

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16305

日本囊对虾早期生长性状遗传参数估计

郑静静¹, 刘建勇¹, 蒋湘², 谢妙², 曹伏君¹

1. 广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025;
2. 湛江国联水产开发股份有限公司, 广东 湛江 524022

摘要: 基于 68 个日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)全同胞家系, 采用混合线性模型和约束极大似然法对日本囊对虾生长性状进行遗传参数的估计。结果表明: 1) 45 日龄、75 日龄体长性状的遗传力估计值分别为 0.1545 ± 0.0505 、 0.1933 ± 0.0475 , 腹节长性状的遗传力估计值分别为 0.1672 ± 0.0473 、 0.1937 ± 0.0468 , 体重性状的遗传力估计值分别为 0.1934 ± 0.0439 、 0.1992 ± 0.037 , 均为中等遗传力; 2) 不同日龄下日本囊对虾生长性状间的表型相关与遗传相关均为高度正相关, 45 日龄体长-腹节长、体长-体重、腹节长-体重的表型相关为 0.7121 ± 0.0188 、 0.5147 ± 0.0277 、 0.5052 ± 0.0280 , 遗传相关为 0.9896 ± 0.00340 、 0.9304 ± 0.0321 、 0.9429 ± 0.0301 , 75 日龄体长-腹节长、体长-体重、腹节长-体重的表型相关为 0.6710 ± 0.0236 、 0.6555 ± 0.0181 、 0.6534 ± 0.0160 , 遗传相关为 0.7637 ± 0.0161 、 0.7479 ± 0.0148 、 0.7177 ± 0.0131 。本研究表明对日本囊对虾生长性状进行选择是有效的, 以体长、腹节长、体重任一性状作为指标进行选育均可达到生长改良的目的, 本研究结果可为日本囊对虾的早期选择育种和多性状选择提供数据参考。

关键词: 日本囊对虾; 生长性状; 遗传力; 遗传相关; 表型相关

中图分类号: S96 文献标志码: A 文章编号: 1005-8737-(2017)04-0710-08

日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)俗称花虾、竹节虾, 隶属于甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、对虾科(Penaeidae)、囊对虾属, 因其经济价值较高, 在中国南起海南, 北至辽宁已有大规模的养殖, 成为中国海水养殖的重要种类之一^[1]。由于日本囊对虾亲本主要依赖天然捕捞, 没有经过系统的选育, 制约了该物种养殖产业的可持续发展。选育出优质高产、遗传性状稳定的日本囊对虾新品系(种), 是维持中国日本囊对虾养殖业健康可持续发展的当务之急。

选择育种是当今水产动物育种应用最广泛和最有效的技术手段, 国内外对日本囊对虾进行选择育种的研究工作大多数是通过群体选择、个体选择、家系选择或家系间选择结合家系内个体选择共同进行。Preston 等^[2]通过群体选育的方法,

发现选育群体收获的平均体重比非选育群体高出 14%。Hetzel 等^[3]通过对日本囊对虾野生群体进行驯化和群体选育, 发现日本囊对虾体重遗传力为中等遗传力, 180 日龄体重遗传力估计范围为 16.5%~31.5%, 生长性状的选择反应为 10.7%, 可见对日本囊对虾进行选择育种具有较大的潜力。Coman 等^[4-5]分别探讨了 2 个养殖密度对 6 个日本囊对虾家系生长的影响, 6 个不同温度梯度对 6 个日本囊对虾家系幼虾生长、存活、生物量的影响, 结果发现养殖密度与家系的交互作用、温度与家系的互作效应均显著影响各家系的生长与存活, 表明在制定日本囊对虾选育方案时应充分考虑基因与环境的互作效应, 为建立核心育种群体提供有利的参考。毛勇等^[6]对捕自台湾海峡的日本囊对虾野生群体经连续多代家系选育, 以快速生长

收稿日期: 2016-10-24; 修订日期: 2017-03-03.

基金项目: 广东省技术开发及产业化项目(日本囊对虾种质资源评价及群体选育技术研究, zj0004); 广东省海洋与渔业局良种体系专项项目[(2014301)].

