

三疣梭子蟹自交与杂交家系子一代 生长和存活比较

王好锋 韩晓琳 段亚飞 高保全 刘萍* 李健

(农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要 选择繁殖性能好的 A 家系(F_6)和生长与存活好的 B 家系(F_3),设计家系内自繁和家系间杂交,比较其自交组与杂交组子一代的生长与存活,评价杂交效应。由自交组 $F_{66}(A♀ \times A♂)$ 、 $F_{33}(B♀ \times B♂)$ 和杂交组 $F_{63}(A♂ \times B♀)$ 、 $F_{36}(B♂ \times A♀)$ 4 个实验组组成,比较各实验组子一代在 80、100、120、150 日龄时的各生长指标杂种优势。研究表明,同一生长发育阶段的同一杂交群体的不同性状,表现的杂种优势大小有很大差异,而且同一杂交群体的同一性状在不同生长发育阶段表现的杂种优势大小同样有差异。自交组各阶段全甲宽、甲宽、甲长和体高的生长趋势比较一致,为 $F_{33} > F_{66}$;不同生长性状的生长速度方面,杂交组具有不同程度的总体杂种优势(-3.50% - 19.47%)。结果显示,就存活而言,杂交组比自交组的存活率杂种优势明显,总体杂种优势率为 24.8%,与存活相关的养殖产量的总体杂种优势率为 15.99%,无论是生长性状还是存活,杂交使 A 家系获得的改良效果比 B 家系的好。A、B 两个家系间存在的遗传差异获得杂种优势,是性状得到改良的基础。

关键词 三疣梭子蟹;杂交;生长;存活

中图分类号 S917.4 文献标志码 A 文章编号 1000-7075(2014)03-0074-08

Comparison of growth and survival of the hybrid and inbred families of *Portunus trituberculatus*

WANG Hao-feng HAN Xiao-lin DUAN Ya-fei GAO Bao-quan
LIU Ping* LI Jian

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT In this study we compared the reproductive performance of female parents, growth of these filial generations, survival, and yield of six inbreeding generations (F_1 - F_6) of full-sib families of *Portunus trituberculatus*. The statistical methods applied in the study were single factor analysis of variance (One-Way ANOVA), least significant difference (LSD), multiple comparison analysis, and analysis of covariance. We set up the reproduction between two full-sib inbreeding families (F_3 - F_6), Pedigree A (F_6) and B (F_3), at different genetic purification degree. There are four experimental

国家高技术研究发展计划(863 计划)课题“主要养殖甲壳类良种培育”(2012AA10A409)、农业科技成果转化资金项目[三疣梭子蟹“黄选 1 号”新品种扩繁和养殖技术示范(2013GB23260589)]和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(20603022012015)共同资助

* 通讯作者。E-mail: liuping@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85836605

收稿日期:2013-07-12;接受日期:2013-12-28

作者简介:王好锋(1986-),女,硕士研究生,主要从事海水养殖生物种质资源与遗传育种研究。E-mail: whf.06@163.com

groups, of which there are two inbreeding groups $F_{66}(A \text{♀} \times A \text{♂})$ and $F_{33}(B \text{♀} \times B \text{♂})$ and two hybrid groups $F_{63}(A \text{♂} \times B \text{♀})$ and $F_{36}(B \text{♂} \times A \text{♀})$. By comparing the growth of filial generations of four experimental groups during the outdoor periods, we found that at 80-day, 100-day, 120-day and 150-day, different characters of the same hybrid group had different heterosis at the same growth stage, and the same character of the same experimental group also had different heterosis at different growth stages. In inbreeding groups, different characters had the same growth trend as $F_{33} > F_{66}$. As for the growth rate, the hybrid groups showed overall heterosis (-3.50% to 19.47%) with different heterosis levels in individual characters. In terms of survival, hybrid groups showed significant heterosis compared to inbred groups with a heterosis rate of 24.8% , and the overall heterosis of 15.99% in the yield associated with survival. Family A benefited more from the hybridization than Family B regarding both the growth characters and the survival, which was consistent with the results of early growth study in the four sub-generation experimental groups. Genetic differences between Family A and B were the basis of potential heterosis and improvements in characters.

