

不同壳型菲律宾蛤仔杂交家系的建立及早期生长发育比较

张跃环¹ 闫喜武^{1*} 王艳¹ 霍忠明¹ 杨凤¹ 张国范² 藤利平³ 杨坦光³

(¹大连水产学院生命科学与技术学院, 116023)

(²中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

(³大连老虎滩海洋公园, 116013)

摘要 利用3种壳型的菲律宾蛤仔,即壳宽型(H)、中间型(M)和壳扁型(P),采取双列杂交方式,成功建立3种杂交组合(PH、HM和MP),每个杂交组合由4个杂交家系组成,共12个杂交家系。结果表明,不同壳型亲本形态差异显著($P < 0.05, n = 4$);各杂交组合的D形幼虫、附着规格、变态规格和单水管稚贝的大小彼此间差异不显著($P > 0.05, n = 120$)。幼虫浮游期间,3种杂交组合表现出不同程度的生长、存活优势。PH杂交组合表现出明显的生长优势,与HM、MP组幼虫大小差异显著($P < 0.05, n = 120$),生长速度分别为(10.21 ± 0.42)、(9.96 ± 0.52)和(9.29 ± 0.52) $\mu\text{m}/\text{d}$;从存活率上看,9日龄时,PH杂交组合存活率最高,与HM、MP组合差异极显著($P < 0.05, n = 12$)。变态期间,幼虫生长缓慢,PH、HM和MP杂交组合的生长速度分别为(1.72 ± 0.48)、(1.93 ± 0.53)和(2.08 ± 0.39) $\mu\text{m}/\text{d}$,差异显著($P < 0.05, n = 120$);变态率分别为(83.20 ± 8.47)%、(6.45 ± 3.06)%和(10.75 ± 3.70)%,差异极显著($P < 0.01, n = 12$)。稚贝培育期间,3组稚贝的大小差异极显著($P < 0.01, n = 120$),生长速度分别为(16.74 ± 3.06)、(13.08 ± 2.24)和(15.20 ± 2.55) $\mu\text{m}/\text{d}$;本阶段3组存活率均较高,分别为(93.25 ± 2.99)%、(90.75 ± 2.22)%和(87.25 ± 4.86)%,彼此间差异显著($P < 0.05, n = 12$)。

关键词 菲律宾蛤仔 壳型 杂交家系 生长发育

中图分类号 S968.3;Q953+.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)02-0071-07

Establishment of hybrid families of Manila clam *Ruditapes philippinarum* with different shell shapes and comparison of their early stage development

ZHANG Yue-huan¹ YAN Xi-wu^{1*} WANG Yan¹ HUO Zhong-ming¹
YANG Feng¹ ZHANG Guo-fan² TENG Li-ping³ YANG Tan-guang³

(¹ Institute of Life Science and Technology, Dalian Fisheries University, 116023)

(² Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

(³ Dalian Laohutan Ocean Park, 116013)

ABSTRACT The twelve hybrid families were obtained by broodstock of different shell shapes including “wide”, “middle”, “flat” in October, 2007. The experiment consisted of three

国家高科技发展计划(863计划)项目(2006AA10A410)资助

* 通讯作者。E-mail: Yanxiwu2002@163.com, Tel: (0411)84763026

收稿日期: 2008-01-02; 接受日期: 2008-04-14

作者简介: 张跃环(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事贝类繁育与养殖及遗传育种研究。E-mail: kilroy9269@163.com

