

不同壳色菲律宾蛤仔品系 F₂ 的表型性状

闫喜武^{1*}, 张跃环¹, 霍忠明¹, 孙焕强¹, 杨凤¹, 张国范²

(1. 大连海洋大学生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023;

2. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 于2007年9月,对选育的菲律宾蛤仔不同壳色品系(C:对照组;Tr:两道红品系;Tw:两道白品系;Ab:玛瑙黑品系;Or:海洋红品系;Pw:珍珠白品系;Z:斑马蛤品系;W:波纹蛤品系)F₁和F₂的表型性状进行了研究。结果表明,1龄F₁的壳长以Pw最大,与Tr差异不显著($P>0.05$),明显大于对照组及其它品系,Z壳长最小且与其它品系差异显著($P<0.05$),C的壳长明显小于Tw、Ab($P<0.05$),但与Or、W差异不显著($P>0.05$);F₁鲜重也以Pw最大,Z最小,且与其它品系差异显著($P<0.05$),Tr、Tw、Ab和Or鲜重差异不显著($P>0.05$),但明显大于C($P<0.05$);F₁产卵量Pw、Tr明显高于其它品系,Z、C明显小于其它品系($P>0.05$),Tw、Ab、Or和W彼此差异不显著($P>0.05$);F₂的表型性状,C的孵化率低于其它品系($P<0.05$),但与Tw无显著差异($P>0.05$),各壳色品系间卵径、受精率和D形幼虫大小差异不显著($P>0.05$)。浮游期结束时(9日龄),W与Z幼虫壳长明显大于其它品系($P<0.05$),Tw、Ab、Or、Pw、Z彼此间差异不显著($P>0.05$);幼虫存活率大小顺序为,Ab、Z>Or、W>Tw、Pw>Tr>C,彼此差异显著($P<0.05$)。变态时间和变态规格各品系间无显著差异($P>0.05$),变态率大小的顺序为Ab>Z>Tw>Or>Pw>W>Tr>C,彼此差异显著($P<0.05$)。室内培育阶段结束时(240日龄),Ab壳长最大,但与Or、Tr差异不显著,Z壳长最小,但与C、W差异不显著($P>0.05$),C与Pw、W、Tr、Tw、Or之间,以及Tw与Pw差异也不显著;Z的存活率最高,明显高于除Ab外的其它品系,C的存活率最低,明显低于除Tr、Tw外的其它品系,W>Or>Pw,彼此差异显著($P<0.05$)。360日龄时,Pw壳长和鲜重最大,显著大于其它壳色品系($P<0.05$),Ab和Z壳长和鲜重显著小于其它壳色品系($P<0.05$);Ab和Z的存活率高于其它品系($P<0.05$),但与Or、Pw差异不显著($P>0.05$),Or存活率高于C($P<0.05$),其它各品系存活率无显著差异($P>0.05$)。从相对产量上看,Z(678.63%±56.80%)>Ab(554.88%±69.42%)>Or(527.23%±76.21%)>W(475.97%±90.25%)>Pw(405.90%±55.19%)>Tw(224.89%±47.85%)>Tr(178.50%±34.50%)>C(100.00%±22.10%)。

关键词: 菲律宾蛤仔;壳色;品系;表型性状

中图分类号: S 917

文献标识码: A

大多数海洋贝类的壳色均表现出一定程度的多态性,这种多态性受环境、遗传等因素调控,且与生长发育密切相关^[1]。以前,对壳色多态性的研究主要集中在腹足类上^[2-4],对双壳类的研究也有一些相关报道^[5],如贻贝(*Mytilus edulis* L.)^[6-7]、海湾扇贝(*Argopecten irradians*)^[8-9]、虾夷扇贝

(*Patinopecten yessoensis*)^[10]、马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)^[11-12]等。海洋双壳类贝壳的颜色过去仅作为一种分泌产物而被忽视^[13],事实上双壳类贝壳的颜色不仅与它们的生态和行为有关^[14-17],还与其生长、存活等表型性状有关^[18-22]。

菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum* (下称蛤

收稿日期:2009-01-04 修回日期:2009-04-07

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA10A410);辽宁省教育厅创新团队项目(2007T104);辽宁省科技特派团项目(2008203005)

通讯作者:闫喜武, Tel:0411-84763026, E-mail:yanxiwu2002@163.com

仔)壳面颜色和花纹变化各异,千差万别^[23],可能是双壳贝类中壳色多态性最复杂的种类之一。Taki^[24]将壳色分成4种类型:条带、花纹、白化和杂色,并根据孟德尔遗传定律,对蛤仔壳色遗传提出了一个假设(没有经过证实)。Gerard^[25-26]研究了蛤仔贝壳条纹的分布,Richardson^[27-28]研究了条纹形成与潮汐节律的关系;Peignon等^[29]通过相同壳色蛤仔的杂交,分析了蛤仔壳色的决定机制,并主要研究了壳色、壳面花纹的遗传变异和出现壳色纯合的原理。闫喜武等^[30-33]在对蛤仔壳色研究中发现,不同壳色蛤仔生长存在显著差异,壳色可以稳定的遗传给后代;并通过海洋红蛤与斑马蛤的群体杂交,获得子代红斑马。张跃环等^[34-35]以壳色、放射肋为标记通过对蛤仔的定向选育和杂交,先后获得了蛤仔选育系和杂交系,并通过珍珠白、海洋红、玛瑙黑与斑马蛤的杂交,获得子代白斑马、红斑马、黑斑马。本实验对以选育系两道红、两道白、玛瑙黑、海洋红、珍珠白、斑马蛤、波纹蛤的F₁为亲本繁殖的F₂表型性状进行了研究,旨在进一步探讨蛤仔壳色与生长、存活等表型性状的关系,为种质改良和壳色新品系推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 亲贝的来源及性腺促熟

