 6.3 g respectively; -0.4 mm, -0.1 mm and -0.7 g respectively for middling-size parents, and -4.7 mm, -5.3 mm and -7.6 g respectively for small-size parents. Realized heritabilities of shell height, shell length and wet weight were 0.52, 0.49 and 0.40 respectively. Results showed that parental selection of *Argopecten irradians concentricus* Say had great effect on the growth performance of self-fertilized progeny ( $P < 0.01$ ), the self-fertilized progeny of large-size parents displayed marked growth advantage, and the strategy of truncation selection is effective and should be adopted practically.

**Key words:** *Argopecten irradians concentricus* Say; selection; selfing; first filial generation ( $F_1$ ); performance

墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians concentricus* Say) 是海湾扇贝 (*A. irradians* Lamarck) 的南方亚种<sup>[1]</sup>, 在北美大西洋沿岸佛罗里达州有大量分布<sup>[2]</sup>, 因其出肉率比海湾扇贝高, 生长快且适合南方海域养殖, 于 1991 年 12 月被引进我国, 并先后在广西、海南、广东等地进行育苗养成试验及推广<sup>[3]</sup>。广东海洋大学等单位在湛江市北部湾历经 5 年研究及推广, 取得大面积养殖的成功<sup>[4]</sup>, 至 2006 年 8 月, 累计推广面积达 7 380 hm<sup>2</sup>, 目前发展势头迅猛。然而随着养殖世代的增加, 种质退化现象在生产中逐渐显露, 表现为稚贝育成率低、种苗抗逆性差、生长速度减缓、个体小型化、病害时有发生、养成期存活率下降等, 已导致养殖效益严重滑坡。Blake<sup>[5]</sup> 通过对中国海湾扇贝养殖群体和原产地野生群体间 mtDNA 的多态性分析, 认为多年近交养殖会导致种质的退化。因此, 要使墨西哥湾扇贝养殖业健康可持续发展, 当务之急是重新引种并从遗传育种角度开展选育种实验。张福绥等<sup>[6]</sup> 认为重新引种只能是应急对策, 应从长远考虑, 注意遗传育种学研究, 从根本上提高种质质量。有关扇贝遗传育种的研究, Grenshaw 等<sup>[7]</sup> 进行了墨西哥湾扇贝生长率的遗传力实验。潘洁等<sup>[8-9]</sup> 采用 AFLP 标记分析显示, 栉孔扇贝选择群体的遗传组成已发生了改变。包振民等<sup>[10]</sup> 认为我国近几年对栉孔扇贝抗病品系的筛选取得了明显的效果, 选择群体的生长率和抗病性明显提高。刘小林等<sup>[11]</sup> 认为贝类选择育种的一大优势是雌雄同体的自体受精促进了完全近交系的产生。张国范等<sup>[12-13]</sup> 从海湾扇贝杂交优势利用的角度进行了较深入的探讨, 并提出采取人

工强制自交培育纯合自交系, 再以纯合自交系杂交获得强优势杂交种的观点。Zheng 等<sup>[14-15]</sup> 研究了海湾扇贝的选择反应及杂交家系与自交家系生长与存活比较。上述研究结果表明选择在扇贝育种中是富有成效的, 而自交系培育有其独特的意义。有关墨西哥湾扇贝亲代选择对自交子一代影响的研究目前未见报道, 而对自交亲贝加以选择是为了强化纯合自交系的优势, 最大程度减少自交带来的衰退, 从而为采用纯合自交系杂交获得强优势的杂交后代打下坚实的遗传基础, 具有十分重要的意义。因此, 本文开展了墨西哥湾扇贝亲代选择对自交子一代生产性能影响的研究, 旨在为进一步制定其育种策略奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本试验亲贝来自银浪公司遂溪县江洪镇扇贝养殖示范基地, 从同池同批种苗养成的 7 个月龄的养殖群体中, 随机抽取 1000 个个体作为育种基础群体, 从中选择最大(壳长及体重均为群体中最大)、中等(壳长及体重接近群体平均值)、最小(壳长及体重接近群体中最小)个体各 3 个, 要求贝体健康无病虫害、贝壳无任何损伤、性腺发育成熟。将所选 9 个亲本分为大、中、小 3 组, 每组 3 个。亲贝形态和体重数据见表 1。另从育种基础群体中随机抽取 100 个个体测量其形态及体重数据, 求该群体均值, 测得平均壳长 ( $48.9 \pm 2.1$ ) mm、壳高 ( $45.8 \pm 2.0$ ) mm、壳宽 ( $21.9 \pm 0.9$ ) mm、体重 ( $25.3 \pm 3.0$ ) g。本研究中大规格亲本的留种率达 3%, 相当于选择强度为 3.18(矫正值), 中规

