

大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)快速生长品系 和高成活率选育品系的配合力分析*

马爱军^{1,2} 王新安^{1,2} 黄智慧^{1,2} 孙志宾^{1,2} 刘志峰^{1,2} 崔文晓^{1,2} 曲江波³

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术
重点实验室 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生物学与生物技术功能实验室 青岛 266071;

3. 烟台开发区天源水产有限公司 烟台 264003)

摘要 利用人工授精技术,通过不完全双列杂交交配设计,以大菱鲂 2 个配套选育系进行双列杂交产生的数据为分析对象,利用统计学和数量遗传学方法对体质量和存活性状进行了一般配合力和特殊配合力测定以及杂交优势分析。结果表明,综合分析 50 个杂交组合在不同月龄的特殊配合力和亲本的一般配合力以及杂种优势率发现,FG1♀×HS1♂组合为最佳杂交组合。在 6 月龄、9 月龄、12 月龄和 15 月龄,FG1♀×HS1♂组合的体重分别为 49.4010g、162.8510g、311.0716g 和 619.8467g,比相应发育阶段的普通商品苗种依次提高了 31.36%、44.46%、50.55%和 69.06%;在 3—6、6—9、9—12 和 12—15 月龄,FG1♀×HS1♂组合的成活率分别为 96.4%、98.9%、99.2%和 99.0%,比相应发育阶段的普通商品苗种分别提高了 37.62%、27.55%、11.45%和 6.35%,显示出良好的生长性能。最佳系间杂交组合 FG1♀×HS1♂的确定,为选育出优质、高产的大菱鲂新品种提供了理论依据。

关键词 大菱鲂;快速生长品系;高成活率品系;配合力

中图分类号 Q953; S968 **doi:** 10.11693/hyh20170600177

大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)为原产于欧洲的著名海水养殖特有良种,具有生长迅速、肉味鲜美、经济价值高等优点(Howell, 1998)。中国水产科学研究院黄海水产研究所于 1992 年“跨洋引种”将其引入中国,经过一系列相关产业技术的开发研究,使其成为我国北方沿海工厂化养殖业的主导品种(雷霖霖等, 1995; Ma *et al.*, 2006; Ruan *et al.*, 2010, 2011; Wang *et al.*, 2010, 2015, 2016)。近年来,由于大菱鲂属于外来鱼种,长期依赖于欧洲国家提供种源,亲鱼来源较为单一(雷霖霖等, 2005),并且育种过程中采用的亲鱼未经过专门选优处理,加之累代养殖和近亲交配,以致造成种质退化现象,生长速度减慢、成活率低、抗逆性变差等现象不断发生(Ruan *et al.*, 2010, 2011; Wang *et al.*, 2010, 2015, 2016; Liang *et al.*, 2012); 调研表明,在 2000—2001 年,大菱鲂苗种经 10 个月的养

成约 30%可达到上市规格,现在养殖 10 个月达到上市规格不到 10%,整批苗种达到上市规格要在 18 个月以上,甚至 2 年。因此,进行大菱鲂遗传改良,培育出具有抗逆、优质、高产等优良性状的新品种,是维持大菱鲂产业在中国可持续发展的重要保障。

针对我国大菱鲂产业发展过程中出现的种质退化现象,项目组于 2004 年 4 月在山东烟台天源水产有限公司采用群体选育的方法,以快速生长和高成活率为选育目标,对来源于英国、法国、丹麦和挪威 4 个不同群体的大菱鲂进行遗传改良;经过一代选育,到 2007 年又采用基于电子标记辅助的大规模家系选育技术开始对大菱鲂进行了传代选育;到 2012 年,经过连续 2 代家系选育,根据对选育二代家系和对照系不同生长发育阶段生长性能/成活率育种值和表型值均值的综合评定,选育出大菱鲂快速生长新品系

* 现代农业产业技术体系专项, CARS-47-G01 号; 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山人才计划资助; 山东省重点研发计划, 2016GSF115019 号; 山东省良种工程项目, 2016LZGC031 号。马爱军, 博士, 研究员, 博士生导师, E-mail: maaj@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2017-06-30, 收修改稿日期: 2017-07-16

(fast-growing strain, 简称 FG)和高成活率新品系(high survival strain, 简称 HS)。

2013年1月,从选育出的快速生长新品系和高成活率新品系中选择亲本,采用不完全双列杂交技术开展系间杂交实验。采用群体性状表型鉴定结合配合力分析的方法,分析不同家系的大菱鲆群体亲本、杂交组合的配合力和杂交组合的优势。综合分析不同阶段的研究结论,筛选具有显著杂交优势的杂交组合,为选育优质、高产的大菱鲆新品种提供基础材料。

1 材料与方法

2013年1月,从选育出的快速生长新品系和高成活率新品系中选择亲本,采用不完全双列杂交技术开展系间杂交实验。具体过程如下:

1.1 系间杂交实验

利用大规模家系选育技术培育出的 5 个快速生长优良家系和 5 个高成活率品优良家系为材料,按照不完全双列杂交实验设计进行人工授精,开展系间杂交实验。从每个备选家系中选取性腺发育良好的雌性个体和雄性个体,采集卵子和精子。3 尾雌鱼对 3 尾雄鱼,将卵子和精子混合后缓慢搅拌均匀,5min 后在继续搅拌的同时加入海水。授精卵经漂浮分离后置于孵化箱中孵化,初孵仔鱼转移至育苗池进行苗种培育,苗种培育分阶段按照环境标准化和数量标准化操作程序进行培育,以降低养殖环境对早期家系培育的影响。按照不完全双列杂交设计共计得到 50 个系间杂交组合。

1.2 数据采集与分析

从初孵仔鱼到三级数量标准化时,家系经历 60d,再经过三级数量标准化后 1 个月的中间培育,家系培育日龄达 90d 左右,即 3 月龄时,幼鱼体长可达 5—6cm,此时可对幼鱼进行荧光(VIE)标记(实验表明,此生长期不适合进行 PIT 标记),以区分不同的家系,进行家系混养。同时统计每个杂交组合家系鱼的数量,并测量每尾鱼的重量。苗种发育到 9 月龄时,可对 VIE 标记的个体进行 PIT 标记(实验表明,此时 PIT 标记对鱼的伤害几乎可以忽略不计)。由于发育到这一阶段大菱鲆的死亡率较低,通常每个家系选择 50—60 鱼尾进行 PIT 标记,并统计每个杂交组合家系鱼的数量,并测量每尾鱼的重量。在 12 和 15 月龄时,同样进行体重测量和成活数量统计;养殖死亡个体随时捞除并记录,依据前一统计期放苗尾数及下一统计期尾数计算不同生长发育期的成活率。依据采集的

各阶段体重和成活率,估算 10 个雌性亲本和 10 个雄性亲本的一般配合力(GCA)效应值,以及 50 个系间杂交组合的特殊配合力(SCA)效应值和 25 个组合的杂种优势率。

杂种优势率的计算公式为

$$H(\%) = \frac{M_{F_1} - \frac{1}{2} \times (M_{P_1} + M_{P_2})}{\frac{1}{2} \times (M_{P_1} + M_{P_2})} \times 100\%$$

式中, M_{F_1} 为群体 P_1 和 P_2 正反杂交交子一代群体均数, M_{P_1} 和 M_{P_2} 为群体 P_1 和 P_2 自交子一代群体均数。

1.3 与普通商品苗的对比测试

为评估不同发育阶段的选育进展,将烟台天源水产有限公司同期生产的非选育普通商品苗种与选育苗种进行生长及成活率比较。成活率统计 3—6、6—9、9—12 和 12—15 月龄的存活个体,并计算成活率。

2 结果与分析

2.1 配合力分析结果

配合力包括一般配合力和特殊配合力;一般配合力是对基因加性效应的度量,在数值上,一般配合力代表该亲本杂交后代平均表现的优劣,一般配合力值高的亲本才能产生均值高的后代。表 1 为 10 个群体体重性状、成活率性状在不同生长发育阶段的父本一般配合力效应值,表 2 为 10 个群体体重性状、成活率性状在不同生长发育阶段的母本一般配合力效应值。特殊配合力是对基因显性、超显性和上位等效应的度量。表 3 为 50 个杂交组合在不同生长发育阶段的特殊配合力效应值。在筛选品种组合时,通常应在选择一般配合力高的亲本的基础上,再选择特殊配合力高的组合。

在大菱鲆的 50 个杂交组合中,以体重为指标的测试结果表明,FG1♀×HS1♂组合在 6 月龄、9 月龄、12 月龄和 15 月龄的特殊配合力分别为 30.5570、21.7354、48.1552 和 47.3956,分别排在 50 个组合的第 3、第 2、第 1 和第 1 位(表 3),其父本的一般配合力分别为 16.0449、21.6675、17.9957 和 22.0228,分别排在 10 个父本的第 1、第 2、第 1 和第 1 位(表 1),其母本的一般配合力分别为 24.9062、37.4062、51.1506 和 33.4897,在这 4 个阶段均为第 1 位(表 2);以成活率为指标的测试结果表明,FG1♀×HS1♂组合在 6 月龄、9 月龄、12 月龄和 15 月龄的特殊配合力分别为 62.4346、28.6030、17.2189 和 7.2779,分别排在

50 个组合的第 1 第 4、第 2 和第 1 位(表 3), 其父本的一般配合力分别为 6.9503、21.5940、8.8183 和 1.9140, 分别排在 10 个父本的第 4、第 1、第 1 和第 1 位(表 1), 其母本的一般配合力分别为 35.4734、8.6309、2.5992 和 5.0860, 在这 4 个阶段分别排在第 1、第 1、第 2 和第 1 位(表 2)。

表 1 大菱鲂快速生长品系(FG)和高成活率品系(HS)在不同生长发育阶段的父本一般配合力效应值
Tab.1 Paternal general combining ability of fast-growing and high survival strain of *S. maximus* at the different growth stages

