

文章编号: 1000-0615(2017)04-0573-07

DOI: 10.11964/jfc.20160110221

不同盐度下凡纳滨对虾生长和存活性状遗传评估

孔杰^{1,2*}, 栾生^{1,2}, 罗坤¹, 李旭鹏¹,
孟宪红¹, 曹宝祥¹, 刘宁¹

(1. 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;
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, 山东 青岛 266071)

摘要: 为揭示不同盐度环境对凡纳滨对虾家系体质量和存活性状的影响, 本研究标记来自72个家系的4348尾对虾, 在盐度30(HS组)和盐度15(LS组)条件下混养60 d, 分析体质量和存活性状的遗传参数以及基因型与环境互作效应。结果显示, HS组的凡纳滨对虾平均体质量和存活率均高于LS组。估算体质量、存活性状遗传参数, 结果显示HS和LS组体质量的遗传力估计值分别为 0.51 ± 0.08 和 0.30 ± 0.07 , 属高遗传力; 转换后存活性状遗传力估计值分别为0.22和0.39, 也表现为中高遗传力水平。综合HS和LS组的数据, 估算的体质量和转换后存活性状遗传力分别为 0.45 ± 0.07 和0.31, 均表现为高遗传力水平。然而由于收敛原因, 在估计模型中未能包括共同环境效应, 上述遗传参数估计值偏高。估算基因型与环境互作效应(G×E), 结果显示两个盐度间体质量和存活性状均表现为高度遗传相关(0.81~0.90), G×E方差组分与加性遗传方差组分比值均小于0.5, G×E效应均不显著。研究表明, 尽管凡纳滨对虾的生长和存活性状在两个盐度下存在一定差异, 然而基因型与盐度的互作效应并不显著, 由此认为在盐度15~30的范围内, 不需要针对不同的盐度建立不同的选育系。

关键词: 凡纳滨对虾; 盐度; 体质量; 存活率; 遗传力; 基因型与环境互作

中图分类号: Q 348; S 968.22

文献标志码: A

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)又称南美白对虾, 是世界上最主要的对虾养殖品种之一, 也是当前国内产量最高的品种之一。目前国内缺乏优质凡纳滨对虾亲虾, 使用的亲虾很大程度上依赖于国外进口, 成本不菲。国内开展的亲虾选育工作进展缓慢, 而选育出生长快、抗逆性强的凡纳滨对虾品系将改变国内亲虾依赖国外进口的局面。

动物的表型性状除了受到遗传因素的影响, 也受环境因素的影响。对经济物种在不同环境下生长性状进行研究, 能更好地认识物种的生长特征, 探索最适养殖环境, 也能为改良品种, 提高品种在胁迫环境下的适应力提供参考信息。

目前在对虾养殖领域, 对环境的研究主要集中在温度、盐度、氨氮、亚硝酸盐以及pH值等方面^[1-5]。盐度是影响凡纳滨对虾生长、存活的重要因素之一。有研究表明盐度对不同凡纳滨对虾家系间的生长性状影响有很大差异^[6]。在海水养殖环境下, 凡纳滨对虾成活率、肝脏碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性比低盐度养殖环境下高^[7]。目前低盐淡化养殖技术使凡纳滨对虾可在较广范围内养殖, 但低盐环境对凡纳滨对虾选择育种的影响需要深入研究, 包括低盐环境下对虾的生长、存活性状的遗传参数和基因型与环境互作(genotype by environment interactions, G×E)效应分析, 为制定遗传选育方案提供理论

收稿日期: 2016-01-04 修回日期: 2016-10-11

资助项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费(2015B04XK01); 国家自然科学基金面上项目(31572616); 农业部“九四八”项目(2016-X39); 山东省重点研发计划项目(2016GSF115030); 泰山学者种业人才团队项目; 广东省水产良种体系建设项目(zj0004)

通信作者: 孔杰, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn

依据。若选择的经济性状存在较强G×E效应,需在不同环境设置育种核心群体^[8]。已有研究表明,凡纳滨对虾在不同水温环境下其生长、存活性状G×E效应明显^[9]。而对凡纳滨对虾不同养殖密度130日龄体质量研究表明,其G×E效应不显著^[10]。本研究通过对两个盐度下凡纳滨对虾体质量和存活性状的遗传参数、G×E效应进行分析,通过数量遗传学方法分析家系个体在不同盐度梯度间是否存在重排序效应,是否需要针对不同的盐度单独建立育种核心群体,为对虾选育工作提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 实验对象

