

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00308

海湾扇贝南部亚种自交家系选育及其 Kung 育种值评价

刘志刚¹, 章启忠¹, 朱晓闻¹, 黄丽萍², 陶后全¹, 白成¹

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: 从 1991 年引进、并于 2005—2007 经过 3 代大壳高群体继代选育的海湾扇贝南部亚种(*Argopecten irradians concentricus* Say)选育系 F₃ 养殖群体中, 以 5% 的选择压力选取最大壳高个体(高值亲本)作为育种群体, 从中随机挑选 12 个性腺成熟的个体作为亲本, 利用其雌雄同体的特性建立 12 个自交家系, 并与 F₃ 群体随机混交后代作对照, 考察各家系后代的生长、存活等指标并采用 Kung 育种值及综合评定值对其进行评价, 以期选育优秀自交家系, 为该品种遗传改良提供物质基础。结果显示, 各自交家系与对照组间受精率没有显著差异, 但孵化率则存在显著差异 ($P < 0.05$), 以 B₃、C₂ 家系最高, 其次为对照组(L₀); 在幼虫生长阶段, B₃、C₂ 家系幼虫壳长日增长显著 ($P < 0.05$) 高于对照组, 其他家系则显著 ($P < 0.05$) 低于对照组; 在养成期的 4 月龄, 各组别的存活率以 B₃、C₂ 家系显著 ($P < 0.05$) 高于对照组, 对照组显著 ($P < 0.05$) 高于其他家系; 4 月龄个体的壳高、壳宽和体质量等生长指标, 以 B₃、C₂ 家系显著 ($P < 0.05$) 高于对照组, 对照组又显著 ($P < 0.05$) 高于其他家系; 各家系各指标的 Kung 育种值(Z)及综合评定值(P_i)的大小排序均呈现 B₃ > C₂ > L₀ > A₃ > B₄ > A₁ > C₄ > B₁ > A₂ > B₂ > C₃ > C₁。研究表明, 12 个自交家系中, 9 个产生了一定程度的自交衰退, 1 个败育, 2 个(B₃、C₂)表现出显著的存活和生长优势, 成为超越 L₀ 的两个优秀家系。研究证明, 利用高值亲本可提高优秀自交家系命中概率, 提高选育效率, 缩短选育周期。

关键词: 海湾扇贝南部亚种; 自交家系; 选育; Kung 育种值; 综合评定值

中图分类号: S968.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)02-0308-08

海湾扇贝南部亚种(*Argopecten irradians concentricus* Say, 又称为“墨西哥湾扇贝”)是美国大西洋沿岸海湾扇贝(*A. irradians* Lamarck)的一个南方地理亚种^[1-3], 于 1991 年 12 月被引进中国大陆, 在广东北部湾形成规模化养殖^[4]。近年来, 严重的遗传瓶颈已使该品种出现明显的种质退化现象, 如养殖 7 个月的个体壳高由引进初期的 5.0 cm 逐渐下降至目前的 4.5 cm 左右, 成活率由初期的 90% 下降至目前的 75% 左右。对现有群体开展遗传改良已势在必行。途径之一是利用该贝雌雄同体的特性, 开展自交家系选育研究, 通过自交, 快速淘汰不良基因, 保存和纯化有利基因, 使优良性状得到固化并代代相传, 最终达到提纯复壮、

获得优良品种的目的。

楼允东等^[5]认为, 从原始群体中建立多个家系, 并且在相同的环境条件下培育, 根据家系的表现对家系进行评价, 再制定进一步的育种方案, 对所需要的目标加以选择, 经过繁育能够获得改良品种。Liu 等^[6]从北部湾 *A. irradians concentricus* 原始养殖群体中随机抽取 12 个个体作为自交亲本研究了自交衰退效应, 得出 10 个自交家系出现显著的遗传衰退, 仅有 2 个自交家系与混群交配对照组没有产生显著差异, 其研究结果与张国范等^[7]报道的海湾扇贝自交家系的建立和自交效应的研究结果一致。刘志刚等^[8]研究了海湾扇贝南部亚种亲代选择对自交子一代的影响, 指出

收稿日期: 2012-07-09; 修订日期: 2012-09-01.

基金项目: 广东省科技厅产学研项目(2009B090300232); 广东省教育厅项目(GCZX-A0909).

