

中国对虾新品种“黄海 2 号”的培育

孔 杰*, 罗 坤, 栾 生, 王清印, 张庆文,
张天时, 孟宪红, 王伟继, 阮晓红

(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)

摘要: 选取中国对虾“黄海 1 号”、“即抗 98”2 个养殖群体, 朝鲜半岛南海群体、乳山湾群体、青岛沿岸群体及海州湾群体 4 个自然群体, 采用不平衡巢式交配设计方案, 于 2005 年建立了中国对虾育种的基础群体。设计并建立了中国对虾的多性状复合育种技术, 选育的目标性状为生长速度、白斑综合征病毒 (white spot syndrome virus, WSSV) 感染后的存活时间及养殖存活率。结果显示, 养殖 170 d 收获体质量的遗传力为 0.22, 抗 WSSV 存活时间的遗传力为 0.14, 存活率的遗传力为 0.03。采用 BLUP 法估算个体育种值, 通过百分比加权的形式, 分别赋予生长速度、抗 WSSV 存活时间和存活率的加权值为 80%、15% 和 5%, 并对性状育种值进行标准化, 获得综合选择指数; 按照每个家系及个体的综合选择指数大小进行家系间及家系内留种, 并根据系谱信息, 设计交配方案, 将每代的近交系数控制在 1% 以内。选育 4 代后的统计结果表明, 平均每代的遗传进展为生长速度, 13.56%; 抗病力, 6.76%; 存活率, 5.05%。3 个性状中, 收获体质量的遗传力最高、加权最大, 每代获得的遗传进展稳定在 12% 以上; 抗 WSSV 存活时间与存活率遗传力较低, 每代获得的遗传进展相对小且不稳定。实验培育的新品种“黄海 2 号”于 2009 年通过全国水产原良种委员会审定, 可在适合中国对虾的养殖区进行推广养殖。

关键词: 中国对虾; 多性状复合育种; 生长速度; 存活时间; 抗白斑综合征病毒

中图分类号: S 966.1

文献标志码: A

中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)是我国最具代表性的水产养殖种类之一, 曾是我国重要海洋渔业资源及增养殖对象, 最高年秋捕产量达 4 万 t, 最高养殖年产量约 15 万 t (以 1988—1992 年北方四省一市对虾产量计算)^[1]。但是, 1993 年我国对虾养殖产业全面爆发白斑综合征病毒 (white spot syndrome virus, WSSV) 流行病^[2-3], 全国对虾养殖总产量从 20 万 t 下降到 8 万 t 左右, 曾支撑产业的中国对虾养殖总产量不足 6 万 t。自此之后 20 多年的时间里, WSSV 流行病成为影响中国对虾养殖产业恢复的主要原因。

20 世纪 90 年代, 病毒性流行病影响世界范围

内的对虾养殖产业^[4]。世界上几个主要养殖品种, 包括斑节对虾 (*Penaeus monodon*)^[5]、日本对虾 (*P. japonicus*)^[6] 和凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)^[7] 等, 都曾因病毒性流行病而遭受严重损失, 其中 WSSV 是所有病毒性病原中传播面最广、破坏性最强的病原。为摆脱病害困扰, 抗病对虾品种的培育成为人们关注的焦点, 也成为对虾病害防治的重要手段之一^[8-9]。生长速度慢、WSSV 病害严重和池塘存活率低成为困扰中国对虾产业恢复和增长的 3 个焦点问题。优良种质和抗病能力已成为中国对虾养殖业中迫切需要解决的问题, 也是中国对虾养殖业有希望走出困境的重要途径之一。

收稿日期: 2012-05-30 修回日期: 2012-09-10

资助项目: 国家自然科学基金项目 (31072206, 31172402); 青岛市关键技术攻关类项目 (11-1-1-11-hy); 基本科研业务费专项资金项目 (20603022011010)