作者简介: 郑静静(1991-), 女, 硕士研究生, 主要从事水产动物遗传育种研究. E-mail: 897021724@qq.com

通信作者: 曹伏君, 教授, 硕士生导师. E-mail: 1994516@163.com

为选育目标选育出日本囊对虾新品系‘闽海一号’。钟声平等^[7]对 30 个全同胞家系的体长、体重进行遗传参数估计, 结果表明日本囊对虾 G₁ 群体遗传力均为高遗传力(0.43~0.44), 体长与体重间为高度正相关(0.96±0.02)。已有的结果虽可为日本囊对虾的生长改良提供重要的依据, 但同一物种在不同群体、不同生长性状的遗传力并不完全相同, 即使同一物种同一群体遗传背景相同, 群体生长所处的环境不同, 分析数据时所采用的估计方法、统计模型的不同也可能造成性状遗传力估计值的差异。选择育种是一项花费大、耗时长的工作, 在早期阶段对生长性状进行遗传参数的评估既可为选育的可持续性提供指引, 也可为准确预估不同阶段的选育效果提供参考。关于日本囊对虾早期阶段生长性状的遗传参数研究尚未见报道, 故本研究通过建立 68 个日本囊对虾全同胞家系并对 45 日龄与 75 日龄的日本囊对虾进行生长性状遗传参数的估计, 旨在为日本囊对虾的下一步选育工作提供理论支持并对多代选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 亲本材料来源与全同胞家系构建

实验在广东省湛江市国联水产股份有限公司南三基地展开。2015 年 7 月 28 日收集来自台湾海峡已怀卵交配的日本囊对虾雌虾共 220 尾经过病毒检测、生长性状的测量后放进亲虾池(面积 25 m², 水深 50 cm, 底部未铺沙)进行稳定暂养。7 月 30 日利用镊烫法对亲虾进行右侧眼柄切除, 每天投喂 2 次鲜活沙蚕与青虫对其进行营养强化, 饵料用量根据亲虾的摄食情况进行调整。每天及时挑出死虾与蜕壳, 利用软管虹吸法进行吸污排污, 换水 2/3~3/4, 水温为(26±2)℃, 盐度 30±2, pH 7.9~8.3, 全程全池均匀充气(溶氧 5 mg/L)。每天

傍晚 18:00 下池用手电筒照射亲虾背部检查亲虾的性腺成熟情况, 及时将性腺发育成熟(外观卵巢边缘轮廓清楚)的亲虾分别放入 500 L 产卵桶中, 并对每尾亲虾进行眼柄环标记, 次日凌晨 6:00 将亲虾从产卵桶中捞出并放回亲虾池, 24 h 后及时将死卵、未受精卵排掉, 将每个家系的幼体分别捞出转移到 1500 L 的家系桶中进行单独培育, 每尾雌虾所产幼体即为一个家系, 全程进行详细记录。8 月 1~9 日共有 96 尾虾产下受精卵, 家系生产周期为 9 d, 经过淘汰筛选, 共保留全同胞家系 68 个。亲虾的生长性状数据见表 1。

1.2 家系中间培育

日本囊对虾在中间培育阶段根据育苗的实际情况进行 3 次分苗, 期间不断淘汰活力不好、体质较弱的虾苗, 仔虾第 10 天每个家系选留 1200 尾, 仔虾第 17 天每个家系选留 800 尾, 仔虾第 24 天每个家系挑选 400 尾, 第 3 次分苗前每个家系桶底部应先平铺 3~4 cm 高、经过消毒清洗的细沙。在中间培育阶段, 为尽量减少环境差异对幼虾生长的影响, 每个家系桶的溶氧、氨氮、水温、pH、投饵、换水量基本保持一致。

1.3 共同环境养殖与数据测量

当个体平均日龄达到 45 d 时, 每个家系随机抽取 30 尾个体进行生长性状的测量。使用电子天平测量体重(精确到 0.01g), 使用游标卡尺进行体长、腹节长的测量(精确到 0.01 cm)。每个家系随机抽取 50 尾个体分别放入循环水跑道池中的 40 目网框(1.0 m×1.0 m×1.0 m)内进行共同环境养殖(家系编号与网框编号一一对应), 养殖密度均控制在 50 尾/m²。68 个 40 目网框均匀分布在两个循环水跑道池中, 每个循环水跑道池面积为 65 m², 共同环境养殖期间的水质控制、饵料投喂和日常管理均按照标准化程序保持一致。当个体平均日