本研究所用凡纳滨对虾来自于2013年构建的全同胞家系,父本和母本来自2012年留种的凡纳滨对虾优良品系,在盐度30下培育,通过控制近交的配种方案设计,获得下一代家系。

1.2 实验方法

家系构建 在确定家系构建方案后,利用人工授精技术进行配对。当雌性性腺发育成熟后再将其移入独立单元内产卵。卵的孵化水温

控制在28℃左右。在卵孵化后,从每个独立单元内捞取5000尾左右的无节幼体移入200 L圆桶内培育。上述无节幼体培育至仔虾期时,再捞取400尾仔虾移入200 L圆桶内培育。在仔虾培育到第10天时,再从中捞取120尾移至200 L圆桶进行中间培育。在仔虾平均体长为3 cm时,通过第六腹节注射彩色荧光染料方法标记每个家系。

不同盐度环境中凡纳滨对虾培育 在荧光标记后,对每尾对虾进行初始体质量测量。将每个家系的凡纳滨对虾都平均分配到不同池内进行混养,每个池平均混养来自72个家系的1000尾左右对虾,平均每个家系14尾。分为池内海水盐度30(HS组)和盐度15(LS组),LS组池内海水通过每天降2盐度的速率,将30的初始盐度降至15。养殖期间每天定时投喂配合饲料4次,日投喂量为对虾体质量的5%~8%,每天定时换水,换水体积占总水体的三分之一。在混养60 d后再对每尾凡纳滨对虾进行体质量和成活率测量。共有72个家系参加测试,其中测量体质量性状2873尾,HS组测试对虾数目1723尾,LS组测试对虾数目1150尾;测量存活性状4348尾,其中HS组测试对虾数目2155尾,LS组测试对虾数目2193尾。养殖结束后对死亡率进行统计(表1)。

表1 凡纳滨对虾组内体质量和存活率的个体样本数(N)、均值、最小值、最大值、标准差和变异系数

Tab. 1 The sample number (N), mean, minimum, maximum, standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) of body weight and survival rate of *L. vannamei* groups

性状 trait	环境 environment	样本数/尾 N	均值/g mean	最小值/g minimum	最大值/g maximum	标准差/g SD	变异系数/% CV
体质量 body weight	HS	1723	16.83	3.01	32.50	4.34	25.78
	LS	1150	15.95	6.35	34.70	3.88	24.33
存活率 survival rate	HS	2155	78.65	7.69	100.00	17.56	22.33
	LS	2193	52.26	10.53	100.00	22.56	43.17

统计分析 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),通过ASReml4软件估计凡纳滨对虾体质量方差组分^[11]。育种分析模型为个体动物模型:

$$y_{ijkl} = \mu + Env_i + Sex_j + Env_i \times Sex_j + b_1 Wt_k (Env_i \times Sex_j \times Tank_l) + a_k + a_k (Env_i) + e_{ijkl} \quad (1)$$

式中, y_{ijkl} 为第k尾虾的体质量观测值; μ 为体质量的均值; Env_i 是第i个养殖盐度的固定效应;

Sex_j 是第j个性别的固定效应; $Env_i \times Sex_j$ 是第i个盐度与第j个性别交互固定效应; Wt_k 为嵌套在 $Env_i \times Sex_j \times Tank_l$ 内第k尾虾混养前的体质量(协变量),其中 b_1 为回归系数, $Tank_l$ 表示第l个测试池; a_k 为第k尾虾体质量的加性遗传效应, $a_k (Env_i)$ 为嵌套在第i个养殖盐度内第k尾虾的加性效应, e_{ijkl} 为第k尾虾体质量的随机残差。

利用模型(1)估计基因型与环境互作效应方差组分;从模型(1)中剔除 Env_i 和 $a_k (Env_i)$ 效应,分别估计HS和LS组的方差组分和遗传力;从模