hybrid categories (PH=0, HM, MP), and each category was made up of four hybrid families, which included twelve hybrid families altogether. The results showed that the morphology of parents was of significant difference, and the size of D-larvae, size at settlement and metamorphosis, and the size of single siphon juveniles were not significantly different. At planktonic stage, the growth and survival of the larvae were different. The size of PH larvae was significantly bigger than HM and MP categories ($P < 0.05, n = 120$), and the growth rates were (10.21 ± 0.42) , (9.96 ± 0.52) , $(9.29 \pm 0.52) \mu\text{m}/\text{d}$ for these categories, respectively. The survival of 9d larvae of the PH category was significantly higher than the HM and MP categories. At the metamorphic stage, the larvae grew slowly. Larvae of the PH, HM and MP categories showed growth rates of (1.72 ± 0.48) , (1.93 ± 0.53) , $(2.08 \pm 0.39) \mu\text{m}/\text{d}$, respectively, which were significantly different. The metamorphosis rates of these categories were $(83.20 \pm 8.47)\%$, $(6.45 \pm 3.06)\%$ and $(10.75 \pm 3.70)\%$, and the difference was extremely significant. At the nursery stage, juveniles of the PH, HM, MP categories showed significant difference in size and their growth rates were (16.74 ± 3.06) , (13.08 ± 2.24) and $(15.20 \pm 2.55) \mu\text{m}/\text{d}$, respectively. Survival of juveniles was also significantly different between each category, which was $(93.25 \pm 2.99)\%$, $(90.75 \pm 2.22)\%$ and $(87.25 \pm 4.86)\%$ for PH, HM and MP.

KEY WORDS *Ruditapes philippinarum* Shell shape Hybrid family
Growth development

菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum* 属双壳纲帘蛤科、缀锦亚科、蛤仔属,属于广温、广盐性品种。目前在世界约 200 万 t 的菲律宾蛤仔产量中,约 90% 来自于养殖,且主要来自我国大陆的养殖 (Gouletquer 1997)。1999 年我国滩涂贝类的产量为 246.4 万 t,其中 73% 为菲律宾蛤仔,约占我国海水养殖总产量的 18.4%。随着人民生活水平的提高,国内外市场均供不应求,市场潜力巨大。但是由于不注重资源保护,乱采滥捕,其天然产量呈逐年下降趋势。目前苗种严重不足,种质退化是制约我国北方地区蛤仔养殖业发展的“瓶颈”,故开展菲律宾蛤仔的杂交育种对种质改良具有指导意义。

杂交是培育新品种(系)的重要方法,已经在动、植物的育种中取得广泛的成功。其中,建立家系则是杂交育种的基本方法,通过建立家系并进行系统选择是遗传育种的重要手段。利用家系选择技术对贝类经济性状进行改良已有成功的报道。在国外,学者们先后建立了太平洋牡蛎 *Crassostrea gigas* 的全同胞家系 (Langlon *et al.* 2000; Beattie *et al.* 1978) 和杂交家系 (Hedgecock *et al.* 1991),有效的提高了牡蛎产量,成功选育出耐高温家系,并评估了杂交效果。在国内,中国科学院海洋研究所建立了海湾扇贝 *Argopecten irradians* 自交家系和杂交家系 (张国范等 2003; 郑怀平等 2003),对其生长发育及其杂种优势进行了评价。中国科学院南海海洋研究所构建了马氏珠母贝 *Pinctada martensii* 家系,成功选育出一个红壳家系“南科珍珠红 (何毛贤等 2006、2007),并用 RAPD 标记了合浦珠母贝 *P. fucata* 家系 F_1 的分离方式 (喻达辉等 2005)。大连水产学院建立了菲律宾蛤仔家系,对其早期生长发育进行了比较 (闫喜武 2005); 并对大连群体两种壳型菲律宾蛤仔的生长发育进行了研究,发现壳扁型蛤仔具有生长快、抗逆性强的特点 (张跃环等 2008)。目前,对不同壳型菲律宾蛤仔杂交家系的研究尚无报道,本研究的目的在于通过建立杂交家系,比较各杂交组合的杂交效果,筛选出生长快、抗逆性强的杂交品系,对数量性状进行改良,最终达到改良种质的目的。

1 材料与方法

1.1 亲贝的来源与性腺促熟

亲贝来源于大连金州石河北海滩涂,从中选出壳型规整的壳宽型(放射肋<70)、中间型(70≤放射肋≤90)和壳扁型(放射肋>90)的 3 龄蛤仔各 100 个作为繁殖个体。将其装入扇贝笼中,每层 10 个,在大连海量水产食品有限公司的生态虾池中进行自然促熟。

1.2 实验的处理和设计

2007 年 9 月下旬,亲贝性腺成熟。采用壳宽型(H)、中间型(M)和壳扁型(P)蛤仔各 4 个,建立了 3 个杂交组合,即 PH、HM、MP 组合,每个组合由 4 个杂交家系组成,共成功建立 12 个杂交家系(见表 1)。整个操作过程中,各试验组严格隔离。