实验于2007年6月至2008年10月在大连海量水产食品有限公司贝类育苗场进行。亲贝为2006年选育的经三段法养成^[37]得到1龄不同壳色蛤仔品系F₁。其中,对照组(C):壳色各异的品系;两道红品系(Tr):壳面具有两条红色放射条带;两道白品系(Tw):壳面具有两条白色放射条带;玛瑙黑品系(Ab):8~10 mm以前背景颜色为黑色,以后为墨绿色;海洋红品系(Or):背景颜色为红色;珍珠白品系(Pw):背景颜色为白色,左壳背部有一条深色放射条带;斑马蛤品系(Z):壳面具有斑马状花纹;波纹蛤品系(W):壳面具有波纹状花纹。2007年6月初,每种壳色品系挑选1200个个体,采用20目网袋(40 cm×60 cm),在室外生态土池中采取吊养的方式进行自然促熟,每袋200个。期间,水温20.4~30.2~21.8℃(夏初水温-夏季最高水温-秋初水温),盐度24~28,pH 7.56~8.96。

1.2 催产及孵化

2007年9月下旬,亲贝性腺发育成熟。每组

壳色品系随机选取200个个体,经阴干6 h,流水0.5 h的刺激后,分别置于盛有新鲜海水的100 L白色聚乙烯塑料桶中进行产卵。卵的孵化密度控制在每毫升30~40个;多余受精卵放到60 m³水泥池中孵化。受精卵大约经过25 h发育为D形幼虫。孵化期间,水温21.8~22.6℃,盐度24,pH 7.92。

1.3 幼虫培育

幼虫培育在100 L的白色塑料桶中进行,密度为每毫升5~6个。每个实验组设置3个重复。每2天换水一次,每次换水量100%。每天投喂2次,前期饵料为绿色巴夫藻(*Pavlova viridis*),后期为绿色巴夫藻和小球藻(*Chlorella vulgaris*)(体积比1:1)混合投喂。投饵量根据幼虫摄食情况进行调整。为防止不同实验组幼虫间混杂,换水网箱单独使用。幼虫培育期间,水温18.6~21.8℃,盐度24~26,pH 7.96~8.32。定期对幼虫密度进行调整,使各试验组密度保持一致。

1.4 稚贝培育及越冬

稚贝室内培育期间,随着稚贝的生长更换水网箱网目,并适当加大投饵量,其它管理同幼虫期。当稚贝壳长≥500 μm时,将其移入80目网袋,置于60 m³的水泥池中进行室内越冬。期间水温为(18.6~0~19.2℃)(秋季水温-冬季最低水温-夏初水温),盐度26~30,pH 7.80~8.52。随稚贝生长定期更换网袋,调整密度,使各实验组密度保持一致。

1.5 幼贝育成

于2008年6-10月,将室内稚贝转移至生态虾池中进行幼贝的养成。在此期间,水温19.2℃~30.6℃~18.6℃(夏初水温-夏季最高水温-秋初水温),盐度24~28,pH 7.60~8.72。随着蛤仔生长定期更换网袋,网目由60目到20目,以减少网目对幼贝生长发育的影响;同时,调整密度,使每个试验组密度保持一致。

1.6 指标测定

测定指标包括:不同壳色品系F₁的壳长、鲜重及产卵量,0、3、9日龄幼虫的壳长及存活率,15~20日龄幼虫的变态率、变态时间及变态规格,40和240日龄稚贝壳长测量及存活率,300和360日龄蛤仔的壳长、鲜重、存活率及相对产量。

卵径在显微镜下用目微尺(100×)测量,受精率为受精卵密度与受精前卵密度的百分比;孵

化率为 D 形幼虫密度与受精卵密度的百分比。

变态规格为初生壳与次生壳交界处壳缘的最小值。幼虫和壳长 $\leq 300 \mu\text{m}$ 的稚贝在显微镜下用目微尺 ($100\times$) 测量; $300 \mu\text{m} \leq$ 壳长 $\leq 3\ 000 \mu\text{m}$ 的稚贝测量在体视显微镜下用目微尺 ($25\times$) 进行,壳长 $\geq 3\ 000 \mu\text{m}$ 后,壳长测量用游标卡尺。每次测量时,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的日增长 ($\mu\text{m}/\text{d}$)。幼虫存活率为不同日龄幼虫密度与 D 形幼虫密度的百分比;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百分率;稚贝存活率为不同日龄稚贝数量与刚刚完成变态稚贝数量的百分率;幼贝存活率为不同日龄幼贝数量与移到室外时稚贝数量的百分率。总存活率为幼虫存活率、变态率、稚贝存活率及幼贝存活率的乘积;产量为总存活率与其鲜重的乘积;相对产量为各种壳色品系的产量与 360 日龄对照组产量的百分比。

1.7 数据处理

用 SPSS13.0 统计软件对数据进行分析处理,不同试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 $P < 0.05$;用 Excel 作图。

2 结果

2.1 亲贝的壳长、鲜重及产卵量

亲贝的壳长以 Pw 最大,与 Tr 差异不显著 ($P > 0.05$),明显大于对照组及其它品系,Z 壳长最小且与其它品系差异显著 ($P < 0.05$),C 的壳长明显小于 Tw、Ab ($P < 0.05$),但与 Or、W 差异不显著 ($P > 0.05$);F₁ 鲜重也以 Pw 最大,Z 最小,且与其它品系差异显著 ($P < 0.05$),Tr、Tw、Ab 和 Or 鲜重差异不显著 ($P > 0.05$),但明显大于 C ($P < 0.05$);F₁ 产卵量 Pw、Tr 明显高于其它品系,Z、C 明显小于其它品系 ($P > 0.05$),Tw、Ab、Or 和 W 彼此差异不显著 ($P > 0.05$) (表 1)。

表 1 不同壳色品系亲贝 F₁ 的壳长、鲜重及产卵量

Tab. 1 Shell length, fresh weight, and fecundity of different shell color strains F₁

