

文章编号: 1674-7054(2013)03-0203-06

杂色鲍野生群体与养殖群体自交和杂交子一代的育苗及工厂化养殖

包秀凤¹, 刘建勇¹, 杜涛²

(1. 广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025; 2. 广东海洋大学 高新科技园, 广东 湛江 524025)

摘要: 利用采自越南海域的杂色鲍(*Haliotis diversicolor*)野生群体(Y)及取自湛江海域的九孔鲍(*H. diversicolor supertexta*)养殖群体(Z)进行群体间的杂交和群体内自繁,并对子一代 F_1 的育苗及工厂化养殖效果进行比较。结果表明:各交配组合 F_1 代的受精率、孵化率及幼体附着率均无显著差异($P > 0.05$);稚鲍培育期及工厂化养殖过程中,正交与反交组合 F_1 代的壳长和成活率均显著大于自交组合组($P < 0.05$);受精360 d后,正、反交组合野生鲍自繁(YY)及养殖鲍自繁(ZZ) F_1 代的壳长分别为(51.6 ± 6.8) mm、(49.9 ± 6.7) mm、(44.3 ± 5.4) mm、(41.7 ± 4.6) mm,成活率分别为(87.8 ± 5.0)%、(89.2 ± 4.4)%、(54.5 ± 2.8)%、(73.1 ± 2.4)%;野生鲍自繁(YY) F_1 代的壳长显著大于养殖鲍自繁(ZZ)组($P < 0.05$),但成活率显著低于养殖鲍自繁(ZZ)组。杂交组合所显示出的良好的杂种优势和对环境的适应能力表明,群体间的杂交将可能是养殖杂色鲍遗传改良的有效途径。

关键词: 杂色鲍; 杂交; 杂种优势

中图分类号: S 967.7

文献标志码: A

杂色鲍(*Haliotis diversicolor*)隶属于原始腹足目、鲍科、鲍属,其自然种群主要分布于印度洋、太平洋的热带海区,我国东、南沿海也有分布^[1]。杂色鲍肉质鲜美,营养丰富,具有较高的食用价值和药用价值,属高档绿色食品。杂色鲍的地理亚种——九孔鲍(*H. diversicolor supertexta*)自20世纪90年代我国南方诸省引入养殖以来,由于其具有生长优势,所以迅速成为我国东南沿海的主要养殖品种。多年来,由于杂色鲍生产不注重亲鲍选择和育苗工艺改进,持续近亲交配,从而导致杂色鲍出现种质退化、生长速度慢、抗逆性差、养殖成活率低等问题,目前,我国南方杂色鲍养殖产业面临着严峻的考验^[2-3]。杂交育种是创造变异的重要途径,是动、植物遗传改良的重要手段,其主要作用就是直接利用杂种优势或为育种制备中间材料^[4]。由于种内杂交不存在种间杂交中常出现的诸如配子间的亲合、发育障碍和育性等各种问题,自20世纪70年代以来,贝类同源远交的研究逐渐增多,并取得了较大的进展。已有的研究表明,通过具有显著遗传差异的种内群体间的杂交,许多经济贝类的杂交后代在生产性状上较自交后代表现出明显的优势,如太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)^[5-6]、扇贝(*Chlamys farreri*)^[7-8]、硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)^[9]等。有关鲍鱼的杂交育种,柯才焕等^[10]用杂色鲍与皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)、盘鲍(*Haliotis discus Reeve*)进行杂交育苗试验,开创了我国杂色鲍杂交育苗的先河。游伟伟等^[11]将杂色鲍的日本种群与台湾种群进行杂交,结果显示,不同地理群体间的杂交将可能是养殖杂色鲍遗传改良的有效途径。王小兵等^[3]采用不同养殖群体的杂色鲍进行群体间杂交育苗实验,取得了良好的育苗效果,但生长优势并不明显。笔者对杂色鲍越南野生群体与湛江九孔鲍养殖群体进行杂交,并对杂交与自繁子一代 F_1 的育苗及工厂化养殖效果进行比较研究,旨在为杂色鲍杂种优势利用和新品种选育提供理论和实践基础。

收稿日期: 2013-08-02

基金项目: 广西壮族自治区科技厅科学研究与技术开发计划项目(0992025-23); 广东省海洋与渔业局海洋渔业推广专项项目(A200899E04); 广东省海洋渔业科技推广专项科技攻关与研发项目(A201101B05, A201001H05)

