

合浦珠母贝 3 个养殖群体双列杂交 F_1 代的生长和遗传分析

黄桂菊¹, 陈飞飞^{1,2}, 刘宝锁¹, 范嗣刚¹, 刑孔武¹, 喻达辉¹

(1. 中国水产科学研究院 南海水产研究所 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 南海资源开发与保护协同创新中心, 广东 广州 510300; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 为开展合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)遗传改良和培育优质新品种, 作者利用合浦珠母贝北海养殖群体(B)、徐闻养殖群体(X)和三亚养殖群体(S)进行双列杂交, 获得 3 个种群内自繁群体及 6 个种群间杂交群体。对 8 月龄 F_1 代的壳长、壳高、壳宽和体质量 4 个生长性状进行了测定, 计算了各组合的一般配合力、特殊配合力及杂种优势。结果表明, 杂交组合的各性状值普遍高于自繁群体, 其中 $S_{(\varphi)} \times B_{(\delta)}$ 和 $S_{(\varphi)} \times X_{(\delta)}$ 杂交组合的各性状值极显著高于其他组合。三亚群体各性状的一般配合力最大, $S_{(\varphi)} \times X_{(\delta)}$ 组合各性状特殊配合力最大, 其次是 $S_{(\varphi)} \times B_{(\delta)}$ 组合。杂交子一代 4 个生长指标均表现出一定程度的杂种优势(0.24%~52.62%)。不同杂交组合间和不同性状间的杂种优势存在差异, 其中, $S_{(\varphi)} \times B_{(\delta)}$ 杂交组合杂种优势明显, 其反交组合 $B_{(\varphi)} \times S_{(\delta)}$ 杂交优势程度不高, 且在壳宽上表现出较低的杂种优势率(0.24%); $S_{(\varphi)} \times X_{(\delta)}$ 杂交组合杂种优势率比反交组合 $X_{(\varphi)} \times S_{(\delta)}$ 高。体质量的平均杂种优势率均高于其他 3 个性状。该研究的结果表明杂交群体性状的改进为进一步选育奠定了基础。

关键词: 合浦珠母贝(*Pinctada fucata*); 双列杂交群体; 生长; 配合力; 杂交优势

中图分类号: S968.31+6.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)02-0026-09

doi: 10.11759/hyxx20140819003

中国自 1965 年合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)人工育苗成功以来, 海水珍珠养殖经历了半个世纪的发展。由于近亲繁殖严重, 导致养殖性状退化、贝体变小、死亡率高、病害增多, 同时生产珍珠颗粒小、珠层薄等种质退化现象。因此, 解决这个问题的关键是开展合浦珠母贝的遗传改良和新品种培育。

目前对合浦珠母贝的研究已开展了壳型、壳色、壳厚、生长速度的选育^[1-3]、不同地理群体间的杂交育种^[4]和家系选择育种^[5]、贝壳珍珠质颜色分析^[6]、加性遗传效应估计^[7]、遗传多样性与性状相关性分析^[8]、生长性状和闭壳肌拉力的比较分析^[9]、中药对插核育珠的影响^[10]、卵子电击脉冲参数的初步研究^[11]、生长性状的相关分析^[12]等研究。黎火金等^[13]通过测量以海南三亚和广东徐闻 2 个地理群体合浦珠母贝为亲本构建的 33 个全同胞家系的壳长、壳高、壳宽和体质量 4 个生长性状对其进行遗传参数分析, 发现合浦珠母贝 4 个生长性状均属中等遗传力, 可以用选择育种进行遗传改良。Wada 等^[2-3]对合浦珠母贝的壳型参数的遗传力进行了研究, 结果表明合浦珠母贝的壳宽、壳凸度遗传力较大, 壳厚则次之; 不同地理种群和不同品系的合浦珠母贝杂交和回交, 杂交后代在成活率和壳宽上均表现出明显的杂种优势。

王爱民等^[4, 14]利用广西北海野生种的合浦珠母贝(BW)、广东大亚湾野生合浦珠母贝(DW)和海南三亚野生合浦珠母贝(SW)开展了不同地理种群内自繁和种群间杂交的工作, 运用方差分析对 6 个子一代群体的壳长、壳宽、壳厚、总体质量和壳质量 5 个主要性状进行了比较, 发现 3 个杂交群体未表现出杂种优势, 但获得的 6 个群体子一代的变异性增加, 为进一步选育奠定了基础。谷龙春等^[15]用广西北海(B)、广东徐闻(X)和海南三亚(S)亲贝构建了 90 个双列杂交家系。分析表明, 北海群体的壳长、壳高的一般配合力最大; 三亚-北海壳长、壳高的特殊配合力最大。

杂种优势是指杂交子代在生长、成活、繁殖能力或生产性能等方面均优于双亲均值的现象, 杂交

收稿日期: 2014-08-19; 修回日期: 2014-12-19

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-48); 广东省海洋渔业科技推广专项(A201301A02, A201301A08, Z2014003)

[Foundation: the Earmarked Fund for China Agriculture Research System(CARS-48); Guangdong Provincial Marine Fisheries Science & Technology Promotion Special Projects(A201301A02, A201301A08, Z2014003)]

作者简介: 黄桂菊(1978-), 女, 广东肇庆人, 硕士, 副研究员, 从事水产生物技术研究, E-mail: xaxhgj@126.com; 喻达辉, 通信作者, 研究员, E-mail: pearlydh@163.com

育种是培育新品种的重要途径之一。目前,在贻贝(*Mytilus edulis*)^[16]、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)^[17]、太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)^[18]、海胆(*Echinometra* spp.)^[19-20]和其他虾类^[21-23]的杂交育种已取得巨大进展。作者开展了合浦珠母贝 3 个不同地理养殖群体的杂交试验,在相同养殖管理条件下测定合浦珠母贝不同群体自繁和杂交子代的生长性状差异,计算各组合的一般配合力、特殊配合力及杂种优势,为利用杂种优势培育合浦珠母贝新品种奠定了基础。