KEY WORDS *Portunus trituberculatus*; Hybrid; Growth; Survival

三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* 是我国重要的渔业资源,主要分布于中国、朝鲜、日本等海域(戴爱云等 1986;李健等 2013;于金红等 2013),是我国重要的渔业捕捞对象和海洋水产养殖对象(吴常文等 1996)。已有研究表明,在苗种生产过程中,避免近交衰退同时确保群体短期内的生存能力的最小 N_e 值应为 50,若要维持群体适当的遗传变异确保其长期的生存能力, N_e 数量最小为 500(Franklin 1980;Soule 1980)。若有效群体数较小,群体内近交就不可避免,遗传多样性降低的可能性大大增加,因此对三疣梭子蟹进行遗传改良,以培育出优质新品系,为养殖业健康、可持续发展提供重要保证是十分必要的。

杂交是水产生物育种的重要途径之一,其通过直接利用杂种优势或制备育种中间材料的方法来改良动植物遗传特性(高保全等 2008),已经在水产生物的品种改良和生产中发挥了重大的作用(吴仲庆 2000)。生物的生长速度、抗病能力等一些生产性状与其遗传变异水平是紧密相关的(Ferguson *et al.* 1990;宋林生等 2002),近交增加了基因的纯合度,极容易引起隐性或近隐性有害基因的暴露,导致生物的一些繁殖性能和生产性能的近交衰退(Davenport 1908;East 1908),杂交是一种通过不同近交群体间的交配,掩盖因为近交而暴露的隐性有害等位基因,从而达到补偿近交衰退的目的,但若相同的隐性有害等位基因被累积传代,那么杂交后代可能也不会表现出杂种优势,甚至有可能表现为杂交劣势(马大勇等 2005;刘小林等 2003)。来自不同遗传背景的两个亲本杂交产生的杂种子代在生长优势、生殖力、抗逆性、存活及产量上比一方亲本或双亲优越的现象称为杂种优势(高保全等 2008;王亚馥等 1999)。杂交产生的杂种优势或杂种活力能迅速和显著地提高杂种的产量和生活力(Newkirk 1980)。范兆廷等(2005)指出,在水产动物杂交育种中,自交系间杂交种的杂种优势比品种间的杂种优势更强。姚雪梅等(2006、2007)、杨章武等(2012)、林红军等(2010)利用不同的方法研究凡纳滨对虾自交与杂交生长,研究表明,凡纳滨对虾杂交组较自交组有不同程度的生长杂交优势和较强的抗逆性。

本研究报道两个经过人工选择和自交传代的三疣梭子蟹家系的自交组与两家系间杂交组子一代的生长、存活的比较实验,不仅为三疣梭子蟹杂交育种改良、种质资源研究奠定一定的基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

自 2005 年至今,中国水产科学研究院黄海水产研究所种质资源与工程育种实验室通过采用三疣梭子蟹室

内人工定向交尾方法,建立了三疣梭子蟹全同胞近交家系,目前已传至 F_6 。根据 2011 年近交家系研究结果,选择繁殖较好的近交 A 家系(F_6)和生长存活较好的 B 家系(F_3),于 2011 年 9 月对 A 家系与 B 家系进行双列杂交设计,分别为自交组 F_{66} ($A \text{♀} \times A \text{♂}$)、 F_{33} ($B \text{♀} \times B \text{♂}$)和杂交组 F_{63} ($A \text{♂} \times B \text{♀}$)、 F_{36} ($B \text{♂} \times A \text{♀}$)4 个实验组。

1.2 亲蟹交配设计

2011 年 9 月下旬,设计双列杂交组合,交配设计见表 1,亲蟹规格见表 2,其中每种搭配的组合各设 4 个平行组。

表 1 亲蟹交配设计表

Table 1 Mating design of brood stock crF63

家系类别 Category	交配组合 Mating combination	子一代标记 First filial generation design
自交家系	$A(1 \text{♂}) \times A(3 \text{♀})$	F_{66}
Cross	$B(1 \text{♂}) \times B(3 \text{♀})$	F_{33}
杂交家系	$A(1 \text{♂}) \times B(3 \text{♀})$	F_{63}
Hybridization	$B(1 \text{♂}) \times A(3 \text{♀})$	F_{36}

