

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2013.04.005

杂色鲍群体间杂交的杂种优势分析

林壮炳¹, 游伟伟²

(1. 广东省养殖技术推广总站汕头中心站, 广东 汕头 515041; 2. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 杂色鲍(*Haliotis diversicolor*)是中国南方主要的鲍养殖种类,近年来“东优1号”杂色鲍因较高的成活率优势已在产业上得到越来越广泛的推广养殖。该研究采用3×3完全双列杂交的方式,对杂色鲍“东优1号”群体、杂色鲍古雷群体和杂色鲍越南群体3个群体自繁与杂交后代的养殖性能进行跟踪,并对其杂种优势进行评估。结果表明,3个群体自繁后代的生长速度和成活率上存在显著差异($P < 0.05$),同时3个组合的生长速度与成活率的双亲杂种优势率值均不高,且2个单亲杂种优势率值之间有显著差异($P < 0.05$)。

关键词: 杂色鲍; 杂交; 杂种优势; 成活率; 壳长

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)04-0028-05

Heterosis analysis on crossbreeding between different populations of small abalone *Haliotis diversicolor*

LIN Zhuangbing¹, YOU Weiwei²

(1. Shantou Fisheries Technology Extension Center, Shantou 515041, China;

2. College of Ocean & Earth Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Small abalone *Haliotis diversicolor* is an important cultivable species in Southern China. A new variety, Dongyou No. 1, is now widely cultured because of its high survival rate. We conducted a 3×3 complete diallel cross between three populations of small abalone *H. diversicolor*, which were Dongyou No. 1, Gulei and Vietnam. During the crossbreeding, we compared the six reciprocal cross lines and three parental lines in terms of growth rate and survival rate at grow-out stage, and analyzed their heterosis. Significant difference in shell length and survival rate had been found, which indicated a potential genetic difference between the three populations ($P < 0.05$). The magnitudes of heterosis was not high, and differed within the cross lines, for both positive and negative values could be observed. Moreover, the two single-parent heterosis were significantly different from each other ($P < 0.05$).

Key words: *Haliotis diversicolor*; cross; heterosis; survival rate; shell length

中国是世界第一养鲍大国,2011年的养殖产量突破 6×10^4 t,鲍养殖已成为沿海部分地区重要的支柱产业之一。杂色鲍(*Haliotis diversicolor*)是中国主要的鲍鱼养殖种类,自20世纪90年代产业化兴起开始,已在中国的广东、海南、福建和台湾地区大量养殖^[1-2]。但近10年杂色鲍养殖病害层出不穷,养殖产量下滑严重^[3-5]。已有的报道显示,

养殖杂色鲍的种质退化是最为根本的原因^[6-8]。贝类中采用杂交育种的方式进而利用其杂种优势的研究已有很多^[10-13],也是贝类新品种培育的重要方法。2010年厦门大学鲍类育种研究团队采用群体间杂交的方式获得具有高成活率特性的“东优1号”杂色鲍国家级水产新品种^[14],并已在产业上得到大力推广。该研究以“东优1号”杂色鲍、杂色

收稿日期: 2013-02-27; 修回日期: 2013-05-24

资助项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA10A412); 国家自然科学基金项目(31101896); 科技部星火计划项目(2011GA720001); 福建省科技计划项目(2011N0033, 2011J05095)

作者简介: 林壮炳(1964-),男,高级工程师,从事海水养殖工作。E-mail: 1151291187@qq.com

鲍古雷群体和杂色鲍越南群体作为研究对象, 采用完全双列杂交的方式获得各自繁与杂交组合, 并对后代的养殖性能进行跟踪, 对其杂种优势进行评估, 以为杂色鲍的选育、强优势组合的选配与利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

“东优1号”杂色鲍群体(A)系厦门大学贝类遗传育种团队培育的国家级水产新品种, 其壳形椭圆型偏长, 壳顶居中, 足部表皮淡黄色, 肌肉肥瘦居中。杂色鲍古雷群体(B)系福建省漳浦县古雷镇采用当地亲鲍培育出的后代, 其壳形椭圆, 壳顶居中, 足部表皮深灰色, 肌肉较肥。杂色鲍越南群体(C)系从越南引进的杂色鲍自繁第一代, 其壳形椭圆偏细长, 壳顶偏于一边, 足部表皮暗黑色, 肌肉偏瘦。