类别 item	C	Tr	Tw	Ab
壳长 (\pm SD, mm) shell length	16.18 \pm 1.47 ^c	18.56 \pm 1.04 ^{ab}	17.81 \pm 1.41 ^{bc}	17.50 \pm 1.11 ^{cd}
鲜重 (\pm SD, g) fresh weight	0.69 \pm 0.18 ^c	1.08 \pm 0.19 ^b	0.93 \pm 0.18 ^c	0.90 \pm 0.17 ^c
产卵量 (\pm SD, 104 eggs/ind) fecundity	4.32 \pm 0.35 ^d	8.24 \pm 0.93 ^b	6.82 \pm 0.46 ^c	6.03 \pm 0.39 ^c
类别 item	Or	Pw	Z	W
壳长 (\pm SD, mm) shell length	17.12 \pm 0.79 ^{cde}	19.28 \pm 1.55 ^a	14.76 \pm 1.30 ^f	16.68 \pm 1.10 ^{de}
鲜重 (\pm SD, g) fresh weight	0.85 \pm 0.11 ^{cd}	1.25 \pm 0.23 ^a	0.55 \pm 0.14 ^f	0.76 \pm 0.16 ^e
产卵量 (\pm SD, 104 eggs/ind) fecundity	5.75 \pm 0.45 ^c	12.58 \pm 1.07 ^a	4.05 \pm 0.49 ^d	6.52 \pm 0.71 ^c

注:同一行具有相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$)。

Notes: The same letters in each row mean no significant difference ($P < 0.05$).

2.2 卵径、受精率、孵化率及 D 形幼虫大小

不同壳色品系的 F₂ 中,卵径、受精率及 D 形幼虫大小彼此间均无显著差异;C 与 Tw 的孵化

率无显著差异,但显著小于其它壳色品系 ($P < 0.05$) (表 2)。

表 2 不同壳色品系 F₂ 的卵径、受精率、孵化率及初孵 D 形虫大小

Tab. 2 Egg-diameter, fertilized rate, hatching rate, and size of D larvae for different shell color strains F₂

类别 item	卵径 (\pm SD, μm) egg-diameter	受精率 (\pm SD, %) fertilized rate	孵化率 (\pm SD, %) hatching rate	D 形幼虫大小 (\pm SD, μm) D larvae size
C	70.02 \pm 0.89 ^a	99.28 \pm 0.73 ^a	90.25 \pm 5.32 ^b	100.23 \pm 1.05 ^a
Tr	70.31 \pm 0.84 ^a	99.38 \pm 0.56 ^a	95.03 \pm 2.73 ^a	100.28 \pm 1.16 ^a
Tw	70.28 \pm 0.75 ^a	98.21 \pm 1.04 ^a	92.86 \pm 3.43 ^{ab}	100.56 \pm 1.37 ^a
Ab	70.09 \pm 0.95 ^a	98.56 \pm 0.72 ^a	96.88 \pm 1.95 ^a	100.08 \pm 1.36 ^a
Or	70.45 \pm 0.90 ^a	98.42 \pm 0.64 ^a	97.85 \pm 0.99 ^a	100.64 \pm 1.32 ^a
Pw	70.29 \pm 0.85 ^a	99.45 \pm 0.52 ^a	94.23 \pm 3.02 ^a	100.35 \pm 1.58 ^a
Z	70.10 \pm 0.93 ^a	99.07 \pm 0.55 ^a	98.75 \pm 1.13 ^a	100.03 \pm 1.29 ^a
W	70.36 \pm 0.86 ^a	99.16 \pm 0.68 ^a	95.54 \pm 2.24 ^a	100.72 \pm 1.42 ^a

注:同一列具有相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$),下同。

Notes: The same letters in each column mean no significant difference ($P < 0.05$), the same as below.

2.3 幼虫的生长、存活及变态

3日龄幼虫壳长 Ab 和 Or 显著大于其它品系 ($P < 0.05$), Tw、Pw、Z、W 之间, C、Tr、W 以及 C、Tw、Z、W 彼此间差异不显著 ($P > 0.05$); 9日龄幼虫壳长 W 与 Z 明显大于其它品系 ($P < 0.05$), Tw、Ab、Or、Pw、Z 彼此间差异不显著 ($P > 0.05$) (表

3和图1)。3日龄幼虫存活率 Ab 和 Z 显著高于其它品系 ($P < 0.05$), Tw、Ab、Pw、Z 彼此差异不显著 ($P > 0.05$), 但明显高于 Tr 和 C ($P < 0.05$), C 存活率明显低于其它品系 ($P < 0.05$); 9日龄幼虫存活率大小顺序为 Ab、Z > Or、W > Tw、Pw > Tr > C, 彼此差异显著 ($P < 0.05$) (图2)。

表3 不同壳色品系 F₂ 在不同生长发育阶段的生长速度

Tab. 3 Growth rate of different shell color strains F₂ at different developmental periods

类别 item	生长速度 ($\bar{X} \pm SD, \mu\text{m}/\text{d}$) growth rate				
	LS	MS	JIS	JOS	SS
C	7.59 ± 1.01 ^{de}	3.59 ± 0.34 ^{ab}	11.43 ± 1.29 ^b	9.30 ± 1.23 ^{de}	98.32 ± 8.28 ^{bc}
Tr	7.30 ± 0.98 ^e	3.92 ± 0.33 ^a	14.87 ± 1.40 ^a	12.72 ± 1.02 ^{ab}	107.17 ± 8.99 ^b
Tw	8.26 ± 1.04 ^{cd}	3.21 ± 0.39 ^{ab}	11.82 ± 1.48 ^b	11.46 ± 1.11 ^{bc}	101.07 ± 9.52 ^{bc}
Ab	8.04 ± 0.96 ^{bc}	2.64 ± 0.29 ^c	12.18 ± 1.32 ^b	14.17 ± 1.60 ^a	92.19 ± 7.15 ^d
Or	7.81 ± 0.93 ^{cd}	3.58 ± 0.31 ^{ab}	13.25 ± 1.44 ^{ab}	12.48 ± 1.32 ^{ab}	108.36 ± 9.32 ^b
Pw	7.93 ± 1.00 ^{bcd}	3.33 ± 0.36 ^b	15.20 ± 1.56 ^a	10.64 ± 0.84 ^{cd}	113.17 ± 10.40 ^a
Z	8.15 ± 1.07 ^{abc}	3.14 ± 0.35 ^b	10.56 ± 1.09 ^c	7.80 ± 0.81 ^c	94.83 ± 9.42 ^d
W	8.41 ± 1.09 ^a	2.53 ± 0.31 ^c	11.72 ± 1.27 ^b	8.90 ± 0.72 ^{de}	104.87 ± 7.93 ^b

