

凡纳滨对虾选育群体与近交群体、 引进群体生长和存活性能比较

曹宝祥, 孔杰, 罗坤*, 栾生, 刘宁, 孟宪红

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 为研究凡纳滨对虾选育群体与近交群体、引进群体的生长和存活性能差异, 本实验利用家系标准化构建方法构建了选育群体、引进群体和近交群体家系, 开展共同养殖环境下的生长和存活性能测试实验, 分析了三个群体的体质量、存活率和近交衰退情况。结果表明, 选育群体收获体质量与引进群体、全同胞近交一代群体体质量均存在显著差异 ($P < 0.05$), 第 60 天收获时, 选育群体比引进群体的体质量提高 7.11%, 比近交群体的体质量提高 20.01%; 选育群体和引进群体不同家系生长速度存在较大差异, 选育群体中增重最快的家系为 6012 家系, 绝对增重率为 0.29 g/d, 比所有家系绝对增重率均值高 31.82%, 比增重最慢的家系高 61.11%, 引进群体中绝对增重率和特定生长率均最高的家系为 6008 家系, 分别为 0.33 g/d 和 3.17%/d, 比所有家系均值分别高 65% 和 33.19%, 比增重最慢的家系分别高 230% 和 128.06%; 存活率方面, 选育群体与引进群体差异不显著 ($P > 0.05$), 但与近交群体存在显著性差异 ($P < 0.05$), 存活率提高 12.74%。近交衰退结果显示, 与选育群体及引进群体相比较, 近交群体收获体质量生长性状的实际衰退百分比分别为 16.68% 和 10.76%, 近交系数每增加 10% 所引起的近交衰退系数分别为 -6.60% 和 -4.30%, 且选育群体与近交群体在收获体质量上差异显著 ($P < 0.05$); 存活率性状也出现了一定程度的近交衰退, 实际衰退百分比分别为 11.30% 和 10.54%。本研究结果可为凡纳滨对虾的后期选择育种工作提供数据参考。

关键词: 凡纳滨对虾; 选育群体; 全同胞交配; 近交; 生长; 存活

中图分类号: Q 321; S 968.2

文献标志码: A

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 俗称南美白对虾, 原产于美洲太平洋沿岸水域, 具有生长速度快、抗逆能力强、耐高密度养殖、耐盐范围广、出肉率高和便于活虾运输等优点, 是目前全球最主要的养殖对虾品种之一^[1]。我国于 1988 年从美国夏威夷引进凡纳滨对虾, 2000 年实现工厂化育苗生产, 并逐渐在我国进行规模化养殖, 2012 年, 凡纳滨对虾年产量达 145 万吨, 占全国对虾类养殖总产量的 80% 以上, 成为我国占绝对优势的养殖对虾品种^[2]。随着养殖规模的不断扩大, 由于过多追求短期利益, 缺乏对亲虾品种的系统选育, 长期的近亲繁殖致使国内的凡纳滨对虾种质

资源出现退化, 主要表现为生长速度减慢、病害频发、成活率低等。因此, 培育出具有生长快和抗逆性强等特征的凡纳滨对虾新品种已成为凡纳滨对虾养殖业的迫切需求。

目前, 用于凡纳滨对虾苗种生产的亲虾来源主要有三个: 国外良种亲虾、国内经遗传选育的亲虾和养殖 N 代亲虾。凡纳滨对虾优良种质资源主要是从国外的良种公司进口, 国外开展凡纳滨对虾选育工作起步时间早, 经遗传选育的良种亲虾具有稳定和优良的生长及抗逆性; 国内选育的亲虾主要是在引进国外亲虾资源的基础上开展的, 虽然起步时间较晚, 但也已成功选育出了一系列良种, 可是这

收稿日期: 2014-08-05 修回日期: 2014-11-03

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A404); 青岛市科技成果转化引导计划(青年专项, 14-2-4-52-jch)

通信作者: 罗坤, E-mail: luokun@ysfri.ac.cn

些选育的良种亲虾在生产上利用率不高;养殖 N 代亲虾指采用当年苗种养成后的成体做亲本,一般多使用养殖一代的亲虾,但由于养殖环境条件下亲虾携带细菌和病毒等不可控性,且未经系统选育,养殖 N 代亲虾的遗传背景不清晰,群体内近交不可避免,其苗种后代遗传性状一般表现不稳定,具有性状退化及抗逆性差等潜在问题。

近交是指有亲缘关系的个体相互交配,从而使一个群体纯合基因型增加的现象。近交的发生通常会导致物种某些表型性状的降低,这种表型性状的降低称为近交衰退^[3]。若非是经过人工控制,否则大部分近交对于生物个体来说都是有害的。已有研究表明,近交可使哺乳动物的生产性状产生严重的衰退^[4-6],水生动物的近交衰退问题也较为普遍,近交衰退影响也较为严重^[7-9]。尽管目前已有不少研究对虾近交的报道,但关于选育多代后群体的自交一代与选育核心群体、国外引进群体的比较研究则少见报道。本实验通过研究经过多代自主选育的凡纳滨对虾核心种群、选育核心群自交一代群体和国外引进群体 3 种群体类型的生长和存活性能,来评价凡纳滨对虾选育群体与近交群体、国外引进群体的生长、存活率差异,为凡纳滨对虾进一步的良种选育工作提供依据和参考。

1 材料与方 法

1.1 实验用 虾

实验所选用的凡纳滨对虾包括三个群体:

选育群体(SP):凡纳滨对虾基础群体来源于 7 个不同的国外良种场,经分子标记分析不同群体间血缘关系,采用控制近交的交配方案,经连续三年选育后形成的育种群体。

近交群体(IP):群体父母本来源于 SP 群体的核心家系,通过选取 SP 群体的核心家系进行全同胞兄妹交配,获得全同胞近交一代群体,近交系数为 0.25。

引进群体(BP):从国外良种公司引进的凡纳滨对虾种虾。

1.2 家系构建

采用人工授精技术,对三个群体的凡纳滨对虾进行家系构建,并按照标准化操作程序进行家系苗种的培育,以最大限度地降低养殖环境对家系培育的影响。挑选性腺发育成熟的雌虾转移入

单个产卵桶内,在 28 ℃ 水温下孵化,孵化盐度为 30;随机选取 5 000 尾无节幼体放入 200 L 桶内进行幼体的培育;幼体变态至仔虾时,随机选取 400 尾仔虾放入 200 L 桶内进行单独培育,水温 29 ~ 30 ℃,盐度 30,投喂卤虫幼体和配合饲料;仔虾第 10 天时,随机选取 120 尾仔虾放入 200 L 桶内进行中间培育,水温 26 ~ 28 ℃,盐度 30,投喂卤虫幼体和配合饲料。

三个群体成功构建的家系数量分别为 SP 群体 39 个,IP 群体 3 个以及 BP 群体 30 个。

1.3 性状测试

仔虾经过中间培育后平均体长达到 3 cm 时,选择不同颜色组合对每个家系的个体进行第 6 腹节的荧光标记,用以区分不同的家系。每个群体类型的家系各标记 30 尾以上个体,逐尾称量初始体质量后平均放入 2 个池子中进行所有家系的共同养殖,测试每个群体家系的生长、存活性能。

水泥池规格为 3 m × 7 m × 1.5 m,每天投喂配合饲料 4 次,日投喂量为对虾体质量的 5% ~ 8%,每天换水 1/3。养殖用水的盐度为 29,pH 为 7.6 ~ 8.2,总碱度为 102 ~ 126 mg/L(以 CaCO₃ 计),水温为 25 ~ 31 ℃。混合养殖 60 d 后进行所有对虾个体体质量的测量和存活数量的统计。

1.4 数据分析

采用 Excel 软件进行数据的整理,并统计平均值、最大值、最小值、标准差和变异系数等。

应用线性混合效应模型(linear mixed effects model,LME)和广义线性混合模型(generalized linear mixed model,GLMM)方法(probit 分布),利用 ASReml 软件中的 Predict 指令分别估计凡纳滨对虾不同群体收获体质量和存活性状的最小二乘均值。

收获体质量的估计模型:

$$y_{ijklm} = \mu + Pop_i + Sex_j + Tank_k + M1BW_l + Family_l(Pop_i) + e_{ijklm}$$

式中, y_{ijklm} 表示第 m 尾虾的体质量, μ 表示总体的体质量均值, Pop_i 为第 i 个群体的固定效应, Sex_j 表示第 j 个性别的固定效应, $Tank_k$ 为第 k 个养殖池效应, $M1BW_l$ 表示第 l 个家系混养前的体质量, $Family_l(Pop_i)$ 第 i 个群体内第 l 个家系的随机效应, e_{ijklm} 表示第 m 尾虾的随机残差。采用 t 检验进行体质量性状的差异性分析。

存活性状的估计模型:

$$\Pr(y_{iklm} = 1) = \Pr(\lambda_{iklm} > 0) = \Phi(\mu + Pop_i + Tank_k + Family_l(Pop_i))$$

式中, y_{iklm} 表示第 m 尾虾的存活状态(1 为存活, 0 为死亡), λ_{iklm} 为潜在变量, 如果 $\lambda_{iklm} > 0$ 那么 $y_{iklm} = 1$, 如果 $\lambda_{iklm} \leq 0$ 那么 $y_{iklm} = 0$, μ 为总体存活均值, $Tank_k$ 为第 k 个养殖池效应, Pop_i 为第 i 个群体的固定效应, $Family_l(Pop_i)$ 第 i 个群体内第 l 个家系的随机效应。

对不同生长阶段凡纳滨对虾家系进行特定生长率(SGR)和绝对增重率(AGR)的计算, SGR 和 AGR 分别通过以下公式获得:

$$SGR(\%/d) = 100 \times (\ln W_e - \ln W_b) / t$$

$$AGR(g/d) = (W_e - W_b) / t$$

式中, W_b 和 W_e 分别指生长初期的体质量和生长末期的体质量, t 为养殖的天数。

近交衰退系数(the inbreeding depression coefficient, IDC)通过下列公式估计:

$$IDC = \frac{1 - \frac{\bar{W}_{inbred}}{\bar{W}}}{(F - F_{inbred})}$$

式中, \bar{W}_{inbred} 和 \bar{W} 分别指近交群体和选育群体的平均体质量(或存活率)。 F_{inbred} 和 F 分别指近交群体和选育群体的近交系数。