格亲本接近群体均值,小规格亲本接近群体中最小个体。3种规格壳长间隔约 1.0 cm。

表 1 亲贝形态和体重数据

Tab.1 Morphological and wet weight data of parents

亲贝规格 parental size	序号 no.	壳长(mm) shell length	壳高(mm) shell height	壳宽(mm) shell width	体重(g) wet weight
大 large	1 #	61.9	58.8	27.3	44.3
	2 #	59.9	56.5	27	40.6
	3 #	58.3	57	26.7	38.6
平均 mean ± S.D.		60.0 <sup>A</sup> ± 1.8	57.4 <sup>A</sup> ± 1.2	27.0 <sup>A</sup> ± 0.3	41.2 <sup>A</sup> ± 2.9
中 middle	4 #	50.8	47.2	23.9	26.9
	5 #	49.8	47	22.7	25.5
	6 #	49.5	46.5	24	24.6
平均 mean ± S.D.		50.0 <sup>B</sup> ± 0.7	46.9 <sup>B</sup> ± 0.4	23.5 <sup>B</sup> ± 0.7	25.7 <sup>B</sup> ± 1.2
小 small	7 #	41.1	37	18.5	16.5
	8 #	39.1	38	17.5	16
	9 #	38.9	38.1	17	15.8
平均 mean ± S.D.		39.7 <sup>C</sup> ± 1.2	37.7 <sup>C</sup> ± 0.6	17.7 <sup>C</sup> ± 0.8	16.1 <sup>C</sup> ± 0.4

注:同列(行)右上角标有不同大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ ),不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同

Notes: different uppercase or lowercase letters marked at the upper right corner in the same column (row) denote significant statistical difference at the levels of 0.01 or 0.05 respectively, following is the same

**亲贝催产** 试验场所位于遂溪县草潭镇长洪村银浪公司水产种苗场。催产容器为 9 个 150 L 白桶,桶与桶之间隔离,以防精卵交叉污染。试验于 2005 年 6 月 10 日晚开始,亲贝阴干 30 min 后吊挂于催产桶内,每桶放 1 贝,充气待产,并利用其雌雄同体行自体受精。晚上 9 点左右各组产完精卵后把亲贝及时移走。产卵水温为 27.0 °C,海水盐度 29.3, pH 8.2。

**洗卵与孵化** 移出亲贝后 30 min 大部分卵子受精并放出第一极体,充气均匀后,每桶用 5 mL 移液管取 5 个样本求卵子及受精卵平均密度,统计卵子数量及受精率,同时用 400 目网捞(每桶一个专用)把卵子捞起,过滤海水冲洗,再放入准备好的 150 L 白桶中按 15 ind·mL<sup>-1</sup>密度孵化,微波状充气。催产及孵化期均添加 6 × 10<sup>-6</sup> EDTA 二钠及 1 × 10<sup>-6</sup> 青霉素钠,孵化水温为 26.0 ~ 27.5 °C,海水盐度 29.3, pH 8.2。11 日下午 5 点左右各组 D 型幼虫孵出,充气均匀后每桶用 10 mL 量筒取 5 个样本求 D 型幼虫平均密度,并根据卵子密度及受精率计算孵化率。

**幼虫及稚贝培育** 幼虫培育在室内水泥池(规格 1.0 m × 1.0 m × 0.5 m)进行,分 3 个组,共 9 个池,池间隔离,育苗用水经 6 × 10<sup>-6</sup> EDTA 钠盐处理。幼虫密度按 2 ind·mL<sup>-1</sup>安排,充气均匀后每池用 50 mL 量筒取 5 个样本求实际密度。开口

饵料用湛江等鞭金藻 (*Isochrysis zhanjiangensis*),保持水中密度 0.3 ~ 0.5 × 10<sup>4</sup> ind·mL<sup>-1</sup>,中后期结合投喂亚心形扁藻 [*Platymonas subcordiformis* (Wille) Hazen],保持水中密度 0.1 ~ 0.3 × 10<sup>4</sup> ind·mL<sup>-1</sup>。浮游期隔天换水 1/4,附着后每天换水 1/3。附着基采用经打磨聚乙烯网片,消毒后投放,投放时机为 30% 眼点幼虫。整个育苗期保持微波状充气,水温 26.0 ~ 29.5 °C,海水盐度 28.4 ~ 29.7, pH 8.0 ~ 8.2,光照度 1000 lx 以下, DO > 5.0 mg·L<sup>-1</sup>。幼虫经 11 d 培育于 22 日前后出现眼点,27 日前附着完毕。7 月 12 日育苗池内稚贝壳长达到 1.0 mm 左右即进入海上暂养及标粗。方法是用海绵把稚贝从网片、池壁及池底上洗脱,并用网袋收集,然后将网袋连苗一起放在吸水海绵上把表面水膜吸干,再把贝苗倒入经本底校正的烧杯中于电子天平(感量 0.1 mg)称重,得出各池稚贝总重,再从各池稚贝中抽取 3 个小样本(约 1 g)称重后点数求平均每克个数,从而得出各池稚贝总数。

**海上暂养及标粗** 7 月 12 日把各组稚贝全部移至海上暂养及标粗。初期采用 60 目网袋,规格 30 cm × 50 cm,每袋 2000 粒。7 月 19 日贝苗长至 3 mm 左右时改换 40 目网袋,每袋 500 粒。8 月 2 日稚贝达到壳长 5 mm 左右时进入 20 目网袋,每袋 200 粒。8 月 25 日,各组贝苗壳长达到 10 mm 左右时,全部倒出,每组随机取 200 g 样本各 5 个