作者简介: 包秀凤(1988-),女,广东湛江人,广东海洋大学水产学院2011级硕士研究生。

通信作者: 刘建勇(1970-),男,教授,博士,主要从事海洋生物遗传育种研究。E-mail: liujy@gdou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 实验材料 杂色鲍野生群体采自越南白龙岛一带海域,湛江群体购自湛江硇洲岛鲍鱼养殖场,养殖群体为从台湾引进的九孔鲍的多代自繁后代,多年来,由于杂色鲍的亚种——“九孔鲍”自我国台湾省的引进并与我国南方沿海已有杂色鲍群体的杂交及鲍鱼苗种在不同养殖区域的频繁交流,从而造成我国杂色鲍养殖群体的来源不明确。本实验鲍鱼均暂养在广西海信养殖场,经催熟,选择性腺成熟的个体作为亲贝。

1.2 交配组合 利用采自越南海域的杂色鲍野生群体(Y)及取自湛江九孔鲍养殖群体(Z)进行群体间的杂交和群体内自繁,设计4个交配组合:野生鲍自繁($Y \times Y$,简称YY)、养殖鲍自繁($Z \times Z$,简称ZZ)、野生群体与养殖群体正交($Y \times Z$,简称YZ)和反交($Z \times Y$,简称ZY)。

1.3 亲贝催产 2010年3月,分别从养殖群体和野生群体中挑选出性腺成熟的亲鲍,雌、雄数量分别为20只和10只。采用阴干、紫外线照射过滤海水和流水刺激相结合的方法进行催产,雌雄分开。生殖产物分别收集,按实验方案进行授精,用于杂交的卵子限于排放后0.5h以内,精子选取上层活力强的。授精水温为25.5℃,盐度为30。

1.4 幼体及稚鲍培育 幼体培育在室内5m³水泥池中进行,每个交配组合设3个重复,分别放入3个水泥池中,共12个池,池中有提前7d培养的底栖硅藻,用聚乙烯透明薄膜作为底栖硅藻以及幼体和稚鲍的附着基。经过30d的培育,当稚鲍壳长至约3.0mm时,用软毛刷将稚鲍直接剥离,放入有4脚砖的5m³水泥池中进行培育,放养密度为4000~5000只·m⁻³,以切碎的江蓠作饵料。

1.5 工厂化养殖 卵子受精后的第180天,当幼鲍壳长至约1.5cm时,可剥离进行工厂化养殖。工厂化养殖在广西海信养殖场的陆上水泥池中进行,养殖水泥池规格为:6.0m×4.5m×1.7m,池两端分别设置进出水口。养殖笼规格为:30cm×41cm×12.5cm,上下重叠,每9个笼捆绑在一起,放入养殖池中。每个组合设3个平行组,随机挑选幼鲍放入养殖笼中,每笼放养鲍苗数量为40只。养殖过程中每隔2个月随机取样测量各组合鲍的壳长,并记录鲍存活情况。采用的饵料为细基江蓠,视摄食情况每隔4~5d投喂1次。养殖用海水经沉淀、过滤后再投入使用,日换水量为养殖水体的1~1.5倍,24h充气,定时记录气温、水温、盐度、pH值、溶解氧等环境因子的变化情况。

1.7 数据测量与统计处理 以卵子在受精后出现二分裂为受精指标,受精率、孵化率的计算公式为:

$$\text{受精率} = \text{受精卵密度} / \text{卵子密度} \times 100\%$$

$$\text{孵化率} = \text{受精后24h面盘幼虫密度} / \text{受精卵密度} \times 100\%$$

按照ROBERTS^[12]对鲍的附着与变态指标的定义,附着指标为浮游面盘幼体开始停靠在基质的表面这一行为;变态则是指幼体浮游器官面盘的崩解脱落以及次生壳的长出。实验在受精72h后,计算4个组别幼体的附着数量和附着率,在受精7d后,计算4个组别幼体的变态数量和变态率。参照KANG和KIM^[13]的实验方法,幼体附着率及变态率的计算公式为:

$$\text{幼体附着率} = \text{附着个体数} / \text{实验总个体数} \times 100\%$$

$$\text{幼体变态率} = \text{变态个体数} / \text{附着个体数} \times 100\%$$

幼体成活率计算公式:

$$\text{幼体成活率} = \text{剥离个体数} / \text{实验总个体数} \times 100\%$$

在受精后的第60、120、180、240、300天测量稚贝各个生长时期的壳长、壳质量,在受精后的第180天,稚贝和最后1次测量时统计各组合的工厂化养殖的成活率情况。参照CRUZ和IBARRA^[7]的方法计算杂交子代的杂种优势(H)。测量工具为游标卡尺(精度±0.02mm),每次每个重复组随机测量个体数量均为30只。

