

文章编号: 1000- 0615(2003)03- 0200- 07

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

王爱民^{1,2}, 阎冰², 叶力², 兰国宝², 张栋国², 杜晓东³

(1. 海南大学海洋学院, 海南 海口 570228; 2. 广西海洋研究所, 广西 北海 536000;
3. 湛江海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025)

摘要: 为了培育马氏珠母贝新品种, 开展了不同地理种群内自繁和种群间杂交的工作, 获得了 3 个自繁群体和 3 个杂交群体, BB₁、DD₁ 和 SS₁ 分别来自北海野生种群(BW)、大亚湾野生种群(DW)和三亚野生种群(SW)自繁一代; BD₁、BS₁ 和 DS₁ 分别来自 BW 与 DW、BW 与 SW 以及 DW 与 SW 杂交一代。运用方差分析对 6 个子一代群体的 5 个主要性状(壳长、壳宽、壳厚、总体重和壳重)进行了比较, 3 个杂交群体未表现出杂种优势。但获得的 6 个群体将成为进一步选育的基本群体。子一代的变异性增加为进一步选育奠定了基础。

关键词: 马氏珠母贝; 自繁; 杂交; 种群; 性状; 育种

中图分类号: S917 文献标识码: A

Comparison on main traits of F₁ from matings and crosses of different geographical populations in *Pinctada martensii*

WANG Aimin^{1,2}, YAN Bing², YE Li², LAN Guobao², ZHANG Dongguo², Du Xiaodong³

(1. Ocean College, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Guangxi Institute of Oceanography, Beihai 536000, China;
3. Fisheries College, Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Abstract Matings and crosses within and among geographically different populations of *Pinctada martensii* (Dunker) were carried out in order to breed new strains for pearl culture. Six populations of the first filial generation have been obtained. Three populations, designated BB₁, DD₁ and SS₁, were from matings of wild populations of Beihai(BW), Daya Bay (DW), and Sanya (SW). Three populations, that is BD₁, BS₁ and DS₁ were from cross between BW and DW, BW and SW, and DW and SW respectively. After analyzing five traits, shell length, shell width, shell thickness, total weight and shell weight by ANOVA, no population of first generation from crosses had heterosis in growth. Six populations gained were considered as the basic populations to breed new strains. Increased Variation parameters in first filial generation(F₁) of cross could be a very good potential for selecting new strains.

Key words: *Pinctada martensii*; mating; cross; population; trait; breeding

收稿日期: 2002-07-23

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(39969003), 广西壮族自治区科学研究与技术开发项目(桂科配 0007018), 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2002AA603022)

作者简介: 王爱民(1961-), 男, 河南鄆城人, 硕士, 教授, 主要从事贝类养殖、遗传育种和海洋生物技术研究。E-mail: aimwang6@hotmail.com

我国自1965年成功地开展马氏珠母贝(*Pinctada martensii* Dunker)的人工育苗以来,海水珍珠养殖发展迅速,但养殖上长期近亲繁殖,使马氏珠母贝种质资源出现退化,海水珍珠质量和单位产量明显下降。因此,对我国海水珍珠养殖来说,当务之急是开展马氏珠母贝的遗传改良和新品种的培育。日本学者Wada等^[1]对日本32个不同海区的养殖和野生马氏珠母贝的壳型、壳色和等位基因的变异进行了全面的调查,结果发现两个海区马氏珠母贝的壳型、壳色和等位基因分布频率同其他海区明显不同,在此基础上,开展了自繁和杂交,试验表明这种变异在很大程度上是可以遗传的。Wada等^[2-4]针对马氏珠母贝贝壳特征进行了长期的选择育种,培育出不同系列的马氏珠母贝品系。结合选择育种,Wada等^[1]还开展了马氏珠母贝的杂交育种,对不同地理种群和不同品系的马氏珠母贝杂交和回交,杂交后代在成活率和壳宽上均表现出明显的杂种优势。我国对于马氏珠母贝种群间杂交及选择育种还未见报道。我们选择了我国马氏珠母贝的3个地理种群(北海野生种群、大亚湾野生种群和三亚野生种群,分别记作BW、DW和SW)作为原种,开展了不同地理种群内自繁和种群间杂交的系列研究,探索培育马氏珠母贝优良品种及品系的新方法和建立新种质。

