

# 两种三元杂交菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)壳色品系间的聚合杂交\*

苏家齐<sup>1</sup> 闫喜武<sup>1</sup> 张跃环<sup>1</sup> 杨鹏<sup>1</sup>  
张辉<sup>1</sup> 杨凤<sup>1</sup> 张国范<sup>2</sup>

(1. 大连海洋大学水产与生命学院 辽宁省贝类良种繁育工程技术研究中心 大连 116023;  
2. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

**摘要** 采用完全双列杂交配组方法,以三元杂交菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)壳色品系两道红白斑马(TrWz)和红白斑马(OWz)为材料,进行了2种壳色蛤仔品系间的聚合杂交研究。结果表明,浮游期间杂交组幼虫表现出微弱的生长优势及一定程度的存活劣势;中间育成期间稚贝表现出微弱的生长劣势及明显的存活优势。三元杂交自交组两道红白斑马子代均出现了壳色分离现象,而红白斑马子代均为白斑马,且壳面花纹颜色为红色;正反交组子代均表现为两道红白斑马,其壳色表达具有显著的母本效应;但其壳色表现呈现出非伴性遗传。

**关键词** 菲律宾蛤仔;壳色品系;聚合杂交;杂种优势

**中图分类号** S968.3

聚合杂交(Convergent cross / Polymerization hybridization / Gathering hybridization)是指利用多个基因型不同的亲本通过多次、多向杂交,将所需亲本的微效基因集中到一个或多个杂种群体中的一种杂交方式。它可以分为最大重组原理聚合杂交和超亲重组聚合杂交(张天真,2005)。目前,该方法已经在小麦(黄光永等,1998;李爱民等,2006;董建力等,2007)、水稻(李仕贵等,1995;秦学毅等,2006)、棉花(熊玉东等,1996;冯锐等,2008)、油菜(吴江生等,1999)等农业作物中得到了广泛应用,并且实现了品系、品种、种间基因的重组与聚合,由此培育出了一系列高产、抗逆作物新品种。

对于水产动物而言,聚合杂交应用仅见闫喜武等(2008)<sup>1</sup>申报的常见滩涂贝类聚合杂交研究国家发明专利。菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)广泛分布于我国南北沿海,是我国单产最高的贝类,年产量

在300万t左右(张国范等,2010)。自从2002年起,中国科学院海洋研究所培育出菲律宾蛤仔斑马蛤、海洋红、两道红等壳色新品系(闫喜武,2005<sup>2</sup>)。大连海洋大学以此为基础,先后获得了两道红、两道白、玛瑙黑、海洋红、珍珠白、斑马蛤、波纹蛤等壳色选育品系,对其表型性进行评估,并以斑马蛤为核心,采用配套制种的方式培育出白斑马、红斑马、黑斑马及两道红斑马等二元杂交品系(张跃环等,2009;闫喜武等,2008,2010a);在此基础上,进一步采用多元杂交方法培育出两道红白斑马、红白斑马、黑白斑马等三元杂交品系(闫喜武等,2010b)。本文以两道红白斑马蛤与红白斑马蛤为材料,开展了聚合杂交,旨在探索不同壳色蛤仔间的杂交效果,准确评价杂种优势,分析壳色遗传机制,为种质改良、培育多元杂交壳色新品系及杂种优势的充分利用奠定了理论与实践基础。

\* 现代农业产业技术体系建设专项资助, CARS-48号。苏家齐, 博士研究生, E-mail: sujiaqi2005@126.com

1) 闫喜武, 张跃环, 霍忠明等, 2008. 常见滩涂贝类聚合杂交育种方法. 中国发明专利: 200810013427.X

2) 闫喜武, 2005. 菲律宾蛤仔养殖生物学、养殖技术和品种选育. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 46—49, 111—118

