

文章编号: 1000-0615(2002)05-0385-06

栉孔扇贝中国种群与日本种群 杂交一代的早期生长发育

常亚青¹, 刘小林^{2,3}, 相建海², 李富花², 宋 坚¹, 宋林生², 刘宪杰¹

(1. 大连水产学院农业部海洋水产增养殖生态学重点开放实验室, 辽宁 大连 116023;

2. 中国科学院海洋研究所实验海洋生物学开放实验室, 山东 青岛 266071;

3. 西北农林科技大学畜牧兽医学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:对两个不同地理种群的栉孔扇贝的两个群体——中国种群(C)和日本种群(J)的纯种后代及其正反两个杂交组合($C♀ \times J♂$ 和 $J♀ \times C♂$)的杂种个体,早期(10月龄)同地同期生长发育进行了测定和统计分析比较。结果表明,两个种群正、反交杂种一代在壳高、壳长、壳宽、活体重及成活率5个生长发育指标上均表现不同程度的杂种优势,反交杂种 F_1' 除成活率外,其余各项生长发育指标显著优于正交杂种;中国和日本两个亲本群体各个性状的测定性能表现为壳宽差异显著和成活率差异极显著外,其它各项指标均没有显著差异。实验证明杂交是提高扇贝生产性能和抗逆性的重要途径。

关键词:栉孔扇贝; 地理种群; 杂种; 生长发育; 杂种优势

中图分类号: S968.31 文献标识码: A

The juvenile growth and survival of hybrid between Chinese population and Japanese population of *Chlamys farreri*

CHANG Ya qing¹, LIU Xiao lin^{2,3}, XIANG Jian hai²,

LI Fu hua², SONG Jian¹, SONG Lin sheng², LIU Xian jie¹

(1. The Key Lab of Marine Ecology in Aquaculture Certificated by the Ministry of Agriculture,

Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China; 2. Experimental Marine Biology Laboratory, Institute of Oceanology,

Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao 266071, China; 3. College of Animal Husbandry and Veterinary,

Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract: Crosses between and within two different geographic stocks from Japan and China of Farrer's scallop, *Chlamys farreri*, were produced, hybrids of reciprocal crosses derived from Chinese population (C) ♀ × Japanese population (J) ♂ and Japanese population (J) ♀ × Chinese population (C) ♂ respectively. Offspring were measured at 10 months old each group for the research on the growth characteristics and survival. The results indicated that there existed significant heterosis (or hybrid vigor) for growth of shell height, shell length, shell width and live weight and survival and young scallops from the reciprocal cross had a higher survival and growth

收稿日期: 2002-06-11

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999012009)、辽宁省教育厅资助项目

作者简介: 常亚青(1967-), 男, 河北邢台人, 教授, 博士, 主要从事海水养殖动物育种及养殖研究。Tel: 0411-4762695, E-mail: dlnel@mail.dlptt.ln.cn

than two pure populations, and that there were stronger heterosis in F₁' hybrids than in F₁ hybrids. There was a significant difference in shell width and survival, but no significant difference in other characters between Chinese population and Japanese population. The results of experiment testified that hybridization is an important tool to increase the performance and fastness (survival) of scallops.

Key words: *Chlamys farreri*; geographic population; hybrid; growth and survival; hybrid vigour

扇贝养殖在世界范围内是一项广泛开展的活动,人工孵化养殖生产技术起始于1970年代^[1,2]。栉孔扇贝是中国北部海域最重要的贝类养殖种类之一,70年代开始人工育苗和养殖^[3]。然而,种苗质量退化、抗逆性降低明显地制约栉孔扇贝大规模的集约化养殖。不同种群的动物杂交所产生的杂种,一般在生活力、生长势和生产性能等方面的表现,在一定程度上优于其亲本纯繁群体,这就是所谓的“杂种优势(hybrid vigour)”现象。为了寻找提高生产性能和抗逆性的途径,Newkirk等^[4,5]报道了美洲牡蛎(*Crassostrea virginica*)4个种群杂交后代在存活率和生长方面优于亲本,Mallet和Haley^[6]研究了*C. virginica*6个种群及其杂种存活及生长,Stiles^[7]利用*C. virginica*不同地理种群之间以及与*C. gigas*进行了杂交,结果表明不同地理种群间杂交后代幼体的存活率和生长速度都比种间杂种要高。

