

## 太平洋牡蛎与葡萄牙牡蛎两近缘种间杂交及其 早期阶段生长与存活的杂种优势

郑怀平<sup>1,2\*</sup>, 王迪文<sup>1,2</sup>, 林清<sup>1,2</sup>, 孙泽伟<sup>1,2</sup>, 张涛<sup>1,2</sup>, 陈兴强<sup>3</sup>

(1. 汕头大学广东省海洋生物技术重点实验室, 广东 汕头 515063;

2. 广东高校亚热带海水贝藻养殖工程技术研究中心, 广东 汕头 515063;

3. 广东省潮州市饶平县水产技术推广站, 广东 潮州 515722)

**摘要:** 利用山东青岛养殖的太平洋牡蛎(N)与汕头本地养殖的葡萄牙牡蛎(S)两个近缘种为亲本, 采用正交设计建立了杂种组 NS(N♂ × S♀)和 SN(S♂ × N♀)与纯种组 NN(N♂ × N♀)和 SS(S♂ × S♀)4个不同的遗传组合, 通过比较不同阶段(幼虫期、稚贝期、养成阶段)的生长和存活数据, 研究了牡蛎近缘种间的杂种优势, 目的为改良牡蛎的生产性状。结果表明, 这两个近缘种之间杂交能够产生显著的杂种优势, 杂交后代的生长与存活两个表型性状都得到改良。杂交组比近交组生长得快, 杂种优势在幼虫期为 37.44%, 稚贝期为 42.47%。杂交组也比近交组存活率高, 8日龄幼虫存活率的杂种优势为 76.80%、14日龄幼虫存活率的杂种优势可达 107.70%, 60、90和105日龄稚贝存活率的杂种优势分别为 17.30%、15.62%和 9.08%。研究表明, 通过太平洋牡蛎和葡萄牙牡蛎两个近缘种间的杂交有望解决牡蛎养殖产业存在的育苗难、存活率低、生长慢、个体小等问题。

**关键词:** 太平洋牡蛎; 葡萄牙牡蛎; 近缘种; 杂交; 杂种优势

**中图分类号:** Q 1321<sup>+</sup>.6; S 917

**文献标志码:** A

牡蛎是世界水产养殖产量最高的种类。据世界粮农组织统计, 全世界仅太平洋牡蛎养殖产量在 2003 年就已达到 440 万 t<sup>[1]</sup>。我国是贝类养殖大国, 同时也是牡蛎养殖大国, 2009 年牡蛎养殖产量达 350.378 2 万 t, 占养殖贝类总产量的 32.55%<sup>[2]</sup>。近 10 年来我国牡蛎产量一直呈上升趋势。目前, 我国养殖的牡蛎多为巨蛎属(*Crassostrea*), 如长牡蛎也称太平洋牡蛎(*C. gigas*)、近江牡蛎也称赤蚝(*C. ariakensis*)、香港巨牡蛎也称白蚝(*C. hongkongensis*)、葡萄牙牡蛎也称僧帽牡蛎(*C. angulata*)等。随着养殖规模的扩大, 我国牡蛎养殖产量在不断提高的同时, 育苗难、死亡率升高、生长慢、个体小、出肉率低、“水蛎”机会上升等问题也逐渐凸显, 严重影响了牡蛎的产量和效益。因此, 如何获得生长快速、经济

性状较好、品质高的优良品种已成为解决牡蛎养殖产业可持续发展的关键。

众所周知, 杂交是动植物遗传改良的重要手段, 其目的就是为了获得杂种优势。杂种优势是指两个遗传背景不同的亲本杂交产生的杂种 F<sub>1</sub> 在生长势、生活力、生殖力、抗逆性、产量和品质上比亲本的一方或双亲优越的现象<sup>[3]</sup>。牡蛎的杂交研究是贝类杂交育种中研究最早、最多的, 但绝大多数巨蛎属的种间杂交是不成功的<sup>[4]</sup>。然而, 贝类亚种间、不同地理群体间及家系间杂交取得了可喜的进展, 大多都能获得正的杂种优势<sup>[5]</sup>。因此, 杂交作为传统的遗传育种方法, 在较长的时期内, 将仍然是贝类育种的首选方法。