通讯作者: 孔 杰, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn

在国外, 对虾良种选育已经引起有关国家的高度重视, 并取得了一些有应用价值的良种。1995 年, 美国农业部(USDA)和海洋研究所(OI)启动了凡纳滨对虾的选择育种项目, 利用综合指数选育法 (comprehensive index selection method), 对生长和桃拉综合征病毒(taura syndrome virus, TSV)抗性性状进行了选种育种^[10]; 在 1998 年, 两个独立的育种品系建立起来, 一个是完全选择生长, 另一个以 70% 加权选择 TSV 抗病性和 30% 加权选择生长性能; 对生长速度的选择已使凡纳对虾的体质量提高了 21.2%, 对抗 TSV 性状的选择使成活率比对照提高了 18.4%。法国海洋开发研究院(IFREMER)自 1972 年开始致力于对虾养殖生产研究及发展, 到目前为止共有 8 个养殖品系, 传代数从 13 代到 24 代不等; 在抗病方面, 已筛选出抗 IHHNV(STR43)蓝对虾品系^[11]。澳大利亚联邦科学和工业研究院对日本对虾的驯化和选育明显促进了养殖业的经济效益, 全人工控制条件下和生产规模的养殖试验表明: 选育日本对虾每代的生长表现分别平均提高了 11% 和 10%~15%^[12]; Preston 等^[13]比较了选育和非选育的日本对虾的生长状况, 发现选育对虾生长快 14%。哥伦比亚于 20 世纪 90 年代末启动了凡纳滨对虾国家选育计划, 旨在选出抗 TSV 的种群, 并初步取得成功; 1997 年又进行了家系选育, 先后共建立 7 个不同种群的 430 个全同胞家系^[14]。南美的委内瑞拉和厄瓜多尔等也都进行了相似的工作, 平均养殖效率提高 20% 以上^[15]。

中国水产科学研究院黄海水产研究所从 1998 年到 2004 年, 选取中国对虾“黄海 1 号”、“即抗 98”2 个养殖群体, 朝鲜半岛南海群体、乳山湾群体、青岛沿岸群体及海州湾群体等 4 个自然群体, 通过不平衡巢式交配设计方案, 建立中国对虾育种的基础群体。采用多性状复合育种技术, 以生长速度、抗 WSSV 存活时间及存活率为选育目标, 通过构建大规模家系, 以 BLUP 法为基础估计遗传力、育种值, 从遗传学的角度确定出经济性状优势的家系及个体, 选育出中国对虾“黄海 2 号”。2008 年, 该品种已通过全国水产原种和良种审定委员会审定通过。中国对虾“黄海 2 号”收获体质量比未经选育的野生种提高 30% 以上, 且具有明显的抗病性, 表现为不发病、染病后死亡慢等特点, 染病死亡时间延长 10% 以上。中国对虾“黄海 2 号”

已在我国山东、天津、河北、江苏等沿海省市推广应用, 表现出优良的生长和抗病性能。“黄海 2 号”的这些特点与“黄海 1 号”高产、稳产的特点形成互补, 对进一步推动我国对虾养殖业的发展具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 基础群体的构建

以中国对虾野生群体和养殖群体为基础群体。1998 年 4 月从山东威海海外海东经 123°, 北纬 37° 附近海域捕获的中国对虾野生群体, 生产对虾苗种于附近个体养殖池内养殖, 从染病后存活的养殖池中挑选个体大、健壮的对虾, 混养越冬, 次年产卵前, 依据亲虾个体大小和健康状况进行第二次筛选。每年收集染病池塘存活的对虾进行苗种培育、养殖和存活对虾筛选, 培育出对 WSSV 具有明显抗性的“即抗 98”群体。

2004 年, 选取中国对虾“黄海 1 号”、“即抗 98”2 个养殖群体, 朝鲜半岛南海群体、乳山湾群体、青岛沿岸群体及海州湾群体 4 个中国对虾野生群体, 通过不平衡巢式交配设计方案, 建立中国对虾“黄海 2 号”选育的基础群体。

1.2 家系的标准化培育及性状测试

采用人工授精和控制交尾技术, 对基础群体的中国对虾进行不平衡巢式交配设计, 获得中国对虾全同胞和半同胞家系, 并对家系苗种按照标准化操作程序进行培育, 以最大限度地降低养殖环境对家系培育的影响。仔虾经过中间培育后可以达到 2.5~3.5 cm, 以家系为单位对幼体进行荧光标记, 每个家系标记后, 个体分成两个部分, 一部分进行共同养殖, 测试每个家系的生长和存活率, 并在收获时, 对每尾对虾进行眼柄标记; 另一部分个体混养后进行 WSSV 感染实验, 测试每个家系对 WSSV 的抗性。

1.3 中国对虾遗传参数估计

中国对虾育种目标性状的遗传参数和个体性状育种值, 主要是利用混合模型, 通过 BLUP 法结合 REML 方法进行估计得到^[16]。

本研究估计育种值采用单性状动物模型, 其中 170 d 体质量的分析模型:

$$y_{ijk} = \mu + s_j + t_k + a_i + f_l + b_1 x_{ijkl} + b_2 d_{ijkl} + e_{ijkl}$$