1.2 试验组建立及培育

研究利用以上3个不同群体的杂色鲍作为亲鲍, 按照3×3完全双列杂交的试验设计进行。采用阴干、紫外线照射海水刺激的方法获得3个组合的精子与卵子, 将每个群体排放的卵子等分为3份, 在每份卵子中分别加入3个群体所排放的精子授精, 得到以下9个试验组后代, 依次记为: 东优1号♀×东优1号♂(AA), 东优1号♀×古雷♂(AB), 东优1号♀×越南♂(AC), 古雷♀×东优1号♂(BA), 古雷♀×古雷♂(BB), 古雷♀×越南♂(BC), 越南♀×东优1号♂(CA), 越南♀×古雷♂(CB)和越南♀×越南♂(CC)。各组合按照杂色鲍的养殖技术规范进行苗种培育及养殖。

1.3 取样及杂种优势计算

每个组合挑选500个2cm左右的鲍苗, 尽量保证各组合的起始壳长一致。采用陆地工厂化养殖方式进行养殖, 各试验组放养密度均为20个·笼⁻¹, 每8笼为一串, 每组各3串, 即每个试验组分别有3个重复组。记录、剔除死亡个体, 并及时调整保持养殖密度一致。所有的试验笼均平放于水池中养殖, 以尽量消除工厂化立体养殖所造成的环境误差。每隔2个月进行取样, 每串随机取样30个, 用游标卡尺进行壳长测量, 测算出每个时期的日增长率, 并跟踪记录养成期的成活率, 养殖时间为8个月。

依据 FALCONER 和 MACKAY^[15]、YOU 等^[7]

的研究方法, 中亲杂种优势率(H_{MP} , %)与单亲杂种优势率(H_{BP} , %)的计算公式为:

$$H_{MP}(\%) = \frac{F - P}{P} \times 100$$

$$H_{BP}(\%) = \frac{F - P_x}{P_x} \times 100$$

其中 F 表示某杂交组合(正交或反交)的性状表型均值, P 表示双亲群体自繁子代的性状表型均值, P_x 表示某一亲本自繁子代的性状表型值。

1.4 数据处理

采用 SPSS 11.0 统计软件进行试验组间日增长率与成活率的方差分析, 差异的显著性设置为显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)。

2 结果

2.1 杂交组合的生长及杂种优势率比较

经 LSD 法多重比较分析, 除 BA 与 CA 组合间存在差异外($P < 0.05$), 其他各组合起始壳长间不存在显著差异。经过8个月的养殖, BB组合的平均壳长达到(6.42 ± 0.71)cm, 较AA组合快12.83%, 较CC组合快27.63%, 差异显著($P < 0.05$)(表1)。而在不同养殖月龄间的日增长率值方面, 各组合为0.07~0.21 mm·d⁻¹, 平均日增长率最高的为BB组合, 最低的为CC组合(表2)。经多重比较分析, 不同组合在不同养殖月龄内的日增长率值差异显著($P < 0.05$)。

各组合日增长率的中亲杂种优势率值差异显著, 数值介于-25.44%~25.19%, 3个组合间的平均中亲杂种优势率值 H_{AB} 、 H_{AC} 和 H_{BC} 分别为0.38、4.80和-6.00(表3)。3个组合的壳长中亲杂种优势率值都落在相应的2个单亲杂种优势率值中间, 且这2个单亲杂种优势率值之间有极显著差异($P < 0.01$)。

2.2 杂交组合的成活率及杂种优势率比较

经过8个月的养殖, 各组合的成活率之间存在显著差异(图1)。3个自繁组合中AA组合的成活率最高为(60.3 ± 5.34)%, 较BB组合和CC组合分别高46.36%和110.10%。6个杂交组合里依据成活率大小依次为AB > BA > AC > CA > BC > CB。其中A群体与B群体的正、反杂交后代的成活率最高, 分别达到(56.4 ± 4.36)%和(51.8 ± 5.86)%, 而B群体与C群体正、反杂交的成活率最低, 但仍高于CC组合。

表1 各组合不同养殖月龄的壳长比较($\bar{X} \pm SD$)