体质量变异系数通过下列公式计算:

$$CV(\%) = SD/ABW \times 100\%$$

式中, SD 指该群体体质量标准差, ABW 指该群

体质量平均值。

存活率通过下列公式计算:

$$S(\%) = N_e/N_b \times 100\%$$

式中, N_b 和 N_e 分别指该群体实验开始时的入池尾数和实验结束时的存活尾数。

2 结果

2.1 三个群体收获体质量、存活率的统计性描述

通过分析得到凡纳滨对虾 3 个群体收获体质量的统计性结果(表 1)。SP 群体收获平均体质量最高, 为 (16.85 ± 3.91) g, 其次为 BP 群体的平均收获体质量, 为 (16.24 ± 4.43) g, IP 群体的平均收获体质量最小, 为 (14.19 ± 4.14) g。3 个群体收获体质量的变异系数范围为 23.20% ~ 29.18%, 其中 IP 群体收获体质量的变异系数最高, 为 29.18%, 说明 IP 群体体质量性状离散程度较大, 也反映了全同胞近交一代群体存在一定程度的性状分离; SP 群体收获体质量的变异系数为 23.20%, 低于 BP 群体, 说明经过多代选育后, SP 群体的规格整齐性相对于 BP 群体得到了改善, 由于 SP 群体的变异系数仍属于中等变异强度范围, 说明选育群体依然具有较大的选育空间。

通过分析实验结果获得凡纳滨对虾 3 个群体存活率的统计性结果(表 2)。分析结果显示, SP 群体的存活率最高, 为 71.57%, BP 群体的存活率稍低于选育群体, 为 69.59%, IP 群体的存活率最低, 为 63.51%。

表 1 凡纳滨对虾 3 个群体收获体质量的样本数、均值、最小值、最大值、标准差和变异系数
Tab. 1 The number, mean, minimum, maximum, standard deviation and coefficient of variation of body weight for three populations in Pacific white shrimp *L. vannamei*

群体类别 population item	个体数量/尾 number of individuals	平均体质量/g average body weight	体质量标准差/g standard deviation	体质量最小值/g minimum of body weight	体质量最大值/g maximum of body weight	变异系数/% coefficient of variation
选育群体 selected population, SP	1 537	16.85	3.91	3.01	31.23	23.20
近交群体 inbreeding population, IP	124	14.19	4.14	5.35	27.11	29.18
引进群体 imported population, BP	1 212	16.24	4.43	4.41	34.7	27.28

表 2 凡纳滨对虾 3 个群体存活率情况
Tab. 2 Survivorship of three populations in Pacific white shrimp *L. vannamei*

群体类别 population item	放入数量/尾 number of individuals	存活数量/尾 number of surviving individuals	存活率/% survival rate
选育群体 selected population, SP	1 537	1 649	71.57
近交群体 inbreeding population, IP	124	141	63.51
引进群体 imported population, BP	1 212	1 268	69.59

2.2 群体内家系生长性能比较

分析获得凡纳滨对虾 3 个群体的家系收获体质量统计性数据(表 3)。分析结果显示,家系平均体质量由大到小的排序分别为 SP 群体、BP 群体和 IP 群体,其中 SP 群体家系的平均体质量最大值为 20.87 g,最小值为 14.53 g,最大值比最小值高出 43.63%,BP 群体家系平均体质量最大

比最小值高出 125.12%,IP 群体家系平均体质量最大值比最小值高出 16.13%。各群体家系收获体质量的变异系数也呈现一定范围的变化,家系收获体质量变异系数平均值的大小排序与群体收获体质量变异系数的排序一致,IP 群体家系收获体质量平均变异系数最大,其次为 BP 群体家系,SP 群体家系收获体质量的平均变异系数最小。

表 3 凡纳滨对虾 3 个群体内家系收获体质量的统计性描述

Tab.3 Descriptive statistics of family body weight of three populations in *L. vannamei*

群体类别 population item	家系数量/个 number of families	家系平均体质量/g average body weight of family			家系体质量变异系数/% coefficient of variation of family		
		最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 average	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 average
		选育群体 selected population, SP	39	14.53	20.87	16.98	15.09
近交群体 inbreeding population, IP	3	12.96	15.05	14.04	25.31	32.46	28.34
引进群体 imported population, BP	30	10.23	23.03	15.80	16.77	36.85	25.24

以箱线图的形式给出了凡纳滨对虾 3 个群体家系收获体质量均值的平均数、中位数、第一四分位数、第三四分位数、最小值、最大值和异常值(图 1)。结果显示,凡纳滨对虾各群体家系间差

异较大,SP 群体、BP 群体和 IP 群体家系收获体质量均值的变化范围分别为 14.53 ~ 20.87 g、10.23 ~ 23.03 g、12.96 ~ 15.05 g。