1 材料和方法

1.1 亲本来源

合浦珠母贝广西北海群体(用 B 表示)采自广西北海一养殖场,广东徐闻群体(X)采自广东徐闻一养殖场,海南三亚群体(S)采自海南省三亚陵水新村养殖场。经海上暂养,使其达到同步性成熟,选择发育良好、性腺成熟的个体作为亲贝。

1.2 双列杂交群体的构建

2011 年 2 月 17 日,开展了 3 个不同地理养殖群体体内自繁和群体间杂交试验,获得 3 个自繁群体(BB、XX 和 SS)和 6 个正反交群体(BX、XB、SB、BS、SX、XS)(表 1)。3 个自繁群体按照雌雄比例为 10:6 的方式通过阴干刺激后自然排放受精而获得,6 个杂交群体按照雌雄比例为 10:6 的方式采用人工授精而得,人工授精过程中利用 0.6‰的氨海水刺激精卵。待受精完成后,转入 10 m³的水池内培育。培育用海水为过滤后的自然海水。

表 1 不同地理来源群体的交配设计

Tab. 1 Mating design with parental populations from Beihai (B), Xuwen (X), and Sanya (S)

交配组合	北海(B) _(♂)	徐闻(X) _(♂)	三亚(S) _(♂)
北海(B) _(♀)	BB	BX	BS
徐闻(X) _(♀)	XB	XX	XS
三亚(S) _(♀)	SB	SX	SS

1.3 苗种培育与养殖

9 个群体的培育采用常规方法进行^[1],早期以湛江等鞭金藻(*Isochrysis zhanjiangensis*)为主要饵料,适当混合投喂亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)和酵母等,后期以亚心形扁藻为主要饵料。每天换水 1/3,连续充气培养。

2011 年 4 月 23 日幼苗达到 3.0 mm 左右后将幼

苗移至中国水产科学研究院南海水产研究所陵水新村珍珠贝养殖基地进行固定排架吊养。分别用 80、60、40、20 目贝苗笼,以及网目为 1 和 3 cm 单圈笼养殖,先用网目密的 80 目贝苗笼,随着贝的生长逐渐换用网眼大的笼。每个群体的养殖密度和管理方法相同^[24]。

1.4 数据测定

2011 年 10 月从每个群体中随机抽样,用于生长测量。测量前先清贝,然后每个群体随机抽取 100 个样本测量其壳长、壳高、壳宽和体质量 4 个数量性状。壳长、壳高和壳宽用游标卡尺进行测量,精确到 0.01cm。体质量用电子天平称量,精确到 0.01 g。

1.5 数据处理

各数据用 Excel 和 SPSS16.0 软件分析和处理,差异显著性分析采用最小显著差法。一般配合力、特殊配合力和杂种优势的计算按文献方法^[25-26]。

一般配合力估算应用公式为:

$$GCA_i = \frac{T_i}{n-2} - \frac{2T}{n(n-2)}$$

式中: T_i 为某种群为共同亲本的所有杂交组合的总和, T 为所有杂交组合的总和, $T = \sum T_i / 2$, n 为种群数。

特殊配合力估算应用公式为:

$$SCA_{ij} = X_{ij} - (\mu + GCA_i + GCA_j)$$

式中: X_{ij} 为两个种群特定组合实测值, μ 为所有杂交组合的平均值, GCA_i 为亲本种群 i 的一般配合力, GCA_j 为亲本种群 j 的一般配合力, 杂交子代的杂种优势率 $H(\%)$ 计算公式为:

$$H(\%) = \frac{\bar{F}_1 - \frac{1}{2}(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)}{\frac{1}{2}(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)} \times 100\%$$

式中: $\bar{F}_1$ 、 $\bar{P}_1$ 、 $\bar{P}_2$ 分别代表杂交群体和两个亲本群体内的自繁群体的平均值, $H(\%)$ 代表 F_1 的杂种优势率。

2 结果

2.1 9 个群体各生长性状的分布

群体 BSF₁、XSF₁、SSF₁、XXF₁、BBF₁ 的壳长主要分布在 22.11~38.60 mm, 分别占 87%、86%、90%、92%、74%。群体 BXF₁、XBF₁ 的壳长主要分布在 27.61~38.60 mm, 分别占 69%、76%。群体 SBF₁、SXF₁ 的壳长主要分布在 33.11~44.10mm, 分别占

70%、78%。9个群体的壳高、壳宽、体质量与壳长类似,群体BSF₁、XSF₁、SSF₁、XXF₁、BBF₁、BXF₁和XBF₁各性状在较低范围内分布频率较高,而群体SBF₁、SXF₁在较高范围内分布频率较高(图1)^[24]。

2.2 9个群体各生长性状的比较

9个群体各组的平均壳长为26.72~37.95 mm,平均壳高为25.89~38.34 mm,平均壳宽为8.91~12.18 mm,平均体质量为7.39~11.65 g,杂交组合的各性状值普遍高于自繁群体(表2)。方差分析表明,组间4个性状表型值均存在极显著差异(表3)^[24]。两两多重比较表明,SB和SX的4个性状值都极显著高于其他组合,而XS显著高于BX和SB杂交组合,与BS差异不显著(表2)。此外,除XX组合外,自繁组合的变异系数高于杂交组合,体质量的变异系数远远大于其他性状(表2)。

部分杂交组合中正反交之间存在显著差异($P < 0.05$,表2)。正交组合SB和SX各性状值分别显著高于反交组合BS和XS,而正交组合BX各性状值与反交组合XB不存在显著差异。