表 2 亲蟹规格

Table 2 The traits of broodstock crab

家系类别 Category	产前重 Body weight before hatching(g)	产后重 Body weight after hatching(g)	全甲宽 FCW(mm)	甲宽 CW(mm)	甲长 CL(mm)	体高 BH(mm)	大螯不 动指长 FLC(mm)	大螯长 节长 MLC(mm)	第 I 步足 长节长 MLFP(mm)
F_{66}	241.33	184.52	150.98	71.62	69.86	39.37	65.8	44.71	31.72
	278.94	209.86	150.73	76.24	66.96	39.51	71.96	50.69	32.85
	275.36	220.95	155.08	79.94	71.65	39.39	77.29	49.75	30.82
F_{33}	276.52	222.43	153.91	81.13	75.25	40.61	74.90	51.71	34.52
	216.40	166.01	139.65	71.94	65.62	40.80	65.66	39.87	29.52
	311.52	246.83	159.17	85.77	74.88	44.46	79.24	48.70	34.37
F_{63}	183.64	154.75	135.75	64.24	65.17	36.70	61.63	45.26	31.16
	179.95	145.74	133.78	72.50	62.72	37.84	65.73	38.16	27.61
	171.44	144.23	132.66	69.54	63.79	39.06	63.04	36.97	29.79
F_{36}	253.33	203.35	145.01	79.12	70.05	38.60	69.71	45.80	31.60
	232.52	192.44	145.63	75.24	71.07	40.95	67.42	44.13	30.75
	218.23	183.95	145.81	76.80	68.83	37.39	68.28	41.68	30.62

1.3 实验方法

1.3.1 各家系的幼体培育和养殖

在育苗培育阶段,每个家系的培育条件一致。每个家系各取出 2000 尾 II 期幼蟹,转移至室外养殖池。室外养殖模式为 2400 m^2 养殖池,用纱网平均分割成 12 个小格,使每个小格的水环境尽量保持一致,每小格布 1 个家系。

1.3.2 数据测量

在每个家系 80、100、120 日龄时,随机捕捞 30 个个体,用游标卡尺测量其全甲宽、甲宽、甲长、体高、体长等形态学指标,精确到 0.01 mm,用电子天平测体重,精确到 0.1 g;在收获时(150 日龄),每个家系随机测 30 个个体的各个形态学指标,分析各个家系的整齐度,统计各个家系存活个体数。

1.3.3 数据处理与分析

1.3.3.1 形态差异分析

获得各个家系各形态性状的表型参数的数据,采用统计分析软件 SPSS 17.0 对各性状的平均数、标准差和变异系数进行描述统计分析,利用单因素方差分析(One-Way ANOVA)比较不同时期实验组间均值差异,并对

差异显著的实验组间进行多重比较分析(LSD)。

1.3.3.2 杂种优势

计算杂交子代的杂种优势率 $H(\%)$, 参照文献(Cruz 1997; 高保全等 2008; 姚雪梅等 2006) 公式:

$$H(\%) = \frac{(F_{63} + F_{36}) - (F_{66} + F_{33})}{F_{66} + F_{33}} \times 100 \quad (1)$$

$$H_{(A)}(\%) = \frac{F_{63} - F_{66}}{F_{66}} \times 100 \quad (2)$$

$$H_{(B)}(\%) = \frac{F_{36} - F_{33}}{F_{33}} \times 100 \quad (3)$$

式中, F_{66} 、 F_{33} 、 F_{63} 、 F_{36} 分别表示 4 个实验组各指标的不同表型值, 公式(1)、(2)、(3) 分别计算 A、B 两个近交系总的杂种优势以及 A 近交系和 B 近交系各自的杂种优势。

1.3.3.3 存活率与产量的比较分析

统计收获时各个家系成蟹的个数, 根据各个家系放苗量为 2000, 存活率为:

$$S = N/2000$$

式中, N 为收获成蟹个数。先将全部存活率的 S 值转换成 θ 角度, 即 $\theta = \sin^{-1}\sqrt{S}$, 再进行方差分析。

与存活相关的产量计算公式:

$$Y = N \times \bar{W}$$

式中, Y 表示家系的产量, N 为收获成蟹个数。

1.3.3.4 整齐度分析

各个世代家系的整齐度通过各个形态性状的变异系数进行比较, 变异系数反映总体各单位标志值的差异程度或离散程度, 变异系数越大, 说明整体整齐度越差, 记为 CV (Coefficient of Variance), 计算公式:

$$CV = \frac{sd}{M}$$

式中, sd 为所观测指标的标准差, M 为所观测指标的平均数。

2 结果

2.1 自交组和杂交组室外养殖阶段生长性能比较

自交组与杂交组 4 个实验组室外养殖阶段生长性能 5 项指标的统计结果以及杂种优势率的计算结果见表 3 - 表 7。由表 3 - 表 7 可见, 实验初始 80 日龄时, 4 个实验组的 5 个生长指标间的差异均不显著 ($P > 0.05$)。在 100 日龄时, 杂交组在生长性能的 4 个指标上均没有表现出杂种优势, 自交组生长较好, 且多为差异极显著 ($P < 0.01$)。在 120 日龄时, 杂交组比自交组的杂种优势显现, 多为差异显著 ($P < 0.05$)。在 150 日龄时, 杂交组在生长性能的 4 个指标上都没有表现出杂种优势, 自交组生长较好。其中在生长的 4 个阶段, 自交组形态性状 4 个指标全甲宽、甲宽、甲长和体高的比较一直为 $F_{33} > F_{66}$ 。