抗 WSSV 存活时间分析模型:

$$y_{il} = \mu + a_i + f_l + b_2 d_{il} + e_{il}$$

存活率分析模型:

$$y_{ikl} = \mu + t_k + a_i + f_l + b_2 d_{ikl} + e_{ikl}$$

式中, μ 为总体均值, y_{ijkl} , y_{il} , y_{ikl} 分别为个体质量、抗 WSSV 存活时间和水泥池存活性状值, s_j 为第 j 个性别效应, t_k 为第 k 个水泥池效应, a_i 为第 i 个体的育种值, f_l 为全同胞家系组效用, b_1 和 b_2 为回归系数, x_{ijkl} 和 d_{ijkl} 分别为家系标记时平均体质量、日龄协变量, e_{ijkl} 、和 e_{il} e_{ikl} 为随机残差效应。

1.4 综合选择指数计算及配种方案的制定

通过百分比加权的形式, 分别赋予生长速度、抗 WSSV 存活时间和存活率的加权值为 80%、15% 和 5%, 并对性状育种值进行标准化, 获得综合选择指数。按照每个家系及个体的综合选择指数大小进行家系间及家系内留种, 并根据系谱信息, 利用“水产动物育种分析与管理系统”(AQUABREEDING GS)^[17]设计后代近交系数控制在 1% 以内的留种个体间的交配方案, 继续进行下一代家系的培育及性状测试。

1.5 中国对虾遗传进展计算

依据综合育种值高低, 选取平均育种值家系和高育种值家系各 6~10 个。从每个家系的后代中随机抽取相同数目的幼虾, 标记后混合养殖, 于对虾养殖池中对比测试生长速度和养殖存活率, 用感染实验测试 WSSV 抗性。

对于生长和抗 WSSV 存活时间等数据, 采用一般线性模型(general linear model, GLM)估计良种组与对照组的选择反应, 计算实现遗传进展。一般估计模型:

$$Y_{ijk} = \mu + ST_i + P_j + bA_k(ST_i) + e_{ijk}$$

式中, Y_{ijk} 为体质量或存活时间等性状的测定值, μ 为群体均值, ST_i 为性别与池塘固定效应, P_j 为组(良种组和对照组)固定效应, b 为回归系数, A_k 为入池前平均体质量(在 ST_i 内用作协变量), e_{ijk} 为随机残差。

1.6 中国对虾“黄海 2 号”与商品苗种对比测试

为评估选择后的累计进展, 将山东和河北商业育苗场生产的中国对虾苗种与“黄海 2 号”标记后混合养殖对比, 分别设置生长速度、抗 WSSV 存活时间和存活率的对比实验。

各性状遗传进展的计算模型同“中国对虾遗传

进展计算”。

2 结果

2.1 中国对虾“黄海 2 号”选育的家系构建结果

为尽量减少遗传参数估算时由于环境差异而造成的不同家系间的环境偏差, 在家系培育过程中, 采用标准化的培育方式进行家系培育, 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: 亲虾产卵、幼体培育、仔虾中间培育, 保持每个家系在各阶段的培育条件尽量一致, 主要包括培育容器大小、各培育阶段水的盐度、温度、幼体密度、饵料和充气等条件。对幼体培育数量也采取标准化操作, 在无节幼体、仔虾第 1 天及仔虾第 8 天时, 每个家系在相同阶段分别留取数量一致的个体进行培育。2005~2008 年建立的中国对虾全同胞家系和半同胞家系数目见表 1。

表 1 中国对虾每年家系构建情况
Tab.1 The result of family construction during the breeding program of *F. chinensis*

年份 year	全同胞家系数/个 number of full-sib families	半同胞家系数/组 number of half-sib families
2005	108	29
2006	69	12
2007	101	30
2008	119	20

2.2 中国对虾遗传参数估计结果

利用 REML 方法, 估计的中国对虾 170 d 体质量、抗 WSSV 存活时间和存活率的方差组分、遗传力、共同环境系数见表 2。中国对虾 170 d 体质量、抗 WSSV 存活时间和存活率的遗传力分别为 (0.22±0.16)、(0.14±0.12) 和 (0.03±0.02), 其中 170 d 体质量遗传力和抗 WSSV 存活时间为中等遗传力, 存活率为低遗传力。3 个性状的共同环境系数分别为 (0.024±0.064)、(1.600×10⁻⁷±0.055) 和 (0.060±0.032), 共同环境效应均较小。