英国和加拿大引进日本虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)作为养殖种类,它对鞭孢子虫(*Perkinsus qugwadi*)具有高的易感性,造成养殖群体大量死亡,当地齿舌栉孔扇贝(*Chlamys rubida*)、*Chlamys hastata*和非养殖种西北盘扇贝(*Patinopecten caurinus*)具有抵抗该病的特点,利用*P. yessoensis*雌性个体与近缘非养殖种*P. caurinus*雄性个体杂交产生的杂种可抗鞭孢子虫,从而促进了英国哥伦比亚地区的扇贝养殖业的发展^[8]。Cruz等^[9]对海湾扇贝进行了不同种群之间的杂交实验,结果表明,杂种F₁的成活率和生长速度均表现出杂种优势。种间杂交报道较多,然而,杂种后代通常表现不育现象^[10-13]。人工授精和体外授精技术使这些问题的解决成为可能^[14-18]。

本文为了探索种内不同种群间杂交效果,为杂交育种和生产中充分利用杂种优势提供理论和实践经验,进行了栉孔扇贝不同地理种群的杂交试验。

1 材料和方法

1.1 亲贝的选择

栉孔扇贝中国种群(用C表示)取自辽宁省大连市凌水海区天然种群,采用二龄作为亲贝,室内暂养;日本种群(用J表示)引自日本太平洋沿岸天然的海区,室内暂养;控制水温,使其达到同步性成熟,选择发育良好、性腺成熟的个体作为亲贝。

1.2 实验设计

实验组:①中国种群(C)♀×日本种群(J)♂(正交);

②日本种群(J)♀×中国种群(C)♂(反交)

对照组:①中国种群(C)♀×中国种群(C)♂;

②日本种群(J)♀×日本种群(J)♂

1.3 人工受精方法

将选择好的亲贝阴干2h后,用紫外线(UV)辐射的海水刺激方法获得精子和卵子,然后将海水稀释后的精、卵分别搅拌均匀,取适量精液加入盛卵的海水容器中均匀搅拌,进行人工授精,授精后洗卵2~3次,胚胎发育到面盘幼虫选优,开始幼虫培育。

1.4 幼虫培育

胚胎发育到面盘幼虫阶段大约经过 24~26h (17~19℃), 饲以湛江等鞭金藻 (*Isochrysis zhanjiangensis*) 和扁藻 (*Platymonas* sp.), 水温控制在 19~23℃ 左右, 日投饵料 4 次减到日投饵料 2 次, 投饵量以幼虫胃部饱满为度。日换过滤水 2 次, 持续充氧。

1.5 测定与统计分析

各组合设置 3~4 个重复, 每个重复定期抽样观察测定 40~50 只扇贝, 稚贝测定壳高、壳长、壳宽、活体重及成活率; 每个组合在各阶段统计各个指标的平均数 \bar{X} 和标准差 S , 计算杂交子代的杂种优势率 $H(\%)$, 其计算公式为

$$H(\%) = \frac{\bar{F}_1 - \frac{1}{2}(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)}{\frac{1}{2}(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)}$$

式中: \bar{F}_1 、 \bar{P}_1 、 \bar{P}_2 分别代表杂种一代、亲本 1 和 2 的平均值, $H(\%)$ 代表 F_1 的杂种优势率。