作者简介: 刘志刚, 教授, 从事贝类遗传育种及养殖技术研究. E-mail: liuzg@gdou.edn.cn

采用 3‰高强度选择压力获得的大规格亲本的自交后代相对于中、小规格亲本表现出明显的生长优势, 获得显著的遗传进展。上述研究表明, 自交家系存在不可避免的自交衰退, 但通过加大自交亲本选择压力, 也有可能培育出生产性状优于随机亲代混交后代的自交家系, 这也是本研究企图证实的问题。

本试验从 1991 年引进^[2]、并于 2005—2007 年经过 3 代大壳高群体继代选育的海湾扇贝南部亚种选育系 F₃ 养殖群体中, 以 5%的比例选取最大壳高个体建立自交家系, 并与 F₃ 随机混交后代作对照, 考察各家系后代的生长、存活等指标, 并采用 Kung 育种值及综合评定值对其进行评价, 以期获得一些生产性状超越亲代的优秀家系, 用于品种改良和推广。

1 材料与方法

1.1 材料

研究用海湾扇贝南部亚种繁育群体来自 1991 年引进^[2]、并于 2005—2007 年经过 3 代大壳高群体继代选育, 各代按 5%选择压力选择壳高最大个体作为亲本培育而成的 F₃ 养殖群体, 该群体来自同一批种苗、养殖于湛江银浪海洋生物技术有限公司遂溪县江洪镇扇贝养殖基地, 已经过 8 个月的养殖, 贝体健康、无病虫害、部分个体性腺成熟待放。

1.2 方法

1.2.1 家系建立 从大壳高群体选育系 F₃ 养殖群体中, 以 5%的比例选取最大壳高个体 50 个作为育种群体, 再从中随机挑选 12 个性腺充分成熟的个体作为自交亲本, 利用其雌雄同体的特性建立 12 个自交家系, 分别记为 A₁、A₂、A₃、A₄, B₁、B₂、B₃、B₄, C₁、C₂、C₃、C₄, 另从 F₃ 养殖群体中随机抽取 50 个性腺充分成熟个体, 壳高为 (50.34±3.03) mm, 作为对照组(L₀)混交亲本。各亲本性状值见表 1。

1.2.2 受精与孵化 对于自交组, 将单个亲本放入 80 L 的塑料桶中排放, 使其自身的精卵结合,

表 1 自交亲本性状值

Tab. 1 Characters of the parents for self-fertilization

亲本编号 code of parent	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	壳宽/mm shell width	全重/g total weight
A ₁	58.54	58.21	28.31	42.12
A ₂	60.33	59.65	28.32	44.76
A ₃	58.46	57.93	27.96	41.43
A ₄	59.22	58.79	28.15	42.32
B ₁	59.37	58.91	28.01	44.33
B ₂	58.34	58.23	27.75	42.44
B ₃	59.23	59.18	28.24	43.25
B ₄	58.27	58.08	28.12	43.68
C ₁	57.66	57.43	27.41	39.91
C ₂	58.92	58.67	27.04	42.93
C ₃	58.53	58.08	28.23	43.35
C ₄	59.19	58.94	28.81	43.03
平均值	58.84	58.51	28.03	42.80
L ₀	50.68	50.34	24.23	28.34
L ₀ 标准差	±3.12	±3.03	±1.47	±5.23

产完卵后将亲本移出, 原桶沉淀法洗卵及孵化, 统计受精率及 D 型幼虫孵化率, 然后将 D 型幼虫过滤移入 0.3 m³ 水体的黑色玻璃钢育苗桶中, 幼虫密度按最低一组(1.3 ind·mL⁻¹)为准统一培育密度; 对于对照组, 将 50 个亲本放入 50 倍于自交组水体的 4 m³ 水池中排放, 使精卵混合受精, 产完卵后将亲贝移出, 原池沉淀法洗卵, 其余操作同自交组, 最后取部分幼虫按自交组密度移入与自交组相同的育苗桶。孵化期间所用的各种器具严格区分管理, 防止幼虫交叉污染。

