

凡纳滨对虾生长性状遗传参数的估计

徐如卫¹, 钱昭英², 刘小林^{2*}, 路正¹, 任晋东³, 杨福生³

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315211;

2. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 杭州萧山东海养殖有限责任公司, 浙江 杭州 311228)

摘要: 采用平衡巢式设计方法和人工授精技术, 每个雄体配 3 个雌体, 构建了 18 个父系半同胞家系和 54 个母系全同胞家系。分别测定了每个母系生长到 5 月龄 60 个全同胞个体的体质量、全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节背高、第三腹节背高和第一腹节背宽 9 个生长性状, 应用数量遗传学原理, 采用方差和协方差分析的方法, 估算了 5 月龄凡纳滨对虾生长性状的遗传力及各性状间的遗传相关及表型相关。结果表明, 利用父系半同胞组内相关法估计的遗传力是凡纳滨对虾各生长性状遗传力的无偏估计值。其中, 体质量、全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节背高、第三腹节背高和第一腹节背宽狭义遗传力的估计值分别为 0.460、0.392、0.303、0.234、0.251、0.330、0.282、0.321 和 0.356, 属于中高等遗传力范围, 显示出较高的选择育种潜力。基于父系半同胞遗传协方差组分及表型协方差分别估计的各性状间的遗传相关及表型相关表明, 各个性状间均表现出高的正相关, 其中遗传相关在 0.750~0.976, 体质量—全长的遗传相关为最大(0.976), 全长—第三腹节背高的遗传相关为最小(0.750), 表型相关为 0.507~0.947, 体质量—全长为最大(0.947), 第一腹节背高—头胸甲高为最小(0.507)。经 *t* 检验, 各性状间遗传相关及表型相关均达到极显著水平, 表明以任意一个生长性状为参数进行选育, 均可达到改良凡纳滨对虾生长情况的效果。

关键词: 凡纳滨对虾; 生长性状; 遗传力; 遗传相关; 表型相关

中图分类号: Q 178.1; S 917.4

文献标志码: A

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*), 也称南美白对虾, 属于节肢动物门 (Arthropoda), 甲壳纲 (Crustacean), 十足目 (Decapoda), 自然分布于秘鲁至墨西哥的太平洋沿岸。由于其具有生长速度快、肉质好和抗逆性强等优点, 目前已是全球最主要的对虾养殖品种。我国自 1998 年从美国夏威夷引进该虾以来, 先后开展了养殖模式、饲料营养、苗种繁育及疾病防治方面的研究^[1-6], 现已成为我国最重要的养殖品种。然而, 随着近些年养殖规模的扩大, 开始出现种质衰退现象, 主要包括生长速度减慢、抗逆性变差、繁殖力降低以及大规模的疾病暴发。因此, 进行凡纳滨对虾遗传改良,

培育出具有生长快速、抗逆抗病性强的凡纳滨对虾新品种, 已是市场急需, 更是对虾养殖业可持续发展的趋势。

常规的遗传改良手段要有杂交及选择, 大量的实践证明, 选择育种在水产动物遗传改良方面效果较好, 具体表现在选择育种可以调节生物对人工环境的适应能力, 改善重要的经济性性状。遗传参数估计作为选择育种中的一项重要工作, 是计算育种值的基础, 也是制定及优化育种方案、探讨选育效果的重要依据。遗传力的估计将有助于理解遗传因素对特定群体某一性状表型影响的程度, 而性状间的遗传相关因其描述性状间由于遗传因素所造成

收稿日期: 2012-09-11 修回日期: 2013-03-08

资助项目: 科技部农业科技成果转化基金项目 (2012GB2E200361); 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2006AA10A406); 中国科学院实验海洋生物学开放课题; 杭州市钱江特聘专家项目

通信作者: 刘小林, E-mail: liuxiaolin@nwsuaf.edu.cn

的相关程度大小,因而对此进行研究可以对性状进行间接选择及早期选择,得到较好的选择反应。通过性状间表型相关的研究,可以明确定量两性状间的关系,有利于制定合理的多性状选择方案,进而在实际育种过程中排除一些不利的或相关性小的性状,以达到目标性状的最佳选择进展。