2 结果

栉孔扇贝中国种群与日本种群正、反交杂种后代以及中国种群和日本种群的纯繁后代于 2000 年 7 月 2 日孵化出苗, 当年 11 月份(4 月龄)分笼、分苗; 10 月龄(2001 年 4 月 15 日)统计了 4~10 月龄的成活率, 测定了贝壳性状(壳长、壳高、壳宽)和活体重, 各项指标统计结果及杂种优势率计算结果见表 1。中国种群与日本种群杂交表现出明显的杂种优势, 贝壳性状的杂种优势率在 23%~30%, 活体重的杂种优势率达到 28%~44%, 成活率的杂种优势率在 10% 以上。

表 1 栉孔扇贝中国种群与日本种群及其杂种 10 月龄生长发育及成活率比较

Tab. 1 Survival and growth comparison of Chinese population and Japanese population for its hybrids at 10 months old in *C. farreri*

亲本组合 combination	壳长 (cm) shell length		壳高 (cm) shell height		壳宽 (cm) shell width		活体重 (g) live weight		成活率 (%) survival (%)	
	平均数 (X)	标准差 (S)	平均数 (X)	标准差 (S)	平均数 (X)	标准差 (S)	平均数 (X)	标准差 (S)	平均数 (X)	标准差 (S)
中国种群(C) Chinese population	1.633	0.184	1.986	0.226	0.527	0.067	1.491	0.349	82.933	8.852
$F_1(C \varphi \times J \delta)$	2.121	0.424	2.424	0.367	0.672	0.108	1.907	0.793	89.961	10.204
杂种优势率 $H(\%)$ hybrid vigour rate	30.403	-	23.046	-	23.529	-	28.374	-	13.311	-
$F_1'(J \varphi \times C \delta)$	2.181	0.229	2.56	0.240	0.705	0.073	2.150	0.605	87.555	9.618
杂种优势率 $H(\%)$ hybrid vigour rate	34.092	-	29.949	-	29.596	-	44.732	-	10.281	-
日本种群(J) Japanese population	1.620	0.241	1.954	0.287	0.561	0.169	1.480	0.425	75.853	23.220

栉孔扇贝中国种群与日本种群正、反交杂种后代以及中国种群和日本种群的纯繁后代 10 月龄各项指标经方差分析检验, 所有指标在群体间的 F 检验均达到极显著水平。方差分析结果见表 2。

在 F 检验显著的基础上, 各性状的群体平均数间进行了多重比较, 正、反交杂种后代各项指标均极显著的高于双亲水平, 而正、反交后代结果除壳长差异不显著外, 其余贝壳性状在反交后代均显著或极显著的大于正交后代, 而正交后代成活率极显著的高于反交后代; 中国种群与日本种群纯种后代间除壳宽差异显著、成活率差异极显著外, 其它各项指标差异不显著(表 3 和表 4)。

表2 各性状在群体间的方差分析

Tab.2 Variance analysis of each character in four populations

性状 character	变异来源 source of variation	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	均方比 F
壳长 shell length	组间 inter group	17.523	3	5.841	48.557* *
	组内 intrar group	51.125	425	0.120	
	总计 total	68.648	428		
壳高 shell height	组间 inter group	17.775	3	5.925	58.324* *
	组内 intrar group	43.175	425	0.102	
	总计 total	60.950	428		
壳宽 shell width	组间 inter group	1.370	3	0.457	42.154* *
	组内 intrar group	4.606	425	0.011	
	总计 total	5.976	428		
体重 live weight	组间 inter group	70.424	3	23.475	49.866* *
	组内 intrar group	200.068	425	0.471	
	总计 total	270.492	428		
成活率(%) survival	组间 inter group	587.133	3	195.711	12.102* *
	组内 intrar group	258.745	16	16.172	
	总计 total	845.879	19		

注: 临界 F 值分别为 $F_{0.05, (3, 425)} = 2.626$, $F_{0.01, (3, 425)} = 3.320$; $F_{0.05, (3, 16)} = 3.239$, $F_{0.01, (3, 16)} = 5.290$, * * 表示差异极显著 ($P < 0.01$)