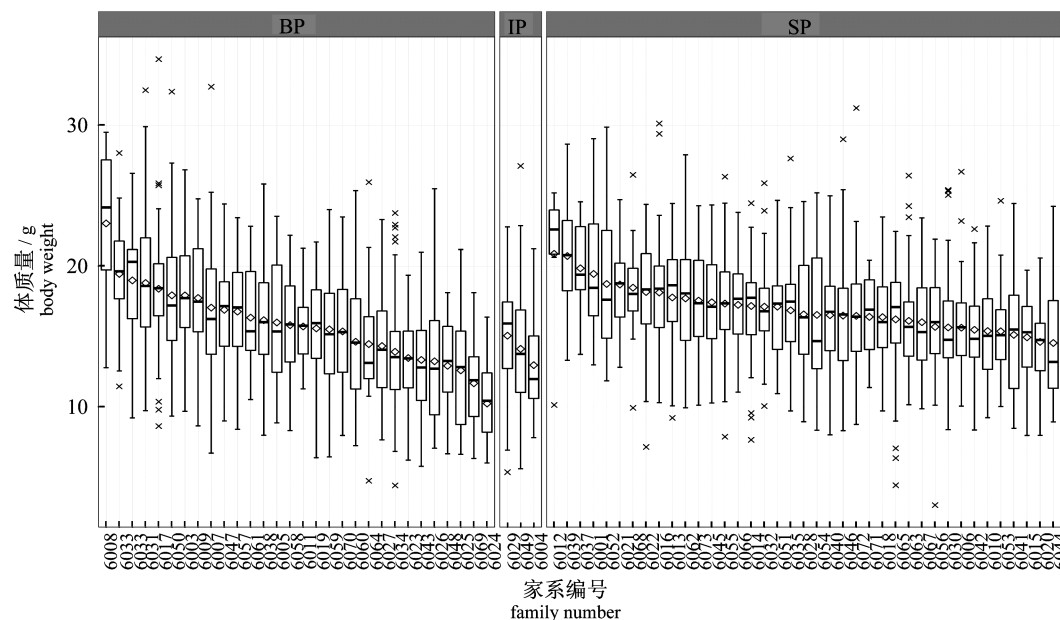


图 1 凡纳滨对虾 3 个群体家系收获体质量均值的箱线图

◇, -, - 和 × 分别表示平均值,最小值,最大值和异常值

Fig.1 Box plots of mean body weight of three populations in *L. vannamei*

Mean, minimum, maximum and outliers are shown as ◇, -, - and ×, respectively

分析获得凡纳滨对虾 3 个群体内家系绝对增重率和特定生长率比较结果(表 4)显示,凡纳滨对虾 3 个群体中不同家系生长速度具有较大差异,

SP 群体中家系收获体质量的平均值为 16.98 g, 39 个家系中收获体质量均值超过平均值的家系数量为 18 个,其中 6012 家系增重最快,绝对增重

率为 0.29 g/d,比所有家系绝对增重率均值高 31.82%,比增重最慢的家系高 61.11%;SP 群体中家系绝对增重率和相对生长率的平均值在 3 个群体类型中最高,分别为 0.22 g/d、2.44%/d,其次为 BP 群体,分别为 0.20 g/d 和 2.38%/d,IP 群体最低,分别为 0.17 g/d 和 2.23%/d(表 4)。在同一群体下家系的绝对增重率和特定生长率的

大小排序并不一致,如 SP 群体中绝对增重率排序靠前的前 20 位家系,在特定生长率排序靠前的前 20 位家系中包含了 15 个家系,家系一致率为 75%(表 4),说明采用单一的指标评价生长性能并不全面,采用两个指标相结合的方式对生长性状的评价更为合适。

表 4 凡纳滨对虾 3 个群体家系的绝对增重率和特定增重率
Tab.4 AGR and SGR of each family in three populations of *L. vannamei*

群体类别 population item	家系编号 family no.	收获体质量/g body weight	绝对增重率/(g/d) average growth rate	特定增重率/(%/d) specific growth rate	群体类别 population item	家系编号 family no.	收获体质量/g body weight	绝对增重率/(g/d) average growth rate	特定增重率/(%/d) specific growth rate
BP	6003	17.92	0.24	2.78	SP	6015	14.93	0.19	2.5
BP	6005	15.99	0.21	2.56	SP	6016	18.12	0.24	2.56
BP	6007	17.05	0.23	2.72	SP	6018	16.37	0.21	2.35
BP	6008	23.03	0.33	3.17	SP	6020	14.61	0.18	2.24
BP	6009	17.73	0.23	2.62	SP	6021	18.69	0.23	2.33
BP	6011	15.71	0.21	2.61	SP	6022	18.16	0.23	2.45
BP	6017	18.38	0.23	2.37	SP	6028	16.57	0.2	2.09
BP	6019	15.57	0.2	2.48	SP	6030	15.64	0.19	2.22
BP	6023	13.46	0.16	1.99	SP	6032	17.12	0.2	1.97
BP	6024	10.23	0.1	1.39	SP	6035	16.85	0.21	2.23
BP	6025	12.59	0.13	1.71	SP	6037	19.85	0.24	2.18
BP	6026	13.24	0.15	1.83	SP	6039	20.71	0.27	2.52
BP	6027	14.31	0.18	2.45	SP	6040	16.51	0.21	2.29
BP	6031	18.79	0.22	1.99	SP	6041	15.11	0.18	2.12
BP	6033	19.44	0.27	2.84	SP	6042	15.47	0.22	3.05
BP	6034	13.91	0.18	2.48	SP	6044	14.53	0.18	2.24
BP	6036	18.98	0.25	2.67	SP	6045	17.43	0.21	2.23
BP	6038	16.16	0.22	2.98	SP	6046	16.48	0.2	2.25
BP	6043	13.33	0.15	1.8	SP	6051	17.11	0.21	2.2
BP	6047	16.89	0.21	2.31	SP	6052	18.73	0.25	2.65
BP	6048	12.91	0.15	1.99	SP	6053	15.36	0.2	2.57
BP	6050	17.92	0.25	3.16	SP	6054	16.53	0.22	2.76
BP	6057	16.76	0.22	2.48	SP	6055	17.33	0.23	2.7
BP	6058	15.80	0.21	2.8	SP	6056	15.68	0.21	2.63
BP	6059	15.50	0.19	2.24	SP	6062	17.70	0.23	2.58
BP	6060	14.62	0.19	2.67	SP	6063	16.11	0.2	2.34
BP	6061	16.34	0.2	2.21	SP	6066	17.24	0.21	2.2
BP	6064	14.46	0.18	2.25	SP	6067	16.01	0.2	2.27
BP	6069	11.67	0.13	1.72	SP	6068	18.46	0.24	2.55
BP	6070	15.36	0.19	2.17	SP	6071	16.39	0.19	2.08
SP	6001	19.44	0.26	2.68	SP	6072	16.46	0.2	2.23
SP	6006	15.62	0.22	3.08	SP	6073	17.55	0.23	2.48
SP	6010	15.38	0.2	2.57	SP	7065	16.21	0.21	2.58
SP	6012	20.87	0.29	3.11	IP	6004	12.96	0.16	2.24
SP	6013	17.77	0.23	2.39	IP	6029	15.05	0.19	2.42
SP	6014	17.16	0.22	2.53	IP	6049	14.11	0.17	2.02