Tab. 1 Comparison of shell length between different groups

cm

组合 group	养殖月龄 months				
	0	2	4	6	8
AA	2.03 ± 0.17	2.87 ± 0.24	3.66 ± 0.35	4.63 ± 0.64	5.69 ± 0.73
BB	1.98 ± 0.16	3.12 ± 0.22	4.03 ± 0.35	5.31 ± 0.64	6.42 ± 0.71
CC	2.03 ± 0.17	2.54 ± 0.24	3.32 ± 0.42	4.14 ± 0.53	5.03 ± 0.65
AB	1.95 ± 0.15	2.86 ± 0.21	3.75 ± 0.31	4.81 ± 0.58	5.93 ± 0.63
BA	2.06 ± 0.14	2.96 ± 0.21	3.84 ± 0.32	5.02 ± 0.44	6.21 ± 0.50
AC	1.93 ± 0.13	2.67 ± 0.25	3.54 ± 0.34	4.48 ± 0.54	5.48 ± 0.67
CA	1.84 ± 0.15	2.79 ± 0.23	3.24 ± 0.36	4.36 ± 0.44	5.21 ± 0.51
BC	1.99 ± 0.18	2.68 ± 0.24	3.53 ± 0.33	4.66 ± 0.57	5.79 ± 0.67
CB	2.04 ± 0.21	2.87 ± 0.31	3.28 ± 0.43	4.54 ± 0.49	5.32 ± 0.58

表2 各组合不同养殖月龄间的日增长率比较($\bar{X} \pm SD$)

Tab. 2 Comparison of growth rate per day (GRD) between different groups

mm·d⁻¹

组合 group	养殖月龄 months				
	0/2	2/4	4/6	6/8	0/8
AA	0.14 ± 0.02	0.13 ± 0.03	0.16 ± 0.03	0.18 ± 0.05	0.15 ± 0.03
BB	0.19 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.21 ± 0.03	0.19 ± 0.04	0.19 ± 0.02
CC	0.09 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.14 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.12 ± 0.02
AB	0.15 ± 0.04	0.15 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.19 ± 0.04	0.16 ± 0.04
BA	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.03	0.20 ± 0.04	0.20 ± 0.03	0.17 ± 0.05
AC	0.12 ± 0.02	0.15 ± 0.04	0.16 ± 0.03	0.17 ± 0.03	0.15 ± 0.03
CA	0.16 ± 0.03	0.08 ± 0.02	0.19 ± 0.04	0.14 ± 0.04	0.14 ± 0.02
BC	0.12 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.19 ± 0.03	0.19 ± 0.05	0.16 ± 0.03
CB	0.14 ± 0.02	0.07 ± 0.03	0.21 ± 0.04	0.13 ± 0.05	0.14 ± 0.04

表3 各组合日增长率的中亲杂种优势率和单亲杂种优势率比较

Tab. 3 Mid-parent and single-parent heterosis of growth rate per day (GRD) between different cross groups

%

组合 group		养殖月龄 months			
		0/2	2/4	4/6	6/8
AB 与 BA	H_{AB}	-8.59	4.12	-0.44	6.45
	H_A	7.74	12.03	15.46	8.96
	H_B	-20.61	-2.75	-12.50	4.05
AC 与 CA	H_{AC}	25.19	-15.92	15.08	-5.13
	H_A	0.60	-16.46	6.19	-12.74
	H_C	65.69	-15.38	25.61	3.93
BC 与 CB	H_{BC}	-7.88	-25.44	13.81	-4.50
	H_B	-33.33	-30.77	-6.64	-13.96
	H_C	49.02	-19.23	45.73	7.30

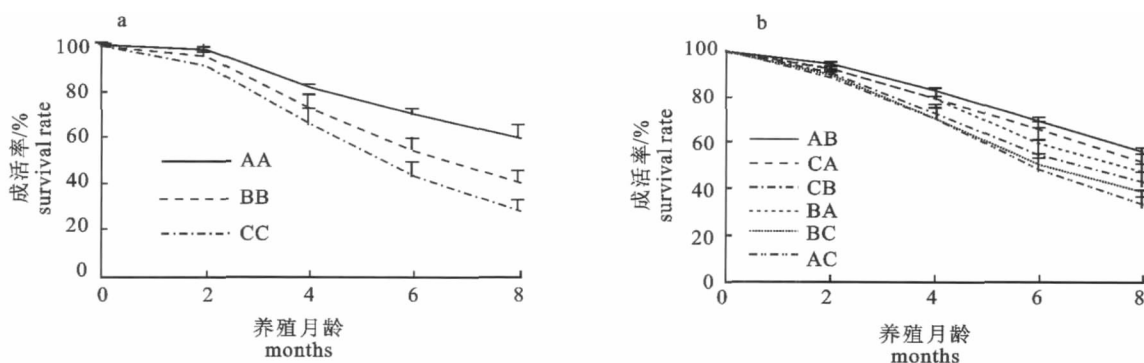


图 1 3 个群体自繁组合 (a) 和杂交组合 (b) 各时期成活率比较

Fig. 1 Survival rate of the three parental groups (a) and the six cross groups (b) at different ages