Notes: Critical F value $F_{0.05, (3, 425)} = 2.626$, $F_{0.01, (3, 425)} = 3.320$; $F_{0.05, (3, 16)} = 3.239$, $F_{0.01, (3, 16)} = 5.290$, * * means much significant difference ($P < 0.01$)

表3 不同组间各性状平均数的多重比较-新复极差法

Tab.3 Comparisons of multi average in each character Duncan's new multiple Range procedure

性状 character	种群组合 combination	平均数 average (X)	$X_i - X_{小}$	$X_i - X_{次小}$	$X_i - X_{次大}$
壳长 shell length	: J × C	2.181	0.561* *	0.548* *	0.060
	C × J	2.121	0.501* *	0.488* *	
	C × C	1.633	0.013		
	J × J	1.620			
壳高 shell highness	J × C	2.56	0.606* *	0.574* *	0.136* *
	C × J	2.424	0.470* *	0.438* *	
	C × C	1.986	0.032		
	J × J	1.954			
壳宽 shell width	J × C	0.705	0.178* *	0.144* *	0.033*
	C × J	0.672	0.145* *	0.111* *	
	J × J	0.561	0.034*		
	C × C	0.527			
体重 live weight	J × C	2.150	0.670* *	0.659* *	0.243*
	C × J	1.907	0.427* *	0.416* *	
	C × C	1.491	0.011		
	J × J	1.480			
成活率(%) survival	C × J	89.961	14.108* *	7.028* *	2.406* *
	J × C	87.555	11.702* *	4.622* *	
	C × C	82.933	7.080* *		
	J × J	75.853			

* : 表示两数间差异显著 ($P < 0.05$); * * : 表示两数间差异极其显著 ($P < 0.01$)

* means significant difference between two averages ($P < 0.05$), * * means much significant difference between two averages ($P < 0.01$)

各种群及其杂种后代生长发育的变化趋势见图1。由图1可以看出,中日两种群杂交的两个组合的杂种后代在各个性状都明显地高出两亲本种群,日本种群(J) ♀ × 中国种群(C) ♂产生的比中国种群(C) ♀ × 日本种群(J) ♂产生的在壳性状和体重方面显著提高,而成活率却较低;中日两种群之间除存活率和壳宽存在差异外,生长发育基本一致。

表 4 平均数多重比较的显著性标准——最小显著极差值

Tab. 4 Significant standard— least significant range value for comparison of multi average

误差自由度		秩次距			
degrees of freedom for error $d_f = 425$		means ranked in order			
新复极差法 Duncan's New multiple range procedure		SSR 值 significant studentized range	K= 2	K= 3	K= 4
壳长 (cm) shell length	SE= 0. 0369	LSR0.05 LSR0.01	0. 1022 0. 1343	0. 1077 0. 1402	0. 1114 0. 1439
壳高 (cm) shell highness	SE= 0. 03387	LSR0.05 LSR0.01	0. 0938 0. 1233	0. 0989 0. 1287	0. 1023 0. 1321
壳宽 (cm) shell width	SE= 0. 01106	LSR0.05 LSR0.01	0. 0306 0. 0403	0. 0323 0. 042	0. 0334 0. 0431
体重 (g) live weight	SE= 0. 0729	LSR0.05 LSR0.01	0. 2019 0. 2654	0. 2129 0. 277	0. 2202 0. 2843
成活率 (%) survival	SE= 0. 0427245	LSR0.05 LSR0.01	1. 18347 1. 55517	1. 24755 1. 62353	1. 29028 1. 66625

注: LSR 表示均数间多重比较的最小显著极差法, $LSR_{0.05}$ 和 $LSR_{0.01}$ 分别为最小显著极差值, K 为秩次距, Se 为均数标准误, d_f 为误差自由度

Notes: LSR means least significant range, $LSR_{0.05}$ and $LSR_{0.01}$ mean least significant range for the 5% and 1% levels; $SSR_{0.05}$ and $SSR_{0.01}$ mean significant studentized range for the 5% and 1% levels, K means ranked in order, Se means standard error of the means, d_f means degree of freedom for error

