

凡纳滨对虾 7 个引进群体的生长性能评估

阮晓红¹, 罗 坤¹, 栾 生¹, 孔 杰^{1*}, 许圣钰², 陈荣坚², 陈国良²

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 青岛海壬水产种业科技有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了对凡纳滨对虾 7 个引进群体的生长性能进行评估, 通过巢式交配和人工授精的方式, 用 2011 年源自不同国家和地区的 7 个凡纳滨对虾群体建立了 130 个全同胞家系, 包括 17 个杂交组合(正反交合并)和 7 个自交组合。各家系的仔虾、幼虾经中间暂养和标记后混合, 在河北黄骅(HBHH)和青岛鳌山(QDAS)两个养殖场养殖, 测定了 153 日龄虾体质量性状。用混合线性模型估计不同群体和家系体质量最小二乘均值, 计算不同杂交组合杂种优势率, 评估不同群体和杂交组合的生长性能。结果表明, 凡纳滨对虾各群体体质量变异系数变化范围为 13%~26%; UA5、UA4 和 SIN 三个群体为亲本的 153 日龄虾体质量最小二乘均值均较高, 分别比群体均值高 5.34%、2.51% 和 1.67%, 是体质量性状育种的优良亲本; 杂交组合均值(18.14 g)比自交组合(17.17 g)高 5.65%, 杂交组合 UA4 × UA5 体质量最小二乘均值最高(19.52 g), 比杂交组合均值高 7.61%; 组合杂种优势率在 -1.77%~11.72%, 均值为 5.45%, 大部分杂交组合(>75%)存在正向杂种优势, UA1 × UA2 杂交组合杂种优势率最高。研究结果有助于提高凡纳滨对虾生长性能遗传选择的准确性, 并为实现良种选育奠定基础。

关键词: 凡纳滨对虾; 杂交; 生长性能; 最小二乘均值; 杂种优势

中图分类号: Q 178.1; S 966.1

文献标志码: A

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)俗称南美白对虾, 原产于南美洲太平洋赤道南北沿海。2001 年引进国外选育的凡纳滨对虾良种, 因其生长快, 适应性广, 耐高温^[1], 我国凡纳滨对虾养殖迅速发展, 成为我国占绝对优势的养殖对虾种^[2]。2010 年, 我国对虾养殖产量达到 122 万 t, 其中凡纳滨对虾产量约占 80%^[3]。然而, 随着养殖快速发展, 凡纳滨对虾种质退化, 逐渐成为制约其养殖发展的关键问题^[4]。科学系统的良种选育和保种技术体系缺乏、病害检验检疫不严和累代养殖等导致我国养殖的凡纳滨对虾苗种重低下、生长减慢、病害高发和规格不齐, 严重影响了对虾养殖经济效益。例如, 沿海对虾养殖区一些病毒呈现出爆发流行趋势, 虾池大面积绝产, 损失十分严重。引进优良野生或改良种质资源, 建立

凡纳滨对虾良种选育和保种技术体系, 培育抗逆、抗病和生长快速的对虾良种, 是我国凡纳滨对虾养殖的迫切需求。

优良品种的选育是改良凡纳滨对虾重要经济性状的有效手段。利用远缘杂交能够很快地使基因重新组合, 可以获得具有双亲优良性状的后代, 甚至可获得超过双亲的优良性状, 产生杂种优势^[5-6]。将优良性状通过近交或连续多代选择使其能够稳定的遗传, 培育出新品系, 即实现了选择育种。杂种优势的研究是发掘生长潜力最有效的育种手段之一^[7-8], 是大幅度提高产量、改进品质的有效途径。美国于 1995 年启动了凡纳滨对虾选择育种项目, 收集不同来源的凡纳滨对虾为亲本, 针对生长和桃拉综合征病毒(taura syndrome virus, TSV)抗性性状设置不同的权重进行复合选育,

收稿日期:2012-07-21 修回日期:2012-09-18

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A404);农业部“引进国际先进农业科学技术”项目(2012-S5);公益性行业(农业)科研专项(200903045)

通信作者:孔 杰, E-mail:kongjie@ysfri.ac.cn

经过一代选择,生长速度提高了 21%^[9]。国内凡纳滨对虾育种也取得重要进展,2006 年,姚雪梅等^[10]以不同遗传背景的凡纳滨对虾为亲本,建立凡纳滨对虾自交系与杂交系,比较子一代早期生长和存活,结果发现杂交组母系遗传占主导地位。2008 年,陈锚等^[11]通过个体选育、家系选育和家系内选育,探讨了凡纳滨对虾育种的选育体系。2010 年,林红军等^[12]以两个不同遗传背景的凡纳滨对虾群体为亲本,设置双列杂交实验,分析比较子一代生长和存活情况,结果表明,选育群体为母本,进口群体为父本的杂交组合后代的生长和存活性状明显提高。目前已报道的凡纳滨选育良种“中兴 1 号”^[11]、“中科 1 号”^[13]和“科海 1 号”^[14]等也都是以遗传距离较远的群体杂交手段获得。无论是进行选择育种还是开展杂交选育,亲本的挑选都是育种的第一步也是最重要的一步,本研究选择 7 个进口群体为亲本,研究其生长的杂种优势和遗传效应,以期在杂交组合中获得生长性状最优组合,为制定育种方案,实现选择育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