1 材料和方法

1.1 亲本来源

马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)的北海野生种群(BW)采自广西壮族自治区北海市侨港镇近海;大亚湾野生种群(DW)采自广东省深圳市大亚湾近海;三亚野生种群(SW)采自海南省三亚市安游镇近海。

1.2 种群内自繁

选取3龄、性腺成熟的贝作为亲贝。在BW、DW、SW中各挑选30个雌性和10个雄性,解剖后分别人工采精、采卵,进行种群内人工受精,获得种群内自繁子一代,由BW、DW、SW自繁产生的子一代分别为BB₁、DD₁、SS₁。

1.3 种群间杂交

同样,选取3龄、性腺成熟的贝为亲贝。进行3组杂交,第1组:在BW、DW中各挑选30个雌性和10个雄性,分别进行BW♀×DW♂和DW♀×BW♂人工授精,幼虫变态附着前混合培养,产生的杂交子一代为BD₁;第2组:在BW、SW中各挑选30个雌性和10个雄性,分别进行BW♀×SW♂和SW♀×BW♂人工授精,幼虫变态附着前混合培养,产生的杂交子一代为BS₁;第3组:在DW、SW中各挑选30个雌性和10个雄性,分别进行DW♀×SW♂和SW♀×DW♂人工授精,幼虫变态附着前混合培养,产生的杂交子一代为DS₁。

1.4 子代培育和养殖

对不同地理种群内自繁和种群间杂交获得的6组子一代(BB₁、DD₁、SS₁、BD₁、BS₁和DS₁)的培育同常规方法。幼虫和幼苗以牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)、湛江叉鞭金藻(*Dicrateria zhanjiang*)和亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)为主要饵料,每天换水2/3,连续充气培养。幼苗达到2mm后收集到网袋中下海培养,在海上养殖严格控制贝苗放养密度,及时换笼、疏养、分笼,清洗笼具、清除死贝和敌害,每组养殖条件和方法相同。海上养殖在广西北海市铁山港珍珠养殖场完成。

1.5 数据处理

子代在海上养殖18个月后,从每组中随机取样用游标卡尺测量壳长、壳宽和壳厚^[5],精确到0.1mm,用电子天平称量总体重和壳重,精确到0.01g。用Excel计算平均值、标准差、变异系数以及进行方差分析。

2 结果

本研究选择了3个长度指标(壳长、壳宽和壳厚)和2个重量指标(总体重和壳重)来分析马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代的主要性状和变异参数(表1)。

表1 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代的主要性状和变异参数

Tab.1 Main traits and their variation parameters of F_1 from matings and crosses of different geographical populations

指标 items	子一代 F_1	样本数(ind) sample size	平均值(mm) means	方差 variances	标准差(mm) S. D	最大值(mm) max	最小值(mm) min	极差(mm) ranges	变异系数(%) coefficients of variation
壳长 shell length	BB ₁	120	48.6	21.2	4.6	61.2	39.2	22.0	9.4
	DD ₁	109	48.9	21.2	4.6	61.9	38.8	23.1	9.4
	SS ₁	115	47.0	22.1	4.7	58.1	35.6	22.5	10.0
	BD ₁	117	48.0	21.2	4.6	58.0	35.8	22.2	9.5
	BS ₁	116	49.2	31.4	5.6	62.1	35.7	26.4	11.5
	DS ₁	115	48.9	20.3	4.5	61.5	38.1	23.4	9.3
壳宽 shell width	BB ₁	120	43.7	20.3	4.5	54.7	33.9	20.8	12.3
	DD ₁	109	44.0	19.4	4.4	57.4	33.2	24.2	10.0
	SS ₁	115	42.6	16.0	4.0	52.3	31.6	20.7	9.4
	BD ₁	117	43.1	16.8	4.1	52.4	34.2	18.2	9.5
	BS ₁	116	43.9	28.1	5.3	58.8	31.2	27.6	12.1
	DS ₁	115	43.9	18.5	4.3	59.2	33.2	26.0	9.8
壳厚 shell thickness	BB ₁	120	20.0	3.6	1.9	26.1	15.2	10.9	9.3
	DD ₁	109	20.3	3.6	1.9	25.1	16.4	8.7	9.4
	SS ₁	115	19.9	4.0	2.0	24.4	15.4	9.0	10.1
	BD ₁	117	20.7	4.8	2.2	29.9	15.1	14.8	10.6
	BS ₁	116	20.2	4.4	2.1	26.6	15.4	11.2	10.4
	DS ₁	115	19.9	2.9	1.7	24.3	16.0	8.3	8.5
总体重 total weight	BB ₁	120	14.54	14.36	3.76	25.98	6.74	19.24	26.1
	DD ₁	109	14.47	12.25	3.50	23.89	7.96	15.93	24.2
	SS ₁	115	13.79	12.11	3.48	22.90	7.60	15.30	25.4
	BD ₁	117	14.00	11.77	3.43	21.80	6.70	15.10	24.3
	BS ₁	116	15.45	16.32	4.04	25.80	7.40	18.40	25.9
	DS ₁	115	14.35	13.25	3.64	27.30	7.35	19.95	25.1
壳重 shell weight	BB ₁	119	7.53	3.13	1.77	1.32	3.5	9.7	23.5
	DD ₁	109	6.56	3.46	1.86	11.5	4.0	7.5	28.4
	SS ₁	115	6.18	2.56	1.60	11.7	3.7	8.0	25.9
	BD ₁	117	6.47	2.86	1.69	11.7	3.8	7.9	26.1
	BS ₁	116	6.96	3.57	1.89	12.6	3.9	8.7	27.2
	DS ₁	115	6.61	2.79	1.67	12.9	4.0	8.9	25.2