型(1)中剔除 $a_k(Env_i)$, 设置HS和LS两组体质量为独立残差, 利用CORGH方差(协方差)结构^[12], 估计HS和LS组间体质量的遗传相关。在模型(1)中, 包括测试池固定效应, 统计检验不显著; 包括全同胞组随机效应, 模型不收敛, 因此在该模型中未包括这两个效应。

家系生长测试结束后, 存活的个体记录为1, 死亡个体记录为0。应用广义线性混合模型(generalized linear mixed model, GLMM)方法(连接函数Probit)估计存活性状的方差组分。育种分析模型为公母畜模型:

$$\begin{aligned} Pr(y_{hijkl} = 1) &= Pr(l_{hijk} > 0) = \\ &\Phi(\mu + Env_h + Tank_l + s_i + d_j + \\ &s_i(Env_h) + d_j(Env_h)) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, y_{hijkl} 表示第 k 尾虾的存活状态(1为存活, 0为死亡), l_{hijk} 为潜在变量, 若 $l_{hijk} > 0$ 则 $y_{hijk} = 1$, 若 $l_{hijk} \leq 0$ 则 $y_{hijk} = 0$, μ 为总体均值, Env_h 是第 h 个养殖盐度的固定效应, $Tank_l$ 是第 l 个测试池固定效应, s_i 为第 i 个父本的加性遗传效应, d_j 为第 j 个母本的加性遗传效应, $s_i(Env_h)$ 和 $d_j(Env_h)$ 为嵌套在第 h 个场内的父本和母本效应。

利用模型(2)估计基因型与环境互作效应方差组分; 从模型(2)中剔除 Env_h 、 $s_i(Env_h)$ 和 $d_j(Env_h)$ 效应, 分别估计HS和LS组存活的方差组分和遗传力; 从模型(2)中剔除 Env_h 、 $s_i(Env_h)$ 和 $d_j(Env_h)$ 效应, 设置HS和LS组存活为独立残差, 利用CORGH方差(协方差)结构, 估计HS和LS养殖盐度存活性状间的遗传相关。在模型(2)中, 包括全同胞组随机效应, 模型不收敛, 考虑到半同胞家系所占比重较低, 并且仅有1代系谱, 因此在该模型中剔除了该效应。

体质量性状的遗传力(h^2):

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2} \quad (3)$$

存活性状的遗传力(h^2):

$$h^2 = \frac{4\sigma_{sd}^2}{2\sigma_{sd}^2 + \sigma_e^2} \quad (4)$$

利用公母畜阈值模型估计出的存活性状的遗传力, 估计值会比实际值偏高, 因此利用Dempster等^[13]建议的方法进行了转换。

体质量性状基因型与环境互作方差组分和加性遗传方差组分比值(K):

$$K = \frac{\sigma_{ae}^2}{\sigma_a^2} \quad (5)$$

存活性状基因型与环境互作方差组分和加性遗传方差组分比值(K):

$$K = \frac{\sigma_{sde}^2}{\sigma_{sd}^2} \quad (6)$$

$K > 0.50$, G×E效应显著; $K \leq 0.5$, G×E效应不显著^[14]。式中, σ_a^2 为体质量加性遗传方差组分, σ_{sd}^2 为存活性状公母畜方差组分均值, 设置父本和母本遗传完全相关并且方差相等, 利用ASReml的and()函数实现, σ_{ae}^2 和 σ_{sde}^2 分别为体质量和存活性状基因型与环境互作方差组分, σ_e^2 为残差方差组分。

Z-score用来检验HS和LS两个盐度性状遗传力间差异是否显著, 也用来检验不同场间的遗传相关与1(完全相关)是否存在显著差异。

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

式中, x_i 和 x_j 分别为HS和LS组体质量或存活性状的遗传力, σ_i 和 σ_j 分别为相应遗传力的标准误, 当检验组间遗传相关与1是否差异显著时, x_j 和 σ_j 分别设置为1和0。

2 结果

2.1 体质量和存活性状的描述性统计量

HS环境下凡纳滨对虾体质量均值极显著高于LS环境($P < 0.01$), HS环境下对虾存活率也极显著高于LS环境($P < 0.01$)。LS环境下对虾存活率变异系数明显高于HS环境(表1)。