注: LS 表示幼虫浮游期; MS 表示变态期; JIS 表示稚贝培育期; JOS 表示稚贝越冬期; SS 表示幼贝育成期。同一列具有相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$)。

Notes: LS means the pelagic stage of larvae; MS means the metamorphic stage; JIS means juvenile rearing stage; JOS means juvenile over-winter stage; SS means the spat stage. The same letters in each column mean no significant difference ($P < 0.05$).

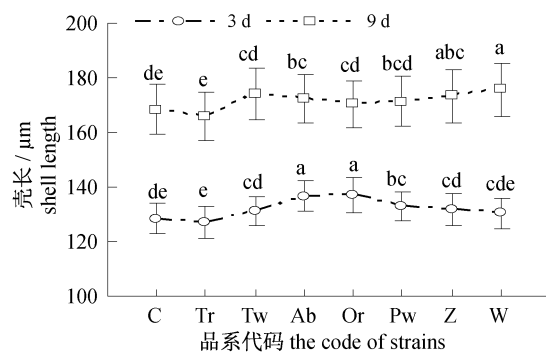


图1 不同壳色蛤仔品系 F₂ 幼虫的生长

Fig. 1 F₂ larval growth of different shell color strains

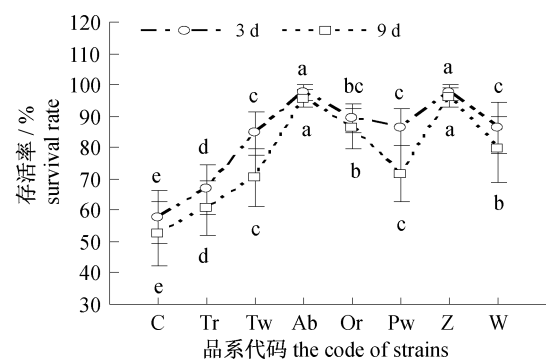


图2 不同壳色蛤仔品系幼虫 F₂ 的存活

Fig. 2 F₂ larval survival of different shell color strains

变态时间和变态规格各品系间无显著差异 ($P > 0.05$), 变态率大小的顺序为 Ab > Z > Tw > Or > Pw > W > Tr > C, 彼此差异显著 ($P < 0.05$) (表4)。

表4 不同壳色品系 F₂ 的变态率、变态时间和变态规格

Tab. 4 Metamorphosis rate, metamorphic time, and metamorphic size of different shell color strains F₂

类别 item	变态率 ($\pm SD, \%$) metamorphosis rate	变态时间 ($\pm SD, \text{d}$) metamorphic time	变态规格 ($\pm SD, \text{d}$) metamorphic size
C	75.43 ± 5.62 ^c	18.00 ± 1.00 ^a	200.68 ± 2.42 ^a
Tr	80.16 ± 4.27 ^d	18.00 ± 0.58 ^a	200.93 ± 2.35 ^a
Tw	92.22 ± 3.64 ^b	17.00 ± 1.00 ^a	202.33 ± 2.62 ^a
Ab	97.35 ± 1.59 ^a	19.00 ± 0.58 ^a	198.69 ± 2.91 ^a
Or	91.68 ± 3.85 ^b	18.00 ± 0.58 ^a	202.54 ± 2.05 ^a
Pw	89.39 ± 3.72 ^b	17.33 ± 1.00 ^a	199.06 ± 1.87 ^a
Z	98.05 ± 1.16 ^a	18.00 ± 0.58 ^a	201.61 ± 2.26 ^a
W	85.26 ± 4.35 ^c	18.33 ± 1.00 ^a	199.23 ± 2.52 ^a

注: 同一列具有相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$), 下同。

Notes: The same letters in each column mean no significant difference ($P < 0.05$), the same as below.

2.4 稚贝的生长与存活

稚贝室内培育期间, 40日龄稚贝壳长 Pw、Tr > C、Tw、Ab > Z, 差异显著 ($P < 0.05$), Or 除大

于 Z 外,与其它品系差异不显著 ($P > 0.05$); 40 日龄稚贝存活率, Z 与 Ab、Or、W、C 与 Tw、Pw、Tr, 以及 Tw、Ab、Or、Pw、W 之间无显著差异 ($P > 0.05$), 其它品系间差异显著 ($P < 0.05$)。240 日龄, Ab 壳长最大, 但与 Or、Tr 差异不显著, Z 壳长最小, 但与 C、W 差异不显著 ($P > 0.05$), C 与 Pw、W、Tr、Tw、Or 之间, 以及 Tw 与 Pw 差异也不显著; Z 的存活率最高, 明显高于除 Ab 外的其它品系, C 的存活率最低, 明显低于除 Tr、Tw 外的其它品系, $W > Or > Pw$, 彼此差异显著 ($P < 0.05$) (图 3 和图 4)。