1.2.3 幼虫的培育 按常规方法培育, 各组隔离, 培育期间所用的各种器具严格区分管理, 防止幼虫交叉污染。

1.2.4 中培及养成 稚贝壳高长到 1 000 μm 左右时, 移到海上进行中间培育及养成。为了统计方便, 各组随机抽取 10 000 粒稚贝进入实验观察范围。在此过程中, 各组贝苗的笼具系上标记牌, 防止混淆。各试验组在笼具、吊养海区、吊养水层深度和附着物清理等日常管理上严格保持一致, 每次换笼时去除死壳, 调整养殖密度, 严格保证每个笼具养殖密度一致。

1.2.5 数据统计及处理 在幼虫期的第 1、第 10

天各取样 1 次, 每组测量 30 个个体的壳长。养成期间, 每隔 1 个月随机取样一次, 每组测量 30 个个体的壳高、壳宽和体重等指标。对于家系的评价采用 Kung 育种值和综合评定值(P_i)^[9]。相关计算公式如下:

受精率=受精卵数/总卵数×100%; 每组重复取样 3 次求均值;

孵化率=孵出 D 形幼虫数/受精卵数×100%; 每组重复取样 3 次求均值;

存活率=试验结束存活总数/各组别试验开始(下海时)总数×100%;

自交衰退率 IDR=[(MG-IG)/MG]×100%;

Kung 育种值 $Z = \bar{y} + C(y - \bar{y})$; $C = 1 - 1/F$;

综合评定值

$$P_i = \sqrt{\sum_j K_0 \left(\frac{a_{ij}}{a_{0j}} - 1 \right)^2};$$

其中, IDR(Inbreeding depression rate)为自交衰退率, MG(mixed group)和 IG(inbred group)分别为混交组与自交组的存活率、壳高、壳宽和体质量等的指标值; Z 为 Kung 育种值; $\bar{y}$ 为所有试验家系的总体观测均值; y 为各家系的观测均值, C 为校正值, F 为家系间方差分析的 F 值。 P_i 为家系的综合评定值, 综合评定指标包括成活率、壳高、壳宽及体重等, 以 P_i 值大为优; K_0 为权重系数, 4 个评定指标重要性作相同考虑, K_0 值各占 25%, 即 0.25; a_{ij} 为第 i 个家系第 j 个指标的数据, a_{0j} 为第 j 个指标最差家系的数值。考虑到受精率、孵化率及幼虫生长速度等指标的经济重要性程度不

高, 评定指标不包括这些指标在内。

形态性状用游标卡尺测量, 精度为±0.02 mm, 重量性状用电子天平测量, 精度为±0.01g, 测完后放回原笼中。试验数据为平均值±标准差, 用 SPSS13.0 统计软件处理, 统计分析方法为方差分析, 采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 受精率与孵化率

各组别卵子的受精率和孵化率见表 2。各自交家系和对照组的受精率没有明显差异($P>0.05$), 而孵化率的组间差异显著($P<0.05$), 从 21.25% ~ 67.42%不等, 其中 B_3 家系最高, 达到 67.42%, C_2 家系为 63.24%, 对照组 L_0 为 53.64%, 其他家系均低于对照组, A_4 家系最低, 为 21.25%。各组别大小比较为 $B_3>C_2>L_0>C_4>A_1>A_3>B_4>C_3>A_2>B_1>B_2>C_1>A_4$ 。

2.2 幼虫壳长增长率

各家系和对照组幼虫壳长生长情况见表 3。由表 3 可见, 经方差分析和多重比较, 各组别的壳长增长率差异显著, 其中 B_3 、 C_2 家系高于对照组, 其余自交家系均低于对照组, 各组别大小比较为 $B_3>C_2>L_0>A_1>A_2>C_4>A_3>B_4>C_3>B_1>C_1>B_2>A_4$, 与对照组相比, B_3 、 C_2 家系幼虫期生长优势显著, 其他家系幼虫壳长生长出现一定程度的衰退。

2.3 养殖期存活率

表 4 为稚贝下海到 4 个月龄时各家系及对照组的存活率, 其中 A_4 家系没有育出稚贝。从表 4

表 2 各组别卵子受精率和孵化率
Tab. 2 Fertilization and hatching rates of eggs of parental generation