表 1 日本囊对虾亲虾生长性状的描述性统计量

Tab. 1 Descriptive statistics for growth traits in broodstock of *Marsupenaes japonicus*

生长性状 traits	个体最小值 minimum	个体最大值 maximum	平均值 mean	标准差 SD	变异系数/% CV
体长/cm body length	18.43	24.25	21.52	1.04	4.85
腹节长/cm abdominal length	13.4	17.55	15.32	0.84	5.48
体重/g body weight	70.38	148.51	104.62	14.14	13.51

龄达到 75 d 时, 每个家系随机抽取 30 尾进行生长性状的测量。

1.4 日本囊对虾早期阶段不同生长性状遗传参数的估计

利用 Excel 软件对生长数据进行初步整理, 使用 SPSS 20.0 软件对生长数据进行多变量检验 (multivariate test), 检验体长、腹节长和体重的统计学意义及生长日龄对每个家系的影响, 并对生长数据进行非参数检验 (Kolmogorov-Smirnov) 后进行数据的描述性统计, 利用 ASReml 4.0 软件进行方差、协方差、遗传力、遗传相关和表型相关的估计^[8]。采用混合线性模型 (linear mixed effects model) 和约束极大似然法 (restricted maximum likelihood) 估算日本囊对虾生长性状的遗传参数。单性状动物模型为:

$$y_{ijk} = u + a_i + p_j + f_k + e_{ijk}$$

式中, y_{ijk} 为第 i 尾虾的生长性状观测值; u 为总体均值; a_i 为第 i 尾虾生长性状的加性遗传效应; p_j 为第 j 个家系桶 (或共同环境养殖池) 的固定效应; f_k 为第 k 个家系的全同胞组随机效应; e_{ijk} 为随机残差。其中, i 为个体数; j 为家系桶数 (或共同环境养殖池); k 为家系数。

表 2 日本囊对虾家系测量因子 (家系、体长、腹节长、体重和日龄) 的多变量检验

Tab. 2 Families factors (family, body length, abdominal segment length, body weight and days of age) of *Marsupenaeus japonicus* by multivariate test

效应 effect	统计量 statistical method	值 value	F	假设自由度 hypothesis df	误差自由度 error df	显著性 sig.
截距 intercept	Wilks' lambda	0.973	12.036	3.000	1289	0.000
日龄 days of age	Roys' largest Root	0.000	0.000	3.000	1288	1.000
家系 family	Wilks' lambda	0.489	5.264	198.000	3865.978	0.000

日本囊对虾早期阶段生长性状测量值的表型参数见表 3, 68 个全同胞家系 2040 个测量数据经单样本 $K-S$ 检验后, 显著性均小于 0.05, 数据呈正态分布, 可进行下一步遗传参数的估计。由表 3 可以看出, 日本囊对虾 45 日龄、75 日龄体重的变异系数最大, 分别为 58.33%、63.27%, 而体长、腹节长的变异系数范围较为接近 (18.94%~22.44%), 与体重的变异系数相比较小, 表明这些性状遗传性能比较稳定, 而体重性状较高的变异系数表明, 日本囊对虾早期生长阶段体重的个体差异在逐步增

遗传力的计算公式为

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_f^2 + \sigma_e^2}$$

式中, σ_a^2 为加性遗传方差组分; σ_f^2 为全同胞家系效应的方差组分; σ_e^2 为残差方差组分。

表型相关或者遗传相关的计算公式为^[9]

$$r_{p/G(xy)} = \frac{\delta_{p/G(xy)}}{\sqrt{\delta_{p/G(x)}^2 \delta_{p/G(y)}^2}}$$

式中, $\delta_{p/G(xy)}$ 为两生长性状间的表型或遗传协方差; $\delta_{p/G(x)}^2$ 和 $\delta_{p/G(y)}^2$ 为性状 x 和性状 y 的表型或者遗传方差组分。

