

# 菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)紫壳内面和白黄壳内面品系的三元杂交\*

张跃环<sup>1</sup> 李少文<sup>1</sup> 闫喜武<sup>1</sup> 苏家齐<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)

**提要** 于 2010 年 6 月, 以性状优良的白黄壳内面  $F_2$  代菲律宾蛤仔二元杂交系(WO)与紫壳内面  $F_2$  代选育系(P)为材料, 进行了三元杂交研究, 获得了三元正反交组合 PWO、WOP, 并且比较了各实验组子代在不同阶段生长、存活和变态的杂种优势。结果表明: (1) 从生长上看。三元杂交子 WOP 生长始终最快, 2 个三元正反交组幼虫均表现出了不同程度的杂种优势, 其生长主要受卵源与配对策略的交互作用影响。(2) 从存活力上看。三元杂交子 PWO 幼虫及 WOP 稚贝表现出一定的杂种优势, 卵源是浮游期幼虫存活的最主要影响因素。(3) 从变态上看, 三元杂交子 PWO 呈现出一定的变态优势为  $Hm_{PWO} = 9.80$ , 卵源、配对策略及交互作用均是影响变态主要因素。

**关键词** 菲律宾蛤仔, 三元杂交, 杂种优势, 壳内面颜色品系

**中图分类号** S968.3

我国是菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)养殖大国, 年产菲律宾蛤仔 300 万 t 左右, 占我国贝类产量的 30%左右, 海水养殖总产量的 20%左右, 占世界总产量的 90%以上(中国渔业协会, 2009)。菲律宾蛤仔的贝壳颜色和花纹变化各异, 千差万别, 是双壳贝类中壳色多态性最复杂的种类之一(庄启谦, 2001)。与此同时, 作者注意到蛤仔的壳内面有着不同的颜色, 通常为白色或者淡黄色, 少量呈现紫色。针对这一现象, 自 2008 年开始, 大连海洋大学研究了菲律宾蛤仔的不同壳内面颜色品系表型性状, 获得了菲律宾蛤仔白、黄、紫三种壳内面颜色品系, 并通过二元杂交获得了具有明显生长与存活优势的白黄二元杂交子, 这些研究为菲律宾蛤仔的种质遗传改良以及新品系的培育开辟了新思路, 为本文的三元杂交研究提供了理论与实践基础。

三元杂交(Three way crosses)是将具有优良性状

两个品种(品系)的二元杂交子一代与另一个具有优良性状的品种(品系)再一次杂交, 将不同品种(品系)的优良性状综合到杂交一代上的杂交方法, 再结合定向选育、同质选配等技术可获得综合多个优良性状的新品种(楼允东, 1999)。三元杂交在水稻、玉米等农作物(Ininda *et al*, 2006; Reynolds *et al*, 2009; Ortiz-Perez *et al*, 2007)及牛、羊、猪等陆生家畜类(陈涛等, 2008; 贾存灵等, 2008; 李琼华等, 2008)的育种上已经得到了广泛的应用, 并取得了良好的效果; 而对于水产动物而言, 三元杂交的相关报道较少, 仅见于鲤科鱼类(马仲波等, 1984)和菲律宾蛤仔壳色品系间(闫喜武等, 2010; 张国范等, 2010)的杂交育种。本研究利用了生长存活性状优良的白黄壳内面二元杂交系与在变态方面有优势的紫壳内面品系进行了三元杂交, 旨在获得菲律宾蛤仔三种壳内面颜色品系的三元杂交子并且研究其表型性状以及杂种优势情况。

\* 现代农业产业技术体系建设专项, CARS-48 号; 国家高技术研究发展计划“863”项目, 2006AA10A410 号; 国家“十一五”课题, 2006BAD09A09 号; 辽宁省重大科研项目, 990387 号; 辽宁省教育厅创新团队项目, 2007T104 号; 辽宁省科技特派团项目, 2008203005 号。张跃环, 博士, Email: kilroy9269@163.com