2.2 不同盐度下体质量和存活性状的遗传参数和G×E效应

HS和LS组体质量的遗传力估计值分别为(0.51±0.08)和(0.30±0.07), 属高遗传力($h^2 \geq 0.30$); 转换后存活性状实际遗传力估计值分别为0.22和0.39, 也表现为中高遗传力($h^2 \geq 0.15$)。HS和LS两个养殖盐度数据估计的体质量和转换后存活性状的遗传力分别为(0.45±0.07)和0.31, 均表现为高遗传力($h^2 \geq 0.30$)水平。Z-scroe检验表明, 所有遗传力估计值均达到显著水平($P < 0.05$); HS和LS体质量遗传力间差异达显著水平($P < 0.05$), 存活性状遗传力间差异不显著($P > 0.05$)(表2)。

HS和LS组间体质量的遗传相关系数为(0.90±0.06), 两个养殖盐度间家系体质量高度线性正相关。HS和LS组间存活性状的遗传相关系

表 2 凡纳滨对虾不同盐度体质量和存活率遗传参数

Tab. 2 Genetic parameters for body weight and survival rate of *L. vannamei* under HS and LS environment

参数 parameter	环境 environment	REML估计值 REML estimated value		
		体质量 body weight	存活率 survival rate	存活率(转换值) survival rate (converted value)
遗传力 h^2	HS+LS	0.45±0.07	0.55±0.08	0.31
	HS	0.51±0.08	0.45±0.08	0.22
	LS	0.30±0.07	0.62±0.09	0.39
HS+LS遗传相关 HS+LS genetic correlation		0.90±0.06	0.81±0.06	
基因型与环境互作方差和加性遗传方差比值(K) ratio of genotype - environment interaction variance to additive genetic variance (K)		$\sigma_{ae}^2=1.14;$ $\sigma_a^2=6.96;$ K=0.16	$\sigma_{sde}^2=0.018;$ $\sigma_{sd}^2=0.18;$ K=0.10	

数为(0.81±0.06), 两个养殖盐度间家系存活高度线性正相关。体质量和存活性状的K值分别为0.16和0.10, 二者G×E效应均不显著($K<0.50$)。

3 讨论

凡纳滨对虾盐度适应性广, 通过消耗自身能量来调节盐度平衡。目前对于凡纳滨对虾最适生长盐度环境的研究结果不同, 分别为较高盐度33~40^[15]和较低盐度5~15^[16], 另有结果认为在20左右^[17]。相关研究认为凡纳滨对虾在盐度为15~25环境中生长是较为适宜的, 生长速率较快; 低盐度(5~10)条件下, 凡纳滨对虾的血细胞浓度、溶菌活性下降明显, 生长速率较慢^[18]。本研究中, 凡纳滨对虾在盐度30下的平均体质量要高于盐度15, 说明本研究中凡纳滨对虾在前期生长过程中, 盐度30比盐度15的环境更加适合。另有研究表明, 在体质量达到1 g左右时, 盐度20下生长的凡纳滨对虾比盐度为30和10时的体质量增加更多, 但盐度30时凡纳滨对虾存活率要高于20, 提示了最适生长和存活的盐度环境可能不同^[9]。本研究结果中盐度30环境下的存活率高于盐度15环境, 这提示在盐度30环境下养殖, 凡纳滨对虾群体的总体养殖境况要好于盐度15环境。

徐如卫等^[20]估算的凡纳滨对虾体质量遗传力为0.460, Kenway等^[21]估算的斑节对虾(*Penaeus monodon*)存活性状遗传力为0.36~0.71。本研究结果中凡纳滨对虾在盐度30和15环境下的体质量性状遗传力都较高, 达到高遗传力水平。表明通过选育可实现改良凡纳滨对虾相关经济性状育种目标。然而由于收敛原因在估计模型中未能包括共同环境效应, 本研究体质量和存活率遗传参数估计值偏高。对于水产动物耐低盐度研究中,