亲虾的来源 实验群体为 2011 年 6—7 月从美国和新加坡引入的 7 个凡纳滨对虾养殖群体,分别命名为 SIN、UA1、UA2、UA3、UA4、UA5 和 UA6。将引进的亲虾进行免疫检验、隔离保种,每尾亲虾通过眼柄环标记后,放入虾池中混养强化培育。在青岛鳌山养殖基地培育 1 个月之后,选取体质健壮,生长性状好的亲虾进行催熟备用。

实验家系的构建 2011 年 7 月底,亲虾性腺发育成熟后,选取成熟的雌虾与雄虾,按照赖秋明等^[15]报道的方法进行人工授精,杂交群体的构建参照表 1。利用定向交尾技术,通过巢式设计(1 尾雄虾与 2 尾雌虾交配;1 尾雌虾与 2 尾雄虾交配),组合 7 个引进群体建立全同胞家系共计 130 个,母系半同胞家系 40 个。整个操作过程中,各实验组严格隔离。

表 1 凡纳滨对虾群体 G₀ 家系的组建方式

Tab. 1 Family establishment method in the *L. vannamei* population of the founders generation

母本 maternal	父本 paternal							合计 total
	UA5	UA4	SIN	UA3	UA1	UA6	UA2	
UA5	7	3	4	3	-	-	5	22
UA4	-	10	4	5	1	2	3	25
SIN	6	4	10	3	1	3	4	31
UA3	-	5	4	5	-	2	2	18
UA1	-	-	-	-	3	-	-	3
UA6	-	-	1	4	-	1	1	7
UA2	-	4	5	4	4	2	5	24
合计 total	13	26	28	24	9	10	20	130

仔虾培育 为尽量减小各家系培育时环境条件的差异,采用标准化的方式对家系幼体进行培育。主要包括环境条件标准化和数量标准化。环境条件标准化主要包括:从抱卵孵育、幼体培育、淡化至仔虾暂养,保持每个家系在各阶段的培育条件尽量一致,主要包括各阶段水的盐度、水温、幼体密度、饵料和充气等条件。

幼体培育的标准化 受精卵孵化出无节幼体后,进行第一次标准化,将幼体移出,取约 3 000 尾幼体放入水体为 150 L 的桶内培育;当幼体发育至仔虾阶段时进行第二次标准化,计数 400 尾移入 150 L 的桶内培育;当仔虾第 8 天进行第三

次标准化,计数 150 尾在桶内继续培育。

荧光标记及混养 第三次标准化后,每个家系 150 尾虾平均分成两份,分别暂养于青岛鳌山(QDAS)和河北黄骅(HBHH)。养至 3 cm 时对每个家系的个体进行荧光标记,以便在混养时区分不同的家系。每个家系样本以不同的颜色组合进行“可视嵌入性荧光标记”(visible implant elastomer, VIE)的注射。将每个家系标记后的个体称重,获得入池前的家系平均体质量,然后混养于入 HBHH 和 QDAS 两个养殖场水泥池中。HBHH 场共计 106 个家系放入 5 个 20 m² 水泥池中混养测试,每个水泥池包括 19 ~ 23 个家系;

QDAS 场共计 129 个家系放入 11 个 9.4 m^2 水泥池中混养测试, 每个水泥池包括 10 ~ 14 个家系。HBHH 和 QDAS 场内每个混养测试池的养殖密度均控制在每平方米 109 尾左右。其他水质控制、饵料投喂和日常管理等操作, 两地均按照标准化程序保持一致。

性状测量 2011 年 12 月, 对养成的 5 月龄凡纳滨对虾进行回捕, 测量每尾虾的体质量, 记录个体的 VIE 颜色组合、测试场号、测试池号、测量日期等信息。

1.2 分析方法

正态性检验 建立线性混合模型, 利用 SAS 软件的 MIXED 过程^[16] 检验 G_0 数据残差的

正态性。

$y_{ilmn} = \mu + Farm_i + b_1 Wt_l + Sire_m + Dam_n + e_{ilmn}$
式中, y_{ilmn} 为 153 d 体质量, $Farm_i$ 为 QDAS 和 HBHH 场效应(固定效应), Wt_l 为混养前家系体质量(协变量), b_1 为回归系数, $Sire_m$ 和 Dam_n 分别为父、母本随机效应, e_{ilmn} 为残差。