通讯作者: 闫喜武, 教授, 博导, E-mail: yanxiwu2002@163.com, yanxiwu@dlou.edu.cn

收稿日期: 2012-04-23, 收修改稿日期: 2012-06-27

## 1 材料与方方法

### 1.1 亲本来源

亲贝为 2009 年定向选育和杂交的两道红白斑马与红白斑马蛤, 利用三段法经过 1 周年养成的壳色品系。其中, 两道红品系(Tr): 壳面具有两条红色放射条带; 白斑马蛤品系(WZ): 左壳背部有一条深色的放射条带, 且壳面具有斑马状花纹, 为珍珠白(W)×斑马蛤(Z)的二元正反杂交子; 红斑马蛤品系(OZ): 壳面具有橘红色的斑马状花纹, 为海洋红(O)×斑马蛤(Z)的二元正反杂交子; 两道红白斑马(TrWz)即白斑马蛤(WZ)×两道红(Tr)的三元正反杂交子, 具有双亲的壳色特征: 左壳背部有一条深色的放射条带, 且壳面具有斑马状花纹与两条红色放射条带; 红白斑马(OWz)即红斑马蛤(OZ)×白蛤(W)的三元正反杂交子, 具有双亲的壳色特征: 左壳背部有一条深色的放射条带, 且壳面具有橘红色的斑马状花纹。

2010 年 6 月上旬, 选出壳型一致、壳色整齐的 1 龄蛤仔(两道红白斑马蛤与红白斑马蛤各 300 个)作为繁殖个体。采用 20 目网袋(40cm×60cm), 在大连庄河贝类养殖场的生态池中进行自然促熟。

### 1.2 实验设计及处理

2010 年 10 月上旬, 亲贝性腺成熟。通过阴干 8h, 流水 1h 的刺激, 4h 后亲贝开始产卵排精, 将正在产卵排精的个体抓出来, 用自来水冲洗干净, 放到盛有新鲜海水的 2.0L 红色塑料桶中, 大约经过 5—15min, 单独放置的个体会继续产卵排精。随机选取两道红白斑马(TrWz)和红白斑马(OWz)雌雄各 3 个, 采用聚合杂交法, 按照图 1 所示(粗体字部分), 建立两个自交组两道红白斑马自交组 TrWzTrWz、红白斑马自交组 OWzOWz, 正交组 TrWzOWz、反交组 OWzTrWz, 共 4 个实验组。用 150 目筛绢网过滤杂质, 转入 60L 白色塑料桶中孵化, 受精卵孵化密度为每毫升 10—15 个, 孵化期间连续充气。受精卵大约经过 24h 发育为 D 形幼虫。操作过程中, 各实验组严格隔离, 防止混杂。

### 1.3 幼虫培养及稚贝育成

幼虫和稚贝培育在 30 日龄以前于 60L 的白桶中进行, 密度为

4—5 个/ml, 各实验组分别设 3 个重复。每 3 天全量换水 1 次, 幼虫培育期间, 水温 16.0—19.5℃, 盐度为 25—28。为了消除养殖密度的影响, 定期调整幼虫的密度。每天投饵 2 次, 幼虫期饵料为湛江等鞭金藻(*Isochrysis zhangjiangensis*)和小球藻(*Chlorella vulgaris*)(体积比为 1:1), 稚贝期饵料为小球藻, 根据幼虫和稚贝的摄食情况适当增减饵料量, 保持水中有足量的饵料。为避免不同实验组个体混杂, 每组换水的筛绢网单独使用。

30 日龄以后, 由于进入冬季, 自然条件下气温与水温逐渐降低, 将稚贝转移到室内控温培养, 稚贝的培育在 20L 白色塑料桶中进行, 培育期间, 水温为 16—18℃, 每天投饵 2 次, 饵料为小球藻, 根据幼虫和稚贝的摄食情况适当增减饵料量, 保持水中有足量的饵料。为了消除培育密度的影响, 在培育阶段每 5d 对密度进行调整, 使各个实验组密度基本保持一致。各个实验组个体分桶培育, 严格隔离。90 日龄以后稚贝转入 60 目的网袋(40cm×60cm)中移到室内生态池中越冬, 每袋 200—300 粒。水温为 2—4℃。150 日龄后移到庄河贝类养殖场室外生态池中吊养。随稚贝生长定期更换网袋, 调整密度, 使各实验组密度保持一致。