20 世纪末选择育种已经开始应用到水产动物育种上,但主要集中在鱼类^[7-12],对蟹、虾和贝等水产动物的相关研究甚少。目前虾类遗传参数的估计仅见少量报道^[13-16],其研究结果因使用不同的群体或采用不同的统计方法差异较大,并且只集中在少数性状如体质量及体长的遗传参数估计上,不能适用于对虾遗传改良的通用参考依据。凡纳滨对虾遗传改良工作起步较晚,迄今在国内未见多个生长性状遗传参数的报道。鉴于国内凡纳滨对虾养殖规模的逐步增加,而抗病、抗逆和生长等性能日益降低等现状,基于凡纳滨对虾高繁殖性能的生物学特性,实验采用同胞分析方法对其 9 个生长性状的遗传参数进行估计,旨在为建立凡纳滨对虾科学合理的育种方法和策略提供必要的基础依据及技术参数。

1 材料与方方法

1.1 实验方法

实验所用的亲本于 2008 年采自海南省南疆生物有限公司育种场养殖的凡纳滨对虾亲虾。采用巢式交配设计方法^[17],选取健康无损,性状优良,性腺发育良好的雄性个体 18 尾,通过人工授精的方法每尾雄虾与 3 尾发育成熟的健康雌虾交配,共建立 18 个半同胞家系及 54 个全同胞家系。

1.2 幼体培育及标记

随机挑取各全同胞家系孵化出的无节幼体

1 500 尾分别放入盛有过滤海水的 200 L 聚乙烯桶中培育,每个家系都分开培育,密度相同,水温控制在 20 ℃ 左右。根据对虾不同发育阶段,投喂适量由微藻类、人工饲料、轮虫和卤虫组成的幼体饵料。每天换水,充气,各家系之间严格避免混杂。在仔虾 10 d 后,从每个家系中随机取 300 尾幼体转移到室外 3 m³ 圆桶内进行培育,每天换水,投料,直到凡纳滨对虾体长达 3 cm 时,在每个家系个体的第 6 腹节处注射不同组合的荧光标记,以区分不同的家系。从每个家系标记的个体中随机选择 60 尾对虾放入 1 个水泥池子中进行培育。

1.3 生长性状的测量

在凡纳滨对虾各家系生长日龄达 120 d 时,测量所建的 18 个半同胞(54 个全同胞)家系的对虾体质量(BW)、全长(TL)、体长(BL)、头胸甲长(CL)、头胸甲宽(CW)、头胸甲高(CD)、第一腹节背高(FASD)、第三腹节背高(TASD)和第一腹节背宽(FASW)共 9 个生长性状。共测量 3 240 尾。

1.4 统计分析方法

利用 SPSS 软件的统一线性模型(general line model, GLM)进行生长性状数据的方差及协方差分析,在进行数据分析前对所有参数进行正态性检验(Kolmogorov-Smirnov)。二因素系统分组的方差分析及协方差分析的数学模型为

$$X_{ijk} = \mu + s_i + d_{ij} + e_{ijk}$$

式中, X_{ijk} 表示某一性状第 k 个个体的生长指标, μ 代表总体均值, s_i 表示第 i 个雄性效应, d_{ij} 代表第 i 个雄性内的第 j 个个体的雌性效应, e_{ijk} 代表随机误差。全同胞资料表型变量的方差组成及表型变量间的协方差组成见表 1 和表 2。

表 1 表型变量组成的方差分析

Tab. 1 Analysis of variance for phenotypic variation

| 变异来源 source of variance | 自由度 degree of freedom | 平方和 sum of squares | 均方 mean square | 期望均方 expected mean square |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------------|
| 雄亲间 sires | $S - 1$ | SS_S | MS_S | $\sigma^2 + n\sigma_D + nD\sigma_S^2$ |
| 雄亲内雌亲间 dams/sires | $S(D - 1)$ | $SS_{D(S)}$ | $MS_{D(S)}$ | $\sigma^2 + n\sigma_D^2$ |
| 子代 offspring | $SD(n - 1)$ | SS | MS | σ^2 |
| 总和 total | $SDn - 1$ | SS_T | | |