残差的正态性检验表明, 偏度(skewness)和峰度(kurtosis)值分别为 -0.20 和 1.27, 符合大群体正态检验的拇指规则 [$n > 300$, $-2 < skewness(kurtosis) < 2$]。直方图和 QQPLOT (图 1) 也表明, 数据近似正态分布。因此估计体质量的最小二乘均值时, 不需要对体质量进行数据转换。

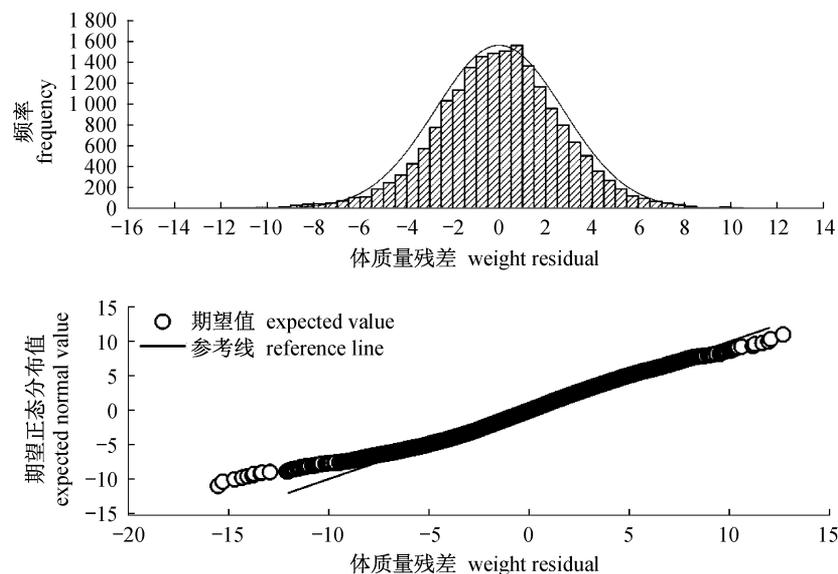


图 1 凡纳滨对虾 G_0 数据残差直方图和 QQPLOT 图

Fig. 1 Residual histograms and QQ PLOT of *L. vannamei* (G_0)

家系体质量的最小二乘均值 家系体质量的最小二乘均值估计模型:

$$y_{ijl} = \mu + Farm_i + Family_j + b_1 Wt_l + e_{ijl} \quad (1)$$

式中, y_{ijl} 系第尾虾体质量, μ 为总体均数, $Farm_i$ 为第 i 个养殖场固定效应, $Family_j$ 为第 j 个全同胞家系固定效应, Wt_l 为标记前体质量(协变量), b_1 为回归系数, e_{ijl} 为随机误差。

父本群体、母本群体体质量的最小二乘均值计算公式:

$$Pop_i = \left(\sum_{j=1}^n Family_Wt_LSM_{ij} \right) / n \quad (2)$$

式中, Pop_i 为第 i 个群体作为父本(母本群体的体质量最小二乘均值), $Family_Wt_LSM_{ij}$ 为第 i 个

群体内第 j 个家系体质量的最小二乘均值, n 为第 i 个群体内家系数量。

模型中未包括测试池和性别固定效应。由于每个家系只分布在其中一个测试池, 而不是随机分布在所有测试池, 如果在模型中包括测试池效应, 将会把家系间的遗传差异作为测试池间的固定效应剔除掉, 从而影响最小二乘均值估计的准确度。由于所有测试池的放养密度均控制在每平方米 109 尾左右, 其他水质控制、饵料投喂和日常管理等操作相同, 因此假定测试池间不存在显著的差异。测量体质量时, 由于只有一小部分成虾能够确定性别, 因此在模型中也未包括性别。

杂种优势率 凡纳滨对虾引入群体杂交组

合的杂种优势率(H)计算公式:

$$H(\%) = \frac{M_{F_1} - \frac{1}{2}(M_{P_1} + M_{P_2})}{\frac{1}{2}(M_{P_1} + M_{P_2})} \times 100 \quad (3)$$

式中, M_{F_1} 系群体 P_1 和 P_2 正反交杂交子一代群体体质量最小二乘均值, M_{P_1} 和 M_{P_2} 为群体 P_1 和 P_2 自交子一代群体体质量的最小二乘均值。各群体体质量的最小二乘均值计算方法同公式 2。

2 结果

2.1 杂交组合体重的统计性描述

130 个家系中包括 17 个杂交组合(正反交合并)与 7 个自交组合。杂交组合的个体体质量收获数据分布范围及平均值等见表 2, 杂交组合收获体质量箱线图见图 2。由箱线图及表 2 中数据可知,各杂交组合总收获体质量为 5.6 ~ 32.41 g, 平均收获体质量为 16.01 ~ 19.70 g, 标准差为 2.