### 1.4 指标测定

由于越冬期稚贝基本不生长, 测量各组稚贝在 3、6、9、30、90、270 日龄壳长。幼虫和稚贝(壳长 <500μm)在显微镜下用目微尺(100×)测量, 500μm < 壳长 <3.0mm 的稚贝测量在体视显微镜下用目微尺(25×)

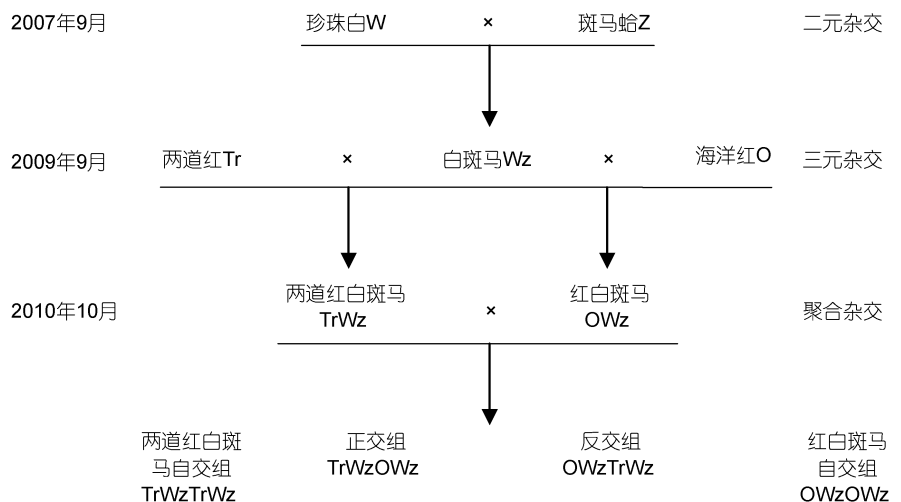


图 1 菲律宾蛤仔两道红白斑马与红白斑马聚合杂交实验设计

Fig. 1 Experimental design for the convergent cross between two shell color strains from three way crosses of Manila clam *R. philippinarum*

进行, 壳长>3.0mm 的稚贝测量用电子游标卡尺。每次测量设 3 个重复, 每个重复随机测量 30 个个体。幼虫存活率为不同日龄幼虫数量与 D 形幼虫数量百分率; 室内培育期稚贝存活率为不同日龄的稚贝数与变态稚贝数的比值。

当稚贝生长至 270 日龄时, 随机选取两道红白斑马 660 粒、红白斑马 300 粒、正反交组各 360 粒进行了壳色遗传分离统计。

### 1.5 杂种优势及算

参照张国范等(2009)采用的方法, 用以下公式计算杂种优势(Heterosis):

$$H \% = \frac{(\text{TrWzOWz} + \text{OWzTrWz}) - (\text{TrWzTrWz} + \text{OWzOWz})}{(\text{TrWzTrWz} + \text{OWzOWz})} \times 100 \quad (1)$$

$$H_z \% = \frac{\text{TrWzOWz} - \text{TrWzTrWz}}{\text{TrWzTrWz}} \times 100 \quad (2)$$

$$H_F \% = \frac{\text{OWzTrWz} - \text{OWzOWz}}{\text{OWz}} \times 100 \quad (3)$$

式中: TrWz、OWz 分别代表两道红白斑马蛤、红斑马蛤, 用两道红白斑马自己组 TrWzTrWz、红白斑马自交组 OWzOWz、正交组 TrWzOWz、反交组 OWzTrWz 分别表示各实验组的  $F_1$  在同日龄的表型值(生长、存活)。公式(1)表示双列杂交的杂种优势; 公式(2)、(3)分别表示聚合杂交中正、反交组的杂种优势。