2.3 杂交组合配合力分析

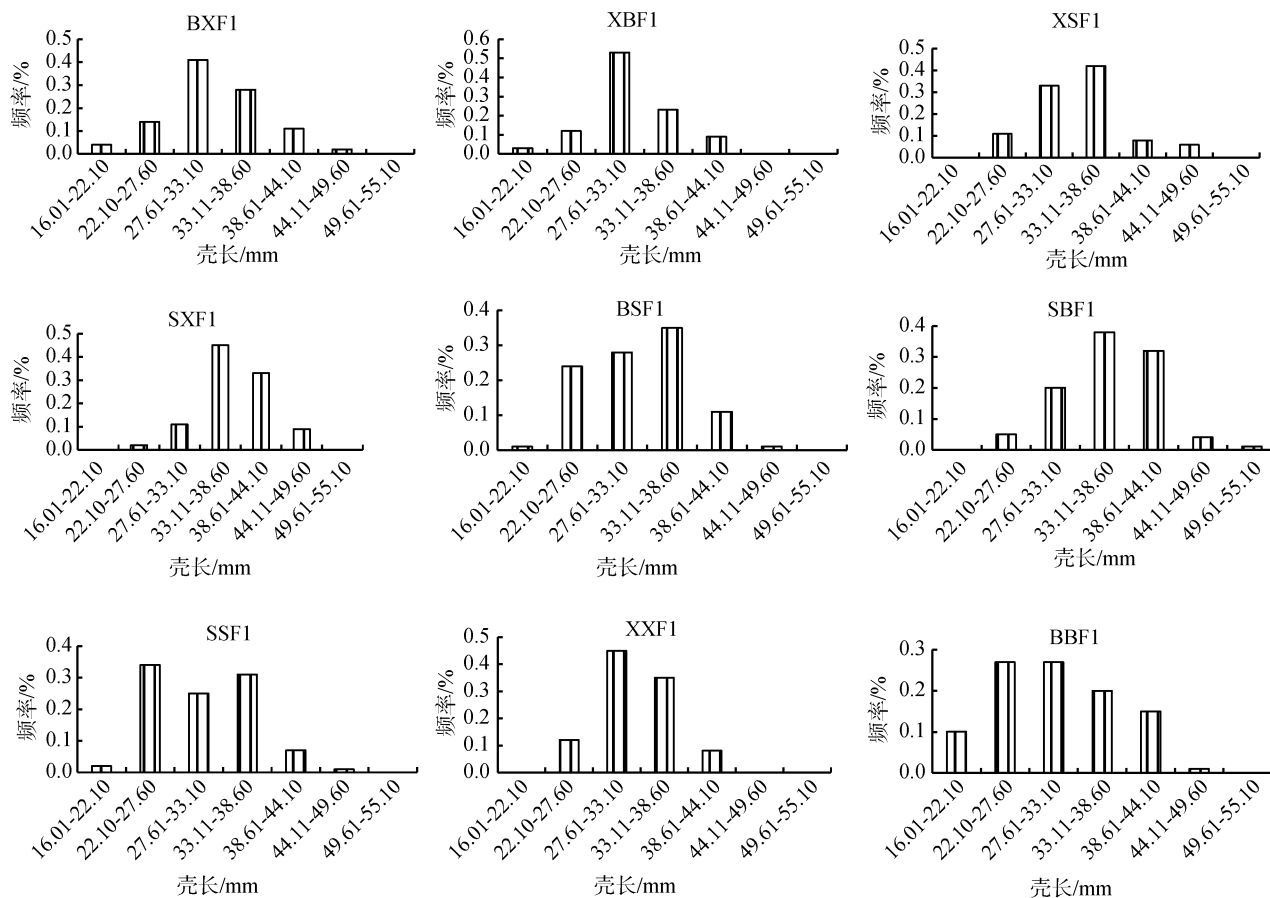
双列杂交组合各性状的一般配合力和特殊配合

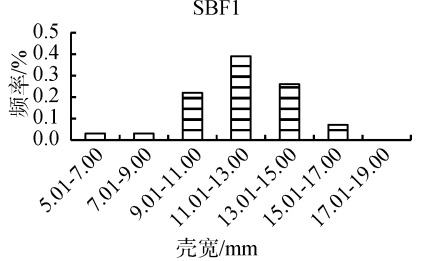
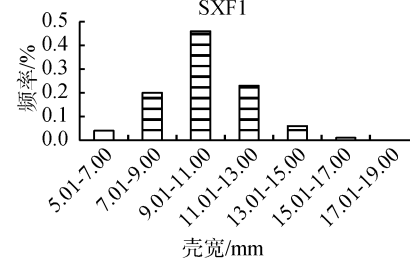
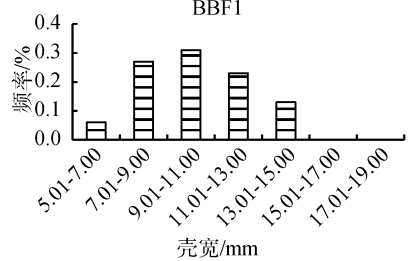
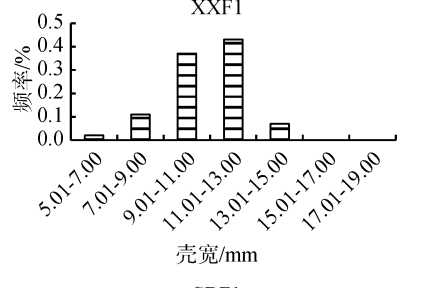
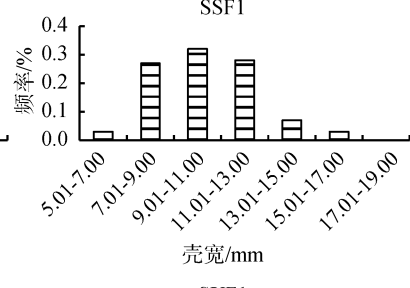
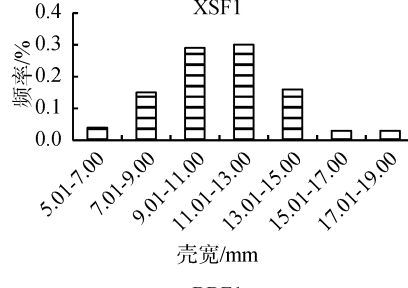
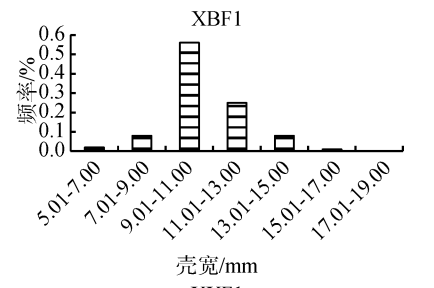
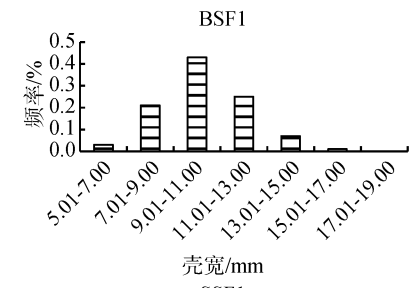
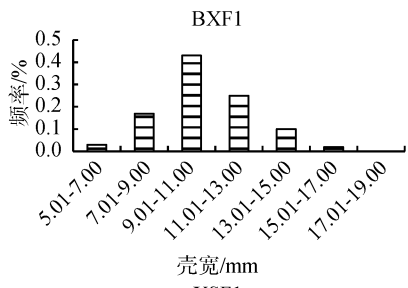
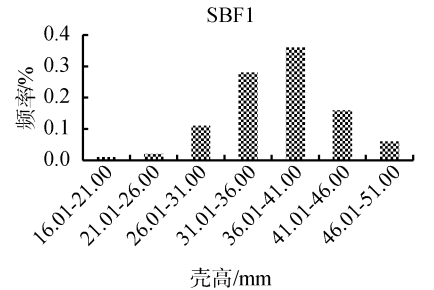
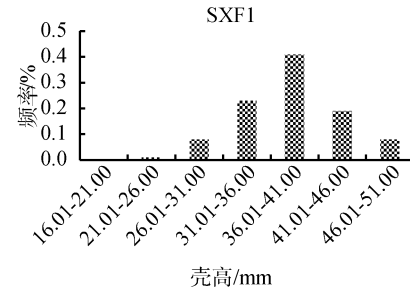
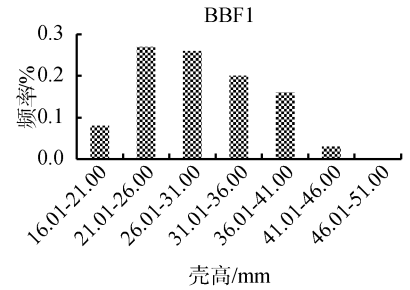
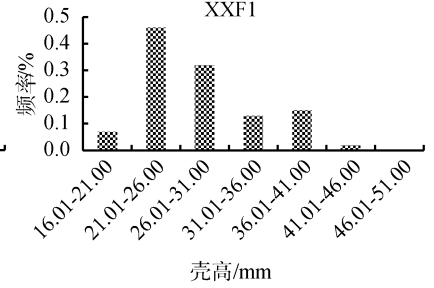