注: S 为雄性亲本数, D 为每一雄性亲本所配雌性亲本数, n 为每一雌性亲本的后代个数, σ_S^2 为父系半同胞方差, σ_D^2 为母系全同胞方差, σ^2 为全同胞个体之间的方差。

Notes: S is the numbers of sires; D is the number of dams; n is the number of progenies of every dam; σ_S^2 is the variance for sires half-sibs, σ_D^2 is the variance for the dams full-sibs, σ^2 is the variance for the full-sibs.

表 2 表型变量间组成的协方差分析
Tab. 2 Analysis of covariance for phenotypic variation

| 变异来源 source of variance | 自由度 degree of freedom | 交积和 sum of cross product | 均积 mean product | 期望均积 expected mean product |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
| 雄亲间 sires | $S - 1$ | CP_S | MP_S | $cov(x, y) + ncov_D(x, y) + nDcov_S(x, y)$ |
| 雄亲内雌亲间 dams/sires | $S(D - 1)$ | $CP_{D(S)}$ | $MP_{D(S)}$ | $cov(x, y) + ncov_D(x, y)$ |
| 子代 offspring | $SD(n - 1)$ | CP | MP | $cov(x, y) \setminus$ |
| 总和 total | $SDn - 1$ | CP_T | | |

注: S 为雄性亲本数, D 为每一雄性亲本所配雌性亲本数, n 为每一雌性亲本的后代个数, $cov_S(x, y)$ 为父系半同胞间协方差, $cov_D(x, y)$ 为母系全同胞协方差, $cov(x, y)$ 为后裔全同胞个体间协方差。

Notes: S is the numbers of sires; D is the number of dams; n is the number of progenies of every dam; $cov_S(x, y)$ is the covariance for sires half-sibs; $cov_D(x, y)$ is the covariance for the dams' full-sibs; $cov(x, y)$ is the covariance for the full-sibs.

1.5 遗传参数的估计

根据全同胞资料作二因素系统分组方差分析及协方差分析可以分别得到以下 3 个遗传力估计值及遗传相关估计值:

$$h_s^2 = \frac{4\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_d^2 + \sigma^2}, h_d^2 = \frac{4\sigma_d^2}{\sigma_s^2 + \sigma_d^2 + \sigma^2},$$

$$h_{s+d}^2 = \frac{2(\sigma_s^2 + \sigma_d^2)}{\sigma_s^2 + \sigma_d^2 + \sigma^2}$$

$$r_s = \frac{cov_S(x, y)}{\sigma_{s_x} \cdot \sigma_{s_y}}, r_d = \frac{cov_D(x, y)}{\sigma_{d_x} \cdot \sigma_{d_y}},$$

$$r_{s+d} = \frac{cov_S(x, y) + cov_D(x, y)}{\sqrt{(\sigma_{s_x}^2 + \sigma_{d_x}^2)(\sigma_{s_y}^2 + \sigma_{d_y}^2)}}$$

式中, h_s^2, h_d^2 及 h_{s+d}^2 分别代表父系半同胞, 母系全同胞及全同胞个体间估计的遗传力; r_s, r_d, r_{s+d} 分别为父系半同胞, 母系全同胞以及全同胞个体间估计的遗传相关。实验采用第一个公式估计性状

间遗传相关, 采用 t 检验对遗传力及各项相关系数进行显著性检验。性状间表型相关的计算公式

$$r_p = \frac{cov_p(x, y)}{\sigma_{p_x} \cdot \sigma_{p_y}}$$

2 结果

2.1 5 月龄凡纳滨对虾各生长性状的表型参数

3 240 尾凡纳滨对虾各个生长性状数据的初步统计结果见表 3。由表 3 可以看出 5 月龄凡纳滨对虾的生长情况。9 个性状变异系数为 13.481% ~ 33.722%, 表明家系间各性状的变异较大, 进行凡纳滨对虾性状的遗传改良具有较大的潜力。其中第三腹节背高变异系数最大 (33.722%), 表明在家系间第三腹节背高存在很大的变异, 而全长的变异系数最小 (13.481%) 表明家系间全长的变异相对较小。

