

文章编号: 1000-0615(2017)12-1817-12

DOI: 10.11964/jfc.20161210630

鞍带石斑鱼冷冻精子与云纹石斑鱼 杂交家系建立及遗传效应

田永胜^{1,2*}, 陈张帆^{1,2}, 段会敏^{1,3}, 马文辉⁴, 唐江^{1,3},
李文升⁴, 刘江春⁴, 侯云霞⁴, 孙振翔⁴, 庞尊方⁴,
王晓梅⁴, 翟介明⁴, 李波⁴

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, 山东 青岛 266071;
2. 青岛海洋科学与技术国家实验室,
海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266200;
3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;
4. 莱州明波水产有限公司, 山东 莱州 261400)

摘要: 利用4尾鞍带石斑鱼冷冻精子与27尾云纹石斑鱼雌鱼授精建立父系半同胞家系28个, 在家系鱼苗生长到130 d时, 从所有家系中共选取1294尾鱼苗, 对其全长、体长、头长、体高和体质量5个生长性状进行测量。利用单因素方差分析法比较4组父系半同胞家系的生长性能, 利用线形混合模型(line mixed mode)对母本和父本遗传效应进行预测, 利用最小范数二次无偏估计法(MINQUE)对5个生长性状方差组分进行估计, 利用“加性-显性”模型对生长性状遗传相关、遗传力进行估计, 采用调整无偏预测法(adjusted unbiased prediction, AUP)预测父母本的加性及显性随机遗传效应。结果显示, 5个生长性状之间的加性、显性、基因型和表现型遗传相关基本达到了显著或极显著水平; 5个性状的狭义遗传力为(0.521±0.020)~(0.805±0.018), 广义遗传力为(0.521±0.017)~(0.832±0.011)。27个雌性亲本中有7个(5766、6436、5779、5798、5782、6440、5790)在5个生长性状上达到了极显著的正向加性效应, 4个雄性亲本中有1个(8920)达到了极显著的正向加性效应, 其后代生长指标显著高于其他雄性的后代。28个杂交组合中有7个(5766*5777、6436*8932、5779*8932、5798*8932、5782*8932、6440*8920、5790*8920)在头长、体高和体质量3个性状上达到了显著或极显著的正向显性效应。本研究首次开展了鞍带石斑鱼冷冻精子与云纹石斑鱼远缘杂交及遗传效应预测研究, 为石斑鱼远缘杂交育种技术和新品种培育提供了丰富的科学依据。

关键词: 鞍带石斑鱼; 云纹石斑鱼; 冷冻精子; 远缘杂交; 遗传力; 遗传效应

中图分类号: Q 348; S 965

文献标志码: A

石斑鱼是分布在热带和亚热带海域的大型鱼类, 少数分布在温带, 国内外有记录的种类约100种, 在我国有36种, 主要分布在东海和南海^[1]。石斑鱼也是我国重要的海水养殖经济鱼

类和优良种质资源, 2015年石斑鱼捕捞量达117 593 t、养殖量达100 006 t^[2]。近年来随着海水养殖业的迅速发展, 这一名贵鱼类在我国南北方开始大量养殖, 苗种需求量上亿尾。目前石

收稿日期: 2016-12-04 修回日期: 2017-03-19

资助项目: 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划(2015ASKJ02); 烟台市科技计划(2016JH021); 烟台市高端人才引进“双百计划”

通信作者: 田永胜, E-mail: tianys@ysfri.ac.cn

斑鱼养殖品种主要有云纹石斑鱼(*Epinehelus moara*)、棕点石斑鱼(*E. fuscoguttatus*)、褐石斑鱼(*E. bruneus*)、斜带石斑鱼(*E. coioides*)、鞍带石斑鱼(*E. lanceolatus*)及杂交品种等10多个种,石斑鱼养殖品种虽然较多,但是在石斑鱼人工繁殖和养殖中存在着苗种成活率低、畸形率高、疾病频发等现象^[3],云纹石斑鱼苗成活率仅20%~30%,畸形率高达70%以上,其他石斑鱼种也存在着类似的现象,严重影响着石斑鱼产业的可持续发展,因此培育生长快、畸形率低和抗病力强的石斑鱼养殖新品种是产业中迫切需要解决的问题。

石斑鱼的育种研究进展相对较慢,目前在国际上还没有石斑鱼育种研究的系统报道。近年来,国内外一些石斑鱼养殖者对石斑鱼的杂交进行了尝试,包括对地中海石斑鱼(*E. costae*)×东大西洋石斑鱼(*E. marginatus*)^[4]、斜带石斑鱼♀×赤点石斑鱼(*E. akaara*)♂^[5]、斜带石斑鱼♀×鞍带石斑鱼♂^[6]、云纹石斑鱼♀×七带石斑鱼(*E. septemfasciatus*)♂^[7]、棕点石斑鱼♀×鞍带石斑鱼♂^[8]等杂交后代的胚胎发育、幼鱼变态和生长等方面进行了研究。大部分杂交后代由于成活率低、畸形率高未能形成生产优势,仅棕点石斑鱼♀×鞍带石斑鱼♂杂交后代“珍珠龙胆”成活率较高,在生产中得到推广养殖,但是大部分石斑鱼杂交后代中畸形率高、苗种成活率低的问题仍难解决。

云纹石斑鱼主要分布在温带海域,适温范围较广,为5~32℃,生长速率较快,8月龄可达300~400 g,肉质极鲜美,是石斑鱼中的珍品;但苗种畸形率高、成活率低、病害多,神经坏死病毒和虹彩病毒常导致其苗种全部死亡^[9]。鞍带石斑鱼主要分布在热带海域,适温范围为22~30℃,生长速率快、抗病力强,1龄鱼可生长到1.5~3.0 kg,2龄生长到5~6 kg^[10],最大可以成长至约2.7 m、440 kg,是石斑鱼类中体型最大者,故也被称为“斑王”。两种鱼在分布生态环境、繁殖习性等方面具有较大差异,存在着明显的生殖隔离,在自然环境中无法杂交产生后代。选择利用云纹石斑鱼适温范围广、肉质鲜美和鞍带石斑鱼生长快、抗病力强的优良性状进行杂交育种研究,针对性地培育生长快、抗病力强、成活率高、适温范围广的优良品种,可以解决石斑鱼苗种培育中抗病力低、成活率

低、畸形率高的问题,对于提高石斑鱼养殖品种质量,拓展我国南北方石斑鱼养殖产业空间具有重要的作用。

本研究首次利用鞍带石斑鱼精子冷冻库进行繁育群体筛选、家系建立和培育,并利用生长性状遗传参数评估等技术和方法,开展了云纹石斑鱼和鞍带石斑鱼杂交育种技术研究,突破了两种鱼在地理分布、繁殖温度和时间等方面的生殖隔离,筛选到优良的亲本和杂交组合,为石斑鱼杂交新品种的培育奠定了基础,为石斑鱼远缘杂交育种提供了丰富的理论和技术依据。