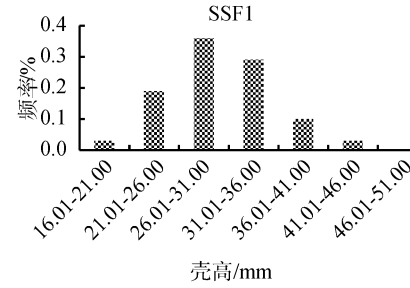
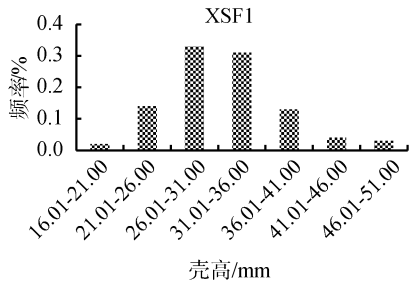
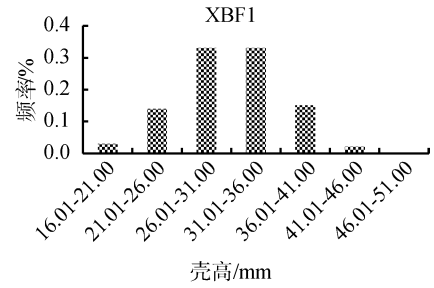
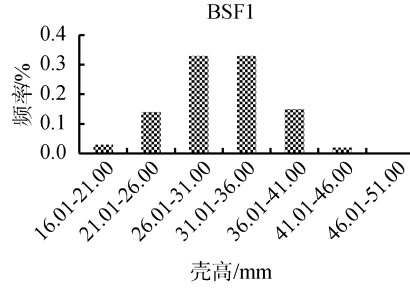
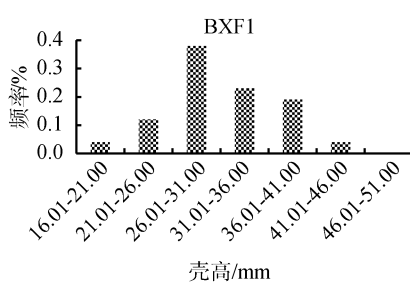
力分析结果分别见表4和表5^[24]。三亚群体雌性各性状的一般配合力远远高于其他群体,其次为徐闻雌性。但雄性个体各性状存在差异,三亚雄性壳长和体质量一般配合力最大,北海雄性的壳高和壳宽最大,徐闻群体远远小于其他群体(表4)。S×X和S×B组合各性状的特殊配合力远远高于其他组合,其中S×X组合壳高和体质量特殊配合力最大,S×B组合壳长和壳宽的特殊配合力最大,此外X×S组合的体质量特殊配合力也较高(表5)。

2.4 杂交子一代的杂种优势率

各杂交组合在4个生长指标中均表现出一定的杂种优势(0.24%~52.62%)(图2)。各杂交组合之间壳长的杂种优势率大小顺序为SX>SB>XS>BS>BX>XB,壳高的杂种优势率大小顺序为SX>SB>BS>XS>BX>XB,壳宽的杂种优势率大小顺序为SB>SX>XS>XB>BX>BS,体质量的杂种优势率大小顺序为SX>SB>XS>BX>XB>BS。