九孔鲍(*Haliotis diversicolor supertexta*)耐低盐遗传力较低, 为0.056±0.022^[22]。另外, 大黄鱼(*Larimichthys crocea*)耐低盐遗传力为0.10^[23]。而同一经济物种的不同家系对环境的适应性不同, 可能会存在较强的基因型与环境互作效应。凡纳滨对虾家系生长和存活性状在不同温度、不同养殖密度间存在较强的基因型与环境互作效应^[9, 24]。有研究表明, 不同凡纳滨对虾家系对盐度范围的变化敏感程度不同, 在盐度10~40, 存在随着盐度变化体质量间差异明显和不明晰的不同家系^[6]。上述结果表明不同凡纳滨对虾家系最适生长盐度存在差异。而本研究表明, 两个盐度间家系体质量和存活性状的遗传相关系数高, G×E效应不显著, 提示不同盐度间重排序效应低, 盐度效应可作为固定效应分析。针对中等盐度以上(>15)养殖环境, 在制定以体质量和存活率为育种目标的选育方案时, 只建立一个选育系, 就可以培育出生长速率快、养殖存活率高的凡纳滨对虾新品种(系)。但是, 本研究测试低盐度仅为15, 并未测试生产中广泛应用的5甚至更低盐度环境。由于盐度30与<5之间差异较大, 可能存在更强的基因型与环境互作效应, 将在后续研究工作中进一步分析。

参考文献:

- [1] Cheng W, Chen J C. Effects of intrinsic and extrinsic factors on the haemocyte profile of the prawn, *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2001, 11(1): 53-63.
- [2] Cheng W, Chen J C. The virulence of *Enterococcus* to freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* and its immune resistance under ammonia stress[J]. Fish &

- Shellfish Immunology, 2002, 12(2): 97-109.
- [3] Gomez-Jimenez S, Uglow R F, Gollas-galvan T. The effects of cooling and emersion on total haemocyte count and phenoloxidase activity of the spiny lobster *Panulirus interruptus*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2000, 10(7): 631-635.
- [4] 杨富亿, 李秀军, 杨欣乔. 日本沼虾幼虾对碱度和pH的适应性[J]. 动物学杂志, 2005, 40(6): 74-79.
- Yang F Y, Li X J, Yang X Q. Adaptability of *Macrobrachium nipponense* juvenile to water alkalinity and pH[J]. Chinese Journal of Zoology, 2005, 40(6): 74-79 (in Chinese).
- [5] 么宗利, 王慧, 周凯, 等. 碳酸盐碱度和pH值对凡纳滨对虾仔虾存活率的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(5): 945-950.
- Yao Z L, Wang H, Zhou K, et al. Effects of water carbonate alkalinity and pH on survival rate of post-larval *Litopenaeus vannamei*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(5): 945-950 (in Chinese).
- [6] 吴立峰, 张吕平, 胡超群, 等. 2个凡纳滨对虾全同胞家系在不同盐度下的生长比较[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(1): 152-158.
- Wu L F, Zhang L P, Hu C Q, et al. Comparison on growth rates of two full-sib families of *Litopenaeus vannamei* in different salinities[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2011, 30(1): 152-158 (in Chinese).
- [7] 梁萌青, 王士稳, 王家林, 等. 海水养殖与低盐养殖凡纳滨对虾生长性能、酶活及RNA/DNA比值的差异[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(4): 69-73.
- Liang M Q, Wang S W, Wang J L, et al. Difference in growth performance, ACP and AKP activity and RNA/DNA ratio of *Litopenaeus vannamei* cultured in seawater and low salinity water[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(4): 69-73 (in Chinese).
- [8] 金武, 栾生, 孔杰, 等. 基因型与环境互作条件下凡纳滨对虾多性状复合育种方案的遗传和经济评估[J]. 水产学报, 2013, 37(12): 1770-1781.
- Jin W, Luan S, Kong J, et al. Genetic evaluation and investment appraisal of the multi-trait selection breeding program in *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(12): 1770-1781 (in Chinese).
- [9] Li W J, 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[J]. Aquaculture, 2015, 441: 8-15.
- [10] Campos-Montes G R, Montaldo H H, Martínez-Ortega A, et al. Genotype by environment interaction effects for body weight at 130 days of age in the Pacific white shrimp [*Penaeus (Litopenaeus) vannamei*][J]. Veterinaria México, 2009, 40(3): 255-268.
- [11] Gilmour A R, Gogel B J, Cullis B R, et al. ASReml User Guide Release 4.1 Structural Specification[M]. Hemel Hempstead: VSN International Ltd, 2014.
- [12] Wolfinger R D. Heterogeneous variance: Covariance structures for repeated measures[J]. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 1996, 1(2): 205-230.
- [13] Dempster E R, Lerner I M. Heritability of threshold characters[J]. Genetics, 1950, 35(2): 212-236.
- [14] Shelbourne C J A. Genotype-environment interaction: its study and its implications in forest tree improvement[C]// Proceedings of joint symposia for the advancement of forest tree breeding of the genetics subject group, IUFRO, and Section 5, Forest Trees, SABRAO. Japan, Tokyo: Government Forest Experiment Station, 1972: 1-28.
- [15] Ponce-Palafox J, Martínez-Palacios C A, Ross L G. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931[J]. Aquaculture, 1997, 157(1-2): 107-115.
- [16] Bray W A, Lawrence A L, Leung-Trujillo J R, et al. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHNV virus and salinity[J]. Aquaculture, 1994, 122(2-3): 133-146.
- [17] 王兴强, 曹梅, 马甦, 等. 盐度对凡纳滨对虾存活、生长和能量收支的影响[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(1): 8-13.
- Wang X Q, Cao M, Ma S, et al. Effects of salinity on survival, growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Marine Fisheries Research, 2006, 21(1): 8-13 (in Chinese).
- [18] 沈丽琼, 陈政强, 陈昌生, 等. 盐度对凡纳滨对虾生长与免疫功能的影响[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2007, 12(2): 108-113.