23 ~ 4.18, 变异系数变化为 0.13 ~ 0.26。杂交组合家系中个体的收获体质量变异系数最大可达 0.26, 表明凡纳滨对虾个体间收获体质量存在着一定的差异, 进行生长性状的遗传改良具有较大潜力。

2.2 引进群体体重的最小二乘均值

7 个引入群体作为父本, 其子一代收获体质量按照最小二乘均值排序为 UA5 > UA4 > SIN > UA3 > UA1 > UA6 > UA2; 作为母本, 其子一代收获体质量按照最小二乘均值排序为 UA5 > SIN > UA4 > UA3 > UA1 > UA2 > UA6。综合 7 个群体父母本收获体质量最小二乘均值为 17.96, 可见 UA5、UA4 和 SIN 作为亲本时, 无论是作为父本还是母本, 其生长最小二乘均值均较高, 分别比群体均值高 5.34%、2.51% 和 1.67%。所以, 三个群体可作为该性状育种的优良亲本, 三个群体间交配生产的后代, 具有生长优势。

表 2 凡纳滨群体杂交和自交组合个体收获体质量的描述性统计量

Tab. 2 Descriptive statistics of body weight of *L. vannamei*

引进群体杂交和自交组合 hybridized and inbred combinations	个体数 no. of individuals	最小值/g min	最大值/g max	平均值/g mean	标准差 SD	变异系数 CV
UA2 × UA2	631	7.30	30.13	17.61	3.08	0.18
UA2 × UA3	838	5.80	28.09	17.55	3.05	0.17
UA2 × UA4	1 170	6.80	29.38	17.93	3.10	0.17
UA2 × SIN	1 030	6.00	28.80	16.37	2.95	0.18
UA2 × UA5	802	6.20	24.52	16.81	2.32	0.14
UA1 × UA2	690	8.70	27.35	18.26	2.69	0.15
UA1 × UA1	361	6.59	26.30	17.38	3.16	0.18
UA1 × UA4	160	9.40	26.00	18.60	3.21	0.17
UA1 × SIN	80	6.90	22.90	17.15	3.16	0.18
UA6 × UA2	579	6.60	27.52	17.48	3.00	0.17
UA6 × UA6	99	6.00	24.60	16.01	3.85	0.24
UA6 × UA3	1 078	5.63	31.07	17.58	3.48	0.20
UA6 × UA4	370	11.39	28.00	17.06	2.23	0.13
UA6 × SIN	593	8.60	26.20	16.56	2.54	0.15
UA3 × UA3	454	5.60	30.00	16.32	4.18	0.26
UA3 × UA4	1 430	6.94	32.41	19.57	3.14	0.16
UA3 × SIN	1 155	8.60	29.00	17.54	2.83	0.16
UA3 × UA5	575	10.70	27.70	18.53	2.84	0.15
UA4 × UA4	1 340	6.00	30.80	18.56	3.88	0.21
UA4 × SIN	1 432	6.70	27.50	18.62	3.03	0.16
UA4 × UA5	547	7.00	29.40	19.70	3.33	0.17
SIN × SIN	1 480	7.10	29.30	18.92	2.90	0.15
UA5 × SIN	1 525	9.91	30.83	19.65	2.67	0.14
UA5 × UA5	835	9.49	28.00	18.86	2.53	0.13

