

陈爱华,姚国兴,吴杨平,等. 不同地理种群红壳色文蛤的杂种优势[J]. 江苏农业科学,2014,42(1):180-183.

不同地理种群红壳色文蛤的杂种优势

陈爱华,姚国兴,吴杨平,张 雨

(江苏省海洋水产研究所/江苏省海洋经济贝类研发中心,江苏南通 226007)

摘要:以广西原种种群中红壳色文蛤(G,g)、江苏原种种群红壳色文蛤(S,s)为材料,进行不同地理种群双列杂交试验,建立杂交组合 $G(\text{♀}) \times s(\text{♂})$ 和 $S(\text{♀}) \times g(\text{♂})$,自交组合 $S(\text{♀}) \times s(\text{♂})$ 和 $G(\text{♀}) \times g(\text{♂})$ 。对各组合受精卵直径、孵化率以及早期生长进行了比较。结果表明:以广西种群红壳色文蛤为母本的组合 $G \times s$ 、 $G \times g$ 在受精卵直径与以江苏种群为母本的组合 $S \times g$ 、 $S \times s$ 存在差异($P < 0.05$),孵化率无显著差异($P > 0.05$)。浮游期以及附着期的壳生长均表现为母本效应,组合 $G \times s$ 、 $G \times g$ 生长较组合 $S \times s$ 、 $S \times g$ 更具生长优势。杂交组合均比自交组合生长快,表现出杂种优势。

关键词:文蛤;红壳色;地理种群;杂种优势

中图分类号: S917 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)01-0180-04

杂交是创造变异的重要途径,是动植物遗传改良的重要手段,其主要作用是利用杂种优势或为育种制备中间材料^[1-4]。杂种优势的现象最早由 Shull 在玉米中报道,这是作物育种中利用杂交优势开始的标志,也是遗传学中最伟大的成果之一。贝类杂交的研究始于牡蛎(*Concha ostreae*)^[5],目前国内外在牡蛎、贻贝(*Mytilus edulis*)、硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)^[6]、海湾扇贝(*Argopecten circularis*)^[7]、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)^[8-10]、合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)^[11]等多种经济贝类中开展了杂交育种研究,相继有利用杂种优势迅速和显著提高杂种产量或生活力的报道。相对而言,素有“天下第一鲜”美誉的文蛤(*Meretrix meretrix*)在杂交研究中鲜有报道,仅见于江苏和山东两个不同地理种群文蛤的杂交研究,而基于红壳色文蛤不同地理种群的杂交研究

尚未见报道。

文蛤是传统经济贝类,文蛤出口是江苏发展创汇渔业的主导产业之一,产量与出口量均为全国之首。近年来,天然文蛤附苗场遭致破坏,文蛤种质退化、抗逆性降低、生产能力低下,迫切需要选育文蛤良种培育新的增长点。本研究旨在以国际市场上商品价值高出普通文蛤3~4倍的红壳色文蛤为研究对象,探索不同地理种群红壳色文蛤杂交研究,为文蛤种质改良和优良品系培育及杂种优势的充分利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 亲贝来源

试验所用的不同地理种群红壳色文蛤来自江苏海洋水产研究所省文蛤良种场吕四基地分池保种养殖的江苏原种红壳色文蛤和广西原种红壳色文蛤。分别以其中发育良好、性腺成熟及个体较大者为亲贝。

1.2 杂交家系的建立

试验于2012年7月在江苏省文蛤良种场吕四基地进行。通过阴干+氨水+充气催产,12 h后亲贝开始产卵排精,从两个种群中选取雌雄个体,放到盛有新鲜砂滤海水的1 000 mL烧杯中,亲贝继续产卵排精,后将精卵混合即得到家系。由此建立不同地理种群红壳色文蛤 2×2 双列杂交家

收稿日期:2013-05-06

基金项目:江苏省水产三项更新工程项目(编号:PJ2010-50、BZ2010-10);江苏省南通市科技创新计划项目(编号:HL2011016、BK2012021)。