统计存活数量及 50 个贝测量壳长、壳高、体重,然后进入养成阶段。海上暂养及标粗时间共 44 d,期间水温 28.5~30.5℃,盐度 28.8~30.1。

**养成** 8月25日各组贝苗壳长达到 10 mm 左右时进入套网笼养成,套网网孔 0.5 cm,盘孔 0.5 cm,盘径 28 cm,8层笼。放苗密度每层 100 粒。11月15日贝苗长至壳高 3.0 cm 左右时进入直径 28 cm 10层养成笼;并分疏为每层 30 粒,盘孔 1.0 cm,网孔 2.0 cm。每月调整 1 次密度,保证每层 30 粒。至 2006 年 3 月 25 日,养成周期满 7 个月(212 d),即结束试验,各组随机抽取 10 笼贝统计每笼平均数求总存活率,再把 10 笼贝混合均匀后随机抽取 50 个贝统计壳长、高、宽、体重。海上暂养、标粗及养成地点位于银浪公司遂溪县江洪镇扇贝养殖示范基地。期间水温 15.7~30.5℃,盐度 30.1~34.1。

#### 数据测量与统计处理

产卵量 = 卵子密度 ( $\text{ind} \cdot \text{mL}^{-1}$ )  $\times$  产卵水体 (mL);

受精率 (%) = 受精卵密度/卵子密度  $\times$  100;

孵化率 (%) = D 型幼虫密度/受精卵密度  $\times$  100;

稚贝育成率 (%) = 出池稚贝数/投放 D 型幼虫数  $\times$  100;

暂养及标粗期存活率  $R_{S1}$  (%) = (暂养及标粗结束时稚贝数量/下海稚贝数量)  $\times$  100;

养成存活率  $R_{S2}$  (%) = 养成结束存活个数/养成投入苗数  $\times$  100;

壳长日增长率  $R_{(L)}$  ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ) =  $(L_1 - L_0) / (t_1 - t_0)$ ;

壳高日增长率  $R_{(H)}$  ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ) =  $(H_1 - H_0) / (t_1 - t_0)$ ;

体重日增长率  $R_{(W)}$  ( $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ ) =  $(W_1 - W_0) / (t_1 - t_0)$ 。

式中:  $L_0$ 、 $H_0$ 、 $W_0$  分别为初始壳长、壳高、体重;  $L_1$ 、 $H_1$ 、 $W_1$  分别为阶段结束时的壳长、壳高、体重;  $t_0$ 、 $t_1$  分别为阶段开始及阶段结束时间。测量工具为游标卡尺(精度  $\pm 0.02$  mm)及电子天平(精度  $\pm 0.01$  g)。

实现遗传力 =  $R/S^{[16-17]}$

式中:  $R$ (选择反应) =  $F$ (子代养殖结束均值) -  $P$ (育种基础群体均值),  $S$ (选择差) = 留种群体(各

规格亲本)均值 - 育种基础群体均值。

此外,浮游期壳长、壳高生长数据由于受各组幼虫密度变化不一致的影响而失去可比性,在本文中不作对比。为确保选择反应的正确性,自交子代与亲代的实验条件(包括养殖海区、养殖笼具、吊养水深、操作方法等)和生长期(均为 7 个月)保持基本一致。

实验数据采用平均数  $\pm$  标准差 ( $\text{mean} \pm \text{S.D.}$ ) 表示,使用 SPSS(v13.0) 统计软件对数据进行处理,统计分析方法为方差分析 (ANOVA),采用 Duncan 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 产卵量、受精率、孵化率

从表 2 可见,不同组别亲贝产卵量差异极显著 ( $P < 0.01$ ),个体越大,产卵量越多;大规格组的亲贝卵子受精率平均为 95.3%,中规格组的为 92.6%,小规格组的为 84.1%,统计分析 (ANOVA) 表明,3 种规格受精率差异显著 ( $P < 0.05$ );大、中、小规格亲贝平均孵化率分别为 77.5%、55.1%、40.2%,多重比较表明,大规格受精卵孵化率优于中、小规格 ( $P < 0.05$ ),而中、小规格间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 各自交组稚贝育成率

从表 3 可见,大规格组稚贝育成率平均为 4.6%,中规格组的为 2.9%,小规格组的为 1.4%,统计分析 (ANOVA) 表明,亲贝大小对稚贝育成率有极显著影响 ( $P < 0.01$ )。多重比较表明,大规格组稚贝育成率明显优于中规格组,中规格组优于小规格组 ( $P < 0.01$ )。

### 2.3 海上暂养及标粗期各自交组贝苗生长

由表 4 可见,下海时,大、中、小规格组自交子代平均壳高分别为 0.91 mm、1.04 mm 和 1.08 mm,显示大贝子代的壳高比中、小的低 ( $P < 0.05$ )。海上暂养及标粗期,在严格控制培育条件一致的情况下,第 1 次测量时,大、中、小规格组自交子代平均壳高分别为 3.32 mm、2.73 mm 和 2.62 mm,经 ANOVA 分析显示组间差异显著 ( $P < 0.05$ );多重比较表明大规格组自交子代壳高显著 ( $P < 0.05$ ) 高于中、小规格组,但后两组间没有明显差异 ( $P > 0.05$ ),此时大贝的子代已初步表现出生长优势;第 2 次、第 3 次及第 4 次统计结果均表明,不同规格亲本自交后代在壳高和壳生长上