广东汕头南澳岛(县)地处北回归线上, 亚热

收稿日期:2011-08-29 修回日期:2011-11-02

资助项目:广东省教育部产学研结合项目(2009B090300344);广东省普通高校工程技术研究中心建设项目(GCZX-0908);国家现代农业技术体系-贝类(CARS-48);广东省科技计划项目(2010B020201014, 2011B020307006)

通讯作者:郑怀平, E-mail: hpzheng@stu.edu.cn

带气候,常年水温处于 15 ~ 30 °C,适宜生物生长的时期长,非常适合发展海水贝类养殖。牡蛎养殖业也是南澳海水养殖的龙头产业。南澳养殖的牡蛎一直认为是太平洋牡蛎,但我们采用 16S rRNA 测序发现,这种牡蛎实际是葡萄牙牡蛎(数据待发表)。一些研究表明,葡萄牙牡蛎与太平洋牡蛎之间没有达到种的水平,只是亚种或近缘种,它们之间能够杂交并能够获得杂种优势<sup>[6-10]</sup>。近年来,南澳养殖的这种葡萄牙牡蛎也存在育苗难、死亡率升高、生长慢、个体小、出肉率低、“水蛎”机会上升等上述问题。为此,我们计划利用这两个近缘种间的杂交获得杂种优势来改良当地养殖牡蛎的品种特性,以解决南澳牡蛎养殖中存在的问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验用太平洋牡蛎取自山东青岛的养殖群体,被命名为 N,2010 年 7 月 6 日从青岛运输到汕头市南澳岛,优质饵料供应,及时换水,暂养,待活力恢复即可开始实验;葡萄牙牡蛎取自广东汕头南澳岛的本地养殖群体,被命名为 S。

### 1.2 实验设计和处理

**实验设计** 采用双列杂交设计建立了 4 个不同的遗传组合,即:杂交组 NS(N ♂ × S ♀)和 SN(S ♂ × N ♀),近交组 NN(N ♂ × N ♀)和 SS(S ♂ × S ♀)。

**实验处理** 建立不同的遗传组:首先,通过解剖镜检,选择两种亲贝卵子为圆亮,卵核浓缩,精子运动活泼的作为种贝。然后,解剖获取精、卵,并分别收集,每种亲贝的精子 and 卵子都被分为两部分:一部分作为种内交配,一部分作为种间杂交。用 400 目筛绢网洗卵,并用海水促熟,30 ~ 40 min 后受精。受精后充分搅拌,镜检每个卵子周围 3 ~ 5 个精子为佳。至此,建立 4 个遗传背景不同的实验组合。每个实验组设置 2 ~ 3 个重复。

**受精卵孵化和幼虫培养:**受精卵放入 200 L 的聚乙烯容器中微充气孵化,受精卵密度为 30 ~ 40 个/mL。当胚胎发育至 D 型幼虫时,用 300 目筛绢网收集幼虫,分别放入 500 L 的聚乙烯容器中进行培养。幼虫培养的初始密度约 2 个/mL,饵料以等鞭金藻为主,日投饵 3 次,每次 5 ~ 15 万

个/mL,并经常镜检幼虫胃含物情况调整投饵量。每日换水 1 次,壳顶期和出眼点时需彻底清洗培养容器。在 26 ~ 28 °C 水温下,幼虫 14 d 开始出现眼点,当幼虫眼点率超过 30% 时,投放牡蛎壳、扇贝壳等附着基。

**稚贝室内护养及海上培育:**稚贝室内护养阶段,加大换水量和投饵量;稚贝挂到海上后,要定期摇晃网袋,约 30 d 后分苗。

所有实验组都是在相同的环境下进行,受精卵孵化、幼虫培育、稚贝养成均在汕头大学南澳海洋生物实验站室内及海上进行。

### 1.3 取样和测量

**生长:**幼虫期在第 2、8、14 天随机从每组取样 50 个,在显微镜下利用目微尺测量壳长,并通过壳长与日期的回归求出幼虫期的平均生长速度;稚贝期在第 60、90、105 日随机取样 50 个,用游标卡尺测量壳长(精度为 0.02 mm)。