养殖成活率及杂种优势的公式为:

$$\text{稚鲍培育存活率} = \text{受精后第180天时总个体数} / \text{受精后第30天时总个体数} \times 100\%$$

$$\text{养殖存活率} = \text{存活个体数} / \text{稚鲍放养个体数} \times 100\%$$

$$\text{杂种优势 } H = [F_1 - 0.5 \times (P_1 + P_2)] / 0.5 \times (P_1 + P_2) \times 100\%$$

式中 F_1 、 P_1 、 P_2 分别表示杂种一代、亲本1和亲本2的特定性状的平均值,H代表杂种一代的杂种优势。

实验数据采用平均数 \pm 标准差表示, 使用 SPSS(v13.0) 统计软件对数据进行处理, 统计分析方法为方差分析(ANOVA), 当方差分析存在显著差异时, 采用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 各组合 F_1 受精率、孵化率、幼体培育期附着率、变态率和成活率 从表 1 可知, 各交配组合 F_1 代的受精率均在 90% 以上, 孵化率和幼体附着率在 80% ~ 90% 之间。方差分析结果表明, 各组合受精率、孵化率、幼体培育期附着率均无显著差异 ($P > 0.05$)。野生群体与养殖群体正交 (YZ)、反交 (ZY) 及野生鲍自繁 (YY) 的幼体培育期变态率分别为 75.5%、75.1% 和 75.6%, 3 个组合的成活率差异不显著, 但显著大于养殖鲍自繁 (ZZ) 组的成活率 (25.3%)。另外, 杂交组合的成活率均在 40% 以上, 显著大于自交组合 ($P < 0.05$)。

表 1 4 个交配组合 F_1 的受精率、孵化率、附着率、变态率和成活率

Tab. 1 Fertilization rates, hatching rates, settlement rates, metamorphosis rates and survival rates of larvae in different hybrid combinations $\bar{x} \pm s$

交配组合 Hybrid combinations	受精率/% Fertilization rates	孵化率/% Hatching rates	附着率/% Settlement rates	变态率/% Metamorphosis rates	幼体成活率/% Survival rates
Y \times Y	94.7a \pm 1.9	85.6a \pm 2.0	85.8a \pm 4.3	75.6a \pm 1.0	32.6b \pm 4.9
Z \times Z	94.2a \pm 1.8	85.3a \pm 3.3	85.3a \pm 4.3	65.3b \pm 5.1	25.3c \pm 4.2
Y \times Z	94.2a \pm 1.9	85.8a \pm 4.3	86.3a \pm 1.9	75.5a \pm 5.3	42.5a \pm 5.5
Z \times Y	94.6a \pm 1.2	85.1a \pm 2.3	85.1a \pm 4.4	75.1a \pm 6.3	45.1a \pm 6.5

注: 同列(行) 右上角标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同

Note: Values in the same column (row) with different superscripts are significantly different each other ($P < 0.05$), similarly hereinafter

2.2 稚鲍的培育和工厂化养殖情况 从表 2 可知, 稚鲍培育期结束时, 野生群体与养殖群体正交与反交组合 F_1 代的壳长分别为 (17.1 \pm 1.8) mm 和 (16.9 \pm 1.6) mm, 显著大于自交组合的壳长。正交与反交组合的 F_1 代的稚鲍培育成活率分别为 (77.1 \pm 5.0)% 和 (72.9 \pm 4.4)%, 显著大于 2 个自交组合的成活率 ($P < 0.05$), 而自交组合稚鲍培育成活率也存在显著差异 ($P < 0.05$)。

工厂化养殖过程中, 各测量时期, 野生群体与养殖群体正交与反交组合 F_1 代的壳长和成活率均显著大于自交组合, 2 个自交组合壳长与培育成活率也存在显著差异 ($P < 0.05$)。最后 1 次测量时(受精后第 360 天), 野生群体与养殖群体正交与反交组合 F_1 代的壳长分别为 (51.6 \pm 6.8) mm, (49.9 \pm 6.7) mm, (44.3 \pm 5.4) mm, (41.7 \pm 4.6) mm, 成活率分别为 (87.8 \pm 5.0)%, (89.2 \pm 4.4)%, (54.5 \pm 2.8)%, (73.1 \pm 2.4)%。

