

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170328004

http://www.yykxjz.cn/

王明珠, 孟宪红, 孔杰, 曹家旺, 王军, 冯亚萍, 强光峰. 低温胁迫条件下中国明对虾生长性状和耐低温性状的遗传参数评估. 渔业科学进展, 2018, 39(3): 96-102

Wang MZ, Meng XH, Kong J, Cao JW, Wang J, Feng YP, Qiang GF. Evaluation of genetic parameters for growth and cold tolerance traits in *Fenneropenaeus chinensis* under low-temperature stress. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(3): 96-102

低温胁迫条件下中国明对虾生长性状和耐低温性状的遗传参数评估*

王明珠^{1,3} 孟宪红^{1,2①} 孔 杰^{1,2} 曹家旺^{1,2}
王 军^{1,3} 冯亚萍^{1,3} 强光峰^{1,3}

- (1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;
2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071;
3. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 本研究采用室内人工降温的方式,对 69 个中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)家系共 1327 尾成虾进行了耐低温实验,测定其生长和耐低温性状;并利用混合模型方程,通过平均信息约束极大似然法进行遗传力和遗传相关估计。采用 2 种动物模型对中国明对虾成虾低温下体重、体长的遗传力进行评估,模型 1 加入了共同环境效应,模型 2 没有加入共同环境效应。由模型 1 获得的体重、体长的遗传力分别为(0.206±0.177)、(0.187±0.179),由模型 2 获得的体重、体长的遗传力分别为(0.317±0.065)、(0.298±0.063),均为中低等遗传力。经似然比检验体重、体长在模型 1 和模型 2 间的似然比值均无显著差异($P>0.05$),表明模型 1 和模型 2 之间无显著差异,模型 2 为较优遗传模型。以半致死时的存活状态作为耐低温性状指标,遗传力为(0.169±0.078),为低等遗传力。低温下体重、体长之间的表型和遗传相关分别为(0.823±0.010)和(0.969±0.018),为高度正相关;低温下体重、体长与半致死时的存活状态的表型相关分别为(0.187±0.030)和(0.218±0.030),为低度正相关;而遗传相关分别为(0.517±0.205)和(0.538±0.203),为中度正相关。本研究表明,对生长性状进行的选育不会降低其耐低温能力,中国明对虾耐低温性状可与生长性状进行共同复合选育。

关键词 中国明对虾; 生长性状; 耐低温性状; 半致死时的存活状态

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)03-0096-07

中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)主要分布于我国黄渤海区,包括山东、河北、辽宁、天津及江苏近海,在朝鲜半岛西海岸和南海岸也有批量生产,

是我国重要的渔业资源。中国明对虾对水温的耐受范围为 4℃~38℃,生长的适温范围是 18℃~30℃,以 25℃为最宜(王清印, 2013)。中国明对虾的适宜生长

* 中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费(20603022017001)、国家自然科学基金(41676148)、泰山学者良种工程项目和现代农业产业技术体系专项资金(CARS-48)共同资助[This work was supported by Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, Yellow Sea Fisheries Research Institute, CAFS(20603022017001), National Natural Science Foundation of China (41676148), Taishan Scholar Program for Seed Industry, and China Agriculture Research System(CARS-48)]. 王明珠, E-mail: wangmingzhu01011@163.com

① 通讯作者: 孟宪红, 研究员, E-mail: mengxianhong@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2017-03-28, 收修改稿日期: 2017-04-21

温度限制了对虾的养殖季节和地域,更重要的是对低温的不耐受使得中国明对虾亲虾越冬的安全性降低,越冬成本也大幅上升,影响了养殖的产量和效益。因此,有必要对中国明对虾进行遗传改良,选育出生长快,同时对低温耐受度较高的优良新品种。