作者简介:陈爱华(1966—),女,江苏海安人,研究员,研究方向为海水经济贝类遗传育种。Tel: (0513) 85228272; E-mail: uyping@163.com。

液浓度2%,芯材与壁材比例1:3,保护剂含量4%,乳化剂含量6%;进风温度200℃,出风温度90℃,蠕动泵速度70 mL/h,均质速率16 000 r/min。所得产品平均粒径为 $(5.08 \pm 2.75) \mu\text{m}$,包埋率达到75.23%。所制备的微胶囊产品可抵御胃酸,具有肠溶性。

参考文献:

- [1] Mark H F. Encyclopedia of polymer science and technology[M]. 2nd ed. New York: Wiley Press, 1987: 724.
- [2] 孙翰昌,杨帆. 肠型点状气单胞菌口服疫苗微粒的制备及体外释放研究[J]. 水产科学, 2008, 27(12): 658-661.
- [3] 陈河如,邹湘辉,马民智. 头孢唑啉钠-海藻酸钠微胶囊的制备

- 及抗菌作用[J]. 应用化学, 2007, 24(12): 1354-1358.
- [4] 中华人民共和国卫生部药典委员会. 中华人民共和国药典: 二部[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [5] 马兴元. 动物口服疫苗研究进展[J]. 动物医学进展, 1998, 2(2): 2-5.
- [6] 项琪,宁黎丽. 口服疫苗微球化研究进展[J]. 中国现代应用药学杂志, 2001, 18(2): 4-7.
- [7] 陈浮,张志荣,黄园. 口服疫苗给药系统的研究进展[J]. 华西药理学杂志, 2007, 22(1): 69-71.
- [8] Shakweh M, Besnard M, Nicolas V, et al. Poly (lactide-co-glycolide) particles of different physicochemical properties and their uptake by peyer's patches in mice[J]. Eur J Pharm Biopharma, 2005, 61(1/2): 1-13.

系(表 1),每个家系设置 3 次重复。

表 1 不同地理种群红壳色文蛤双列杂交设计

亲本	广西 ♂ (g)	江苏 ♂ (s)
广西 ♀ (G)	G × g	G × s
江苏 ♀ (S)	S × g	S × s

1.3 幼虫培育

将上述建立的各家系组转移至 300 L 的圆柱形塑料白缸中培育。经计数后受精卵密度调节为 3.0 个/mL。约 24 h 后,D 形幼虫孵出,将各家系幼虫转移至另一 300 L 圆柱型塑料缸中培育,初始密度控制在 2.0 个/mL,保证各个家系的密度基本一致。早期每天半量换水 1 次,培育水温 27.0 ~ 29.6 ℃;以湛江叉鞭藻(*Dicrateria zhanjiang*)、亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)和绿色巴夫藻(*Pavlova viridis*)为主要饵料,连续充气培养。培育过程中,所用器具用砂滤海水浸泡后冲洗干净,保持各选系间的隔离,避免幼虫交叉污染。

1.4 稚贝培育

幼虫附着后移至 1 000 L 的圆柱形塑料白缸中培育,以自然海水为饵料来源,适当补充人工单胞藻,每天换水 1 次,每次 2/3。每 3 ~ 5 d 冲洗塑料白缸 1 次。培育过程中所用的器具全部用砂滤海水浸泡后冲洗干净,保持各试验组的有效的隔离,避免幼虫交叉混种。

1.5 指标测定

亲贝规格,采用电子游标卡尺(精度 ± 0.02 mm)测量壳长(mm)、壳高(mm)及壳宽(mm),并用电子天平测其粒质量(g)。

受精卵卵径,镜检观察发现精卵完成受精即从各试验组中随机取 30 个受精卵,利用 Olympus 显微镜目微尺(精度 ± 5 μm)测量其卵径。

孵化率,采用 10 mL 移液管分别计数受精卵密度及 D 形幼虫密度,并用如下公式计算孵化率:

孵化率 = D 形幼虫密度 / 受精卵密度 × 100%。

生长情况,以壳长为指标,壳长 ≤ 2 000 μm 时,幼虫或稚贝均采用 Olympus 显微镜目微尺测量;壳长 > 2 000 μm 时,稚贝采用电子游标卡尺测量。浮游期在 1、2、4、5 日龄从各试验组随机取 30 个幼虫,测量壳长。幼虫附着后,分别在 13、28、43、58、73、88、104 日龄每次随机取 30 个稚贝测量。并计算双列杂交中各家系壳长日生长率,公式为: $r = [(L_t/L_0)^{1/t} - 1] \times 100\%$ [12],式中,r 为日生长率(%); L_t 为结束时壳长(mm); L_0 为开始时壳长(mm); t 为试验天数(d)。

1.6 杂种优势的计算

参照 Cruz 等 [13] 与郑怀平 [14] 使用的方法,用下面公式计算杂种优势 H (Heterosis):

$$H = \frac{L_{G \times S} + L_{S \times g} - (L_{G \times g} + L_{S \times s})}{L_{G \times g} + L_{S \times s}} \times 100\% \quad (1)$$

$$H_{G \times s} = \frac{L_{G \times s} - L_{G \times g}}{L_{G \times g}} \times 100\% \quad (2)$$

$$H_{S \times g} = \frac{L_{S \times g} - L_{S \times s}}{L_{S \times s}} \times 100\% \quad (3)$$

式中:G、g 和 S、s 分别代表江苏种群红壳色文蛤和广西种群红壳色文蛤,G 和 S 表示母本 ♀,g 和 s 表示父本 ♂。公式

(1) 表示双列杂交的杂种优势,公式(2)和(3)分别表示双列杂交中正反交组的杂种优势。

1.7 数据分析

用 EXCEL 2003 作图并用 SPSS 17.0 统计软件对数据进行分析处理,采用单因素方差(ANOVA)比较各家系间壳长的差异。

2 结果与分析

2.1 不同地理种群红壳色文蛤卵径、孵化率比较

双列杂交各组合的卵径和孵化率见表 2。由此可见,母本来自广西种群的两组合 G × g、G × s 卵径分别为 (77.05 ± 7.05) μm 和 (77.25 ± 7.25) μm,两者差异不显著 ($P > 0.05$);母本来自江苏种群的两组合 S × s、S × g 卵径为 (93.00 ± 3.62) μm 和 (92.76 ± 2.51) μm,两者差异也不显著 ($P > 0.05$);而不同母本组合 G × g 和 G × s 的卵径与组合 S × s 和 S × g 差异显著 ($P < 0.05$)。4 个组合的孵化率为 85.34% ~ 88.66%,单因子方差分析结果显示各组合的孵化率差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 不同选系红壳色文蛤的卵径、孵化率比较

组合	卵径 (μm)	孵化率 (%)
G × g	77.05 ± 7.05a	87.52 ± 7.52a
G × s	77.25 ± 7.25a	85.34 ± 5.34a
S × s	93.00 ± 3.62b	88.66 ± 8.66a
S × g	92.76 ± 2.51b	85.81 ± 5.81a