均表现出极显著差异( $P < 0.01$ ),多重比较表明各规格组生长按大、中、小排列( $P < 0.01$ )。再从日增长率看,3种规格差异均极显著( $P < 0.01$ ),大

规格组优于中规格组,中规格组优于小规格组。分析结果清晰地表明,大规格亲贝的自交后代生长优势越来越明显。

表 2 卵子受精率和孵化率

Tab.2 Fertilization and hatching rates of eggs of parental generation

规格 size	大 large			中 middle			小 small		
	1 #	2 #	3 #	4 #	5 #	6 #	7 #	8 #	9 #
产卵量( $\times 10^4$ ind) eggs	465 $\pm$ 8	511 $\pm$ 9	465 $\pm$ 8	374 $\pm$ 6	363 $\pm$ 5	371 $\pm$ 8	330 $\pm$ 4	277 $\pm$ 3	225 $\pm$ 3
平均( $\times 10^4$ ind) mean	480 <sup>A</sup> $\pm$ 27			369 <sup>B</sup> $\pm$ 6			277 <sup>C</sup> $\pm$ 52.5		
受精卵( $\times 10^4$ ind) fertilized eggs	443 $\pm$ 7	491 $\pm$ 8	440 $\pm$ 7	344 $\pm$ 5	339 $\pm$ 4	343 $\pm$ 4	298 $\pm$ 3	250 $\pm$ 3	205 $\pm$ 2
受精率(%) fertilization rate	95.3 $\pm$ 0.8	96.1 $\pm$ 0.9	94.6 $\pm$ 0.7	92.0 $\pm$ 0.5	93.0 $\pm$ 0.6	92.5 $\pm$ 0.8	70.8 $\pm$ 0.6	90.3 $\pm$ 1.1	91.1 $\pm$ 0.9
平均(%) mean	95.3 <sup>a</sup> $\pm$ 0.8			92.6 <sup>b</sup> $\pm$ 0.5			84.1 <sup>c</sup> $\pm$ 11.5		
D型幼虫( $\times 10^4$ ind) D-shaped larvae	346 $\pm$ 7	383 $\pm$ 8	336 $\pm$ 5	190 $\pm$ 4	172 $\pm$ 3	204 $\pm$ 5	21 $\pm$ 1	140 $\pm$ 2	118 $\pm$ 2
孵化率(%) hatching rate	78.1 $\pm$ 0.6	78 $\pm$ 0.7	76.4 $\pm$ 0.9	55.2 $\pm$ 0.7	51 $\pm$ 0.8	59.5 $\pm$ 1.1	7 $\pm$ 0.3	56 $\pm$ 1.0	57.6 $\pm$ 0.9
平均(%) mean	77.5 <sup>a</sup> $\pm$ 1.0			55.1 <sup>b</sup> $\pm$ 4.3			40.2 <sup>b</sup> $\pm$ 28.8		

表 3 稚贝育成率

Tab.3 Survival percentage of juveniles

规格 size	大 large			中 middle		小 small	
	1 #	2 #	3 #	5 #	6 #	8 #	9 #
D型幼虫(ind·mL <sup>-1</sup> ) D-larval density	2.03 $\pm$ 0.03	2.05 $\pm$ 0.02	2.01 $\pm$ 0.02	2.03 $\pm$ 0.03	2.01 $\pm$ 0.02	1.98 $\pm$ 0.02	2.01 $\pm$ 0.03
D型幼虫( $\times 10^4$ ind) D-shaped larvae	91.35 $\pm$ 1.35	92.25 $\pm$ 0.90	90.45 $\pm$ 0.90	91.35 $\pm$ 1.34	90.45 $\pm$ 0.90	89.1 $\pm$ 0.89	90.45 $\pm$ 1.35
稚贝数量( $\times 10^4$ ind) juveniles	4.36 $\pm$ 0.08	4.23 $\pm$ 0.07	3.87 $\pm$ 0.06	2.38 $\pm$ 0.04	2.80 $\pm$ 0.05	1.34 $\pm$ 0.02	1.18 $\pm$ 0.02
稚贝育成率(%) juvenile survival rate	4.77 $\pm$ 0.09	4.59 $\pm$ 0.08	4.28 $\pm$ 0.07	2.61 $\pm$ 0.04	3.10 $\pm$ 0.06	1.50 $\pm$ 0.02	1.30 $\pm$ 0.02
平均(%) mean	4.6 <sup>A</sup> $\pm$ 0.3			2.9 <sup>B</sup> $\pm$ 0.3		1.4 <sup>C</sup> $\pm$ 0.1	

## 2.4 海上暂养及标粗期各自交组稚贝存活率

由表 5 可见,稚贝海上暂养及标粗期成活率大规格组为 50.6%,中规格组为 41.9%,小规格组为 34.0%。统计分析(ANOVA)表明,亲贝大小对自交子代海上暂养及标粗期存活率有显著的影响( $P < 0.05$ ),规格越大,成活率越高,说明正向选择可明显提高稚贝抗逆能力。

## 2.5 养成期各自交组生长及存活情况

由表 6 可见,不同规格亲代自交子一代在养成结束时壳高( $H$ )、壳长( $L$ )、体重( $W$ )及养成期间日增长率及存活率均有极显著差异( $P <$