表 2 4 个交配组合 F_1 稚鲍培育和工厂化养殖过程中的生长情况及成活率

Tab. 2 Shell length and survival rates of juveniles and adults of *Haliotis diversicolor* in different hybrid combinations $\bar{x} \pm s$

交配组合 Hybrid combinations	稚鲍期壳长/mm Shell length of the juveniles			稚鲍培育 存活率/% Survival rates of juvenile	养成期壳长/mm Shell length of the grow-outs			养殖存活率/% Survival rates of the grow-outs
	60 d	120 d	180 d		240 d	300 d	360 d	
Y \times Y	4.7b \pm 0.7	8.9b \pm 0.9	15.8b \pm 1.6	44.8c \pm 3.8	23.3b \pm 2.3	37.2b \pm 3.3	44.3b \pm 5.4	54.5c \pm 2.8
Z \times Z	4.4b \pm 0.8	8.9b \pm 1.1	14.1c \pm 1.6	57.1b \pm 5.1	21.3c \pm 2.5	31.2c \pm 3.6	41.7c \pm 4.6	73.1b \pm 2.4
Y \times Z	5.8a \pm 1.0	10.9a \pm 1.4	17.1a \pm 1.8	77.1a \pm 5.0	25.4a \pm 2.2	39.4a \pm 3.4	51.6a \pm 6.8	87.8a \pm 5.0
Z \times Y	5.3a \pm 0.8	10.7a \pm 1.2	16.9a \pm 1.6	72.9a \pm 4.4	24.9a \pm 2.21	38.4a \pm 3.8	49.9a \pm 6.7	89.2a \pm 4.4

2.3 杂种优势 从表 3 可以看出, 正交与反交组合的 F_1 代均表现出明显的杂种优势, 且正交组的生长杂种优势在同一时期稍大于反交组, 但总体差别不大; 稚鲍期(受精后 180 d) 的成活率杂种优势大于养成期(受精后 360 d)。

表 3 2 个交配组合在稚鲍期和养成期的生长杂种优势及成活率的双亲杂种优势
Tab. 3 Heterosis of the survival and growth of two hybrid combinations at the juvenile and grow-out stages

交配组合 Hybrid combinations		t/d					
		60	120	180	240	300	360
生长杂种优势 / %	Y × Z	27.47	22.47	14.38	13.9	15.20	20.00
Heterosis of growth rates	Z × Y	16.48	20.22	13.04	11.66	12.28	16.05
成活率杂种优势 / %	Y × Z			51.32			38.62
Heterosis of survival rates	Z × Y			43.08			39.81

3 讨论

精卵的有效识别是受精的重要前提,实质上是性细胞表面糖蛋白及其受体的相互作用识别的过程^[14-15],因而受精一般具有较强的种属特异性^[16-17]。一些海洋生物种间杂交的受精率一般低于自繁组合,且正交与反交的受精率存在差异的结果不一致^[18-19]。柯才焕等^[10]对杂色鲍与皱纹盘鲍、盘鲍杂交的初步研究显示,鲍属内的杂交是比较容易发生的,由于亲缘关系的疏近不同,从而导致各种杂交组合的受精率差异显著,无论哪个组合的杂色鲍作为雌性亲本的杂交受精率均比反交的有较大提高。而骆轩等^[20]并不完全认同这一观点,他们研究西氏鲍(*Haliotis sieboldii* Reeve)与盘鲍杂交时发现,除了在水温为 21.4℃时西氏鲍与盘鲍正交与反交出现受精率差异较大外(正交组受精率为 82.7%,反交组受精率为 27.78%),其余批次正交与反交的杂交受精率均相差不大。笔者利用越南海域的杂色鲍野生群体与取自湛江的九孔鲍养殖群体进行群体间的杂交和群体内自繁,结果发现,其 F₁ 代的受精率均比较高,且自交组和杂交组的受精率差异不大,这与游伟伟等^[11]对杂色鲍日本群体与台湾群体的杂交组合并不存在授精时配子间不亲和问题的观点相符。不同种群间遗传距离的远近是鲍鱼不同地理群体间杂交效果的决定性因素,但如亲本鲍自身的营养条件、个体大小、性腺发育情况、养殖环境(水温、海水的洁净度)等综合因素也可能对亲本鲍排放的精、卵活力及受精产生影响,从而影响到杂交育苗的效果^[10,21]。影响杂交受精率的因素有以下观点:1) 卵子活力的差异是造成同种鲍鱼或异种鲍鱼杂交受精率低且可变性高的主要原因^[22];2) 遗传不兼容性,这可能与种间或种内之间的遗传距离有关^[23];3) 卵子排放的时间和精子浓度^[24]。此外,游伟伟等^[11]研究杂色鲍日本群体与台湾群体杂交显示,杂交组与自繁组之间的附着率和变态率存在显著差异,杂交提高了杂色鲍的附着率和变态率。本研究结果也显示,各组合 F₁ 的附着率及变态率均无显著差异。因此,影响同种不同地理群体间杂交的附着率及变态率的因素等问题有待进一步的探索与研究。