2.3 凡纳滨对虾收获体质量和存活率的对比分析

分析结果显示,凡纳滨对虾 SP 群体收获体质量的最小二乘均值为 16.73 g,大于 BP 群体收获体质量的最小二乘均值(15.62 g)(表 5)。与 BP 群体相比较,二者差值为 1.11 g,SP 群体收获体质量提高 7.11%;对两个群体的最小二乘均值进行 t 检验, t 值为 -2.49,自由度为 65.4,经查找 t 检验临

界值进行比较, $t(df)0.05 = 1.997, t > t(df)0.05, P < 0.05$,差异显著,说明选育起到明显效果(表 5)。与 IP 群体相比较,二者差值为 2.79 g,SP 群体收获体质量提高 20.01%(表 6)。对两个群体的最小二乘均值进行 t 检验, t 值为 -2.56,自由度为 65.4,经查找 t 检验临界值进行比较, $t(df)0.05 = 1.997, t > t(df)0.05, P < 0.05$,差异显著,说明近交使生长性状出现了显著的下降(表 6)。

表 5 凡纳滨对虾选育群体与引进群体收获体质量对比分析

Tab.5 Comparative analysis of body weight between selected population and imported population

群体类别 population item	家系数量/个 number of families	个体数量/尾 number of individuals	最小二乘均值/g least square mean	对比分析 comparative analysis	
				差值/g difference value	提高百分比/% percentage
选育群体 selected population, SP	39	1 537	16.73	1.11	7.11
引进群体 imported population, BP	30	1 212	15.62		

表 6 凡纳滨对虾选育群体与近交群体收获体质量对比分析

Tab.6 Comparative analysis of body weight between selected population and inbreeding population

群体类别 population item	家系数量/个 number of families	个体数量/尾 number of individuals	最小二乘均值/g least square mean	对比分析 comparative analysis	
				差值/g difference value	提高百分比/% percentage
选育群体 selected population, SP	39	1 537	16.73	2.79	20.01
近交群体 inbreeding population, IP	3	124	13.94		

分析获得了凡纳滨对虾 SP 群体与 BP 群体、IP 群体存活率的对比结果(表 7,表 8)。分析结果显示,与 BP 群体、IP 群体相比较,SP 群体存活率

分别提高 3.15%、12.74%, t 检验结果显示,SP 群体与 BP 群体存活率差异不显著($P > 0.05$),SP 群体与 IP 群体存活率存在显著差异($P < 0.05$)。

表 7 凡纳滨对虾选育群体与引进群体存活率的对比分析

Tab.7 Comparative analysis of survival between selected population and imported population

群体类别 population item	家系数量/个 number of families	最小二乘均值/% least square mean	对比分析 comparative analysis	
			差值/% difference value	提高百分比/% percentage
选育群体 selected population, SP	39	74.32	0.63	3.15
引进群体 imported population, BP	30	73.69		

表 8 凡纳滨对虾选育群体与近交群体存活率的对比分析

Tab.8 Comparative analysis of survival between selected population and inbreeding population

群体类别 population item	家系数量/个 number of families	最小二乘均值/% least square mean	对比分析 comparative analysis	
			差值/% difference value	提高百分比/% percentage
选育群体 selected population, SP	39	74.32	8.4	12.74
近交群体 inbreeding population, IP	3	65.92		

2.4 凡纳滨对虾生长、存活性状近交衰退分析

分析结果显示,全同胞近交一代群体产生了一定程度的近交衰退,与 SP 群体相比较,IP 群体与 BP 群体引起的收获体质量实际衰退百分比分别为

16.68%及 10.76%,近交系数每增加 10% 所引起的近交衰退系数分别为 -6.60% 和 -4.30%;IP 群体与 BP 群体存活率性状的实际衰退百分比也达 10% 以上,分别为 11.30% 和 10.54%(表 9)。

表 9 凡纳滨对虾近交群体的生长和存活性状近交衰退情况
Tab. 9 Inbreeding depression of growth and survival rate of inbreeding population in *L. vannamei*

群体类别 population item	家系 数量/个 number of families	个体 数量/尾 number of individuals	体质量近交衰退 inbreeding depression			存活率近交衰退 inbreeding depression		
			最小二 乘均值/g least square mean	实际衰退 百分比/% percentage of inbreeding	近交衰退 系数/% inbreeding depression coefficient	最小二 乘均值/% least square mean	实际衰退 百分比/% percentage of inbreeding	近交衰退 系数/% inbreeding depression coefficient
			选育群体 selected population, SP	3	124	13.94		
近交群体 inbreeding population, IP	39	1 537	16.73	16.68	-6.60	74.32	11.30	-4.52
引进群体 imported population, BP	30	1 212	15.62	10.76	-4.30	73.69	10.54	-4.22