指标 index	家系 family						
	A_1	A_2	A_3	A_4	B_1	B_2	B_3
受精率 fertilization rate	95.43 ^a ±2.73	98.16 ^a ±2.12	94.32 ^a ±2.42	96.29 ^a ±2.30	97.42 ^a ±2.62	95.33 ^a ±2.81	97.22 ^a ±2.05
孵化率 hatching rate	45.52 ^c ±3.42	34.17 ^d ±3.11	37.58 ^d ±2.93	21.25 ^e ±2.33	33.64 ^d ±2.82	25.40 ^e ±3.14	67.42 ^a ±3.32
指标 index	家系 family						
	B_4	C_1	C_2	C_3	C_4	L_0	
受精率 fertilization rate	96.13 ^a ±2.12	95.46 ^a ±2.20	93.47 ^a ±2.16	96.32 ^a ±2.70	96.24 ^a ±2.25	97.10 ^a ±3.01	
孵化率 hatching rate	36.55 ^d ±3.50	24.21 ^e ±2.74	63.24 ^a ±3.41	35.27 ^d ±3.19	46.78 ^e ±3.25	53.64 ^b ±3.57	

注: 同行右上角标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: different small letters at the top-right corner in the same line means significant difference($P<0.05$).

表 3 各组别幼虫壳长增长率
Tab.3 Observed mean shell length for different groups

家系 family	天数/d days		壳长增长率/($\mu\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$) shell length growth rate
	1	10	
A ₁	91.10±0.11	156.47±4.43	6.54 ^c ±0.40
A ₂	91.03±0.11	156.26±4.02	6.52 ^c ±0.38
A ₃	91.06±0.12	154.49±3.82	6.34 ^c ±0.35
A ₄	91.02±0.10	150.85±3.22	5.98 ^c ±0.37
B ₁	91.05±0.11	151.82±3.26	6.08 ^c ±0.42
B ₂	91.04±0.11	153.27±3.43	6.02 ^c ±0.33
B ₃	91.32±0.10	181.76±4.21	9.04 ^a ±0.46
B ₄	91.21±0.11	154.37±3.34	6.32 ^c ±0.41
C ₁	91.22±0.11	151.43±3.17	6.03 ^c ±0.32
C ₂	91.33±0.10	180.29±4.30	8.90 ^a ±0.42
C ₃	91.30±0.11	154.29±4.30	6.30 ^c ±0.35
C ₄	91.15±0.11	155.54±4.18	6.44 ^c ±0.37
L ₀	91.52±0.11	167.35±5.31	7.58 ^b ±0.51

注: 同列右上角标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: different small letters at the top-right corner in the same column means significant difference($P<0.05$).

表 4 各组别 4 月龄存活率
Tab.4 Survival rate of different groups in the fourth month

家系 family	开始时数量/个 initial numbers N_0	结束时数量/个 final numbers N_t	存活率/% survival rate
A ₁	10000	3743±32.7	37.4 ^d ±0.33
A ₂	10000	2831±25.2	28.3 ^{ef} ±0.25
A ₃	10000	2930±26.3	29.3 ^e ±0.26
A ₄	0	0	0
B ₁	10000	3034±24.8	30.3 ^e ±0.25
B ₂	10000	2723±23.8	27.2 ^f ±0.24
B ₃	10000	8043±58.6	80.4 ^a ±0.59
B ₄	10000	2761±22.3	27.6 ^f ±0.22
C ₁	10000	2173±16.1	21.7 ^g ±0.16
C ₂	10000	7769±53.4	77.7 ^b ±0.53
C ₃	10000	2938±25.4	29.4 ^e ±0.25
C ₄	10000	3843±34.7	38.4 ^d ±0.35
L ₀	10000	5133±37.8	51.3 ^c ±0.38

注: 同列右上角标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$).
Note: different small letters at the top-right corner in the same column means significant difference($P<0.05$).

可见, 各自交家系存活率从 21.7% ~ 80.4%不等, 组间存活率差异显著($P<0.05$), 其中 B₃(80.4%)、C₂(77.7%)家系的存活率显著高于对照组(51.3%)。各自交家系中以 C₁ 最低, 只有 21.7%。

2.4 养殖期生长指标比较

各组别在第 4 个月龄时所测得的壳高、壳宽和体质量等各项指标值见表 5。可见, 各指标值组间差异极显著($P<0.01$), 多重比较结果为壳高 $B_3>C_2>L_0>A_3>B_4>A_1>C_4>B_1>B_2>A_2>C_3>C_1$; 壳宽 $B_3>C_2>L_0>B_4>C_4>A_3>B_2>A_1>B_1>A_2>C_3>C_1$; 体质量 $B_3>C_2>L_0>A_3>B_4>A_1>C_4>B_1>A_2>C_3>B_2>C_1$ 。B₃、C₂ 家系各指标值均显著大于对照组, 对照组又显著大于其余家系, C₁ 家系各生长指标均为最小。