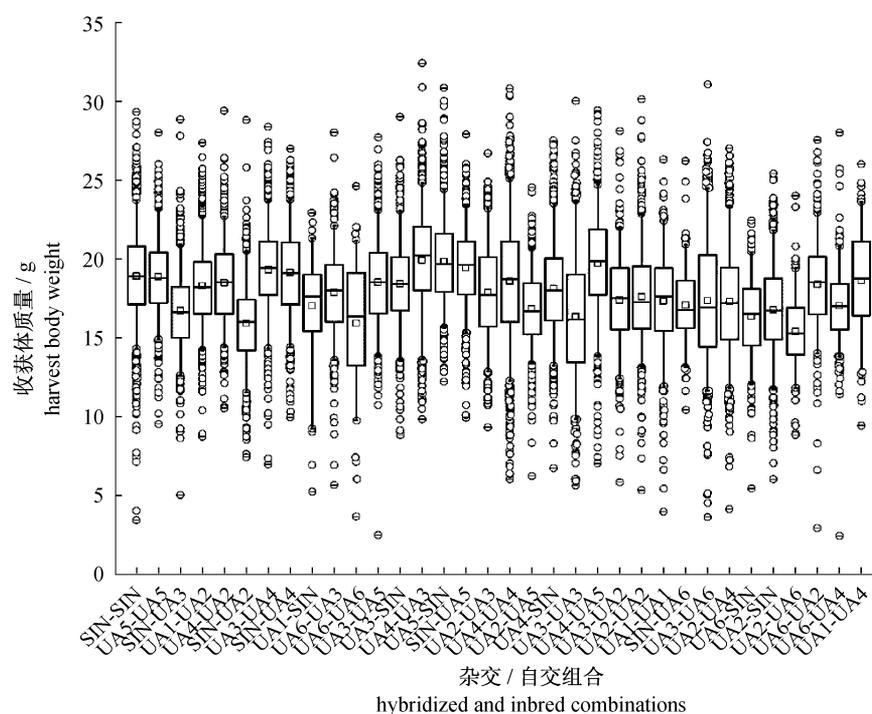


图2 凡纳滨对虾 G_0 杂交组合 153 d 体质量箱线图

盒子由中位数,第一四分位数(25%)和第三四分位数(75%)组成。平均值、最小值、最大值和异常值分别用□、-、-和○表示。

Fig. 2 Box plot of harvest body weight for *L. vannamei* (G_0)

The median, 25th and 75th percentiles are plotted as boxes. Mean, minimum, maximum and outliers are shown as □, -, - and ○.

表3 凡纳滨对虾引进群体不同亲本 153 日龄体质量最小二乘均值分析
Tab. 3 Analysis of least squares means on body weight on the 153th day since fertilization with different parents of *L. vannamei* populations introduced from other nations

群体 populations	家系数(父本) no. of families(M)	家系数(母本) no. of families(F)	父本 male parent(M)	母本 female parent(F)	父母本均值 mean
UA5	13	22	19.21	18.63	18.92
UA4	26	31	18.50	18.31	18.41
SIN	28	25	18.21	18.32	18.27
UA3	24	18	17.90	17.93	17.92
UA1	9	3	17.81	17.33	17.57
UA6	10	24	17.38	17.26	17.64
UA2	20	7	16.98	17.04	17.01

130 个家系按照最小二乘均值进行分析排序,分别按照筛选前 50% 和 30% 家系标准进行排序,其引进亲本群体情况见表 4。从表中数据分析可知 130 个家系中,UA5、UA4、SIN、UA3、UA1、UA6 和 UA2 作为亲本其百分比分别为 13.46%、19.62%、22.70%、16.15%、4.62%、6.54% 和 16.95%,收获体质量的最小二乘均值平均值为 18.03。当按照 50% 的标准留选家系时,UA5、UA4 和 SIN 三个群体所占比例上升,分别为 22.31%、23.85% 和 26.92%,UA3 所占比例

不变依然为 16.15%,UA1、UA6 和 UA2 三个群体所占比例有所下降,收获体质量的最小二乘均值平均值提高为 19.19;当按照 30% 的标准留选家系时,UA5、UA4 和 UA3 群体所占比例稍有上升,分别为 23.75%、26.25% 和 17.50%,SIN、UA1、UA6 和 UA2 四个群体所占比例有所下降,收获体质量的最小二乘均值平均值提高为 19.63。综合以上家系信息分析可见,UA5、UA4 和 SIN 做为亲本参与的杂交组合,较其他群体子一代生长优势更明显。

表4 凡纳滨对虾引进群体不同筛选标准家系分布

Tab.4 Family distribution of *L. vannamei* populations introduced from other nations under different screening criteria

筛选标准 screening criteria	最小二乘均值平均值 mean of LSM	选留家系各群体所占比例/% percentage						
		UA5	UA4	SIN	UA3	UA1	UA6	UA2
100%	18.03	13.46	19.62	22.70	16.15	4.62	6.54	16.92
50%	19.19	22.31	23.85	26.92	16.15	1.54	3.08	6.15
30%	19.63	23.75	26.25	23.75	17.50	2.50	1.25	5.00

2.3 杂交组合体质量的最小二乘均值和杂种优势率

本研究对所有家系153日龄收获体质量的测量结果,按照家系体质量的最小二乘均值及杂种优势率给出的统计模型进行最小二乘均值检验及杂种优势率多重分析,17个杂交组合(正反交合并)与7个自交组合的收获体质量的分析结果见表5。所有杂交组合均值(18.14 g)比自交组合(17.17

g)高5.65%。杂交组合中,UA4×UA5组合体质量的最小二乘均值最高(19.52 g),比杂交组合群体均值高7.61%;UA2×SIN组合体质量的最小二乘均值最低(16.94 g),比杂交组合群体均值低6.62%。自交组合中,UA5×UA5组合体质量的最小二乘均值最高(18.35 g),比自交组合群体均值高6.87%;UA2×UA2组合体质量的最小二乘均值最低(16.20 g),比自交组合群体均值低5.65%。

表5 凡纳滨对虾引进群体收获体质量最小二乘均值和杂种优势率

Tab.5 Analysis of heterosis and least squares means on body weight of *L. vannamei* populations introduced from other nations