3 讨论

3.1 选择育种效果分析

选择育种是一种传统而有效的遗传育种方法,根据育种目标对原始材料进行适当的选种选配,以提高育种群体的优良基因频率,降低有害基因频率,使一些优良的经济性状表现显著而又稳定,进而形成新的品种^[10]。

在过去 30 多年里,选择育种技术的研究取得了突破性进展,利用选择育种已经培育了大量优质的动植物品种和品系。鱼类和甲壳类动物通常比陆地养殖动物有更高的遗传变异,研究发现陆地养殖动物生长性状的遗传变异为 7%~10%,而鱼类和甲壳类是 20%~35%,水产动物高遗传变异为提高水产养殖产量提供了很好的条件。在生长性状选育方面,Foster 等^[11]经过 23 年的研究和选育,培育出虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*),其 1 龄鱼的体质量比选育前增加 1 倍;尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)经过 6 代选育后,每代的体质量遗传进展保持在 10%~15%之间^[12];Rezk 等^[13]对斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)进行 3 代选育,其生长率提高了 20%~30%;Goyard 等^[14]对细角对虾(*Penaeus stylirostris*)进行第 4 与第 5 代选育后,与非选育群体进行比较研究结果表明,体质量分别提高 18% 和 21%,选育群体获得了明显的效果;Argue 等^[15]对凡纳滨对虾生长性状进行选择育种研究,结果显示体质量经过一代选择后提高了 21%。本研究结果表明,凡纳滨对虾选育群体(SP)收获体质量与引进群体(BP)、全同胞近交一代群体(IP)体质量均存在显著差异($P < 0.05$),第 60 天收获时,SP 群体比 BP 群体的体质量提高 7.11%,比 IP 群体的体质量提高

20.01%,说明凡纳滨对虾的选择育种取得了明显效果。此外,从选育群体的变异系数结果来看,SP 群体的变异系数为 23.20%,属于中等变异强度,说明 SP 群体仍然具有较大的选育空间。

通过建立家系进行性状测试,然后进行家系间选择育种方法成为育种的一种重要手段^[16],在鱼类^[17-18]、甲壳类^[19-21]和贝类^[22-23]等水产动物育种中这种方法得到了广泛应用,并取得了显著效果。陈松林等^[24]对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)家系生长性能比较的结果显示,2 个快速生长家系增重率比生长最慢家系分别高 113% 和 102%;唐章生等^[25]对吉富罗非鱼(*O. niloticus*)家系生长性能进行了比较,生长最快的家系体质量比群体均值高 17.71%;汤健等^[26]进行了马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)快速生长家系的筛选工作,分析表明快速增长时期各生长性状增长速率均存在显著差异,并筛选出生长性状最优的 1 个家系。本研究结果显示,凡纳滨对虾选育群体和引进群体中不同家系生长速度存在较大差异,SP 群体中 6012 家系增重最快,绝对增重率为 0.29 g/d,比所有家系绝对增重率均值高 31.82%,比增重最慢的家系高 61.11%,表现出明显的生长优势;BP 群体中 6008 家系,绝对增重率和特定生长率均最高,分别为 0.33 g/d 和 3.17%/d,比所有家系均值分别高 65% 和 33.19%,比增重最慢的家系分别高 230% 和 128.06%,表明通过家系对比测试后可以将具有优良生长性能的引进群体家系纳入选育群体中,进一步丰富选育群体的遗传多样性,提高选育效果。

3.2 近交对凡纳滨对虾生长、存活性能的影响

对于繁殖力高的水产动物而言,当群体选择或家系选育发展到一定程度时,留种个体往往具

有一定的亲缘关系,若不进行人工控制,近亲交配就不可避免^[27]。由于近交能降低群体内的加性遗传变异^[28-29],进而增加了近交衰退的可能性^[30],一般来说,近交系数每增加 10% 就会引起 -3% ~ -50% 的近交衰退^[31-33]。关于虾类近交引起近交衰退的研究,国内外也有不少报道,张洪玉等^[34]研究了近交系数为 37.5% 的中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 近交情况,结果表明近交系数每增加 10%,可引起中国明对虾 -4.02% 的体长衰退和 -7.30% 的体质量衰退;Keys 等^[9]研究发现,近交系数为 28% ~ 31% 的近交,近交系数每增加 10%,引起日本对虾 (*Penaeus japonicus*) -3.34% 的生长衰退。

本研究也得到了类似结果,实验所用近交群体为选育二代后群体的自交一代,近交系数为 25%,从实验结果可以发现,近交群体的生长、存活性能出现不同程度的近交衰退。与 SP 群体、BP 群体相比较,IP 群体引起的收获体质量实际衰退百分比分别为 16.68%、10.76%,近交系数每增加 10% 所引起的近交衰退系数分别为 -6.60% 和 -4.30%,且 SP 群体与 IP 群体在收获体质量方面差异显著;存活率结果表明,IP 群体存活率性状的实际衰退百分比分别为 11.30% 和 10.54%;表明全同胞兄妹交配形成的快速近交会造造成显著的近交衰退,应该在凡纳滨对虾育种过程中尽量避免全同胞兄妹交配的发生。