表 5 各组别 4 月龄的指标值
Tab. 5 Growth characters of different groups in the fourth month

家系 family	壳高/mm shell height	壳宽/mm shell width	体质量/g body weight
A ₁	28.14 ^c ±2.83	10.26 ^c ±2.32	5.11 ^c ±1.16
A ₂	27.04 ^c ±3.01	9.80 ^c ±1.92	4.72 ^c ±1.22
A ₃	28.96 ^c ±3.23	10.36 ^c ±2.31	5.27 ^c ±1.35
B ₁	27.94 ^c ±3.13	10.24 ^c ±2.51	4.87 ^c ±1.47
B ₂	27.22 ^c ±2.78	10.33 ^c ±1.94	4.15 ^c ±1.31
B ₃	39.12 ^a ±3.18	18.41 ^a ±2.23	11.64 ^a ±2.13
B ₄	28.77 ^c ±2.74	10.57 ^c ±2.37	5.23 ^c ±1.53
C ₁	22.74 ^d ±2.40	7.51 ^d ±1.53	2.29 ^d ±1.07
C ₂	38.14 ^a ±3.27	17.83 ^a ±2.21	11.16 ^a ±2.15
C ₃	26.67 ^c ±2.87	9.66 ^c ±2.12	4.28 ^c ±1.54
C ₄	28.02 ^c ±2.76	10.37 ^c ±2.23	5.02 ^c ±1.35
L ₀	32.94 ^b ±3.21	13.90 ^b ±2.75	8.29 ^b ±2.04

2.5 存活率及生长指标的方差分析

各指标的方差分析见表 6。由表 6 可见, 存活率、壳高、壳宽和体重的组间 F 值均达到极显著水平($P<0.01$)。由 F 值计算出的 Kung 育种值(Z)见表 8。

2.6 自交衰退率

表 7 显示, 家系 B₃ 和 C₂ 获得了显著的遗传进展, 其余家系均发生不同程度的自交衰退, 所有自交家系各指标的平均自交衰退率分别为存活率 24.21%、壳高 10.92%、壳宽 18.03%、体质量 30.10%。

2.7 各家系的评价

各家系的存活率、壳高、壳宽和体重的 Kung 育种值和综合评定值见表 8。可见, 各家系不同指标的 Kung 育种值的大小比较结果为, 存活率 $B_3>C_2>L_0>C_4>A_1>B_1>C_3>A_3>A_2>B_4>B_2>C_1$; 壳高

表 6 不同家系存活率及生长指标的方差分析

Tab. 6 ANOVA analyses of the growth characters and survival rate for different families

来源 source	df	存活率 survival rate		壳高 shell height		壳宽 shell width		体质量 body weight	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
组间	11	0.12	10114.99**	68.37	7.80**	33.69	6.82**	24.45	9.94**
组内	24	0.00		8.77		4.94		2.46	

注: 表中带**的数值表示差异极显著($P<0.01$).

Note: ** means highly significant difference($P<0.01$).

表 7 各组别自交衰退率

Tab.7 Self-fertilization depression for different families %

家系 family	存活率 survival rate	壳高 shell height	壳宽 shell width	体质量 body weight
A ₁	27.10	14.57	26.19	38.36
A ₂	44.83	17.91	29.50	43.06
A ₃	42.89	12.08	25.47	36.43
B ₁	40.94	15.18	26.33	41.25
B ₂	46.98	17.36	25.68	49.94
B ₃	-56.73	-18.76	-32.45	-40.41
B ₄	46.20	12.66	23.96	36.91
C ₁	57.70	30.97	45.97	72.38
C ₂	-51.46	-15.79	-28.27	-34.62
C ₃	42.69	19.03	30.50	48.37
C ₄	25.15	14.94	25.40	39.45
平均 mean	24.21	10.92	18.03	30.10