0.01),多重比较表明大规格组优于中规格组,中规格组优于小规格组( $P < 0.01$ )。

## 2.6 选择反应

表 7 给出了壳高、壳长和体重 3 个性状的选择反应。可见,不同规格组后代间的性状及选择反应差异均极显著( $P < 0.01$ )。随着亲贝规格由大到小,选择反应由高逐渐降低,甚至出现了负值,规格越小,负值越大(图 1)。如对壳长的选择反应,大、中、小规格组分别为 5.4 mm、-1.0 mm 和 -5.3 mm。

表4 海上暂养及标粗期贝苗生长情况  
Tab.4 Growth data of juveniles in nursing stage

规格 size	编号 no.	平均壳高(mm) mean shell height					日增长率(mm·d <sup>-1</sup> ) daily gain
		下海时 (7月12日)	第1次 (7月19日)	第2次 (7月26日)	第3次 (8月2日)	第4次 (8月25日)	
大 large	1#	0.93 ± 0.05	3.42 ± 0.25	5.01 ± 0.30	6.92 ± 0.35	12.42 ± 0.51	0.261 ± 0.011
	2#	0.87 ± 0.04	3.16 ± 0.23	4.78 ± 0.29	6.74 ± 0.36	12.04 ± 0.50	0.254 ± 0.013
	3#	0.93 ± 0.03	3.39 ± 0.24	4.82 ± 0.28	6.99 ± 0.34	12.39 ± 0.52	0.260 ± 0.012
平均 mean		0.91 <sup>b</sup> ± 0.04	3.26 <sup>a</sup> ± 0.24	4.87 <sup>A</sup> ± 0.29	6.88 <sup>A</sup> ± 0.35	12.28 <sup>A</sup> ± 0.51	0.258 <sup>A</sup> ± 0.012
中 middle	5#	1.04 ± 0.04	2.77 ± 0.22	3.86 ± 0.25	5.50 ± 0.32	10.60 ± 0.48	0.217 ± 0.010
	6#	1.04 ± 0.05	2.68 ± 0.21	3.88 ± 0.26	5.32 ± 0.31	10.32 ± 0.47	0.211 ± 0.009
平均 mean		1.04 <sup>a</sup> ± 0.05	2.73 <sup>b</sup> ± 0.22	3.87 <sup>B</sup> ± 0.26	5.41 <sup>B</sup> ± 0.32	10.46 <sup>B</sup> ± 0.48	0.214 <sup>B</sup> ± 0.010
小 small	8#	1.11 ± 0.04	2.65 ± 0.20	3.62 ± 0.24	4.75 ± 0.29	9.05 ± 0.45	0.180 ± 0.009
	9#	1.06 ± 0.03	2.59 ± 0.19	3.33 ± 0.22	4.49 ± 0.28	8.59 ± 0.46	0.171 ± 0.010
平均 mean		1.09 <sup>a</sup> ± 0.04	2.62 <sup>b</sup> ± 0.20	3.48 <sup>C</sup> ± 0.23	4.62 <sup>C</sup> ± 0.29	8.82 <sup>C</sup> ± 0.46	0.176 <sup>C</sup> ± 0.010
规格 size	编号 no.	平均壳长(mm) mean shell length					日增长率(mm·d <sup>-1</sup> ) daily gain
		下海时 (7月12日)	第1次 (7月19日)	第2次 (7月26日)	第3次 (8月2日)	第4次 (8月25日)	
大 large	1#	1.06 ± 0.04	3.15 ± 0.23	4.76 ± 0.29	6.76 ± 0.35	12.16 ± 0.50	0.252 ± 0.010
	2#	0.98 ± 0.05	2.97 ± 0.24	4.57 ± 0.27	6.82 ± 0.36	12.02 ± 0.49	0.251 ± 0.010
	3#	1.07 ± 0.03	3.16 ± 0.25	4.56 ± 0.27	6.71 ± 0.36	12.01 ± 0.52	0.249 ± 0.011
平均 mean		1.04 <sup>a</sup> ± 0.04	3.09 <sup>a</sup> ± 0.24	4.63 <sup>A</sup> ± 0.28	6.76 <sup>A</sup> ± 0.36	12.06 <sup>A</sup> ± 0.50	0.251 <sup>A</sup> ± 0.010
中 middle	5#	1.14 ± 0.03	2.61 ± 0.21	3.78 ± 0.25	5.45 ± 0.33	10.38 ± 0.47	0.210 ± 0.010
	6#	1.16 ± 0.05	2.68 ± 0.20	3.88 ± 0.24	5.32 ± 0.31	10.14 ± 0.46	0.204 ± 0.009
平均 mean		1.15 <sup>b</sup> ± 0.04	2.65 <sup>b</sup> ± 0.21	3.83 <sup>B</sup> ± 0.25	5.39 <sup>B</sup> ± 0.32	10.26 <sup>B</sup> ± 0.47	0.207 <sup>B</sup> ± 0.010
小 small	8#	1.27 ± 0.04	2.51 ± 0.19	3.41 ± 0.23	4.54 ± 0.28	8.74 ± 0.43	0.170 ± 0.009
	9#	1.17 ± 0.05	2.47 ± 0.17	3.15 ± 0.22	4.36 ± 0.27	8.36 ± 0.44	0.163 ± 0.009
平均 mean		1.22 <sup>a</sup> ± 0.05	2.49 <sup>c</sup> ± 0.18	3.28 <sup>C</sup> ± 0.23	4.45 <sup>C</sup> ± 0.28	8.55 <sup>C</sup> ± 0.44	0.167 <sup>C</sup> ± 0.009