### 1.6 数据处理

为了减小方差齐性, 所有的卵径、壳高、变态时间均转化对数  $\lg$ , 所有的受精率、存活率、变态率均转化为反正弦函数。用 SPSS18.0 统计软件对数据进行分析处理, 不同实验组间数据的比较采用单因素方差分析方法(Turkey HSD), 差异显著性设置为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 幼虫生长、存活及杂种优势

由于亲本均来自于同一群体, 其卵径及 D 形幼虫大小非常一致, 彼此间无显著差异, 故将此时的生长优势定义为 0。表 1 为各实验组幼虫在 3、6、9 日龄的平均壳长及其生长优势。3 日龄时, 两道红白斑马自交组壳长最小, 显著小于其它 3 个实验组( $P < 0.05$ ); 6 日龄时, 反交组幼虫壳长最小, 显著小于两道红白斑马自交组( $P < 0.05$ ), 但是与另外两个实验组无显著差异( $P > 0.05$ ); 9 日龄时, 反交组幼虫壳长最大, 显著大于其它 3 个实验组( $P < 0.05$ )。从其总体的生长优势上看, 聚合杂交表现出微弱的杂种优势, 且正反交组杂种优势具有不对称性, 即正交组可以产生积极的杂种优势, 但是反交组产生了杂种劣势(表 1)。

将刚刚孵化出的 D 形幼虫存活率定义为 100%, 存活优势为 0。表 2 为各实验组幼虫在 3、6、9 日龄的平均存活率及其存活优势。3 日龄时, 红白斑马自交组存活率最高, 显著大于其它实验组( $P < 0.05$ ), 反交组存活率最低, 显著小于其它实验组( $P < 0.05$ ); 6 日龄时, 红白斑马自交组存活率最高, 两道红白斑马次之, 均显著高于正反交组( $P < 0.05$ ); 9 日龄时, 仍然是红白斑马自交组存活率最高, 反交组存活率最低, 彼此间差异显著( $P < 0.05$ )。从其存活优势上看, 无论是中亲杂种优势还是单亲杂种优势, 该聚合杂交组幼虫均没有获得杂种优势, 相反出现了明显的杂种劣势(表 2)。

### 2.2 稚贝生长、存活及杂种优势

中间育成期间, 30 日龄时, 两道红白斑马自交组稚贝壳长最大, 显著大于其它实验组( $P < 0.05$ ); 90 日龄时, 两道红白斑马壳长最小, 显著小于其它实验组( $P < 0.05$ ), 反交组及红白斑马组稚贝壳长较大, 显著

表 1 浮游期各实验组幼虫的平均壳长(a)及其杂种优势(b)  
Tab.1 Average shell length (a) and heterosis (b) of larvae for experimental groups during the pelagic period

实验组	幼虫日龄(d)			平均值	
	3	6	9		
a	TrWzTrWz	113.67±3.70 <sup>b</sup>	171.67±9.03 <sup>a</sup>	192.67±13.63 <sup>b</sup>	—
	TrWzOWz	116.17±4.86 <sup>ab</sup>	170.00±8.51 <sup>ab</sup>	193.00±8.67 <sup>b</sup>	—
	OWzTrWz	117.00±5.19 <sup>a</sup>	165.83±7.44 <sup>b</sup>	201.50±9.02 <sup>a</sup>	—
	OWzOWz	119.33±5.53 <sup>a</sup>	171.00±8.24 <sup>ab</sup>	189.50±9.41 <sup>b</sup>	—
b	H	0.07	-2.00	3.23	0.43
	H <sub>z</sub>	2.20	-0.97	0.17	2.20
	H <sub>F</sub>	-1.95	-3.02	6.33	-1.95

注: 同一列中含有不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), 下同

高于另外两个实验组( $P<0.05$ ); 270 日龄时, 正交组稚贝壳长最大, 两道红白斑马自交组壳长最小, 彼此间差异显著( $P<0.05$ )(表 3)。从其杂种优势上看, 总体水平上表现为微弱的杂种劣势, 正交组表现正向杂种优势, 而反交组则表现为负向杂种劣势(表 3)。