本研究通过建立凡纳滨对虾选育群体、引进群体和近交群体家系,比较分析了不同群体及群体内家系间的生长性能差异,结果表明,与引进群体相比,凡纳滨对虾选育群体具有显著的生长优势,且选育群体的生长性能仍具有较大的遗传改良空间和选育潜力;另外,全同胞兄妹交配会造成显著的近交衰退,在育种过程中需要采取严格的近交控制策略来保持更多的加性遗传变异。本研究可为凡纳滨对虾下一步的选择育种工作提供理论依据。

参考文献:

- [1] Wang X Q, Ma S, Dong S L. Studies on the biology and cultural ecology of *Litopenaeus vannamei*: a review [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2004, 4: 94 - 98. [王兴强, 马牲, 董双林. 凡纳滨对虾生物学及养殖生态学研究进展. 海洋湖沼通报, 2004, 4: 94 - 98.]
- [2] The Fisheries Bureau of Agriculture Ministry. China Fisheries Yearbook in 2013 [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2013: 28 - 30. [农业部渔业局. 2013 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2013: 28 - 30.]
- [3] Reed D H, Lowe E H, Briscoe D A, et al. Inbreeding and extinction: Effects of purging [J]. Conservation Genetics, 2003, 4(3): 405 - 410.
- [4] Dickerson G E. Experimental design for testing inbred lines of swine [J]. Journal of Animal Science, 1942, 1: 326 - 341.
- [5] Dinkel C A, Busch D A, Minyard J A, et al. Effects of inbreeding on growth and conformation of beef cattle [J]. Journal of Animal Science, 1968, 27(2): 313 - 322.
- [6] Terrill C E. Fifty years of progress in sheep breeding [J]. Journal of Animal Science, 1958, 17(4): 944 - 959.
- [7] Bondari K, Dunham R A. Effects of inbreeding on economic traits of channel catfish [J]. TAG Theoretical and Applied Genetics, 1987, 74(1): 1 - 9.
- [8] Naciri G Y, Launey S, Lebayon N, et al. Influence of parentage upon growth in *Ostrea edulis*: evidence for inbreeding depression [J]. Genetical Research, 2000, 76(2): 159 - 168.
- [9] Keys S J, Crocos P J, Burridge C Y, et al. Comparative growth and survival of inbred and outbred *Penaeus (Marsupenaeus) japonicus*, reared under controlled environment conditions: indications of inbreeding depression [J]. Aquaculture, 2004, 241(1-4): 151 - 168.
- [10] Lou Y D. Fish breeding [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2001. [楼允东. 鱼类育种学. 北京: 中国农业出版社, 2001.]
- [11] Foster R F, Donaldson L R. The effect on embryos and young of rainbow trout from exposing the parent fish to X-rays [J]. Growth, 13(2): 119 - 121.
- [12] Ponzoni R W, Nguyen H H, Hooi L K, et al. Genetic improvement of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with special reference to the work conducted by the World Fish Center with the GIFT strain [J]. Reviews in Aquaculture, 2011, 3(1): 27 - 41.
- [13] Rezk M A, Smitherman R O, Williams J C, et al. Response to three generations of selection for increased body weight in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, grown in earthen ponds [J]. Aquaculture, 2003, 228(1-4): 69 - 79.