2 结果与分析

2.1 日本囊对虾早期生长性状的表型参数

日本囊对虾 68 个全同胞家系测量因子的多变量检验结果如下表所示, 其中多变量检验结果中统计量 Wilks' Lambda 的显著性均为极显著 ($P < 0.01$), 说明所测量的生长性状数据具有统计学意义; 从表中的 Roys' Largest Root 的显著性结果来看, 每个家系建立的日期差异造成的日龄不一致对各家系的生长性状均未达到显著影响 ($P > 0.05$), 因此可在后面的分析中对日龄不予考虑。

大, 以体重为选育指标具有较大的遗传改良潜力。

2.2 日本囊对虾早期阶段不同生长性状的遗传参数估计

日本囊对虾 68 个全同胞家系早期阶段不同生长性状的方差组分 (与表型方差之比) 与遗传力估计见表 4, 日本囊对虾 45 日龄、75 日龄体长性状的遗传力估计值分别为 0.1545 ± 0.0505 、 0.1933 ± 0.0475 , 腹节长性状的遗传力估计值分别为 0.1672 ± 0.0473 、 0.1937 ± 0.0468 , 体重性状的遗传力估计值分别为 0.1934 ± 0.0439 、 0.1992 ± 0.0371 。实

表 3 日本囊对虾早期生长性状的表型参数
Tab. 3 Phenotypic parameters of growth traits in *M. japonicus* at early growth stage

n=2040

日龄/d days of age	生长性状 trait	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 mean	标准差 SD	变异系数/ % CV	显著性 sig.
45	体长/cm body length	1.02	4.90	2.05	0.46	22.44	0.00
	腹节长/cm abdominal length	0.12	3.30	1.46	0.32	21.92	0.00
	体重/g body weight	0.01	3.75	0.12	0.07	58.33	0.00
75	体长/cm body length	1.50	7.40	3.35	0.65	19.40	0.00
	腹节长/cm abdominal length	1.20	4.80	2.27	0.43	18.94	0.00
	体重/g body weight	0.08	4.23	0.49	0.31	63.27	0.00

表 4 日本囊对虾早期阶段各生长性状的方差组分(用与表型方差之比表示)与遗传力估计
Tab. 4 Variance component (ratio to phenotypic variance), and heritability estimated for growth traits of *M. japonicus* at early growth stage

生长性状 trait	日龄 days of age	σ_a^2/σ_p^2	σ_e^2/σ_p^2	$h^2(n=2040; \bar{x} \pm SE)$
体长/cm body length	45	0.0353	0.8102	0.1545±0.0505
	75	0.0379	0.7687	0.1933±0.0475
腹节长/cm abdominal length	45	0.0326	0.8002	0.1672 ±0.0473
	75	0.0261	0.7803	0.1937±0.0468
体重/g body weight	45	0.0284	0.7782	0.1934±0.0439
	75	0.0205	0.7803	0.1992 ±0.0371

注: $h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_p^2$.
Note: $h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_p^2$.

验结果表明, 日本囊对虾遗传力估计值在早期生长阶段不同日龄间的变化不大, 均为中高水平 ($h^2 \geq 0.15$), 说明对日本囊对虾任一生长性状进行选择都是有效的。

2.3 日本囊对虾早期阶段不同生长性状的遗传相关与表型相关

根据不同生长性状的协方差组分估计日本囊对虾早期阶段的体长、腹节长、体重的遗传相关和表型相关结果见表5, 不同日龄下生长性状间的表

型相关与遗传相关表现趋势均一致, 均为高度正相关: 体长与腹节长的遗传相关均为最高(45 日龄的 $r_G = 0.9896 \pm 0.0034$, 75 日龄的 $r_G = 0.7637 \pm 0.0161$); 体重与腹节长的表型相关均为最低(45 日龄 $r_P = 0.5052 \pm 0.0280$, 75 日龄的 $r_P = 0.6534 \pm 0.0160$), 两性状间的遗传相关和表型相关经双尾 *t* 检验均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。在日本囊对虾早期阶段, 体长、腹节长、体重两两之间的遗传相关范围为 $(0.7177 \pm 0.0131) \sim (0.9896 \pm 0.0034)$, 随着生长期的