子一代全甲宽的生长性能分析结果见表 3。由表 3 可知, 实验阶段全甲宽总体的杂种优势率在 $-11.89\% - 3.92\%$ 之间, F_{63} 相对于 F_{66} 的杂种优势率在 $-8.18\% - 16.31\%$ 之间, F_{36} 相对于 F_{33} 的杂种优势率在 $-15.84\% - 8.21\%$ 之间, 4 个实验组全甲宽的生长速度高低排列顺序为 $F_{33} > F_{63} > F_{66} > F_{36}$, 总体表现杂种劣势, 只有 F_{63} 相对于 F_{66} 有杂种优势, 杂种优势率为 1.12% 。

子一代甲宽的生长性能分析结果见表 4。由表 4 可知, 实验阶段甲宽总体的杂种优势率在 $-11.18\% - 5.31\%$ 之间, F_{63} 相对于 F_{66} 的杂种优势率在 $-7.93\% - 17.69\%$ 之间, F_{36} 相对于 F_{33} 的杂种优势率在 $-14.74\% - 7.82\%$ 之间, 4 个实验组甲宽的生长速度高低排列顺序为 $F_{33} > F_{63} > F_{36} > F_{66}$, 总体杂种优势率为 2.14% , F_{63} 相对于 F_{66} 有杂种优势, 杂种优势率为 7.81% , F_{36} 组相对于 F_{33} 组表现为杂种劣势。

子一代甲长的生长性能分析结果见表 5。由表 5 可知, 实验阶段甲长总体的杂种优势率在 $-10.99\% -$

表3 各实验组生长阶段全甲宽(mm)和杂种优势的比较分析

Table 3 Average full carapace width and daily increment (X), and heterosis (Y) for different experimental groups

实验组 Experimental group		生长阶段 Stage growth				全甲宽生长速度 Growth rate of full carapace width(mm/d)
		80 日龄 80d	100 日龄 100d	120 日龄 120d	150 日龄 150d	
X	F ₆₆	66.17 ± 6.08 ^a	101.03 ± 5.98 ^{Bb}	120.79 ± 4.37 ^A	154.79 ± 13.15 ^{Bb}	1.43
	F ₃₃	62.76 ± 5.51 ^a	94.24 ± 6.17 ^B	135.07 ± 3.94 ^{Bb}	150.03 ± 11.66 ^{AB}	1.51
	F ₃₆	67.91 ± 9.83 ^a	79.31 ± 8.67 ^A	125.41 ± 4.62 ^{Aa}	145.49 ± 14.38 ^A	1.39
	F ₆₃	62.76 ± 5.51 ^a	92.77 ± 6.35 ^{Ba}	140.49 ± 2.41 ^{Bb}	145.84 ± 11.93 ^{ABa}	1.44
Y	H(%)	1.35	-11.89	3.92	-4.43	-3.50
	H _(A) (%)	-5.15	-8.18	16.31	-5.78	1.12
	H _(B) (%)	8.21	-15.84	-7.15	-3.03	-7.87

注:表中各个数值均为平均值 ± 标准差。同一列中上标具有相同小写字母表示没有显著性差异($P > 0.05$),不同的大写字母表示极显著差异($P < 0.01$),来自于单因素方差分析。下表同

Note: All of the numbers are Mean ± SD. The same lowercase letters in each column mean no significant difference ($P > 0.05$), and those different capital letters in each column mean highly significant difference ($P < 0.01$), from One-Way ANOVA. The same in the following tables

表4 各实验组生长阶段甲宽(mm)和杂种优势的比较分析

Table 4 Average carapace width and daily increment (X), and heterosis (Y) for different experimental groups