3 个性状间家系表型值和育种值的相关系数见表 3。3 个性状家系表型值间相关系数, 以 170 d 体质量和抗 WSSV 存活时间的值最高(0.35), 并且达到了显著水平($P < 0.05$)。170 d 体质量与存活率以及抗 WSSV 存活时间与存活率的相关系数均较小, 分别为 0.12, 0.14, 并且未达到显著性水平($P > 0.05$)。3 个性状家系育种值间的相关系数均较小, 并且统计检验未达到显著性水平。其中 170 d

体质量与抗 WSSV 存活时间的相关系数最高 (0.038), 170 d 体质量与存活率, 抗 WSSV 存活时间与存活率之间为负相关, 其值分别为 -0.24 和 -0.027。

表明, 每选择一代后, 实现的平均遗传进展为生长速度 13.56%(表 4), 抗病力 6.76%(表 5), 存活率 5.05%(表 6)。3 个性状中, 收获体质量的加权最大、遗传力最高, 每代获得的遗传进展稳定在 12% 以上; 抗 WSSV 存活时间与存活率遗传力较低, 每代获得的遗传进展相对小且不稳定。

2.3 中国对虾遗传进展计算结果

高育种值家系和平均育种值家系的对比结果

表 2 动物模型 REML 方法估计的生长性状的方差组分、遗传参数

Tab.2 Variance components and genetic parameters estimated for growth traits using animal model and REML method

性状 traits	方差 variances				C^2	h^2
	σ_p^2	σ_a^2	σ_e^2	σ_f^2		
170 d 体质量/g 170 d body weight	3.31	0.74	2.49	0.081	0.024±0.064	0.22±0.16
抗 WSSV 存活时间/h anti-WSSV survival time	678.70	94.57	584.12	0.0001	1.6E-07±0.055	0.14±0.12
存活率/% survival rate	1.09	0.028	1	0.07	0.060±0.032	0.030±0.021

注: σ_p^2 为表型方差, σ_a^2 为加性遗传方差, σ_e^2 为残差, σ_f^2 为全同胞家系方差, C^2 为共同环境系数, h^2 为遗传力。

Notes: σ_p^2 is phenotype variance, σ_a^2 is additive genetic variance, σ_e^2 is residual variance, σ_f^2 is full-sib variance, C^2 is common environment effect, and h^2 is Heritability.

表 3 3 个性状家系表型值和育种值相关分析

Tab. 3 Correlation analysis of family phenotypic value and breeding value for the three traits

性状 traits	170 d 体质量 170 d body weight	抗 WSSV 存活时间 anti-WSSV survival time	存活率 survival rate
170 d 体质量 170 d body weight	1.00	0.35*	0.12
抗 WSSV 存活时间 anti-WSSV survival time	0.038	1.00	0.14
存活率 survival rate	-0.24	-0.027	1.00

注: 对角线以上为表型相关系数, 对角线以下为育种值相关系数, *表示差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。

Notes: Phenotypic correlation coefficient is above the diagonal line, breeding value correlation coefficient is under the diagonal line. *means significant correlation ($P < 0.05$).

表 4 高育种值家系组和平均育种值家系组校正后体质量平均值比较

Tab. 4 Comparison of average body weight after calibration between high breeding value group and average breeding value group

年份 year	组类型 group type	家系数 family number	个体数量 individual number	校正后平均体质量/g average body weight after calibration	遗传进展/% genetic gain
2006	高育种值家系组 high breeding value group	10	178	20.680	12.23
	平均育种值家系组 average breeding value group	10	172	18.427	
2007	高育种值家系组 high breeding value group	8	78	16.724	15.56
	平均育种值家系组 average breeding value group	8	74	14.472	
2008	高育种值家系组 high breeding value group	6	136	18.008	12.91
	平均育种值家系组 average breeding value group	6	128	15.949	

表 5 高育种值家系组和平均育种值家系组校正后抗 WSSV 存活时间平均值比较

Tab. 5 Comparison of anti-WSSV survival time after calibration between high breeding value group and average breeding value group

年份 year	组类型 group type	家系数量 family number	个体数量 individual number	校正后抗 WSSV 存活时间/h anti-WSSV survival time after calibration	遗传进展/% genetic gain
2006	高育种值家系组 high breeding value group	10	330	110.856	4.15
	平均育种值家系组 average breeding value group	10	325	106.437	
2007	高育种值家系组 high breeding value group	8	209	88.585	6.38
	平均育种值家系组 average breeding value group	8	203	83.269	
2008	高育种值家系组 high breeding value group	6	209	86.164	9.74
	平均育种值家系组 average breeding value group	6	224	78.520	

表 6 高育种值家系组和平均育种值家系组存活率平均值比较

Tab. 6 Comparison of survival rate between high breeding value group and average breeding value group

年份 year	组类型 group type	家系数量 family number	入池个体数量 initialized individual number	出池个体数量 survival number	存活率/% survival rate	遗传进展/% genetic gain
2006	高育种值家系组 high breeding value group	10	300	178	59.33	3.49
	平均育种值家系组 average breeding value group	10	300	172	57.33	
2007	高育种值家系组 high breeding value group	8	120	78	65.00	5.40
	平均育种值家系组 average breeding value group	8	120	74	61.67	
2008	高育种值家系组 high breeding value group	6	180	136	75.56	6.26
	平均育种值家系组 average breeding value group	6	180	128	71.11	

2.4 中国对虾“黄海 2 号”与商品苗种对比测试结果

为评估选择后的累计进展, 2008 年, 将山东和河北商业育苗场生产的中国对虾苗种与“黄海 2 号”标记后混合养殖对比, 分别设置生长速度、抗病力和存活率的对比实验。对比的结果显示, 在相同的条件下, 除存活率指标略低于山东昌邑苗种外, “黄海 2 号”的其余各项测量指标平均高于所有苗种, 其中生长速度差别最大, 与山东昌邑、山东日照和河北苗种相比较, 分别提高 34.76%、38.14% 和 34.64%, 平均 35.85%(表 7), 抗 WSSV 能力平均提高 15.85%(表 8), 养殖存活率平均提高 5.35%(表 9)。

3 讨论

对虾的生长指标、WSSV 抗性和池塘存活率是育种工作者和研究人员关注的主要问题, 也是进行选择育种的重点性状。数量遗传参数的估计将有助于更好地理解遗传因素对特定群体某一性状的表型影响程度, 遗传参数估计的准确程度会直接影响选择育种的进展。准确合理的遗传参数是制定选择育种计划的理论基础和前提。鱼类和甲壳类等品种的生长性状遗传参数估计和系统育种工作已经取得了一定的进展。Quinton 等^[18]对大西洋鲑 (*Salmo salar*) 全同胞家系的收获体质量遗传力估计值为 0.1~0.2, Fishbak 等^[19]利用 MTDFREML 方

表 7 黄海 2 号和商品苗种矫正后体质量平均值比较

Tab. 7 Comparison of average body weight after calibration between “Yellow Sea 2” and commercial seed

苗种来源 source of seed	家系数量 family number	个体数量 individual number	校正后平均体质量/g average body weight after calibration	遗传进展/% genetic gain
黄海 2 号 Yellow Sea 2	6	301	16.232	
山东昌邑 CY	1	134	12.045	34.76
山东日照 RZ	1	99	11.750	38.14
河北 HB	1	51	12.056	34.64

表 8 黄海 2 号和商品苗种矫正后抗 WSSV 存活时间平均值比较

Tab. 8 Comparison of anti-WSSV survival time after calibration between “Yellow Sea 2” and commercial seed

苗种来源 source of seed	家系数量 family number	个体数量 individual number	校正后抗 WSSV 存活时间/h anti-WSSV survival time after calibration	遗传进展/% genetic gain
黄海 2 号 Yellow Sea 2	5	173	87.623	
山东昌邑 CY	1	36	78.063	12.25
山东日照 RZ	1	35	76.466	14.59
河北 HB	1	52	72.596	20.70

表 9 黄海 2 号和商品苗种矫正后存活率平均值比较

Tab. 9 Comparison of survival rate between “Yellow Sea 2” and commercial seed

苗种来源 source of seed	入池个体数量 initialized individual number	出池个体数量 survival number	存活率/% survival rate	遗传进展/% genetic gain
黄海 2 号 Yellow Sea 2	355	301	84.79	
山东昌邑 CY	149	134	89.93	-5.72
山东日照 RZ	125	99	79.20	7.06
河北 HB	69	51	73.91	14.72

法得到虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的体长, 体质量等生长性状的遗传力为 0.36~0.72。Hetzel 等^[20]得到的日本对虾生长性状现实遗传力为 0.16~0.31, 认为日本对虾生长遗传力属于中度遗传力。Benzie 等^[21]利用半同胞资料对斑节对虾 6 周和 10 周生长性状的遗传力进行估计, 总体长和湿体质量的父系半同胞遗传力为 0.1, 母系半同胞遗传力为 0.39。Perez-Rostro 等^[22]利用全同胞资料对凡纳滨对虾在 17 周、23 周和 29 周遗传力生长性状和体质量进行了估计, 遗传力范围为(0.15 ± 0.16)~(0.35 ± 0.18), 对收获生长性状和体质量的遗传力引入性别固定效应后, 遗传力为(0.14 ± 0.05)~(0.23 ± 0.07)。Gitterle 等^[23]在标准养殖条件下从凡纳滨对虾两个品系收获体质量得到的遗传力为 0.17~0.24。Goyard 等^[24]得到在蓝对虾(*P. stylirostris*)生长速率的现实遗传力为 0.11。影响估计结果的因素很多,

同一品种的不同群体具有不同的遗传背景和遗传结构组成, 群体所处的生长环境不同可能引起估计结果有所不同。中国对虾“黄海 2 号”估算的 170 d 体质量的遗传力为 0.22, 表明中国对虾生长性状是中度遗传力, 对中国对虾进行选择育种具有大的潜力, 可以获得较大的遗传进展。这些结果为中国对虾进一步的选择育种提供了理论依据。

虽然对虾类有关抗病力遗传参数报道较少, 但更多的研究结果证实对虾的抗病力是由遗传决定而非属获得性免疫抗性。经过 15 代以上的筛选, IFREMER 培育出蓝对虾 SPR43, 对 IHNV 有明显的抗性^[11]。美国夏威夷海洋研究所从 1995 年开始进行凡纳滨对虾的选育研究, 到 1999 年共建立 500 个以上的家系测定生长速度和抗 TSV 的遗传力。其研究结果表明, 凡纳滨对虾的抗 TSV 的遗传力为(0.09 ± 0.03), 处于很低的水平。尽管抗

TSV 的遗传力很低,但家系间 TSV 感染后的存活率变化很大。如 1977 年家系的感染实验,在经口饲法感染 14 d 后,家系的存活率从 0%到 88%。1999 年, Fjalestad 等^[25]报道凡纳滨对虾抗 TSV 性状的母系半同胞遗传力为(0.22±0.09); 2002 年, Argue 等^[26]报道了凡纳滨对虾抗 TSV 的现实遗传力为(0.28±0.14)、父系半同胞遗传力为(0.19±0.08)。中国对虾“黄海 2 号”抗 WSSV 的遗传力为 0.14,也属于较低的遗传力,但通过与平均育种值家系比较,获得的平均遗传进展为 6.76%,说明对中国对虾进行抗 WSSV 选择,仍取得了一定效果。

性状间的遗传相关可以描述为不同性状间由于各种遗传因素所造成的相关程度的大小。在家系水平上,中国对虾 3 个性状育种值间并无显著的相关关系。也就是说,在实际的中国对虾选择育种项目中,如果仅选育单个性状优良的品种,譬如生长快品种(品系),其抗逆性,如抗 WSSV 和池塘存活率并不一定优良,这势必会影响品种的适应性,对于品种的推广十分不利。随着计算机技术的发展,基于单性状、多性状 BLUP 育种值估计的综合育种值方法,具有更高的选择效率。相对于经典的选择方法, BLUP 方法不但能够利用更多的信息来源,而且在同一个混合模型方程组中,既能估计出固定的环境效应和遗传效应,又估算出随机的遗传效应,其育种值估计的精度更高。在进行中国对虾多性状选择时,通过百分比加权的形式,计算综合选择指数。通过此种方法计算,不但免除了多性状 BLUP 估计育种值的复杂和不准确,而且不会影响计算结果的精确度。从高育种值家系和平均育种值家系的对比结果来看,生长速度、抗 WSSV 存活时间及存活率均获得了一定的遗传进展,收获体质量的加权最大、遗传力最高,每代获得的遗传进展稳定在 12%以上,抗 WSSV 存活时间与存活率加权小、遗传力低,每代获得的遗传进展也相对较小。

一个高效合理的配种方案,在保持低近交率的同时,也要能够保证育种项目遗传进展的可持续性。在中国对虾“黄海 2 号”育种项目中,制定交配方案主要是考虑以下几个原则:待搭配个体间的亲缘关系(近交系数小于 0.01);个体的综合选择指数(家系内选择综合选择指数高的个体,家系间随机搭配);每个家系入选个体的数量;雌雄性别