B₃>C₂>L₀>A₃>B₄>A₁>C₄>B₁>B₂>A₂>C₃>C₁; 壳宽
B₃>C₂>L₀>B₄>C₄>A₃>B₂>A₁>B₁>A₂>C₃>C₁; 体质

量 B₃>C₂>L₀>A₃>B₄>A₁>C₄>B₁>A₂>C₃>B₂>C₁; 各家系的综合评定值比较为 B₃>C₂>L₀>A₁>C₄>A₃>B₄>B₁>A₂>C₃>B₂>C₁。从表 8 的结果可以看出, B₃、C₂ 是两支性状优良的自交家系, 其他家系均出现自交衰退现象。

3 讨论

3.1 加强选择压力可提高优秀自交家系的命中概率

选择压力(selection pressure, P)是指选作育种对象的个体数(n)占选择前群体总个体数(N)的百分比值, 即 $P(\%)=n/N\times 100$, 又称留种率。优秀自交家系是指该家系 Kung 育种值(Z)及综合评定值(P_i)显著($P<0.05$)大于自交亲本所在群体的随机混群交配后代。本研究采用 5%的选择压力挑选了 12 个大壳高高值亲本, 获得 11 个自交家系, 其中 B₃、C₂ 家系的 Z 值及 P_i 值显著大于随机混群交配组, 成为两个优秀的自交家系。Liu 等^[6]从北部湾

表 8 家系的 Kung 育种值及综合评定值

Tab.8 Kung values and the comprehensive evaluation values of the families

家系 family	Kung 育种值(Z) Kung breeding value				综合评定值 P_i
	存活率 survival rate	壳高 shell height	壳宽 shell width	体质量 body weight	
A ₁	37.40	28.35	10.48	5.21	0.75
A ₂	28.30	27.39	10.08	4.86	0.58
A ₃	29.30	29.07	10.56	5.35	0.71
B ₁	30.30	28.18	10.46	4.99	0.63
B ₂	27.20	27.55	10.54	4.34	0.48
B ₃	80.40	37.92	17.43	11.08	2.58
B ₄	27.60	28.90	10.74	5.32	0.70
C ₁	21.70	23.64	8.13	2.67	0
C ₂	77.70	37.07	16.94	10.65	2.45
C ₃	29.40	27.07	9.96	4.46	0.50
C ₄	38.40	28.25	10.57	5.13	0.74
L ₀	51.30	32.53	13.58	8.07	1.55

A. irradians concentricus 原始养殖群体中随机抽取 12 个个体作为自交亲本研究了自交衰退效应, 得出 10 个自交家系出现显著的遗传衰退, 仅有 2 个自交家系与混群交配对照组没有产生显著差异。其研究结果与本研究存在差异, 这种差异与该研究采用的自交亲本为随机而非高值亲本有关, 12 个随机亲本中具有与本研究高值亲本等值的个体的概率几乎为零, 在这种情况下, 想以高值亲本的优势掩盖自交衰退效应几乎不可能, 因此优秀自交家系难以产生。张国范等^[7]报道的海湾扇贝自交家系的建立和自交效应的研究结果也存在相同情况。刘志刚等^[8]研究了海湾扇贝南部亚种亲代选择对自交子一代的影响, 指出采用 3‰ 高强度选择压力获得的 3 个大规格亲本的自交后代相对于中、小规格亲本表现出显著($P < 0.05$)的生长优势, 获得显著的遗传进展。该研究 3 个高值亲本选择压力是本研究的近 17 倍, 因此自交后代均获得显著的生长优势, 这与本研究的结果相吻合。但该研究缺乏随机混群对照, 3 个优势家系比混群交配后代能高出多少尚属未知。从上述研究得到的启示是, 加强选择压力可提高优秀自交家系的命中概率, 缩短家系选育进程。总的来说, 建立家系是培育优良品种或品系的重要手段, 同时也可作为性状遗传分析和构建遗传图谱提供材料^[10-14]。自交家系的建立为基因的快速纯合提供最有效的捷径, 为了提高自交家系的构建效率, 要尽量减少自交衰退比例, 其措施是增加亲本选择压力以选择基因型优秀的高值亲本。事实证明, 本研究自交家系的改良方案是可行的。