实验组 Experiment group		生长阶段 Stage of growth				甲宽生长速度 Growth rate of carapace width(mm/d)
		80 日龄 80 d	100 日龄 100 d	120 日龄 120 d	150 日龄 150 d	
X	F ₆₆	32.07 ± 5.51 ^a	51.21 ± 8.04 ^{Bb}	59.47 ± 3.97 ^A	75.39 ± 4.85 ^a	0.69
	F ₃₃	30.55 ± 7.81 ^a	46.75 ± 5.75 ^{Ba}	68.52 ± 4.77 ^{BCbc}	73.76 ± 6.49 ^a	0.76
	F ₃₆	32.94 ± 4.96 ^a	39.86 ± 5.34 ^A	64.79 ± 5.13 ^{Ba}	73.50 ± 6.96 ^a	0.73
	F ₆₃	30.55 ± 6.66 ^a	47.15 ± 6.36 ^{Ba}	69.99 ± 5.80 ^{Cc}	73.49 ± 5.97 ^a	0.75
Y	H(%)	1.39	-11.18	5.31	-1.45	2.14
	H _(A) (%)	-4.74	-7.93	17.69	-2.52	7.81
	H _(B) (%)	7.82	-14.74	-5.44	-0.35	-3.04

4.52%之间, F₆₃相对于F₆₆的杂种优势率在-8.69% - 16.05%之间, F₃₆相对于F₃₃的杂种优势率在-13.47% - 7.54%之间, 4个实验组甲长的生长速度高低排列顺序为 F₃₃ > F₆₃ > F₃₆ > F₆₆, 总体杂种优势率为1.11%, F₆₃

表5 各实验组生长阶段甲长(mm)和杂种优势的比较分析

Table 5 Average carapace length and daily increment (X), and heterosis (Y) for different experimental groups

实验组 Experiment group		生长阶段 Stage of growth				甲长生长速度 Growth rate of carapace length(mm/d)
		80 日龄 80 d	100 日龄 100 d	120 日龄 120 d	150 日龄 150 d	
X	F ₆₆	31.86 ± 5.00 ^a	47.27 ± 6.90 ^{Cb}	54.83 ± 3.37 ^A	69.45 ± 8.03 ^a	0.60
	F ₃₃	30.52 ± 7.04 ^a	43.65 ± 4.49 ^{BCa}	62.33 ± 6.48 ^{Ca}	68.54 ± 4.94 ^a	0.66
	F ₃₆	32.82 ± 4.53 ^a	37.77 ± 3.44 ^A	58.82 ± 4.46 ^B	67.65 ± 5.49 ^a	0.63
	F ₆₃	30.52 ± 7.04 ^a	43.16 ± 6.31 ^B	63.63 ± 5.23 ^{Ca}	68.19 ± 5.36 ^a	0.65
Y	H(%)	1.54	-10.99	4.52	-1.56	1.11
	H _(A) (%)	-4.21	-8.69	16.05	-1.81	8.31
	H _(B) (%)	7.54	-13.47	-5.63	-1.30	-5.42

相对于 F_{66} 有杂种优势,杂种优势率为 8.31%, F_{36} 组相对于 F_{33} 组表现为杂种劣势。

子一代体高的生长性能分析结果见表 6。由表 6 可知,实验阶段体高总体的杂种优势率在 $-10.87\% - 2.74\%$ 之间, F_{63} 相对于 F_{66} 的杂种优势率在 $-7.06\% - 15.48\%$ 之间, F_{36} 相对于 F_{33} 的杂种优势率在 $-14.85\% - 6.07\%$ 之间,4 个实验组体高的生长速度高低排列顺序为 $F_{63} > F_{36} > F_{33} > F_{66}$,总体杂种优势率为 1.64%, F_{63} 相对于 F_{66} 有杂种优势,杂种优势率为 26.13%, F_{36} 组相对于 F_{33} 组表现为杂种优势,杂种优势率为 5.53%。

表 6 各实验组生长阶段体高 (mm) 和杂种优势的比较分析

Table 6 Average body height and daily increment (X), and heterosis (Y) for different experimental groups

实验组 Experiment group		生长阶段 Stage of growth				体高生长速度 Growth rate of body height (mm/d)
		80 日龄 80 d	100 日龄 100 d	120 日龄 120 d	150 日龄 150 d	
X	F_{66}	17.54 ± 2.68 ^a	25.77 ± 3.18 ^{Bb}	31.33 ± 1.87 ^{Aa}	37.93 ± 3.63 ^{ab}	0.33
	F_{33}	16.48 ± 3.93 ^a	24.72 ± 2.81 ^B	35.51 ± 3.77 ^{Bb}	38.19 ± 4.62 ^{ab}	0.38
	F_{36}	17.48 ± 2.59 ^a	21.05 ± 2.91 ^A	32.49 ± 3.28 ^{Aa}	40.37 ± 5.66 ^b	0.40
	F_{63}	16.48 ± 3.93 ^a	23.95 ± 4.32 ^{Ba}	36.18 ± 2.71 ^{Bb}	37.44 ± 3.74 ^a	0.42
Y	$H(\%)$	-0.18	-10.87	2.74	2.22	1.64
	$H_{(A)}(\%)$	-6.04	-7.06	15.48	-1.29	26.13
	$H_{(B)}(\%)$	6.07	-14.85	-8.50	5.71	5.53