1.3 幼虫及稚贝的培育

幼虫培育在 100 L 的白色塑料桶中,密度为 3~4 个/ml。每 2 天换 1 次水,换水量为 100%。饵料每天投喂两次,前期为绿色巴夫藻 *Pavlova viridis*,后期为绿色巴夫藻、小球藻 *Chlorella vulgaris*(体积比 1:1)混合投喂,投饵量适幼虫摄食情况而定。幼虫培育期间,水温为 18.2~20.6℃,盐度为 25~28。为了消除养殖密度的影响,在幼虫期定期对密度进行调整,使每个重复密度保持一致。幼虫变态后,进入稚贝培育期,投饵量随着稚贝摄食量增大而增加,此时水温为 16.4~18.2℃。

1.4 指标测定

幼虫和稚贝(壳长<300μm)在显微镜下用目微尺(100×)测量,300μm<壳长<3.0mm 的稚贝测量在显微镜下用目微尺(25×)进行。每次测量设 4 个重复,每个重复随机测量 30 个个体。

生长速度为不同阶段个体平均壳长差值的日增量(μm/d)。

变态率为出现鳃原基、足、次生壳的稚贝数与足面盘幼虫数量的比值。稚贝存活率不同日龄的稚贝数与变态稚贝数的比值。

1.5 数据处理

用 SPSS13.0 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,差异显著性设置为 $P<0.05$,极显著设置为 $P<0.01$;Excel 作图。

表 1 不同壳型蛤仔杂交家系建立的实验设计

Table 1 The experimental design of hybrid clam families of different shell shape

杂交组合 Hybrid categories	亲本 Parents	H ₁ ♂	H ₂ ♂	M ₁ ♂	M ₂ ♂	M ₃ ♂	M ₄ ♂
PH	P ₁ ♀	P ₁ H ₁	P ₁ H ₂	—	—	—	—
	P ₂ ♀	P ₂ H ₁	P ₂ H ₂	—	—	—	—
HM	H ₃ ♀	—	—	H ₃ M ₁	H ₃ M ₂	—	—
	H ₄ ♀	—	—	H ₄ M ₁	H ₄ M ₂	—	—
PM	P ₃ ♀	—	—	—	—	P ₃ M ₃	P ₃ M ₄
	P ₄ ♀	—	—	—	—	P ₄ M ₃	P ₄ M ₄

表 2 杂交家系亲贝的形态指标

Table 2 The morphological indices of broodstock of each hybrid families

杂交亲本 Hybrid parents	壳长 Shell length (mm)	壳高 Shell height (mm)	壳宽 Shell width (mm)	壳宽/壳长 Width/ length	放射肋(条) Lunrula (strip)	全重 Whole weight (g)	
PH	P ₁	38.63	25.30	16.22	0.42 ^a	96	9.73
	P ₂	36.96	24.36	15.64	0.42 ^a	92	8.54
	H ₁	23.50	16.82	12.32	0.52 ^b	54	3.52
	H ₂	30.02	21.66	15.68	0.52 ^b	56	7.19
HM	H ₃	32.90	23.80	17.20	0.52 ^b	56	7.81
	H ₄	27.68	19.48	14.42	0.52 ^b	56	5.60
	M ₁	34.26	24.40	15.92	0.46 ^c	86	7.54
	M ₂	35.02	24.12	16.24	0.46 ^c	84	8.05
PM	P ₃	34.40	21.78	14.56	0.42 ^a	104	7.40
	P ₄	26.00	16.14	10.96	0.42 ^a	106	2.83
	M ₃	33.28	23.62	15.66	0.47 ^c	82	7.32
	M ₄	32.02	22.34	15.02	0.47 ^c	84	7.25

注:同一行中上标具有相同字母表示没有显著性差异($P>0.05$),来自于单因素方差分析(下同)