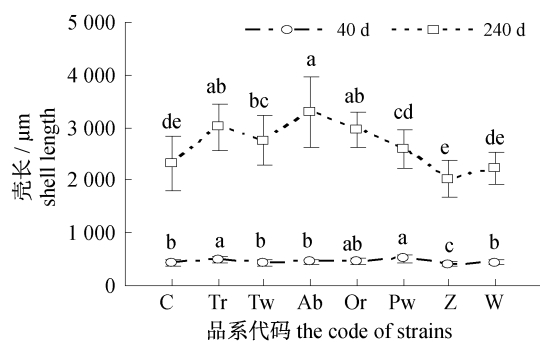


图 3 不同壳色蛤仔品系 F₂ 稚贝的生长

Fig. 3 Growth of F₂ juvenile for different shell color strains

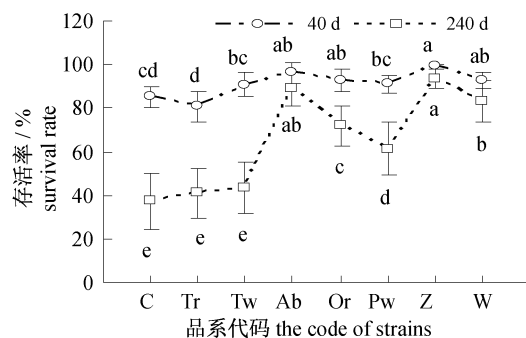


图 4 不同壳色蛤仔品系稚贝 F₂ 的存活

Fig. 4 Survival of F₂ juvenile for different shell color strains

2.5 养成期间的生长、存活及产量

300 日龄时, Pw 壳长、鲜重最大, 与 Tr 和 W 无显著差异, 显著大于其它壳色品系 ($P < 0.05$); Z、Ab 存活率明显高于 C ($P < 0.05$), 其它品系间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 5 和图 6)。360 日龄时, Pw 生长最快 [$(113.17 \pm 10.40) \mu\text{m}/\text{d}$] (表 3), 显著大于其它壳色品系 ($P < 0.05$), Ab 和 Z 生长最慢, 其生长速度分别为 $(92.19 \pm$

$7.15) \mu\text{m}/\text{d}$ 和 $(94.83 \pm 9.42) \mu\text{m}/\text{d}$ (表 3), 且壳长和鲜重显著小于其它壳色品系 ($P < 0.05$) (图 5 和图 6)。Ab 和 Z 的存活率高于其它品系 ($P < 0.05$), 但与 Or、Pw 差异不显著 ($P > 0.05$), Or 存活率高于 C ($P < 0.05$), 其它各品系存活率无显著差异 ($P > 0.05$) (图 7)。

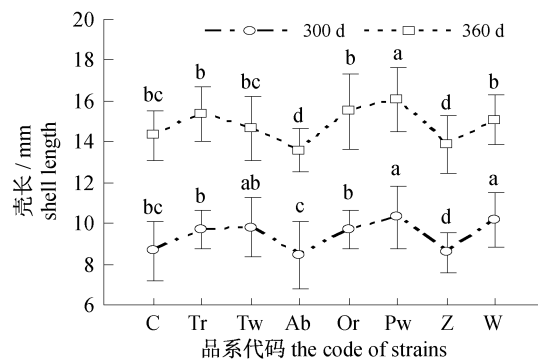


图 5 不同壳色品系幼贝 F₂ 的生长

Fig. 5 Growth of F₂ spat for different shell color strains

产量为总存活率与其鲜重的乘积。300 日龄时, Ab 和 W 的产量最高, 与 Or 和 Z 无显著差异, 显著高于其它壳色品系; 360 日龄时, C 的产量最低, Z 的产量最高, 与其他壳色品系差异均显著 ($P < 0.05$) (图 8)。相对产量为各种壳色品系的产量与 360 日龄对照组产量的百分比。将 360 日龄时 C 的产量定义为 100%, 则不同壳色品系相对产量的大小顺序为 $Z (678.63\% \pm 56.80\%) > Ab (554.88\% \pm 69.42\%) > Or (527.23\% \pm 76.21\%) > W (475.97 \pm 90.25\%) > Pw (405.90\% \pm 55.19\%) > Tw (224.89\% \pm 47.85\%) > Tr (178.50\% \pm 34.50\%) > C (100.00\% \pm 22.10\%)$ 。

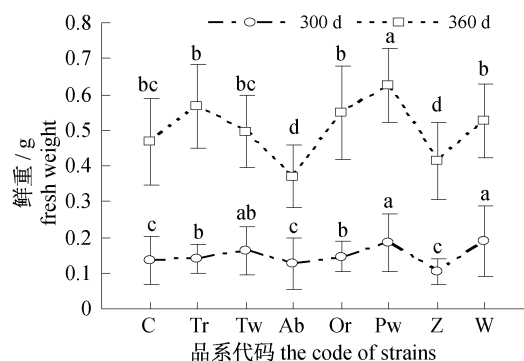
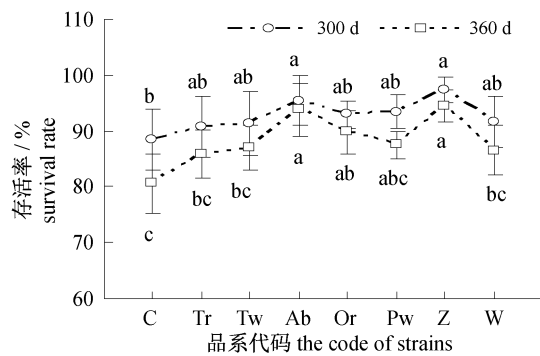
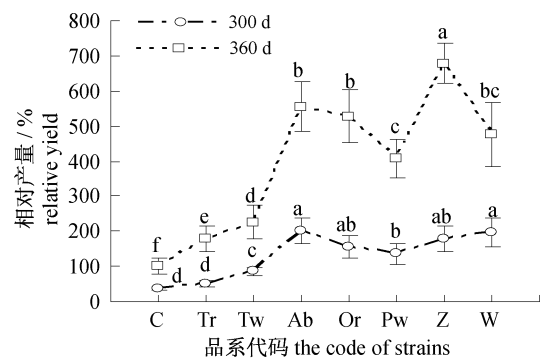


图 6 不同壳色品系幼贝 F₂ 的鲜重

Fig. 6 Weight of F₂ spat for different shell color strains

图7 不同壳色品系幼贝 F₂ 的存活Fig. 7 F₂ spat survival of different shell color strains图8 不同壳色品系幼贝 F₂ 的相对产量Fig. 8 F₂ spat relative yield of different shell color strains

3 讨论

3.1 不同壳色品系 F₁ 的遗传差异

选择育种是传统的育种方法,在动植物的育种中有几千年的历史,已经培育和改良了大量的动植物品种(品系)。理论和实践表明,亲本的遗传差异会在很大程度上影响子代的选择效果^[36]。闫喜武等^[30]对莆田群体2个壳色品系生长发育的研究中发现,斑马蛤具有很强的抗逆性,两道红具有生长快的特点。张跃环等^[34-35]在此基础上,对7个壳色品系(两道红、两道白、玛瑙黑、海洋红、珍珠白、斑马、波纹)的F₁进行了生长发育比较,进一步证实了斑马蛤具有抗逆性强,珍珠白、两道红具有生长快的特点。从F₁的壳长、鲜重、产量上看,珍珠白>两道红>两道白。在相同的培育条件下,可以排除环境对表型性状的影响,说明各壳色品系间的差异主要来自于遗传差异^[35]。

3.2 壳色与 F₂ 表型性状的关系

对不同壳色蛤仔品系 F₂ 的表型性状研究结

果表明,在不同时期壳色与生长、存活、变态等存在密切联系。亲贝的大小不同,产卵量存在差异,这与 Campbell 等^[38]对同龄不同壳长鲍的繁殖力研究结果一致。卵径、受精率、D形幼虫彼此间无显著差异,主要是因为不同壳色品系来自同一个群体,不存在卵径上的差异;卵径与D形幼虫大小相关联,即D形幼虫大小也不存在差异;受精率主要表现为精卵的亲合性,蛤仔的精卵亲和性很强,一般均表现出较高的受精率。孵化率略有差异,但都在90%以上,极有可能是由于亲贝卵子的卵内营养积累不均衡造成的。

浮游期间,不同壳色品系幼虫生长速度不同,以波纹蛤最快,两道红最慢。存活率也不尽相同,以玛瑙黑和斑马蛤存活率最高,表现出较高的抗逆性;对照组存活率相对较低,这种差异与F₁相似^[35]。在相同的亲本促熟和幼虫培育条件下,可以排除环境因子对存活性状的影响,说明存活率的高低是由遗传因素决定的。变态期间,变态率和变态规格无显著差异,变态率略有所差异。目前,大多数的研究集中在壳色与成体的关系上,对于壳色与幼虫的关系研究的很少,仅见蛤仔^[30-35]、海湾扇贝^[8-9]和马氏珠母贝^[11]。因为影响幼虫的生长、存活与变态的因素很多,包括幼虫的培育密度、环境因子等。闫喜武等^[30-33]发现浮游期间海洋红幼虫生长快于对照组,而斑马蛤幼虫有很高的存活率。张跃环等^[35]在对不同壳色品系F₁幼虫进行比较时发现,斑马蛤和玛瑙黑具有很高的存活率和变态率,与对F₂的研究结果一致。壳色与变态是否相关的研究很少,主要是由于在此时贝类幼虫尚未显现出壳色,均为透明或半透明状。至于这种关联是否由遗传基因决定,有待于进一步探讨^[8]。

室内培育期间,尽管稚贝壳色尚未表现出来,但其不同壳色品系生长与存活存在差异。珍珠白、两道红生长快,玛瑙黑和斑马蛤存活率高,近乎100%,这与闫喜武^[30-33],张跃环等^[34-35]的研究结果一致。当稚贝生长至2~3 mm后,逐渐表现出各品系的壳色差异,且壳色表现一致,此时称之为幼贝。夏季中间育成期间,白蛤生长快,并且有着较高的存活率;玛瑙黑此时生长慢,在F₁中间育成时,表现出较高的死亡率,经过一代驯化以后,表现出较高的存活率,这与其它的双壳类有着相似的规律。Newkirk^[7]认为贻贝颜色较深的会

吸收光能,所以在冬季生长较颜色较浅的贻贝快,而夏季则相反。目前的研究表明,壳色与生长、存活等表型性状存在显著相关。Wolff 等^[18]发现黄色的海湾扇贝明显小于正常的对照组;郑怀平等^[9]发现白壳色的海湾扇贝在夏季生长快于紫色与其它壳色群体;Alfonsi 等^[19]发现橘色个体海湾扇贝生长快于棕色个体。说明壳色作为一个可遗传的质量性状,不仅与它们的生态和行为有关还与其生长、存活等表型性状有关。本研究中,每种壳色品系的个体壳色表现均与 F₁ 相同。特别值得一提的是,玛瑙黑品系在壳长 8 ~ 10 mm 以前,背景颜色均为黑色,以后逐渐向墨绿色转化,成体为墨绿色个体,与 F₁ 个体的壳色完全一致。其它壳色品系壳色及壳面花纹表现稳定,壳色表现与 F₁ 100% 相同。

综合生长、存活等表型性状,用相对产量来衡量每个壳色品系的优劣。发现生长快的壳色品系并不是产量最高的,而是以存活率相对较高的品系产量高。其中,珍珠白生长快的特点不仅仅在 F₁、F₂ 中有所表现,在天然群体中也明显大于其它壳色蛤仔;斑马蛤存活率在 F₁ 和 F₂ 中均最高,说明生长快及其抗逆性强特点具有可遗传性。这与闫喜武等^[33]对不同壳色品系 F₁ 生长发育比较结果一致,即存活率的提高显著的影响着产量。育种时把生长和存活一起来考虑是一种新的育种模式,即在选择存活率高的品系的前提下,通过结合生长进行复合选择,来提高产量更有效。这种模式很容易获得 5 ~ 6 倍的产量提高,但若是通过生长来选择,每代产量提高 10% ~ 20% 是很困难的,尤其是经过 3 ~ 5 代的选择以后更加困难。因此,某种程度上讲,对存活表型性状即抗逆性的选择比对生长表型性状的选择更为重要。

3.3 以壳色为标记为贝类的遗传育种提供了新的方向

壳色作为一个稳定遗传的质量性状,可以作为标记,这为水产养殖和现品种的开发提供了新的方向。张国范等^[39]经过多年对贝类的研究,先后选育出生长快、抗病力强的“玛瑙鲍”和高产的“中科红海湾扇贝”新品种;何毛贤等^[40]选育出“南科珍珠红”马氏珠母贝新品种;闫喜武等^[41-42]通过定向选育和杂交,先后成功获得蛤仔选育系(两道红、两道白、玛瑙黑、海洋红、珍珠白、斑马、波纹)和杂交系(黑斑马、红斑马、白斑

马)。由此可见,作为质量性状的壳色,与数量性状密切相关。通过壳色品系的定向选育和杂交,可以得到具有优良经济性状的新品种。

参考文献:

- [1] 张跃环,闫喜武,张澎,等. 贝类壳色多态的研究概况及展望[J]. 水产科学,2008,27(12):681-684.
- [2] Sokolova I M, Berger V J. Physiological variation related to shell color polymorphism in White Sea *Littorina saxatilis* [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,2000,245:1-2.
- [3] Satoshi C. Character displacement, frequency-dependent selection, and divergence of shell colour in land snails *Mandarina* (Pulmonata) [J]. Biological Journal of the Linnean Society,1999,66:465-479.
- [4] Odile L, Luc M, Jacques D. Temperature and phenotypic plasticity in the shell colour and banding of the land snail *Helix aspersa*[J]. Animal Biology, 1998,321:649-654.
- [5] Cain A J. The colours of marine bivalve shells with special reference to *Macoma balthica* [J]. Malacologia,1988,28(1-2):289-318.
- [6] Innes D J, Halev L E. Inheritance of a shell-color polymorphism in the mussel [J]. Journal of Heredity,1977,68(3):203-204.
- [7] Newkirk G F. Genetics of shell color in *Mytilus edulis* L. and the association of growth rate with shell color[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,1980,47(1):89-94.
- [8] Zheng H P, Zhang G F, Liu X, et al. Comparison of growth and survival of larvae among different shell color stocks of bay scallop *Argopecten irradians irradians* (Lamarck, 1819) [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology,2005,23(2):183-188.
- [9] 郑怀平,张国范,刘晓,等. 不同贝壳颜色海湾扇贝家系的建立及生长发育的研究[J]. 海洋与湖沼,2004,36(6):632-639.
- [10] Brand E, Kijima A, Fujio Y. Shell color polymorphism and growth in the Japanese scallop, *Patinopecten yessoensis* [J]. Tohoku Journal of Agricultural Research,1994,44(1-4):67-76.
- [11] 王庆恒,邓岳文,杜晓东,等. 马氏珠母贝 4 个壳色选系 F₁ 幼虫的生长比较[J]. 中国水产科学,2008,15(3):488-492.
- [12] 邓岳文,张善发,符韶,等. 马氏珠母贝黄壳色选系 F₁ 和养殖群体形态性状比较[J]. 广东海洋大学学报,2007,27(6):77-80.

- [13] Cain A J. The colours of marine bivalve shells with special reference to *Macoma baltica* [J]. *Malacologia*, 1988, 28(1-2): 358-376.
- [14] Yonge C M. On the habits and adaptations of *Aloidia* (*Corbula*) *gibba*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* [J]. Plymouth, 1946, 26: 358-376.
- [15] Smith D A S. Polymorphism and selective predation in *Donax faba* (Bivalvia: Tellinacea) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1975, 17(2): 205-219.
- [16] McMahon R F, McMahon CO' B. Leaping and swimming as predator escape response in the jackknife clam, *Ensis minor* Dall (Bivalvia: Pharellidae) [J]. *The Nautilus*, 1983, 97: 55-58.
- [17] Beukema J J, Meehan B W. Latitudinal variation in linear growth and other shell characteristics of *Macoma balthica* [J]. *Marine Biology*, 1985, 90(1): 27-33.
- [18] Wolff M, Garrido J. Comparative study of growth and survival of two color morphs of Chilean scallop *Agopecten purpuratus* (Lamarck) in suspended culture [J]. *Journal of Shellfish Research*, 1991, 10(1): 47-53.
- [19] Alfonsi C, Perez J E. Growth and survival in the scallop *Nodipecten nodosus* as related to self-fertilization and shell colour [J]. *Biol Inst Oceanology Venez*, 1998, 37(122): 69-73.
- [20] Mitton J B. Shell color and pattern variation in *Mytilus edulis* and its adaptive significance [J]. *Chesapeake Sci*, 1977, 18(4): 387-390.
- [21] Figueroa E, Brand E, Winkler F. Shell color polymorphism and growth in the Chilean oyster *Tiostrea chilensis* [J]. *Journal of Shellfish Research*, 1992, 11(1): 194.
- [22] 赵洪恩, 张金世, 黄丽红. 关于玛瑙鲍的探索与研究 [J]. *水产科学*, 1999, 18(12): 3-6.
- [23] 庄启谦. 中国动物志 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [24] Taki I. On the variation in the colour pattern of a bivalve, *Venerupis philippinarum*, with special reference to its bilateral asymmetry [J]. *Venus*, 1941, 11, 71-87.
- [25] Gerard A. Recherche sur la variabilite de diverses populations de *Ruditapes decussates* et *Ruditapes philippinarum* (Veneridae, Bivalvia) [D]. These dr. 3^e cycle, Univ. Bretagne Occidentale, Brest, France, 1978, 149.
- [26] Gerard A. Etude des garnitures chromosomiques de deux *Veneridae*: *Ruditapes decussates* (L.) et *Ruditapes philippinarum* (Adams et Reeve) [J]. *Haliotis*, 1978, 9(1): 69-71.
- [27] Richardson C A. Tidal bands in the shell of the clam *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) [J]. *Proc R Soc London*, 1987, 230B: 367-387.
- [28] Richardson C A. Exogenous and endogenous rhythms of band formation in the shell of the clam *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1988, 122, 105-126.
- [29] Peignon J M, Geraed A, Naciri Y, et al. Analysis of shell colour determinism in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* [J]. *Aquatic Living Resources*, 1995, 8: 181-189.
- [30] 闫喜武, 张国范, 杨凤, 等. 菲律宾蛤仔莆田群体两个壳色品系生长发育的比较 [J]. *大连水产学院学报*, 2005, 20(4): 266-269.
- [31] 闫喜武, 张国范, 杨凤, 等. 菲律宾蛤仔莆田群体与大连群体生物学比较 [J]. *生态学报*, 2005, 25(12): 3329-3334.
- [32] 闫喜武. 菲律宾蛤仔养殖生物学、养殖技术和品种选育 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2005.
- [33] 闫喜武, 张跃环, 霍忠明, 等. 不同壳色菲律宾蛤仔品系间的双列杂交 [J]. *水产学报*, 2008, 32(6): 864-875.
- [34] 张跃环, 闫喜武, 姚托, 等. 菲律宾蛤仔 2 个壳色品系群体杂交的研究 [J]. *南方水产*, 2008, 4(3): 27-32.
- [35] 张跃环. 菲律宾蛤仔壳色、壳型的品系选育及其遗传机制研究 [D]. 大连: 大连水产学院, 2008.
- [36] 楼允东. 鱼类育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 23.
- [37] Zhang G F, Yan X W. A new three-phase culture method for Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, farming in northern China [J]. *Aquaculture*, 2006, 258: 452-461.
- [38] Campbell A, Lessard J, Jamieson G S. Fecundity and seasonal reproduction of northern abalone, *Haliotis kamtschatkana*, in Barkley Sound, Canada [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2003, 22(3): 811-818.
- [39] 张国范, 赵洪恩, 刘晓. 一种橘红壳色鲍的制种方法: 中国, CN1179640C [P].
- [40] 何毛贤, 管云雁, 袁涛. 一种红壳色品系马氏珠母贝的制种方法: 中国, CN100362912C [P].
- [41] 闫喜武, 张跃环, 杨凤, 等. 菲律宾蛤仔选育系的制种方法: 中国, CN101288387 [P].
- [42] 闫喜武, 张跃环, 杨凤, 等. 菲律宾蛤仔杂交系的制种方法: 中国, CN101292635 [P].

Studies on phenotypic traits of different shell color strains F₂ of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*)

YAN Xi-wu^{1*}, ZHANG Yue-huan¹, HUO Zhong-ming¹,
SUN Huan-qiang¹, YANG Feng¹, ZHANG Guo-fan²

(1. Institute of Life Science and Technology, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: The study on phenotypic traits of different shell color strains F₁ and F₂ (C: the control strains; Tr; two-band red strain; Tw; two-band white strain; Ab; agate-black strain; Or; ocean-red strain; Pw; pearl-white strain; Z; zebra strain; W; wave strain.) of Manila clam was conducted in September 2007. The results showed that the shell length of Pw F₁ was the greatest, and significantly greater than others except Tr ($P < 0.05$), the shell length of Z was the smallest, and significantly smaller than others ($P < 0.05$), there were no obvious differences in shell length among C, Or, W, between Tr and Tw, among Tw, Ab, Or, among Ab, Or, W ($P < 0.05$). Both fresh weight and fecundity of Pw F₁ were the greatest, that of Tr were the second greatest and significantly greater than others ($P < 0.05$), those of Z were the smallest, and significantly smaller than others ($P < 0.05$), there were no remarkable differences between C and W, among Tw, Ab, Or in fresh weight and between C and Z, among Tr, Ab, Or, W in fecundity ($P < 0.05$). No significant differences in egg-diameter, the fertilized rates and size of D larvae were observed among all strains ($P < 0.05$), the hatching rate of C was significantly lower than those of other strains except Tw ($P < 0.05$). By end of pelagic period (9 d), the shell lengths of W and Z were significantly greater than those of other strains ($P < 0.05$), there were no remarkable differences in shell length among Tw, Ab, Or, Pw, Z, W ($P > 0.05$); the sequences of survival rates were following: Ab, Z > Or, W > Tw, Pw > Tr > C, there were significant differences among them ($P < 0.05$). No remarkable difference in both metamorphic time and metamorphic size among all strains was observed ($P > 0.05$). There were such a sequence in metamorphic rates as follows: Ab > Z > Tw > Or > Pw > W > Tr > C, there were significant differences among them ($P < 0.05$). By the end of indoor rearing period (240 d), the shell length of Ab were significantly greater than those of other strains except Or, Tr ($P < 0.05$), the shell length of Z were significantly smaller than those of other strains except C, W ($P < 0.05$), there were no remarkable differences in shell length between C and Pw, W, Tr, Tw, Or, and between Tw and Pw; the survival rate of Z was remarkably higher than those of other strains except Ab ($P < 0.05$), the survival rate of C was remarkably lower than those of other strains except Tr, Tw ($P < 0.05$). On day 360, both shell length and fresh weight were the greatest and remarkably greater than those of other strains ($P < 0.05$), the shell length of Ab and Z were significantly smaller than those of other strains ($P < 0.05$), the survival rate of Ab and Z were significantly higher than those of other strains except Or, Pw ($P < 0.05$), the survival rate of Or was significantly higher than that of C ($P < 0.05$), there was no remarkable difference in survival rate among other strains ($P < 0.05$). The order of relative yields was as follows: Z (678.63% ± 56.80%) > Ab (554.88% ± 69.42%) > Or (527.23% ± 76.21%) > W (475.97% ± 90.25%) > Pw (405.90% ± 55.19%) > Tw (224.89% ± 47.85%) > Tr (178.50% ± 34.50%) > C (100.00% ± 22.10%).

Key words: *Ruditapes philippinarum*; shell color; stains; phenotypic traits

Corresponding author: YAN Xi-wu. E-mail: yanxiwu2002@163.com