1 材料与amp;方法

1.1 亲鱼收集和培育

2010年,经筛选,在山东莱州明波水产有限公司获得体形正常、无疾病、无畸形的云纹石斑鱼个体1000尾(选择强度5%)进行培育,至2014年达到性成熟,目前体质量为3.0~3.5 kg。2010—2016年逐年从福建东山收集野生的云纹石斑鱼700尾,体质量为8.0~10.0 kg。云纹石斑鱼亲鱼在工厂化流水培育池中培育,冬季水温15~16℃、夏季水温25~26℃、盐度28~31、溶解氧(DO)≥10 mg/L、光照强度≤5000 lx,光照节律与自然光相同,昼夜水循环10~15次。定时、定量投喂野杂鱼,投喂量为鱼体质量的1%~3%。2011—2015年从海南三亚逐年收集人工养殖的鞍带石斑鱼74尾,体质量为50.0~90.0 kg、夏季培育水温28~30℃、冬季培育水温23~24℃,其他条件与云纹石斑鱼相同。

1.2 鞍带石斑鱼精子冷冻库构建

2010—2016年,在海南三亚陵水石斑鱼养殖场和山东莱州明波水产有限公司进行鞍带石斑鱼的精子冷冻保存和精子冷冻库的构建。采用精子稀释液ELS3(Glucose 10 g/L、NaCl 10 g/L、NaHCO₃ 0.5 g/L、FBS 10%、DMSO 20%)冷冻保存精子,同时对每尾亲鱼进行标记^[11]。共冷冻保存精子1380多份,建立了不同养殖群体和个体的鞍带石斑鱼精子冷冻库,为家系建立提供了丰富的精子来源。

1.3 家系的建立和培育

2016年3—5月选择发育良好的云纹石斑鱼

亲鱼, 在雌鱼胸鳍基部注射绒毛膜促性腺激素(HCG)200~300 IU/kg、促排卵激素类似物(LHRH-A) 35 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 进行人工催产, 48 h后利用人工挤压腹部法采集成熟卵子; 同时对采卵亲鱼进行电子标记并记录。将冷冻保存的鞍带石斑鱼精液从液氮中取出, 在37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中解冻, 在显微镜下检查精子活力, 选择活力达到70%以上的冷冻精子与云纹石斑鱼卵授精。授精方法为1雄对多雌, 精卵授精比例为1:500(V/V); 同时记录父母本电子标记号(ID), 建立家系系谱。本实验利用27尾雌鱼和4尾雄鱼的冷冻精子授精共建立半同胞家系28个。

将每个家系的受精卵分别放入500 L网箱中, 海水温度保持在24 $^{\circ}\text{C}$ 、盐度30、溶解氧6~10 mg/L, 水流0.2 m^3/h 进行孵化。在受精后28 h, 当胚胎发育到尾芽期, 晶体形成后, 收集上浮卵分别放入鱼苗培育池中孵化和培育。鱼苗培育水温26~27 $^{\circ}\text{C}$, 培育方法参照云纹石斑鱼人工繁育及工厂化养殖技术等^[9, 12]。鱼苗生长到5 cm后, 从每个家系任意选取500尾鱼苗放入3 m^3 的玻璃纤维缸中分别培育。

1.4 家系标记和测量

家系鱼苗生长到130日龄, 体长达11~15 cm时, 利用不同荧光颜料标记, 标记颜色选择红、黄、橙3种, 标记位置选择胸鳍基部、臀鳍基部两侧, 共4个位置, 标记方法的设计采用A(3, 2) \times A(4, 2)排列组合法。标记后家系鱼苗混合养殖在30 m^3 工厂化养殖池中。同时测量家系的生长性状: 全长、体长、头长、体高和体质量, 本实验共测定了1294尾鱼的生长性状。

1.5 生长性状比较及遗传参数估计

鞍带石斑鱼父系半同胞家系生长性状比较, 生长数据利用SPSS软件中单因素方差分析法(One-Way ANOVA)处理, 采用Student-Newman-Keuls进行多重比较和差异显著性分析^[13], 表型性状值为平均值 \pm 标准差, $P<0.05$ 表示具有显著性差异, $P<0.01$ 表示具有极显著性差异。

建立家系生长性状数据库, 利用QGASta1软件对生长性状数据进行运算处理^[14]。采用线形混合模型(line mixed mode)对云纹石斑鱼母本和鞍带石斑鱼父本遗传效应进行预测。利用最小范数二次无偏估计法(MINQUE)对全长、体长、头

长、体高和体质量的方差组分进行估计。利用“加性—显性”模型对生长性状遗传相关、遗传力进行估计, 采用调整无偏预测法(adjusted unbiased prediction, AUP)预测父母本杂交的加性及显性遗传效应值。

“加性—显性”遗传模型: $y=1\mu+U_Ae_A+U_De_D+e_e$ 式中 y 为所有观察值构成的向量, 常数向量1是系数为常数1的向量, μ 是群体平均数, e_A 是加性效应向量, U_A 是加性效应向量关联矩阵; e_D 是显性效应向量, U_D 是显性效应向量关联矩阵; e_e 是随机效应向量^[14-15]。

2 结果

2.1 鞍带石斑鱼父系半同胞家系生长性状比较

利用4个鞍带石斑鱼父本(8932、5777、8920和5785)与云纹石斑鱼雌鱼杂交分别建立了13、7、4和4个半同胞家系, 对不同父本半同胞家系的生长性状进行比较分析, 父本8920产生后代的全长、体长、头长、体高和体质量5个性状显著大于其他父本后代($P<0.05$), 父本5785产生的后代在以上性状上相对较小(表1)。

2.2 杂交后代的遗传相关及遗传力分析

利用“加性—显性”线性遗传模型对云纹石斑鱼(♀) \times 鞍带石斑鱼(♂)杂交后代的全长、体长、头长、体高和体质量5个生长性状的遗传相关性、遗传方差分量、方差分量比率、遗传力进行分析, 结果显示, 除体长和头长、体长和体高的显性遗传相关未达显著性差异之外, 5个生长性状之间的加性、显性、基因型和表现型遗传相关基本达到了显著($P<0.05$)或极显著差异($P<0.01$)(表2)。