注:同列数据后不同字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

2.2 浮游期幼虫生长比较及杂种优势

4 个组合的幼虫在 1 ~ 5 d 的平均壳长、日龄生长率和杂种优势见表 3。由表 3 可见,随着日龄增加,4 个组合幼虫的壳长均呈现不同程度的生长,且幼虫大小和生长存在母本效应。多重比较结果显示,除 5 日龄时 G × s 和 S × s 差异不显著 ($P > 0.05$) 外,其他日龄内不同母本的组合间差异显著 ($P < 0.05$)。而同一母本来源的组合间多数不显著 ($P > 0.05$),如除 2 日龄 以外,G × g 和 G × s 均不显著 ($P > 0.05$)。在 1 ~ 5 日龄浮游期内各组合的日生长率存在如下关系: $G \times s > S \times g > G \times g > S \times s$,可见在浮游期内,杂交组合 G × s 和 S × g 生长较快,尤以 G × s 组合的日生长率为最快。1 日龄时两种群的杂种优势及正反交杂种优势分别为 1.40、0.86 和 1.87,至 5 日龄时三者分别为 5.43、3.43 和 7.25;浮游期内两种群的杂种优势及正反交杂种优势平均值分别为 3.35、3.67 和 4.00,差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3 培育期稚贝生长比较及杂种优势

由表 4 可见,13 日龄时(附着早期)组合 G × g 的壳长最小,为 (234.25 ± 30.71) μm,且与其他 3 组合差异显著 ($P < 0.05$);附着早期,母本来自江苏种群的两组合 S × s 和 S × g 的壳长均大于母本来自广西种群的两组合 G × g 和 G × s;随着日龄的增加,4 组合的壳长差距逐渐缩小,但不同母本来源的组合间仍存在差异,母本来自广西种群的两组合 G × g 和 G × s 生长较快,28 ~ 58 日龄组合 G × s 的生长最快,58 日龄时组合 G × s 壳长最大,且与其他 3 组差异显著 ($P < 0.05$)。13 ~ 58 日龄阶段 G × g、G × s、S × s 和 S × g 等 4 组合日生长率分别为 4.88、5.42、3.59、3.69,从中可见此阶段以广西种

表 3 浮游期双列杂交 4 个文蛤组合的壳长及杂种优势

日龄 (d)	平均壳长(μm)				杂种优势(%)		
	G × g	G × s	S × s	S × g	H	H _{G×s}	H _{S×g}
1	124.38a ± 2.50	125.45a ± 3.50	141.25b ± 6.94	143.89b ± 2.74	1.40	0.86	1.87
2	134.09a ± 6.25	142.81b ± 2.56	161.00c ± 7.71	165.45c ± 5.22	4.46	6.50	2.76
4	163.50a ± 8.75	167.75a ± 8.50	182.50b ± 7.17	190.00b ± 9.13	3.40	2.60	4.11
5	170.00a ± 5.77	175.83ab ± 3.59	186.25b ± 10.24	199.75c ± 24.57	5.43	3.43	7.25

注:同行数据后不同字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。

表 4 附着后双列杂交的 4 个文蛤组合培育期壳长生长比较

日龄 (d)	平均壳长(μm)				杂种优势(%)		
	G × g	G × s	S × s	S × g	H	H _{G×s}	H _{S×g}
13	234.25a ± 30.71	268.75b ± 35.9	364.75c ± 36.04	374.50c ± 23.78	7.39	14.73	2.67
28	751.89a ± 100.02	841.63b ± 145.83	784.58ab ± 124.82	806.38ab ± 113.60	7.26	11.94	2.78
43	1 372.38a ± 201.48	1 871.72c ± 408.38	1 441.61ab ± 304.70	1 597.37b ± 358.78	23.28	36.38	10.8
58	1 995.65a ± 433.35	2 887.92b ± 866.51	1 786.68a ± 737.49	1 910.18a ± 419.62	26.86	44.71	6.91

群为母本两组合生长明显快于以江苏种群为母本的两组合。杂种优势均为正值, H 、 $H_{G \times s}$ 、 $H_{S \times g}$ 分别为 16.20 ± 10.35 、 26.94 ± 16.12 、 5.79 ± 3.88 ,正反交杂种优势差异显著($P < 0.05$)。

2.4 养成期稚贝生长比较及杂种优势

表 5 为 73~104 日龄 4 个组合稚贝的壳长和杂种优势情况。表 5 显示,4 组合中壳长情况与母本关系密切,以广西种群为母本两组合壳长较大,且杂交组合壳长大于自交组合,杂交组合 G × s 在 73~104 日龄间壳长由 ($3\,442.00 \pm$