**存活:**幼虫期在第 2、8、14 天测定密度,计算第 8 天和第 14 天的存活率。稚贝期各组分别放置 100 个在扇贝笼中养殖,然后对每层的牡蛎数量调整相等,在第 60、90、105 日计数,计算存活率。

### 1.4 杂种优势的判断和杂种优势率的计算

并不是所有杂交都能够产生杂种优势。当杂种的表型超越双亲表型的平均值时,这样的杂交产生了杂种优势(heterosis),当杂种的表型值低于双亲表型的平均值时,这样的杂交就产生了杂种衰退(depression)。Griffing<sup>[11]</sup>首次使用杂种潜力(hybrid potence,  $h_p$ )这一指标来判断杂交是否产生杂种优势,其计算公式如下:

$$h_p = \frac{(F_1 + F_2) - (P_1 + P_2)}{|P_1 - P_2|} \quad (1)$$

式(1)中, $F_1$ 、 $F_2$ 是正反交杂种后代表型值, $P_1$ 、 $P_2$ 是双亲表型值。当  $h_p > 1.0$  时,杂交产生了显著的杂种优势;当  $h_p < -1.0$  时,杂交产生了杂种衰退;当  $-1.0 < h_p < 1.0$  时,杂交效果不明显,杂交没有产生显著的杂种优势,也没有产生杂种衰退。

公式(1)陆续被 Hedgecock 等<sup>[12]</sup>、Bierne 等<sup>[13]</sup>、Beaumont 等<sup>[14]</sup>、Zheng 等<sup>[15]</sup>用于判断双壳贝类杂交的效果。

应用 Zheng 等<sup>[16]</sup>的方法来计算杂种优势(heterosis,  $H$ ):

$$H(\%) = \frac{(F_1 + F_2) - (P_1 + P_2)}{P_1 + P_2} \times 100 \quad (2)$$

式(2)中, $F_1$ 、 $F_2$  是正反交杂种后代表型值, $P_1$ 、 $P_2$  是双亲表型值; $H(\%)$ 是个百分比值,也被称为杂种优势率。

### 1.5 数据分析

不同实验组间数据的比较采用单因素方差分析方法进行,方差分析用 SAS 统计分析软件,差异的显著性都设置为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 幼虫期的生长和存活

**幼虫期的生长** 幼虫期 4 个实验组 NN、SS、NS 和 SN 在第 2、8、14 天的壳长及其生长速度见表 1。两个杂交组 NS 和 SN 的壳长在整个

幼虫期都显著地大于两个近交组 NN 和 SS,幼虫期的生长速度也与壳长相一致,杂交组的生长显著地快于近交组。由于 4 个实验组合幼虫培养在相同的环境下,这种差异应归因于遗传效应,即杂交产生了显著的杂种优势。从表 1 中也能够看出,幼虫生长的杂种潜力值( $h_p$ )都大于 1.0,说明杂交产生了显著的杂种优势;幼虫期日平均生长速度的杂种优势率可大于 35%。

**幼虫期的存活** 幼虫期在 8 日龄和 14 日龄时的存活率列于表 2 中。两个杂交组 NS 和 SN 均显著地高于两个近交组 NN 和 SS,且杂种潜力值( $h_p$ )都大于 1.0,说明杂交产生了显著的杂种优势;8 日龄时的杂种优势率超过了 50%,14 日龄时的杂种优势竟超过了 100%。

表 1 幼虫期的生长、杂种潜力和杂种优势率  
Tab. 1 Growth, hybrid potency and heterosis at larvae stage