5个生长性状的加性、显性、随机误差方差分量都达到了极显著性差异($P<0.01$)。除全长和体长的显性方差比率未达到显著性差异, 其他性状的加性、显性和随机误差方差比率都达到了显著($P<0.05$)或极显著差异($P<0.01$)。5个性状的狭义遗传力为(0.521 \pm 0.020)~(0.805 \pm 0.018)、广义遗传力为(0.521 \pm 0.017)~(0.832 \pm 0.011), 体长遗传力相对较低, 体质量遗传力相对较高, 但都达到了极显著水平($P<0.01$)(表3)。

表1 鞍带石斑鱼父系半同胞家系生长性状比较

Tab. 1 Growth traits comparison of paternal half - sib families of *E. lanceolatus*

性状 growth traits	父本代码 male ID	数量/尾 number	平均值±标准差 mean±SD	最小值 minimum	最大值 maximum
全长/cm FL	8932	483	13.47±1.81 ^c	7.80	18.00
	5777	315	14.46±1.08 ^b	12.00	17.70
	8920	273	15.21±0.69 ^a	13.20	16.80
	5785	179	11.48±1.13 ^d	8.50	14.00
体长/cm BL	8932	483	11.17±1.42 ^c	6.40	14.00
	5777	315	11.71±0.91 ^b	9.70	14.60
	8920	273	12.48±0.86 ^a	3.00	14.50
	5785	179	9.43±1.16 ^d	3.50	11.50
头长/cm HL	8932	483	3.85±0.76 ^b	2.00	5.70
	5777	315	4.48±0.29 ^a	3.60	5.50
	8920	273	4.56±0.27 ^a	3.20	5.10
	5785	179	3.46±0.30 ^c	2.20	4.20
体高/cm BH	8932	483	3.58±0.55 ^c	1.80	5.00
	5777	315	4.00±0.29 ^b	3.30	5.00
	8920	273	4.29±0.24 ^a	3.50	5.50
	5785	179	3.34±0.27 ^d	2.30	3.90
体质量/g BW	8932	483	44.97±14.63 ^c	4.00	81.00
	5777	315	50.81±13.41 ^b	4.00	95.00
	8920	273	63.76±9.32 ^a	6.90	85.00
	5785	179	29.67±6.69 ^d	15.00	50.00

注：不同小写字母表示性状之间具有显著性差异($P<0.05$)

Notes: different small letters indicates that the traits have significant differences ($P<0.05$)

2.3 云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交亲本的加性随机效应分析

采用云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交家系在130日龄生长性状数据,通过调整无偏预测法分析父母本的加性遗传效应,结果显示,27个雌性亲本中有7个亲本(5766、6436、5779、5798、5782、6440、5790)的加性随机效应在全长、体长、头长、体高和体质量5个性状上均达到了极显著的正向效应($P<0.01$),全长加性随机效应为(0.718±0.057)~(2.205±0.105)、体质量加性随机效应为(9.105±1.273)~(24.046±1.201)。有5个雌性亲本(6909、6870、6415、5758、6937)在5个性状上达到了极显著的负向效应($P<0.01$),全长加性随机效应为(-1.936±0.098)~(-1.392±0.333)、体质量加性随机效应为(-13.955±1.412)~

(-9.832±1.277)。父本中♂8920具有极显著的最大正向效应,而♂5785具有极显著的最大负向效应($P<0.01$)(表4)。

2.4 云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交亲本的显性随机效应分析

利用调整无偏预测法分析云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)28个杂交组合后代生长性状的显性随机效应,结果显示,所有杂交组合的体长显性效应都不显著,9个杂交组合在全长上达到显著性效应($P<0.05$),大部分杂交组合的头长、体高和体质量3个性状的显性随机效应达到了显著($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$)。因此以这3个性状为选择指标,发现5766×5777、6436×8932、5779×8932、5798×8932、5782×8932、6440×8920、

表 2 云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交家系生长性状遗传相关分析(估计值±标准误)

Tab. 2 Genetic correlation analysis of growth traits in hybrid families of *E. moara* (♀)×*E. lanceolatus* (♂)(EV±SE)

性状 growth traits		体长 BL	头长 HL	体高 BH	体质量 BW	
全长 FL	遗传相关分量 Cor	加性A	0.995±0.0324S**	0.963±0.029S**	0.964±0.029S**	0.983±0.023S**
		显性D	1±0.411S*	0.949±0.038S**	1±0.049S**	0.395±0.037S**
		机误R	0.419±0.024S**	0.726±0.025S**	0.657±0.026S**	0.729±0.026S**
	相关系数 Cor	表现型P	0.776±0.015S**	0.1896±0.017S**	0.887±0.032S**	0.925±0.019S**
		基因型G	0.999±0.032S**	0.93±0.024S**	0.952±0.034S**	0.966±0.024S**
体长 BL	遗传相关分量 Cor	加性A		0.929±0.028S**	0.942±0.029S**	0.996±0.026S**
		显性D		1±0.557S+	1±0.735NS	-0.234±0.060S**
		机误R		0.349±0.021S**	0.365±0.022S**	0.367±0.021S**
	相关系数 Cor	表现型P		0.701±0.014S**	0.721±0.026S**	0.749±0.017S**
		基因型G		0.913±0.029S**	0.949±0.031S**	0.979±0.031S**
头长 HL	遗传相关分量 Cor	加性A			0.961±0.029S**	0.961±0.028S**
		显性D			0.685±0.026S**	0.166±0.019S**
		机误R			0.628±0.028S**	0.631±0.022S**
	相关系数 Cor	表现型P			0.855±0.028S**	0.836±0.017S**
		基因型G			0.917±0.032S**	0.876±0.021S**
体高 BH	遗传相关分量 Cor	加性A				1±0.029S**
		显性D				0.656±0.031S**
		机误R				0.623±0.024S**
	相关系数 Cor	表现型P				0.892±0.025S**
		基因型G				0.966±0.028S**

注: S*. $P < 0.05$, S**. $P < 0.01$, S+. $P < 0.1$, NS. $P > 0.05$, 下同
 Notes: S*. $P < 0.05$, S**. $P < 0.01$, S+. $P < 0.1$, NS. $P > 0.05$, the same below

表 3 云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交家系生长性状双列杂交分析(估计值±标准误)

Tab. 3 Diallel analysis of trait in hybrid families of *E. moara* (♀)×*E. lanceolatus* (♂) (EV±SE)