比例等因素。这保证了中国对虾育种项目的高效性、持续性。

中国对虾“黄海 2 号”的育种群体是以中国对虾“黄海 1 号”、“即抗 98” 2 个养殖群体,朝鲜半岛南海群体、乳山湾群体、青岛沿岸群体及海州湾群体 4 个自然群体,通过不平衡巢式交配设计方案,建立的基础群体。与中国对虾“黄海 1 号”相比,两个选育品种选育的侧重点不同,“黄海 1 号”倾向于快速生长方面选育,其经过连续 6 代的群体选育,表现出生长快、抗逆性强等优良特点,选育群体的体长比对照平均增长了 8.40%,体质量增长了 26.86%,发病率不足 10%^[27]。“黄海 2 号”更多的是侧重于抗病力和染病后的存活率,经过连续 4 代的群体选育,平均每代的遗传进展为生长速度, 13.56%;抗病力, 6.76%;存活率, 5.05%。3 个性状中,收获体质量的遗传力最高、加权最大,每代获得的遗传进展稳定在 12%以上;抗 WSSV 存活时间与存活率遗传力较低,每代获得的遗传进展相对小且不稳定。鉴于病害是当前对虾养殖的主要问题,对虾抗病育种的研究仍然需深入。为更快地地培育出抗病力更强的新品种,解决对虾养殖病害问题,还需要进一步研究来查明对虾抗病的遗传机制,提高抗病性状的选择强度,快速培育对虾抗病新品种。

参考文献:

- [1] 中国农业部渔业局.中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988.
- [2] 蔡生力, 黄健, 王崇明, 等. 1993—1994 年对虾爆发病的流行病学研究[J]. 水产学报, 1995, 19(2): 112—119.
- [3] Zhan W B, Yu K K, Meng Q X. Study on baculovirus disease of *Penaeus chinensis* [J].中国水产科学, 1995, 2(3): 22—28.
- [4] 史成银, 黄健, 杨冰, 等. 应用 PCR 和 RT-PCR 技术对 4 种对虾病毒的检测[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 1—5.
- [5] Walker P J, Gudkovs N, Padiyar P A, et al. Longitudinal disease studies in small-holder black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) farms in Andhra Pradesh, India. I. High prevalence of WSSV infection and low incidence of disease outbreaks in BMP ponds [J]. Aquaculture, 2011, 318 (3-4) : 277—282.
- [6] 迟英杰. 日本发生病毒性虾病造成对虾大量死亡[J]. 1994, 12: 42—43.
- [7] 冯东岳, 钱冬. 2005-2009 年凡纳滨对虾白斑综合征和桃拉综合征的流行情况分析[J]. 南方水产科学, 2011,