实验组 experimental group	日龄/d age			生长速度/( $\mu\text{m}/\text{d}$ ) growth rate	
	2	8	14		
生长 growth	NN	79.0 <sup>a</sup> (2.3)	110.2 <sup>a</sup> (11.5)	160.3 <sup>a</sup> (35.9)	6.77 <sup>a</sup>
	SS	77.4 <sup>a</sup> (3.3)	88.4 <sup>b</sup> (12.8)	141.4 <sup>b</sup> (16.2)	5.33 <sup>b</sup>
	NS	81.6 <sup>b</sup> (3.8)	122.3 <sup>c</sup> (15.4)	186.6 <sup>c</sup> (22.5)	8.75 <sup>c</sup>
	SN	85.9 <sup>c</sup> (3.2)	115.8 <sup>ac</sup> (16.3)	180.4 <sup>c</sup> (21.5)	7.88 <sup>c</sup>
杂种潜力	$h_p$	6.94	1.81	3.46	3.15
杂种优势率/%	$H$	7.11	19.90	21.66	37.44

注:同一列中上标具有相同字母表示没有显著性差异( $P > 0.05$ ),下同。

Notes: Means with the same superscript among the same row are no significantly different ( $P > 0.05$ ), the same as the following.

表 2 幼虫期的存活率、杂种优势潜力和杂种优势率

Tab. 2 Survival rate, hybrid potency and heterosis at larvae stage

实验组 experimental group	日龄/d age		
	8	14	
存活率/% survival rate	NN	55.0 <sup>a</sup>	25.0 <sup>a</sup>
	SS	40.0 <sup>b</sup>	20.0 <sup>b</sup>
	NS	88.0 <sup>c</sup>	48.0 <sup>c</sup>
	SN	80.0 <sup>c</sup>	45.0 <sup>c</sup>
杂种潜力	$h_p$	4.87	9.60
杂种优势率/%	$H$	76.80	107.70

### 2.2 稚贝期的生长和存活

**稚贝期的生长** 60、90 和 105 日龄时稚贝的壳长、平均生长速度及杂种优势均列于表 3 中。

在 4 个实验组中,近交组 NN 始终最小,杂交组 SN 始终最大;两个杂交组 SN 和 NS 始终大于两个近交组 NN 和 SS。4 个组的日平均生长速度从高到低依次为 SN、NS、SS 和 NN。整个稚贝期,杂种优势潜力指数( $h_p$ )都大于 1.0,表明杂交产生显著的杂种优势;杂种优势除 60 日龄低于 10% 外,其他两个日龄均超过 20%;稚贝期的杂种优势可超过 40%。

如表 4 所示,3 次所测得的成活率始终是 SN 最高,NN 最低。但 SN 与 NS、SS 始终未有显著性差异,在第 60 天和 90 天,SN 与 NN 有显著性差异,第 105 天 4 组间都未有显著性差异。存活的杂种优势为 9.27%,N 组获得的杂种优势比 S 组大,其值分别为 9.89%、8.68%。

表 3 稚贝期的生长、杂种潜力和杂种优势率  
Tab. 3 Growth, hybrid potence and heterosis at juvenile stage

实验组 experimental group	日龄/d age			生长速度/(mm/d) growth rate	
	60	90	105		
生长 growth	NN	10.39 <sup>a</sup> (2.43)	14.39 <sup>a</sup> (1.96)	22.64 <sup>a</sup> (3.83)	0.26 <sup>a</sup>
	SS	11.25 <sup>b</sup> (3.55)	20.90 <sup>b</sup> (4.57)	32.08 <sup>b</sup> (5.87)	0.47 <sup>b</sup>
	NS	11.50 <sup>bc</sup> (2.95)	22.01 <sup>c</sup> (4.3)	33.60 <sup>b</sup> (5.27)	0.52 <sup>c</sup>
	SN	12.17 <sup>c</sup> (2.36)	23.04 <sup>c</sup> (3.23)	36.20 <sup>c</sup> (7.68)	0.52 <sup>c</sup>
杂种潜力	$h_p$	2.36	1.50	1.60	1.48
杂种优势率/%	$H$	9.38	27.66	27.56	42.47

表 4 稚贝期的存活率(a)杂种潜力和杂种优势(b)  
Tab. 4 Survival rate, hybrid potence and heterosis at juvenile stage