对耐低温性状进行遗传参数评估可为选择育种提供理论依据和基础。水产动物中温度耐受性遗传参数评估的研究在国内外已开展多年,如王俊等(2011)对哲罗鲑(*Hucho taimen*)幼鱼在不同温度下体重(Body weight, BW)和体长(Body length, BL)的遗传力进行了估计,其低温组(9±1.5)°C和高温组(13±1.5)°C体重的父系全同胞遗传力分别为 0.413~0.653 和 0.396~0.545,体长的父系全同胞遗传力分别为 0.297~0.701 和 0.194~0.608。Charo-Karisa 等(2005)对尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)耐低温性状进行研究,其低温累计存活小时数(Cooling degree hours, CDH)和死亡时温度(Temperature at death, TAD)的遗传力分别为(0.08±0.19)和(0.09±0.17),均为低等遗传力;同时,发现体重对低温耐受力存在显著影响,个体较小的耐受性较差。Cnaani 等(2000)对罗非鱼杂交品种的耐寒性进行了研究,认为体长与低温累计存活天数(Cooling-degree days, CDD)相关性很小。目前,对虾的相关研究较少,仅 Li 等(2015、2016)对中国明对虾成虾和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)耐低温性状遗传参数进行了初步研究。对于耐低温性状遗传参数的准确估计以及评估其与生长性状的遗传相关,有重要的理论指导意义,能够直接影响到我们育种策略的制定。

本研究通过室内人工低温胁迫的方式,对中国明对虾成虾在低温下生长性状和耐低温性状进行遗传评估,分析了中国明对虾成虾在低温下的生长性状和耐低温性状的遗传力以及相关性,以期为中国明对虾耐低温新品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于中国水产科学研究院黄海水产研究所海水养殖遗传育种中心即墨市鳌山卫实验基地进行。实验材料为 2015 年构建的中国明对虾“黄海 2 号”G10 代家系。家系平均体重达到 3 g 后,对其进行荧光(Visible implant elastomer, VIE)标记,以区分家系。将所有对虾置于 2 个 100 m³ 的室外圆形水泥池中进行混养,混养期间,每日换水量为 30%,温度为自然水温。每天根据其营养需求投喂 2 次混合饲料和 2 次菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)肉。本研究共使用

69 个全同胞家系(包含 4 个半同胞家系),1327 尾成虾,每个家系的个体数在 10~41 尾之间。

1.2 成虾低温胁迫处理

由于中国明对虾的存活耐受低温为 4°C,所以本实验设置 4°C 为低温胁迫水温。当外界自然水温降至 4°C 时,将所有对虾移入室内 6 m×6 m×1 m 的水泥池中,并将水温维持在(4±1)°C。实验所用池塘为 3 个。每天吸底、换水 1 次,投喂虾料 4 次。从第 1 尾死虾出现开始,每 2 h 查看 1 次水池,捞取死亡个体。死亡定义为对虾失去平衡,倒向一侧,并对外界刺激失去反应。记录死亡个体的死亡时间、家系信息、性别、体重、体长等信息。待全部对虾死亡达到 50% 时,停止低温胁迫。记录所有存活对虾的家系信息、性别、体重、体长。低温胁迫共持续 7 d。

1.3 数据处理

实验数据用 Excel 软件进行整理,描述性统计用 SPSS 19.0 软件进行分析。

1.3.1 中国明对虾成虾低温下体重、体长的遗传力估计
建立线性混合模型,利用平均信息约束极大似然法(Average information restricted maximum likelihood, AIREML)估计中国明对虾成虾体重和体长的方差组分。生长数据通过 ASReml 软件进行分析。池塘和性别作为固定效应,经检验所有的固定效应均具有显著意义($P < 0.01$)。采用 2 种单性状个体动物模型对体重、体长的遗传方差组分进行估计,如下:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{Tank}_i + \text{Sex}_j + a_l + C_k + e_{ijkl} \quad (1)$$

$$Y_{ijl} = \mu + \text{Tank}_i + \text{Sex}_j + a_l + e_{ijl} \quad (2)$$

式中,模型 1 比模型 2 中多加了共同环境效应, Y_{ijkl} 和 Y_{ijl} 表示第 l 尾虾的体重或体长的观测值, μ 是总体平均值, Tank_i 是第 i 个池塘的固定效应, Sex_j 是第 j 个性别的固定效应, a_l 是第 l 尾虾的体重或体长的加性遗传效应, C_k 为第 k 个全同胞家系单独养殖时产生的共同环境效应, e_{ijkl} 和 e_{ijl} 是第 l 尾虾的随机残差。表型方差是所有方差组分的和,计算公式:

$$\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2 \text{ 或 } \sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_e^2 \quad (3)$$

遗传力是加性遗传方差和表型方差的比值,计算公式:

$$h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_p^2 \quad (4)$$

式中, σ_p^2 为表型方差, σ_a^2 是加性方差, σ_c^2 是共同环境方差, σ_e^2 是残差组分。

1.3.2 中国明对虾成虾耐低温性状的遗传力估计

耐低温性状的遗传参数选用半致死时的存活状

态(Survival status at half lethal time, SS_{50})作为指标进行估计。 SS_{50} 是一个非连续性性状,因此,用广义线性混合模型(Generalized linear mixed model, GLMM)方法(连接函数 Probit)估计其方差组分。由于加入共同环境效应后,模型不收敛,所以,模型中没有加入共同环境效应,育种分析模型为父母本模型:

$$\lambda_{ijkl} = \mu + \text{Sex}_j + \text{Sire}_i + \text{Dam}_k + e_{ijkl} \quad (5)$$

$$y_{ijkl} = \begin{cases} 0 & \text{if } \lambda_{ijkl} \leq 0 \\ 1 & \text{if } \lambda_{ijkl} > 0 \end{cases}$$

式中, y_{ijkl} 是第 l 尾虾的存活状态,存活的个体记录为 1,死亡个体记录为 0; λ_{ijkl} 是 y_{ijkl} 的潜在变量; μ 是总体平均值; Sex_j 是第 j 个性别的固定效应; Sire_i 和 Dam_k 则分别是第 i 个父本和第 k 个母本的加性遗传效应; e_{ijkl} 是第 l 尾虾的随机残差。表型方差组分的计算公式为:

$$\sigma_p^2 = 2\sigma_{sd}^2 + \sigma_e^2$$

遗传力的计算公式则为:

$$h^2 = 4\sigma_{sd}^2 / \sigma_p^2$$

式中, σ_p^2 是表型方差, σ_s^2 是父本加性方差, σ_D^2 是母本加性方差, σ_e^2 是残差组分。

1.3.3 不同动物模型间的比较 用似然比检验(Likelihood ratio test, LRT)对 1.3.1 中含共同环境效应和不含共同环境效应的 2 种动物模型进行比较。检验统计量为:

$$\text{LR} = -2[\ln(L)_r - \ln(L)_f] \quad (6)$$

式中, LR 为似然比值, $\ln(L)_r$ 和 $\ln(L)_f$ 分别是 2 个不同模型下的最大似然函数值,模型 r 是模型 f 的子模型。LR 值服从卡方分布,自由度为 2 个模型中估计的参数个数之差,本研究中即为 1。

1.3.4 中国明对虾成虾低温下生长性状和耐低温性状间的相关分析 不同性状间表型和遗传相关均利用两性状动物模型进行评估。体重和体长之间的表型和遗传相关估计所用的两性状动物模型是模型(2)的扩展,模型中每一项的含义同模型(2)描述一致。体重、体长和 SS_{50} 之间的表型和遗传相关分析中, SS_{50} 被设

置为第 1 个变量,其模型同模型(5);体重和体长分别被设置为第 2 个变量,模型同模型(2)。模型中各项的描述同前。

1.3.5 显著性检验分析 运用 Z-score 来检验上述各性状遗传力和相关评估值是否显著(Nguyen *et al.*, 2007),公式如下:

$$z = \frac{x_i - x_j}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}} \quad (7)$$

式中, x_i 和 x_j 是指各性状的遗传力或两性状间的相关系数值, σ_i^2 和 σ_j^2 是指相应遗传力或相关系数的标准误。当检验遗传力是否与 0 有显著差异时, x_j 和 σ_j 则均定义为 0,当检验相关系数与 1 是否差异显著时, x_j 和 σ_j 分别定义为 1 和 0。

2 结果

2.1 中国明对虾成虾低温下生长性状和耐低温性状的描述性统计

中国明对虾成虾低温下生长和耐低温性状的样本量、平均值、最大值、最小值、标准差以及变异系数如表 1 所示。从表 1 可以看出,体重、体长和半致死时各家系存活率(Survival rate for each family at half lethal time, SR_{50})平均值分别为 17.81 g、114.98 mm、48.45%,变异系数分别为 26.41%、8.62%和 30.01%,其中, SR_{50} 的变异系数值最大(30.01%),表明不同家系间的半致死存活率存在较大变异;体长的变异系数值最小(8.62%),表明体长在家系间的变异相对较小。

2.2 中国明对虾成虾低温下生长性状和耐低温性状的遗传参数评估及 2 种模型间的比较

中国明对虾成虾低温下生长和耐低温性状的遗传参数以及生长性状 2 种模型间的比较结果见表 2。由模型 1 获得的体重和体长的遗传力分别为(0.206±0.177)和(0.187±0.179),二者均与 0 无显著差异,并且二者之间也无显著差异($Z=0.075$, $P>0.05$)。由模型 2

表 1 中国明对虾成虾低温下生长性状和耐低温性状的描述性统计

Tab.1 Description statistics of growth traits under low temperature and cold tolerance traits in *F. chinensis*

性状 Trait	样本数 Number	均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient variation (%)
体重 Body weight	1327	17.81 g	6.26 g	32.92 g	4.78	26.41
体长 Body length	1327	114.98 mm	83.00 mm	170.10 mm	9.91	8.62
半致死时各家系存活率 SR_{50}	69	48.45%	15.38%	78.57%	14.54	30.01

获得的体重和体长的遗传力分别为(0.317±0.065)和(0.298±0.063), 且二者均与 0 存在极显著差异($P<0.01$)。经 LRT 检验体重、体长两性状在模型 1 和模型 2 之间的似然比值分别为 1.640 和 1.764, 均不存在显著差异($P>0.05$), 表明模型 1 和模型 2 之间不存在显著差异, 模型 2 为较优遗传模型。以 SS_{50} 作为耐低温指标, 遗传力为 0.169±0.078, 经 Z 检验与 0 存在显著差异($P<0.05$)。

2.3 中国明对虾成虾低温下生长性状和耐低温性状的相关分析

中国明对虾成虾的生长性状与耐低温性状间的两两相关性分析见表 3。从表 3 可以看出, 体重和体长二者间的表型和遗传相关系数分别为(0.823±0.010)和(0.969±0.018), 为高度正相关, 且二者均与 1 无显著差异($P>0.05$)。体重、体长和 SS_{50} 表型相关系数分别为(0.187±0.030)、(0.218±0.030), 遗传相关系数分别为(0.517±0.205)、(0.538±0.203)。由以上可知, 中国明对虾的体重、体长和 SS_{50} 之间存在较高的遗传正相关, 而表型相关则相对较弱。

3 讨论

3.1 中国明对虾成虾低温下生长性状遗传力及 2 种模型间的比较

在本研究中, 通过 2 种模型获得的中国明对虾成

虾在低温下体重和体长的遗传力均为中低等遗传力。由模型 1 获得的体重、体长的遗传力分别为(0.206±0.177)和(0.187±0.179), 模型 2 获得的体重、体长的遗传力分别为(0.317±0.065)和(0.298±0.063), 且模型 1 获得的遗传力均与 0 无显著差异($P>0.05$), 而模型 2 获得的遗传力均与 0 存在显著差异($P<0.01$)。2 种生长性状不同模型间的似然比值分别为 1.640 和 1.764, 均无显著差异($P>0.05$), 故认为共同环境效应对模型的影响不大。当模型不加共同环境效应时, 两性状的遗传力较高一些, 但加入共同环境效应后, 两性状遗传力都较低, 且标准误较大, 这可能是由于本研究中 69 个全同胞家系中仅包含了 4 个半同胞家系, 家系间缺乏遗传联系, 加性遗传效应和共同环境效应存在一定程度的混淆, 使得加性遗传效应估计不够准确(Castillo-Juárez *et al.*, 2007; Luan *et al.*, 2015)。此前, Li 等(2016)也用 2 种动物模型对中国明对虾成虾低温胁迫下体重的遗传力进行了估计, 在不加共同环境效应时遗传力为(0.3271±0.0447), 但加入共同环境效应后则降为(0.1320±0.0269), 二者均显著差异于 0 ($P<0.01$), 与本研究结果基本一致。

徐利永等(2014)对大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)低温条件下生长性状进行遗传参数评估时发现, 其低温下体重和体长的遗传力分别为(0.32±0.04)和(0.47±0.06), 为中高等遗传力, 略高于本研究获得的遗传力。此外, 本研究结果与 He 等(2011)采用全同胞组

表 2 中国明对虾成虾低温下生长和耐低温性状的遗传参数评估

Tab.2 Variance components, heritability for growth traits under low temperature and cold tolerance traits in *F. chinensis*

性状 Trait	模型 Model	方差组分 Variance components				遗传力 h^2 Heritability	似然值 -2lnL	似然比 LR
		加性 方差 σ_a^2	共同环境 方差 σ_c^2	随机 残差 σ_e^2	表型 方差 σ_p^2			
体重 Body weight	1	1.808	0.424	6.550	8.782	0.206±0.177 ^{ns}	4104.133	1.640 ^{ns}
	2	2.806	—	6.057	8.863	0.317±0.065**	4102.493	—
体长 Body length	1	9.136	2.368	37.465	48.969	0.187±0.179 ^{ns}	6388.361	1.764 ^{ns}
	2	14.728	—	34.677	49.405	0.298±0.063**	6386.597	—
半致死时各家系存活率 SS_{50}	—	0.184	—	1.000	1.092	0.169±0.078 *	—	—

**为差异极显著($P<0.01$), *为差异显著($P<0.05$), ns 为差异不显著($P>0.05$), 下同

** denoted extremely significant difference at $P<0.01$, * denoted significant difference at $P<0.05$, ns denoted no significant difference, the same as below

表 3 中国明对虾成虾低温下生长和耐低温性状间的相关分析

Tab.3 Correlation analysis among growth traits under low temperature and cold tolerance traits in *F. chinensis*

性状 Traits	体重 Body weight	体长 Body length	半致死时的存活状态 SS_{50}
体重 Body weight	1	0.969±0.018**	0.517±0.205
体长 Body length	0.823±0.010**	1	0.538±0.203
半致死时的存活状态 SS_{50}	0.187±0.030	0.218±0.030	1

注: 对角线以上为遗传相关, 对角线以下为表型相关

Note: Data above diagonal were genetic correlations, while data below diagonal were phenotypic correlation

内相关法估计的 150 日龄中国明对虾体重的遗传力(0.04~0.29)结果大体一致,但体长的遗传力估计要略低于其结果(0.36~0.51)。而与田燧等(2008)对 145 日龄中国明对虾生长性状的遗传力的研究结果基本一致,其体重、体长遗传力分别为(0.14±0.16)和(0.10±0.06)。黄付友等(2008)采用全同胞组内相关法对“黄海 1 号”中国明对虾 3 月龄和 4 月龄时的体长遗传力进行评估,其估计值在 0.4~0.5 之间,属于高等遗传力。Zhang 等(2011)对中国明对虾成虾的体重遗传力分别用 8 种模型进行了分析,结果均为高等遗传力,估计值在 0.44~0.74 之间。不同研究中获得的遗传力不同,分析主要有以下原因:由于估计遗传力时所采用的方法不同,分析的家系数量也不同,分析过程中环境效应和不可预测的遗传效应会得到不同的遗传力估计值(He *et al*, 2011)。不同品种或相同品种的不同生长时期,群体遗传背景和结构不同,会影响到遗传力估计值(蒋湘等, 2013)。群体所处生长阶段不同,遗传参数中各方差组分所占比例不同,随着养殖时间的逐渐增加,显性效应和母体效应逐渐减少,因此,获得的遗传力可能较低(蒋湘等, 2013; 郑静静等, 2016)。而本研究中,生长性状为中低等遗传力可能是受其生长周期影响,较其他研究中,本研究用虾日龄较大(平均日龄为 252 d),随着生长周期增长,母体效应减小,因此,获得的遗传力较低。

3.2 中国明对虾成虾耐低温性状遗传力

水产动物的低温耐受能力通常会选 TAD、CDH 和 SS₅₀ 等指标来描述(Li *et al*, 2016; 卢其西等, 2011)。但本研究基于选育留种的需求,仅选用了 SS₅₀ 指标对中国明对虾的低温耐受性进行评估。本研究中获得的 SS₅₀ 的遗传力为(0.169±0.078),经 Z 检验与 0 存在显著差异($P<0.05$),为低等遗传力。Li 等(2016)在中国明对虾成虾和凡纳滨对虾成虾耐低温性状的研究中,分别获得的 SS₅₀ 和 CDH 的遗传力也均为低等遗传力[分别为(0.0192±0.0235)和(0.0258±0.0205)]。在其他水产动物温度耐受性的研究中,刘宝锁等(2011)利用 2 种动物模型对大菱鲆耐高温性状进行遗传力的估计,所获得耐热性(Upper thermal tolerance, UTT)的遗传力分别为(0.026±0.034)和(0.026±0.053),也均为低等遗传力。Charo-Karisa 等(2005)对于尼罗罗非鱼幼鱼耐低温性状的遗传力进行了研究,其 CDH 的遗传力为(0.08±0.19),TAD 的遗传力为(0.09±0.17)。Elderkin 等(2004)估计的斑马贻贝(*Dreissena polymorpha*)

面盘幼虫耐高温性状的遗传力为(-0.125±0.095)。以上研究结果均表明,水产动物中温度耐受性性状为低等遗传力性状。同时,在水产动物的其他抗逆性的研究中也发现了抗逆性状多为低等遗传力。袁瑞鹏等(2016)对 7 周和 14 周凡纳滨对虾高氨氮耐受性的遗传力进行估计,其高氨氮耐受存活率遗传力分别为(0.13±0.11)和(0.17±0.08);张嘉晨等(2016)进行了凡纳滨对虾耐低溶氧性状的遗传力估计,也为低等遗传力(0.07±0.03)。由此可见,水产动物抗逆性状的遗传力一般较低。为了给中国明对虾耐低温品种的选育工作提供更精确的数据支持,仍需要对中国明对虾耐低温性状的遗传参数进行进一步的研究。

3.3 中国明对虾成虾低温下生长性状和耐低温性状间的相关分析

在本研究的遗传参数相关性分析中,体重、体长与 SS₅₀ 的遗传相关系数分别为(0.517±0.205)和(0.538±0.203),表型相关系数分别为(0.187±0.030)和(0.218±0.030)。此研究结果显示,中国明对虾成虾耐低温性状与生长性状间的遗传相关较强,而表型相关较弱。Charo-Karisa 等(2005)对于尼罗罗非鱼幼鱼耐低温性状研究中,体重与耐低温性状 CDH 和 TAD 的表型相关分别为(0.33±0.17)和(-0.26±0.18),遗传相关分别为(0.72±0.81)和(-0.68±0.84),遗传相关强于表型相关与本研究结果一致。但 Li 等(2015、2016)对中国明对虾成虾耐低温性状研究中,体重与 SS₅₀ 的遗传相关系数低于表型相关系数;而其对凡纳滨对虾耐低温的研究中,体重与 CDH 和 SS₅₀ 的遗传相关值分别为(-0.7702±0.4583)和(-0.8253±0.4553),均为负相关,且均与 0 无显著差异。

刘宝锁等(2011)对 40 个大菱鲆家系耐热性的研究表明,体重与 UTT 的表型相关和遗传相关系数分别为 0.04 和-1.00,而在 Perry 等(2005)对虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)耐热性的研究表明,体重与 UTT 之间的遗传相关几乎为 0($r_a=-0.03±0.18$)。在选择育种中,一些性状通过直接选育往往得不到理想的效果,由于生物体存在基因连锁效应和基因多效性,使得不同的性状间具有一定的相关程度,因此,可以通过选育性状相关程度较高的性状进行间接选育(Moore *et al*, 1999)。本研究表明,中国明对虾耐低温性状 SS₅₀ 与生长性状间具有较高的遗传相关系数,因此,中国明对虾耐低温新品种的选育可以结合生长性状选育同时进行。

参 考 文 献

- Castillo-Juárez H, Casares JCQ, Campos-Montes G, *et al.* 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*, 2007, 273(1): 42–49
- Charo-Karisa H, Rezk MA, Bovenhuis H, *et al.* Heritability of cold tolerance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, juveniles. *Aquaculture*, 2005, 249(1–4): 115–123
- Cnaani A, Gall GAE, Hulata G. Cold tolerance of tilapia species and hybrids. *Aquaculture International*, 2000, 8(4): 289–298
- Elderkin CL, Stoeckel JA, Klerks PL, *et al.* Heritability of heat tolerance in zebra mussel veligers. *Journal of Great Lakes Research*, 2004, 30(3): 360–366
- He YY, Wang QY, Tan LY, *et al.* Estimates of heritability and genetic correlations for growth traits in Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Agricultural Science and Technology*, 2011, 12(4): 613–616
- Huang FY, He YY, Li J, *et al.* Estimates for the heritability of body length in Shrimp *Fenneropenaeus chinensis* Named“Huanghai No.1”. *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. *中国海洋大学学报*, 2008, 38(2): 269–274]
- Jiang X, Liu JY, Lai ZF. Genetic parameter estimation of growth traits in small abalone, *Haliotis diversicolor supertexta*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(3): 544–550 [蒋湘, 刘建勇, 赖志服. 九孔鲍幼鲍生长性状的遗传参数估计. *中国水产科学*, 2013, 20(3): 544–550]
- Li WJ, Luan S, Luo K, *et al.* Genetic parameters and genotype by environment interaction for cold tolerance, body weight and survival of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* at different temperatures. *Aquaculture*, 2015, 441: 8–15
- Li WJ, Luan S, Luo K, *et al.* Genetic parameters for cold tolerance and body weight of Chinese fleshy prawn, *Fenneropenaeus chinensis*. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 35(6): 12–18
- Liu BS, Zhang TS, Kong J, *et al.* Estimation of genetic parameters for growth and upper thermal tolerance traits in turbot *Scophthalmus maximus*. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(11): 1601–1606 [刘宝锁, 张天时, 孔杰, 等. 大菱鲆生长和耐高温性状的遗传参数估计. *水产学报*, 2011, 35(11): 1601–1606]
- Lu QX, Lin Y, Bin SY, *et al.* Analysis of cold tolerance measure at low-temperature in six tilapia families. *Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2011; 29(2): 104–109 [卢其西, 林勇, 宾石玉, 等. 罗非鱼 6 个家系的低温耐寒测定分析. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 29(2): 104–109]
- Luan S, Wang J, Yang G, *et al.* Genetic parameters of survival for six generations in the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Research*, 2015, 46(6): 1345–1355
- Moore SS, Whan V, Davis GP, *et al.* The development and application of genetic markers for the kuruma prawn *Penaeus japonicus*. *Aquaculture*, 1999, 173 (1–4): 19–32
- Nguyen NH, Khaw HL, Ponzoni RW, *et al.* Can sexual dimorphism and body shape be altered in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by genetic means? *Aquaculture*, 2007, 272(S1): S38–S46
- Perry GML, Martyniuk CM, Ferguson MM, *et al.* Genetic parameters for upper thermal tolerance and growth-related traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 2005, 250(1–2): 120–128
- Tian Y, Kong J, Luan S, *et al.* Estimation of genetic parameters for growth traits of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *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. *海洋水产研究*, 2008, 29(3): 1–6]
- Wang J, Kuang YY, Tong GX, *et al.* Genetic parameters of growth traits in *Hucho taimen* at different temperature. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(1): 75–82 [王俊, 匡友谊, 佟广香, 等. 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*, 2011, 18(1): 75–82]
- Wang QY. Principles and practices of breeding in aquatic organisms. Beijing: Science Press, 2013, 42–77 [王清印. 水产生物育种理论与实践. 北京: 科学出版社, 2013, 42–77]
- Xu LY. Research on growth performance and estimates of heritability for growth traits of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) under low temperature. Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2014, 38–42 [徐利永. 大菱鲆低温条件下生长性能研究及生长性状遗传力的估计. 南京农业大学硕士研究生学位论文, 2014, 38–42]
- Yuan RP. The selective breeding research on the growth, reproduction and high ammonia nitrogen tolerance in *Litopenaeus vannamei*. Master's Thesis of Guangdong Ocean University, 2016, 19–33 [袁瑞鹏. 凡纳滨对虾生长、繁殖及高氨氮耐受性的选择育种研究. 广东海洋大学硕士研究生学位论文, 2016, 19–33]
- Zhang JC, Cao FJ, Liu JY, *et al.* Estimation on genetic parameters and genetic gain in growth and hypoxic tolerance traits of *Litopenaeus vannamei*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(4): 869–875 [张嘉晨, 曹伏君, 刘建勇, 等. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长和耐低溶氧性状的遗传参数估计和遗传获得评估. *海洋与湖沼*, 2016, 47(4): 869–875]
- Zhang TS, Kong J, Luan S, *et al.* Estimation of genetic parameters and breeding values in shrimp *Fenneropenaeus chinensis* using the REML/BLUP procedure. *Acta Oceanologica Sinica*, 2011, 30(1): 78–86
- Zheng JJ, Liu JY, Liu JH, *et al.* Genetic parameterization and breeding value on body weight of *Litopenaeus vannamei* in different growth stages. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(5): 1005–1012 [郑静静, 刘建勇, 刘加惠, 等. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)不同生长阶段体重的遗传参数和育种值估计. *海洋与湖沼*, 2016, 47(5): 1005–1012]