品系	体重				成活率			
	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄
FG1	16.0449	21.6675	17.9957	22.0228	6.9503	21.5940	8.8183	1.9140
FG2	-4.0847	1.1817	7.6704	7.3343	-18.1969	-4.2599	0.2568	-1.7165
FG3	-5.8678	-8.9363	-4.2730	-6.5946	-20.2183	-5.6082	-1.7997	-0.9914
FG4	7.1572	-4.9876	-9.0841	-12.1600	17.2443	-17.3137	-6.9359	-0.4545
FG5	-12.7034	-8.6602	-12.8014	-10.5279	14.0457	5.5004	-0.0770	1.1750
HS1	-5.9536	-5.3980	-13.4730	-0.4433	-8.6247	11.4597	-3.4578	0.6703
HS2	14.6004	22.7825	16.4043	1.7216	-5.1623	-8.8361	5.8229	1.1969
HS3	-6.1990	-18.9430	-7.1253	-4.4866	3.8526	-5.5510	1.8245	0.8916
HS4	2.6365	5.0127	1.3489	1.1673	0.7304	6.6196	-0.6960	1.6067
HS5	-4.7401	-2.3403	2.3071	1.8374	8.7171	-3.7538	-3.2882	-4.3383

表 2 大菱鲂快速生长品系(FG)和高成活率品系(HS)在不同生长发育阶段的母本一般配合力效应值
Tab.2 Maternal general combining ability of fast-growing and high survival strain of *S. maximus* at the different growth stages

品系	体重				成活率			
	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄
FG1	5.8660	4.5085	-1.6365	11.5966	-4.3874	0.0782	-3.9691	3.1855
FG2	-3.4131	-0.6117	-12.9409	-2.3941	-5.9352	-14.7848	-0.5161	-1.9138
FG3	1.7731	3.6371	-14.1048	8.3071	15.7465	5.6778	-3.6469	0.3126
FG4	5.5044	10.6858	27.3713	-3.4952	-24.5954	7.9692	7.2845	0.9648
FG5	-9.9279	-18.0144	0.9333	-13.2363	20.0553	1.2926	0.6426	-2.7738
HS1	24.9062	37.4062	51.1506	33.4897	35.4734	8.6309	2.5992	5.0860
HS2	0.6533	9.5423	7.0650	3.3388	6.5687	-12.6445	2.4297	-5.5314
HS3	7.0366	-8.1435	-7.0037	-7.8056	-30.0421	4.6267	-2.5916	2.2273
HS4	-3.2729	-14.6195	-19.1913	-13.8971	16.0855	-5.7199	-1.1156	-0.3944
HS5	-29.1730	-22.6055	-31.8023	-16.3974	-26.2561	5.3901	-1.0368	-1.7144

表 3 大菱鲂快速生长品系(FG)和高成活率品系(HS)在不同生长发育阶段的特殊配合力效应值
Tab.3 Special combining ability of fast-growing and high survival strain of *S. maximus* at the different growth stages

杂交组合	体重				成活率			
	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄
FG1♀×HS1♂	30.5570	21.7341	48.1552	47.3956	62.4346	28.6030	17.2189	7.2779
FG1♀×HS2♂	-19.8093	-13.0884	-11.8886	-11.3227	-59.3209	0.1694	-1.4977	-1.2075
FG1♀×HS3♂	7.6994	10.0307	15.7096	13.5314	-44.6689	-14.6773	-0.6794	-3.8707
FG1♀×HS4♂	21.6500	15.0013	9.5484	7.2095	-3.3872	-17.2171	-1.3944	-0.8505
FG1♀×HS5♂	4.2963	-13.0063	0.2710	-4.1398	40.6347	1.3679	-6.4500	0.1492
FG2♀×HS1♂	-13.7770	40.0430	-12.8318	-5.2346	-23.2107	22.7898	-5.6197	5.1568
FG2♀×HS2♂	-3.7807	21.1199	19.0965	16.2075	28.0890	-6.9937	-10.2338	-1.4041
FG2♀×HS3♂	-36.2544	-44.5607	-42.7741	-40.1602	58.4532	-4.6592	5.4336	3.6141
FG2♀×HS4♂	5.0718	-12.3898	-17.7620	-12.6334	-54.8233	5.5577	-4.0496	-2.7372
FG2♀×HS5♂	5.3575	-4.3409	-8.7084	-8.7379	-7.10388	-16.5235	10.5383	-4.8612