组合类型 combination types	引进群体组合 hybridized and inbred combinations	最小二乘均值 mean of least square mean			杂种优势率/% heterosis
		正交 orthogonal	反交 reciprocal	正反交组合均值 mean	
杂交组合 hybridized combinations	UA4×UA5	19.52	-	19.52	7.98
	UA5×SIN	19.27	19.60	19.43	6.20
	UA1×UA4	19.14	-	19.14	11.04
	UA3×UA4	18.75	19.32	19.04	11.07
	UA3×UA5	18.98	-	18.98	8.99
	UA4×SIN	18.36	19.06	18.71	3.80
	UA1×UA2	18.36	-	18.36	11.72
	UA3×SIN	18.75	17.61	18.18	4.71
	UA2×UA4	17.83	18.26	18.05	6.17
	UA6×UA3	18.03	17.53	17.78	8.08
	UA2×UA3	18.11	17.36	17.74	8.57
	UA6×UA4	17.61	-	17.61	2.90
	UA1×SIN	17.44	-	17.44	-0.15
	UA6×SIN	17.07	17.49	17.28	-0.34
	UA6×UA2	18.29	16.08	17.19	5.33
	UA2×UA5	16.97	-	16.97	-1.77
	UA2×SIN	17.16	16.73	16.94	-1.62
均值 mean				18.14	
自交组合 inbred combinations	UA5×UA5	-	-	18.35	
	SIN×SIN	-	-	18.25	
	UA4×UA4	-	-	17.80	
	UA1×UA1	-	-	16.68	
	UA3×UA3	-	-	16.48	
	UA6×UA6	-	-	16.43	
	UA2×UA2	-	-	16.20	
均值 mean				17.17	

杂种优势率参数表明两个群体杂交后,相对于自交群体,是否具有性状优势。所有组合杂种优势率在 $-1.77\% \sim 11.72\%$,均值为 5.45% ,大部分杂交组合 ($>75\%$) 存在正向杂种优势。杂种优势率最高的组合为 $UA1 \times UA2$,杂种优势率最低组合为 $UA2 \times UA5$ 。在本次分析中 $UA5 \times UA1$ 、 $UA5 \times UA6$ 和 $UA6 \times UA1$ 没有设计正反交组合,无法估计杂种优势率。此外, $UA1 \times UA4$ 、 $UA1 \times SIN$ 正反交组合、 $UA6$ 群体自交组合仅有 1 个家系,其生长性能和杂种优势率估计值准确有待进一步验证。

3 讨论

选择育种是人们利用生物固有的遗传变异性,优选劣汰,培育优良品种的方法。为尽快实现选择育种,培育出凡纳滨对虾优良种质,优良亲本的选择和有效育种方案的制定是前提和基础。本实验通过对不同遗传背景的凡纳滨种群间的杂交子一代的分析,筛选出具有优势的亲本种群和杂交组合作为优先入选群体进入组建下一代家系的储备亲本群体,这是实现选择育种的第一步。利用近交或连续多世代选育,使杂种优势表现的优良性状固定并稳定遗传,继而对通过选择建立的品系进行比较,筛选出优良的品系并大量繁殖,即可培育出具有优良性状的新品种,真正实现选择育种。

已选育成功的凡纳滨对虾新品种“中兴 1 号”^[11]、“中科 1 号”^[13]和“科海 1 号”^[14]均是在海南、广东等南方区域选育成功,且以美国引进或国内养殖凡纳滨对虾为亲本,构建基础群体,以生长速度或抗病为选育指标,经过多代选育获得。我国南北方养殖环境差异比较大,上述新品种难以覆盖和适应我国北方如山东、河北和辽宁等养殖区域,无法满足北方养殖业苗种需求。本研究结合已有报道,从多个国家、多批次收集凡纳滨对虾野生或改良的种质资源群体,较以往研究遗传背景更加的丰富,利用统计遗传学等技术,分析各群体的生长优势,以山东青岛鳌山和河北黄骅为主要养殖基地,综合北方两地数据进行凡纳滨对虾的良种选育研究,期望选育适合北方环境的凡纳滨新品种。本实验中的各引进群体,每尾亲虾通过眼柄环标记后,放入虾池中混养强化培育,性腺基本同步成熟。人工授精,孵化,以及后期的仔虾培育等均严格按照统一的标准化管管理,保证每个家系在各阶段的培育条件尽量一致。残差的正态性检验表明,各家系

收获体重近似成正态分布。此外,大多数杂交组合繁育均设置最少两个平行家系,且平行家系分别置于山东和河北两个养殖基地,取数据平均值进行分析,数据的采集更加的详实准确。所以,本研究所构建的 130 个家系的数据统计结果可以作为对凡纳滨对虾北方养殖优良性状筛选的选择依据。