将刚完成变态的稚贝存活率定义为 100%。表 4 为各实验组幼虫在 30、90、270 日龄的平均存活率及其存活优势。30 日龄时, 正交组稚贝存活率最高, 显著大于其他实验组( $P<0.05$ ), 两个自交组稚贝存活率较低, 显著小于正反交组( $P<0.05$ ); 90 日龄时, 正交组存活率仍最高, 且显著大于其它实验组( $P<0.05$ ); 270 日龄时, 依然是正交组存活率最高, 显著大于其它实验组( $P<0.05$ ), 两道红白斑马存活率最低, 显著

小于其它实验组( $P<0.05$ )。从其存活优势上看, 中间育成期间, 稚贝表现出了积极的中亲及单亲杂种优势(表 4)。

### 2.3 壳色遗传分离规律

当稚贝生长到 270 日龄时, 壳色已经清晰可见。随机选取的 660 粒两道红白斑马中有 134 粒两道红、325 粒两道红白斑马、201 粒白斑马, 其中, 3 种壳色子代分离比为 1:3:2, 这与孟德尔遗传定律的 1:2:1 虽有差异, 但是比较接近, 这种比例差异主要原因可能是子代培育过程中分离出的不同壳色品系(两道红、两道红白斑马、白斑马)存活力不同造成的。红白斑马自交组子代均为白斑马, 且其斑马条纹几乎仍为橘红色, 但是斑马纹的颜色不是很鲜艳, 进一步

表 2 浮游期各实验组幼虫的存活率(a)及其杂种优势(b)  
Tab.2 Average survival rate (a) and heterosis (b) of larvae for experimental groups during the pelagic period

实验组	幼虫日龄(d)			平均值	
	3	6	9		
a	TrWzTrWz	55.00±5.00 <sup>b</sup>	37.03±6.43 <sup>b</sup>	33.33±4.36 <sup>b</sup>	—
	TrWzOWz	50.67±4.04 <sup>b</sup>	28.71±7.64 <sup>c</sup>	25.27±4.58 <sup>bc</sup>	—
	OWzTrWz	32.00±4.36 <sup>c</sup>	24.00±5.00 <sup>c</sup>	20.81±4.52 <sup>c</sup>	—
	OWzOWz	67.67±6.81 <sup>a</sup>	53.24±4.16 <sup>a</sup>	46.32±2.00 <sup>a</sup>	—
b	H	-32.61	-41.61	-42.15	-38.79
	Hz	-7.87	-22.47	-24.18	-18.17
	HF	-52.71	-54.92	-55.07	-54.24

表 3 中间育成期稚贝的平均壳长(a)及其杂种优势(b)  
Tab.3 Average shell length (a) and heterosis (b) of spats for experimental groups during the juvenile period

实验组	稚贝日龄(d)			平均值	
	30(μm)	90(μm)	270(mm)		
a	TrWzTrWz	503.00±63.14 <sup>a</sup>	1178.33±115.54 <sup>c</sup>	7.37±0.72 <sup>b</sup>	—
	TrWzOWz	441.33±46.44 <sup>b</sup>	1320.00±228.98 <sup>b</sup>	8.05±1.43 <sup>a</sup>	—
	OWzTrWz	439.67±70.10 <sup>b</sup>	1523.33±206.44 <sup>a</sup>	7.77±1.64 <sup>ab</sup>	—
	OWzOWz	437.33±55.14 <sup>b</sup>	1616.25±197.76 <sup>a</sup>	7.91±1.06 <sup>ab</sup>	—
b	H	-6.31	1.74	3.53	-0.34
	Hz	-12.26	12.02	9.23	3.00
	HF	0.54	-5.75	-1.77	-2.33

表 4 中间育成期稚贝的存活率(a)及其杂种优势(b)  
Tab.4 Average survival rate (a) and heterosis (b) of spats for experimental groups during the juvenile period