表5 海上暂养及标粗期稚贝存活率比较

Tab.5 Survival rate of juveniles during the nursing period

规格 size	大 large			中 middle		小 small	
	1#	2#	3#	5#	6#	8#	9#
投苗数(×10 <sup>4</sup> ) ind seedlings stocked	4.36	4.23	3.87	2.38	2.80	1.34	1.18
收苗数(×10 <sup>4</sup> ) ind seedlings harvested	2.24 ± 0.03	1.97 ± 0.02	2.09 ± 0.03	1.04 ± 0.01	1.12 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.37 ± 0.01
存活率 R <sub>SI</sub> (%) survival rate	51.3 ± 0.7	46.5 ± 0.5	54.1 ± 0.8	43.6 ± 0.4	40.1 ± 0.4	36.7 ± 0.7	31.2 ± 0.8
平均(%) mean	50.6 <sup>A</sup> ± 3.8			41.9 <sup>B</sup> ± 2.5		34.0 <sup>C</sup> ± 3.9	

## 2.7 实现遗传力

由表8可见,大规格亲贝壳高、壳长和体重的实现遗传力分别为0.52、0.49和0.39,属于高值遗传力。需要说明,由于中、小规格亲贝的后代出现了负向选择反应,所以这些遗传力是使用大规格亲贝数据估计的。

## 3 讨论

本文利用同一养殖群体、不同规格的墨西哥湾扇贝亲贝分别进行自交试验,通过比较各自交组产卵量、受精率、孵化率、稚贝育成率、海上过渡

期存活率、养成存活率、壳长壳高体重日增长率和选择反应等指标的差异来分析和探讨墨西哥湾扇贝形态选择对其自交子代的影响。从上述各指标的实验结果看,体形大小对墨西哥湾扇贝繁殖和自交子代生长发育有显著影响,即体形越大,亲本繁殖和自交子代的生长优势就越明显,反之则越不明显。这一点充分反映了本研究的根本目的,同时对墨西哥湾扇贝的育种具有理论指导意义。这说明,在完全自交情况下,只要进行高值亲本的定向选择,仍然存在较大选择反应。考虑到生产中商品群体是自交和异交个体的混合群体,后代

群体的选择进展还会更大,因而墨西哥湾扇贝的种质退化可采用截断型选择方法来解决。通过对育种群体连续多代施加高强度选择压,促进群体

人工进化,进而解决墨西哥湾扇贝种质退化问题的方法是可行的。

表 6 养成期生长及存活

Tab.6 Growth and survival across the adult stage

规格 size		大 large			中 middle		小 small	
		1 #	2 #	3 #	5 #	6 #	8 #	9 #
养成开始 (8月25日)	$H(\text{mm})$	$12.42 \pm 0.51$	$12.04 \pm 0.50$	$12.39 \pm 0.52$	$10.60 \pm 0.48$	$10.32 \pm 0.47$	$9.05 \pm 0.45$	$8.59 \pm 0.46$
initial culture (25 Aug.)	$L(\text{mm})$	$12.16 \pm 0.50$	$12.0 \pm 0.49$	$12.01 \pm 0.52$	$10.38 \pm 0.47$	$10.14 \pm 0.46$	$8.74 \pm 0.43$	$8.36 \pm 0.44$
	$W(\text{g})$	$0.36 \pm 0.02$	$0.35 \pm 0.02$	$0.35 \pm 0.01$	$0.28 \pm 0.01$	$0.25 \pm 0.01$	$0.17 \pm 0.01$	$0.16 \pm 0.01$
养成结束 (3月25日)	$H(\text{mm})$	$51.8 \pm 2.1$	$51.6 \pm 2.0$	$52.1 \pm 1.9$	$45.6 \pm 2.2$	$45.1 \pm 2.1$	$41.2 \pm 2.3$	$41.0 \pm 2.4$
culture ending (25 Mar.)	$L(\text{mm})$	$54.3 \pm 2.2$	$54.1 \pm 2.1$	$54.5 \pm 2.1$	$48.1 \pm 2.1$	$47.7 \pm 2.3$	$43.7 \pm 2.2$	$43.4 \pm 2.5$
	$W(\text{g})$	$31.67 \pm 2.69$	$30.92 \pm 2.64$	$32.15 \pm 2.80$	$24.92 \pm 2.36$	$24.36 \pm 2.30$	$17.86 \pm 2.04$	$17.54 \pm 2.08$
结束平均 ending mean	$H(\text{mm})$	$51.8^A \pm 2.0$			$45.4^B \pm 2.2$		$41.1^C \pm 2.4$	
	$L(\text{mm})$	$54.3^A \pm 2.1$			$47.9^B \pm 2.2$		$43.6^C \pm 2.4$	
	$W(\text{g})$	$31.58^A \pm 2.71$			$24.64^B \pm 2.33$		$17.70^C \pm 2.06$	
日增长率 daily gain	$R_{(H)}$ ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ )	$0.186 \pm 0.013$	$0.187 \pm 0.012$	$0.187 \pm 0.014$	$0.165 \pm 0.012$	$0.164 \pm 0.012$	$0.152 \pm 0.011$	$0.153 \pm 0.010$
	$R_{(L)}$ ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ )	$0.199 \pm 0.014$	$0.198 \pm 0.014$	$0.200 \pm 0.014$	$0.178 \pm 0.013$	$0.177 \pm 0.013$	$0.165 \pm 0.011$	$0.165 \pm 0.011$
平均 mean	$R_{(W)}$ ( $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ )	$0.148 \pm 0.012$	$0.144 \pm 0.011$	$0.150 \pm 0.012$	$0.116 \pm 0.009$	$0.114 \pm 0.009$	$0.083 \pm 0.007$	$0.082 \pm 0.007$
	$R_{(H)}$ ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ )	$0.187^A \pm 0.013$			$0.165^B \pm 0.012$		$0.153^C \pm 0.011$	
	$R_{(L)}$ ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ )	$0.199^A \pm 0.014$			$0.178^B \pm 0.013$		$0.165^C \pm 0.011$	
存活率(%) survival rate	$R_{S2}$	$87.9 \pm 2.1$	$89.0 \pm 2.8$	$88.0 \pm 2.6$	$82.5 \pm 2.0$	$84.5 \pm 1.8$	$73.7 \pm 1.9$	$73.5 \pm 1.7$
	平均(%) mean	$88.3^A \pm 2.5$			$83.5^B \pm 1.9$		$73.6^C \pm 1.8$	