2 结果

2.1 亲贝的形态指标

各杂交家系亲贝的形态指标见表2。3种壳型蛤仔壳宽与壳长的比值彼此间差异显著($P < 0.05, n = 4$),壳宽型蛤仔为0.52,中间型为0.46~0.47,壳扁型为0.42;不同壳型蛤仔的放射肋条数不同,壳宽型的放射肋为54~56(< 70),中间型为82~86(70~90),壳扁型为92~106(> 90),这不同于庄启谦(2001)对菲律宾蛤仔与杂色蛤的分类。

2.2 受精率、孵化率和D形幼虫大小

如表3所示,PH、HM和MP杂交组合的D形幼虫大小无显著差异($P > 0.05, n = 120$),各杂交组合表现出较高的受精率,但孵化率不同,差异显著($P < 0.05, n = 12$)。

2.3 幼虫的生长、存活及变态

PH、HM和MP杂交组合D形幼虫大小分别为(100.30 ± 1.24)、(100.53 ± 1.56)和(100.76 ± 2.15) μm 。如图1在幼虫培育的过程中(0~9日龄),各杂交组合幼虫的平均壳长不同,以PH组生长最快,与HM差异显著($P < 0.05, n = 120$),与MP差异极显著($P < 0.01, n = 120$);各杂交组合幼虫大小顺次为 $\text{PH} > \text{HM} > \text{MP}$ 。生长速度分别为(10.21 ± 0.42)、(9.96 ± 0.52)和(9.29 ± 0.52) $\mu\text{m}/\text{d}$,彼此间差异显著($P < 0.05, n = 120$)。

将D形幼虫的存活率定义为100%,如图2所示。幼虫的存活率随着日龄而降低,各杂交组合幼虫的存活率表现出显著差异。在3~6日龄期间,组间差异显著($P < 0.05, n = 12$),9日龄时,PH、HM和MP组的存活率分别为(73.23 ± 9.00)%、(42.75 ± 10.47)%和(7.15 ± 2.30)%,彼此间差异极显著($P < 0.01, n = 12$)。

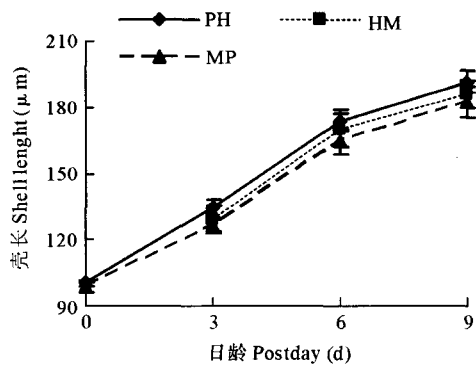


图1 各杂交组合幼虫生长的比较

Fig. 1 Larval growth of each hybrid categories

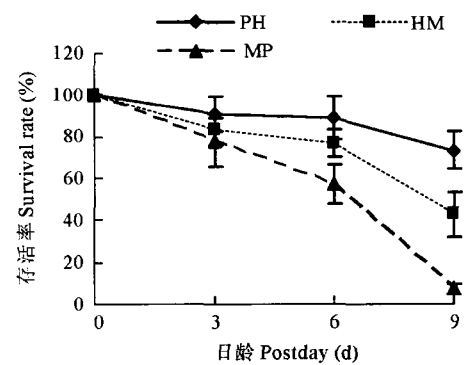


图1 各杂交组合幼虫的存活的比较

Fig. 1.2 Larval survival of each hybrid categories

如表4所示:9日龄以后,PH、HM和MP杂交组合幼虫分别在(191.42 ± 4.88)、(188.92 ± 6.25)和(187.33 ± 6.86) μm 开始附着,进入变态期,大约经历5~6d,幼虫完成变态。变态期间,幼虫生长缓慢,各杂交组合的生长速度分别为(1.72 ± 0.48)、(1.93 ± 0.53)和(2.08 ± 0.39) $\mu\text{m}/\text{d}$;幼虫变态规格分别为(203.69 ± 5.85)、(201.83 ± 6.92)和(200.56 ± 6.48) μm ,彼此间无显著差异($P > 0.05, n = 120$);变态率分别为(83.20 ± 8.47)%、(6.45 ± 3.06)%和(10.75 ± 3.70)%,差异极显著($P < 0.01, n = 12$)。