续表

杂交组合	体重				成活率			
	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄
FG3♀×HS1♂	-43.5894	-14.6026	-19.0022	-16.7782	8.3723	-22.3123	-1.5244	-12.1203
FG3♀×HS2♂	-21.6166	-23.1378	-24.5083	-20.5110	9.5253	5.4142	19.7754	1.1467
FG3♀×HS3♂	44.2532	1.5685	27.9390	31.7921	-4.7576	27.8281	-6.1563	4.9668
FG3♀×HS4♂	11.2962	18.4916	15.8721	9.7559	6.2455	-15.2405	-5.1086	5.8560
FG3♀×HS5♂	9.6050	-2.3258	-1.3150	-4.8719	-19.4068	3.4561	-6.2384	-1.2299
FG4♀×HS1♂	22.6346	-20.9808	-14.5955	-29.0151	-64.9864	-1.0476	13.5005	-4.9658
FG4♀×HS2♂	38.0694	14.4607	20.9239	14.2903	-7.4877	-0.4284	4.2677	6.6293
FG4♀×HS3♂	-19.7265	4.4394	-11.8630	-9.4245	-3.5416	-14.9130	-4.6592	-2.9853
FG4♀×HS4♂	-23.3495	-13.0112	-1.7116	6.1963	49.1789	11.5728	-5.9405	-1.6017
FG4♀×HS5♂	-17.0611	15.0204	7.0532	17.2503	26.0855	4.3295	-6.1161	2.9792
FG5♀×HS1♂	4.6980	-5.4625	-1.4778	2.8780	13.7947	-0.5050	-16.6087	6.4161
FG5♀×HS2♂	7.7777	1.4786	-4.4288	1.0192	28.7196	-28.7725	-12.1966	-5.0396
FG5♀×HS3♂	3.8792	7.2822	9.8439	5.4557	-3.7776	4.5962	7.0070	-1.9912
FG5♀×HS4♂	-15.0218	-7.3758	-6.2063	-10.7688	3.6955	15.2659	14.7766	-2.3671
FG5♀×HS5♂	-2.0571	4.4835	2.4055	1.4674	-41.4961	8.4845	4.5737	2.8966
FG1♂×HS1♀	-8.3572	-20.0832	-0.6386	-12.6718	-7.6531	-26.9532	3.5691	2.5879
FG1♂×HS2♀	3.6844	17.5250	14.8581	10.9105	-30.5499	-1.7519	12.1522	2.8113
FG1♂×HS3♀	12.3232	-61.4615	39.4142	22.5885	-2.5106	26.4641	-3.6669	-9.2779
FG1♂×HS4♀	-22.7601	-34.1670	-38.7238	-2.2376	42.7091	-32.8368	-8.1932	0.2903
FG1♂×HS5♀	14.9938	9.4072	-14.0627	-18.5076	-2.2936	36.2985	-2.9058	4.0429
FG2♂×HS1♀	3.0432	2.9147	-7.2987	-4.8724	42.7676	8.9117	-9.7768	-2.7735
FG2♂×HS2♀	14.8479	-29.8516	8.6933	15.7483	-36.0070	7.4476	-5.3576	3.2481
FG2♂×HS3♀	-16.4628	-30.3066	-14.4866	-11.6312	22.2441	-12.4963	2.1298	3.6699
FG2♂×HS4♀	0.9781	8.6512	14.7689	6.6321	-17.8192	-12.6284	3.8839	-6.8405
FG2♂×HS5♀	-1.8289	-3.4674	-1.2215	-5.8017	-10.2880	8.5853	9.7550	2.5051
FG3♂×HS1♀	-1.6110	-7.1376	1.8287	-0.7636	-24.9817	8.4426	8.7540	-3.5378
FG3♂×HS2♀	-30.5629	-27.2773	-26.8699	-29.0760	2.4147	3.5646	-17.7693	5.2023
FG3♂×HS3♀	4.6893	-2.4834	-6.6572	-8.1301	13.0941	1.2137	3.7502	4.0283
FG3♂×HS4♀	17.3751	21.6449	21.8057	9.4725	1.2968	-0.8702	-4.0213	2.0604
FG3♂×HS5♀	9.5223	14.4624	8.7155	28.5537	8.1494	-12.1855	8.8292	-8.1587
FG4♂×HS1♀	-1.6506	18.8256	-9.6485	-2.2863	-39.0318	-26.5566	-4.5115	1.7298
FG4♂×HS2♀	28.2048	-38.8137	24.8877	21.3627	36.4405	-3.4936	13.0395	-7.0479
FG4♂×HS3♀	-16.0471	-37.0216	-13.2827	-9.5835	19.4330	2.9650	0.6819	3.0974
FG4♂×HS4♀	1.9776	-5.1748	-9.1857	-9.6456	-23.39004	36.6834	5.718	-1.8380
FG4♂×HS5♀	-14.1302	14.3952	5.8927	0.5598	6.2151	-9.4671	-14.9478	4.4177
FG5♂×HS1♀	8.6414	10.7316	15.5068	20.9888	28.7815	36.4929	1.6975	2.0365
FG5♂×HS2♀	-16.9069	-21.7225	-24.1782	-18.7706	27.9982	-6.0125	-1.3566	-4.1805
FG5♂×HS3♀	15.4866	8.2153	-2.8489	6.5929	-53.1228	-19.3024	-2.9149	-1.2697
FG5♂×HS4♀	1.8928	8.7300	11.4415	-3.9637	-3.8543	11.0596	2.9269	6.3405
FG5♂×HS5♀	-8.5311	-6.9009	0.0052	-4.8500	-1.4831	-22.6583	-0.4177	-3.0338