表 7 壳高、壳长和体重选择反应

Tab.7 Responses to selection for shell height and shell length and wet weight

规格 size		大 large	中 middle	小 small
壳高(mm) shell height	$P$	$45.8 \pm 2.0$	$45.8 \pm 2.0$	$45.8 \pm 2.0$
	$F$	$51.8^A \pm 2.0$	$45.4^B \pm 2.2$	$41.1^C \pm 2.4$
	$R$	$6.0^A \pm 0.25$	$-0.4^B \pm 0.35$	$-4.7^C \pm 0.22$
壳长(mm) shell length	$P$	$48.9 \pm 2.1$	$48.9 \pm 2.1$	$48.9 \pm 2.1$
	$F$	$54.3^A \pm 2.1$	$47.9^B \pm 2.2$	$43.6^C \pm 2.4$
	$R$	$5.4^A \pm 0.20$	$-1.0^B \pm 0.28$	$-5.3^C \pm 0.21$
体重(g) wet weight	$P$	$25.3 \pm 3.0$	$25.3 \pm 3.0$	$25.3 \pm 3.0$
	$F$	$31.58^A \pm 2.71$	$24.64^B \pm 2.33$	$17.70^C \pm 2.06$
	$R$	$6.28^A \pm 0.62$	$-0.66^B \pm 0.40$	$-7.60^C \pm 0.23$

注:  $P$ —未经选择亲代,  $F$ —各规格子代,  $R$ —选择反应

Notes:  $P$ —unselected parental generation,  $F$ —filial generation of varying sizes,  $R$ —selection response

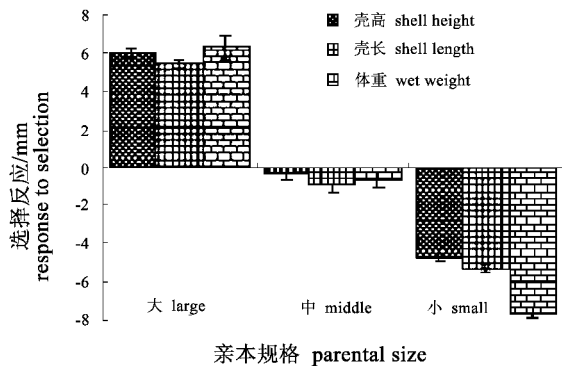


图1 不同性状的选择反应

Fig.1 Responses to selection of different traits

选择实质上是一个育种群体中逐步提高优良基因频率的过程。通过同质选配(自交或异交)将利用选择而集中的优良基因遗传给下一代,因而后代群体中优良基因型频率也相应提高。种质退化问题可通过提高后代群体中优良个体的频率来克服。从文中给出各指标的数值结果看,大规格个体中存在优良基因,又使优良基因型的频率得以维持。自交导致的衰退只是降低了基因的非加性效应值,并没有降低基因的加性效应值,因而本试验中大规格亲本后代各方面仍然表现出优势。这说明,对高值亲本的持续选择可在较大程度上克服自交衰退的负面影响,而使后代群体生产性能维持在较高水平。下一步工作应该在估计出经济性状遗传参数和群体遗传变异的基础上,进行指数选择或育种值选择,这样由于提高了选种的准确度,因而选择效果会更好。

表8 实现遗传力估计

Tab.8 Estimates of realized heritability

性状 traits	留种群体均值 mean of breeders	育种基础群体均值 base breeding population mean	选择差(S) selection differential	实现遗传力( $h_r^2$ ) realized heritability
壳高(mm) shell height	57.4 ± 1.2	45.8 ± 2.2	11.6 ± 1.21	0.52 ± 0.02
壳长(mm) shell length	60 ± 1.8	48.9 ± 2.3	11.1 ± 1.80	0.49 ± 0.02
壳重(g) shell weight	41.2 ± 2.9	25.3 ± 2.4	15.9 ± 2.89	0.39 ± 0.04