性状分析 diallel analysis of trait		全长 FL	体长 BL	头长 HL	体高 BH	体质量 BW
方差分量 Var	加性A	3.239±0.141S**	2.075±0.129S**	0.374±0.020S**	0.204±0.016S**	250.103±9.712S**
	显性D	0.087±0.016S**	0.000±0.000S**	0.074±0.008S**	0.035±0.005S**	8.428±1.645S**
	机误P	0.720±0.116S**	1.910±1.183S+	0.082±0.004S**	0.078±0.007S**	52.072±4.155S**
	表型Pheno.	4.046±0.189S**	3.986±1.469S**	0.530±0.018S**	0.317±0.023S**	310.603±10.114S**
方差分量比率 Var/Vp	加性A	0.801±0.020S**	0.521±0.020S**	0.706±0.020S**	0.644±0.020S**	0.805±0.018S**
	显性D	0.021±0.020NS	0.000±0.022NS	0.140±0.019S**	0.112±0.019S**	0.027±0.013S*
	机误P	0.178±0.009S**	0.479±0.015S**	0.155±0.007S**	0.245±0.010S**	0.168±0.011S**
遗传率 heritability	狭义遗传率(N)	0.801±0.020S**	0.521±0.020S**	0.706±0.020S**	0.644±0.020S**	0.805±0.018S**
	广义遗传率(B)	0.822±0.009S**	0.521±0.017S**	0.845±0.007S**	0.755±0.010S**	0.832±0.011S**

表 4 云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交亲本的加性随机效应(估计值±标准误)

Tab. 4 Additive random effects of hybrid parent *E. moara* (♀)×*E. lanceolatus* (♂) (EV±SE)

亲本 parental	全长 FL	体长 BL	头长 HL	体高 BH	体质量 BW
♀5766	1.669±0.111S**	1.433±0.098S**	0.250±0.037S**	0.421±0.039S**	24.046±1.201S**
♀6436	2.068±0.099S**	1.695±0.087S**	0.670±0.029S**	0.579±0.043S**	19.098±0.966S**
♀5779	2.172±0.101S**	1.488±0.089S**	0.986±0.043S**	0.439±0.035S**	15.241±0.891S**
♀5798	2.205±0.105S**	1.602±0.081S**	0.993±0.044S**	0.382±0.029S**	14.529±1.331S**
♀5782	1.536±0.143S**	1.068±0.113S**	0.221±0.050S**	0.484±0.054S**	14.233±1.329S**
♀6440	0.829±0.045S**	0.929±0.285S**	0.136±0.016S**	0.218±0.016S**	10.721±0.516S**
♀5790	0.718±0.057S**	0.529±0.073S**	0.186±0.021S**	0.233±0.018S**	9.105±1.273S**
♀5800	0.258±0.117S*	0.169±0.099S+	0.047±0.034NS	0.054±0.028S+	3.182±0.982S**
♀5758	0.283±0.062S**	0.225±0.078S**	0.259±0.026S**	0.220±0.025S**	3.007±0.741S**
♀6916	0.477±0.100S**	0.355±0.097S**	-0.247±0.035S**	-0.052±0.037NS	1.155±0.760NS
♀5785	0.277±0.089S**	0.609±0.091S**	0.058±0.039NS	0.118±0.037S**	0.338±0.753NS
♀5761	-0.499±0.103S**	-0.544±0.090S**	-0.381±0.036S**	-0.133±0.031S**	-0.913±0.885NS
♀5791	-0.249±0.102S*	-0.195±0.077S*	0.006±0.045NS	-0.014±0.021NS	-1.478±0.837S+
♀5755	0.167±0.108NS	0.059±0.077NS	0.060±0.027S*	-0.027±0.020NS	-1.973±0.774S*
♀6434	-0.067±0.075NS	-0.146±0.084S+	-0.005±0.025NS	-0.121±0.022S**	-4.352±0.725S**
♀6897	-0.686±0.064S**	-0.601±0.126S**	-0.074±0.022S**	-0.105±0.053S*	-4.846±0.503S**
♀6860	-0.527±0.074S**	-0.224±0.086S*	0.000±0.003NS	-0.039±0.023S+	-5.609±0.485S**
♀6448	-0.713±0.160S**	-0.742±0.137S**	-0.363±0.062S**	-0.234±0.061S**	-5.645±1.616S**
♀6923	-0.845±0.104S**	-0.424±0.096S**	-0.265±0.039S**	-0.184±0.038S**	-6.543±0.879S**
♀6904	-0.582±0.136S**	-0.346±0.082S**	-0.285±0.034S**	-0.002±0.367NS	-7.082±0.805S**
♀5764	-0.416±0.110S**	-0.398±0.094S**	-0.062±0.031S*	-0.230±0.026S**	-7.420±0.873S**
♀5775	-0.237±0.080S**	-0.318±0.069S**	0.054±0.028S+	-0.070±0.017S**	-7.941±1.396S**
♀6909	-1.392±0.333S**	-0.687±0.165S**	-0.334±0.063S**	-0.316±0.064S**	-9.832±1.277S**
♀6870	-1.936±0.098S**	-1.737±0.124S**	-0.388±0.028S**	-0.321±0.036S**	-11.981±0.736S**
♀6415	-1.429±0.231S**	-0.988±0.213S**	-0.423±0.071S**	-0.502±0.089S**	-12.039±1.599S**
♀5758	-1.527±0.128S**	-1.301±0.114S**	-0.538±0.040S**	-0.381±0.040S**	-13.045±0.977S**
♀6937	-1.554±0.209S**	-1.510±0.187S**	-0.561±0.071S**	-0.415±0.087S**	-13.955±1.412S**
♂8920	1.763±0.078S**	1.537±0.120S**	0.577±0.028S**	0.550±0.038S**	18.481±0.849S**
♂5777	1.435±0.054S**	0.960±0.055S**	0.603±0.027S**	0.352±0.024S**	7.400±0.511S**
♂8932	-0.527±0.061S**	-0.289±0.061S**	-0.470±0.027S**	-0.385±0.029S**	-4.600±0.474S**
♂5785	-2.671±0.106S**	-2.208±0.108S**	-0.709±0.033S**	-0.517±0.040S**	-21.281±0.786S**

5790×8920 7个杂交组合在头长、体高和体质量3个性状上均达到了显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)的正向随机效应。6909×8932、6870×5785、5758×8932、6415×8932、6937×8932 5个杂交组合在3个性状上达到了显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)的负向随机效应(表5)。

3 讨论

杂交育种在鱼类品种改良和新品种培育中具有重要的作用,通过杂交可以创造新的基因组合和重要的遗传进展,可以使不同品种或品系的优良性状发生遗传组合,达到改良鱼类性

表 5 云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交亲本的显性随机效应预测(预测值±标准误)

Tab. 5 Dominant random effects of hybrid parent *E. moara* (♀)×*E. lanceolatus* (♂) (EV±SE)