2.2 杂种优势分析结果

在大菱鲆的 25 个杂交组合中,以体重为指标的测试结果表明,FG1♀×HS1♂组合在 6 月龄、9 月龄、12 月龄和 15 月龄的杂种优势率分别为 2.7421、31.0844、37.2514 和 40.6917,分别排在第 2、第 3、

第 1 和第 1 位;以成活率为指标的测试结果表明,FG1♀×HS1♂组合在 6 月龄、9 月龄、12 月龄和 15 月龄的杂种优势率分别为 48.1551、38.0998、39.1248 和 35.8881,分别排在第 4、第 3、第 1 和第 1 位(表 4)。

表 4 大菱鲆快速生长品系(FG)和高成活率品系(HS)杂交组合不同生长发育阶段的杂种优势率(%)
Tab.4 Heterosis of cross combinations of fast-growing and high survival strain of *S. maximus* at the different growth stages

杂交组合	体重				成活率			
	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄	6 月龄	9 月龄	12 月龄	15 月龄
FG1×HS1	2.7421	31.0844	37.2514	40.6917	48.1551	38.0998	39.1248	35.8881
FG1×HS2	25.4689	24.8177	22.0535	24.5438	47.3684	25.8869	32.0636	34.8075
FG1×HS3	17.9309	17.1601	16.5285	22.5685	30.5555	33.9921	31.18661	34.1237
FG1×HS4	16.4908	22.4337	16.9503	23.9176	15.4078	33.6775	30.4589	35.2828
FG1×HS5	22.701	23.9474	23.0684	29.5069	-2.1754	34.1294	4.01226	32.9392
FG2×HS1	14.9501	13.3366	15.2446	-1.9844	-2.2410	24.9809	13.36418	13.0355
FG2×HS2	10.1697	25.5577	22.3037	-5.7764	-1.1791	12.6383	4.02883	12.9110
FG2×HS3	1.7963	21.4693	23.3615	31.0922	23.6812	11.7262	12.02881	15.5153
FG2×HS4	2.4901	32.0061	31.4024	-37.2274	-3.1956	13.7452	13.3891	13.7561
FG2×HS5	-10.2002	-11.1540	-10.6807	-27.1479	-3.1778	0.4860	22.40445	-2.7297
FG3×HS1	-21.1738	-12.0737	-12.4641	-33.7446	-3.6033	12.6962	-1.26619	-2.4647
FG3×HS2	-20.9039	-19.1609	-17.1877	-31.9126	-1.9253	-6.1373	30.01428	-3.1686
FG3×HS3	-16.0542	-21.987	-17.6796	-23.5887	50.9475	-5.5162	5.64369	-3.1881
FG3×HS4	-16.6724	-17.7648	-20.2606	29.6841	39.0623	39.8563	6.07451	12.8835
FG3×HS5	2.0759	28.7596	26.2079	20.8006	35.2051	-2.2804	12.83326	31.7945
FG4×HS1	-1.6588	-21.4329	-2.6790	30.7424	-42.4184	-4.0945	22.40041	33.6665
FG4×HS2	-20.0645	-20.2708	-22.1318	27.0731	-1.6428	-2.1840	25.20925	30.8345
FG4×HS3	-29.1842	-26.6425	-16.5221	-35.2325	-6.5030	37.0056	26.25323	33.1156
FG4×HS4	25.5996	32.1534	3.8106	-28.9452	-1.9754	41.4012	8.93398	31.9503
FG4×HS5	29.4769	-28.7728	-37.9604	-28.5256	-1.2605	32.5070	7.43195	32.5267
FG5×HS1	-12.2288	-23.2174	-22.4537	2.2156	-3.9210	-4.0912	-3.4360	32.5139
FG5×HS2	-16.2609	-28.3204	-30.4660	-25.3207	35.5877	-3.4313	-2.69012	34.9276
FG5×HS3	-18.7609	-24.5608	-21.3425	-33.8612	51.4563	-2.1881	-3.03627	32.2909
FG5×HS4	-24.0871	26.3003	-39.0472	-34.4817	36.6391	-2.1223	-2.73822	35.2388
FG5×H5	-25.8088	24.7881	-35.9624	29.4745	52.3184	-2.5629	-3.27133	30.4364

2.3 与普通商品苗种的对比测试结果

综合分析 50 个杂交组合在 6 月龄、9 月龄、12 月龄和 15 月龄的特殊配合力以及亲本的一般配合力发现,FG1♀×HS1♂组合为最佳杂交组合。在 6 月龄、9 月龄、12 月龄和 15 月龄,FG1♀×HS1♂组合的体重分别为 49.4010g、162.8510g、311.0716g 和 619.8467g,比相应发育阶段的普通商品苗种提高了 31.36%、44.46%、50.55%和 69.06%;在 3—6、6—9、9—12 和 12—15 月龄,FG1♀×HS1♂组合的成活率分别为 96.4%、98.9%、99.2%和 99.0%,比相应发育阶段的