子一代体重的生长性能分析结果见表 7。由表 7 可知,实验阶段体重总体的杂种优势率在 $-36.18\% - 11.42\%$ 之间, F_{63} 相对于 F_{66} 的杂种优势率在 $-29.32\% - 53.96\%$ 之间, F_{36} 相对于 F_{33} 的杂种优势率在 $-44.08\% - 13.46\%$ 之间,4 个实验组体重的生长速度高低排列顺序为 $F_{36} > F_{66} > F_{63} > F_{33}$,总体杂种优势率为 19.47%, F_{63} 相对于 F_{66} 表现为杂种劣势, F_{36} 组相对于 F_{33} 组有杂种优势,杂种优势率为 40.34%。

表 7 各实验组生长阶段体重 (g) 和杂种优势的比较分析

Table 7 Average body weight and daily increment (X), and heterosis (Y) for different experimental groups

实验组 Experiment group		生长阶段 Stage of growth				体重生长速度 Growth rate of body weight (g/d)
		80 日龄 80 d	100 日龄 100 d	120 日龄 120 d	150 日龄 150 d	
X	F_{66}	22.11 ± 7.59 ^a	61.49 ± 2.75 ^C	98.70 ± 2.34 ^{Aa}	210.15 ± 45.97 ^a	3.01
	F_{33}	17.83 ± 3.53 ^a	53.42 ± 5.92 ^{Bcb}	141.04 ± 4.36 ^{Bc}	186.40 ± 34.93 ^a	2.97
	F_{36}	20.23 ± 7.65 ^a	29.87 ± 3.49 ^A	115.15 ± 3.59 ^{Ab}	183.20 ± 51.10 ^b	4.16
	F_{63}	17.83 ± 6.02 ^a	43.46 ± 3.11 ^{Ba}	151.96 ± 3.13 ^{Bc}	179.17 ± 42.37 ^a	2.97
Y	$H(\%)$	-4.71	-36.18	11.42	-8.62	19.47
	$H_{(A)}(\%)$	-19.36	-29.32	53.96	-14.69	-1.13
	$H_{(B)}(\%)$	13.46	-44.08	-18.36	-1.72	40.34

2.2 室外养殖期间各实验组的存活、产量及杂种优势比较

自交组与杂交组 4 个实验组室外养殖阶段存活、产量的统计结果以及杂种优势率的计算结果见表 8。由表 8 可知,在一个养殖阶段结束,150 日龄收获时,自交组和杂交组的存活率有极显著差异 ($P < 0.01$),杂交组比自交组的总体存活率杂交优势明显,总体杂种优势率为 24.8%,杂交组 F_{63} 组比与之对应的自交组 F_{66} 组存活率高,但杂交组 F_{36} 比与之对应的自交组 F_{33} 没有杂交优势。自交组和杂交组的产量有极显著差异 ($P < 0.01$),

杂交组比自交组的总体产量杂交优势明显,总体杂种优势率为 15.99%,杂交组 F_{63} 组比与之对应的自交组 F_{66} 组存活率高,但杂交组 F_{36} 比与之对应的自交组 F_{33} 没有杂交优势。

3 讨论

3.1 两近交家系遗传差异的评估

为了获得杂交优势,一般会首先对亲本间的遗传差异进行评估,只有两个基础群体的基因频率不同,它们杂交的后代才有表现出杂交优势的可能(郑怀平等 2004),无论两个不同的纯种群等位基因的差异如何,经过中间杂交

和种内杂交的杂交后代都会表现出不同程度的杂交优势(Misamore *et al.* 1997)。就同一物种而言,群体内的基因纯合程度越高,会造成群体间的基因频率差异增大,遗传距离也会越远,从而使其杂交后代产生较大的杂交优势的可能性增大(刘小林等 2003;楼允东 1998)。杨章武等(2012)的研究表明,凡纳滨对虾的杂交子代的抗逆性较自交组强,在低温、低盐的条件下,杂交组较自交组生长快,认为凡纳滨对虾的杂交优势与亲本的提纯、选优紧密相关。种间杂交和种内杂交都可以通过非加性效应改善养殖品种的性状,无论两个不同的纯种群等位基因的差异如何,杂交后代都会表现出不同程度的杂交优势(Misamore 1997)。蟹类的杂交育种目前还仅限于种内杂交。本实验材料 A 家系为 F_6 , B 家系为 F_3 ,为基因纯化程度不同的两个家系,相比利用不同地理种群野生种进行种内杂交的种群,基因纯合程度较高,可能有更大的杂交优势。