实验组 experimental group	日龄/d age			
	60	90	105	
存活率/% survival rate	NN	61.41 <sup>a</sup> (1.20)	67.74 <sup>a</sup> (1.75)	74.7 <sup>a</sup> (1.56)
	SS	81.68 <sup>b</sup> (1.17)	81.87 <sup>b</sup> (0.33)	80.05 <sup>b</sup> (0.78)
	NS	83.25 <sup>b</sup> (1.27)	84.93 <sup>bc</sup> (0.87)	82.25 <sup>b</sup> (1.48)
	SN	84.60 <sup>b</sup> (0.84)	88.05 <sup>c</sup> (1.48)	86.55 <sup>c</sup> (1.48)
杂种潜力	$h_p$	1.22	1.65	2.63
杂种优势率/% heterosis	$H$	17.30	15.62	9.08

### 3 讨论

贝类的杂交研究最多的当属牡蛎,从种间、亚种间、地理群体间到家系间的杂交都有报道。然而由于生殖隔离的原因,牡蛎的种间杂交很少有成功的<sup>[4]</sup>,但太平洋牡蛎和葡萄牙牡蛎这两个近缘种间不但能够成功地杂交,而且还能取得显著的杂种优势<sup>[6-9]</sup>。

太平洋牡蛎和葡萄牙牡蛎都是优良的养殖品种,特别是前者具有个体大,养殖周期短,产量高,肉质肥美等优点。这两种牡蛎在中国都有自然分布,其中太平洋牡蛎主要分布在北方沿海,而葡萄牙牡蛎则广泛地分别在中国的南北方沿海<sup>[17]</sup>。但中国养殖太平洋牡蛎却是从上世纪 80 年代从日本和澳大利亚引进的外来种<sup>[17]</sup>,主要养殖在我国北方沿海。尽管《中国渔业统计年鉴》中没有区分牡蛎的具体种类,但估计中国太平洋牡蛎的产量约占牡蛎总产量的 1/3。葡萄牙牡蛎主要养殖在我国南方沿海,其产量甚至高于太平洋牡蛎。太平洋牡蛎与葡萄牙牡蛎由于在形态和同工酶上极其相似,曾被误分类为同一物种<sup>[18-19]</sup>。但是,Leitão 等<sup>[20]</sup>运用 G 显带技术显示两种牡蛎具是不同的进化谱系;O' Foighil 等<sup>[21]</sup>和 Boudry 等<sup>[22]</sup>通过线粒体细胞质铬氧化酶亚基 I(COI)基因的研究清晰地显示

出遗传差异。但由于这两个种无生殖隔离,能够产生可育的后代,尽管它们在外形上有差异,Huvet 等<sup>[23]</sup>认为它们属于亚种概念。实际上,早在上世纪 70 年代,Menzel<sup>[19]</sup>就把它归为了两个亚种。最新的 16S rRNA 研究表明,中国南方的僧帽牡蛎是和欧洲的葡萄牙牡蛎是同一个种,而与中国北方的太平洋牡蛎在外形上有些差异,可考虑作为太平洋牡蛎的一个亚种<sup>[10]</sup>。我们通过 16S rRNA 测序也分辨出汕头养殖的太平洋牡蛎实际上是葡萄牙牡蛎,而从青岛引进的是太平洋牡蛎(结果待发表)。由于这两种牡蛎仅属于亚种水平,这为我们的杂交实验奠定了理论基础。

由于太平洋牡蛎的经济价值高,且是世界性分布,所以在进行遗传改良时,常用太平洋牡蛎与其他牡蛎进行杂交。但是种间杂交往往不能够成功,表现在不能受精、受精卵不能孵化、幼虫期死亡率高等几个方面。国外报道能够与 *C. gigas* 产生杂交后代的就只有 *C. rhizophorae*、*C. angulata* 这两个种,国内还没有相关的报道。本研究采用中国青岛北方养殖的太平洋牡蛎和南方汕头养殖的葡萄牙牡蛎为亲本,采用亚种间杂交建立正反交杂种组和采用亚种内自交产生近交组,发现 *C. gigas* 与 *C. angulata* 这两种牡蛎不仅能够成功地杂交,而且在生长、存活等产量性状方面产生显著的杂种优势。