普通商品苗种分别提高了 37.62%、27.55%、11.45% 和 6.35% (表 5, 图 1), 显示出良好的生长性能。

3 讨论

杂交育种是生物遗传育种领域培育新品种的重要手段,是指不同种群、不同基因型个体间进行杂交,并在其杂种后代中通过选择而培育成纯合品种的方法。配合力是在杂交育种中评估杂交效果和筛选优良杂交组合,选育新品种的重要遗传学参数(Sprague *et al*, 1942)。配合力分为一般配合力(general combining

表 5 大菱鲂 FG1♀×HS1♂杂交组合与普通商品苗种不同生长发育阶段对比测试结果

Tab.5 Body weight and survival rate comparison between combination FG1♀×HS1♂ and non-breeding strain at the different growth stages

月龄	体重(g)			月龄	成活率(%)		
	FG1♀×HS1♂	普通商品苗种	提高的百分率		FG1♀×HS1♂	普通商品苗种	提高的百分率
6	49.4010	37.6073	31.36%	3—6	96.4	70.05	37.62%
9	162.8510	112.7309	44.46%	6—9	98.9	77.54	27.55%
12	311.0716	206.6234	50.55%	9—12	99.2	89.01	11.45%
15	619.8467	366.643	69.06%	12—15	99.0	93.09	6.35%

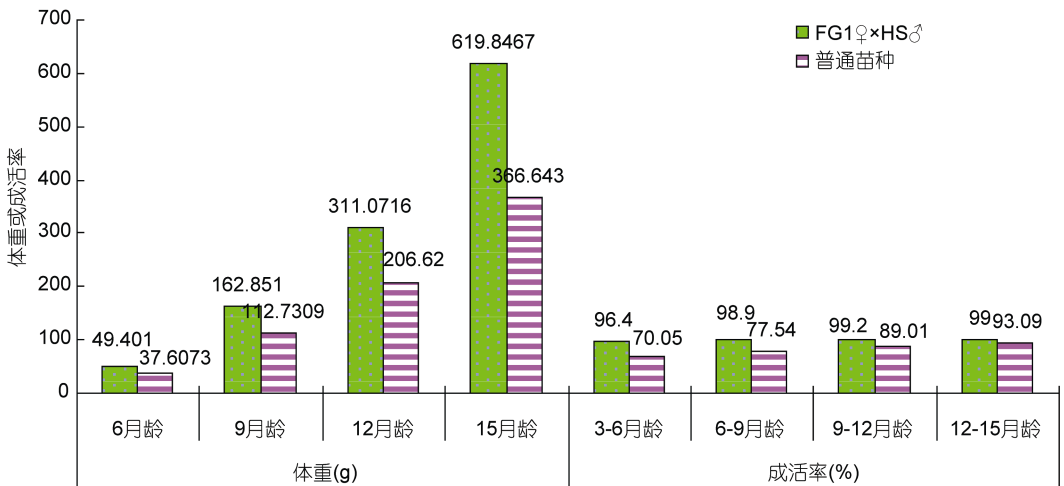


图 1 大菱鲂 FG1♀×HS1♂杂交组合与普通养殖苗种生长对比试验

Fig.1 Body weight and survival rate comparative test between combination FG1♀×HS1♂ and non-breeding strain at the different growth stages

ability, GCA)和特殊配合力(specific combining ability, SCA) (Griffing, 1956)。GCA 是指一个种群和其它各种种群杂交能获得的平均效果,其遗传基础是基因的加性效应,可以稳定遗传,反映的是杂交亲本群平均育种值高低,主要依靠纯繁选育提高;对遗传力高的性状提高比较容易(Griffing, 1956)。SCA 是指两个特定种群间杂交所能获得超过一般配合力的杂种优势,其遗传基础是等位基因的显性效应、上位效应及不同基因间的相互作用等非加性基因效应,是产生杂种优势的主要因素,反映的是杂种群平均基因型值与亲本平均育种值之差,其提高主要依靠杂交组合的选择(Griffing, 1956)。遗传力高的性状,各组合的特殊配合力不会有很大差异;遗传力低的性状,特殊配合力可有很大差异,因而有很大的选择余地。

在水产动物遗传育种中,对野生牡蛎不同地理群体生长和存活性状的配合力研究发现,牡蛎在幼虫、稚贝期的生长和存活率主要受母体效应的影响(Mallet *et al*, 1984);对皱纹盘鲍不同群体的生长性状配合力和杂交优势分析发现,生长性状的表现受加

性效应和非加性效应共同影响(Deng *et al*, 2010);王炳谦等(2009)利用微星标记对 5 不同虹鳟品系进行了遗传距离分析,并与配合力分析相结合,预测各品系间的杂交优势;王浩等(2013)对凡纳滨对虾不同引进群体体重量和存活率性状的一般配合力和特殊配合力进行分析,确定了生产优良子代的优先搭配组合。毕详等(2012)以瓯江彩鲤 5 个配套选育系进行双列杂交产生的 F1 的数据为分析对象,利用统计学和数量遗传学方法对雄鱼性腺指数、雌鱼性腺指数、绝对繁殖力、相对繁殖力、受精率和孵化率进行了配合力测定和杂交优势分析。为瓯江彩鲤配套系育种提供了参考数据。王卫军等(2015)利用 3 个长牡蛎选育群体构建自交及正、反交群体,通过分析一般配合力、特殊配合力和杂种优势效应值,认为利用群体选育建立配套系,对不同选育群体进行杂交育种是培育长牡蛎优良新品系的有效方法。