表 5 日本囊对虾早期阶段各生长性状的遗传相关和表型相关
Tab. 5 Genetic (r_G) and phenotypic (r_P) correlations for growth traits of *M. japonicus* at early growth stage

n=2040; $\bar{x} \pm SE$

生长性状 trait	日龄 days of age					
	45			75		
	体长/cm body length	腹节长/cm abdominal length	体重/g body weight	体长/cm body length	腹节长/cm abdominal length	体重/g body weight
体长/cm body length		0.9896±0.0034	0.9304±0.0321		0.7637 ±0.0161	0.7479±0.0148
腹节长/cm abdominal length	0.7121±0.0188		0.9429±0.0301	0.6710±0.0236		0.7177± 0.0131
体重/g body weight	0.5147±0.0270	0.5052±0.0280		0.6555±0.0181	0.6534± 0.0160	

注: 下三角为表型相关, 上三角为遗传相关。

Notes: Phenotypic correlation under the diagonal, and genetic correlation above the diagonal.

增长,生长性状间的差异逐渐增大,遗传相关逐渐降低,但遗传相关均大于表型相关,这说明对任一性状进行选择的同时,可对其他的两个生长性状进行间接选择,这对日本囊对虾进行同时期多性状选择是非常有利的。

3 讨论

3.1 日本囊对虾早期阶段的遗传参数

由表 3 可知,体长、腹节长与体重的变异系数中,体重变异系数最大,且随着日龄增长,体重变异系数逐渐增大,75 日龄体重的变异系数最大为 63.27%,许多对虾类的体重表现出较大的遗传变异。如田焱等^[10]对中国对虾生长性状(体长、头胸甲长、头胸甲宽、腹节长、体重等共 8 个性状)进行测量,结果发现体重的变异系数最大为 24.558%;杨国梁等^[11]测量了不同养殖密度下罗氏沼虾的生长性状(头胸甲长、腹节长、体长、体重),结果发现体重存在更大的遗传变异:两个密度养殖的遗传变异系数分别为 36.80%、43.47%;胡志国等^[12]对留种阶段的凡纳滨对虾进行体长、体重的测量,结果发现体重的变异系数较大,11 个交配群体体重的变异系数范围为 12.22%~21.59%,以上的研究结果均表明以体重为选育指标具有较大的遗传改良潜力。

从表 4 中可以看出,生长性状遗传力变化趋势均为 75 日龄生长性状遗传力高于 45 日龄,这可能是由以下两个原因造成的:(1)母体效应:许多研究表明生物体在早期生长发育阶段,个体的数量性状易受母体效应影响^[13],但母体效应对生物体早期生长性状的影响不一定是正遗传相关,也可能存在负遗传相关作用^[14],这一结论在虾夷马粪海胆(*Strongylocentrotus intermedius*)^[15]、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)^[16]、仿刺参(*Apostichopus japonicus*)^[17]、罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)^[18]等物种中均有类似报道;(2)环境差异:任何一个个体的遗传模型可剖分为遗传效应与环境效应,生长环境差异变大,遗传力相对降低,生长环境条件一致则遗传力相对提高^[19]。日本囊对虾从建立家系到苗种培育阶段各家系幼虾的养殖密度、管理条件虽然尽量保持一致,但 45 日龄前均在家

系桶中培育,每个家系桶的水环境都可能有所不同,造成各家系幼虾生长环境差异较大,而所测量的 75 日龄幼虾均在循环水跑道池中养殖,幼虾所处的生长环境一致性有所提高,故 75 日龄的生长性状遗传力估计值高于 45 日龄的遗传力估计值。

本研究发现两个时间段的遗传力(加性遗传方差与表型方差之比)范围为 0.1545~0.1992,该研究结果与 Hetzel 等^[3]报道的日本囊对虾 180 日龄体重遗传力均值(25.5%)相近,但相比钟声平等^[7]估计的养殖 103 d 日本囊对虾第一世代选育群体体长、体重遗传力(0.43~0.44)较低,这说明同一物种在不同养殖环境、不同养殖月份、不同养殖日龄,生长性状的遗传力并不完全相同。同一物种即使是遗传背景相同,生活环境不同也可能造成生长性状的遗传力差异,对于群体而言,控制数量性状的遗传基础一致性越强,群体基因纯合度越大,遗传变异也就越小,所估计的遗传力也就越低,因此对于来源相同的物种所估计的遗传力降低并不意味着性状遗传能力降低,而是表明群体遗传基础一致性越好,平均遗传能力越强。