虽然对贝类杂种优势机理的解释尚存在争议,但一般认为自然群体中贝类的存活、生长和繁殖力等适合度与多态位点之间呈正相关关系^[25-26]。本研究结果表明,正反交组合的 F₁ 代在稚鲍期和养成期的生长及存活率方面均表现出明显的杂种优势。这种现象也见于对其他贝类的杂种优势的研究结果,比如刘小林等^[27]用栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)养殖种群、野生种群与俄罗斯种群相互杂交,发现无论是正交还是反交,所得杂种 F₁ 代的各个性状均表现不同程度的杂种优势,其范围在 3%~52% 之间。常亚青等^[28]对栉孔扇贝中国种群与日本种群杂交一代的早期生长发育进行了研究,发现杂交组壳长、壳高、壳宽的杂种优势在 23%~30% 之间,成活率的杂种优势在 10% 以上。PEDRO 和 IBARRA^[29]发现,海湾扇贝(*Argopecten irradians*)的杂交种群在存活率和体格上表现出较高的杂种优势。海湾扇贝幼体阶段杂交家系的生长杂种优势为 35%,存活率杂种优势也达到 19.93%^[30]。本研究中杂色鲍杂交组在 60 d 时,正交组合的壳长杂种优势高达 27.47%,其成活率杂种优势在 180 d 时高达 51.32%。在近缘物种的研究中,皱纹盘鲍中国群体和日本群体^[31]、杂色鲍日本群体与台湾群体^[11]间的杂交也显示出明显的生长与存活率杂种优势。

杂种优势遗传机理极其复杂,一个杂交组合能否表现杂种优势,不仅与双亲遗传差异有关,而且还与双亲遗传背景、所携带等位基因的类型、基因效应种类以及环境等一系列因素有关^[32]。于涛^[33]用栉孔扇贝和虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)进行杂交的结果显示,种间杂交产生 F₁ 群体的杂种优势遗传机理,可能来源于其遗传多样性水平的升高和 DNA 胞嘧啶甲基化水平的降低。本研究中,野生自繁组及杂交

组与养殖群体的自繁 F_1 代比较, 在生长性能与成活率方面均显示出显著的优势, 这可能是由于野生群体与养殖群体存在着较大的遗传差异, 杂交提高了 F_1 代的遗传多样性之缘故。杂色鲍亚种一九孔鲍自 20 世纪 90 年代从我国台湾引入我国大陆南方诸省以来, 由于其具有生长优势, 所以迅速取代了杂色鲍而成为我国东南沿海的主要养殖品种。与许多贝类相类似, 杂色鲍产卵量高, 育苗生产中存在少数几个亲本的后代替代了整个养殖群体的潜力, 生产上选用的亲鲍多选自上一代养殖群体, 杂色鲍的这种生物学特性、生产上封闭的繁殖方式, 以及多年来杂色鲍生产不注重亲鲍选择、育苗工艺改进和雌雄比例的控制等, 从而很容易导致杂色鲍养殖群体的近交衰退和遗传多样性的降低。针对我国南方杂色鲍种苗生产及养殖中出现的生长速度慢、成活率低等现象, 采用不同遗传背景的种群或群体进行种内杂交, 可能是养殖杂色鲍遗传改良的有效途径。本研究使用不同地理群体间进行杂交, 不仅受精率高, 而且可以获得明显的生长和成活率杂种优势, 有利于保护种质资源, 这与王小兵等^[3] 研究结果一致。因此, 利用鲍的不同地理群体进行杂交育苗是一个比较有效的遗传改良途径。