理论上,群体中遗传变异的存在是育种目标性状取得遗传进展的先决条件。从实现遗传力的估计值看,墨西哥湾扇贝群体中存在着较大的遗传变异。考虑到生产中亲本不完全都是自交后代个体以及墨西哥湾扇贝的繁殖特性,维持群体中较高的遗传变异水平是有可能的,这为其进一步选择奠定了遗传基础。本试验中壳长性状实现遗传力的估计高于 Zheng 等<sup>[14]</sup>给出的估计,这是由物种、环境、试验方法等方面的差异造成的,并不具有可比性。

从表2和表3看,7#亲贝受精卵孵化率极低,4#及7#浮游幼虫全部死亡,这些现象可能与自交产生极度退化有关,但也不排除偶然因素所造成。从表4看,大贝的子代在出池时没有表现出生长优势,是因为小贝的子代密度低,空间及饵料竞争小,其生长劣势被暂时掩盖,并表现出比大贝子代有微弱的生长优势,这种现象应与环境

效应有关而与基因效应无关。从表3看,在初始培育密度 $[(2.02 \pm 0.02) \text{ ind} \cdot \text{mL}^{-1}]$ 、培育条件和方法、饵料投喂、病害防治等条件完全一致的情况下,大规格扇贝自交子代稚贝育成率明显高于中规格扇贝( $P < 0.01$ ),中规格扇贝也明显高于小规格扇贝( $P < 0.01$ ),说明选择有效,但总体上稚贝育成率都很低。另外,从选择反应看,中、小规格亲贝自交子代甚至出现了负值,究其原因都与自交的衰退效应有关,这一点与文献<sup>[14,18]</sup>的结论一致。实际育种中,应设法尽量避免自交,以消除自交的不利影响,或培育具有不同优势的自交纯合品系,再行品系间杂交取得强优势后代。

由于墨西哥湾扇贝是雌雄同体,生产中大规模完全杂交存在较大技术困难,自交很难避免,自交衰退亦不可避免<sup>[13,15]</sup>。本文旨在考察体形大小的选择效应,自交效应在此不作讨论。



## 参考文献:

- [1] Marelli D C, Lyons W G, Arnold W S, *et al.* Subspecific status of *Argopecten irradians concentricus* (Say, 1822) and of the bay scallops of Florida [J]. *Nautilus*, 1997, 110(2), 42 - 44.
- [2] 张福绥,何义朝.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.
- [3] 张福绥,何义朝,杨红生.海湾扇贝引种工程及其综合效应[J].中国工程科学,2000,2(2):30 - 35.
- [4] 孙小真.“墨西哥湾扇贝养殖技术研究及推广”通过省级鉴定[J].海洋与渔业,2006,(3):4.
- [5] Blake S G. Mitochondrial DNA variation in the cultured bay scallop, *Argopecten irradians* [J]. *Journal of Shellfish Research*, 1994, 13(1): 301 - 302.
- [6] 张福绥,何义朝,亓玲欣.海湾扇贝引种与复壮研究[J].海洋与湖沼,1997,28(2):146 - 152.
- [7] Crenshaw J W Jr, Heffernan P B, Walker R L. Heritability of growth rate in the southern Bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* [J]. *Journal of Shellfish Research*, 1991, 10(1): 55 - 63.
- [8] 潘洁,包振民,越洋,等.栉孔扇贝不同地理群体的遗传多样性分析[J].高技术通讯,2002,12: 78 - 82.
- [9] 潘洁,王小龙,万俊芬,等.栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 人工选育群体的 AFLP 分析 [C]//第二届全国海珍品养殖研讨会论文集,青岛,2000:77 - 88.
- [10] 包振民,万俊芬,王继业,等.海洋经济贝类育种研究进展[J].青岛海洋大学学报,2002,32(4):567 - 573.
- [11] 刘小林,相建海.重要经济贝类选择育种及遗传力研究进展[J].海洋科学,2003,27(6):15 - 20.
- [12] 张国范,刘 晓,阙华勇,等.贝类杂交及杂种优势理论和技术研究进展[J].海洋科学.2004年,28(7):54 - 60.
- [13] 张国范,刘述锡,刘 晓,等.海湾扇贝自交家系的建立和自交效应[J].中国水产科学,2003,10(6): 441 - 445.
- [14] Zheng H P, Zhang G F, Liu X, *et al.* Different responses to selection in two stocks of the bay scallop, *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2004, (313):213 - 223.
- [15] 郑怀平,刘 晓,张国范,等.海湾扇贝杂交家系与自交家系生长和存活比较[J].水产学报,2004, 28(3):267 - 272.
- [16] Falconer D S, Mackay T F C. Introduction to quantitative genetics (4th ed.) [M]. Addison Wesley Longman Group Ltd., Edinburgh Gate, Harlow, United Kingdom, 1996: 155 - 161.
- [17] 盛志廉,陈瑶生.数量遗传学[M].北京:科学出版社,1999:164 - 186.
- [18] 黄宏文,康 明(译).保育遗传学导论[M].北京:科学出版社,2005:231 - 245.