3.2 自交组和杂交组生长、存活的比较

实验初始 80 日龄时,4 个实验组的 5 个生长指标间的差异都不显著($P > 0.05$),在 100 日龄时,杂交组在生长性能的 4 个指标上都没有表现出杂交优势,自交组生长较好,在 120 日龄时,杂交组比自交组的杂交优势显现,在 150 日龄时,杂交组在生长性能的 4 个指标上都没有表现出杂交优势,自交组生长较好。通过比较 80、100、120、150 日龄时的杂交优势发现,杂交优势具有不平衡性,即测定同一日龄阶段,同一实验组在全甲宽、甲宽、甲长、体高、体重这几个不同性状上所表现出来的杂交优势的大小有很大差异;杂交优势具有不恒定性,表现在就同一性状而言,其在不同日龄即不同的生长发育阶段,所表现出来的杂交优势也同样有差异,这种现象在三疣梭子蟹(高保全等 2008)、鱼类(Cruz *et al.* 1997; Bartley *et al.* 2001)、海胆 *Echinoidea* (Rahman *et al.* 2005) 中均有发现。其中在生长的 4 个阶段,自交组形态性状 4 个指标全甲宽、甲宽、甲长和体高的比较一直为 $F_{33} > F_{66}$,杂交组比自交组的生长性状、生长速度具有不同程度的总体杂交优势,对凡纳滨对虾(杨章武等 2012;林红军等 2010)、海胆(Rahman *et al.* 2005)、海湾扇贝 *Argopecten irradians* (郑怀平等 2004) 的杂交研究也表明,杂种生长速度明显比其双亲有一定的杂交优势。

150 日龄收获时,自交组和杂交组的存活率有极显著差异,杂交组比自交组的总体存活率杂交优势明显,总体杂交优势率为 24.8%,杂交组 F_{63} 组比与之对应的自交组 F_{66} 组存活率高,但杂交组 F_{36} 比与之对应的自交组 F_{33} 没有杂交优势。自交组和杂交组的产量有极显著差异($P < 0.01$),杂交组比自交组的总体产量杂交优势明显,总体杂交优势率为 15.99%,杂交组 F_{63} 组比与之对应的自交组 F_{66} 组存活率高,但杂交组 F_{36} 比与之对应的自交组 F_{33} 没有杂交优势。研究发现,无论是生长性状还是存活,杂交使 A 家系获得的改良效果比 B 家系的好,同时多数差异显著,尤其在生长各个阶段十分明显,郑怀平等(2004)对海湾扇贝的研究也发现同样的正反交结果不同的现象,其认为这可能是由于 A 群体的杂合度得到更大的提高所致。许多研究表明,群体杂合度与其生长和适合度呈正相关(English *et al.* 2000)。也有研究(高保全等 2008; Bentsen *et al.* 1998; Heath *et al.* 1999)认为这种正反交结果不同的现象可能与母性效应、性别连锁、细胞质遗传和父本效应有关。

表 8 各实验组生长阶段存活、产量和杂种优势的比较分析
Table 8 Average survival rate and yield (X), and heterosis (Y) for different experimental groups

实验组		存活率	产量
Experimental group		Survival rate (%)	Yield(g)
X	F_{66}	4.8 ± 0.6^A	20227.78 ± 2551.91^A
	F_{33}	9.6 ± 0.4^{Ca}	$35739.21 \pm 1825.26^{Ca}$
	F_{36}	7.3 ± 0.5^B	26617.92 ± 1548.71^B
	F_{63}	10.7 ± 0.7^{Ca}	$38295.48 \pm 2678.07^{Ca}$
Y	$H(\%)$	24.8	15.99
	$H_{(A)}(\%)$	122.3	89.32
	$H_{(B)}(\%)$	-24.1	-25.52

3.3 提高杂种优势的措施

近交暴露了个体的一些隐性有害基因,同时也使群体的对环境的敏感性增加,极易造成近交衰退。从近交使隐性有害等位基因暴露的因素考虑,杂交优势只是一种对近交衰退的补偿(马大勇等 2005)。本研究通过包含两亲本所有可能配成的杂交组合的双列杂交设计不同近交程度家系间的杂交组合,比较分析了各组合子一代生长、存活的差异,为优良三疣梭子蟹苗种的培育、杂交育种和选择育种提供了十分重要的基础资料和理论依据,为最终三疣梭子蟹的种质改良和新品种培育奠定了重要基础。