对遗传力进行高低水平的划分中,通常将 $h^2 < 0.15$ 划分为低度遗传力, $0.15 \leq h^2 \leq 0.3$ 划分为中度遗传力, $h^2 \geq 0.3$ 划分为高度遗传力^[20]。日本囊对虾早期阶段 3 个生长性状的遗传力范围为 0.1545~0.1992,均为中度遗传力,这与其他对虾种类的研究结果有所不同(表 4)。Benzie 等^[21]通过建立半同胞家系估计的斑节对虾仔虾体重遗传力为 0.10;黄付友等^[22]采用全同胞组内相关法估计的中国对虾体长遗传力为 0.4~0.5;罗坤等^[23]通过建立混合线性模型,采用非求导 DFREML 法估计 5 月龄罗氏沼虾 5 个生长性状的遗传力估计值范围为 0.02~0.07;安迪^[24]利用个体动物模型估计凡纳滨对虾不同生长发育阶段的遗传力范围为 0.32~0.45。可见遗传力估计值因物种的不同,分析数据时所采用的估计方法、统计模型的不同而存在明显差异。本研究采用混合线性模型和约束极大似然法对日本囊对虾早期阶段生长性状的遗传参数进行估计,结果表明日本囊对虾生长性状遗传力均为中高度遗传力,对日本囊对虾任一生长性状进行选择都是有效的,可获得较快的遗传

进展。

3.2 日本囊对虾早期阶段的性状相关

动物机体是一个统一整体,各性状之间存在一定的内在联系,在选择育种中将各性状间的相关性考虑进去,对多性状育种方案的制定是非常有利的。性状间的相关主要有遗传相关和表型相关。本研究中不同日龄下生长性状间的表型相关与遗传相关均为中高度正相关:体长与腹节长的遗传相关均为最高(45日龄的 $r_G=0.9896\pm 0.0034$,75日龄的 $r_G=0.7637\pm 0.0161$);体重与腹节长的表型相关均为最低(45日龄 $r_p=0.5052\pm 0.0280$,75日龄的 $r_p=0.6534\pm 0.0160$);体长、腹节长、体重两两之间的遗传相关范围为 $(0.7177\pm 0.0131)\sim(0.9896\pm 0.0034)$,表型相关范围为 $(0.5052\pm 0.0280)\sim(0.7121\pm 0.0188)$ 。随着生长期的增长,生长性状间的差异逐渐增大,遗传相关逐渐降低,但遗传相关均大于表型相关,这一结果与许多学者的研究结果均一致(表5)。如Perez-Rostro等^[25]发现凡纳滨对虾体长和体重性状为高度正相关,第一腹节宽与体重、体长为中度正相关,但生长性状间的遗传相关性随着生长期的增长而逐渐降低;田焱等^[10]、何玉英^[26]的研究均表明中国对虾各生长性状间具有较高的遗传相关,并认为生长性状的基因是紧密连锁并具有多效性;刘永新^[27]研究发现不同日龄牙鲆的体重、体长、体高3个性状间存在较强的正向遗传相关,与顾究明等^[28]的研究结果一致,均表明以体重为选育目标时,难以测量时可参考较易测量的体长和体高作为间接选择指标,将获得同样的选育效果。以上研究结果均表明在选择育种中充分利用性状间的表型相关与遗传相关参数,对任一性状进行选择的同时,可对其他的生长性状进行间接选择。

参考文献:

[1] Wang K. Shrimp and Crab Culture and Propagation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997. [王克行. 虾蟹类增殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.]

[2] Preston N P, Crocos P J, Moore S M. Comparative growth of wild and domesticated *Penaeus japonicus* in commercial production ponds[J]. World Aquacult, 1999, 99: 612.

[3] Hetzel D J S, Crocos P J, Davis G P, et al. Response to se-

lection and heritability for growth in the Kuruma prawn, *Penaeus japonicus*[J]. Aquaculture, 2000, 181(3): 215-223.

[4] Coman G J, Crocos P J, Preston N P, et al. The effects of density on the growth and survival of different families of juvenile *Penaeus japonicus* Bate[J]. Aquaculture, 2004, 229(1): 215-223.

[5] Coman G J, Crocos P J, Preston N P, et al. The effects of temperature on the growth, survival and biomass of different families of juvenile *Penaeus japonicus* Bate[J]. Aquaculture, 2002, 214(1): 185-199.