- 7(1): 78–83.
- [8] 李健, 王清印. 中国对虾高健康养殖品种选育的初步研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2000, 39(z1): 86–90.
- [9] 孟宪红, 孔杰, 刘萍, 等. 中国明对虾抗白斑综合症病毒分子标记的筛选[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1): 14–19.
- [10] Brock J A, Gose R B, Lightner D V, *et al.* Recent developments and an overview of Taura Syndrome of farmed shrimp in the Americas [M]//Flegel T W, MacRae I H. eds. Diseases in Asian aquaculture III. Fish health section, Manila:Asian Fisheries Society, 1997: 275–283.
- [11] Goyard E, Patrois J, Peignon J M, *et al.* IFREMER's shrimp genetics program [J]. The Advocate, 1999, 2(6): 26–28.
- [12] 陈锚. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长性状家系选育和雌性化诱导技术[D]. 广州: 中山大学, 2006.
- [13] Preston N P, Crocos P J, Keys S J, *et al.* Comparative growth of selected and non-selected Kuruma shrimp *Penaeus(Marsupenaeus) japonicus* in commercial farm ponds; implications for broodstock production [J]. Aquaculture, 2004, 231 (1-4) : 73–82.
- [14] 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, 32(11): 5–8.
- [15] Marcos D D, Raul R, Chris H, *et al.* Artificial family selection based on growth rate in cultivated lines of *Litopenaeus vannamei* (Decapoda, Penaeidae) from Venezuela [J]. Genetics and Molecular Biology, 2008, 31(4): 850–856.
- [16] 栾生, 孔杰, 张天时, 等. 基于表型值和育种值的中国对虾生长、抗逆性状相关分析[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 14–20.
- [17] 栾生, 孔杰, 王清印, 等. 水产动物育种分析与管理系统的开发和应用[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 92–100.
- [18] Quinton C D, Mcmillan I, Glebe B D. Development of an Atlantic salmon (*Salmo salar*) genetic improvement program: Genetic parameter of harvest body weight and carcass quality traits estimated with animal models [J]. Aquaculture, 2005, 247(1-4): 211–217.
- [19] Fishback A G, Danzmann R G, Ferguson M M, *et al.* Estimates of genetic parameters and genotype by environment interactions for growth traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as inferred using molecular pedigrees [J]. Aquaculture, 2002, 206(3-4): 137–150.
- [20] Hetzel D J S, Crocos P J, Davis G P, *et al.* Response to selection and heritability for growth in the Kuruma prawn, *Penaeus japonicus* [J]. Aquaculture, 2000, 181(3-4): 215–223.
- [21] Benzie J A H, Kenway M, Trott L. Estimates for the heritability of size in juvenile *Penaeus monodon* prawns from half-sib matings [J]. Aquaculture, 1997, 152(1-4): 49–53.
- [22] Perez-Rostro C I, Ibarra A M. Heritabilities and genetic correlations of size traits at harvest size in sexually dimorphic Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) grown in two environments [J]. Aquaculture Research, 2003, 34(12): 1079–1085.
- [23] Gitterle T, Rye M, Salte R, *et al.* Genetic (co) variation in harvest weight and survival in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* under standard commercial conditions [J]. Aquaculture, 2005, 243(1-4): 83–92.
- [24] Goyard E, Patrois J, Peignon J M, *et al.* Selection for better growth of *Penaeus stylirostris* in Tahiti and New Caledonia [J]. Aquaculture, 2002, 204(3-4): 461–468.
- [25] Fjalestad K T, Carr W H, Lotz J, *et al.* Genetic variation and selection response in body weight and disease resistance in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. Aquaculture, 1999, 173: 10.
- [26] 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.
- [27] 李健, 刘萍, 何玉英, 等. 中国对虾快速生长新品种“黄海 1 号”的人工选育[J]. 水产学报, 2005, 29(1): 1–5.

The new variety of *Fenneropenaeus chinensis* “Huanghai No.2”

KONG Jie*, LUO Kun, LUAN Sheng, WANG Qing-yin, ZHANG Qing-wen,

ZHANG Tian-shi, MENG Xian-hong, WANG Wei-ji, RUAN Xiao-hong

(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)

Abstract: Two cultured populations of “Huanghai No. 1” variety and “Jikang 98” strain and four wild populations (the south coast of the Korean Peninsula population, Rushan Bay population, Qingdao coast population and Haizhou Bay population) of *F. chinensis* were selected as basic population via unbalanced nested breeding design in 2005. The multi-traits composite selection method was designed and applied for shrimp *F. chinensis* genetic breeding program, and three goal traits for growth rate, survival time and survivorship in resistance to white spot syndrome virus (WSSV) were estimated. The estimated results of genetic parameters also show that the heritabilities of the shrimps were 0.22 for body weight at 170 d, 0.14 for survivorship in resistance to WSSV, 0.03 for survival time. According to the information obtained from estimating the breeding value of individuals using BLUP method and the method of percentage weight, the group was selected on an index weighted 80% for growth rate, 15% for WSSV resistance and 5% for survival rate. In addition the breeding values (BV) were standardized, and then aggregate selection index was obtained. The next generation of families was selected to produce based on selection index values. According to the information of Pedigree, the best mating arrangement was designed and increasing number of inbreeding coefficient was lower than 0.01. After four generations of selection, statistical results show that the genetic gains of each generation on average were 13.56% for growth rate, 6.76% for disease-resistance and 5.05% for survival rate. It was revealed that the heritability of body weight was the highest and with the maximal weight, in addition, the genetic gain of each generation was steadily above 12%. However, the heritability of survivorship in resistance to WSSV and survival rate were lower relatively, and the genetic gain of each generation was less and unstable. As the first *F. chinensis* new variety with multi-traits (better growth performance, higher survival rate and longer survival time after WSSV infection) for extensively farming in China, “Huanghai No.2” was approved by China National Aquaculture Variety Approval Committee as a new variety for aquaculture in 2009.

Key words: *Fenneropenaeus chinensis*; multi-traits selection; growth rate; survival rate; resistance to white spot syndrome virus (WSSV)

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