杂交组合(♀*♂)	hybridized combination	全长 FL	体长 BL	头长 HL	体高 BH	体质量 BW
5766*5777		0.421±0.209S*	0.028±0.117NS	0.165±0.024S**	0.261±0.045S**	6.787±2.734S*
6436*8932		0.521±0.269S+	0.033±0.129NS	0.443±0.052S**	0.359±0.069S**	5.390±2.213S*
5779*8932		0.548±0.287S+	0.029±0.110NS	0.651±0.085S**	0.272±0.058S**	4.302±1.806S*
5798*8932		0.556±0.288S+	0.031±0.124NS	0.656±0.078S**	0.237±0.049S**	4.101±1.784S*
5782*8932		0.387±0.197S+	0.021±0.083NS	0.146±0.036S**	0.300±0.075S**	4.017±1.697S*
6440*8920		0.209±0.103S*	0.018±0.188NS	0.090±0.015S**	0.135±0.027S**	3.026±1.204S*
5790*8920		0.181±0.087S*	0.010±0.035NS	0.123±0.020S**	0.144±0.030S**	2.570±0.933S**
5800*5777		0.065±0.033S*	0.003±0.016NS	0.031±0.021NS	0.033±0.017S+	0.898±0.395S*
6423*8920		0.071±0.037S+	0.004±0.012NS	0.171±0.023S**	0.136±0.025S**	0.849±0.393S*
6916*5785		0.120±0.068S+	0.007±0.031NS	-0.163±0.030S**	-0.032±0.027NS	0.326±0.248NS
5785*8932		0.070±0.045NS	0.012±0.042NS	0.038±0.026NS	0.073±0.026S**	0.095±0.221NS
5761*8932		-0.126±0.060S*	-0.011±0.049NS	-0.252±0.031S**	-0.083±0.020S**	-0.258±0.231NS
5758*5777		0.061±0.065NS	0.004±0.009NS	0.164±0.041S**	0.136±0.052S*	-0.287±0.216NS
5791*5777		-0.063±0.052NS	-0.004±0.011NS	0.004±0.019NS	-0.009±0.018NS	-0.417±0.367NS
5755*5777		0.042±0.030NS	0.001±0.006NS	0.039±0.019S*	-0.017±0.013NS	-0.557±0.269S*
6434*8920		-0.017±0.019NS	-0.003±0.050NS	-0.003±0.019NS	-0.075±0.020S**	-1.228±0.497S*
6897*5785		-0.173±0.087S*	-0.012±0.062NS	-0.049±0.013S**	-0.065±0.029S*	-1.368±0.546S*
6860*5785		-0.133±0.069S+	-0.004±0.017NS	0.000±0.002NS	-0.024±0.017NS	-1.583±0.650S*
6448*8932		-0.180±0.101S+	-0.014±0.058NS	-0.239±0.051S**	-0.145±0.039S**	-1.593±0.784S*
6923*8932		-0.213±0.103S*	-0.008±0.040NS	-0.175±0.029S**	-0.114±0.026S**	-1.847±0.730S*
6904*8932		-0.147±0.089NS	-0.007±0.023NS	-0.188±0.029S**	-0.001±0.018NS	-1.999±0.865S*
5764*5777		-0.105±0.055S+	-0.008±0.033NS	-0.041±0.022S+	-0.143±0.033S**	-2.094±0.860S*
5775*5777		-0.060±0.032S+	-0.006±0.027NS	0.036±0.018S+	-0.044±0.016S**	-2.241±1.078S*
6909*8932		-0.351±0.172S*	-0.013±0.056NS	-0.221±0.045S**	-0.196±0.059S**	-2.775±1.115S*
6870*5785		-0.488±0.243S*	-0.034±0.139NS	-0.256±0.032S**	-0.199±0.043S**	-3.382±1.301S*
5758*8932		-0.446±0.251S+	-0.029±0.107NS	-0.519±0.085S**	-0.372±0.108S**	-3.395±1.627S*
6415*8932		-0.360±0.191S+	-0.019±0.074NS	-0.280±0.048S**	-0.312±0.072S**	-3.398±1.331S*
6937*8932		-0.392±0.226S+	-0.029±0.109NS	-0.370±0.064S**	-0.258±0.070S**	-3.939±1.776S*

状的目的, 培育出生产需要的优良养殖品种。鱼类品种之间的杂交普遍存在于自然环境中, 如白鲟(*Scaphirhynchus albus*)和铲鳍鲟(*S. platyrhynchus*)^[16]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)和切喉鳟(*O. clarkii*)^[17]、大头鲤(*Cyprinus pellegrini*)和鲤(*C. carpio*)^[18]等分布于同一水域的近缘种之间的杂交, 这些杂交促进了有益基因之间的组

合, 使后代的生长和环境适应能力得到了提高。在鱼类养殖中为了优化养殖性状、提高抗病力和养殖产量, 科研人员有意识的进行了杂交品种的培育; 例如张建森等^[19]利用荷包红鲤和元江鲤杂交培育出了建鲤(*C. carpio* var. *jian*), 具有遗传性状稳定、生长快、体型优、适应性强、抗病力强、饲料系数低、易驯养、易起捕

等优点,在全国淡水养殖水域得到了广泛的推广。利用散鳞镜鲤(*C. carpio* var. *specularis*)、兴国红鲤(*C. carpio* var. *Xingguonensis*)和红鲫(*Carassius auratus*, red variety)三元杂交培育出的芙蓉鲤生长速率比双亲平均快17.80%,起捕率可提高10%以上^[20]。利用黑龙江方正银鲫(*C. auratus gibelio*)(母本)与江西兴国红鲤(父本)人工杂交培育出的异育银鲫的生长速率比鲫快1~2倍,比母本方正银鲫快34.7%^[21]。利用牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)不同地理群体通过家系选育和系间杂交培育出“鲆优1号”生长速率比普通牙鲈快20%,成活率提高30%^[22]。

云纹石斑鱼属于冷温性鱼类,可以适应较低的温度,生长较快,但病害多发。鞍带石斑鱼属于热带鱼类,生长快,但繁殖率低,苗种难以培育。两种鱼在自然环境中存在着明显的地理分布、繁殖温度和时间等方面的生殖隔离,不可能发生杂交现象。本研究事先建立了鞍带石斑鱼精子冷冻保存技术^[11],并且冷冻保存了不同养殖环境下的雄鱼精子,建立了鞍带石斑鱼精子冷冻库。借助冷冻精子可以突破地理、温度和时间等生殖隔离的特点,利用两种石斑鱼所表现出的不同优良性状,进行了杂交育种研究,培育出了体形正常、表型性状较一致、生长快、无畸形的杂交后代,通过16月的养殖,体质量平均达700 g,体长达35.3 cm。