各组合的成活率中亲杂种优势率都不高, 数值介于 $-3.73\% \sim 8.05\%$, 但大部分都表现出正向的中亲杂种优势率(表 4)。养殖 8 个月后各组合的成活率中亲杂种优势率平均值分别为 $3.97\% (H_{AB})$, $0.59\% (H_{AC})$, $0.90\% (H_{BC})$ 。3 个组合的成活率中亲杂种优势率值都落在相应的 2 个单亲杂种优势

率值中间, 且这 2 个单亲杂种优势率值之间有极显著差异 ($P < 0.01$)。如 A 群体与 B 群体的正、反杂交后代中, H_B 的平均值达到 15.62% , 而 H_A 的平均值则为 -4.78% ; A 群体与 C 群体的正、反杂交后代中, H_C 的平均值达到 26.15% , 而 H_A 的平均值则为 -14.17% 。

表 4 各组合不同养殖月龄的成活率中亲杂种优势率和单亲杂种优势率比较

Tab. 4 Mid-parent and single-parent heterosis of survival between different cross groups

组合 group		养殖月龄 months				%
		2	4	6	8	
AB 与 BA	H_{AB}	-3.38	4.62	8.05	6.60	
	H_A	-4.32	-1.29	-3.24	-10.28	
	H_B	-2.41	11.27	22.31	31.31	
AC 与 CA	H_{AC}	-3.73	3.34	0.18	2.58	
	H_A	-7.15	-6.93	-18.30	-24.30	
	H_C	-0.06	16.16	29.45	59.06	
BC 与 CB	H_{BC}	-3.07	3.05	-1.11	4.72	
	H_B	-5.61	-1.94	-11.11	-11.17	
	H_C	-0.39	8.58	11.42	27.53	

3 讨论

试验结果表明, 3 个不同群体的杂色鲍自繁后代在重要的生产性状如生长速度和成活率方面存在显著差异, 杂色鲍古雷群体的生长速度最快, “东优 1 号”杂色鲍自繁后代的成活率最高, 而越南群体的生长速度和成活率在 3 个群体间都是最低的。在贝类的相关研究中, 不同群体间的表型性状存在显著差异的报道已有很多, 并推断贝类比鱼类更容易形成这一差异的原因, 主要是由于贝类的移动范

围小以及地理障碍造成的基因流隔断^[16-19], 这也是群体间杂交在贝类中往往十分有效且得以广泛应用的主要原因之一。

在该试验中并非所有的杂交组合都表现出正向的杂种优势, 有些杂交组合的性状表现出负向的杂种优势。这种情况在贝类群体间杂交的研究中亦十分常见^[20-21]。同时, 杂种优势率的高低与亲本群体自身的养殖性能有直接关系。在该研究中杂色鲍越南群体无论是在生长速度还是成活率都很低, 因此, 越南群体与“东优 1 号”杂色鲍或古雷群体的

杂交后代的表型性状都很差,这一结果说明要获得性状优良的杂交子一代,用于杂交的双亲质量也应十分优良。结果显示,中亲杂种优势率都落在相应的2个单亲杂种优势率中间,且2个单亲杂种优势率间有极显著差异,这一结果主要是与双亲间的遗传差异有直接关系。杂色鲍越南群体的养殖性能较差,其杂交后代的单亲杂种优势率都是正向的,且数值较高,而“东优1号”杂色鲍的成活率较高,因此,其杂交后代的成活率单亲杂种优势都是负向的。

“东优1号”杂色鲍系采用杂色鲍日本群体作为父本、杂色鲍台湾群体作为母本杂交而产生的子一代,其养殖成活率一般可稳定在70%以上^[14]。而笔者研究结果发现,其自繁后代养殖8个月后的成活率仅为60.3%,较“东优1号”的成活率有明显下降,这主要是因为F₂群体出现分离,养殖性能出现显著下降,因此,利用杂交子一代的杂种优势,在生产上养殖“东优1号”杂色鲍仍是最为有效的途径。目前,在中国南方的杂色鲍养殖场中,春、夏以及秋、冬季节交替期常见的杂色鲍暴发性死亡症仍是制约产业发展的重要因素之一。随着“东优1号”杂色鲍在产业上的广泛应用,养殖业者开始意识到杂交育种的重要性,但与此同时,仍有不少人对杂种优势的认识十分盲目,导致产业上滥交、乱交的现象严重,因此,在贝类的育种研究中,杂种优势的保持与杂种优势的获得同样重要^[22]。