实验组	幼虫日龄(d)			平均值	
	30	90	270		
a	TrWzTrWz	74.41±6.73 <sup>c</sup>	55.31±3.62 <sup>c</sup>	52.89±3.72 <sup>c</sup>	—
	TrWzOWz	90.35±3.05 <sup>a</sup>	80.41±6.03 <sup>a</sup>	75.18±5.31 <sup>a</sup>	—
	OWzTrWz	81.82±7.67 <sup>b</sup>	70.10±1.53 <sup>b</sup>	68.34±2.57 <sup>b</sup>	—
	OWzOWz	73.38±6.80 <sup>c</sup>	67.75±3.61 <sup>bc</sup>	66.40±4.28 <sup>b</sup>	—
b	H	16.50	22.30	20.33	19.71
	Hz	21.42	45.39	42.16	36.32
	HF	11.50	3.46	2.93	5.96

说明白斑马可以稳定遗传,但是由于红白斑马斑马纹颜色不鲜艳,很难统计其是否发生了斑马纹颜色分离,这个结果有待于进一步研究。正反交组均为两道红白斑马,不同的是,正交组子代壳面的两道红色比较明显,而反交组的两道红色较浅,不是很明显,也就是说,正反交子代壳面的两道红色表现出明显的母本效应,但是其壳色表现形式比较一致,说明壳色为非伴性遗传(表 5)。

### 3 讨论

#### 3.1 聚合杂交效应分析

通常情况下,聚合杂交是在二元杂交基础上开展的,将控制优良性状的基因聚合到某一群体或者某一品系品种上面,从而达到增强该杂交群体抗逆性、提高产量等的目的(李爱民等,2006)。在此之前,学者们已经评估了不同壳色蛤仔品系的表型性状,并且获得了具有生长快、抗逆性强的白斑马蛤;生长较快、抗逆性强的两道红白斑马蛤、红斑马蛤及抗逆性极强的黑斑马蛤等二元杂交品系(闫喜武等,2008)。而且,为了进一步探讨多元杂交是否可以产生杂种优势,学者们开展了以白斑马为核心的多元制种工艺,获得了两道红白斑马、红白斑马及黑白斑马等三元杂交品系。在多元杂交中,学者们发现多元杂交未必会获得很好的表型性状优势,往往会获得一个全新壳色品系(闫喜武等,2010b)。

在本文的聚合杂交中,以具有优良表型性状的两道红白斑马与红白斑马为亲本,进行聚合杂交的目的是获得杂种优势,但是,从结果上看,除了正反交组在稚贝阶段具有一定程度的杂种优势以外,几乎尚未产生明显的杂种优势,甚至是杂种劣势。也就是说,聚合杂交中,由于亲本选配不同,子代表达形式也不同,杂种优势表达为正向或者负向均很正常。这一点已经在壳内面颜色蛤仔三元杂交中有所体现(张跃环等,2012)。在斑马蛤与白蛤二元杂交中,白斑马获得了非常显著的杂种优势(闫喜武等,2008);在白斑马与两道红三元杂交中,两道红白斑马获得了

较弱的杂种优势(闫喜武等,2010b);而在本文中,三元杂交子的聚合杂交子几乎尚未获得显著杂种优势。这也说明,随着杂交次数的增加,可开发利用的杂种优势空间已经越来越小,就此可以选用二元或者三元杂交子具有显著杂种优势的组合作为应用推广。

#### 3.2 壳色遗传分离机制

壳色作为一种可遗传的数量性状,近年来有很多报道。Innes 等(1977)报道了贻贝的壳色多态性现象并对其遗传性进行了分析。Adamkewicz 等(1988)报道了海湾扇贝的壳色多态性并对其进行自交实验,表明壳色是由一对或多对基因控制的,且黄色与橙色较白色为显性。Winkler 等(2001)将取自于智利北部的扇贝进行了自交和杂交并分析了稚贝的壳色分离情况。结果表明紫色、棕色、橙色、黄色和白色等壳色分布可以用显性效应来解释,而左壳腹缘的白色条带是由隐性基因控制的符合用孟德尔遗传规律。