2.4 稚贝的生长与存活

采用“三段法”培育菲律宾蛤仔,分为室内培育阶段、生态池中间育成阶段和海上养成阶段。在室内培育阶段,稚贝生长较快,如图 3。各杂交组合稚贝的平均壳长随着日龄差异性增大,大小顺序为 PH>MP>HM。15 日龄时,彼此间差异不显著($P>0.05$, $n=120$);20 日龄时,差异显著($P<0.05$, $n=120$);30~40 日龄期间,差异极显著($P<0.01$, $n=120$)。PH、HM 和 MP 杂交组合稚贝的生长速度分别为(16.74 ± 3.06)、(13.08 ± 2.24)和(15.20 ± 2.55) $\mu\text{m}/\text{d}$,彼此间差异显著($P<0.05$, $n=120$)。

如图 4 所示,将刚刚出现鳃、足和次生壳的稚贝(15 日龄)存活率定义为 100%。在室内培育过程中,PH、HM 和 MP 杂交组合单水管稚贝规格分别为(322.37 ± 8.46)、(318.96 ± 7.85)和(316.78 ± 7.08) μm ,差异不显著($P>0.05$, $n=120$);各杂交组合的存活率存在一定的差异,20 日龄时,无明显差异($P>0.05$, $n=12$);30~40 日龄期间,彼此间差异显著($P<0.05$, $n=12$);40 日龄时,PH、HM 和 MP 组合的存活率较高,分别为(93.25 ± 2.99)%、(90.75 ± 2.22)%和(87.25 ± 4.86)% ,彼此间差异显著($P<0.05$, $n=12$)。

表 4 各杂交组合幼虫附着大小、变态率、变态规格、单水管稚贝大小

Table 4 Eyespot larvae size, metamorphosis, metamorphic size, single siphon juvenile size of each hybrid category

类别 Items	杂交组合 Hybrid categories		
	PH	HM	PM
附着规格(±SD, μm) Settling size	191.42 ± 4.88 ^a	188.92 ± 6.25 ^a	187.33 ± 6.86 ^a
变态率(±SD, %) Metamorphosis	83.20 ± 8.47 ^a	6.45 ± 3.06 ^b	10.75 ± 3.70 ^c
变态规格(±SD, μm) Metamorphic size	203.69 ± 5.85 ^a	201.83 ± 6.92 ^a	200.56 ± 6.48 ^a
单水管稚贝(±SD, μm) Single siphon juvenile	322.37 ± 8.46 ^a	318.96 ± 7.85 ^a	316.78 ± 7.08 ^a

表 5 各杂交组幼虫、稚贝生长速度的比较

Table 5 The larval and juvenile growth comparison of each hybrid categories

类别 Items	杂交组合 Hybrid categories		
	PH	HM	PM
浮游期(0~9 日龄)(±SD, $\mu\text{m}/\text{d}$) Planktonic stage(0~9 postday)	10.21 ± 0.42 ^a	9.96 ± 0.52 ^a	9.29 ± 0.52 ^b
变态期(9~15 日龄)(±SD, $\mu\text{m}/\text{d}$) Metamorphic stage(9~15 postday)	1.72 ± 0.48 ^a	1.93 ± 0.53 ^b	2.08 ± 0.39 ^c
稚贝期(15~40 日龄)(±SD, $\mu\text{m}/\text{d}$) Juvenile stage(15~40 postday)	16.74 ± 3.06 ^a	13.08 ± 2.24 ^b	15.20 ± 2.55 ^c