配套系育种是应用具有某种(些)经济性状的“专门化”品系进行杂交,生产具有显著“杂交优势”的配套组合的一种育种方式。配套系育种在农作物、家禽

和家畜育种中应用普遍,并取得了令人瞩目的成绩(李冬,2001;张沅,2001;王爱国,2005;陈斌,2007;徐桂英等,2011;魏清宇等,2011;陈鲁妙等,2016)。在水产动物遗传育种领域,配套系育种也有报道,如顾志峰等(2009)开展了马氏珠母贝的配套系育种;毕详等(2012)开展了瓯江彩鲤的配套系育种;林勇等(2011)和张永德等(2012)开展了罗非鱼的配套系育种;吴廉等(2015)开展了中华绒螯蟹配套系育种;王卫军等(2015)开展了长牡蛎的配套系育种;唐首杰等(2016)开展了团头鲂的配套系育种研究。本研究采用选择育种(一代群体选育和两代大规模家系选育)培育出选育配套系,即,快速生长品系和高成活率品系,以此为基础开展了系间杂交制种研究,综合分析 50 个杂交组合在不同月龄的特殊配合力以及相应亲本的一般配合力,发现 $FG1♀ \times HS1♂$ 组合为最佳杂交组合。在 4 个不同月龄, $FG1♀ \times HS1♂$ 组合的体重分别为 49.4010g、162.8510g、311.0716g 和 619.8467g,比相应发育阶段的普通商品苗种依次提高了 31.36%、44.46%、50.55%和 69.06%;在 3—6、6—9、9—12 和 12—15 月龄, $FG1♀ \times HS1♂$ 组合的成活率分别为 96.4%、98.9%、99.2%和 99.0%,比相应发育阶段的普通商品苗种分别提高了 37.62%、27.55%、11.45%和 6.35%,显示出良好的生长性能。最优系间杂交组合 $FG1♀ \times HS1♂$ 的确定,为选育出优质、高产的大菱鲃新品种提供了基础资料。

4 结论

本研究采用一代群体选育和两代大规模家系选育方法,培育出选育配套系快速生长品系和高成活率品系,以此为基础开展了系间杂交制种研究,综合分析 50 个杂交组合在不同月龄的特殊配合力以及相应亲本的一般配合力,发现 $FG1♀ \times HS1♂$ 组合为最佳杂交组合。最佳系间杂交组合 $FG1♀ \times HS1♂$ 的确定,为选育出优质、高产的大菱鲃新品种提供了基础资料。

参 考 文 献

- 王 浩,罗 坤,栾 生等,2013. 凡纳滨对虾多个引进群体的杂交配合力分析. 水产学报, 37(4): 489—495
- 王卫军,李 琪,杨建敏等,2015. 长牡蛎(*Crassostrea gigas*)三个选育群体完全双列杂交后代生长性状分析. 海洋与湖沼, 46(3): 628—635
- 王炳谦,谷 伟,高会江等,2009. 利用配合力和微卫星标记预测虹鳟品系间的杂交优势. 中国水产科学, 16(2): 206—213
- 王爱国,2005. 猪配套系育种目标与技术体系. 动物科学与动物医学, 22(3): 26—29
- 毕 详,项松平,王 剑等,2012. 瓯江彩鲤配套选育系繁殖性状的配合力测定与杂交优势分析. 中国水产科学, 19(5): 775—783
- 李 冬,2001. 国内主要的鹌鹑品种、品系及配套系. 河南畜牧兽医, 22(10): 41
- 吴 廉,慈元吉,黄 姝等,2015. 中华绒螯蟹配套系育种群体与野生群体的遗传比较与选择压力分析. 中国水产科学, 22(2): 204—213
- 张 沅,2001. 家畜育种学. 北京: 中国农业出版社, 230—254
- 张永德,林 勇,唐章生等,2012. 尼罗罗非鱼杂交配套系耐寒和生长性能的选育. 广西师范大学学报: 自然科学版, 30(4): 92—97
- 陈 斌,2007. 动物遗传育种. 重庆: 重庆大学出版社, 202—223
- 陈鲁妙,寿建尧,2016. “甬优 538”特征特性与机插栽培配套技术体系研究. 上海农业科技, (5): 48—49
- 林 勇,卢其西,杨慧赞等,2011. 八种品系罗非鱼及其尼罗罗非鱼耐寒性能的比较试验. 华北农学报, 26(S1): 278—282
- 顾志峰,王 嫣,石耀华等,2009. 马氏珠母贝两个不同地理种群的形态性状和贝壳珍珠质颜色比较分析. 渔业科学进展, 30(1): 79—86
- 徐桂英,王桂娟,刘玉华,2011. 康大肉兔配套系育种项目研发报告. 山东畜牧兽医, 32(11): 10—11
- 唐首杰,毕 详,张飞明等,2016. 团头鲂 9 个配套组合在 2 龄至 3 龄阶段的生长性能比较. 水产科技情报, 43(6): 313—317
- 雷霖霖,马爱军,陈 超等,2005. 大菱鲃(*Scophthalmus maximus* L.)养殖现状与可持续发展. 中国工程科学, 7(5): 30—34
- 雷霖霖,刘新富,1995. 大菱鲃 *Scophthalmus maximus* L. 引进养殖的初步研究. 现代渔业信息, 10(11): 1—3
- 魏清宇,李培峰,崔少华等,2011. 右玉边鸡配套系产蛋性能及蛋品质比较研究. 山西农业科学, 39(7): 723—725
- Deng Y W, Liu X, Zhang G F *et al*, 2010. Heterosis and combining ability: a diallel cross of three geographically isolated populations of Pacific abalone *Haliotis discus hannai* Ino. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 28(6): 1195—1199
- Griffing B, 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian Journal of Biological Sciences, 9(4): 463—493
- Howell B R, 1998. Development of turbot farming in Europe. Bulletin Aquaculture Association of Canada, 98(1): 4—10
- Liang X M, Ma A J, Wang X A *et al*, 2012. Morphological comparison between a selected fast-growing strain and the common cultured strain of turbot *Scophthalmus maximus*. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 30(4): 563—568
- Ma A J, Chen C, Lei J L *et al*, 2006. Turbot *Scophthalmus maximus*: stocking density on growth, pigmentation and feed conversion. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 24(3): 307—312
- Mallet A L, Haley L E, 1984. General and specific combining