由于生殖隔离是物种鉴定的最基本的依据,所以种间杂交很难产生可存活的且具有繁殖能力的后代,而太平洋牡蛎与葡萄牙牡蛎的杂交属于亚种间的杂交,所以更容易产生可存活的后代。

汕头南澳岛(县)一直被认为是广东省最大的太平洋牡蛎养殖基地<sup>[24]</sup>,但是通过我们的分析发现,南澳岛现在养殖的牡蛎其实是葡萄牙牡蛎。南澳岛养殖的葡萄牙牡蛎近年来也出现了前文提到的诸多问题,且在本地育苗困难,我们希望通过本研究及杂交这一常规而有效的方法解决南澳岛牡蛎养殖中存在的问题,为地方经济发展服务。

#### 参考文献:

- [1] FAO. *Crassostrea gigas* in cultured aquatic species fact sheets [M]. Text by Helm, M. M. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New, 2009.
- [2] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴. 全国海水养殖产量[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [3] 张国范, 刘晓, 阙华勇, 等. 贝类杂交及杂种优势理论和技术研究进展[J]. 海洋科学, 2004, 28(7): 54-60.
- [4] Gaffney P M, Jr Allen S K. Hybridization among *Crassostrea* species: a review [J]. Aquaculture, 1993, 116(1): 1-13.
- [5] 张国范, 郑怀平. 海湾扇贝养殖遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [6] Soletchnik P, Huvet A, Moine O L, et al. A comparative field study of growth, survival and reproduction of *Crassostrea gigas*, *C. angulata* and their hybrids [J]. Aquatic Living Resources, 2002, 15: 243-250.
- [7] Batista F M, Fonseca V G, Hamadou R B, et al. Hybridization and morphological differences between the close related oyster taxa *Crassostrea angulata* and *C. gigas* [J]. Aquaculture, 2007, 242 (S1): 244-245.
- [8] Batista F M, Leitoã A, Fonseca V G, et al. Individual relationship between aneuploidy of gill cells and growth rate in the cupped oysters *Crassostrea angulata*, *C. gigas* and their reciprocal hybrids [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2007, 352: 226-233.
- [9] Batista F M, Hamadou R B, Fonseca V G, et al. Comparative study of shell shape and muscle scar pigmentation in the closely related cupped oysters *Crassostrea angulata*, *C. gigas* and their reciprocal hybrids [J]. Aquatic Living Resources, 2008, 21: 31-38.
- [10] Wang H Y, Qian L M, Liu X, et al. Classification of a common cupped oyster from southern China [J]. Journal of Shellfish Research, 2010, 29(4): 1-10.
- [11] Griffing B. Use of a controlled-nutrient experiment to test heterosis hypotheses [J]. Genetics, 1990, 126: 753-756.
- [12] Hedgecock D, Mcgoldrick D J, Bayne B L. Hybrid vigor in Pacific oyster: an experimental approach using crosses among inbred lines [J]. Aquaculture, 1995, 137(1-4): 285-298.
- [13] Bierne N, David P, Boudry P, et al. Assortative fertilization and selection at larval stage in the mussels *Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis* [J]. Evolution, 2002, 56(2): 292-298.
- [14] Beaumont A R, Turner G, Wood A R, et al. Hybridisations between *Mytilus edulis* and *Mytilus galloprovincialis* and performance of pure species and hybrid veliger larvae at different temperatures [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2004, 302(2): 177-188.
- [15] Zheng H P, Xu F, Zhang G F. Crosses between two subspecies of bay scallop *Argopecten irradians* and heterosis for yield traits at harvest [J]. Aquaculture Research, 2011, 42(4): 602-612.
- [16] Zheng H P, Zhang G F, Guo X M, et al. Heterosis between two stocks of the bay scallop, *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819) [J]. Journal of Shellfish Research, 2006, 25(3): 807-812.
- [17] Guo X M. Use and exchange of genetic resources in molluscan aquaculture [J]. Reviews in Aquaculture, 2009, 1(3-4): 251-259.
- [18] Mathers N F, Wilkins N P, Walne P R. Phosphoglucose isomerase and esterase phenotypes in *Crassostrea angulata* and *C. gigas* [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 1974, 2(2): 93-96.
- [19] Menzel R W. Portuguese and Japanese oysters are the same species [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1974, 31(4): 453-456.
- [20] Leitão A, Thiriot-Quievreux C, Boudry P, et al. A 'G' chromosome banding study of three cupped oyster species: *Crassostrea gigas*, *Crassostrea angulata* and *Crassostrea virginica* (Mollusca: Bivalvia) [J]. Genetic Select Evol, 1999, 31: 519-527.
- [21] O'foighil D, Gaffney P M, Wilbur A E, et al. Mitochondrial cytochrome oxidase I gene sequences support an Asian origin for the Portuguese oyster *Crassostrea angulata* [J]. Marine Biology, 1998, 131: 497-503.
- [22] Boudry P, Heurtebise S, Collet B, et al. Differentiation

- between populations of the Portuguese oyster *Crassostrea angulata* (Lamarck) and Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg), revealed by mtDNA RFLP analysis [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1998, 226(2): 279-291.
- [23] Huvet A, Lapegue S, Magoulas A, et al. Mitochondrial and nuclear DNA phylogeography of *Crassostrea angulata*, the Portuguese oyster endangered in Europe [J]. *Conservation Genetics*, 2000, 1(3): 251-262.
- [24] 许国. 南澳成为广东最大的太平洋牡蛎养殖基地 [J]. *建议与对策*, 2002, 6: 44.

## Hybridization between the two close related species *Crassostrea gigas* and *C. angulata* and heterosis for growth and survival at early stage of life history

ZHENG Huai-ping<sup>1,2\*</sup>, WANG Di-wen<sup>1,2</sup>, LIN Qing<sup>1,2</sup>,  
SUN Ze-wei<sup>1,2</sup>, ZHANG Tao<sup>1,2</sup>, CHEN Xing-qiang<sup>3</sup>

(1. Guangdong Key Laboratory of Marine Biotechnology, Shantou University, Shantou 515063, China;

2. Mariculture Research Center for Subtropical Shellfish & Algae, Education Department of Guangdong, Shantou 515063, China;

3. Fisheries Technology Extension Station of Raoping, Chaozhou 515722, China)

**Abstract:** The Pacific oyster *Crassostrea gigas* and the Portuguese oyster *C. angulata* are two close related species and are also two most important cultured oysters in China, which have been separately cultured in North and South China. In order to improve production by exploring heterosis, two hybrid groups of NS (N ♂ × S ♀) and SN (S ♂ × N ♀) and two purebred groups of NN (N ♂ × N ♀) and SS (S ♂ × S ♀) were established using a diallel cross design with the parents of the Pacific oyster from Qingdao of Shandong (N) and the Portuguese oyster from Shantou of Guangdong (S). The present results showed that hybridization between the two close related species was successful. Two production traits of growth rate and survival rate for hybrids were both improved, and significant heterosis for them was obtained. The hybrids grew faster than the purebreds, and heterosis for growth rate is 37.44% at larvae stage and 42.47% at spat stage, respectively. The hybrids also survived more than the purebreds, and heterosis for survival rate is 76.80% and 107.70% for larvae on day 8 and 14, and 17.30%, 15.62% and 9.08%, for juveniles on day 60, 90, and 105, respectively. Our study showed that some problems influencing oyster production such as difficult breeding seeds, lower survival rate, slower growth, and smaller size could be solved by cross breeding between the close related species.

**Key words:** *Crassostrea gigas*; *C. angulata*; close related species; cross breeding; heterosis

**Corresponding author:** ZHENG Huai-ping. E-mail: hpzheng@stu.edu.cn