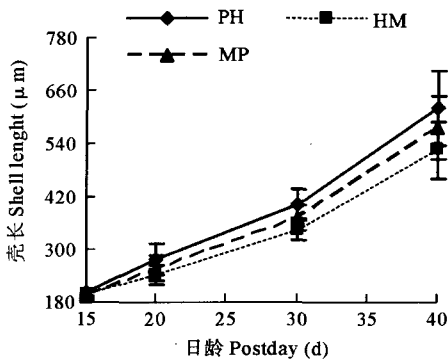


图 3 各杂交组合稚贝室内培育间生长比较

Fig. 3 Juvenile growth of each hybrid category

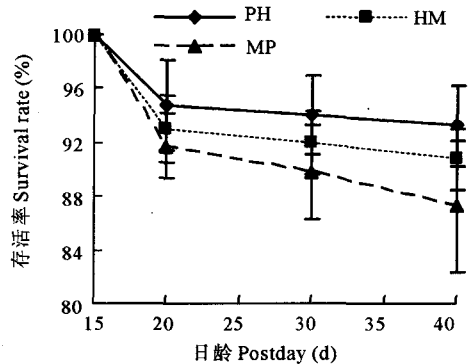


图 4 各杂交组合稚贝培育期间存活比较

Fig. 4 Juvenile survival of each hybrid category

3 讨论

3.1 杂交家系的建立与杂交效果的关系

根据某个性状或某几个性状明显优于其亲属、生产性能显著高于其亲属的混有不同类型的原始群里选出一些优良个体留种,建立几个或若干个家系并繁殖后代,逐代与原始群体及对照品种相比较,选留那些符合原

定选择标准的优良系统,进而参加品系产量测定,叫家系选择。家系选择实际是对基因型的选择,是一个逐代纯化的过程。与此,Hedgecock等(1991)建立了太平洋牡蛎的杂交家系,通过对不同家系间的比较,分析了杂种优势的原因,首次提到杂交家系。郑怀平等(2004)在海湾扇贝杂交家系与自交家系生长与存活比较中,再次提到杂交家系,并利用杂交家系分析了杂种优势。杂交家系突破了以往家系选择的初衷,而是以此作为衡量杂交效果的一种有力手段。张跃环等(2008)对大连群体两种壳型蛤仔生长发育进行了比较。本试验采用建立杂交家系的手段对不同壳型蛤仔间的杂交效果进行了比较,这与以往的杂交方法有所区别。通常进行贝类单体间的杂交试验时,大多采用4个个体作为亲本,进行正反交及自交,建立单一的杂交组合。这样,由于杂交组合少,彼此间的重复性差,难免会发生杂交效果与真实值的偏离,因为单一的杂交组合很难代表物种总体水平的杂交效果。而群体杂交,由于是多个雌、雄亲本间的交配,活力强的精子与优质的卵具有很强的亲和性,而一些活力弱的精子与劣质的卵得不到受精的机会或受精后也将会被淘汰,导致群体杂交效果偏离真实值。从现代遗传学理论分析,杂交家系的建立丰富了同一物种的基因库,杂交效果应理解为两性生殖细胞在受精过程中生物学特性的适应性。这种适应性实质是两性生殖细胞在受精过程中对新陈代谢的生化过程相互催化的作用能力和新陈代谢的相互协调性。杂交效果表现在结合子及由其所发育起来的后代的生活力和遗传特性上。选用亲本的两性生殖细胞在受精过程中如相互有良好的生物学特性的适应性,就表现出良好的亲和力,即表现出高的生活力及良好的遗传性,也就表现出高的受精率、孵化率、存活率和后代良好的生长发育趋势及高的生产力等。采取建立多个杂交家系,并对其杂交效果进行综合评价,充分的解决了单体杂交与群体杂交的不足,其杂交效果与真实值更为接近。

3.2 壳型与杂交子一代生长发育的关系

菲律宾蛤仔贝壳形态变化很大,千差万别,这与文蛤(杜晓东等 2004)、青蛤(Smith 1975)和扇贝(刘晓等 2006)等有着相同的规律。庄启谦(2001)根据菲律宾蛤仔在潮间带分布特点,认为该种存在两种生态型;且将放射肋的数目作为菲律宾蛤仔与杂色蛤的重要分类标准。但根据作者实地观测后发现该标准不适合大连地区蛤仔分类,因为大连地区蛤仔的放射肋数目从50~130之间都存在,与杂色蛤放射肋有重叠现象,而杂色蛤仅分布在福建平潭以南,大连地区不存在杂色蛤。故作者根据壳宽与壳长的比值、放射肋条数将菲律宾蛤仔划分为壳宽型(放射肋<70)、中间型(70≤放射肋≤90)和壳扁型(放射肋>90),并对此开展了3种壳型蛤仔间的杂交。结果表明,PH、HM和MP杂交组合的D形幼虫大小、附着规格和变态规格和单水管稚贝规格彼此间不存在显著差异。这与张跃环等(2008)开展大连群体两种壳型蛤仔生长发育比较时一致。