3.2 高值亲本中的遗传效应和环境效应对选育的影响

高值亲本个体大的原因存在 3 种情况: 一是以遗传效应为主引起, 即积累了较多的优良的存活及生长的微效多基因, 在个体发育过程中体现存活及生长优势; 二是以环境效应为主引起, 即处于优良的养殖环境, 获得较高的存活率和较快的生长速度, 尽管其所含优良的存活及生长的微效多基因并不多; 三是两种效应接近均等地起作用。本研究所用高值亲本可能包含了上述 3 种情

况。因此, 尽管高值亲本各指标差异不大, 但当其自交后代在完全或基本相同的环境下养殖时, 各家系考察指标将会产生显著的差异, 遗传效应型的将具有较高的指标值; 环境效应型的可能丧失亲本原有生长优势, 而且由于自交衰退的影响, 其生长优势可能不及随机混交后代的水平; 遗传及环境混合效应型的, 自交后代可能接近随机混交后代的水平。事实正好如此, 在对本研究建立的 11 个自交家系在养成期 4 月龄时的存活率、壳高、壳宽和体质量等指标的考察中发现, 与对照组相比, B_3 、 C_2 家系呈现显著的存活和生长优势, 而 B_4 、 C_4 、 A_3 、 B_2 、 A_1 、 B_1 、 A_2 、 C_3 和 C_1 等家系则呈现显著的存活和生长劣势, 自交衰退现象明显。可以推测, B_3 、 C_2 家系的亲本的高值表型属于遗传效应型, 其子代在养成期呈现的存活及生长上的优势将可以遗传, 并通过继代选育、目标基因纯化、劣质和隐性纯合致死基因淘汰, 最终获得遗传稳定、高度纯合、品质优良的家系, 这些家系有可能成为新品种或作为杂交配套系加以应用; B_4 、 C_4 、 A_3 、 B_2 、 A_1 、 B_1 、 A_2 和 C_3 等家系呈现自交衰退, 并在壳高、壳宽和体重等指标上(表 5)均不存在显著差异($P > 0.05$), 其亲本的高值表型可能来自遗传效应和环境效应的综合作用, 剔除环境效应, 其遗传效应带来的进展不足以抵消自交衰退效应, 因此出现自交衰退现象; C_1 家系在 11 个家系中表现最差, 与 B_4 、 C_4 、 A_3 、 B_2 、 A_1 、 B_1 、 A_2 和 C_3 等家系在壳高、壳宽和体重上均存在显著差异($P < 0.05$), 其亲本的高值表型可能来自环境效应, 因此其自交衰退现象最严重。

3.3 Kung 育种值和综合评定值在家系选择中的作用

从 Kung 育种值的公式 $Z = \bar{y} + C(y - \bar{y})$ 及 $C = 1 - 1/F$ 看, 家系间方差分析的 F 值越大, 家系间的差异越显著, 越显示出各家系的遗传多样性, 校正 C 就越大, 育种值 Z 也越大, 育种效果越好。当 F 值很大时, $C=1$, $Z=y$, 育种值等于实测指标值, 环境效应干扰不存在, 如存活率指标(表 4、表 8); 当 F 值较小且 $y > \bar{y}$ 时, $0 < C < 1$, 育种值小

于实测指标值, 如 B_3 、 C_2 家系的形态和重量指标; 当 F 值较小且 $y < \bar{y}$ 时, $C < 0$, 育种值大于实测指标值, 如除 B_3 、 C_2 外的其他家系各指标。关于家系选留的参照物, 在没有对照组情况下, 家系选留对象为育种值高于所有家系均值的家系; 在有对照组且要求家系生产性能要高于对照组情况下, 家系选留对象为育种值高于对照组的家系, 如本研究留选的 B_3 、 C_2 家系即属于这一类型。对于家系的综合评定公式, 要考虑综合评定包括的指标有哪些, 这些指标的权重系数 K_0 值如何确定, 才能计算 P_i 值。本研究考察的指标有受精率、孵化率、幼虫壳长增长率、4 月龄存活率及壳高、壳宽和体重等指标, 但列入综合评定的指标仅包括后面 4 个, 因为前 3 个指标对于家系的经济性来说远远不如后 4 个重要, 因此被忽略。被选 4 个指标对家系的经济性均具有相当的重要性, 因此权重系数取均值, 各为 25%, 是否需要区别对待, 有待更多的经济统计资料作支撑, 这里不予探讨。由于 4 个指标育种值排序完全相同, 导致 P_i 值也有相同的排序, 结果都以 B_3 、 C_2 家系排前两位。当各指标育种值排序出现交叉时, 若基于综合考虑, P_i 值的排序将最终决定家系的去留; 若只考虑某个指标, 则各家系以该指标育种值大的作为留选对象。