2.1 子一代壳长的比较

表1表明,6个子一代群体,平均壳长的范围在47.0~49.2 mm之间,其中种群内自繁组的平均壳长在47.0~48.6 mm之间,种群间杂交组的平均壳长在48.0~49.2 mm之间;在变异系数上,BS₁的变异系数最大,为11.5%;极差和标准差也是最大,BS₁的平均壳长范围也是最大,在37.5~62.1 mm;虽然,SS₁的变异系数大于BB₁、DD₁、BD₁和DS₁,但它们的标准差比较接近,在4.5~4.7 mm之间。SS₁和BD₁的平均壳长范围偏小,分别为35.6~58.1 mm和35.8~58.0 mm。

表2 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代壳长多重分析(LSR法)

Tab.2 Multiple comparison (LSR) of shell lengths of F_1

群体 populations	平均壳长(mm) average shell length	差异显著性 significance of variance				
		X_{1-} 47.0	X_{1-} 48.0	X_{1-} 48.6	X_{1-} 48.9	X_{1-} 48.9
BS ₁	49.2	2.2 ^{**}	1.2	0.6	0.3	0.3
DS ₁	48.9	1.9 [*]	0.9	0.3	0.0	
DD ₁	48.9	1.9 [*]	0.9	0.3		
BB ₁	48.6	1.6 [*]	0.6			
BD ₁	48.0	1.0				
SS ₁	47.0					

注: * 表示差异显著($P < 0.05$); ** 表示差异极显著($P < 0.01$)

Notes: * means significant difference, $P < 0.05$; ** means highly significant difference, $P < 0.01$

方差分析表明子一代不同群体间壳长差异极显著($P < 0.01$), 多重分析表明, DS₁ 和 DD₁ 壳长对 SS₁ 的差异有非常显著性; BB₁ 的壳长对 SS₁ 的差异有显著性(表2)。SS₁ 的壳长为最小。BS₁ 的壳长只对亲本之一的子一代 SS₁ 差异有显著性, 3 个种群间的杂交组 BS₁、DS₁ 和 DD₁ 的壳长对双亲平均值未显示杂种优势。

2.2 子一代壳宽的比较

从表1可以看出, 6 个子一代群体, 平均壳宽的范围在 42.6~44.0 mm 之间, 其中种群内自繁组的平均壳宽在 42.6~44.0 mm 之间, 种群间杂交组的平均壳宽在 43.1~43.9 mm 之间; 在变异系数上, BB₁ 和 BS₁ 的变异系数最大, 分别为 12.3% 和 12.1%; SS₁ 和 BD₁ 的变异系数为最小, 分别为 9.4% 和 9.5%。BS₁ 和 DS₁ 的平均壳宽范围最大, 分别在 31.2~58.8 mm 之间和在 33.2~59.2 之间; BD₁ 的平均壳宽范围最窄, 在 34.2~52.4 之间。

方差分析表明马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代之间的壳宽的差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 子一代壳厚的比较