壳型作为一个数量性状,它与生长发育、经济性状的联系可能与贝类的遗传(Eagar *et al.* 1984; Hedgecock *et al.* 2006)、生理特性(Seed *et al.* 1980; Scott 1988; Dekhta 2002~2003)以及生态环境等有关(Hinch *et al.* 1986; Hickey 1987; Johannesson *et al.* 1994)。幼虫浮游期(0~9日龄),不同杂交组合表现出不同的生长、存活优势。PH杂交组合表现出明显的生长优势,与HM、MP组幼虫大小差异显著;从存活率上看,9日龄时,PH杂交组合存活率最高,与HM、MP组差异极显著。变态期间(9~15日龄),幼虫生长缓慢,生长速度大约为 $2.00\mu\text{m}/\text{d}$;三杂交组合变态率差异极显著,PH的变态率在80%以上,而HM、MP的表现出很低的变态率。说明壳型间杂交对幼虫变态率有显著影响,这与闫喜武等(2005)对不同壳色、两种壳型菲律宾蛤仔生长发育比较的研究结果相一致。稚贝培育期间(15~40日龄),各杂交组合生长速度存在差异,但是远低于张跃环等(2008)在对两种壳型蛤仔生长发育比较中的生长速度,主要原因是由于深秋水温降低导致的,稚贝的大小随着日龄差异性增大;3个杂交组合存活率存在一定差异,但都比较高在90%左右。这与闫喜武(2005)和郑怀平等(2004)对不同壳色菲律宾蛤仔、海湾扇贝的研究结果是一致的。随着蛤仔的发育,生长速度和抗逆性在不同杂交组合之间的差异越来越明显,PH杂交组合表现出生长快、抗逆性强的特点。经过幼虫、稚贝培育等环节,各杂交组合在生长速度、抗逆性等方面存在显著差别。说明以贝壳形态作为亲本选择的依据,开展不同壳型间的杂交,筛选出与生长发育、经济性状紧密相关的杂交组合对选种是非常必要的。本文中的研究工作为不同壳型蛤仔间杂交,比较各杂交组合的杂交效果,筛选出生长快、抗逆性强的杂交品系,对经济性状进行改良奠定了初步基础。