通讯作者: 闫喜武, 博士, 教授, E-mail: yanxiwu2002@163.com

收稿日期: 2011-01-03, 收修改稿日期: 2011-03-25

## 1 实验设计

实验采用 2×2 双列杂交的实验方法, 共包括两个自交组(PP、WOWO)和两个三元正反交组(PWO、WOP), 如图 1 和表 1。

## 2 材料与方法

### 2.1 亲本来源与促熟

菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)亲本为 2009 年定向选育和杂交得到的 F<sub>2</sub> 代, 使用三段法(Zhang *et al.*, 2006)经过一年时间养

成。紫壳内面品系(P)贝壳内表面靠近壳顶位置为紫色, 白黄壳内面品系(WO)为白壳内面品系(W)和黄壳内面品系(O)的二元杂交子, 壳内面颜色表现为淡黄。2010 年 6 月初, 两种品系随机挑选 800 个个体, 采用 20 目网袋(40×60cm), 在大连海量水产食品有限公司的室外生态土池中采取吊养的方式进行自然促熟, 每袋 200 粒左右。促熟期间, 水温 20.4—28.6℃, 盐度 24—28, pH 7.56—8.62。

表 1 菲律宾蛤仔紫壳内面和白黄壳内面品系三元杂交的实验设计

Tab.1 The experimental design for three way crosses between Purple and White-Orange inner-shell color of *R. philippinarum*

亲本	P ♂	WO ♂
P ♀	PP	PWO
WO ♀	WOP	WOWO

### 2.2 产卵与受精

2010 年 6 月下旬种贝性腺成熟, 采用阴干 8h, 流水刺激 0.5h, 大约经过 3h 后种贝开始产卵排精。将正在产卵的个体抓出, 用淡水冲洗干净, 然后放入装有新鲜海水的 2L 小桶中, 大约经过 5—15min, 单独放置的个体会继续产卵排精。按照表 1 的实验设计进行受精, 之后使用 150 目筛绢网过滤杂质, 转入 100L 白桶中孵化, 孵化密度为 5—6 个/ml, 孵化期间连续充气。受精卵大约经过 24h 发育为 D 形幼虫。整个操作过程各实验组严格隔离, 防止精卵混杂。

### 2.3 幼虫及稚贝培育

幼虫和稚贝 60 日龄之前培养于 100L 的大白桶中, 幼虫密度为 4—5 个/ml, 稚贝密度为 2—3 粒/cm<sup>2</sup>, 微充气。幼虫培育前期饵料为湛江等鞭金藻(*Isochrysis zhangjiangensis*), 中期为金藻和小球藻(*Chlorella*

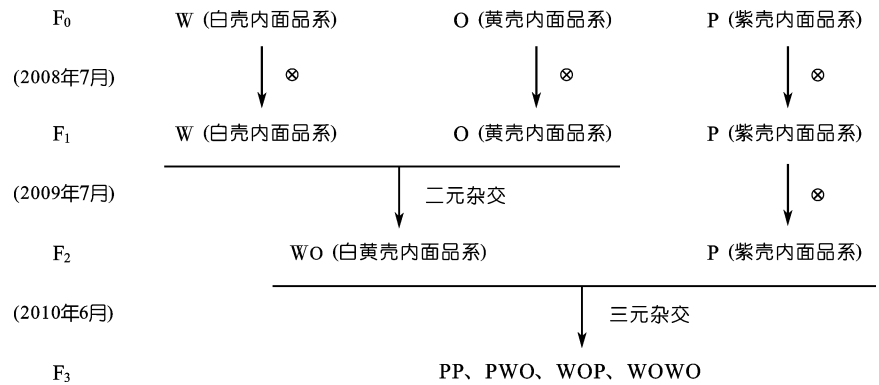


图 1 菲律宾蛤仔紫壳内面和白黄壳内面品系三元杂交的实验设计

Fig.1 The experimental design for three way crosses between Purple and White-Orange inner-shell color of *R. philippinarum*

*vulgaris*)混合(1:1)投喂, 后期为小球藻, 每天投喂两次, 投喂量视幼虫和稚贝的摄食情况而定。每两天全量换水一次, 为避免不同实验组个体混杂, 每组换水的筛绢网单独使用。60 日龄以后, 稚贝转入 60 目的网袋中在室外生态池中吊养, 每袋 200—300 粒, 并且定期更换不同目数的网袋, 为了消除养殖密度的影响, 定期对密度进行调整, 使每个实验组密度保持一致。培育期间, 水温 22.6—30.4℃, 盐度为 25—27, pH 为 7.64—8.62。