表 3 凡纳滨对虾 5 月龄各性状的平均值、标准差及变异系数 ($n = 3\ 240$)

Tab. 3 Means, standard deviations and coefficients of variation (CV) for various traits of *L. vannamei* 5 months old ($n = 3\ 240$)

| 性状 trait | 体质量 BW | 全长 TL | 体长 BL | 头胸 甲长 CL | 头胸 甲宽 CW | 头胸 甲高 CD | 第一腹节 背高 FASD | 第三腹节 背高 TASD | 第一腹节 背宽 FASW |
|-------------|-----------|----------|----------|----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 平均数 mean | 13.108 | 11.945 | 10.048 | 2.896 | 1.473 | 1.578 | 1.35 | 1.379 | 1.316 |
| 标准差 SD | 3.586 | 1.61 | 1.417 | 0.598 | 0.202 | 0.219 | 0.264 | 0.465 | 0.249 |
| 变异系数 CV | 27.358 | 13.481 | 1.103 | 20.663 | 13.758 | 13.937 | 19.606 | 33.722 | 18.934 |

2.2 5 月龄凡纳滨对虾 9 个生长性状的遗传力估计

5 月龄凡纳滨对虾 9 个性状方差分析表明, 雄性亲本间及雄内雌性亲本间的体质量、全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节背高、第三腹节背高和第一腹节背宽 9 个性状的 F 检验均存在极显著差异 ($P < 0.01$), 可以进行遗

传力估计。由方差分析的结果及期望均方的方差组分构成, 可以建立由全同胞及半同胞协方差估计的各个原因方差组分的对应关系, 其中雌性亲本的方差大于雄性亲本的方差。根据计算的父系半同胞、母系全同胞、全同胞个体间的遗传方差组分分别估计 5 月龄凡纳滨对虾体质量、全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节背

高、第三腹节背高和第一腹节背宽的遗传力,估计结果见表 4。9 个性状的遗传力估计值分别为 0.460 ~ 0.518、0.392 ~ 0.414、0.303 ~ 0.409、0.234 ~ 0.315、0.251 ~ 0.354、0.330 ~ 0.398、0.282 ~ 0.412、0.321 ~ 0.420 和 0.356 ~ 0.429。

各性状遗传力估计值由高到低的估计方法分别是:母系全同胞 > 全同胞个体间 > 父系半同胞。依据各方差组分估计的各性状遗传力显著性检验 (t test) 结果均达到显著水平 ($P < 0.05$) 或极显著水平 ($P < 0.01$)。

表 4 5 月龄凡纳滨对虾各生长性状遗传方差组分估计的遗传力
Tab. 4 Heritability of growth traits in *L. vannamei* 5 months old

| 遗传力的估计方法 estimation methods of h^2 | 遗传力的估计结果 result of estimation | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | BW | TL | BL | CL | CW | CD | FASD | TASD | FASW |
| 雄性组分估计 sire component estimation | 0.460 * | 0.392 * | 0.303 * | 0.234 * | 0.251 * | 0.330 * | 0.282 * | 0.321 * | 0.356 * |
| 雌性组分估计 dam component estimation | 0.518 ** | 0.414 ** | 0.409 ** | 0.315 ** | 0.354 ** | 0.398 ** | 0.412 ** | 0.420 ** | 0.429 ** |
| 雄性组分 + 雌性组分估计 sire and dam component estimation | 0.489 ** | 0.403 ** | 0.356 ** | 0.275 ** | 0.303 ** | 0.364 * | 0.347 ** | 0.371 ** | 0.393 ** |

注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Notes: * indicates significant difference ($P < 0.05$), ** represent extremely significant difference ($P < 0.01$).