867.24) μm 变化至 ($5\,106.48 \pm 1\,410.31$) μm。以江苏种群为母本的两组合,73~104 日龄间生长缓慢,杂交组合 S × g 在 73 日龄时壳长为 ($2\,955.33 \pm 1\,585.76$) μm,而至 104 日龄只是 ($3\,241.00 \pm 2\,009.99$) μm。73~104 日龄阶段 G × g、G × s、S × s、S × g 等 4 个组合日生长率分别为 1.35、1.28、0.66、0.30。从中可以看出此阶段以广西种群为母本两组合生长明显快于以江苏种群为母本的两组合。杂种优势均为正值, H 、 $H_{G \times s}$ 、 $H_{S \times g}$ 分别为 11.78 ± 3.64 、 10.01 ± 4.08 、 14.04 ± 6.66 ,差异不显著($P > 0.05$)。

表 5 附着后双列杂交的 4 个文蛤组合养成期壳长生长比较

稚贝日龄 (d)	平均壳长(μm)				杂种优势(%)		
	G × g	G × s	S × s	S × g	H	H _{G×s}	H _{S×g}
73	3 034.33b ± 700.86	3 442.00b ± 867.24	2 483.00a ± 651.78	2 955.33ab ± 1 585.76	15.95	13.44	19.02
88	3 702.33b ± 1 670.15	3 905.67b ± 1 602.52	2 639.33a ± 1 052.62	3 078.25ab ± 1 494.02	10.13	5.49	16.63
104	4 596.37b ± 1 398.11	5 106.48b ± 1 410.31	3 043.77a ± 825.62	3 241.00a ± 2 009.99	9.26	11.1	6.48

3 讨论

3.1 红壳色文蛤不同地理种群差异

亲本间的遗传差异是产生杂种优势的基础^[15]。文蛤不同地理种群的遗传基础存在差异。沈怀舜等对江苏、广西等 3 种群 RAPD 分析,显示广西与江苏种群遗传距离较大^[16]。程汉良等采用 ITS 序列对我国沿海 4 个地理种群文蛤的遗传结构进行研究时也发现广西种群与江苏等其他 3 种群的遗传距离远^[17]。张志伟等发现文蛤广西种群遗传多样性较其他种群丰富,广西种群中低频位点显著增加,而隐性纯合基因位点显著减少,存在大量稀有等位基因,广西种群属于种质较优种群^[18]。在形态方面,吴杨平等系统研究了我国沿海多个代表性的文蛤不同地理种群间的差异,构建了区判别别方程^[19]。从本研究结果中可以发现,广西、江苏种群在卵径大小,幼虫以及稚贝的生长也有差异。江苏种群浮游幼虫期一般为 5 d,5 日龄时幼虫已大部分附着。广西种群浮游幼虫期则为 5 d 以上,5 日龄时只有少数幼虫开始附着,到 7 日龄时附着生活。幼虫大小也存在差异,本研究中 1~5 日龄以广西种群为母本的 2 个组合幼虫比以江苏种群为母本的 2 个组合幼虫小。不同地理种群后代早期生长的差异性已在菲律宾蛤