通过鱼类家系建立可获得丰富的后代数量遗传性状,为亲本遗传效应评估、优良亲本和品系选育提供大量的数据,建立在数量性状基础上的遗传参数估计是指导鱼类育种的重要途径。Fisher最早提出了数量遗传性状的“加性—显性”遗传模型,为数量遗传模型的建立奠定了基础^[23]。其中动物遗传模型已经广泛地应用于银大麻哈鱼(*O. kisutch*)^[24]、虹鳟^[25]、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[26]、大菱鲈(*Scophthalmus maximus*)^[27]、牙鲈^[28]等鱼类生长性状的遗传参数估计。本研究利用GASStation1软件中动物“加性—显性”遗传模型对28个鞍带石斑鱼和云纹石斑鱼杂交家系的5个生长性状遗传力、加显性方差、加显性遗传效应和遗传相关等进行了评估和预测,为石斑鱼杂交后代遗传性状的分析提供了技术途径。

在育种实践中通过半同胞家系的生物学性状比较及遗传参数评估可以达到对亲本遗传性

状选择的目的。鞍带石斑鱼成熟雄鱼体型巨大,产精量较大,在杂交育种中可以借助雄鱼优势建立大量的父系半同胞家系,有利于父本遗传性状的选择和评估。本研究对4尾雄鱼的28个半同胞家系5个生长性状进行比较,发现父本8920产生的后代具有显著的生长优势,其加性遗传效应也极显著,在生产中可以利用其大量繁殖优良鱼苗。

由于基因连锁和基因多效性的存在,生物体各个性状间存在着不同程度的相关性,可为后代性状的选择提供不同相关参数。俄罗斯鲟(*Acipenser guldenstadti*)150和410日龄体长和体质量两性状的表型相关和遗传相关系数分别为0.85、0.91和0.57、0.62^[29]。大黄鱼(*Larimichthys crocea*)1月龄和6月龄体质量和全长两性状的表型和遗传相关分别为0.83、0.90和0.97、0.98^[30],都达到了极显著相关。鞍带石斑鱼和云纹石斑鱼杂交后代生长到130日龄时,其全长、体长、头长、体高和体质量5个性状的表型和基因型都达到了极显著相关,可见鱼类幼苗期的生长性状相关性高,可通过其中一个性状达到对另一性状的同时选择。遗传力是确定性状选育方法的主要依据之一,同时也是判断性状遗传作用和环境作用的指标。一般认为高遗传力($h^2 > 0.4$)性状适用于个体或群体选育,低遗传力($h^2 < 0.2$)性状适用于家系选育^[31]。牙鲈家系2~8月龄体质量和体长狭义遗传力分别为0.29~0.48、0.22~0.40,广义遗传力分别为0.35~0.49、0.36~0.54^[28]。大黄鱼1、6月龄全长和体质量的遗传力分别为0.67、0.31、和0.79、0.40^[30]。虹鳟1~2龄体质量和体长遗传力分别为0.45~0.20、0.60~0.27,肥满度遗传力为0.34^[32]。在15~20盐度下生长的尼罗罗非鱼的体质量遗传力为0.32~0.62^[33]。云纹石斑鱼与鞍带石斑鱼杂交后代在130日龄时全长和体质量等5个性状的狭义遗传力为0.521~0.805,广义遗传力为0.521~0.832。牙鲈和大黄鱼体质量和体长遗传力随着月龄的增大而提高,虹鳟随着年龄的增大体质量和体长遗传力变低,本研究中石斑鱼杂交后代在早期的遗传力也相对较高,与大黄鱼相似,以上资料显示鱼类在早期生长阶段的生长性状遗传力为中高度遗传力。两种石斑鱼杂交后代的生长性状遗传力相对较高,同时说明需要加大对亲本的群体选育。

基因加性效应是数量性状中多个微效基因型的累加值, 是性状表型值的主要成分, 也称为性状的育种值。加性遗传效应在基因的传递过程中相对稳定, 可通过遗传选择传给后代。显性效应是等位基因互作产生的遗传效应, 可以遗传给后代但不稳定, 是杂种优势产生的主要遗传因素^[34]。利用 A 和 $A+F$ 、 $A+CE$ 、 $A+CE+F$ 、 $A+D+F$ 和 $A+D+CE+F$ 6种遗传模型对挪威3个虹鳟群体6个世代的体质量近交效应进行评估, 发现加性遗传效应在不同模型下逐渐减小, 而显性效应变动在0~22%, 环境效应在0~6%, 说明6个近交世代虹鳟体质量性状存在显著的显性效应^[35]。Bicskei等^[36]利用转录组方法分析了大西洋鲑(*Salmo salar*)野生群体和养殖群体遗传差异, 探讨养殖群体对野生群体的遗传影响, 结果显示大部分的表达差异体现为基因的加性遗传效应(33%~42%), 由母系遗传因素引起的母本显性效应和超显性效应在杂交后代中同样普遍存在, 但缺乏可靠的遗传证据。Gallardo等^[37]利用包含非加性遗传因素的5个遗传模型对银大麻哈鱼2个年龄群体体质量遗传参数和育种值进行评估, 成熟群体的遗传力和显性效应分别为0.21~0.46和0.19~0.21, 老年群体分别为0.37~0.50和0.06~0.10, 筛选出了具有高显性效应的30尾雄性和100尾雌性亲鱼。本研究以云纹石斑鱼和鞍带石斑鱼杂交家系的5个生长性状数据为基础, 对亲本的加性和显性随机遗传效应进行评估, 通过生长性状加性效应的综合表现, 筛选出7个具有极显著正向效应和5个极显著负向效应的云纹石斑鱼亲本, 1个极显著正向效应和1个极显著负向效应的鞍带石斑鱼亲本。通过5个生长性状显性效应的综合表现, 筛选出7个具有极显著正向效应和5个极显著负向效应的杂交组合, 可直接应用于石斑鱼优良杂交品种的选育和苗种的培育。

综上所述, 鞍带石斑鱼冷冻精子技术能够突破不同地域、繁殖温度和时间造成的生殖隔离, 实现了与云纹石斑鱼的远缘杂交育种, 建立了大量杂交家系, 通过对家系全长、体长、头长、体高和体质量5个生长性状的测量和遗传效应分析, 发现5个生长性状具有极显著遗传相关性($P < 0.01$)和中高度的遗传力($Nh^2 = 0.69$, $Bh^2 = 0.76$), 通过加显性随机效应分析, 筛选了7个极显著正向效应的云纹石斑鱼雌性亲本、1个鞍带石斑鱼雄性亲本, 7个极显著正向效应的杂

交组合, 可为两种石斑鱼远缘杂交育种技术研究及新品种培育提供参考。

参考文献:

- [1] 孟庆闻, 苏锦祥, 缪学祖. 鱼类分类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 606-622.
Meng Q W, Su J X, Miao X Z. Fishes taxonomy[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995, 606-622 (in Chinese).
- [2] 农业部渔政管理局. 年中国渔业统计年鉴: 2016[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
Prepared by the Fishery Administration Bureau of the Ministry of Agriculture. 2016 yearbook of fishery statistics of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016 (in Chinese).
- [3] 陆丽君, 陈超, 马爱军, 等. 云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)早期发育阶段的摄食与生长特性[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(6): 8228-8229.
Lu L J, Chen C, Ma A J, et al. Studies on the feeding behavior and morphological developments of *Epinephelus moara* in early development stages[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(6): 8228-8229(in Chinese).
- [4] Glamuzina B, Glavić N, Skaramuca B, et al. Early development of the hybrid *Epinephelus costae* ♀×*E. marginatus* ♂[J]. Aquaculture, 2001, 198(1-2): 55-61.
- [5] 刘付永忠, 赵会宏, 刘晓春, 等. 赤点石斑鱼♂与斜带石斑鱼♀杂交的初步研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(3): 72-75.
Liufu Y Z, Zhao H H, Liu X C, et al. Preliminary study on the hybrid Red-spotted grouper (*Epinephelus akaara*)♂×Orange spotted grouper(*E. coioides*)♀[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46(3): 72-75(in Chinese).
- [6] 杨少森. 斜带石斑鱼♀与鞍带石斑鱼♂杂交及F1遗传分析[D]. 广州: 华南师范大学, 2010.
Yang S S. Crossbreeding of *Epinephelus coioides* ♀ and *E. lanceolatus* ♂ and genetic analysis of the hybrid[D]. Guangzhou: South China Normal University, 2010 (in Chinese).
- [7] 李炎璐, 陈超, 王清印, 等. 云纹石斑鱼(*E. moara*) (♀)×七带石斑鱼(*E. septemfasciatus*) (♂)杂交F1生长特征与其亲本子代的比较[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 42-49.

- Li Y L, Chen C, Wang Q Y, *et al.* Comparative analysis of growth characteristics between hybrid F1 by *Epinephelus moara* (♀) × *Epinephelus septemfasciatus* (♂) and the offspring of their parents[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(3): 42-49(in Chinese).
- [8] 陈超, 孔祥迪, 李炎璐, 等. 棕点石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交子代胚胎及仔稚幼鱼发育的跟踪观察[J]. *渔业科学进展*, 2014, 35(5): 135-144.
- Chen C, Kong X D, Li Y L, *et al.* Embryonic and morphological development in the larva, juvenile, and young stages of *Epinephelus fuscoguttatus* (♀) × *E. lanceolatus* (♂)[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(5): 135-144(in Chinese).
- [9] 宋振鑫, 陈超, 翟介明, 等. 云纹石斑鱼生物学特性及人工繁育技术研究进展[J]. *渔业信息与战略*, 2012, 27(1): 47-53.
- Song Z X, Chen C, Zhai J M, *et al.* Biological characteristics and progress of artificial breeding technique for Kelp bass, *Epinephelus moara*[J]. *Fisheries Information and Strategy*, 2012, 27(1): 47-53(in Chinese).
- [10] 杨洪志, 梁荣峰. 鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus* Bloch)繁殖生物学的初步研究[J]. *现代渔业信息*, 2002, 17(7): 20-21.
- Yang H Z, Liang R F. Primary study on reproduction biology of *Epinephelus lanceolatus* (Bloch)[J]. *Modern Fisheries Information*, 2002, 17(7): 20-21(in Chinese).
- [11] Tian Y S, Jiang J, Wang N, *et al.* Sperm of the giant grouper: cryopreservation, physiological and morphological analysis and application in hybridizations with red-spotted grouper[J]. *Journal of Reproduction and Development*, 2015, 61(4): 333-339.
- [12] 梁友, 雷霖霖, 倪琦, 等. 云纹石斑鱼工厂化循环水养殖技术[J]. *渔业现代化*, 2014, 41(4): 26-39.
- Liang Y, Lei J L, Ni Q, *et al.* The industrial farming technology of *Epinephelus moara* in recirculation aquaculture water system[J]. *Fisheries Modernization*, 2014, 41(4): 26-39(in Chinese).
- [13] 宇传华. SPSS与统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- Yu C H. SPSS and statistical analysis[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007 (in Chinese).
- [14] 朱军. 遗传模型分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 58-87.
- Zhu J. Analysis method of genetic model[M]. Beijing: Agriculture Press of China, 1997: 58-87 (in Chinese).
- [15] 张勤. 动物遗传育种中的计算方法[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- Zhang Q. The calculation method of animal genetic breeding[M]. Beijing: Science Press, 2007 (in Chinese).
- [16] Schrey A W, Boley R, Heist E J. Hybridization between pallid sturgeon *Scaphirhynchus albus* and shovelnose sturgeon *Scaphirhynchus platyrhynchus*[J]. *Journal of Fish Biology*, 2011, 79(7): 1828-1850.
- [17] Ostberg C O, Chase D M, Hauser L. Hybridization between yellowstone cutthroat trout and rainbow trout alters the expression of muscle growth-related genes and their relationships with growth patterns[J]. *PLoS One*, 2015, 10(10): e0141373.
- [18] Tang W X, Chen Y F. Hybridization between native barbless carp (*Cyprinus pellegrini*) and introduced common carp (*C. carpio*) in Xingyun lake, China[J]. *Zoolog Science*, 2012, 29(5): 311-318.
- [19] 张建森, 孙小异. 建鲤生物工程育种技术及其品种特性[J]. *现代渔业信息*, 1997, 12(3): 20-24.
- Zhang J S, Sun X Y. Bio-engineering breeding technique and the variety characteristics of Jian carp *Cyprinus carpio* var. Jian[J]. *Modern Fishery Information*, 1997, 12(3): 20-24(in Chinese).
- [20] 李传武, 王冬武, 曾国清, 等. 国家水产新品种——芙蓉鲤鲫[J]. *当代水产*, 2012(2): 61-62.
- Li C W, Wang D W, Zeng G Q, *et al.* A new national aquatic product-hibiscus carp crucian carp[J]. *Contemporary Fisheries*, 2012(2): 61-62(in Chinese).
- [21] 李艳. 异育银鲫养殖技术[J]. *现代农业科技*, 2010(4): 351.
- Li Y. Culture techniques of allogynogenetic crucian carp[J]. *Modern Agricultural Science & Technology*, 2010(4): 351(in Chinese).
- [22] 田永胜, 齐文山, 姜静, 等. “鲆优1号”牙鲆和亲本群体的表型及遗传性状变异分析[J]. *海洋学报*, 2014, 36(6): 75-86.
- Tian Y S, Qi W S, Jiang J, *et al.* Analysis of phenotype and genetic variation of on “Flounder No.1” *Paralichthys olivaceus* and their parental populations[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2014, 36(6): 75-86(in Chinese).