参考文献:

- [1] ZHANG G, QUE H, LIU X, et al. Abalone mariculture in China [J]. J Shellfish Res, 2004, 23(4): 947-950.
- [2] NIE Z, WANG S. The status of abalone culture in China [J]. J Shellfish Res, 2004, 23(4): 941-946.
- [3] 王江勇, 郭志勋, 冯娟, 等. 养殖杂色鲍暴发病超微病理学研究 [J]. 海洋科学, 2007, 31(3): 28-32.
- [4] 宋振荣, 纪荣兴, 颜素芬. 引起九孔鲍大量死亡的一种球状病毒 [J]. 水产学报, 2000, 24(5): 463-466.
- [5] 徐力文, 王江勇, 陈毕生. 我国南方鲍养殖业的困境与发展探讨 [J]. 湛江海洋大学学报, 2006, 26(4): 100-104.
- [6] 柯才焕, 游伟伟. 杂色鲍的遗传育种研究进展 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2011, 50(2): 425-430.
- [7] YOU W, KE C, LUO X, et al. Growth and survival of three small abalone *Haliotis diversicolor* populations and their reciprocal crosses [J]. Aquac Res, 2009, 40(13): 1474-1480.
- [8] 蔡明夷, 柯才焕, 周时强, 等. 鲍的遗传育种研究进展 [J]. 水产学报, 2004, 28(2): 201-208.
- [9] LAFARGA-DE LA CRUZ F, AGUILERA-MUNOZ F, AMAR-BASULTO G, et al. Genetic analysis of an artificially produced hybrid abalone (*Haliotis rufescens* × *H. discus hannai*) in Chile [J]. J Shellfish Res, 2010, 29(3): 717-724.
- [10] LAFARGA-DE LA CRUZ F, GALLARDO-ESCARATE C. Intraspecific and interspecific hybrids in *Haliotis*: natural and experimental evidence and its impact on abalone aquaculture [J]. Rev Aquac, 2011, 3(2): 74-99.
- [11] ZHANG Y, WANG Z, YAN X. Laboratory hybridization between two oysters: *Crassostrea gigas* and *Crassostrea hongkongensis* [J]. J Shellfish Res, 2012, 31(3): 619-625.
- [12] LUO X, KE C, YOU W, et al. Molecular identification of interspecific hybrids between *Haliotis discus hannai* Ino and *Haliotis gigantea* Gmelin using amplified fragment-length polymorphism and microsatellite markers [J]. Aquac Res, 2010, 41(12): 1827-1834.
- [13] XU F, ZHANG G, LIU X, et al. Laboratory hybridization between *Crassostrea ariakensis* and *C. sikamea* [J]. J Shellfish Res, 2009, 28(3): 453-458.
- [14] 游伟伟, 骆轩, 王德祥, 等. “东优1号”杂色鲍及其亲本群体的形态特征和养殖性能比较 [J]. 水产学报, 2010, 34(12): 1849-1855.
- [15] FALCONER D S, MACKAY T F C. Introduction to quantitative genetics [M]. 4th edition. England: Longman, Essex, 1996: 253-261.
- [16] HAWES R, SCULLY K, HIDU H. Growth rate of two diverse populations of American oysters, *Crassostrea virginica* and their reciprocal crosses [J]. Aquaculture, 1990, 85(1/2/3/4): 327.
- [17] CRUZ P, IBARRA A M. Larval growth and survival of two catarina scallop (*Argopecten circularis*, Sowerby, 1835) populations and their reciprocal crosses [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1997, 212(1): 95-110.
- [18] ZHENG H, ZHANG G, GUO X, et al. Heterosis between two stocks of the bay scallop, *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819) [J]. J Shellfish Res, 2006, 25(3): 807-812.
- [19] LI Q, YU H, YU R. Genetic variability assessed by microsatellites in cultured populations of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in China [J]. Aquaculture, 2006, 259(1/2/3/4): 95-102.
- [20] MALLETT A L, HALEY L E. General and specific combining abilities of larval and juvenile growth and viability estimated from natural oyster populations [J]. Mar Biol, 1984, 81(1): 53-59.
- [21] HEDGECOCK D, MCGOLDRICK D J, BAYNE B L. Hybrid vigour in Pacific oysters: an experimental approach using crosses among inbred lines [J]. Aquaculture, 1995, 137(1/2/3/4): 285-298.
- [22] GUO X. Use and exchange of genetic resources in molluscan aquaculture [J]. Rev Aquac, 2009, 1(3/4): 251-259.