仔^[8-10]和马氏珠母贝^[20-21]均有相关的研究报道。

3.2 不同杂交组合的杂交效果

杂种优势是指通过对不同物种或者不同品系的生物间交配以产生杂种后代在生长、繁殖以及抗逆性能等方面表现出相对于亲本更优的现象^[22]。许多学者在不同贝类种群、品系间进行杂交,普遍得出的结论正反交组合的杂种优势程度不一致。Hedgecock 等发现太平洋牡蛎的杂交存在正反交的差异^[23]。郑怀平建立不同遗传背景海湾扇贝杂交、自交家系,结果显示正反交效果有差异^[14]。刘小林等报道了栉孔扇贝不同种群杂交效果的研究中指出:中国养殖种群 ♀ × 俄罗斯种群 ♂ 杂交优势最突出,优于反交杂交组合俄罗斯种群 ♀ × 中国养殖种群 ♂^[24]。Cruz 等对不同地理种群的扇贝进行双列杂交,发现其正反交结果不同,与母本的选择关系大^[25]。本研究两杂交组合 G × s、S × g 卵径、壳长生长情况以及杂种优势均存在差异。1 至 13 日龄杂交组合 S × g 壳长生长显著快于杂交组合 G × s 壳长,13 日龄之后杂交组合 G × s 壳长生长显著快于杂交组合 S × g,104 日龄时 G × s 壳长达到了 ($5\,106.48 \pm 1\,410.31$) μm, S × g 壳长仅为 ($3\,241.00 \pm 2\,009.99$) μm。因此在文蛤育种过程中,亲本的选择和杂交组合方式影响杂种优势。

母本效应是指子代的某些外貌特征、生理性状和生产性能受其母本直接影响的一种生理现象^[10]。母本效应广泛存在于动植物的杂交育种中,在鱼类^[26]、两栖类^[27]报道较多。贝类也有一些报道,Soletchnik 等对牡蛎进行种间杂交,杂交个体的生长与存活在幼虫期间存在显著的母本效应,而后随着个体生长而消失^[28]。在海湾扇贝群体间杂交^[13]、菲律宾蛤仔群体间杂交^[9-10]均有母本效应。在本试验中,组合 $G \times s$ 与 $G \times G$ 的生长趋势一致,组合 $S \times s$ 与 $S \times g$ 的壳长长情况相似。无论是在浮游期还是附着期的壳生长情况均表现出明显的母本效应。这提示我们在文蛤选育工作中需更注重母本的选择。