杂种优势在不同杂交组合间和不同性状间存在很大差异。SB和SX组合的4个性状的杂种优势率均高于其他杂交组合,除BS组合外,体质量的杂种优势率均高于其他3个性状的杂种优势率(图2)^[24]。





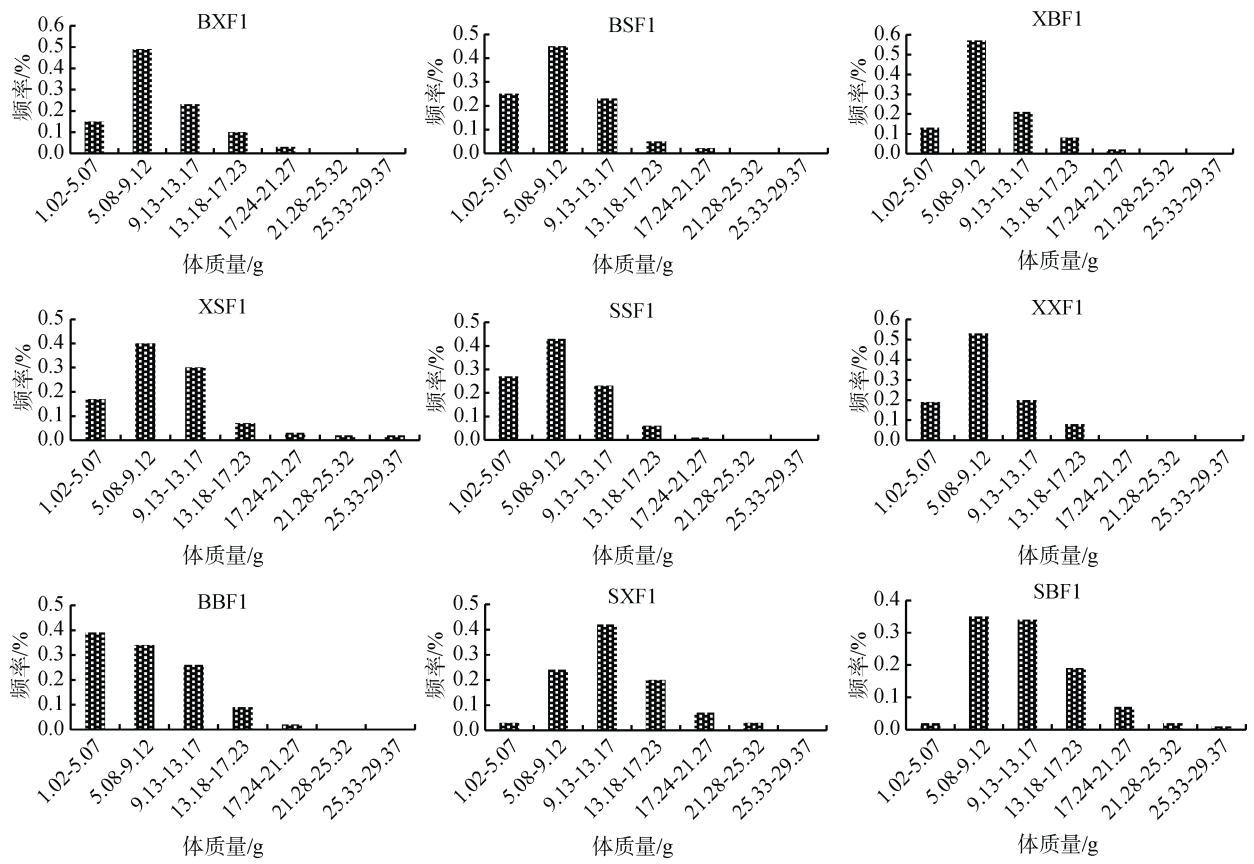


图 1 合浦珠母贝 9 个群体各性状分布频率

Fig. 1 Frequency distribution of the four traits in nine crosses of *P. fucata*

表 2 合浦珠母贝双列杂交子一代 4 个性状的平均值和变异系数(CV)

Tab. 2 Means of the four traits in F₁ groups and the coefficient of variations for *P. fucata*

群 组	壳长/mm		壳高/mm		壳宽/mm		体质量/g	
	平均数	CV/%	平均数	CV/%	平均数	CV/%	平均数	CV/%
BX	31.94±5.49ab	17.19	31.24±5.82bc	18.63	10.64±1.91abc	17.95	8.57±2.37ab	27.65
XB	31.55±4.56ab	14.45	30.55±5.01abc	16.40	10.65±1.77abc	16.62	8.15±2.06a	25.28
BS	32.22±5.31bc	16.48	31.11±5.21bc	16.75	10.27±1.77ab	17.23	7.87±2.06a	26.18
SB	36.80±5.40d	14.67	36.87±5.58d	15.13	11.98±2.13d	17.78	11.24±2.85c	25.36
SX	37.95±4.72d	12.44	38.34±5.15d	13.43	12.18±1.76d	14.45	11.65±2.71c	23.26
XS	33.63±5.36c	15.94	31.88±5.78c	18.13	11.16±2.53c	22.67	9.34±3.24b	34.69
SS	26.72±5.85ab	21.89	25.89±5.67ab	21.90	8.91±2.11ab	23.68	7.61±1.96a	25.76
XX	31.38±4.29bc	13.67	30.56±4.42bc	14.46	10.75±1.79bc	16.65	7.66±1.93a	25.20
BB	30.51±6.41a	21.01	29.30±6.42a	21.91	10.17±2.22a	21.83	7.39±2.60a	35.18

注: 同列中标有不同小写字母者表示组间差异显著($P<0.05$), 标有相同字母者表示组间差异不显著($P>0.05$)

3 讨论

双列杂交是育种中构建选育基础群体的重要手段之一。该研究构建的 9 个双列杂交群体中, 6 个杂交群体各性状的表现普遍高于 3 个自繁群体, 表明存在不同程度的杂交优势。其中, S×B 与 S×X 的生长表现