- [23] 翟虎渠, 王建康. 应用数量遗传[M]. 2版. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
Zhai H Q, Wang J K. Applied quantitative genetics[M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press of China, 2007 (in Chinese).
- [24] Neira R, Díaz N F, Gall G A E, *et al.* Genetic improvement in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). I: selection response and inbreeding depression on harvest weight[J]. *Aquaculture*, 2006, 257(1-4): 9-17.
- [25] Su G S, Liljedahl L E, Gall G A E. Genetic correlations between body weight at different ages and with reproductive traits in rainbow trout[J]. *Aquaculture*, 2002, 213(1-4): 85-94.
- [26] Eknath A E, Bentsen H B, Ponzoni R W, *et al.* Genetic improvement of farmed tilapias: composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding[J]. *Aquaculture*, 2007, 273(1): 1-14.
- [27] Xu L Y, Wang W J, Kong J, *et al.* Estimates of heritability and correlation for growth traits of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) under low temperature conditions[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 34(2): 63-67.
- [28] Tian Y S, Xu T J, Liang Y, *et al.* Estimates of genetic and phenotypic parameters for weight and length in *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2011, 30(6): 58-64.
- [29] 罗坤, 夏永涛, 王斌, 等. 俄罗斯鲟早期生长性状遗传参数的估计[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(3): 426-432.
Luo K, Xia Y T, Wang B, *et al.* Estimates of genetic growth trait parameters during early development of *Acipenser gueldenstaedtii*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 22(3): 426-432(in Chinese).
- [30] 韦信键, 刘贤德, 王志勇. 32个大黄鱼家系早期阶段生长性状比较及遗传参数估计[J]. *集美大学学报(自然科学版)*, 2013, 18(5): 321-328.
Wei X J, Liu X D, Wang Z Y. The Comparison of growth-related traits in the early stage and its genetic parameter estimation of 32 large Yellow Croaker families *Larimichthys crocea*[J]. *Journal of Jimei University (Natural Science)*, 2013, 18(5): 321-328(in Chinese).
- [31] 范兆廷. 水产动物育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
Fan Z T. Breeding of aquatic animals[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005 (in Chinese).
- [32] Hu G, Gu W, Bai Q L, *et al.* Estimation of genetic parameters for growth traits in a breeding program for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in China[J]. *Genetics and Molecular Research*, 2013, 12(2): 1457-1467.
- [33] Thoa N P, Ninh N H, Knibb W, *et al.* Does selection in a challenging environment produce Nile tilapia genotypes that can thrive in a range of production systems[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 21486.
- [34] 田永胜, 李祥孔, 段会敏, 等. 星斑川鲽家系建立及遗传效应分析[J]. *海洋学报*, 2016, 38(6): 21-31.
Tian Y S, Li X K, Duan H M, *et al.* The family lines establishment and genetic effects analysis of the starry flounder *Platichthys stellatus*[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 38(6): 21-31(in Chinese).
- [35] Pante M J R, Gjerde B, McMillan I, *et al.* Estimation of additive and dominance genetic variances for body weight at harvest in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. *Aquaculture*, 2002, 204(3-4): 383-392.
- [36] Bicskei B, Taggart J B, Glover K A, *et al.* Comparing the transcriptomes of embryos from domesticated and wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) stocks and examining factors that influence heritability of gene expression[J]. *Genetics Selection Evolution*, 2016, 48: 20.
- [37] Gallardo J A, Lhorente J P, Neira R. The consequences of including non-additive effects on the genetic evaluation of harvest body weight in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)[J]. *Genetics Selection Evolution*, 2010, 42: 19.

**The family line establishment of
the hybrid *Epinephelus moara* (♀) × *E. lanceolatus* (♂) by
using cryopreserved sperm and the related genetic effect analysis**

TIAN Yongsheng^{1,2*}, CHEN Zhangfan^{1,2}, DUAN Huimin^{1,3}, MA Wenhui⁴, TANG Jiang^{1,3},
LI Wensheng⁴, LIU Jiangchun⁴, HOU Yunxia⁴, SUN Zhenxiang⁴, PANG Zunfang⁴,
WANG Xiaomei⁴, ZHAI Jieming⁴, LI Bo⁴

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

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes,

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266200, China;

3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Mingbo Aquatic Co. Ltd., Laizhou 261400, China)

Abstract: Hybridization is a way to establish a new gene combination and important genetic progress, through which various desirable traits can be combined to improve varieties. In this study, eggs from 27 females of *Epinephelus moara* were fertilized with cryopreserved sperm from 4 males of *E. lanceolatus*, and 28 paternal half-sib families were constructed. At 130d post-hatch, 5 traits including full length, body length, head length, body height and body weight, were measured in 1294 fries from all the families and analyzed by using One-Way ANOVA. Maternal or paternal genetic effects were predicted by using mixed linear model. Variances of five traits were analyzed by using minimum norm quadratic unbiased estimator (MNQUE). Genetic correlation and heritability were analyzed by using “Additive-dominant” genetic model. Maternal and parental additive and dominant random genetic effects were predicted by using adjusted unbiased prediction (AUP). The results showed that significant or extremely significant differences existed in the additive, dominant, genetic and apparent genetic correlations among five traits. Narrow heritability of five traits ranged from 0.521±0.020 to 0.805±0.018, while broad-sense heritability ranged from 0.521±0.017 to 0.832±0.011. Five traits of seven female parents (5766, 6436, 5779, 5798, 5782, 6440, 5790) among 27 gained extremely significant positive additive effect, and one male parent (♂ 8920) among four gained extremely significant positive additive effect. Growth indexes in their offspring were significantly higher than those in other families. Growth indexes of head length, body height and body weight among seven hybrid combinations (5766*5777, 6436*8932, 5779*8932, 5798*8932, 5782*8932, 6440*8920, 5790*8920) among 28 gained significant or extremely significant positive dominant effect. This was the first study to take distant hybridization between *E. moara* and *E. lanceolatus* by using cryopreserved sperm and to predict their genetic effects, which provided solid scientific basis for the development of distant hybridization techniques and new variety breeding in groupers.

Key words: *Epinephelus lanceolatus*; *Epinephelus moara*; cryopreserved sperm; distant hybridization; heritability; genetic effect

Corresponding author: TIAN Yongsheng. E-mail: tianys@ysfri.ac.cn

Funding projects: Aoshan Science & Technology Innovation Program of Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology(2015ASKJ02); Yantai Science and Technology Plan(2016JH021); Yantai High-end Talent Introduction “Double Hundred Plan”