### 2.4 指标测定

幼虫、稚贝壳长小于 300μm 的在显微镜下用目微尺(100×)测量, 壳长大于 300μm 小于 3.0mm 的稚贝测量在体视显微镜下用目微尺(20—40×)进行, 稚贝壳长大于 3.0mm 后用游标卡尺测量。每次测量设 3 个重复, 每个重复随机测量 30 个个体。幼虫存活率为单位体积幼虫数与 D 形幼虫数的百分率; 稚贝存活率为不同日龄存活稚贝的数量与变态稚贝数的百分率; 幼虫的变态时间是指从 D 形幼虫开始到幼虫完成变态的时间(d); 变态率为出现鳃原基、足、次生壳稚贝数与足面盘幼虫数量的比值。

### 2.5 数据处理

为了减小方差齐性, 所有的壳长均转化对数 lg, 所有的存活率均转化为反正弦函数 Asin。用 SPSS16.0 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。

参照 Zheng 等(2006)使用的方法, 用下面公式计算杂种优势(Heterosis):

$$H\% = \frac{(PWO + WOP) - (PP + WOWO)}{PP + WOWO} \times 100 \quad (1)$$

$$H_{PWO}\% = \frac{PWO - PP}{PP} \times 100$$

$$H_{WOP}\% = \frac{WOP - WOWO}{WOWO} \times 100 \quad (2)$$

式中, P、WO 分别代表紫壳内面和白黄壳内面品系, PP、PWO、WOP、WOWO 分别表示各实验组的  $F_3$  在同日龄的表型值(生长、存活)。公式(1)表示双亲杂交杂种优势; 公式(2)表示双列杂交中正、反交组的单亲杂种优势。

参照 Cruz 等(1997)、Zhang 等(2007), 利用双因子分析模型检测母本效应及配对策略对杂交组幼虫生长与存活的影响:

$$Y_{ijk} = u + EO_i + MS_j + (EO \times MS)_{ij} + e_{ijk}$$

式中,  $Y_{ijk}$  为  $k$  个重复  $i$  个卵源  $j$  种配对方式下的壳长(存活率);  $u$  为常数;  $EO_i$  为壳长(存活率)的卵源效应(母本效应)( $i = 1, 2$ );  $MS_j$  为壳长(存活率)的配对效应( $j = 1, 2$ );  $(EO \times MS)_{ij}$  为卵源与配对策略的交互作用;  $e_{ijk}$  为随机误差( $k = 1, 2, 3$ )。

### 3 结果

#### 3.1 幼虫的生长、存活及杂种优势

由于亲本来自于同一群体, 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 2 为各实验组幼虫在 3、6、9 日龄的平均壳长及其生长优势。由表可见, 在 3 日龄时 WOP 幼虫壳长显著大于其它三组( $P < 0.05, n=30$ ); 6 日龄时 WOP 幼虫壳长大于其它三组, 与 PP 和 PWO 组差异显著( $P < 0.05, n=30$ ), 与 WOWO 组差异不显著( $P > 0.05, n=30$ ); 9 日龄时 PWO、WOP 和 WOWO 三组幼虫壳长无显著差异( $P > 0.05, n=30$ ), 但与 PP 组差异显著( $P < 0.05, n=30$ )。在生长优势方面, PWO 和 WOP 两组均表现出正的单亲生长优势, 总体也表现出正的双亲生长优势。

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 3 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。由表 3 可见, 在 3 日龄时各组幼虫存活无显著差异( $P > 0.05, n=3$ ); 6 日龄时 PWO、WOP 和 WOWO 三组幼虫存活率无显著差异( $P > 0.05, n=3$ ), PP 组幼虫存活率最低, 与其它各组差异显著( $P < 0.05, n=3$ ); 9 日龄时 PWO、WOP 和 WOWO 三组幼虫存活率仍无显著差异( $P > 0.05, n=3$ ), PP 组幼虫存活率仍然最低, 与其它各组差异显著( $P < 0.05, n=3$ )。在存活优势方面, PWO 组表现出正的单亲存活优势, 而 WOP 组表现出了微弱的单亲存活劣势, 总