- abilities of larval and juvenile growth and viability estimated from natural oyster populations. *Marine Biology*, 81(1): 53—59
- Ruan X H, Wang W J, Kong J *et al*, 2010. Genetic linkage mapping of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) using microsatellite markers and its application in QTL analysis. *Aquaculture*, 308(3—4): 89—100
- Ruan X H, Wang W J, Kong J *et al*, 2011. Isolation and analysis of microsatellites in the genome of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *African Journal of Biotechnology*, 10(4): 507—518
- Sprague G F, Tatum L A, 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Agronomy Journal*, 34(4): 923—932
- Wang X A, Ma A J, 2016. Comparison of four nonlinear growth models for effective exploration of growth characteristics of turbot *Scophthalmus maximus* fish strain. *African Journal of Biotechnology*, 15(40): 2251—2258
- Wang X A, Ma A J, Huang Z H *et al*, 2010. Heritability and genetic correlation of survival in turbot (*Scophthalmus maximus*). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 28(6): 1200—1205
- Wang X A, Ma A J, Ma D Y, 2015. Developmental quantitative genetic analysis of body weights and morphological traits in the turbot, *Scophthalmus maximus*. *Acta Oceanologica Sinica*, 34(2): 55—62

COMBINING ABILITY OF SELECTED FAST-GROWING AND HIGH SURVIVAL STRAIN OF TURBOT *SCOPHTHALMUS MAXIMUS*

MA Ai-Jun^{1,2}, WANG Xin-An^{1,2}, HUANG Zhi-Hui^{1,2}, SUN Zhi-Bin^{1,2}, LIU Zhi-Feng^{1,2},
CUI Wen-Xiao^{1,2}, QU Jiang-Bo³

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture; Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China; 3. Yantai Tianyuan Aquatic Limited Corporation, Yantai 264003, China)

Abstract We performed incomplete diallel crosses from 2 complete set selection lines of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) by artificial insemination. We then evaluate the general combining ability, the specific combining ability and heterosis of body weight and survival in the F₁ using biostatistics and quantitative genetics methods. The results showed that the heterosis of FG1♀×HS1♂ was the best in all 50 cross combinations through comprehensive analysis about the general combining ability, the specific combining ability and heterosis of the two traits at different growth stages. The body weights of FG1♀×HS1♂ cross combination at 6, 9, 12 and 15 months of age were respectively 49.4010g, 162.8510g, 311.0716g and 619.8467g, and 31.36%, 44.46%, 50.55% and 69.06% higher respectively than the common commercial fry in each growth stage. The survival rates of FG1♀×HS1♂ combination during months 3—6, 6—9, 9—12 and 12—15 are respectively 96.4%, 98.9%, 99.2% and 99.0%, and 37.62%, 27.55%, 11.45% and 6.35% higher respectively than the common commercial fry in each period. The FG1♀×HS1♂ combination Showed good growth performance on the basis of the above results. The determine of the best FG1♀×HS1♂ combination provide a theoretical basis for breeding a new high-yield, good-quality and disease-resistance turbot.

Key words *Scophthalmus maximus* L.; fast-growing strain; high survival strain; combining ability