由于菲律宾蛤仔壳色具有高度的多态性,早在 1941 年, Taki 就将蛤仔壳色分为 4 种类型: 条带、花纹、白化和杂色(Taki, 1941)。至 1995 年, Peignon 等(1995)再一次将蛤仔的壳色定义为壳面花纹、放射条带、背景颜色三大特点。张跃环(2008)<sup>1)</sup>在前人基础上,再一次将蛤仔壳色重新划分为两壳是否对称、壳面花纹、放射条带、背景颜色、壳面斑块 5 大特征。

在本文中,三元杂交子两道红白斑马自交组子代壳色出现了分离情况,为白斑马、两道红白斑马以及两道红,其分离比为 2 : 3 : 1,与孟德尔遗传的 1 : 2 : 1 有所差异。这种原因可能是分离出来的不同壳色品系在生长过程中存活力不同所致,即每种颜色品系子代数不同,这与 Peignon 等(1995)研究蛤仔壳色遗传机制得到的结果相似。其中,白斑马壳色作为一个整体现象出现,并未出现分离现象,这是因为壳面花纹超优先表达,白蛤左壳深色条带也是优先表达造成的,也可能是由于控制这两对性状的基因位于非同源染色体上发生了基因连锁所致(闫喜武等,2010b)红白斑马自交子代中,均为白斑马,且斑马纹几乎仍为红色,但是由于颜色比较模糊,很难辨认是

表 5 各实验组稚贝的壳色遗传分离规律

Tab.5 Genetic segregation of shell color of spats for experimental groups

亲本	两道红白斑马 TrWz♂			红白斑马 OWz♂		
两道红白斑马 TrWz♀	两道红(134)	两道红白斑马(325)	白斑马(201)	1	3	2
红白斑马 OWz♀	两道红白斑马: 斑马纹为橘红色明显, 两道红色较浅			两道红白斑马: 斑马纹橘红色较浅, 两道红色明显 白斑马: 斑马纹颜色全部为红色		

1) 张跃环, 2008. 菲律宾蛤仔壳色、壳型的品系选育及遗传机制研究. 大连: 大连水产学院硕士学位论文, 62—65

否发生了花纹颜色分离,有待于利用具有明显差异壳面花纹品系作进一步研究。正反交子代均为两道红白斑马,正交组即以两道红白斑马为母本的两道红颜色更为明显,但是斑马纹比较浅;而以红白斑马为母本的反交组两道红色较浅,斑马纹相对比较明显,说明贝壳着色色度表达量与母本相关,表现出明显的母本效应。但是,正反交组壳色表现形式比较一致,与性别无关,说明壳色表达为非伴性遗传。