3.3 不同时期杂交优势的差异

许多研究结果表明不同生长阶段杂种优势存在差异。Manzi 等报道硬壳蛤在幼虫期杂种优势不明显,随着生长发育,杂种优势越来越显著^[6]。Cruz 等进行扇贝杂交时发现 2 个种群杂交幼虫在 1~11 日龄幼虫生长杂种优势为 0,至 17 日龄时达到 6.8%^[13]。闫喜武等进行不同壳色菲律宾蛤仔品系间的杂交,发现杂种优势的平均水平在不同阶段表现不同,随着个体发育,生长优势越来越明显^[8]。本研究中,从浮游期生长情况来看,杂交组合 $G \times s$ 、 $S \times g$ 表现出不同程度上优于自交组合 $G \times g$ 、 $S \times s$,但差异不显著($P > 0.05$),杂种优势不明显。幼虫附着后,随着幼虫的生长发育,杂交组合 $G \times s$ 和自交家系 $G \times g$ 的差异变大,特别是 28~58 日龄差异显著($P < 0.05$),杂种优势明显。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志:软体动物门双壳纲 帘蛤科[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [2] 吴杨平,陈爱华,姚国兴. 红壳色文蛤选育子代各壳色的形态分化及养殖效果的比较[J]. 台湾海峡,2012,31(3):412-419.
- [3] 张雨,陈爱华,姚国兴,等. 文蛤红壳色选育子代 2 种壳色种群生长与消化酶活性的比较[J]. 江苏农业科学,2012,40(3):197-199.
- [4] 李思发,王成辉,刘志国,等. 三种红鲤生长性状的杂种优势与遗传相关分析[J]. 水产学报,2006,30(2):175-180.
- [5] Newkirk G F, Haley L, Waugh D L, et al. Genetics of larvae and SPAT growth rate in the oyster *Crassostrea virginica*[J]. Marine Biology, 1977, 41(1):49-52.
- [6] Manzi J J, Hadley N H, Dillon J R. Hard clam, *Mercenaria mercenaria*, broodstocks: growth of selected hatchery stocks and their reciprocal crosses[J]. Aquaculture, 1991, 94(1):17-26.
- [7] 郑怀平,张国范,刘 晓,等. 海湾扇贝杂交家系与自交家系生长和存活的比较[J]. 水产学报,2004,28(3):265-272.
- [8] 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.
- [9] 张跃环,闫喜武,姚 托,等. 菲律宾蛤仔 2 个壳色品系种群杂交的研究[J]. 南方水产,2008,4(3):27-32.
- [10] 闫喜武,张跃环,孙焕强,等. 菲律宾蛤仔两道红与白斑品系的三元杂交[J]. 水产学报,2010,34(8):1190-1197.
- [11] 谷龙春,李金碧,喻达辉,等. 合浦珠母贝双列杂交家系的建立与遗传分析[J]. 水产学报,2010,34(1):26-31.
- [12] 张涛,杨红生. 环境因子对硬壳蛤 *Mercenaria mercenaria* 稚贝成活率和生长率的影响[J]. 海洋与湖沼,2003,34(2):142-149.
- [13] Cruz P, Ibarra A M. Larval growth and survival of two catarina scallop (*Argopecten circularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1997, 212(1):95-110.
- [14] 郑怀平,张国范,刘 晓,等. 海湾扇贝杂交家系与自交家系生长和存活的比较[J]. 水产学报,2004,28(3):267-272.
- [15] 张国范,王继红. 皱纹盘鲍中国种群和日本种群的自交与杂交 F1 的 RAPD 标记[J]. 海洋与湖沼,2002,33(5):484-491.
- [16] 沈怀舜,朱建一,丁亚平,等. 我国沿海三个文蛤地理群的 RAPD 分析[J]. 海洋学报,2003,25(5):97-102.
- [17] 程汉良,夏德全,吴婷婷,等. 6 种帘蛤科贝类及 4 个地理种群文蛤线粒体 *CO I* 基因片段序列分析[J]. 海洋学报,2007,29(5):109-116.
- [18] 张志伟,陈爱华,姚国兴,等. 我国沿海不同地理原种文蛤 (*Meretrix meretrix*) 的 SRAP 分析[J]. 海洋与湖沼,2010,41(3):429-434.
- [19] 吴杨平,姚国兴,陈爱华,等. 文蛤属 2 种贝类多变量形态分析及日本文蛤的物种有效性[J]. 水产学报,2011,35(9):1410-1418.
- [20] 王爱民,石耀华,周志刚. 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代形态性状参数及相关性分析[J]. 海洋水产研究,2004,25(3):39-45.
- [21] 王爱民,阎 冰,叶 力,等. 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代主要性状的比较[J]. 水产学报,2003,27(3):200-206.
- [22] 毛震华. 鱼类育种学[J]. 水产学报,1988,12(4):302.
- [23] Hedgecock D, Mcgoldrick D J, Bayne B L. Hybrid vigor in pacific oysters: an experimental approach using crosses among inbred lines[J]. Aquaculture, 1995, 137(1):285-298.
- [24] 刘小林,常亚青,相建海,等. 栉孔扇贝不同种群杂交效果的初步研究——I. 中国种群与俄罗斯种群的杂交[J]. 海洋学报,2003,25(1):93-99.
- [25] Cruz P, Ramirez J L, Garcia G A, et al. Genetic differences between two populations of catarina scallop (*Argopecten ventricosus*) for adaptations for growth and survival in a stressful environment[J]. Aquaculture, 1998, 166(3/4):321-335.
- [26] Solemdal P. Maternal effects - a link between the past and the future[J]. Journal of Sea Research, 1997, 37(3):213-227.
- [27] Laugen A T, Kruuk B L, Laurila A, et al. Quantitative genetics of larval life - history traits in *Rana temporaria* in different environmental conditions[J]. Genetical Research, 2005, 86(3):161-170.
- [28] Soletchnik P, Huvet A, Le O M, 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.