马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交 6 组子一代平均壳厚的范围在 19.9~20.7 mm, 变异系数最大者为 BD₁, 为 10.6%, BS₁ 次之, 为 10.4%, DS₁ 最小, 为 8.5%。BD₁ 的极差最大, 为 14.8 mm, BS₁ 次之, 为 11.2 mm, DS₁ 最小, 为 8.3 mm。BD₁、BS₁ 和 DS₁ 的其他变异系数的大小顺序相似(表1)。

方差分析表明子一代不同群体间壳厚差异显著($P < 0.05$), 经多重分析, BD₁ 和 BB₁ 的壳厚对 DS₁ 和 SS₁ 的差异有显著性(表3)。但 3 个种群间的杂交组 BS₁、DS₁ 和 DD₁ 的壳厚对双亲平均值未显示杂种优势。

2.4 子一代总体重的比较

表1表明, 马氏珠母贝不同地理种群内自繁组子一代的总体重在 13.79~14.54 g 之间, 种群间杂交组子一代的总体重在 14.00~15.45 g 之间。变异系数远远大于前面的长度性状, 各组子一代的变异系数在 24.2%~26.1% 之间。每一组最大总体重都在最小总体重的 3 倍以上。在每一组中个体的总体重差别较大。

方差分析表明子一代不同群体间总体重差异显著($P < 0.05$), 经多重分析, BS₁ 的总体重对 DS₁、BD₁ 和 SS₁ 的差异显著(表4)。3 个种群间的杂交组 BS₁、DS₁ 和 DD₁ 的总体重对双亲平均值未显示杂种优势。

表3 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代壳厚的多重分析(LSR法)

Tab. 3 Multiple comparison (LSR) of shell thickness of F_1

群体 populations	平均壳厚(mm) average shell thickness	差异显著性 significance of variance				
		$X_{i-19.9}$	$X_{i-19.9}$	$X_{i-20.2}$	$X_{i-20.3}$	$X_{i-20.5}$
BD ₁	20.7	0.8*	0.8*	0.5	0.4	0.2
BB ₁	20.5	0.6*	0.6*	0.3	0.2	
DD ₁	20.3	0.4	0.4	0.1		
BS ₁	20.2	0.3	0.3			
SS ₁	19.9	0.0				
DS ₁	19.9					

注: * 表示差异显著($P < 0.05$)Notes: * means significant difference($P < 0.05$)

表4 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代总体重的多重分析(LSR法)

Tab. 4 Multiple comparison (LSR) of total weights of F_1

群体 population	总体重(g) total weight	差异显著性 significance of variance				
		$X_{i-13.79}$	$X_{i-14.00}$	$X_{i-14.35}$	$X_{i-14.47}$	$X_{i-14.54}$
BS ₁	15.45	1.66*	1.45*	1.10*	0.98	0.91
BB ₁	14.54	0.75	0.54	0.19	0.07	
DD ₁	14.47	0.68	0.47	0.12		
DS ₁	14.35	0.56	0.35			
BD ₁	14.00	0.21				
SS ₁	13.79					

注: * 表示差异显著($P < 0.05$)Notes: * means significant difference($P < 0.05$)

2.5 子一代壳重比较

BB₁ 壳重平均值最大, 为 7.53 g, BS₁ 次之, 为 6.96 g, SS₁ 最小, 为 6.18 g(表1)。同总体重一样, 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代壳重的变异系数较大, 在 23.5% ~ 28.4% 之间。同组内个体间壳重差别大。

表5 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代壳重的多重分析(LSR法)

Tab. 5 Multiple comparison (LSR) of shell weight of F_1

群体 population	平均壳重(g) average shell weight	差异显著性 significance of variance				
		$X_{i-6.18}$	$X_{i-6.47}$	$X_{i-6.56}$	$X_{i-6.61}$	$X_{i-6.96}$
BB ₁	7.53	1.35**	1.06**	0.97*	0.92**	0.57*
BS ₁	6.96	0.78**	0.49*	0.40	0.35	
DS ₁	6.61	0.43	0.14	0.05		
DD ₁	6.56	0.38	0.09			
BD ₁	6.47	0.29				
SS ₁	6.18					

注: * 表示差异显著($P < 0.05$); ** 表示差异极显著($P < 0.01$)Notes: * means significant difference($P < 0.05$); ** means highly significant difference($P < 0.01$)

方差分析表明子一代不同群体间壳重差异极显著($P < 0.01$), 经多重分析, BB₁ 的壳重对 SS₁、BD₁、DD₁ 和 DS₁ 的差异极显著, 对 BS₁ 的差异显著(表5); 虽然 BS₁ 的壳重对亲本之一 SW 的子一代 SS₁ 的差异极显著, 但 3 个种群间的杂交组 BS₁、DS₁ 和 DD₁ 的壳重对双亲平均值仍未显示杂种优势。