显著高于其他 4 个杂交群体, 说明在壳长、壳高、壳宽、体质量 4 个指标性状上, 以三亚群体为母本的杂交组合要优于其他杂交组合。X×S 组合虽然平均值不高, 但从各性状的分布情况来看, 上限值却较高。王爱民等^[27]以三亚野生合浦珠母贝和大亚湾养殖贝杂交, 也发现壳高和总体质量方面表现出了明显的提高,

而且杂交子代插核育珠表现出了优良的育珠效果。在变异度方面, 各个组合不尽相同, 自繁群体 BB 和 SS 变异系数较大, 杂交群体 SX 的变异系数最小, 而王爱民等^[4]、丁小雷等^[28]研究表明不论是种群内自繁后代还是杂交子一代在各性状指标上变异性较大。

表 3 合浦珠母贝各性状在杂交组合子一代间的方差分析
Tab. 3 ANOVA of growth traits in hybrids of all combinations of *P. fucata*

性状	变异来源	平方和	自由度	均方	均方比
壳长	组间	5471.61	8	683.95	24.82**
	组内	24550.54	891	27.55	
	总计	30022.14	899		
壳高	组间	7780.23	8	972.53	32.74**
	组内	26464.41	891	29.70	
	总计	34244.64	899		
壳宽	组间	410.78	8	51.35	12.63**
	组内	3621.75	891	4.01	
	总计	4032.53	899		
体质量	组间	2046.83	8	166.472	17.10**
	组内	13328.68	891	6.23	
	总计	15375.51	899		

注: **存在极显著差异($P < 0.01$)

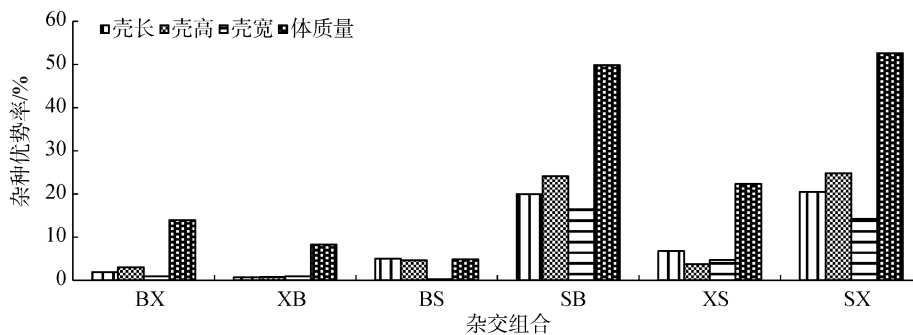


图 2 合浦珠母贝不同群体杂交子一代杂交优势率

Fig. 2 Heterosis in hybrids of *P. fucata*

杂交育种的前提是各品种配合力的测定, 对杂交组合的设计和亲本的选育有重要指导意义。一般配合力是指某一种群和其他种群杂交后, 杂交后代在某个数量性状上表现的平均值, 一般配合力高的亲本才能产生均值高的子代。本研究结果表明, 三亚亲本具有较高的一般配合力。特殊配合力是指两个特定种群杂交时, 杂种后代在某个数量性状上的表现能力, 主要是来自两个亲本之间基因的非加性效应。这一效应一般只在杂交后才表现出来, 较难在上下代之间稳定遗传。通过育种比较容易操纵和积累的是 GCA 效应, 而 SCA 只能通过保持父母本两个杂

表 4 合浦珠母贝双列杂交各群体的一般配合力

Tab. 4 General combining ability of diallel crosses of *P. fucata*

来源	壳 (mm)	壳高 (mm)	壳宽 (mm)	体质量 (g)
三亚(S)(♀)	3.60	4.24	0.96	1.92
徐闻(X)(♀)	0.25	0.07	0.42	0.58
北海(B)(♀)	-1.03	-0.47	-0.47	-0.75
三亚(S)(♂)	0.92	0.63	0.04	0.30
徐闻(X)(♂)	-2.38	-2.86	-0.58	-1.16
北海(B)(♂)	0.36	1.22	0.10	0.24

表 5 合浦珠母贝双列杂交各组合的特殊配合力

Tab. 5 Specific combining ability of diallel crosses for *P. fucata*

组合	壳 (mm)	壳 (mm)	壳宽 (mm)	体质量 (g)
S _(♀) ×X _(♂)	1.46	1.82	1.25	2.56
S _(♀) ×B _(♂)	1.59	1.78	1.54	2.30
X _(♀) ×S _(♂)	0.21	-0.13	-0.16	1.78
X _(♀) ×B _(♂)	-0.45	-0.37	-0.46	0.28
B _(♀) ×S _(♂)	0.18	0.12	-1.67	0.22
B _(♀) ×X _(♂)	-0.02	-0.17	-0.78	0.11

种优势群的办法来保持或提高。本研究结果表明, 三亚群体雌性各性状的一般配合力最大, 而北海雄性的壳高和壳宽一般配合力最大, 而谷龙春^[15]等在研究这三个地理种群双列杂交家系(出苗 60 日龄)时发现北海的壳长和壳高的一般配合力最大, 但没有区分雌雄的差异。在特殊配合力方面, 该研究中, S×X 组合壳高和体质量的特殊配合力最大, S×B 组合的壳长和壳宽特殊配合力最大, 谷龙春^[15]等对双列杂交家系的研究表明三亚-北海的壳长、壳高特殊配合力最大。两者有相同也有相异之处, 可能与贝的生长阶段不同有关, 因为贝月龄越小, 受环境影响越大。