2.3 5 月龄凡纳滨对虾 9 个生长性状间遗传相关估计

5 月龄凡纳滨对虾体质量、全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节背高、第三腹节背高、第一腹节背宽两两性状间的协方差分析表明,雄性亲本间以及雄内雌性亲本间 9 个所测生长性状两两之间的 F 检验均存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。依据协方差分析结果与期望均积的组成构成,可以建立由全同胞及半同胞协方差估计各个原因协方差组分的对应关系。其中,雌性亲本的斜方差大于雄性亲本的斜方差。根据父系半同胞表型变量间的原因协方差组分及表型协方差分别估计 5 月龄凡纳滨对虾体质量—全长、体质量—体长、体质量—头胸甲长、体质量—头胸甲宽、体质量—头胸甲高、体质量—第一腹节背高、体质量—第三腹节背高、体质量—第一腹节背宽、全长—体长、全长—头胸甲长、全长—头胸甲

宽、全长—头胸甲高、全长—第一腹节背高、全长—第三腹节背高、全长—第一腹节背宽、体长—头胸甲长、体长—头胸甲宽、体长—头胸甲高、体长—第一腹节背高、体长—第三腹节背高、体长—第一腹节背宽、头胸甲长—头胸甲宽、头胸甲长—头胸甲高、头胸甲长—第一腹节背高、头胸甲长—第三腹节背高、头胸甲长—第一腹节背宽、头胸甲宽—头胸甲高、头胸甲宽—第一腹节背高、头胸甲宽—第三腹节背高、头胸甲宽—第一腹节背宽、头胸甲高—第一腹节背高、头胸甲高—第三腹节背高、头胸甲高—第一腹节背宽、第一腹节背高—第三腹节背高、第一腹节背高—第一腹节背宽、第三腹节背高—第一腹节背宽间的遗传相关及表型相关,结果见表 5。由表 5 可知,5 月龄凡纳滨对虾 9 个生长性状两两组合成 36 对性状间的遗传相关在 0.750 ~ 0.976,其中第三腹节背高—第一腹节背宽的遗传相关最小(0.750),全长—体质量

表 5 5 月龄凡纳滨对虾生长性状间的遗传相关及表型相关
Tab. 5 Genetics and phenotypic correlation of growth traits in *L. vannamei* 5 months old

| 性状 trait | BW | TL | BL | CL | CW | CD | FASD | TASD | FASW |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| BW | | 0.976 ** | 0.938 ** | 0.901 ** | 0.912 ** | 0.899 ** | 0.892 ** | 0.818 ** | 0.870 ** |
| TL | 0.947 ** | | 0.955 ** | 0.903 ** | 0.856 ** | 0.805 ** | 0.778 ** | 0.750 ** | 0.777 ** |
| BL | 0.912 ** | 0.939 ** | | 0.913 ** | 0.877 ** | 0.853 ** | 0.790 ** | 0.755 ** | 0.809 ** |
| CL | 0.886 ** | 0.897 ** | 0.907 ** | | 0.901 ** | 0.888 ** | 0.801 ** | 0.784 ** | 0.817 |
| CW | 0.891 ** | 0.789 ** | 0.801 ** | 0.843 ** | | 0.853 ** | 0.781 ** | 0.751 ** | 0.832 ** |
| CD | 0.829 ** | 0.761 ** | 0.799 ** | 0.837 ** | 0.774 ** | | 0.773 ** | 0.763 ** | 0.776 ** |
| FASD | 0.805 ** | 0.687 ** | 0.701 ** | 0.642 ** | 0.603 ** | 0.507 ** | | 0.812 ** | 0.809 ** |
| TASD | 0.783 ** | 0.645 ** | 0.699 ** | 0.599 ** | 0.597 ** | 0.509 ** | 0.765 ** | | 0.847 ** |
| FASW | 0.751 ** | 0.678 ** | 0.731 ** | 0.607 ** | 0.639 ** | 0.543 ** | 0.749 ** | 0.755 ** | |

注:对角线上方为遗传相关,下方为表型相关,** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Notes: Above the diagonal line is the genetic correlation, below it is the phenotypic correlation; ** indicates very significant difference ($P < 0.01$).