参考文献:

- [1] 张福绥, 何义朝, 元铃欣, 等. 海湾扇贝引种复壮研究[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(2): 146–152.
- [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] Abbott R T. American seashells[M]. 2nd ed. New York: Von Nostrand Reinhold Company, 1974, 447–448.
- [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] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 23–25.
- [6] Liu J Y, Liu Z G, Sun X Z. The effects of inbreeding on production traits of the southern bay scallop *Argopecten irradians concentricus*[J]. J Shellf Res, 2011, 30(1): 109–113.
- [7] 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.
- [8] 刘志刚, 王辉, 郑云龙, 等. 海湾扇贝南部亚种亲代选择对自交子一代的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(4): 443–451.
- [9] 刘乃见. 植物数量遗传学[M]. 海口: 热作学院出版社, 1985.
- [10] Langdon C J, Jacobson D P, Evans F, et al. The molluscan blood stock program- improving Pacific oyster blood stock through genetic selection [J]. J Shellf Res, 2000, 9(1): 616.
- [11] Yu Z N, Guo X M. Genetic linkage map of the Eastern oyster *Crassostrea virginica* Gmelin [J]. Biol Bull, 2003, 204: 327–338.
- [12] Lannan J E. Estimating heritability and predicting response to selection for the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*[J]. Proc Natl Shellfish Assoc, 1972, 62: 62–66.
- [13] 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的比较[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 267–272.
- [14] 古龙春, 李金碧, 喻达辉, 等. 合浦珠母贝双列杂交的建立与遗传分析[J]. 水产学报, 2010, 34(1): 26–31.

Breeding of a self-fertilizing family and Kung breeding value evaluation of *Argopecten irradians concentricus* (Say)

LIU Zhigang¹, ZHANG Qizhong¹, ZHU Xiaowen¹, HUANG Liping², TAO Houquan¹, BAI Cheng¹

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

2. Zhanjiang Silverwave Ltd. of Marine Biotechnology, Zhanjiang 524022, China

Abstract: The bay scallop *Argopecten irradians concentricus* was introduced to China from South America in 1991. The individuals chosen for this experiment were the F3 offspring of the largest scallop, in terms of shell height, bred from the years 2005 to 2007. Twelve adults were randomly selected from this population with a selection pressure of 5%, and 12 self-fertilizing, hermaphrodite families were established. The control group (L_0) was produced by mixed crossing of the F3 offspring of this scallop. Kung breeding and comprehensive evaluation values were evaluated in the self-fertilizing family and the control group by inspecting indices such as growth and survival of the offspring. The aim was to breed excellent self-fertilizing scallops and provide the material basis for genetic improvement of the stock. The results showed that there were no significant differences between the fertilization rate of the self-fertilizing families and the control group. However, the hatching rates were significantly higher ($P < 0.05$), and families B_3 and C_2 were the top two, then L_0 followed. In the larva stage, the daily shell length growth was significantly higher in B_3 and C_2 than in the control group, but was significantly lower in the other self-fertilizing families ($P < 0.05$). The survival rates of B_3 and C_2 were significantly higher than the control group, yet they were significantly lower than the control up to 4 months old ($P < 0.05$). During this period, the self-fertilizing families B_3 and C_2 displayed significantly higher growth rates than the others in terms of shell height, shell width, and body weight ($P < 0.05$). The comprehensive evaluation and breeding value of the four traits of the different family lines were $B_3 > C_2 > L_0 > A_3 > B_4 > A_1 > C_4 > B_1 > A_2 > B_2 > C_3 > C_1$, which proved that B_3 and C_2 were two excellent self-fertilizing families. In the 12 families, self-fertilization depression occurred to some extent in nine, one failed and two (B_3 , C_2) exhibited superior growth and survival. We conclude that it is feasible to establish high quality self-fertilizing families with large-size shell height, improving breeding efficiency, and shortening the breeding period.

Key words: *Argopecten irradians concentricus* Say; self-fertilizing family; breeding; Kung breeding value; comprehensive evaluation value

Corresponding author: LIU Zhigang. E-mail: liuzg@gdou.edu.cn