近年来美国的超级虹鳟^[17]、挪威的大西洋鲑^[18],我国的建鲤^[19]、中国对虾^[20]等优良品种的育成,充分证明了科学的系统选育或系统选育与其他育种方法相结合,能大大提高养殖性能。与高等动物相比,水产动物的变异系数更大,研究表明,人类身高的变异系数仅为 4% ^[21-22],鼠体质量的变异系数仅为 6% ,而虹鳟、大西洋鲑和斑点叉尾鲴的体质量变异系数可分别高达 $17\% \sim 56\%$ 、 $25\% \sim 76\%$ 及 22% 。INGA^[23]估计虹鳟、大西洋鲑和斑点叉尾鲴每代选择效应分别可达 13% 、 $10.6\% \sim 14.2\%$ 及 $12\% \sim 20\%$ 。从这一点而言,水产类动物应具有较大的选育潜力。本研究中,引进的凡纳滨对虾筛选群体体质量变异系数为 $13\% \sim 26\%$,与斑点叉尾鲴已报道体质量变异系数 (22%) 相近,可以认为这些群体可作为凡纳滨对虾生长性状选育的基础群体。变异系数变化范围较虹鳟、大西洋鲑小,可能与进口的群体在本研究选育前已经过良种选育,且具有优良生长基因有关。本研究通过线性模型分析,先以生长性状为目标性状进行选育,为后期实现生长且抗病的群体选育奠定基础。本实验中,当对全部 130 个家系分析时, $UA5$ 、 $UA4$ 和 SIN 作为亲本的家系,其子一代收获体质量的最小二乘均值分析显示其作为亲本具有更好的生长优势,分别比群体均值高 5.34% 、 2.51% 和 1.67% 。进一步筛选分析显示,当按照 50% 和 30% 的标准留选家系时,收获体质量的最小二乘均值平均值由 18.03 分别提高至 19.19 和 19.63 ,且 $UA5$ 、 $UA4$ 和 SIN 三个引进群体占约 75% 的比例。这表明在实际生产中,在不设定经济加权指数的情况下, $UA5$ 、 $UA4$ 和 SIN 三个引进群体作为亲本,生长性能较有优势,可作为优先入选群体进入组建下一代家系的储备亲本群体。

本研究对来自不同国家地区的凡纳滨群体的杂交及自交组合进行生长性状的分析比较。结果显示,所有杂交组合均值 (18.14 g) 比自交组合 (17.17 g) 高 5.65% 。杂交组合中, $UA4 \times UA5$ 组合体质量的最小二乘均值最高 (19.52 g),比杂交组合群体均值高 7.61% 。杂种优势率参数分

析表明,所有组合杂种优势率在 $-1.77\% \sim 11.72\%$,均值为 5.45% ,大部分杂交组合 ($>75\%$)存在正向杂种优势。杂种优势率最高的组合为 UA1 \times UA2 杂交组合。这表明在实际生产中,UA4 \times UA5 杂交组合和 UA1 \times UA2 杂交组合,较其他杂交组合具有生长优势,作为优选杂交组合进入组建 G₁ 世代的储备亲本群体具有一定的可行性,可在短期内实现凡纳滨对虾的种质改良。然而通过不同进口群体组合进行苗种改良仅是种质优化的第一步,要培育稳定的品种,防止近交衰退的发生,通过个体的估计育种值进行选育的 BLUP (best linear unbiased prediction) 方法的引入就显得尤为必要。今后的工作将以凡纳滨对虾引进群体杂交组合的生长性能资料为基础,采用基于 BLUP 法的选择育种技术,结合家系间的选择,进行凡纳滨对虾的长期遗传改良,以保证育种项目遗传进展的可持续性。

参考文献:

- [1] 王兴强,马姓,董双林. 凡纳滨对虾生物学及养殖生态学研究进展[J]. 海洋湖沼通报,2004,4:94-100.
- [2] 张吕平,胡超群,沈琪,等. 集约化养殖凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 的水质监测指标及合理放养密度[C]//第六届世界华人虾蟹类养殖研讨会论文摘要集. 2008.
- [3] 农业部渔业局. 2011年中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [4] 马春艳,马洪雨,马凌波,等. 凡纳滨对虾引进群体和2个养殖群体遗传变异的微卫星分析[J]. 海洋渔业,2011,33(1):1-8.
- [5] 王爱民,阎冰,叶力,等. 马氏珠母贝不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代主要性状的比较[J]. 水产学报,2003,27(3):200-206.
- [6] Thanh N M, Ponzoni R W, Nguyen N H, et al. Evaluation of growth performance in a diallel cross of three strains of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in Vietnam [J]. Aquaculture, 2009, 287: 75-83.
- [7] 孔宪辉,余渝,刘丽,等. 陆地棉主要性状杂种优势与配合力研究[J]. 西北农业学报, 2011, 20(9): 54-60.
- [8] 杨仁奎. 家蚕配合力效应及杂种优势研究[J]. 蚕学通讯, 2009(2): 1-5.
- [9] Argue B J, Arce S M, Lotz J M, et al. Selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to Taura syndrome virus[J]. Aquaculture, 2002, 204(3-4): 447-460.
- [10] 姚雪梅,黄勃,赖秋明,等. 凡纳滨对虾自交系与杂交系早期生长和存活比较[J]. 水产学报, 2007, 30(6): 791-795.
- [11] 陈锚,吴长功,相建海,等. 凡纳滨对虾的选育与家系的建立[J]. 海洋科学, 2008, 11: 5-8.
- [12] 林红军,沈琪,张吕平,等. 凡纳滨对虾生长性状的双列杂交分析[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(6): 51-56.
- [13] 黄永春,艾华水,殷志新,等. 第四代凡纳滨对虾抗 WSSV 选育家系的抗病及免疫特性研究[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1549-1558.
- [14] 安迪. 凡纳滨对虾体重和体尺性状的遗传参数和选择育种效果研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2011.
- [15] 赖秋明,王海石,符孔忠. 凡纳滨对虾人工授精的初步研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(10): 19-22.
- [16] Piepho H P, Ogutu J O, Schulz-Streeck T, et al. Efficient computation of ridge-regression best linear unbiased prediction in genomic selection in plant breeding[J]. Crop Science, 2012, 52: 1093-1104.
- [17] Hines N O. Fish of rare breeding: Salmon and trout of the Donaldson strains[M]. Smithsonian Institution Press, Washington, 1976.
- [18] Gjederm T. Selection for growth rate and domestication in Atlantic salmon[J]. Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie, 1979, 96: 56-59.
- [19] 孙建森,孙小异. 建鲤综合育种新技术[C]//建鲤育种研究论文集. 北京:科学出版社, 1994: 22-26.
- [20] 张天时,孔杰,栾生,等. 应用 BLUP 法对中国对虾一代选择的遗传进展[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 35-40.
- [21] 李思发,蔡完其. 团头鲂双向选择效应研究[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 201-205.
- [22] 王炳谦,谷伟,贾钟贺,等. 4个品系虹鳟生产性能的比较[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(3): 170-174.
- [23] INGA. Breeding plan for common carp (*Cyprinus carpio*) in Indonesia; multiple-trait selection [M]. Manila, Philippines, ICLARM, 1997.

Evaluation of growth performance in *Litopenaeus vannamei* populations introduced from other nations

RUAN Xiaohong¹, LUO Kun¹, LUAN Sheng¹, KONG Jie^{1*}, XU Shengyu²,
CHEN Rongjian², CHEN Guoliang²

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

2. Qingdao Hige Aquabreeding Technology Co. Ltd., Qingdao 266071, China)

Abstract: In 2011, seven batches of *Litopenaeus vannamei*, introduced from America and Singapore were collected to evaluate the growth performance. The nest design was adopted and 130 full-sib families (17 hybridized combinations and 7 inbred combinations) were obtained by artificial insemination. Offspring of the 130 families were cultured separately through the larval and juvenile stages, and were fluorescence-tagged when they reached a body length of 3 cm. The shrimps were tagged with a unique family code by injecting different colours of “Visible Implant Fluorescent Elastomers” (VIE) before being stocked in one grow-out pond. All families were randomly divided into two groups and then cultured in both Huanghua, Hebei and Aoshan, Qingdao, simultaneously. Body weight (g) of these shrimps was measured after 153 d. Growth performance of every population and combination was evaluated by analyzing the least squares means (LSM) and heterosis for body weight in *L. vannamei*. The results showed that, on the 153rd day, the variation coefficient of body weight of the *L. vannamei* stocks was 13% – 26%. The LSM for body weight of the UA5 batch, UA4 batch and SIN batch were higher than average by 5.34%, 2.51% and 1.67%, respectively. So these 3 batches could be used as parents for high quality cultivars. A growth performance analysis showed the average LSM of hybridized combination (18.14 g) was higher than the average LSM of inbred combinations (17.17 g). The highest LSM occurred in the cross between the UA4 batch and the UA5 batch, with 7.61 percent higher than average. Heterosis analysis showed, they ranged from a low of -1.77% to a high of 11.72%, with a mean of 5.45%, positive heterotic vigor was detected in most hybridized combination. The highest heterosis occurred in the cross between the UA1 batch and the UA2 batch. Our study provides insight into methods for improving the accuracy of genetic selection for growth traits in *L. vannamei*, and for genetics and breeding research into quantitative traits in other aquatic animals.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; cross; growth performance; least squares means (LSM); heterosis

Corresponding author: KONG Jie. E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn