

脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*) 体长和体重遗传力的估计*

李吉涛 李 健 刘 萍 陈 萍 何玉英 高保全

(中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 构建了脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)49 个全同胞家系, 包括 28 个半同胞家系, 分别测定了 30 日龄和 50 日龄个体的体长和体重。利用 SPSS 软件的一般线性模型(GLM)过程, 计算表型变量的方差组分, 估计体长和体重性状的遗传力。结果表明, 脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄体长的遗传力估计值分别在 0.14—0.35 和 0.07—0.31 之间, 脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄体重的遗传力估计值分别在 0.12—0.23 和 0.14—0.33 之间; 雄性遗传方差组分均显著大于雌性遗传方差组分, 说明雄性遗传方差组分存在显著的父本效应。经过 *t* 检验, 父系半同胞、母系半同胞方差组分估计的遗传力均未达到显著水平, 全同胞方差组分估计的遗传力达到极显著水平。因此可以认为基于全同胞方差组分估计的遗传力是对脊尾白虾两个生长阶段体长和体重狭义遗传力的无偏估计值。本研究结果表明脊尾白虾体长和体重性状属于中度遗传力, 选择育种对于脊尾白虾早期生长的改良具有较大潜力。

关键词 脊尾白虾; 体长; 体重; 遗传力

中图分类号 S966.9

脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)又名白虾、小白虾、迎春虾, 广泛分布于黄、渤海区, 是我国特有的经济虾类之一(刘瑞玉, 1955)。脊尾白虾具有生长速度快、繁殖能力强、环境适应能力强等特点, 近年来, 脊尾白虾养殖面积已达 13333 公顷, 已成为沿海滩涂地区的特色水产养殖品种。但是, 由于过度采捕和海域生态环境的恶化, 脊尾白虾自然资源匮乏、种质退化、养殖病害严重等问题也相继暴露, 严重制约着脊尾白虾养殖业的发展, 亟待进行种质改良研究。常用的遗传改良手段包括选择育种、杂种优势和种间杂交等方法。利用选择育种的方法改良水产动物生长、抗病/抗逆性状已经在鱼、虾、蟹、贝的遗传改良研究中得到实践证明(马爱军等, 2008; 陈松林等, 2010; 李健等, 2005; 高保全等, 2010; 闫喜武等, 2010), 但关于脊尾白虾选择育种的研究目前尚未见报道。

遗传力估计是水产动物选择育种的一项基础工

作, 主要用于研究和揭示数量性状的遗传规律, 探讨选育效果, 准确估计遗传力对正确评定育种值、制定和优化育种方案、计算遗传进展具有重要指导意义。国内外已报道的水产动物早期阶段生长性状的遗传参数估计主要集中在硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)(Rawson *et al*, 1990)、虾夷马粪海胆(*Strongylocentrotus intermedius*)(刘小林等, 2003)、刺参(*Apostichopus japonicus*)(栾生等, 2006)、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)(马爱军等, 2008)、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)(王庆志等, 2009)、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)(高保全等, 2010)、哲罗鲑(*Hucho taimen*)(王俊等, 2011)、中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)(黄付友等, 2007)、凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)(Argue *et al*, 2002; Castillo-Juárez *et al*, 2007; Gitterle *et al*, 2005a, b; Goyard *et al*, 1999; Pérez-Rostro *et al*, 2003a, b)、斑节对虾(*Penaeus*

* 国家高技术研究发展计划项目资助, “主要养殖甲壳类良种培育”, 2012AA10A409 号; 国家虾产业技术体系项目资助, CARS-47 号; 中国水产科学研究院基本科研业务费资助, 2013A0701 号。李吉涛, E-mail: lijiao@ysfri.ac.cn

通讯作者: 李 健, 研究员, E-mail: lijian@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2012-05-25, 收修稿日期: 2012-07-29

monodon)(Benzie *et al.*, 1996; Kenway *et al.*, 2006; Krishna *et al.*, 2011)、日本对虾(*Penaeus japonicus*)(Hetzel *et al.*, 2000)和罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)(Luan *et al.*, 2012)等物种, 遗传参数估计涉及的性状包括如体长、体重、壳长、壳高和抗病等重要性状。由于水产动物具有高繁殖性能特性, 因此遗传参数的估计方法多采用同胞分析进行估计, 同胞分析所采用的方差组分估计方法, 主要包括方差分析法、最小范数二次无偏估计和极大似然法(盛志廉等, 2001)。本研究通过定向交尾设计构建全同胞家系, 采用方差分析法对脊尾白虾早期生长性状的遗传力进行估计, 旨在为脊尾白虾的选择育种提供基础依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 亲本材料

脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)亲虾 198 尾(44 只雄虾, 154 尾雌虾)来自选育的基础群体。

1.2 实验方法

1.2.1 亲虾交尾 2012 年 4 月中旬, 挑选性腺发育良好的亲虾, 采用群体间杂交的方式进行交尾搭配。其中 1♂对 6♀。经过交尾、抱卵, 进行单独孵育, 2012 年 5 月 5—15 日成功排幼得到子一代的亲虾有 49 尾, 即 49 个全同胞家系, 其中包括 28 个半同胞家系。

1.2.2 幼体培育和养殖 每尾亲虾的后代即每个家系各取 300 尾 I 期溞状幼体单独放入 1 个 100L 整理箱中培育, 培育采用常规方法, 不同家系同一阶段的培育条件一致。幼体以褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、卤虫(*Artemia sinica*)为主要饵料, 每天均换水 10%, 连续充气培养。幼体转成仔虾后, 每个家系各取 200 尾仔虾, 继续在整理箱中进行养殖, 养殖条件保持一致。

1.2.3 生长性状的测量 从 49 个家系中, 每个家系随机取 30 尾个体, 用电子数显游标卡尺测量体长, 精确到 0.01mm; 用电子天平测量体重, 精确到 0.01g, 在 30 日龄、50 日龄各测量一次。

1.2.4 统计分析 对生长性状的表型和遗传参数的估计采用动物模型

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

式中, u 为总体平均数; α_i 和 β_j 分别为 A 因素的第 i 个水平效应与 B 因素第 j 个水平效应; $(\alpha\beta)_{ij}$ 为 A 因素第 i 个水平、B 因素第 j 个水平时的交互作用效应; e_{ijk} 为随机误差。对数据的方差分析, 通过 SPSS 软件的一般线性模型(General Linear Model)过程实现, 全同胞资料表型变量的方差组成见表 1。

表 1 中, N 、 S 、 D 分别为后代个体总数、雄性亲本数和雌性亲本数; σ_s^2 为父系半同胞方差; σ_D^2 为母系半同胞方差; σ_e^2 为全同胞个体间方差; K_1 、 K_2 分别为雄性亲本内与配的雌性亲本平均后代数、每个雌性亲本的平均后代数; 由于每个雄性亲本的后代数(K_3)不相等, 故需要进行加权校正。计算公式如下:

$$K_3 = \frac{1}{S-1} \left(N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^S n_i^2 \right)$$

式中, n_i 为第 i 个雄性亲本后代个体数。

1.2.5 遗传力计算及显著性检验 根据全同胞资料作二因素系统分组方差分析可以得到 3 个遗传力估计值(盛志廉等, 2001)。半同胞估计的狭义遗传力为半同胞组内相关系数的 4 倍, 即:

父系半同胞, $h_s^2 = 4 \times \sigma_s^2 / (\sigma_s^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2)$; 母系半同胞, $h_D^2 = 4 \times \sigma_D^2 / (\sigma_s^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2)$; 全同胞估计的狭义遗传力为全同胞组内相关系数的 2 倍, 即: $h_{SD}^2 = 2 \times (\sigma_s^2 + \sigma_D^2) / (\sigma_s^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2)$;

公式 h_s^2 、 h_D^2 、 h_{SD}^2 分别为父系半同胞、母系半同胞和全同胞估计的狭义遗传力。

遗传力的估计值来自样本, 对于其是否能够代表总体参数, 需要进行显著性检验。遗传力的显著性检验采用 t 检验。

2 结果与分析

2.1 脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄的体长和体重

脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄的体长和体重的平均数和标准差见表 2。

表 1 全同胞资料表型变量组成的方差分析

Tab.1 Analysis of variance for phenotypic variation of full-sibs families

变异来源	自由度	平方和	均方	期望均方
雄性间	$S-1$	SS_s	MS_s	$\sigma_e^2 + K_2 \times \sigma_D^2 + K_3 \times \sigma_s^2$
雄内雌间	$D-S$	SS_D	MS_D	$\sigma_e^2 + K_1 \times \sigma_D^2$
雌雄内后代个体间	$N-D$	SS_e	MS_e	σ_e^2
总和	$N-1$	SS_T		

表 2 脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄的体长和体重的基本统计参数

Tab.2 Basic statistics for body length and body weight of *E. carinicauda* at 30 and 50 days stages

日龄	个体数	平均体长	标准差	平均体重	标准差
30 日龄	1470	25.47	4.23	0.26	0.04
50 日龄	1470	29.22	4.49	0.40	0.09

2.2 脊尾白虾体长和体重的方差分析

脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄体长和体重的方差分析见表 3。方差分析表明,雄性亲本间和雄虾内雌虾间 30 日龄和 50 日龄体长的 F 检验 $P < 0.01$, 差异极显著; 雄性亲本间和雄虾内雌虾间 30 日龄和 50 日龄体长的 F 检验 $P < 0.01$, 差异极显著。脊尾白虾 30 日龄和 50

日龄, 雄性亲本和雌性亲本间的有效平均后代数目计算结果: 雄性亲本内与配的雌性亲本的后代数 $K_1 = 30$; 每个雌性亲本的后代数 $K_2 = 30$; 每个雌性亲本的平均后代数目 $K_3 = 45$ 。

2.3 表型变量方差组分的分析

脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄时, 雄性亲本内与配的雌性亲本的后代数(K_1)每个雌性亲本的后代数(K_2)均为 30, 每个雄性亲本的平均后代数目(K_3)为 45。根据各亲本的后代数及方差分析的结果, 计算了脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄雄性亲本, 雌性亲本和雄雌内全同胞间组分的方差(表 4)。其中雄性亲本的方差大于雌性亲本的方差, 表明雄性亲本间半同胞个体具有较大的变异程度。

表 3 脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄表型变量组成的方差分析

Tab.3 Analysis of variance for components of phenotypic variation of *E. carinicauda* at 30 and 50 days stages

生长阶段	变异来源	体长			体重		
		自由度	均方	均方比	自由度	均方	均方比
30 日龄	雄间	32	86.775	6.446**	32	3.795	1.006**
	雄内雌间	16	28.444	2.544**	16	1.568	0.478
	全同胞间	1421	13.045		1421	0.79	
	总和	1469			1469		
50 日龄	雄间	32	95.794	6.777**	32	2.56	0.942
	雄内雌间	16	27.799	2.252**	16	0.87	0.047
	全同胞间	1421	17.383		1421	0.40	
	总和	1469			1469		

注: **表示差异极显著($P < 0.01$)

表 4 表型变量的原因方差组分

Tab.4 Analysis results of causal components of phenotypic variance

方差组分	体长		体重	
	30 日龄	50 日龄	30 日龄	50 日龄
σ_s^2	1.2962	0.0495	1.5110	0.0375
σ_D^2	0.5133	0.0259	0.3472	0.0157
σ_e^2	13.0450	0.7900	17.3830	0.4000
$\sigma_s^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2$	14.8545	0.8654	19.2412	0.4532
$\sigma_s^2 + \sigma_D^2$	1.8095	0.0754	1.8582	0.0532

2.4 脊尾白虾体长和体重的遗传力估计

依据表 4 父系半同胞、母系半同胞和全同胞的方差组分, 估计了脊尾白虾体长和体重的遗传力(表 5)。

3 讨论

3.1 体长和体重遗传力的估计

遗传力是数量遗传学中最重要基本参数之一,

一般情况下所说的遗传力是狭义遗传力, 是指加性遗传方差占表型方差(总方差)的百分率。育种研究中, 可利用遗传力等参数研究和揭示数量性状的遗传规律, 探讨选育效果, 准确估计群体遗传参数对于正确评定育种值、制定选择指数、计算遗传进展及育种规划决策等具有非常重要的作用。性状遗传力的高低是确定性状选育方法的主要依据之一, 一般认为高遗传力($h^2 > 0.4$)性状适合用于个体或群体表型选择法进行选种, 低遗传力($h^2 < 0.2$)性状适合用于家系选择或家系内选择(Benzie *et al.*, 1996)。水产养殖动物主要经济性状, 如生长率、成活率、抗病能力等都存在着广泛的遗传变异, 利用选择育种的方法进行改良潜力很大。

甲壳动物选择育种中, Benzie 等(1996)利用半同胞资料对斑节对虾 6 周龄和 10 周龄生长性状的遗传力进行了估计, 体长和体重的父系半同胞遗传力为 0.10, 母系半同胞为 0.39; Argue 等(2002)得到凡纳滨

表 5 脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄的体长和体重遗传力及 t 检验
Tab.5 Heritabilities of body length and body weight of *E. carinicauda* and the t test at 30 and 50 days stages

遗传力估计 项目	30 日龄				50 日龄			
	体长	t	体重	t	体长	t	体重	t
父系半同胞	0.3490	2.4388*	0.3141	12.1786**	0.2288	1.9130	0.3310	2.3728*
母系半同胞	0.1382	4.5611**	0.0722	0.0466	0.1197	1.7551	0.1386	0.3831
全同胞	0.2436	3.4407**	0.1932	0.3058	0.1743	3.0850**	0.2348	13.5722**

注: “*” 和 “**” 分别表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)

对虾收获体重的半同胞遗传力为 0.84; Hetzel 等(2000)报道了日本囊对虾 6 月龄体重的遗传力在 0.16—0.31 之间; 黄付友等(2007)报道“黄海 1 号”中国对虾 3 月龄和 4 月龄体长遗传力估计值在 0.4—0.5 之间; 罗坤等(2008)采用动物模型, 借助 DFREML 方法估计罗氏沼虾 5 月龄体重的遗传力为 0.07。高保全等(2010)利用半同胞资料估计了三疣梭子蟹 80 日龄和 120 日龄体重的遗传力在 0.25—0.64 之间。已经报道的这些甲壳动物生长性状的遗传力估计值在 0.1—0.8 之间。本研究采用全同胞组内相关法, 估计了脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄的体长、体重狭义遗传力, 获得遗传力的估计值在 0.07—0.35 和 0.12—0.33 之间, 属中等遗传力性状。根据半同胞资料估计遗传力时, 用雌性亲本遗传方差组分估计的遗传力较小, 且变异程度较小, 而用雄性亲本遗传方差组分估计的遗传力较大, 且变异程度较大, 可能存在父系效应。但是经过 t 检验, 依据父系半同胞、母系半同胞方差组分估计的遗传力均未达到显著水平, 因此可以认为, 依据全同胞方差组分估计的遗传力是遗传力的无偏估计值, 即 30 日龄体长遗传力为 0.24, 50 日龄体长遗传力为 0.17; 30 日龄体重遗传力为 0.19, 50 日龄体重遗传力为 0.23。

3.2 影响遗传力估计值的因素

本研究估计了脊尾白虾 30 日龄和 50 日龄的体长和体重遗传力, 选择这两个发育阶段主要原因有以下两点: 第一, 小于 30 日龄时, 个体太小, 测量不精确; 第二, 个体 50 日龄时, 脊尾白虾已接近性成熟, 本实验中已观测到个别个体已经抱卵。

生物的各种性状均同时受到基因和环境条件的影响, 其中, 数量性状明显受外界环境的影响。环境差异大, 遗传力相对降低, 环境一致则遗传力的估计值提高, 因此, 估计的遗传力只能反映在特定条件下该性状的遗传情况。本试验中仔虾阶段不便使用外部标记和荧光标记, 各家系只能分开饲养在同样大小的水槽内, 尽量使水质和管理条件基本一致, 虽然开

始投放的苗种密度一致, 但是由于各家系优劣程度不同, 在生长过程中, 密度差别越来越大, 导致环境差异越来越大, 难以避免环境效应引起的误差。本研究得到 50 日龄体长遗传力估计值比 30 日龄的偏小, 作者认为主要是环境差异引起的; 而 50 日龄体重遗传力估计值比 30 日龄的偏大, 推测与生长性状亲本效应有关。综上所述, 脊尾白虾体长和体重属于中度遗传力, 对脊尾白虾生长性状进行选择育种具有很大的潜力, 可以获得较大的遗传进展。

参 考 文 献

- 马爱军, 王新安, 杨志等, 2008. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼生长性状的遗传力及其相关性分析. 海洋与湖沼, 39(5): 499—504
- 王俊, 匡友谊, 佟广香等, 2011. 不同温度下哲罗鲑幼鱼生长性状的遗传参数估计. 中国水产科学, 18(1): 75—82
- 王庆志, 李琪, 刘士凯等, 2009. 长牡蛎幼体生长性状的遗传力及其相关性分析. 中国水产科学, 5: 736—743
- 刘小林, 常亚青, 相建海等, 2003. 虾夷马粪海胆早期生长发育的遗传力估计. 中国水产科学, 10(3): 206—211
- 刘瑞玉, 1955. 中国北部的经济虾类. 北京: 科学出版社, 48—49
- 闫喜武, 张跃环, 霍忠明等, 2010. 不同地理群体菲律宾蛤仔的选择反应及现实遗传力. 水产学报, 34(5): 704—710
- 李健, 刘萍, 何玉英等, 2005. 中国对虾快速生长新品种“黄海 1 号”的人工选育. 水产学报, 29(1): 1—5
- 陈松林, 杜民, 杨景峰等, 2010. 半滑舌鳎家系建立及其生长和抗病性能测定. 水产学报, 34(12): 1789—1794
- 罗坤, 孔杰, 栾生等, 2008. 罗氏沼虾生长性状的遗传参数及其相关性. 海洋水产研究, 29(3): 80—84
- 栾生, 孙慧玲, 孔杰, 2006. 刺参耳状幼体体长遗传力的估计. 中国水产科学, 13(3): 378—383
- 高保全, 刘萍, 李健等, 2010. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)体重遗传力的估计. 海洋与湖沼, 41(3): 322—326
- 盛志廉, 陈瑶生, 2001. 数量遗传学. 北京: 科学出版社, 60—74
- Argue B J, Arce S M, Lotz J M *et al*, 2002. Selective breeding of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to *Taura syndrome* Virus. Aquaculture, 204: 447—

460

- Benzie J A H, Kenway M, Trott L *et al*, 1996. Estimates for the heritability of size in juvenile *Penaeus monodon* prawns from half-sib mating. *Aquaculture*, 152: 49—53
- Castillo-Juárez H, Casares J C Q, Campos-Montes G *et al*, 2007. Heritability for body weight at harvest size in the Pacific white shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*, from a multi-environment experiment using univariate and multivariate animal models. *Aquaculture*, 273: 42—49
- Gitterle T, Rye M, Salte R *et al*, 2005a. Genetic (co)variation in harvest body weight and survival in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* under standard commercial conditions. *Aquaculture*, 243: 83—92
- Gitterle T, Salte R, Gjerde B *et al*, 2005b. Genetic (co)variation in resistance to White Spot Syndrome Virus and harvest weight in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture*, 246: 139—149
- Goyard E, Patrois J, Reignon J M *et al*, 1999. IFREMER's shrimp genetics program. *Global Aquaculture Advocate*, 2(6): 26—28
- Hetzel D J S, Crocos P J, Davis G P *et al*, 2000. Response to selection and heritability for growth in the Kuruma prawn, *Penaeus japonicus*. *Aquaculture*, 181: 215—223
- Kenway M, Macbeth M, Salmon M *et al*, 2006. Heritability and genetic correlations of growth and survival in black tiger prawn *Penaeus monodon* reared in tanks. *Aquaculture*, 259: 138—145
- Krishna G, Gopikrishna G, Gopal C *et al*, 2011. Genetic parameters for growth and survival in *Penaeus monodon* cultured in India. *Aquaculture*, 318: 74—78
- Luan S, Yang G, Wang J *et al*, 2012. Genetic parameters and response to selection for harvest body weight of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 362—363: 88—96
- Pérez-Rostro C I, Ibarra A M, 2003a. Heritabilities and genetic correlations of size traits at harvest size in sexually dimorphic Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) grown in two environments. *Aquaculture Research*, 34: 1079—1085
- Pérez-Rostro C I, Ibarra A M, 2003b. Quantitative genetic parameters estimates for size and growth rate traits in Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* (Boone 1931) when reared indoors. *Aquaculture Research*, 34: 543—553
- Rawson P D, Hilbish T J, 1990. Heritability of juvenile growth for the hard clam *Mercenaria mercenaria*. *Marine Biology*, 105: 429—436

HERITABILITY OF BODY LENGTH AND WEIGHT FOR THE RIDGETAIL WHITE PRAWN *EXOPALAEON CARINICAUDA*

LI Ji-Tao, LI Jian, LIU Ping, CHEN Ping, HE Yu-Ying, GAO Bao-Quan
(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract In this study, the heritabilities of body length and weight in the ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda* were estimated by intra-group correlation of full-sibs at 30 and 50 days stages after hatching. A total of 82 maturing shrimp were taken from selected population. 49 sires and 294 dams were mated in 1♂×6♀, and 49 full-sib families were produced, including 28 half-sib families. 30 individuals were randomly sampled in harvest on day 30 and 50 in age from each family and body length and weight were measured. Causal components of phenotypic variance were calculated with the GLM procedure of SPSS software. The results show that the heritability of body length at 30 and 50 days of age were 0.14—0.35 and 0.07—0.31, and the heritability of body weight was 0.12—0.23 and 0.14—0.33, respectively. No significant difference was found in the heritability between maternal and paternal genetic variance. However, the difference was significant in components variance of full-sibs within sires and dams. The results prove that the values from components of variance of full-sibs within sires and dams were precise and unbiased for the body length and weight. The study showed that the heritabilities for body length and weight were moderate, and selective breeding would improve greatly early growth of *E. carinicauda*.

Key words *Exopalaemon carinicauda*; body length; body weight; heritability