3 讨论与分析

3.1 栉孔扇贝中、日不同种群杂交幼贝的杂种优势表现特征

本研究所分析的 10 月龄幼贝生长发育和存活率 5 个性状的结果清楚地表明, 在相同环境和同期育苗的条件下, 栉孔扇贝中国种群和日本种群的杂交后代, 无论正交或反交后代, 在存活率和贝壳性状、体重方面与两个纯种亲本有明显的差异, 而中国种群与日本种群之间除存活率和壳宽存在差异外, 其它性状差异不显著(表 2 和表 3)。

3.2 杂种优势在不同性状中的表现

各种生物具有各种不同的性状, 各性状的杂种优势表现是不相同的, 遗传力低的性状, 受基因的非加性效应影响作用较大, 选择育种进展不大, 在杂交过程中, 会表现明显的杂种优势; 遗传力高的性状, 受基因加性效应影响作用大, 选择育种进展大, 杂种优势表现相对较小。生长性状、繁殖性状的杂种优势较大, 肉质性状、饵料利用率等的杂种优势相对较小。本研究 5 个性状的杂种优势表现为活体重 > 壳长 > 壳高 > 壳宽 > 成活率, 具体情况见表 1。

3.3 提高杂种优势的措施

杂种优势的产生及其大小, 由多种因素决定, 非加性效应是杂种优势产生的基础。其一, 杂交种群间的差异程度, 一般而言, 同种的不同群体, 基因频率差别越大, 遗传距离越远, 杂种优势越大, 差异小到难以区分时, 就不会有大的杂种优势。其二, 不同种群内的纯合化程度, 通常情况下, 群体选育程度越高, 纯合化程度越高, 使得不同种群间的差距拉大, 就会产生大的杂种优势。因此基因异质性是杂种优

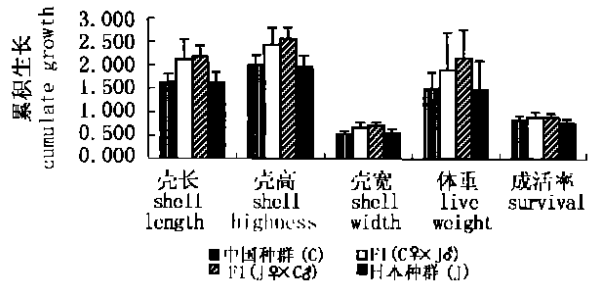


图 1 栉孔扇贝中国种群与日本种群及其杂种 10 月龄生长发育比较

Fig. 1 Growth comparison of Chinese populations and Japanese population to its hybrids at 10 month old in *Chlamys farreri*

势产生的根本原因。本研究所用栉孔扇贝中国种群与日本种群属于不同地理种群,相杂交后表现出较高的杂种优势。如果各个种群分别进行几代的选择育种,然后再进行杂交,杂种优势将会进一步提高。