量的遗传相关最大(0.976);表型相关在0.507~0.947,其中头胸甲高一第一腹节背高表型相关最小(0.507),全长一体质量的表型相关最大(0.947)。经 t 检验,各性状间遗传相关和表型相关均到极显著水平($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 凡纳滨对虾生长性状遗传力估计值的范围

对5月龄凡纳滨对虾体质量、体长、全长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第一腹节背高、第三腹节背高和第一腹节背宽9个生长性状的狭义遗传力进行估计,结果表明各性状遗传力估计值的范围分别在0.460~0.518、0.392~0.414、0.303~0.409、0.234~0.315、0.251~0.354、0.330~0.398、0.282~0.412、0.321~0.420和0.356~0.429,经 t 检验,遗传力估计值均达到显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)水平。实验所得的遗传力估计值中,以母系全同胞方差组分估计的遗传力值最高,全同胞个体间值次之,父系半同胞最低,这与方差组分的计算结果相符合,表明存在较强的母性效应,可能是卵细胞质量、环境效应及上位效应的综合作用造成的结果,进而说明以父系半同胞组内相关法估计的遗传力较为准确可靠。

在凡纳滨对虾的选择育种中,Fjalestaad等^[18]对凡纳滨对虾收获时体质量的遗传力估计值为0.42~0.50,Andriantahina等^[19]对5月龄凡纳滨对虾的体质量遗传力估计值为0.515,这些研究所得结果与本研究所估计的遗传力大小(0.460~0.518)接近,表明遗传因素对凡纳滨对虾收获时体质量这一性状的影响较大。而De Donato等^[20]对体质量的遗传力估计值为0.65,Agrue等^[21]估计得到的凡纳滨对虾生长性状的遗传力更高,其中半同胞遗传力为0.84,现实遗传力为1.0。Perez-Rostro等^[22-23]利用43个全同胞家系资料分别对19、23、29周龄凡纳滨对虾全长、体质量、腹部长以及第一腹节宽的遗传力及相关系数进行了估计,遗传力值的范围为0.15~0.35,引入性别固定效应后,遗传力的估计范围为0.14~0.23。Gitterle等^[11]对标准化商业养殖及密集养殖环境中的两个凡纳滨对虾品系体质量的遗传力估计值为0.17~0.24。这些研究分析的凡纳滨对虾性状分别为生长不同时期的性状,与实验所用5月龄凡纳滨对虾不同,而且凡纳滨对虾所处

的养殖环境不同从而影响性状的表型值,造成了估计值的差异,还可能是因为分析时应用了不同的统计模型和参数估计方法,所以与实验结果存在一定的差异。影响遗传力估计结果的因素很多,包括群体的遗传背景,遗传结构组成,以及外界环境情况等。遗传参数的可靠与否主要取决于数据资料的质量和估计的方法。实验利用巢式设计方法构建多个半同胞及全同胞家系,对5月龄凡纳滨对虾多个生长性状的遗传力进行了估计,样本量较大,分析结果表明各性状遗传力估计值属于中高遗传力,表明选择育种对改良凡纳滨对虾部分生长性状具有重要作用,可以获得快的遗传进展。

3.2 5月龄凡纳滨对虾生长性状间的遗传相关及表型相关

实验计算的凡纳滨对虾各个生长性状间具有较高的遗传相关及表型相关,其中全长一体质量的遗传相关最大(0.976),第三腹节背高一第一腹节背宽的遗传相关最小(0.750),体质量一全长的表型相关最大(0.947),第一腹节背高一头胸甲高表型相关最小(0.507)。高的遗传相关说明控制这些生长性状的基因是紧密连锁的,或者这些基因是多效的。性状间的遗传相关受环境条件以及发育时期等因素的影响。马爱军等^[24]估算了6月龄大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)体长、全长、体高和体质量性状间的遗传相关及表型相关,其范围分别在0.888~0.985和0.864~0.957。王庆志等^[25]对长牡蛎(*Crassostrea gigas*)幼体不同生长时期壳高和壳长的遗传相关和表型相关进行了分析,结果发现二者的遗传相关系数为0.091~0.820,表型相关范围为0.224~0.360。这两项研究前者估计值略高于实验对凡纳滨对虾性状间遗传相关及表型相关估计值,而后者的估计值明显偏低,可能是由于所选物种不同而造成了的性状间估计值的差异。Perez-Rostro等^[22]研究发现上市凡纳滨对虾体长和体质量性状间存在高度正相关,第一腹节宽度和体质量及体长存在中度正相关,而实验中,上市凡纳滨对虾体长和体质量性状间的遗传相关和表型相关分别在0.938和0.912,第一腹节宽度和体质量及体长的遗传相关及表型相关分别在0.870及0.751,与Perez-Rostro等^[22]研究结果相近,表明控制凡纳滨对虾体质量及体长两性状的基因可能紧密连锁,在对体长进行选择的同时可以对体质量

量间接选择及早期选择,得到较好的选择反应。此外,Gitterle 等^[11]研究发现标准养殖条件下凡纳滨对虾体质量和存活率具有有利的正相关,认为在对凡纳滨对虾生长性状进行选择的同时可以得到存活率的间接选择反应。由于目前凡纳滨上市基本在 5 月龄前后,对其的遗传力及遗传相关的估计具有一定的现实意义,但是为了更有效地制定育种规划,还需分析凡纳滨对虾各个发育阶段,在各种养殖环境中的遗传参数。

参考文献:

- [1] 张存善,李色东,王亚平,等. 2 个凡纳滨对虾群体仔虾的生长比较 [J]. 水产科学, 2010, 29 (6): 325 - 328.
- [2] 吴立峰,张吕平,沈琪,等. 凡纳滨对虾不同家系的形态性状对体质量的影响 [J]. 海洋湖沼通报, 2010(2);37 - 48.
- [3] 陈昌生,邹春平,纪德华,等. 延迟投饵对南美白对虾状幼体存活、变态和生长的影响 [J]. 海洋学报: 中文版, 2003, 25 (Suppl. 2): 208 - 213.
- [4] Schuler D J, Boardman G D, Kuhn D D, *et al.* Acute toxicity of ammonia and nitrite to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at low salinities [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2010, 41 (3): 438 - 446.
- [5] Li C C, Yeh S T, Chen J C. Innate immunity of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* weakened by the combination of a *Vibrio alginolyticus* injection and low-salinity stress [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2010, 28 (1): 121 - 127.
- [6] Senapin S, Thaowwbut Y, Gangnonngiw W, *et al.* Impact of yellow head virus outbreaks in the whiteleg shrimp, *Penaeus vannamei* (Boone), in Thailand [J]. Journal of Fish Diseases, 2010, 33 (5): 421 - 430.
- [7] 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.
- [8] Wohlfart G, Moav R, Holata G, *et al.* Genetic variation in seine escapability of the European races of the common carp [J]. Aquaculture, 1975, 5: 375 - 387.
- [9] Kinghorn P B. A review of quantitative genetics in fish breeding [J]. Aquaculture, 1983, 31 (2 - 4): 283 - 304.
- [10] Gjedrem T. Genetic improvement of cold water fish species [J]. Aquaculture Research, 2000, 31 (1): 25 - 33.
- [11] 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.
- [12] Ibarra A M, Ramirez J L, Ruiz C A, *et al.* Realized heritability and genetic correlation after dual selection for total weight and shell width in catering scallop (*Argopecten ventricosus*) [J]. Aquaculture, 1999, 175 (3 - 4): 227 - 241.
- [13] Ibarra A M, Arcos F G, Famula T R, *et al.* Heritability of the categorical trait number of spawns in Pacific white female shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* [J]. Aquaculture, 2005 (1 - 2), 250: 95 - 101.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Liu X L, Chang X Q, Xiang J H, *et al.* Estimates of genetic parameters for growth traits of the sea urchin, *Strongylocentrotus intermedium* [J]. Aquaculture, 2005, 243 (1 - 4): 27 - 32.
- [18] Fjialestaad K T, Carr W H, Sweeney J N, *et al.* Genetic variation and selection response in body weight and disease resistance in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) [M] // Aquaculture: An Abstract of the Sixth International Symposium on Genetic. Scotland: Institute of Aquaculture, University of Sterling. 1977: 18 - 24.
- [19] Andriantahina F, Liu X L, Huang H, *et al.* Response to selection, heritability, and genetic correlations between body weight and body size in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. Chinese Journal