参 考 文 献

- 于金红,潘鲁青. 2013. 三疣梭子蟹 C-型凝集素的原核表达和活性检测. 渔业科学进展,34(5):58-63
- 马大勇,胡红浪,孔杰. 2005. 近交及其对水产养殖的影响. 水产学报,29(6):849-856
- 王亚馥,戴灼华. 1999. 遗传学. 北京:高等教育出版社,528-536
- 刘小林,常亚青,相建海,李富花,宋坚,丁君,董波,刘宪杰. 2003. 栉孔扇贝不同种群杂交效果的初步研究. 海洋学报,25(1):93-99
- 李健,刘萍,高保全. 2013. 三疣梭子蟹新品种“黄选1号”的选育. 渔业科学进展,34(5):51-57
- 吴常文,虞顺成,吕永林. 1996. 梭子蟹渔业技术. 上海:上海科学技术出版社,28-31
- 吴仲庆. 2000. 水产生物遗传育种学(第三版). 厦门:厦门大学出版社
- 宋林生,李俊强,李红蕾,崔朝霞,李成华,胥炜,常亚青. 2002. 用 RAPD 技术对我国栉孔扇贝野生种群与养殖群体的遗传结构及其遗传分化的研究. 高技术通讯,12(7):83-87
- 杨章武,郑雅友,李正良,卢小宁. 2012. 凡纳滨对虾群体自交与杂交子代幼体对低温、低盐抗逆性与生长比较. 水产学报,36(2):284-289
- 林红军,沈琪,张吕平,胡超群,梁立清. 2010. 凡纳滨对虾生长性状的双列杂交分析. 热带海洋学报,29(6):51-56
- 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的比较. 水产学报,28(3):267-272
- 范兆廷. 2005. 水产动物育种学. 北京:中国农业出版社,87-117
- 姚雪梅,黄勃,赖秋明,张继涛,王志勇. 2006. 凡纳滨对虾自交系与杂交系早期生长和存活的比较. 水产学报,30(6):791-795
- 姚雪梅,黄勃,张继涛,王志勇. 2007. SPF 凡纳滨对虾 F₁、F₂ 及杂交代生长和存活比较研究. 中国水产科学,14(2):326-320
- 高保全,刘萍,李健. 2008. 三疣梭子蟹 3 个地理种群杂交子一代生长和存活率的比较. 大连水产学院学报,23(5):325-329
- 楼允东. 1998. 鱼类育种学. 北京:中国农业出版社,23
- 戴爱云,杨思谅,宋玉枝,陈国孝. 1986. 中国海洋蟹类. 北京:海洋出版社,213-214
- Bartley DM, Rana K, Immink AJ. 2001. The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. Rev in Fish Biol Fish 10(3):325-337
- Bentsen HB, Eknath AE, Palada-de Vera MS and 8 others. 1998. Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 160(1-2):145-173
- Davenport CB. 1908. Degeneration, albinism and inbreeding. Science 28(718):454-455
- East EM. 1908. Inbreeding in corn. Report Conn Agric Exp Sta 1907:419-428
- English LJ, Maguire GB, Ward RD. 2000. Genetic variation of wild and hatchery populations of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in Australia. Aquaculture 187(3-4):283-298
- Ferguson MM, Draushchak LR. 1990. Disease resistance and enzyme heterozygosity in rainbow trout. Heredity 64(3):413-417
- Franklin IR. 1980. Evolutionary changes in small populations//Soule M E, Wilcox B. Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective. Sunderland: Sinauer Associates 135-150
- Heath DD, Fox CW, Heath JW. 1999. Maternal effects on offspring size: variation through early development of chinook salmon. Evolution 53(5):1605-1611
- Misamore M, Browdy CL. 1997. Evaluating hybridization potential between *Penaeus setiferus* and *Penaeus vannamei* through natural mating, artificial insemination and in vitro fertilization. Aquaculture 150(1-2):1-10
- Newkirk GF. 1980. Review of the genetics and the potential for selective breeding of commercially important bivalves. Aquaculture 19(3):209-228
- Rahman MA, Uehara T, Lawrence JM. 2005. Growth and heterosis of hybrids of two closely related species of Pacific sea urchins (Genus *Echinometra*) in Okinawa. Aquaculture 245(1-4):121-133
- Soule ME. 1980. Thresholds for survival: maintaining fitness and evolutionary potential//Soule ME, Wilcox B. Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective. Sunderland: Sinauer Associates 151-169