[6] Mao Y, Wang J, Sun Y Q. Kuruma prawn, *Penaeus japonicus* Named "Minhai No.1"[J]. Healthy Culture, 2015(9): 48-51. [毛勇, 王军, 苏永全. 日本囊对虾“闽海1号”[J]. 健康养殖, 2015(9): 48-51.]

[7] Zhong S P, Sun Y Q, Wang J, et al. Genetic parameters estimation for growth traits of the G_1 *Marsupenaeus japonicus*[J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2015, 54(4): 469-473. [钟声平, 苏永全, 王军, 等. 日本囊对虾 G_1 群体生长性状遗传参数估计[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2015, 54(4): 469-473.]

[8] Gilmour A R, Gogel B J, Cullis B R, et al. ASReml User Guide Release 4.0 VSN International Ltd [CP/DK]. HP1 1ES UK: Hemel Hempstead, 2012.

[9] Zhang Q. Calculation Methods in Animal Genetics and Breeding[M]. Beijing: Science Press, 2007: 58-76. [张勤, 动物遗传育种中的计算方法[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 58-76.]

[10] Tian Y, Kong J, Luan S, et al. Estimation of genetic parameters for growth traits of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(3): 1-6. [田焱, 孔杰, 栾生, 等. 中国对虾生长性状遗传参数的估计[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 1-6.]

[11] Yang G L, Luo K, Kong J, et al. Correlation of growth and survivorship for *Macrobrachium rosenbergii* in different culture conditions[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(3): 74-79. [杨国梁, 罗坤, 孔杰, 等. 罗氏沼虾不同养殖条件下的生长和存活率相关分析[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 74-79.]

[12] Hu ZH G, Liu J Y, Yuan R P, et al. Growth performance comparison and selection effect prediction for selective breeding G_0 generation of *Litopenaeus vannamei*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(3): 556-562. [胡志国, 刘建勇, 袁瑞鹏, 等. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)选择育种 G_0 代的生长性能比较与选择效果评估[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(3): 556-562.]

[13] Sheridan A K. Genetic improvement of oyster production-acritique[J]. Aquaculture, 1997, 153(3-4): 165-179.

- [14] Bai J Y, Li J Q, Jia X P, et al. Influence of maternal genetic effect on genetic parameter estimates of production traits of Cashmere Goat[J]. *Hereditas* (Beijing), 2006, 28(9): 1083–1086. [白俊艳, 李金泉, 贾小平, 等. 母体遗传效应对绒山羊生产性状遗传参数估计的影响[J]. *遗传*, 2006, 28(9): 1083–1086.]
- [15] Liu X L, Chang Y Q, Xiang J H, et al. Heritability of juvenile growth for the sea urchins *Strongylocentrotus intermedius*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(3): 206–211. [刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 虾夷马粪海胆早期生长发育的遗传力估计[J]. *中国水产科学*, 2003, 10(3): 206–211.]
- [16] Wang Q ZH, Li Q, Liu S K, et al. Estimates of heritabilities and genetic correlations for growth in *Crassostrea gigas* larvae[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, 16(5): 736–743. [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.]
- [17] Li Y F, Chang Y Q, Tian Y, et al. Heritability of early growth traits in larval and juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2009, 24(1): 30–33. [李云峰, 常亚青, 田焱, 等. 仿刺参耳状幼体和稚参阶段的体长遗传力估计[J]. *大连水产学院学报*, 2009, 24(1): 30–33.]
- [18] Dinh H, Nguyen H N, David A H, et al. Quantitative genetic parameters for body traits at different ages in a cultured stock of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) selected for fast growth[J]. *Mar Freshwat Res*, 2014, 65: 198–205.
- [19] Zhao C F, Gao D P, Li J Q, et al. Estimated Genetic Parameter for body weight of Inner Mongolia White Cashmere Goat[J]. *Inner Mongolia Journal of Animal Sciences and Production*, 1999, 20(4): 12–14. [赵存发, 高佃平, 李金泉, 等. 内蒙古白绒山羊体重性状遗传力的估计[J]. *内蒙古畜牧科学*, 1999, 20(4): 12–14.]
- [20] Zhang Y. *Animal Breeding*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 37–38. [张沅. *家畜育种学*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 37–38.]
- [21] Benzie J A H, Kenway M, Trott L. Estimates for the heritability of size in juvenile *Penaues monodon* prawns from half sib mating[J]. *Aquaculture*, 1996, 152: 49–53.
- [22] Huang F Y, He Y Y, Li J, et al. Estimates for the heritability of body length in Shrimp *Fenneropenaeus chinensis* Named “Huanghai No.1”[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(2): 269–274. [黄付友, 何玉英, 李健, 等. “黄海 1 号”中国对虾体长遗传力的估计[J]. *中国海洋大学学报*, 2008, 38(2): 269–274.]
- [23] Luo K, Kong J, Luan S, et al. Correlation analysis for genetic parameters of growth traits of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29(3): 80–84. [罗坤, 孔杰, 栾生, 等. 罗氏沼虾生长性状的遗传参数及其相关[J]. *海洋水产研究*, 2008, 29(3): 80–84]
- [24] Andriantahina F. Study on the effect of selective breeding and genetic parameters for Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2011. [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.]
- [25] Pérez-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]. *Aquac Res*, 2003, 34(12): 1079–1085.
- [26] He Y Y. Preliminary Studies on Growth Performance and the Resistance to High Ammonia and pH in Chinese Shrimp *Fenneropenaeus chinensis*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009. [何玉英. 中国对虾生长性状和对高氨氮和高 pH 抗性的基础研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.]
- [27] Liu Y X. Genetic analysis for growth traits in Japanese flounder selection and breeding family[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009. [刘永新. 牙鲆选育家系生长性状的遗传分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.]
- [28] Gu X M, Liu Y X, Wang K, et al. Estimation of genetic parameter for growth trait in Japanese flounder by DF-REML[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2008, 39(11): 71–75. [顾宪明, 刘永新, 王凯, 等. 应用 DF-REML 法估计牙鲆性状遗传参数[J]. *东北农业大学学报*, 2008, 39(11): 71–75.]