研究中得到 君、邢荣莲、王国栋等同志的帮助,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] Castagna M, Duggan W. Rearing the bay scallops, *Aequipecten irradians* [J]. Proc Nat Shellf Ass, 1971, 61: 80- 85.
- [2] Gruffydd L D, Beaumont A R. A method for rearing *Pecten maximus* larvae in the laboratory [J]. Mar Biol. 1972, 15:350- 355.
- [3] Wang Z C. The seeds production and cultivation of *Chlamys farreri* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1981, 2(1): 1- 12. [王子臣. 栉孔扇贝人工育苗与试养的研究. 大连水产学院学报, 1981, 2(1): 1- 12.]
- [4] Newkirk G F, Waugh D L, Haley L E. Genetics of larval tolerance to reduced salinities in two populations of oysters, *Crassostrea virginica* [J]. J Fish Res Board Can, 1977, 34: 383- 387.
- [5] Newkirk G F. Interaction of genotype and salinity in larvae of the oyster *Crassostrea virginica* [J]. Mar Biol, 1978, 48: 227- 234.
- [6] Mallet A L, Haley L E. Growth rate and survival in pure population matings and crosses of the oyster *Crassostrea virginica* [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1983, 40: 53- 59.
- [7] Stiles S. Conventional and experimental approaches to hybridization and inbreeding research in the oyster [C]. Proceedings of the ninth annual meeting of the World Mariculture Society, Atlanta, Georgia, 1978, 577- 586.
- [8] Bower S M, Blackburn J, Meyer G R. A new and unusual species of *Perkinsus pathogenic* to cultured Japanese scallops, *Patinopecten yessoensis*, in British Columbia, Canada [J]. Journal of Shellfish Research, 1997, 16(1): 333.
- [9] Cruz P, Ibarra A M. Larval growth and survival of two catarina scallop (*Argopecten arcularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1997, 212, (1): 95- 110.
- [10] Chevassus B. Hybridization in fish [J]. Aquaculture, 1983, 33 (14): 245- 262.
- [11] Hedgecock D. Interspecific hybridization of economically important crustaceans[A]. Selection, hybridization and genetic engineering in aquaculture[C]. 1987, 2: 61- 69.
- [12] Longwell A C. Critical review of methodology and potential for interspecific hybridization[A]. Selection, hybridization and genetic engineering in aquaculture[C]. 1987, 2: 3- 21.
- [13] Menzel W. Hybridization of oysters and clams[A]. Selection, hybridization and genetic engineering in aquaculture[C]. 1987, 2: 47- 59.
- [14] Chen Q, Xiang J H, Qin Y J, et al. Study on the possibility of hybridization and breeding between *Argopecten irradians*, *Chlamys farreri* and *Patinopecten yessoensis*. I . The affinity of the heterogametes between the three species of scallops and early development of hybrids[A]. Annual research report of the experimental marine biology laboratory institute of oceanology, Academia Sinica[C]. Qingdao: Ocean University of Qingdao Press, 1991. 122- 127. [陈 侠, 相建海, 秦裕江, 等. 海湾扇贝、栉孔扇贝和虾夷扇贝杂交育种可行性研究. I . 异种配子亲和性和杂种的早期发育[A]. 中国科学院海洋研究所 EMBL 开放实验室学术年报[C]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1991. 122- 127.]
- [15] Xiang J H, Chen Q. Study on the possibility of hybridization and breeding between *Argopecten irradians*, *Chlamys farreri* and *Patinopecten yessoensis*. II . A study on the cytogenetic basis of the hybridization between the three species of scallops [A]. Annual research report of the experimental marine biology laboratory institute of oceanology, Academia sinica[C]. Qingdao: Press of Ocean University of Qingdao, 1991, 137- 139. [相建海, 陈 侠. 海湾扇贝、栉孔扇贝和虾夷扇贝杂交育种可行性研究. II . 杂交的细胞遗传学研究[A]. 中国科学院海洋研究所 EMBL 开放实验室学术年报[C]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1991. 137- 139.]
- [16] Wang T Y, Liu H Y. Les recherches preliminaires sur le croisement des huîtres[J]. Acta Zoologica sinica, 1959, 11(3): 283- 291. [汪德耀, 刘汉英. 牡蛎人工杂交的初步研究[J]. 动物学报, 1959, 11(3): 283- 291.]
- [17] Clark W H Jr, Talbot P, Neal R A. *In vitro* fertilization with non motile spermatozoa of the brown shrimp *Penaeus aztecus* [J]. Marine Biology, 1973, 22 (4): 353- 364.
- [18] Chen L Z, Wang Z C. Effect of temperature on the fertilization and embryonic development of *Argopecten irradians*, *Patinopecten yessoensis* and their hybrids[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1994, 9(4): 1- 9 [陈来钊, 王子臣. 海湾扇贝与虾夷扇贝杂交的受精、胚胎、早期幼体发育研究[J]. 大连水产学院学报, 1994, 9(4): 1- 9.]