### 参 考 文 献

- 冯 锐, 秦学毅, 唐建淮等, 2008. 稻瘰蚊多抗性材料的聚合与创新. 中国农学通报, 24(11): 81—84
- 闫喜武, 张跃环, 霍忠明等, 2008. 不同壳色菲律宾蛤仔品系间的双列杂交. 水产学报, 32(6): 864—875
- 闫喜武, 张跃环, 霍忠明等, 2010a. 不同壳色菲律宾蛤仔品系 F<sub>2</sub> 表型性状研究. 水产学报, 34(6): 701—709
- 闫喜武, 张跃环, 孙焕强等, 2010b. 菲律宾蛤仔两道红与白斑马品系的三元杂交. 水生生物学报, 34(8): 1190—1197
- 李仕贵, 黎汉云, 周开达等, 1995. 水稻优良不育系冈 46A 的选育及应用研究. 四川农业大学学报, 13(4): 432—436
- 李爱民, 张永泰, 惠飞虎等, 2006. 聚合杂交育种在“扬油系列”新品种选育中的应用. 中国农学通报, 22(8): 220—224
- 吴江生, 石淑稳, 周永明等, 1999. 甘蓝型双低油菜品种华双 3 号的选育和研究. 华中农业大学学报, 18(1): 1—4
- 张天真, 2005. 植物育种学总论. 北京: 中国农业出版社, 67
- 张国范, 闫喜武, 2010. 蛤仔养殖学. 北京: 科学出版社, 11
- 张国范, 郑怀平, 2009. 海湾扇贝养殖遗传学. 北京: 科学出版社, 80
- 张跃环, 闫喜武, 霍忠明等, 2009. 菲律宾蛤仔 4 个斑马蛤品系 F<sub>2</sub> 的表型性状研究. 南昌: 中国动物学会、中国海洋与湖沼学会贝类学分会第十四次学会研讨会第十二次贝类学分会, 153
- 张跃环, 李绍文, 闫喜武等, 2012. 菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 紫壳内面和白黄壳内面品系的三元杂交. 海洋与湖沼, 43(1): 120—126
- 秦学毅, 韦素美, 朱汝财等, 2006. 采用聚合杂交创新稻瘰蚊抗性育种材料. 西南农业学报, 19(6): 1054—1057
- 黄光永, 庞启华, 1998. 小麦优良亲本材料 1B/1R 易位系的研究. 西南农业学报, 11: 196—199
- 董建力, 张增艳, 王敬东等, 2007. 3 种小麦抗白粉病基因聚合体的 STS 和 SCAR 标记. 西北农业学报, 16(3): 64—67
- 熊玉东, 邱新平, 丁子福等, 1996. 棉花多亲本杂交 F<sub>2</sub> 群体产量性状的效应分析. 棉花学报, 8(1): 21—26
- Adamkewicz L, Castagna M, 1988. Genetics of shell color and pattern in the bay scallop *Argopecten irradians*. Journal of Heredity, 79(1): 14—17
- Innes D J, Haley L E, 1977. Inheritance of a shell-color polymorphism in the mussel. Journal of Heredity, 68: 203—204
- Peignon J M, Geraed A, Naciri Y *et al*, 1995. Analysis of shell colour determinism in the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Aquatic Living Resources, 8(2): 181—189
- Taki I, 1941. On the variation in the colour pattern of a bivalve, *Venerupis philippinarum*, with special reference to its bilateral asymmetry. Venus, 1: 71—87
- Winkler F M, Estévez B F, Jollán L B *et al*, 2001. Inheritance of the general shell color in the scallop *Argopecten purpuratus* Bivalvia Pectinidae. Journal of Heredity, 92(6): 521—525

## CONVERGENT CROSS BETWEEN TWO SHELL COLOR STRAINS FROM THREE WAY CROSSES OF MANILA CLAM *RUDITAPES PHILIPPINARUM*

SU Jia-Qi<sup>1</sup>, YAN Xi-Wu<sup>1</sup>, ZHANG Yue-Huan<sup>1</sup>, YANG Peng<sup>1</sup>,  
ZHANG Hui<sup>1</sup>, YANG Feng<sup>1</sup>, ZHANG Guo-Fan<sup>2</sup>

(1. Engineering Research Center of Shellfish Culture and Breeding in Liaoning Province, Fisheries and Life College, Dalian Ocean University, Dalian, 116023; 2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

**Abstract** In order to improve the phenotypic character of Manila clam *Ruditapes philippinarum*, the convergent cross was conducted between the Two band red-white zebra strain and the Red white-zebra strain from three way crosses of Manila clam in October 2010. It was consisted of four experimental groups, which includes two self-fertilized groups (TrWz♀×TrWz♂, OWz♀×OWz R♂) and two reciprocal groups (TrWz♀×OWz♂, OWz♀×TrWz♂). The phenotypic traits, heterosis and the genetic mechanisms of shell color were examined in this text. These results showed that the faint growth heterosis and the survival hybrid weakness were observed during the larval planktonic stage, whereas the nil growth disadvantages and the obvious survival heterosis occurred during the spat culture. The genetic segregation of shell color was observed for the progenies of Two band red-white zebra strain, but no segregation for the progenies of Red white zebra stain. The shell color of reciprocal experimental groups was similar to maternal parents and the shell coloring and sex was not linkage.

**Key words** *Ruditapes philippinarum*; shell color strains; convergent cross; heterosis