Genetic parameter estimation of growth traits for early growth stage of *Marsupenaeus japonicus*

ZHENG Jingjing¹, LIU Jianyong¹, JIANG Xiang², XIE Miao²

1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China;

2. Zhanjiang Guolian Aquatic Products Co., Ltd., Zhanjiang 524022, China

Abstract: Linear Mixed Effects Model and Restricted Maximum Likelihood (REML) were applied to estimate the genetic parameters for growth traits based on sixty-eight full-sib families of the Kuruma shrimp *Penaeus Marsupenaeus japonicus*. The results indicated that the heritability estimates of body length (BL), abdominal segment length (ASL), and body weight (BW) were 0.1545 ± 0.0505 , 0.1672 ± 0.0473 , and 0.1934 ± 0.0439 , respectively, on day 45. On day 75, the heritability estimates were 0.1933 ± 0.0475 for body length, 0.1937 ± 0.0468 for abdominal segment length, and 0.1992 ± 0.037 for body weight, all of which were found to be at moderate levels. Strong positive phenotypic and genetic correlations between growth-related traits at different stages were detected. The phenotypic correlations between BL and ASL, BL and BW, and ASL and BW on day 45 were 0.7121 ± 0.0188 , 0.5147 ± 0.0277 , and 0.5052 ± 0.0280 , respectively, while the genetic correlations were 0.9896 ± 0.0034 , 0.9304 ± 0.0321 , and 0.9429 ± 0.0301 , respectively. The phenotypic correlations between BL and ASL, BL and BW, and ASL and BW on day 75 were 0.6710 ± 0.0236 , 0.6555 ± 0.0181 , and 0.6534 ± 0.0160 , respectively, while the genetic correlations were 0.7637 ± 0.0161 , 0.7479 ± 0.0148 , and 0.7177 ± 0.0131 , respectively. Selection for growth traits in *M. japonicus* was found to be effective in the present study, and selection for one growth trait can improve other growth traits simultaneously in a breeding program. The results of this study provided reference data for early selective breeding and multi-trait selection of *M. japonicus*.

Key words: *Marsupenaeus japonicus*; growth trait; heritability; genetic correlations; phenotypic correlations

Corresponding author: LIU Jianyong. E-mail: liujy70@126.com