Evaluation of Genetic Parameters for Growth and Cold Tolerance Traits in *Fenneropenaeus chinensis* Under Low-Temperature Stress

WANG Mingzhu^{1,3}, MENG Xianhong^{1,2①}, KONG Jie^{1,2}, CAO Jiawang^{1,2},
WANG Jun^{1,3}, FENG Yaping^{1,3}, QIANG Guangfeng^{1,3}

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071; 3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract In the present study, a preliminary evaluation was conducted on the cold tolerance and growth traits of 69 *Fenneropenaeus chinensis* by indoor artificial cooling. A linear mixed model with average information restricted maximum likelihood was used to evaluate the genetic parameters. Two animal models were used to evaluate the heritability of body weight (BW) and body length (BL) under low-temperature stress in *F. chinensis*. The heritability of BW and BL observed in model 1 were (0.206±0.177) and (0.187±0.179), respectively, and for model 2, these were (0.317±0.065) and (0.298±0.063), respectively, which ranged between medium to low. The differences between the two models were tested by likelihood ratio test, and the likelihood ratio values for Model 1 and Model 2 were 1.640 and 1.764, respectively, which were not significantly different ($P>0.05$). The results showed that the two models were not significantly different, and that model 2 was the optimal model. The heritability of the survival status at half lethal time (SS₅₀) among cold tolerant traits was (0.169±0.078). The phenotypic and genetic correlation coefficients between BW and BL under low-temperature stress were (0.823±0.010) and (0.969±0.018), respectively, which were relatively high. The phenotypic correlation coefficients between BW and SS₅₀; and BL and SS₅₀ were comparatively low with values (0.187±0.030) and (0.218±0.030), respectively. The genetic correlation coefficient between BW and SS₅₀; and BL and SS₅₀ were comparatively high with values (0.517±0.205) and (0.538±0.203), respectively. The results showed that during breeding of *F. chinensis*, the cold tolerant variety can be selected together with growth traits.

Key words *Fenneropenaeus chinensis*; Growth traits; Cold tolerance traits; Survival status at half lethal time

① Corresponding author: MENG Xianhong, E-mail: mengxianhong@ysfri.ac.cn