参 考 文 献

- 刘 晓, 孙 博, 张国范, 王德春, 章又荣, 谷 震, 张福绥. 2006. 海湾扇贝 4 次引种后代的表型特征和遗传分化. 海洋与湖沼, 37(1): 61~68
- 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
- 闫喜武, 张国范, 杨 风, 梁 峻. 2005. 菲律宾蛤仔莆田群体两个壳色品系生长发育的比较. 大连水产学院学报, 20(4): 266~269
- 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, 171~182
- 杜晓东, 邓岳文, 叶富良, 王 辉. 2004. 广东和广西地区野生文蛤的遗传多样性. 中国水产科学, 11(1): 41~47
- 何毛贤. 2006. 马氏珠母贝红壳品系“南科珍珠红”的培育. 热带海洋, 25(2): 58
- 何毛贤, 管云雁, 林岳光, 黄良民. 2007. 马氏珠母贝家系的生长比较. 热带海洋学报, 26(1): 39~43
- 李永仁, 阙华勇, 张国范. 2005. 贝类受精学机制的研究进展. 海洋科学, 29(4): 68~72
- 沈俊宝, 刘明华. 1999. 鱼类育种学. 北京: 中国农业出版社, 10~39
- 吴宝铃. 1999. 贝类繁殖附着变态生物学. 济南: 山东科学技术出版社, 108
- 张国范, 刘述锡, 刘 晓, 郭希明, 张福绥. 2003. 海湾扇贝自交家系的建立和自交效应. 中国水产科学, 10(6): 441~445
- 张跃环, 闫喜武, 杨 风, 张国范. 2008. 菲律宾蛤仔大连群体两种壳型家系生长发育比较. 生态学报, 28(9): 4 246~4 252
- 范兆廷. 2005. 水产动物育种学. 北京: 中国农业出版社, 102
- 郑怀平, 张国范, 刘 晓, 阙华勇. 2003. 不同贝壳颜色海湾扇贝家系的建立及生长发育的研究. 海洋与湖沼, 34(6): 632~639
- 郑怀平, 张国范, 刘 晓, 阙华勇. 2004. 海湾扇贝杂交家系与自交家系生长和存活比较. 水产学报, 28(3): 267~271
- 喻达辉, 王小玉, 郭奕惠, 黄桂菊, 王爱民. 2005. RAPD 标记在合浦珠母贝家系 F₁ 代的分离方式. 南方水产, 1(6): 1~7
- 楼允东. 1998. 鱼类育种学. 北京: 中国农业出版社, 23
- Beatie, J. H., Hershberger, W. K., Chew, K. K. *et al.* 1978. Breeding for resistance to summertime mortality in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). WSG; Washington Sea Grant Rep. 780~813
- Dekhta, V. A. 2002~2003. Typology and some environment-dependent regularities in the variability of the shell shape the mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lam.). The main problems of fisheries and protection of water bodies with fisheries in the Azov and Black Sea basin. Collected articles
- Eagar, R. M. C., Stone, N. M., and Dickson, P. A. 1984. Correlation between shape, weight and thickness of shell in four populations of *Venerupis rhomboids* (Pennant). Journal of Molluscan Studies, 50(1): 19~38
- Elek, J. A., and Adamkewicz, S. L. 1990. Polymorphism for shell color in the Atlantic bay scallop *Argopecten irradians irradians* (Lamarck) (Mollusca: Bivalvia) on Martha's Vineyard Island. American Malacological Bulletin, 7(2): 117~126
- Gouilletquer, P. 1997. A Bibliography of the Manila clam *Tapes philippinarum*. La Tremblade France Ifremer, 122
- Hedgecock, D., Cooper, K., and Hershberger, W. 1991. Genetic and environmental components of variance in harvest body size among pedigreed Pacific oyster *Crassostrea gigas* from controlled crosses. Journal of Shellfish Research, 10(2): 516
- Hedgecock, D., Grupe, P., and Voigt, M. L. 2006. Mapping genes affecting shell color and shape in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Journal of Shellfish Research, 25(2): 738
- Hickey, D. R. 1987. Shell shape plasticity in Late *Pennsylvanian myalinids* (Bivalvia). Journal of Paleontology, 61(2): 190~311
- Hinch, S. G., Bailey, R. C., and Green, R. H. 1986. Growth of *Lampsilis radiata* (Bivalvia: Unionidae) in sand and mud: A reciprocal transplant experiment. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 43(3): 548~552
- Johannesson, K., Johannesson, B., and Rolan-Alvarez, E. 1994. Morphological differentiation and genetic cohesiveness over a microenvironmental gradient in the marine snail *Littorina saxatilis*. Evolution, 47(6): 1 770~1 787
- Langdon, C. J., Jacobson, D. P., Evans, F., and Blouin, M. S. 2000. The molluscan broodstock program-improving Pacific oyster broodstock through genetic selection. Journal of Shellfish Research, 19(1): 616
- Mitton, J. B. 1977. Shell color and pattern variation in *Mytilus edulis* and its adaptive significance. Chesapeake Sci. 18(4): 387~390
- Scott, P. J. B. 1988. Distribution, habitat and morphology of the Caribbean coral-and rock-boring bivalve, *Lithophaga bissulcata* (d'Orbigny) (Mytilidae: Lithophaginae). Journal of Molluscan Studies, 54(1): 83~95
- Seed, R. O., and Connor, R. J. 1980. Shell shape and seasonal changes in population structure in *Lasaea rubra* (Bivalvia: Erycinidae). Journal of Molluscan Studies, 46(1): 66~73
- Smith, D. A. S. 1975. Polymorphism and selective predation in *Donax faba* Gmelin (Bivalvia: Tellinacea), Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 17(2): 205~219
- Zhang, G. F., and Yan, X. W. 2006. Development of a new three-phases culture method for Manila clam *Ruditapes philippinarum*, farming in northern China. Aquaculture, 258(1-4): 452~461