杂交优势是指 2 个或 2 个以上不同遗传类型的物种、品种或自繁或杂交产生的杂种子一代, 在生长、成活、抗逆性、适应性、生产性能等方面均优于双亲的现象。该研究的 6 个杂交群体在 4 个生长指标中均表现出一定程度的杂种优势(0.24%~52.62%)。作物配合力的研究表明组合间杂种优势的大小与其特殊配合力效应有关, 该研究中 $S \times X$ 和 $S \times B$ 组合的特殊配合力最高, 其杂交优势也较其他组合高, 与作物方面的情况相似。谷龙春等^[15]也发现, $S \times X$ 组合的壳长杂交优势较高, 而 $S \times B$ 组合的壳高杂交优势较高。此外, 各性状杂种优势表现不尽相同, 其中体质量的杂种优势率最高。有研究表明, 正交与反交效果不一样^[27]。笔者研究也发现, $S \times B$ 和 $S \times X$ 杂交组合在壳长、壳高、壳宽和体质量 4 个性状指标上表现出很高的杂种优势, 而其反交组合的杂交优势程度都较低, 且在壳宽上 BS 组合表现出最低的杂种优势率(0.24%)。由此可见, 以三亚群体为母本的杂交组合均表现出很大程度的杂种优势, 与配合力的分析结果一致。

该研究用不同来源的养殖群体亲本, 采用双列杂交方式构建基础群体, 一次共用雌性亲本 90 个, 雄性亲本 54 个, 样本量具有一定的代表性。此次试验中共获得 6 个具有良好的可供进一步选育的杂交组合, 与家系选育相比, 群体选育具有子代数量大、组合少、易管理等优点, 为下一步采用旋转交配开展后续选育奠定了良好基础。

参考文献:

- [1] Wada K T. Genetic selection for shell traits in the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*[J]. Aquaculture, 1986, 57: 171-176.
- [2] Wada K T, Komaru A. Color and weight of pearls produced by grafting the mantle tissue from a selected population for white shell color of the Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii* (Dunker) [J]. Aquaculture, 1996, 142: 25-32.
- [3] Wada K T, Komaru A. Effect of selection for shell coloration on growth rate and mortality in the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*[J]. Aquaculture, 1994, 125: 59-65.
- [4] 王爱民, 阎冰, 叶力, 等. 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代主要性状的比较[J]. 水产学报, 2003, 27(3): 200-206.
Wang Aimin, Yan Bing, Ye Li, et al. Comparison on main traits of F1 from matings and crosses of different geographical populations in *Pinctada martensii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(3): 200-206.
- [5] 汤健, 刘文广, 林坚士, 等. 9 个马氏珠母贝家系的中期生长性状评估[J]. 南方水产科学, 2011, 7(5): 30-36.
Tang Jian, Liu Wenguang, Lin Jianshi, et al. Evaluation on mid-term growth of 9 families of pearl oyster *Pinctada fucata*[J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(5): 30-36.
- [6] 吴曼, 刘宝锁, 黄桂菊, 等. 合浦珠母贝全同胞家系贝壳珍珠质颜色分析[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 44-50.
Wu Man, Liu Baosuo, Huang Guiju, et al. Analysis of shell nacre color in full-sib families of pearl oyster (*Pinctada fucata*)[J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(6): 44-50.
- [7] 郭华阳, 张殿昌, 李恒德, 等. 合浦珠母贝幼体生长性状的遗传力及其相关性分析[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(21): 4441-4444.
Guo Huayang, Zhang Dianchang, Li Hengde, et al. Estimates of heritability and genetic correlations for the growth of larvae of *Pinctada fucata*[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(21): 4441-4444.
- [8] 许成帅, 范嗣刚, 黄桂菊, 等. 合浦珠母贝家系遗传多样性与性状相关性[J]. 广东农业科学, 2013, 40(12): 156-158.
Xu Chengshuai, Fan Sigang, Huang Guiju, et al. The correlation between genetic diversity and phenotypes of *Pinctada fucata* families[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(12): 156-158.
- [9] 牛志凯, 刘宝锁, 张东玲, 等. 合浦珠母贝 3 个地理群体杂交后代生长性状和闭壳肌拉力的比较分析[J]. 南方水产科学, 2015, 11(1): 26-32.
Niu Zhikai, Liu Baosuo, Zhang Dongling, et al. Comparative analysis of growth traits and shell-closing strength among hybrid populations from three geographical groups of pearl oyster (*Pinctada fucata*)[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(1): 26-32.
- [10] 张希, 邢孔武, 喻达辉, 等. 中药对合浦珠母贝插核手术伤口愈合效果和珍珠质量的影响[J]. 海洋科学, 2011, 35(6): 25-29.
Zhang Xi, Xing Kongwu, Yu Dahui, et al. Impact of traditional Chinese medicines on recuperation of nucleus inserting cut and pearl quality in pearl oyster *Pinctada fucata*[J]. Marine Sciences, 2011, 35(6): 25-29.
- [11] 喻达辉, 贾晓平, 陈素文, 等. 合浦珠母贝卵子电击脉冲参数的初步研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(8): 17-21.
Yu Dahui, Jia Xiaoping, Chen Suwen, et al. Optimization of pulse parameters in electroporation of *Pinctada fucata* eggs[J]. Marine Sciences, 2005, 29(8): 17-21.
- [12] 何毛贤, 史兼华, 林岳光, 等. 马氏珠母贝生长性状的相关分析[J]. 海洋科学, 2006, 30(11): 1-4.
He Maoxian, Shi Jianhua, Lin Yueguang, et al. The growth trait correlated responses in pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Marine Sciences, 2006, 30(11): 1-4.
- [13] 黎火金, 刘宝锁, 罗会, 等. 合浦珠母贝幼贝生长性状的遗传参数估计[J]. 中国水产科学, 2013, 20(6):