参考文献:

- [1] 王如才. 中国水生贝类原色图鉴 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1988: 16.
- [2] YOU W W, KE C H, LUO X, et al. Growth and survival of three small abalone *Haliotis diversicolor* populations and their reciprocal crosses [J]. *Aquaculture Research* 2009, 40 (13): 1474 - 1480.
- [3] 王小兵, 黄勃. 杂色鲍杂交及选育育苗的效果研究 [J]. *渔业现代化*, 2008, 35 (5): 25 - 28.
- [4] 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.
- [5] HEDGECOCK D, MCGOLDRICK D J. Bayne BL. Hybrid vigor in Pacific oysters: an experimental approach using crosses among inbred lines [J]. *Aquaculture*, 1995, 137 (1/4): 285 - 298.
- [6] HEDGECOCK D, DAVIS J P. Heterosis for yield and crossbreeding of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* [J]. *Aquaculture*, 2007, 272: S17 - S29.
- [7] CRUZ P, IBARRA A M. Larval growth and survival of two catarina scallop (*Argopecten circularis*) populations and their reciprocal crosses [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1997, 212 (1): 95 - 110.
- [8] ZHANG H, LIU X, ZHANG G, et al. Growth and survival of reciprocal crosses between two bay scallops, *Argopecten irradians concentricus* Say and *A. irradians irradians* Lamarck [J]. *Aquaculture*, 2007, 272: S88 - S93.
- [9] MANZI J J, HADLEY L E, DILLON R T. Hard calm, *Mercenaria mercenaria* broodstocks: growth and selected hatchery stocks and their reciprocal crosses [J]. *Aquaculture*, 1991, 94: 17 - 26.
- [10] 柯才焕, 田越, 周时强, 等. 杂色鲍与皱纹盘鲍、盘鲍杂交的初步研究 [J]. *海洋科学*, 2000, 24 (11): 39 - 41.
- [11] 游伟伟, 柯才焕, 蔡明夷, 等. 杂色鲍日本群体与台湾群体杂交的初步研究 [J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2005, 44 (5): 701 - 705.
- [12] ROBERTS R. A review of settlement cues for larval abalone (*Haliotis* spp.) [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2001, 20 (2): 571 - 586.
- [13] KANG K H, KIM B H, KIM J M. Induction of larval settlement and metamorphosis of the abalone, *Haliotis discus hannai* larvae using bromomethane and potassium chloride [J]. *Aquaculture*, 2004, 230(1/4): 249 - 259.
- [14] 王洲, 熊良伟, 王帅兵, 等. 贝类受精细胞学的研究现状 [J]. *齐鲁渔业*, 2006, 23 (4): 13 - 16.
- [15] VACQUIER V D. Evolution of gamete recognition protein [J]. *Science*, 1998, 281: 1995 - 1998.
- [16] DUNBAR B S, OCRAND, MICHAEL G. A comparative overview of mammalian fertilization [M]. New York: Plenum Press, 1991.
- [17] YANAGIMACHI R. Mammalian fertilization [M]. New York: Raven Press, 1994.
- [18] RAWSON P D, SLAUGHTER C, YUND P O. Patterns of gamete compatibility between the blue mussels *Mytilus edulis* and *M. trossulus* [J]. *Mar. Biol.*, 2003, 143 (2): 317 - 325.
- [19] ASLAN L M, UEHARA T. Hybridization and F_1 backcrosses between two closely related tropical species of searhchins (genus *Echinometra*) in Okinawa [J]. *Inv. Rep. Dev.*, 1997, 31 (1/3): 319 - 324.
- [20] 骆轩, 游伟伟, 柯才焕, 等. 西氏鲍与盘鲍杂交育苗的初步研究 [J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2006, 45 (5): 602 - 605.
- [21] 苏芳, 王小兵, 黄勃. 杂色鲍的杂交育苗研究 [J]. *热带生物学报*, 2011, 2 (1): 63 - 66.
- [22] FARUQ A, YASUYUKI K, CARLOS A S, et al. Genetic characterization and gonad development of artificially produced interspecific hybrids of the abalones, *Haliotis discus* Reeve, *Haliotis gigantea* Gmelin and *Haliotis madaka* Habe [J]. *Aquaculture Research*, 2008, 39: 532 - 541.

- [23] AN H S , JEE Y J , MIN K S , et al. Phylogenetic analysis of six species of Pacific abalone (*Haliotidae*) based on DNA sequences of 16s rRNA and cytochrome oxidase subunit I mitochondrial genes [J]. *Marine Biotechnology* , 2005 (7) : 373 – 380.
- [24] 蔡明夷,柯才焕,王桂忠,等. 杂色鲍与盘鲍种间杂交受精率的影响因素[J]. *中国水产科学* , 2006 , 13 (2) : 230 – 236.
- [25] MITTON J B , GRANT M C. Associations among protein heterozygosity , growth rate , and developmental homeostasis [J]. *Annual Review of Ecology and Systematic* , 1984 , 15: 479 – 499.
- [26] ZOUROS E , FOLTZ D W. The use of allelic isozyme variation for the study of heterosis [J]. *Isozymes* , 1987 , 13: 1 – 59.
- [27] 刘小林,常亚青,相建海,等. 栉孔扇贝不同种群杂交效果的研究 II: 中国种群和俄罗斯种群及其杂种 F₁ 中期生长发育[J]. *海洋学报* , 2005 , 27 (2) : 135 – 140.
- [28] 常亚青,相建海. 栉孔扇贝中国种群与日本种群杂交一代的早期生长发育[J]. *水产学报* , 2002 , 26 (5) : 385 – 390.
- [29] CRUZ P , IBARRA A M. Larval growth and survival of two *Catarina scallop* populations and their reciprocal crosses [J]. *J ExpMar BiolEcol* , 1997 , 212 (1) : 95 – 110.
- [30] 张国范,刘述锡,刘晓,等. 海湾扇贝自交家系的建立和自交效应[J]. *中国水产科学* , 2003 , 10 (6) : 441 – 445.
- [31] 张国范,王继红. 皱纹盘鲍中国群体和日本群体的自交与杂交 F₁ 的 RAPD 标记[J]. *海洋与湖沼* , 2002 , 33 (5) : 484 – 491.
- [32] 许明辉. 烟草数量性状遗传距离与杂种优势关系的研究[J]. *遗传* , 1999 , 21 (5) : 47 – 50.
- [33] 于涛. 栉孔扇贝(♀) × 虾夷扇贝(♂) 杂种优势遗传机理的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.

Larval Breeding and Commercial Scale Culture of F₁ Abalones from Selfing of and Crossing Between the Wild Population (*Haliotis diversicolor*) and the Cultured Population of *H. diversicolor supertexta*

BAO Xiufeng¹ , LIU Jianyong¹ , DU Tao²

(1. Institute of Aquaculture , Guangdong Ocean University , Zhanjiang 524088 , China;

2. High and New Science and Technology Park , Guangdong Ocean University , Zhanjiang 524025 , China)

Abstract: The growth and survival of the first generation of abalones from inbreeding of and crossing between a wild abalone (*Haliotis diversicolor*) population sampled from Vietnam (Y) and a cultured population sampled from Zhanjiang , Guangdong Province (Z) in intensive culture conditions were compared. The results showed that there were no significant differences in fertilization rate , hatching rate and larval settlement rate ($P > 0.05$). However , the cross combinations showed heterosis in larval metamorphosis rate , survival rate and growth at early juvenile , late juvenile and grow-out stages as compared to the self-fertilized groups. The larval metamorphosis rates of direct crossing group YZ , reverse crossing group ZY and YY group were significantly higher than those of the ZZ group. The first generations of the two cross combinations were always significantly higher in shell length and survival rate than those of the two self-fertilized groups at juvenile and grow-out stages ($P < 0.05$). At the last sampling date 360 days after fertilization , the YZ , ZY , YY and ZZ groups had the respective shell length of (51.6 ± 6.8) mm , (49.9 ± 6.7) mm , (44.3 ± 5.4) mm and (41.7 ± 4.6) mm , and the respective survival rates of (87.8 ± 5.0) % , (89.2 ± 4.4) % , (54.5 ± 2.8) % and (73.1 ± 2.4) % . The shell length of the YY group was significantly higher than that of the ZZ group ($P < 0.05$). However , the survival rate of the YY group was lower than that of the ZZ group ($P < 0.05$). The good heterosis and environmental adaptation of these cross combinations indicated that the cross between genetically different stocks may be an effective way for genetic improvement of small abalone *H. diversicolor*.

Key words: *Haliotis diversicolor*; hybridization; heterosis