- of Oceanology and Limnology, 2012, 30 (2): 200 – 205.
- [20] De Donato M, Cabrera S, Ramirez R, *et al.* Analysis of growth in families of *Litopenaeus vannamei* under culture conditions in Venezuela [M] // Aquaculture; Book of Abstracts. Baton Rouge, Louisiana; World Aquaculture Society. 2001; 21 – 25.
- [21] Agrue 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.
- [22] Perez-Rostro C I, Ibarra A M. Quantitative genetic parameter estimates for size and growth rate traits in Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* (Boone 1931) when reared indoors [J]. Aquaculture Research, 2003, 34 (7): 543 – 553.
- [23] Perez-Rostro C I, Ibarra A M. Heritability and genetic correlation of size traits at harvest size in sexually dimorphic Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) grown in two environments [J]. Aquaculture Research, 2004, 34 (12): 1079 – 1085.
- [24] 马爱军, 王新安, 杨志, 等. 大菱鲂 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼生长性状的遗传力及其相关性分析 [J]. 海洋与湖沼, 2008, 39 (5): 499 – 504.
- [25] 王庆志, 李琪, 刘士凯, 等. 长牡蛎幼体生长性状的遗传力及其相关性分析 [J]. 中国水产科学, 2009, 16 (5): 736 – 743.

Genetic parameter estimation for growth traits of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)

XU Ruwei¹, QIAN Zhaoying², LIU Xiaolin^{2*}, LU Zheng¹, REN Jindong³, YANG Fusheng³

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

3. Hangzhou Xiaoshan East China Sea Farm Limited Liability Company, Hangzhou 311228, China)

Abstract: Eighteen half-sib families and fifty-four full-sib families were constructed using methods of nest design and artificial insemination, in which each male mated three females. Sixty 5-month-old shrimp were measured for nine growth traits including the body weight (BW), the total length (TL), the body length (BL), the carapace length (CL), the carapace width (CW), the carapace depth (CD), the first abdominal segment depth (FASD), the third abdominal segment depth (TASD), and first abdominal segment width (FASW). According to quantitative genetics theory, the heritability of each growth trait, and the genetic and phenotypic correlation among the traits were statistically studied utilizing the method of variance and covariance analysis. The results showed that the heritability estimates in the narrow sense from intra-group correlation of paternal half-sib were precise and unbiased, and the heritability values for the above nine traits were 0.460, 0.392, 0.303, 0.234, 0.251, 0.330, 0.282, 0.321 and 0.356, respectively. All of them belonged to moderate and high heritability, thus showed a high potential for selective breeding. The estimates of genetic correlation coefficients were 0.750 – 0.976, where the highest (0.976) was that between the BW and the TL, while the lowest (0.750) was seen between the TL and the TASD. The estimates of phenotypic correlation coefficients were 0.507 – 0.947, where the highest (0.947) was seen between the BW and the TL, while the lowest (0.507) was that between the FASD and the CD. Very significant difference was detected by *t*-test ($P < 0.01$) among the nine growth traits for both genetic and phenotypic correlation coefficients, which indicate all the nine traits may respond favorably to direct and indirect selection for growth.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; growth trait; heritability; genetic correlation; phenotypic correlation

Corresponding author: LIU Xiaolin. E-mail: liuxiaolin@nwsuaf.edu.cn