表 2 浮游期幼虫的壳长( $\mu\text{m}$ )及其杂种优势

Tab.2 Larval shell length ( $\mu\text{m}$ ) and growth heterosis for the experimental groups during planktonic period

类别	幼虫日龄(d)			生长优势平均值
	3	6	9	
PP	108.50±4.18 <sup>b</sup>	143.70±3.72 <sup>c</sup>	178.33±6.99 <sup>b</sup>	—
PWO	109.83±4.64 <sup>b</sup>	149.50±7.06 <sup>b</sup>	195.17±6.76 <sup>a</sup>	—
WOP	114.00±4.43 <sup>a</sup>	155.77±4.74 <sup>a</sup>	197.00±8.67 <sup>a</sup>	—
WOWO	109.67±3.70 <sup>b</sup>	152.73±4.28 <sup>ab</sup>	196.17±5.83 <sup>a</sup>	—
$H_{PWO}$	1.23	4.04	9.44	4.90
$H_{WOP}$	3.95	1.99	0.42	2.12
$H$	2.60	2.98	4.72	3.43

注: 同一列中含有不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

表 3 浮游期幼虫的存活率(%)及其杂种优势

Tab.3 Larval survival rate (%) and survival heterosis for the experimental groups during planktonic period

类别	幼虫日龄(d)			存活优势平均值
	3	6	9	
PP	90.48±0.83 <sup>a</sup>	75.12±0.21 <sup>b</sup>	62.85±2.39 <sup>b</sup>	—
PWO	90.79±1.36 <sup>a</sup>	80.55±0.51 <sup>a</sup>	71.78±2.67 <sup>a</sup>	—
WOP	92.05±0.08 <sup>a</sup>	80.90±1.55 <sup>a</sup>	71.81±2.33 <sup>a</sup>	—
WOWO	92.07±1.86 <sup>a</sup>	80.52±1.84 <sup>a</sup>	72.49±1.50 <sup>a</sup>	—
$H_{PWO}$	0.34	7.23	14.20	7.26
$H_{WOP}$	-0.03	0.47	-0.93	-0.16
$H$	0.15	3.73	6.10	3.33

体表现为正的双亲存活优势。

由此可见, 在浮游期幼虫总体上表现出微弱的生长和存活优势, 通过分析卵源与配对策略对幼虫生长与存活的影响得知(表 4), 生长方面主要受卵源与配对策略的交互作用影响, 其次为卵源的影响; 存活方面卵源的影响起到了主要作用。两个三元正反交组的单亲杂种优势表现出了不对称性, 并且随着日龄的增加越来越明显。

表 4 卵源(EO)与配对策略(MS)对幼虫生长与存活影响的方差分析

Tab.4 Analyses of variance showing egg origin (EO) and mating strategy effects (MS) for shell length and survival during the larval period

来源	df	壳长		存活		
		M.S.	P	M.S.	P	
Day3	EO	1	0.003	0.001	0.004	0.086
	MS	1	0.001	0.060	8.123E-5	0.782
	EO×MS	1	0.004	0.000	1.994E-5	0.891
Day6	EO	1	0.015	0.000	0.006	0.005
	MS	1	0.001	0.126	0.005	0.011
	EO×MS	1	0.005	0.000	0.006	0.005
Day9	EO	1	0.015	0.000	0.013	0.007
	MS	1	0.011	0.000	0.013	0.007
	EO×MS	1	0.013	0.000	0.009	0.016

### 3.2 幼虫的变态及其杂种优势

由表 5 可知, PP 组变态最早, 变态时间最短; PWO、WOP 和 WOWO 组幼虫变态率无显著差异( $P>0.05$ ,  $n=3$ ), PP 组幼虫变态率最低, 与其它三组差异显著( $P<0.05$ ,  $n=3$ ); 在杂种优势方面 PWO 组幼虫表现出正的单亲杂种优势, 而 WOP 组幼虫则表现出微弱的单亲杂种劣势, 两个三元正反交组表现出杂种优势的不对称性, 总体表现为正的双亲杂种优势。由表 6 可知, 卵源、配对策略及其交互作用均对幼虫的变态起了显著影响。

表 5 变态期各杂交组幼虫的变态时间、变态率及其杂种优势

Tab.5 Metamorphic time, metamorphosis and heterosis of larvae for two crosses during the metamorphic period

实验组	变态时间(d)	变态率及其杂种优势	
		变态率(%)	杂种优势(%)
PP	13—17	59.18±0.74 <sup>b</sup>	—
PWO	14—19	64.98±0.98 <sup>a</sup>	$H_{PWO}$ (9.80)
WOP	15—20	65.04±1.06 <sup>a</sup>	$H_{WOP}$ (-0.05)
WOWO	15—20	65.07±1.01 <sup>a</sup>	$H$ (4.64)

表 6 卵源(EO)与配对策略(MS)对幼虫变态影响的方差分析

Tab.6 Analyses of variance showing egg origin (EO) and mating strategy effects (MS) during the metamorphic period

来源	df	变态率(%)	
		M.S.	P
EO	1	0.004	0.001
MS	1	0.004	0.001
EO×MS	1	0.004	0.001

### 3.3 稚贝生长、存活及杂种优势

表 7 为培育期稚贝的壳长及其生长优势, 可知: 在整个稚贝培育期(30—90 日龄), WOP 组稚贝壳长始终最大并且与其它三组差异显著( $P<0.05$ ,  $n=30$ )。在生长优势方面, WOP 组表现出了明显的单亲生长优势, PWO 组则只表现出微弱的单亲生长优势, 总体表现为正的双亲生长优势。

表 8 为培育期稚贝的存活及其存活优势, 可知: 在 30 日龄时, WOWO 组稚贝存活率最高, 与 PP、PWO 组差异显著( $P<0.05$ ,  $n=3$ ), 与 WOP 组差异不显著( $P>0.05$ ,  $n=3$ ); 60 日龄时, WOP 组稚贝存活率转为最高, 与 PP、PWO 组差异显著( $P<0.05$ ,  $n=3$ ), 与 WOWO 组差异不显著( $P>0.05$ ,  $n=3$ ); 90 日龄时, WOP 组稚贝存活率仍保持最高, 并且与其它三组差异显著( $P<0.05$ ,  $n=3$ )。在存活优势方面, WOP 组表现出了

表 7 培育期稚贝的壳长( $\mu\text{m}$ )及其杂种优势

Tab.7 Juvenile shell length ( $\mu\text{m}$ ) and growth heterosis for the experimental groups during juvenile period

类别	稚贝日龄(d)			生长优势平均值
	30	60	90	
PP	1280.83±212.40 <sup>c</sup>	4484.00±428.88 <sup>c</sup>	8220.67±747.23 <sup>c</sup>	—
PWO	1286.67±235.23 <sup>c</sup>	4478.00±490.85 <sup>c</sup>	8282.67±678.52 <sup>c</sup>	—
WOP	1760.83±219.59 <sup>a</sup>	5902.33±731.12 <sup>a</sup>	11088.60±839.22 <sup>a</sup>	—
WOWO	1478.33±222.23 <sup>b</sup>	5314.33±696.82 <sup>b</sup>	9689.00±749.46 <sup>b</sup>	—
$H_{PWO}$	0.46	-0.13	0.75	0.36
$H_{WOP}$	19.11	11.06	14.45	14.87
$H$	10.45	5.94	8.16	8.18

表 8 培育期稚贝的存活率(%)及其杂种优势  
Tab.8 Juvenile survival rate (%) and survival heterosis for the experimental groups during juvenile period

类别	稚贝日龄(d)			存活优势平均值
	30	60	90	
PP	81.79±1.58 <sup>b</sup>	78.10±0.85 <sup>b</sup>	74.13±1.51 <sup>b</sup>	—
PWO	81.04±1.80 <sup>b</sup>	78.18±0.74 <sup>b</sup>	73.18±1.91 <sup>b</sup>	—
WOP	86.41±1.51 <sup>a</sup>	84.22±1.95 <sup>a</sup>	80.20±0.34 <sup>a</sup>	—
WOWO	87.08±1.60 <sup>a</sup>	83.26±2.05 <sup>a</sup>	75.74±1.41 <sup>b</sup>	—
$H_{PWO}$	-0.92	0.10	-1.28	-0.70
$H_{WOP}$	-0.77	1.16	5.88	2.09
$H$	-0.84	0.65	2.34	0.72

正的单亲存活优势, 而 PWO 组则表现出微弱的单亲存活劣势, 总体表现为微弱的双亲存活优势。

由此可见, 在培育期稚贝的生长和存活方面均获得了不同程度的杂种优势, 随着日龄的增加, 母本效应对稚贝生长和存活的影响逐渐减弱, 继而转为杂种优势的影响不断扩大。

## 4 讨论

### 4.1 亲本遗传差异

杂种优势是一种复杂的生物学现象, 亲本间的遗传差异无疑是重要的原因之一, 如果两个基础群体的基因频率不同, 那么它们之间的杂交有可能表现出杂种优势(Zhang *et al.*, 2002)。当一个种的不同群体能够用来进行人工杂交时, 必须评估两个群体之间是否有足够的差异。本实验所使用的紫壳内面品系是自 2008 年壳内面颜色品系经过两代自繁得到的  $F_2$  选育系, 具有变态早、变态时间短的特点, 但是生长与存活性状相对较差; 白黄壳内面品系是 2008 年白、黄、紫壳内面颜色品系经过一代自繁后, 又进行三种壳内面颜色品系的二元杂交得到的白黄壳内面二元杂交系, 具有生长快、存活率高的特点。因此可以初步推断这两个品系之间具有较大的遗传差异, 本研究是在同一条件下进行, 环境对两品系的影响可以排除, 从结果来看, 无论是浮游期或是稚贝培育期, WO 品系的自交组生长和存活性状都优于 P 品系, 而 P 品系的变态时间要短于和早于 WO 品系, 这也与上述推断相一致, 即两种品系的表型性状差异主要来自于遗传差异。

### 4.2 母本效应

母本效应广泛存在于动植物的杂交育种中, 尤其在杂交个体的早期生长发育阶段表现特别明显, 而后母本效应减弱或消失, 杂种优势得到充分表达

(Solemdal, 1997)。目前, 对鱼类(Solemdal, 1997)、两栖类(Laugen *et al.*, 2005)的报道较多, 对贝类(Soletchnick *et al.*, 2002; Hedgecock, 1996; Mallet *et al.*, 1984)的报道相对较少。在动物早期的生长和存活等方面, 母本效应是一个非常重要的影响因素(张国范等, 2009)。个体在其生活史的早期阶段, 比较容易受到母本效应的影响, 而后母本效应减弱或消失, 杂种优势得到充分表达(Solemdal, 1997)。在本实验中, 浮游期幼虫的生长和存活受到了来自于卵源的不同程度影响, 存在一定的母本效应, 但是随着日龄的推进, 母本效应逐渐减弱, 杂种优势得到了充分的表达。造成这种原因的可能与亲本自身的营养积累及在成熟过程中的其它环境均有关系, 故在发育早期表现出显著的母本效应(张国范等, 2009; 闫喜武等, 2011)。

### 4.3 三元杂交效应

多元杂交在以往的杂交育种上已经发挥了重要的作用, 学者们先后通过多元杂交培育出具有优良性状多元杂交水稻、小麦、大豆、猪、羊、鱼等(Ininda *et al.*, 2006; Ortiz-Perez *et al.*, 2007; 陈涛等, 2008; 贾存灵等, 2008; 李琼华等, 2008; Reynolds *et al.*, 2009)。对于贝类而言, 目前仅见于菲律宾蛤仔中的三元杂交子——两道红白斑马(闫喜武等, 2010)。但是, 对于不同壳内面颜色品系蛤仔间的多元杂交尚未见报道。本研究中, 杂交使品系的生长和存活得到了改良, 特别是三元杂交子 WOP 在浮游期和稚贝培育期表型性状较亲本得到了明显的提高, 这在前面实验结果中已有叙述。实验还发现, 在浮游期和变态期 PWO 组生长和存活优势要大于 WOP 组, 而进入培育期后 WOP 组生长和存活优势则大于 PWO 组。造成这一现象的原因可能是 WO 为白黄壳内面颜色的二元杂交品系, 与 P 品系相比具有较高的杂合度, 经过自繁后仍然保持着较高的生长和存活优势且表型性状优良,

而P为紫壳内面F<sub>2</sub>选育系, 生长和存活方面的性状不如WO, 经过杂交后使其杂合度得到了很大的提高, 所以前期WOP组杂种优势不明显, PWO组杂种优势略大, 而在后期三元杂交的作用得到了充分的表达, P品系的不利性状被掩盖, 两个品系的生长、存活和变态方面的优良性状得到聚合和表达, 所以WOP组的杂种优势凸显, 高于WO品系的自交组。多元杂交效应是众多育种学家关注的热点, 为了探讨多元杂交效应, 学者们在育种过程中先后利用了单杂交、三元杂交、四元杂交等技术手段, 对其现有品种进行遗传改良。从本文的结果上看, 三元杂交效应有效改良了二元杂交子—黄白壳内面颜色品系。由此可见, 通过选择适当的二元杂交子和自交品系作为亲本, 进行多元杂交育种可以有效的改良现有的蛤仔品系, 从而培育出聚合了多种优良性状的新品系, 为蛤仔杂交育种增添了一项新的改良技术。

### 参 考 文 献

- 马仲波, 唐钢胜, 张 峰等, 1984. 鲤鱼[(荷包红鲤♀×元江鲤♂) F<sub>1</sub>♀×散鳞镜鲤♂]三杂交遗传改良与利用的研究. 淡水渔业, (6): 25—27
- 中国渔业协会, 2009. 中国 2008 年渔业年鉴. 北京: 中国农业出版社, 321
- 庄启谦, 2001. 中国动物志, 软体动物门, 双壳纲, 帘蛤科. 北京: 科学出版社, 180
- 闫喜武, 张跃环, 孙焕强等, 2010. 菲律宾蛤仔两道红与白斑马品系的三元杂交. 水产学报, 34(8): 1190—1197
- 闫喜武, 张跃环, 孙焕强等, 2011. 菲律宾蛤仔海洋橙品系两个世代的杂交与近交效应. 海洋与湖沼, 42(2): 1—8
- 李琼华, 覃小荣, 殷进炎, 2008. 陆川猪二元、三元杂交组合对提高商品猪生产性能的研究. 广西畜牧兽医, 24(5): 259—261
- 张国范, 闫喜武, 2010. 蛤仔养殖生物学. 北京: 科学出版社, 125
- 张国范, 郑怀平, 2009. 海湾扇贝养殖遗传学. 北京: 科学出版社, 89
- 陈 涛, 杨光勇, 2008. 三元杂交母牛回交实验研究. 中国畜牧兽医, 35(8): 141—142
- 贾存灵, 魏泽辉, 孔祥浩等, 2008. 萨陶寒三元杂交肉羊主要经济性状表型相关及回归分析. 湖北农业科学, 47(2): 203—206
- 楼允东, 1999. 鱼类育种学. 北京: 中国农业出版社, 45
- Cruz P, Ibarra A M, 1997. Larval growth and survival of two catarina scallop (*Argopecten circularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 212: 95—110
- Hedgecock D, 1996. Hybrid vigor is pervasive in crosses among inbred lines of Pacific oysters. Journal of Shellfish Research, 15(2): 511—517
- Ininda J, Njuguna J G M, Gichuru L *et al*, 2006. Performance of Three-way cross hybrids for agronomic traits and resistance to maize streak virus disease in Kenya. African Crop Science Journal, 14(4): 287—296
- Laugen A T, Kruuk L E B, Laurila A, 2005. Quantitative genetics of larval life-history traits in *Rana temporaria* in different environmental conditions. Genetical Research, 86(3): 161—170
- Mallet A L, Halev L E, 1984. General and specific combining abilities of larval and juvenile growth and viability estimated from natural oyster populations. Marine Biology, 81(1): 53—59
- Ortiz-Perez E, Cianzio S R, Wiley H *et al*, 2007. Insect-mediated cross-pollination in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]: I. Agronomic performance. Field Crops Research, 101(3): 259—268
- Reynolds M, Manes Y, Izanloo A *et al*, 2009. Phenotyping approaches for physiological breeding and gene discovery in wheat. Annals of Applied Biology an International Journal of the AAB, 155(3): 309—320
- Solemdal P, 1997. Maternal effects—A link between the past and the future. Journal of Sea Research, 37(3—4): 213—227
- Soletchnik P, Huvet A, le Moine O *et al*, 2002. A comparative field of growth, survival and reproduction of *Crassostrea gigas*, *C. angulata* and their hybrids. Aquatic Living Resources, 15(4): 243—250
- Zhang G F, Wang J H, Zhao H E *et al*, 2002. The RAPD marker of self-bred and hybrid progeny between Chinese and Japanese populations of *Haliotis discus hannai* Ino. Oceanol et Limnol Sin, 33(5): 484—491
- Zhang G F, Yan X W, 2006. A new three-phase culture method for Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, farming in northern China. Aquaculture, 258: 452—461
- Zhang H B, Liu X, Zhang G F *et al*, 2007. Growth and survival of reciprocal crosses between two bay scallops, *Argopecten irradians concentricus* Say and *A. irradians irradians* Lamarck. Aquaculture, 272(Suppl.1): 88—93
- Zheng H P, Zhang G F, Guo X M *et al*, 2006b. Heterosis between two stocks of bay scallop, *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819). Journal of Shellfish Research, 25(3): 807—802

## THREE WAY CROSSES BETWEEN PURPLE AND WHITE-ORANGE INNER-SHELL COLOR STRAINS OF MANILA CLAM *RUDITAPES PHILIPPINARUM*

ZHANG Yue-Huan<sup>1</sup>, LI Shao-Wen<sup>1</sup>, YAN Xi-Wu<sup>1</sup>, SU Jia-Qi<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, College of Fisheries and Life Science, 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*, three way crosses were conducted between the generation F<sub>2</sub> of purple (metamorphic heterosis) and white-orange (growth and survival heterosis) inner-shell color of *R. philippinarum* in June 2010. The growth, heterosis of reciprocal crosses (PWO, WOP) was investigated in the study. The results showed that: (1) As to growth, WOP (generation of the three way crosses) was the fastest experimental group during the planktonic period, and two crosses showed their heterosis in different degrees ( $Hg_{PWO} = 4.90 \pm 4.17$  and  $Hg_{WOP} = 2.12 \pm 1.77$ ). It was mainly affected by the interaction between egg origin and mating strategy, and the next one is egg origin effect during the planktonic stage. During the juvenile stage, WOP was still the fastest one in growth, remarkably different with other groups ( $P < 0.05$ ) and showed obvious heterosis ( $Hg_{WOP} = 14.87 \pm 4.04$ ). (2) As to survival rate, PP (self-fertilized group) was the lowest, and PWO (generation of the three way crosses) showed survival heterosis ( $Hs_{PWO} = 7.26 \pm 6.93$ ) during the planktonic period. It was mainly affected by egg origin in planktonic survival. During the juvenile stage, WOP have a higher survival ability, and showed a little heterosis ( $Hs_{WOP} = 2.09 \pm 3.42$ ). (3) As to metamorphosis, PP showed the lowest metamorphic ratio, it was remarkably different with other groups ( $P < 0.05$ ). The other three groups made no remarkable difference each other ( $P > 0.05$ ), and the heterosis of PWO was 9.80.

**Key words** *Ruditapes philippinarum*, Three way crosses, Heterosis, Inner-shell color strains

---

### 2011 年度《海洋与湖沼》动态

(1) 《海洋与湖沼》2011 年最新公布的总被引频次在海洋科学期刊中名列第一位; 影响因子为 1.404, 学科影响指标和综合评价总分均列海洋科学期刊首位; 综合评价总分在全国科技期刊中排第 18 位。

(2) 荣获 2011 年度百种中国杰出学术期刊奖。

(3) 荣获 2011 年度中国精品科技期刊奖。