3 讨论

尽管我国海水珍珠养殖已有 30 多年的历史,但真正意义上的选择育种工作并没有开展。为尽快培育出马氏珠母贝优良品种,必须选择适合的亲本和制定有效的育种方案。

3.1 亲本的挑选

无论是进行选择育种还是开展杂交育种,亲本的挑选是育种的第一步也是最重要的一步。在传统育种中,最常用的是杂交育种,特别是远缘杂交,这是因为远缘杂交能够很快地使基因重新组合,可以获得具有双亲优良性状的后代,甚至可以获得超出双亲的优良性状,产生杂种优势。我国在马氏珠母贝的遗传改良方面,最早采用的也是远缘杂交,姜卫国等^[6]曾对马氏珠母贝、解氏珠母贝(*P. chemnitzii*)和大珠母贝(*P. maxima*)3种同属珠母贝属的海产珍珠贝进行种间杂交研究,但是结果并不理想。在马氏珠母贝作为母本、解氏珠母贝和大珠母贝分别作为父本的部分杂交子代能够发育为成贝,但对后代的染色体和同工酶分析表明,其子代不是真正的杂种,推测可能为雌核发育^[7]。马氏珠母贝种间杂交的困难,使我们考虑种群间杂交育种的问题。通过对我国南海不同地理种群的马氏珠母贝遗传结构的 RAPD 分析,最后选择确定了地理位置相距较远、生态类型差异较大的 3 个野生地理种群(北海种群、三亚种群和大亚湾种群)作为我们选育计划的原种及亲本^{①[8]}。

马氏珠母贝不同地理种群在形态上的差别是显而易见^[9],但这种差异有多少是由遗传差异所决定的呢?本研究将来自不同地理种群马氏珠母贝进行自繁,并同时相同的条件下养殖,因此,现在获得的性状数据消除了因自然条件的差异而造成的影响,其差异应是由遗传差异决定的。用已研究的 5 个性状综合评价 3 个群体:除壳宽和总体重在 3 个群体中无明显差别外,北海群体的壳重、壳厚和壳长优于三亚群体,壳重明显地大于大亚湾群体;大亚湾群体的壳长明显优于三亚群体。3 个种群的性状是有差异的。

3.2 种群间杂交的效应

在选育目标上,首先以生长速度作为主要性状进行选育。本研究选用的 5 个性状指标是反映马氏珠母贝生长的代表指标。在相同条件下同时人工授精、育苗、下海养殖及同时采集数据,使我们采集的性状指标完全能够反映不同群体的生长速度,并且可以直接进行比较。在以壳长和总体重表示杂交子代生长速度方面,BS₁群体的生长速度最快,DS₁次之,BD₁最弱。这同我们用 RAPD 分析北海野生种群、大亚湾野生种群和三亚野生种群遗传距离所预测的结果基本相吻合^①。虽然杂交群体 BD₁、DS₁和 BS₁的壳重不及 BB₁群体,但 BS₁的壳重远远大于亲本之一 SW 的子一代 SS₁,也大于 BD₁的壳重,其性状表现处于两亲本之子一代之间。以壳宽为指标的分析,杂交和自繁群体未显示出明显的差异。总之,3 个杂交群体都未能表现出综合的杂种优势。

本研究选择的亲本都是未经选择的野生种群,这种亲本的基因型是非常混杂和不纯的,因此用这些亲本进行杂交所得的 F₁ 表型参差不齐,从而导致杂种优势减弱甚至消失。BS₁在壳长、总体重和壳重方面明显地优于亲本 SW 的子代 SS₁,但未能超过 BW 的子代 BB₁正好说明由于亲本的不纯而导致杂种优势的降低,DS₁和 BD₁的表现也有同样的问题。Wada^[1]通过对不同选择品系间的杂交以及对养殖的不同地理种群间的杂交表明在成活率和壳厚方面都显示了杂种优势说明了亲本纯正的重要性。

3.3 育种的进一步措施

通过种群内自繁和种群间杂交获得的 6 个群体是基因结构不同的群体,特别是种群间杂交创造了

①Wang A M, Yan B, Ye L, et al. Genetic diversity of three wild populations of *Pinctada martensii* (Dunker) using the RAPD technique. 2003.