- [14] Goyard E, Patrois J, Reignon J M, *et al.* IFREMER's shrimp genetics program [J]. *Global Aquaculture Advocate*, 1999, 2(6): 26 - 28.
- [15] Argue B J, Steve M A, Jeffrey M L, *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.
- [16] Li Y F. Application of family selection in aquatic animals [J]. *Journal of Beijing Fisheries*, 2007, 5: 44 - 46. [李云峰. 家系选择在水产动物养殖中的应用. *北京水产*, 2007, 5: 44 - 46.]
- [17] Chen S L, Tian Y S, Xu T J, *et al.* Development and characterization for growth rate and disease resistance of disease-resistance population and family in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32(5): 665 - 673. [陈松林, 田永胜, 徐田军, 等. 牙鲆抗病群体和家系的建立及其生长和抗病性能初步测定. *水产学报*, 2008, 32(5): 665 - 673.]
- [18] Ma A J, Wang X A, Xue B G, *et al.* Investigation on family construction and rearing techniques for turbot (*Scophthalmus maximus* L.) family selection [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, 41(3): 301 - 306. [马爱军, 王新安, 薛宝贵, 等. 大菱鲆选育家系的构建和培育技术研究. *海洋与湖沼*, 2010, 41(3): 301 - 306.]
- [19] Zhang T S, Kong J, Liu P, *et al.* Preliminary study of establishment of families and their growth and development for *Fenneropenaeus chinensis* [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(3): 120 - 124. [张天时, 孔杰, 刘萍, 等. 中国对虾家系的建立及不同家系生长发育的初步研究. *海洋学报*, 2007, 29(3): 120 - 124.]
- [20] Chen M, Wu C G, Xiang J H, *et al.* Selective breeding and pedigree foundation of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Marine Sciences*, 2008, 32(11): 5 - 8. [陈锚, 吴长功, 相建海, 等. 凡纳滨对虾的选育与家系的建立. *海洋科学*, 2008, 32(11): 5 - 8.]
- [21] Gao B Q, Liu P, Li J, *et al.* Growth comparison between families of *Portunus trituberculatus* [J]. *Periodical of Ocean University of China; Natural Science*, 2010, 40(2): 47 - 51. [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹家系的建立及生长性状比较. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2010, 40(2): 47 - 51.]
- [22] Zhang C S, Yang X G, Song J, *et al.* Establishment of families and their early growth of Japanese scallop (*Patinopecten yessoensis*) [J]. *South China Fisheries Science*, 2008, 4(5): 44 - 50. [张存善, 杨小刚, 宋坚, 等. 虾夷扇贝家系的建立及不同家系的早期生长研究. *南方水产*, 2008, 4(5): 44 - 50.]
- [23] Huo Z M, Yan X W, Zhang Y H, *et al.* Family system and growth of Dalian population of Manila clam *Ruditapes philippinarum* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, 41(3): 334 - 340. [霍忠明, 闫喜武, 张跃环, 等. 菲律宾蛤仔大连群体家系建立及生长比较. *海洋与湖沼*, 2010, 41(3): 334 - 340.]
- [24] Chen S L, Du M, Yang J F, *et al.* Development and characterization for growth rate and disease resistance of families in half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(12): 1669 - 1704. [陈松林, 杜民, 杨景峰, 等. 半滑舌鳎家系建立及其生长和抗病性能测定. *水产学报*, 2010, 34(12): 1669 - 1704.]
- [25] Tang Z S, Lin Y, Li J, *et al.* Establishment of families and comparison of their growth of GIFT strain Tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Journal of Guangxi Normal University; Natural Science Edition*, 2011, 29(3): 74 - 79. [唐章生, 林勇, 黎筠, 等. 吉富罗非鱼不同家系的生长性状差异. *广西师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 29(3): 74 - 79.]
- [26] Tang J, Liu W G, Lin J S, *et al.* Evaluation on mid-term growth of 9 families of pearl oyster *Pinctada facata* [J]. *South China Fisheries Science*, 2011, 7(5): 30 - 36. [汤健, 刘文广, 林坚士, 等. 9个马氏珠母贝家系的中期生长性状评估. *南方水产科学*, 2011, 7(5): 30 - 36.]
- [27] Bentsen H B, Gjerde B. Design of fish breeding programs, In: *Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production [C]*. Guelph, Canada, 1994, 19: 353 - 359.
- [28] Falconer D S, Mackay T F C. *An introduction to quantitative genetics [M]*. Fifth Edition. Essex: Longman, 1996: 480.
- [29] Lynch M, Walsh B. *Genetics and analysis of quantitative traits [M]*. Sunderland: Sinauer Press, 1998: 980.
- [30] Bentsen H B, Olesen I. Designing aquaculture mass selection programs to avoid high inbreeding rates [J]. *Aquaculture*, 2002, 204(3): 349 - 359.
- [31] Gallardo J A, Garcia X, Lhorente J P, *et al.* Inbreeding and inbreeding depression of female reproductive traits in two populations of coho salmon selected using BLUP predictors of breeding values

- [J]. *Aquaculture*, 2004, 234(1-4): 111-122.
- [32] Li S, Cai W Q. Genetic improvement of the herbivorous blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Naga*, 2003, 26: 20-23.
- [33] Su G S, Liljedahl L E, Gall G A E. Effects of inbreeding on growth and reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1996, 142(3-4): 139-148.
- [34] Zhang H Y, Luo K, Kong J, *et al.* Effects of inbreeding on growth, survival and stress resistance in *Fenneropenaeus chinensis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, 16(5): 744-750. [张洪玉, 罗坤, 孔杰, 等. 近交对中国明对虾生长、存活及抗逆性的影响. *中国水产科学*, 2009, 16(5): 744-750.]

Comparison of growth and survival performance among selected population, imported population and inbreeding population in *Litopenaeus vannamei*

CAO Baoxiang, KONG Jie, LUO Kun*, LUAN Sheng, LIU Ning, MENG Xianhong
(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: The present study explored the differences in growth, survival and inbreeding depression among selected population, inbreeding population and imported population. Inbreeding population was constructed by full-sib mating of selected population in *Litopenaeus vannamei*. A standard procedure was used in family construction. Individuals of three populations were tested in the same environment. The growth experimental results showed that, body weight of selected population was significantly higher than those of inbreeding population and imported population ($P < 0.05$). At day 60, body weight of selected population increased by 7.11% and 20.01%, compared with those of imported population and inbreeding populations. Different growth performance was observed among different families and in different population. The body weight of 6012 was biggest in selected population, AGR and SGR is 0.29 g/d and 31.82% higher than the mean of the families, and 61.11% higher than that of the lowest. And the body weight of family 6008 was biggest in imported population, AGR and SGR is 0.33 g/d and 3.17%/d, which was 65% and 33.19% higher than the mean of the families, and 230% and 128.06% higher than that of the lowest. The survival results indicated that the difference of survival between selected population and imported population was not significant ($P > 0.05$), but that was significant ($P < 0.05$) between selected population and inbreeding population, 12.74% higher than inbreeding population. Full-sib matings revealed that the amount of inbreeding depression of body weight were 16.68% and 10.76%, and inbreeding depression of survival were 11.30% and 10.54%, compared with selected population and imported population. The estimated average inbreeding depression coefficient of body weight was -6.60% and -4.30% per 10% increase of inbreeding coefficient. These results suggest that selection works well in the breeding program of *Litopenaeus vannamei*, and inbreeding especially full-sib matings should be avoided in the future breeding programs.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; selection population; full-sib mating; inbreeding; growth; survival rate

Corresponding author: LUO Kun. E-mail: luokun@ysfri.ac.cn