

## 香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交及回交子代早期生长发育比较

霍忠明<sup>1</sup>, 王昭萍<sup>1\*</sup>, 梁 健<sup>2</sup>, 刘 振<sup>2</sup>, 沈建平<sup>1</sup>,  
张跃环<sup>3</sup>, 姚 托<sup>1</sup>, 苏家齐<sup>1</sup>, 于瑞海<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 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, 辽宁 大连 116023;

3. 中国科学院南海海洋研究所, 海洋生物资源可持续利用重点实验室, 广东 广州 510301)

**摘要:** 为评估香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交及回交育种的可行性, 以香港巨牡蛎与近江牡蛎为实验对象, 比较了两种牡蛎杂交与回交子代的受精率、孵化率、幼虫及稚贝的生长和存活率。结果表明, 香港巨牡蛎卵子可以与近江牡蛎精子受精, 受精率为  $47.33\% \pm 2.52\%$ , 但近江牡蛎卵子与香港巨牡蛎精子不受精。在回交实验中, 香港巨牡蛎(H♀)与近江牡蛎(A♂)的杂交牡蛎(HA)与香港巨牡蛎(HH)或近江牡蛎(AA)都可以正常交配, 但各回交组受精率明显低于两牡蛎自交组。幼虫期, HA 幼虫存活率明显低于两牡蛎自交组 HH 和 AA; HA 幼虫生长快于 AA, 但慢于 HH; A♀×HA♂ 回交组和 HA 自繁组的幼虫存活率为 0。稚贝期, HA 稚贝存活率与 HH、AA 自交组存活率差异不显著。HA 稚贝生长快于 HH, 但慢于 AA。另外, 研究发现 H♀×HA♂ 回交组幼虫和稚贝的生长与 HA 差异不显著, 优于其它回交组。

**关键词:** 香港巨牡蛎; 近江牡蛎; 杂交; 生长; 存活

**中图分类号:** Q 321<sup>+</sup>.2; S 968.3

**文献标志码:** A

种间杂交是针对常规育种难以解决的问题或旨在人工创造新类型而制定的, 其潜在的遗传变异很大<sup>[1]</sup>。种间杂交可应用于动植物改良, 基因和基因组作图, 染色体行为研究和进化研究等各个动植物遗传育种学的研究领域<sup>[2]</sup>。贝类种间杂交起源于牡蛎<sup>[3]</sup>, 在国外, 学者先后开展了太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)×美洲牡蛎(*C. virginica*)、太平洋牡蛎(*C. gigas*)×熊本牡蛎(*C. sikamea*)、近江牡蛎(*C. rivularis*)×美洲牡蛎(*C. virginica*)、美洲牡蛎(*C. virginica*)×近江牡蛎(*C. ariakensis*)<sup>[4-10]</sup>等杂交组合的研究, 并证明部分种间牡蛎的精卵能够结合, 并正常发育<sup>[10]</sup>。在国内, Xu 等<sup>[11]</sup>报道了近江牡蛎与熊本牡蛎的杂交研究, 发现两牡蛎间存在单向受精现象。郑怀平等<sup>[12]</sup>进行了太平洋牡蛎和葡萄牙牡蛎(*C. angulata*)两近缘种杂交研究, 发现这两近缘种之

间杂交具有显著的杂种优势, 杂交后代的生长与存活性状都得到改良。张跃环等<sup>[13]</sup>建立了太平洋牡蛎×香港巨牡蛎(*C. hongkongensis*)45 个杂交家系, 系统地研究了两牡蛎间杂交后代的生长与发育情况。

在育种工作中, 常利用回交的方法来加强杂种个体中某一亲本的性状表现。回交育种在培育抗病小麦(*Triticum aestivum* Linn)、水稻(*Oryza sativa*)等经济作物新品系的应用比较广泛<sup>[14]</sup>。在水产动物方面, 关于牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)与夏鲆(*Paralichthys dentatus*)<sup>[15]</sup>, 鲤(*Cyprinus carpio*)和鳙(*Hypophthalmichthys nobilis*)<sup>[16]</sup>, 红鲫和乌龙鲫<sup>[17]</sup>的回交研究已有报道, 而且, 回交育种已应用于培育耐盐罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[18]</sup>新品种中。但回交育种在贝类上的应用尚属于探索阶段。

收稿日期:2012-11-05 修回日期:2013-04-10

资助项目:国家自然科学基金项目(31172403);国家重点基础研究发展规划项目(2010CB126403)

通信作者:王昭萍, E-mail:zpwang@ouc.edu.cn

香港巨牡蛎与近江牡蛎的分类问题一直存在争议。近年来,王海艳等<sup>[19-21]</sup>采用线粒体基因(16S rRNA, COI)和核基因(28S rRNA)序列测定和比对的方法对近江牡蛎中的“赤蚝”和“白蚝”进行了分子系统学分析,最终将“白蚝”定名为香港巨牡蛎(*C. hongkongensis*),“赤蚝”定名为近江牡蛎(*C. ariakensis*)。香港巨牡蛎主要分布于中国南方的广东和福建沿海,其肉柱肥大、肉质白嫩、细腻、味道鲜美,深受我国消费者喜爱,市场价格远超过其它牡蛎品种。但香港巨牡蛎属于高温、低盐种,在我们的研究中发现,香港巨牡蛎在我国北方海区冬季出现大规模死亡现象,并不适于推广养殖。相比之下,近江牡蛎在我国南北沿海均有分布,属广温广盐种,但其肉质及市场价格不及香港巨牡蛎。因此,本研究采用种间杂交及回交的方法,探索了香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交及回交的可行性,为培育一种肉质优良,并适于北

方冬季低温环境养殖的牡蛎新品种奠定一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 亲本来源

于2011年5月,以香港巨牡蛎、近江牡蛎及培育出的香港巨牡蛎(♀)×近江牡蛎(♂)杂交1龄牡蛎作为实验材料,并将亲本挂于生态池中养成、促熟。当亲本性腺成熟时,移入室内待产。

### 1.2 实验设计

分别解剖性腺成熟的牡蛎材料,并使用显微镜观察,分别挑选具有成熟卵子及精子的香港巨牡蛎、近江牡蛎及香港巨牡蛎(♀)×近江牡蛎(♂)的杂交牡蛎,各3雄3雌,分别将每种牡蛎的3个亲本的卵子或精子混合于盛有新鲜海水的5 L筒中。按表1方法进行交配,并设置3个重复。

表1 香港巨牡蛎和近江牡蛎杂交及回交实验设计

Tab. 1 The experimental design of the hybridization and backcrossing between *C. hongkongensis* and *C. ariakensis*

	♀ HH	♀ AA	♀ HA
♂ HH	♀ H × ♂ H (HH)	♀ A × ♂ H (AH)	♀ HA × ♂ H (HAH)
♂ AA	♀ H × ♂ A (HA)	♀ A × ♂ A (AA)	♀ HA × ♂ A (HAA)
♂ HA	♀ H × ♂ HA (HHA)	♀ A × ♂ HA (AHA)	♀ HA × ♂ HA (HAHA)

注:HH. 香港巨牡蛎;AA. 近江牡蛎;HA. 香港巨牡蛎(♀)与近江牡蛎(♂)的杂交牡蛎;AH. 近江牡蛎(♀)与香港巨牡蛎(♂)的杂交牡蛎;HAH. HA(♀)与HH(♂)的回交牡蛎;HAA. HA(♀)与AA(♂)的回交牡蛎;HHA. HH(♀)与HA(♂)的回交牡蛎;AHA. AA(♀)与HA(♂)的回交牡蛎;HAHA. HA自交组。

Notes:HH. *C. hongkongensis*;AA. *C. ariakensis*;HA. hybridization of HH(♀) and AA(♂);AH. hybridization of AA(♂) and HH(♀);HAH. hybridization of HA(♀) and HH(♂);HAA. hybridization of HA(♀) and AA(♂);HHA. hybridization of HH(♀) and HA(♂);AHA. hybridization of AA(♀) and HA(♂);HAHA. inbreeding within HA.

### 1.3 幼虫及稚贝的培育

幼虫在60 L的塑料桶中培育,密度为3~4个/mL。每天换水1次,换水量为100%。饵料投喂,幼虫期前3天为湛江等鞭金藻(*Isochrysis zhangjiangensis*),后期为湛江等鞭金藻、小球藻(*Chlorella vulgaris*)(1:1)混合投喂,投饵量随幼虫生长而增加。为防止不同实验组幼虫之间混杂,换水网箱单独使用。幼虫培育期间,水温为26~28℃,盐度为25~28,pH为8。为了消除培育密度的影响,在幼虫期定期对密度进行调整,使每个重复密度保持一致。幼虫变态期间,以波纹板作为附着基,稚贝培育水温为20~25℃,投饵量随着稚贝摄食量增大而增加。50日龄以后,将各实验组稚贝剥离波纹板,各实验组仍保留3个重复,并以每袋平均100粒的数量

分别装入聚乙烯网袋,移入生态池进行中间育成。

### 1.4 数据测量

使用显微镜,分别测量各实验组的3、6、9、12、15日龄的壳高。使用游标卡尺测量50、70、90、110日龄的壳高。每个重复随机测量30个个体。

受精率为受精2 h后,各实验组发育的卵和总卵量的百分比。孵化率为各实验组D型幼虫与受精卵的百分比。幼虫存活率为各实验组幼虫15日龄的密度与D型幼虫密度的百分比。稚贝存活率为110日龄的稚贝数量与50日龄稚贝数量的百分比。

### 1.5 数据分析

采用统计软件R作图,并进行单因素方差分

析及 SNK 比较统计分析。

## 2 结果

### 2.1 香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交、回交实验组的受精率、孵化率比较

香港巨牡蛎卵子可以与近江牡蛎精子受精,受精率为  $47.33\% \pm 2.52\%$  (图 1),但近江牡蛎的卵子与香港巨牡蛎精子间不受精。在回交实验中,香港巨牡蛎(H♀)与近江牡蛎(A♂)的杂交子代(HA)与香港巨牡蛎(HH)或近江牡蛎(AA)都可以正常交配,各回交组受精率由高到底为 HHA ( $53.00\% \pm 2.65\%$ ) > AHA ( $50.00\% \pm 2.00\%$ ) > HAH ( $47.33\% \pm 2.00\%$ ) > HAA ( $28.33\% \pm 1.53\%$ ),均明显低于两牡蛎自交组 ( $P < 0.05$ )。受精后,HA 与 AA 回交组的孵化率最低,分别为  $20.33\% \pm 2.08\%$  ( $A♀ \times HA♂$ ),  $55.67\% \pm 2.52\%$  ( $HA♀ \times A♂$ ),其它各实验组孵化率均大于 70%。方差分析表明,自交组 HH 和 AA 的孵化率显著高于杂交及回交组 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

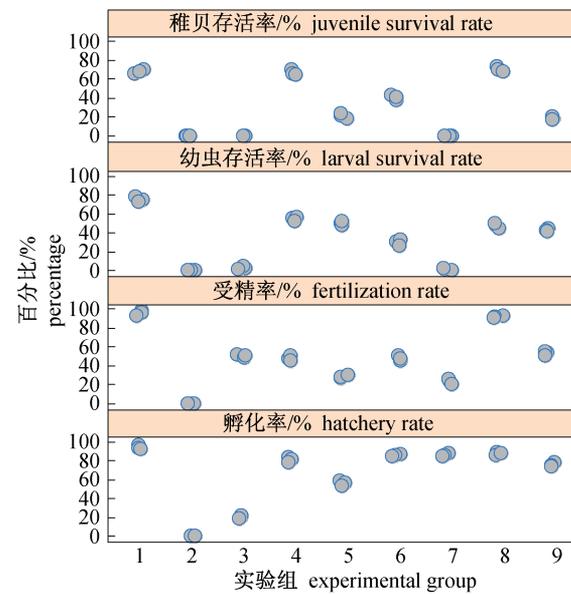


图 1 香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交及回交受精率、孵化率、幼虫存活率及稚贝存活率

Fig. 1 The fertilization rate, hatchery rate, larval and juvenile survival of the hybridization and backcrossing of *C. hongkongensis* and *C. ariakensis*

1. AA, 2. AH, 3. AHA, 4. HA, 5. HAA, 6. HAH, 7. HAHA, 8. HH, 9. HHA.

表 2 香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交及回交受精率、孵化率、存活率和生长的方差分析及 SNK 比较

Tab. 2 The variance analysis and SNK comparisons of the fertilization rate, hatchery rate, survival and growth of the hybridization and backcrossing between *C. hongkongensis* and *C. ariakensis*

类别 items	df	P-value	SNK comparisons
受精率/% fertilization rate	8	<0.05	AA <sup>a</sup> > HH <sup>b</sup> > HHA <sup>c</sup> > AHA <sup>cd</sup> > HAH <sup>d</sup> > HA <sup>d</sup> > AHA <sup>e</sup> > HHA <sup>f</sup> > AH <sup>g</sup>
孵化率/% hatchery rate	8	<0.05	AA <sup>a</sup> > HH <sup>b</sup> > HAH <sup>b</sup> > AHA <sup>b</sup> > HHA <sup>c</sup> > HHA <sup>d</sup> > HAA <sup>c</sup> > AHA <sup>f</sup> > AH <sup>g</sup>
幼虫 15 日龄存活率/% larval survival rate of day 15	8	<0.05	AA <sup>a</sup> > HH <sup>b</sup> > HAA <sup>c</sup> > HA <sup>c</sup> > HHA <sup>d</sup> > HAH <sup>e</sup> > AHA <sup>f</sup> > HAHA <sup>f</sup> > AH <sup>g</sup>
稚贝存活率/% juvenile survival rate of day 110	8	<0.05	HH <sup>a</sup> > AA <sup>a</sup> > HA <sup>a</sup> > HAH <sup>b</sup> > HAA <sup>c</sup> > HHA <sup>c</sup> > HAHA <sup>d</sup> > AHA <sup>d</sup> > AH <sup>d</sup>
15 日龄幼虫壳高 larval shell height of day 15	7	<0.05	HH <sup>a</sup> > HA <sup>b</sup> > HHA <sup>b</sup> > AA <sup>c</sup> > HAH <sup>d</sup> > HAHA <sup>d</sup> > HAA <sup>d</sup> > AHA <sup>d</sup>
110 日龄稚贝壳高 juvenile shell height of day 110	5	<0.05	AA <sup>a</sup> > HA <sup>b</sup> > HH <sup>b</sup> > HAH <sup>b</sup> > HHA <sup>bc</sup> > HAA <sup>c</sup>

注:不同的上标字母代表差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Different superscript letters mean significant difference ( $P < 0.05$ ).

### 2.2 香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交及回交实验组的幼虫及稚贝存活率

幼虫期 15 日龄,实验组 AHA、HAHA 的存活率为 0 (图 1);自交组 AA、HH 的存活率显著高于杂交及回交实验组 ( $P < 0.05$ );HA、HAA 存活率差异不显著 ( $P > 0.05$ ),并显著高于其它各杂交及回交实验组 ( $P < 0.05$ )。稚贝期 110 日龄,HH、AA 及 HA 的存活率差异不显著 ( $P > 0.05$ ),并显著高于各回交实验组 ( $P < 0.05$ ),HHA 的存活率低于 HH、AA 及 HA,但高于其它回交实验组

( $P < 0.05$ )。

### 2.3 香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交、回交的幼虫和稚贝生长比较

HH 幼虫生长最快,幼虫期 15 日龄时与其它各实验组差异显著 ( $P < 0.05$ ) (图 2)。HA 与 HHA 幼虫生长慢于 HH,但快于 AA,幼虫期 15 日龄时两实验组生长差异不显著 ( $P > 0.05$ )。其它各回交实验组生长缓慢,方差分析表明幼虫期 15 日龄时,AHA、HAA、HAH 及 HAHA 的幼虫生长显著慢于自交组 HH 和 AA ( $P < 0.05$ )。

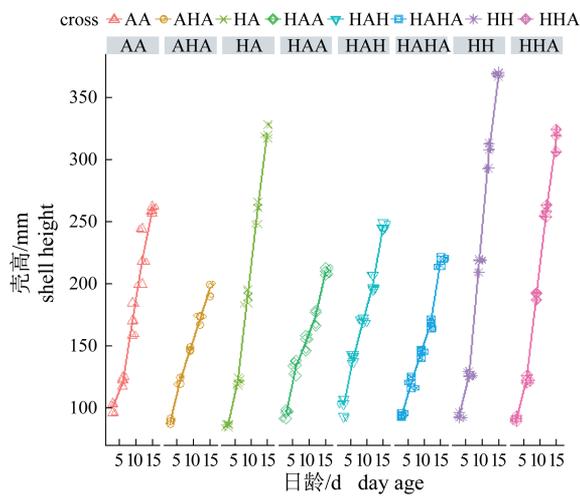


图2 香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交及回交幼虫的生长  
Fig. 2 The larval growth of the hybridization and backcrossing between *C. hongkongensis* and *C. ariakensis*

AA 稚贝生长最快。稚贝期 110 日龄时, AA 稚贝与其它各实验组差异显著 ( $P < 0.05$ ); HH、HA、HAH 及 HHA 稚贝生长差异不显著 ( $P > 0.05$ ); HAA 稚贝的生长最慢, 与 HHA 差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 与其它各实验组差异显著 ( $P < 0.05$ ) (图 3)。

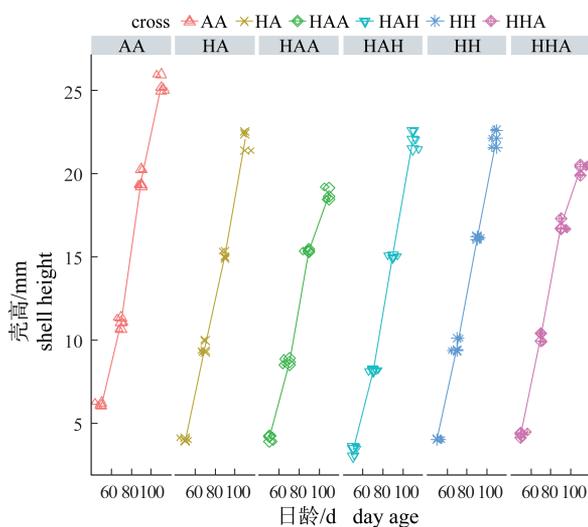


图3 香港巨牡蛎与近江牡蛎杂交及回交稚贝的生长  
Fig. 3 The juvenile growth of the hybridization and backcrossing between *C. hongkongensis* and *C. ariakensis*

### 3 讨论

#### 3.1 牡蛎种间杂交及回交的受精及孵化

在本研究中, 香港巨牡蛎卵子可以与近江牡蛎精子受精, 受精率为  $47.33\% \pm 2.52\%$ , 但近

江牡蛎的卵子与香港巨牡蛎精子不受精。Banks 等<sup>[6]</sup>在对熊本牡蛎与太平洋牡蛎, Xu 等<sup>[11]</sup>对近江牡蛎与熊本牡蛎, 以及张跃环等<sup>[13]</sup>对太平洋牡蛎与香港巨牡蛎的种间杂交研究中也观察到这种单向受精现象, 并推测这种现象可能是由于生殖隔离引起物种间配子不亲和所导致。同时, 作者认为牡蛎的卵子质量、精子浓度、精卵解剖后受精时间的长短以及水温、盐度、pH 等因素是影响贝类种间杂交受精成败的关键。另外, 近年来吴琪等<sup>[22]</sup>、Moy 等<sup>[23]</sup>对牡蛎精子 Bindin 蛋白海藻糖凝集素结构域 (F-lectin) 的研究发现, F-lectin 是精和卵结合时主要的结构域, 因此牡蛎种间杂交受精机制可能与不同牡蛎 F-lectin 作用有关。

值得注意的是, 香港巨牡蛎 (♀) 与近江牡蛎 (♂) 的杂交牡蛎与香港巨牡蛎或近江牡蛎都可以正常交配, 但回交实验组受精率显著低于香港巨牡蛎及近江牡蛎的自交实验组。这一结果说明, 香港巨牡蛎 (♀) 与近江牡蛎 (♂) 杂交牡蛎的配子可以与香港巨牡蛎或近江牡蛎的配子相互识别, 但配子间还是存在一定的不兼容现象。另外, 实验结果表明, 香港巨牡蛎 (♀) 与近江牡蛎 (♂) 的杂交牡蛎与香港巨牡蛎回交实验组的受精率高于香港巨牡蛎 (♀) 与近江牡蛎 (♂) 的杂交牡蛎与近江牡蛎的回交实验组, 说明香港巨牡蛎 (♀) 与近江牡蛎 (♂) 的杂交牡蛎与香港巨牡蛎的配子兼容性高于与近江牡蛎。

#### 3.2 牡蛎种间杂交及回交的存活与生长

在本研究中, 香港巨牡蛎与近江牡蛎的杂交及回交子代幼虫存活率显著低于两牡蛎自交后代, 甚至在 15 日龄时, HA ♀ × HA ♂ 自繁组以及 A ♀ 与 HA ♂ 的回交组的幼虫全部死亡。这一结果说明两种牡蛎间基因组间存在一定的不兼容性<sup>[11]</sup>而导致存活低下。牡蛎种间杂交受精率低、发育停滞、幼虫死亡等现象在太平洋牡蛎 × 美洲牡蛎、太平洋牡蛎 × 熊本牡蛎、近江牡蛎 × 美洲牡蛎、美洲牡蛎 × 近江牡蛎、太平洋牡蛎 × 香港巨牡蛎、太平洋牡蛎 × 近江牡蛎<sup>[4-13]</sup> 研究中有报道。近年来, 随着牡蛎培育技术的成熟, 牡蛎种间杂交逐渐可以成功地培育出存活的杂交稚贝<sup>[11-12]</sup>。在本研究中, 香港巨牡蛎 (♀) 与近江牡蛎 (♂) 的杂交可以获得大量的杂交 1 龄牡蛎, 而且杂交牡蛎稚贝与香港巨牡蛎和近江牡蛎稚贝

的存活率差异不显著( $P > 0.05$ )。在回交实验中发现  $H\text{♀} \times HA\text{♂}$  回交组幼虫的存活率与  $HA$  差异不显著( $P > 0.05$ ),其稚贝的存活率虽低于  $HA$ ,但优于其它回交组。其它各回交组的幼虫和稚贝的存活率都明显低于香港巨牡蛎、近江牡蛎及其杂交牡蛎。

在幼虫和稚贝生长比较研究中发现,幼虫期,香港巨牡蛎的生长速度快于近江牡蛎,而在稚贝期,近江牡蛎的生长速度快于香港巨牡蛎。但香港巨牡蛎( $\text{♀}$ )与近江牡蛎( $\text{♂}$ )的杂交牡蛎的幼虫和稚贝的生长居于香港巨牡蛎与近江牡蛎之间,杂交牡蛎幼虫生长快于近江牡蛎,但慢于香港巨牡蛎;杂交牡蛎稚贝生长快于香港巨牡蛎,但慢于近江牡蛎。Allen 等<sup>[4]</sup>在对太平洋牡蛎( $\text{♀}$ )与近江牡蛎( $\text{♂}$ )杂交牡蛎幼虫的研究中也发现其生长居于两牡蛎之间,并指出杂交牡蛎的生长性状是由两亲本基因组共同控制,而导致杂交牡蛎生长居于两亲本之间。在回交实验中,杂交牡蛎与香港巨牡蛎回交组的幼虫和稚贝的生长快于杂交牡蛎与近江牡蛎回交组。研究发现  $H\text{♀} \times HA\text{♂}$  回交组幼虫和稚贝的生长与杂交牡蛎  $HA$  差异不显著( $P > 0.05$ ),优于其它回交组。

### 3.3 香港巨牡蛎与近江牡蛎种间杂交及回交育种展望

杂种优势已成为近一个世纪以来生物学领域最具挑战性的问题之一,原因在于杂种优势对生物生产的巨大作用及杂种优势复杂的遗传学机制<sup>[24-25]</sup>。本研究为香港巨牡蛎与近江牡蛎种间杂交及回交育种奠定了一定的理论基础。研究发现虽然香港巨牡蛎( $\text{♀}$ )与近江牡蛎( $\text{♂}$ )的杂交牡蛎( $HA$ )幼虫存活率低于两亲本( $HH$ 、 $AA$ )自交组,但稚贝存活率与两亲本自交组差异不显著。 $HA$  幼虫、稚贝的生长趋于两牡蛎之间,在生长上具有一定的单亲杂种优势。研究还发现  $H\text{♀} \times HA\text{♂}$  回交组幼虫和稚贝的生长与  $HA$  差异不显著( $P > 0.05$ ),优于其它回交组; $H\text{♀} \times HA\text{♂}$  回交组幼虫的存活率与  $HA$  差异不显著( $P > 0.05$ ),其稚贝的存活率虽低于  $HA$ ,但优于其它回交组。因此,在下一步的研究中,采用以香港巨牡蛎为母本与杂交牡蛎父本逐代回交的方法,可能培育出肉质和香港巨牡蛎相似,并可以在北方海区养殖的牡蛎新品种。

### 参考文献:

- [1] 张国范,刘晓,阙华勇. 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.
- [2] 张起昌. 小大麦远缘杂交种研究进展[J]. 小麦研究, 2010, 31(2): 16-25.
- [3] Davis H C. On interspecific studies of the *Ostrea* [J]. Science, 1950, 111(12): 522.
- [4] Allen S K, Gaffney P M. Genetic confirmation of hybridization between *Crassostrea gigas* (Thunberg) and *Crassostrea rivularis* (Gould) [J]. Aquaculture, 1993, 113(4): 291-300.
- [5] Allen S K, Gaffney P M, Scarpa J, et al. Inviabile hybrids of *Crassostrea virginica* (Gmelin) with *C. rivularis* (Gould) and *C. gigas* (Thunberg) [J]. Aquaculture, 1993, 113(4): 269-289.
- [6] Banks M, McGoldrick D, Borgeson W, et al. Gametic incompatibility and genetic divergence of Pacific and Kumamoto oysters, *Crassostrea gigas* and *C. sikamea* [J]. Marine Biology, 1994, 121(1): 127-135.
- [7] Huvet A, Gerard A, Ledu C, et al. Is fertility of hybrids enough to conclude that the two oysters *Crassostrea gigas* and *Crassostrea angulata* are the same species? [J]. Aquatic Living Resources, 2002, 15(1): 45-52.
- [8] 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(4): 243-250.
- [9] Batista F M, Leitao 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 Experiment Marine Biology Ecology, 2007, 352(1): 226-233.
- [10] Gaffney P M, Allen S K. Hybridization among *Crassostrea* species: a review [J]. Aquaculture, 1993, 116(1): 1-13.
- [11] Xu F, Zhang G F, Guo X M, et al. Laboratory hybridization between *Crassostrea ariakensis* and *Crassostrea sikamea* [J]. Journal of Shellfish Research, 2009, 28(3): 453-458.
- [12] 郑怀平,王迪文,林清,等. 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[J]. 水产学报, 2012, 36(2): 210-215.
- [13] 张跃环,王昭萍,闫喜武,等. 香港巨牡蛎与长牡蛎

- 种间杂交及早期杂种优势分析[J]. 水产学报, 2012, 36(9): 1358 - 1366.
- [14] Yousef G G, Juvik J A. Enhancement of seedling emergence in sweet corn by marker-assisted backcrossing of beneficial QTL [J]. Crop Science, 2002, 38(6): 73 - 79.
- [15] 隋娟, 徐世宏, 王文琪, 等. 牙鲆与夏鲆杂交及回交子代胚胎发育及早期生长比较[J]. 海洋科学, 2012, 36(6): 54 - 58.
- [16] 储志远, 张晓峰, 曹柱. 鲤回交群体4种生长性状的相关性分析[J]. 水产学报, 2011, 35(1): 10 - 18.
- [17] 金万昆, 高永平, 俞丽. 红鲫♀ × 乌龙鲫 F<sub>2</sub> (4n) ♂ 回交 F<sub>1</sub> 的倍性及黑体色表现的观察[J]. 淡水渔业, 2012, 298(2): 90 - 94.
- [18] 刘于信, 李思发, 蔡完其, 等. 耐盐罗非鱼育种回交效应评估[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 332 - 339.
- [19] Wang H Y, Guo X M, Zhang G F, et al. Classification of jinjiang oysters *Crassostrea rivularis* (Gould, 1861) from China, based on morphology and phylogenetic analysis [J]. Aquaculture, 2004, 242(4): 137 - 155.
- [20] Wang H Y, Zhang G F, Liu X, et al. Classification of common oysters from north China [J]. Journal of Shellfish Research, 2008, 27(3): 495 - 503.
- [21] 王海艳, 郭希明, 刘晓. 中国近海“近江牡蛎”的分类和订名[J]. 海洋科学, 2007, 31(9): 84 - 86.
- [22] 吴琪, 李莉, 张国范. 巨蚶属 (*Crassostrea*) 四种牡蛎精子 Bindin 蛋白海藻糖凝集素结构域 (Fucose binding lectin) 多样性研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(2): 251 - 255.
- [23] Moy G W, Vacquier V D. Bindin genes of the pacific oyster *Crassostrea gigas* [J]. Gene, 2008, 423(2): 215 - 220.
- [24] 张国范, 郑怀平. 海湾扇贝养殖遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 89 - 90.
- [25] 楼允东, 李小勤. 中国鱼类远缘杂交研究及其在水产养殖上的应用[J]. 中国水产科学, 2006, 13(1): 151 - 158.

## Comparisons of growth and development of hybrid and backcrossing progenies between *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis*

HUO Zhongming<sup>1</sup>, WANG Zhaoping<sup>1\*</sup>, LIANG Jian<sup>2</sup>, LIU Zhen<sup>2</sup>,  
SHEN Jianping<sup>1</sup>, ZHANG Yuehuan<sup>3</sup>, YAO Tuo<sup>1</sup>, SU Jiaqi<sup>1</sup>, YU Ruihai<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Engineering Research Center of Shellfish Culture and Breeding of Liaoning Province,  
College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

3. Key Laboratory of Marine Bio-resources Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanology,  
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Abstract:** Hybridization and backcrossing between *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis* were conducted in this study, and consequently, the experimental groups HH (*C. hongkongensis*), AA (*C. ariakensis*), HA (*C. hongkongensis* ♀ × *C. ariakensis* ♂), AH (*C. hongkongensis* ♂ × *C. ariakensis* ♀), HAHA (HA ♀ × HA ♂), HHA (HH ♀ × HA ♂), HAH (HA ♀ × HH ♂), HAA (HA ♀ × AA ♂), AHA (AH ♀ × AA ♂) were produced using the method of diallel cross. The results showed that *C. hongkongensis* eggs can be fertilized by *C. ariakensis* sperm (47.33% ± 2.52%), but not vice versa. The fertilization can occur between HA and HH or AA. The fertilization rates of backcrossing groups were lower than those of inbred groups HH and AA. The hatching rates of the backcrossing between HA and AA were lower than those of the other groups, which were 20.33% ± 2.08% (AHA), 55.67% ± 2.52% (HAA) respectively. The larval survival rate of the AHA and HAHA was 0; The survival of HA larvae was lower than HH and AA. The hybrid larvae grew faster than *C. ariakensis* larvae, but grew slower than *C. hongkongensis*. The survival rates of HA, HH, and AA juveniles were not significantly different ( $P > 0.05$ ). The hybrid juveniles grew faster than *C. hongkongensis* larvae, but grew slower than *C. ariakensis*. In addition, the larval and juvenile growth of HHA and HA was not significantly different ( $P > 0.05$ ). The larval survival rate was not significantly different in HHA and HA. The juvenile survival rate of HHA was lower than HA, but was higher than that of the other backcrossing groups. The results provide a basis for study on the hybridization and backcrossing between *C. hongkongensis* and *C. ariakensis*.

**Key words:** *Crassostrea hongkongensis*; *Crassostrea ariakensis*; hybridization; growth; survival

**Corresponding author:** WANG Zhaoping. E-mail: zpwang@ouc.edu.cn