[王爱民, 阎冰, 叶力, 等. 三个野生种群马氏珠母贝遗传多样性的 RAPD 研究. 2003.]

新种质^②,这是我们育种计划的第一步。第二步是将通过近交加连续选择使这6个群体成为基因型纯正、优良性状固定并能稳定遗传的品系。从本研究可以看出,种群间杂交的F₁显著地增加了变异性,如BS₁群体在壳长和壳宽方面的变异参数(变异系数、极差和标准差)比其他群体都大,BS₁的壳长范围也是最大。各群体的总体重和壳重的变异参数更大。由于种群内自繁种群是直接来自野生种群,因此3个自繁群体也存在较大的变异性。变异性的增加和存在为选择育种提供了良好的基础,所选性状变异性愈大,其选择效应就愈大^[10]。Wada等^[2-4]对日本马氏珠母贝进行的育种工作也充分强调了选择的重要性。第三步需要对通过连续选择而建立的品系进行比较,筛选出优良的品系,大量繁殖优良品系,培育出优良性状的马氏珠母贝新品种,完成新品种培育的最后阶段。同时,经过选择形成的新品系,由于基因型纯合程度提高也为进一步开展品系间的杂交,特别是为经济杂交提供亲本和筛选组合建立了基础。

参考文献:

- [1] Wada K T. Breeding study of the pearl oyster *Pinctada fucata* [J]. Bull Natl Res Inst Aquac, 1984, 6: 79- 157.
- [2] Wada K T. Genetic selection for shell traits in the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii* [J]. Aquac, 1986, 57: 171- 176.
- [3] Wada K T. Color and weight of shells in the selected populations of the Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii* [J]. Bull Natl Res Inst Aquac, 1986, 9: 1- 6.
- [4] 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]. Aquac, 1994, 125: 59- 65.
- [5] Hynd J S. A revision of Australian pearl shells, genus *Pinctada* [J]. Aust J Mar Freshwat Res, 1955, 6: 98- 137.
- [6] Jiang W G, Wei Y Y, Li G. Studies on the cultivated interspecific hybridizations between pairs of *Pinctada fucata*, *P. chemnitzii* and *P. maxima* (Mollusca, Bivalvia) II. Observation on the chromosomes of fertilization and hybrids [J]. Tropic Oceanol, 1983, 2: 316- 320. [姜卫国, 魏贻尧, 李刚. 合浦珠母贝、长耳珠母贝和大珠母贝种间人工杂交的研究 II. 受精过程和杂交后代的染色体观察 [J]. 热带海洋, 1983, 2: 316- 320.]
- [7] Li G, Jiang W G, Wei Y Y. Studies on the cultivated interspecific hybridizations between pairs of *Pinctada fucata*, *P. chemnitzii* and *P. maxima* (Mollusca, Bivalvia) III. Comparative study on zymograms [J]. Tropic Oceanol, 1983, 2: 321- 326. [李刚, 姜卫国, 魏贻尧. 合浦珠母贝、长耳珠母贝和大珠母贝种间人工杂交的研究 III. 同工酶谱带的比较研究 [J]. 热带海洋, 1983, 2: 321- 326.]
- [8] Wang A M, Deng F J, Zhang X Y, et al. RAPD analysis on diversity of *Pinctada martensii* Dunker [J]. J Wuhan Univ (Nature Science), 2000, 46: 467- 470. [王爱民, 邓凤娇, 张锡元, 等. 马氏珠母贝的遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. 武汉大学学报(自然科学版), 2000, 46: 467- 470.]
- [9] Du X D, Li G L, Liu Zh G, et al. Studies on genetic diversity of two wild populations of *Pinctada martensii* [J]. J Fish Sci China, 2002 9: 106- 110. [杜晓东, 李广丽, 刘志刚, 等. 合浦珠母贝两个野生种群遗传多样性的研究 [J]. 中国水产科学, 2002. 9: 106- 110.]
- [10] Wu Z Q. Genetics and breeding in aquaculture [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2000. 153- 167. [吴仲庆. 水产生物遗传育种学 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2000. 153- 167.]

② Ding X L, Deng F J, Wang A M, et al. Genetic diversity of two wild *Pinctada martensii* F₁ generation. 2003. [丁小雷, 邓凤娇, 王爱民, 等. 马氏珠母贝子一代遗传多样性分析. 2003.]