- 1182-1187.
Li Huojin, Liu Baosuo, Luo Hui, et al. Estimates of genetic parameters for growth traits in juvenile pearl oyster *Pinctada fucata*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(6): 1182-1187.
- [14] 王爱民, 石耀华, 周志刚. 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代形态性状参数及相关性分析[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(3): 39-45.
Wang Aimin, Shi Yaohua, Zhou Zhigang. Morphological trait parameters and their correlations of the first generation from matings and crosses of geographical populations of *Pinctada martensii*(Dunker)[J]. Marine Fisheries Research, 2004, 25(3): 39-45.
- [15] 谷龙春, 李金碧, 喻达辉, 等. 合浦珠母贝双列杂交家系的建立与遗传分析[J]. 水产学报, 2010, 34(1): 26-31.
Gu Longchun, Li Jinbi, Yu Dahui, et al. Establishment and genetic analysis of complete diallel cross families of pearl oyster(*Pinctada fucata*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(1): 26-31.
- [16] Miguel A, Rio-portilla D, Andy R B. Larval growth, juvenile size and heterozygosity in laboratory reared mussels, *Mytilus edulis*[J]. Exp Mar Biol Ecol, 2000, 254(1): 1-17.
- [17] Liu X L, Chang Y Q, Xiang J H. Studies on hybridization effects of different geographic population of *Chlamys farreri*[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(2): 255-263.
- [18] English L J, Maguire G B, Ward R D. Genetic variation of wild and hatchery stocks of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*(Thunberg), in Australia[J]. Aquaculture, 2000, 187(3/4): 283-298.
- [19] Rahman M A, Uehara T, Pearse J S. Hybrids of two closely related tropical sea urchins (*Genus Echinometra*): Evidence against postzygotic isolating mechanisms[J]. Biol Bull, 2001, 200(1): 97-106.
- [20] Rahman M A, Uehara T, Lawrence J M. Growth and heterosis of hybrids of two closely related species of Pacific sea urchins (*Genus Echinometra*) in Okinawa[J]. Aquaculture, 2005, 245(1/2/3/4): 121-133.
- [21] Cruz P, Ibarra A M. Larval growth and survival of two catarina scallop (*Argopecten circularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses[J]. Expl Mar Biol Ecol, 1997, 212(1): 95-110.
- [22] Misamore M, Browdy C L. Evaluating hybridization potential between *Penaeus setiferus* and *Penaeus vannamei* through natural mating, artificial insemination and in vitro fertilization[J]. Aquaculture, 1997, 150(1/2): 1-10.
- [23] Bierne N, Beuzart I, Vonan V. Microsatellite-associated heterosis in hatchery-propagated stocks of the shrimp *Penaeus stylirostris*[J]. Aquaculture, 2000, 184(3/4): 203-219.
- [24] 陈飞飞. 合浦珠母贝群体选育及鳃结构研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012: 29-43.
Chen Feifei. Studies on mass selectiand gill micro-structure of *Pinctada fucata*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012: 29-43.
- [25] 毛友纯, 徐庆国, 胡志明. 杂交早稻农艺性状的配合力研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 2: 115-119.
Mao Youchun, Xu Qingguo, Hu Zhiming. Studies on the combining ability of agronomic characters in early-seasoned hybrid rice[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2005, 2: 115-119.
- [26] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 319-320.
Sheng Zhilian, Chen Yaosheng. Quantitative genetics[M]. Beijing: The Science Publishing Company, 2001: 319-320.
- [27] 王爱民, 丁小雷, 邓凤娇, 等. 马氏珠母贝大亚湾和三亚野生群体内自繁及群体间杂交一代的 RAPD 分析[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(4): 19-25.
Wang Aimin, Ding Xiaolei, Deng Fengjiao, et al. The genetic diversity of the first filial generation from matings and crosses of two wild populations(DayaBay, Guangdong and Sanya, Hainan) in *Pinctada martensii* (Dunker) [J]. Marine Fisheries Research, 2003, 24(4): 19-25.
- [28] 丁小雷, 邓凤娇, 王爱民, 等. 野生马氏珠母贝子一代的遗传多样性分析[J]. 动物学杂志, 2003, 38 (1): 2-7.
Ding Xiaolei, Deng Fengjiao, Wang Aimin, et al. Genetic diversity of two wild *Pinctata martensi* populations'F1 generations[J]. Chinese Journal of Zoology, 2003, 38 (1): 2-7.

Growth performances and genetic analysis of complete diallel crosses of *Pinctada fucata* based on three cultured populations

HUANG Gui-ju¹, CHEN Fei-fei^{1, 2}, LIU Bao-suo¹, FAN Si-gang¹, XING Kong-wu¹, YU Da-hui¹

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Resource Exploitation and Protection Collaborative Innovation Center(scs-REPIC), Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: Aug., 19, 2014

Key words: *Pinctada fucata*; diallel population; growth; combining ability; heterosis

Abstract: To improve the genetic quality of pearl oysters (*Pinctada fucata*) and to develop new species, in this study, we developed complete diallel crosses using three stocks of pearl oysters from Beihai (B), Xuwen (X), and Sanya (S). We then evaluated the growth performances of the eight-months-old F_1 generation with respect to shell length, shell height, shell width, and body weight. In addition, we analyzed hybrid vigor and general and specific combining abilities with respect to these four growth traits. The results showed that the growth performances of the crossbreds were significantly better than those of the purebreds, as measured by the four traits. of the crossbreds, the growth performances of $S_{(\varphi)} \times B_{(\delta)}$ and $S_{(\varphi)} \times X_{(\delta)}$ were significantly higher than any other crosses with respect to the four traits. ANOVA results showed no significant differences among the three purebreds. The Sanya stock had the best general combining abilities, while the $S_{(\varphi)} \times X_{(\delta)}$ cross had the best specific combining abilities. All the crossbreds showed heterosis in the four growth traits to some extent, ranging from 0.24% to 52.62%. The heterosis differed for different combinations or different traits. While the heterosis in $S_{(\varphi)} \times B_{(\delta)}$ and $S_{(\varphi)} \times X_{(\delta)}$ were greater than those of the reverse crosses $B_{(\varphi)} \times S_{(\delta)}$ or $X_{(\varphi)} \times S_{(\delta)}$ for the four growth traits, the shell width of the cross $B_{(\varphi)} \times S_{(\delta)}$ had the lowest heterosis rate (0.24%). The heterosis related to body weight were the highest of the four traits for all crosses. These six genetically improved crossbreds can be used as base populations to further breed new varieties.

(本文编辑: 谭雪静)