- Shen L Q, Chen Z Q, Chen C S, *et al.* Growth and immunities of the shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone) exposed to different salinity levels[J]. Journal of Jimei University (Natural Science), 2007, 12(2): 108-113 (in Chinese).
- [19] 黄凯, 王武, 卢洁, 等. 盐度对南美白对虾的生长及生化成分的影响[J]. 海洋科学, 2004, 28(9): 20-25.
- Huang K, Wang W, Lu J, *et al.* Salinity effects on growth and biochemical composition of *Penaeus vannamei*[J]. Marine Sciences, 2004, 28(9): 20-25 (in Chinese).
- [20] 徐如卫, 钱昭英, 刘小林, 等. 凡纳滨对虾生长性状遗传参数的估计[J]. 水产学报, 2013, 37(5): 672-678.
- Xu R W, Qian Z Y, Liu X L, *et al.* Genetic parameter estimation for growth traits of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(5): 672-678 (in Chinese).
- [21] Kenway M, Macbeth M, Salmon M, *et al.* Heritability and genetic correlations of growth and survival in black tiger prawn *Penaeus monodon* reared in tanks[J]. Aquaculture, 2006, 259(1-4): 138-145.
- [22] 蒋湘, 刘建勇, 赖志服. 九孔鲍(*Haliotis diversicolor supertexta*)耐低盐与生长性状的遗传参数评估[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(3): 542-547.
- Jiang X, Liu J Y, Lai Z F. Estimation of genetic parameter for low salinity tolerance and growth of *Haliotis diversicolor supertexta*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2014, 45(3): 542-547 (in Chinese).
- [23] 王晓清, 王志勇, 何湘蓉. 大黄鱼(*Larimichthys crocea*)耐环境因子试验及其遗传力的估计[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 781-785.
- Wang X Q, Wang Z Y, He X R. Heritability and tolerance of *Larimichthys crocea* to environmental factors[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(6): 781-785 (in Chinese).
- [24] Ibarra A M, Famula T R. Genotype by environment interaction for adult body weights of shrimp *Penaeus vannamei* when grown at low and high densities[J]. Genetics Selection Evolution, 2008, 40(5): 541-551.

Genetic evaluation for body weight and survival of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) at different salinity

KONG Jie ^{1,2*}, LUAN Sheng ^{1,2}, LUO Kun ¹, LI Xupeng ¹,
MENG Xianhong ¹, CAO Baoxiang ¹, LIU Ning ¹

(1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Abstract: The purpose of the present study is to reveal the effects of different salinity on body weight and survival of families of *Litopenaeus vannamei*. A total of 4348 shrimps from 72 families were raised for 60 d in the 30 salinity and 15 salinity environment. We analyzed the genetic parameters of body weight (BW) and survival rate, and genotype by environment interaction (G×E) of *L. vannamei* at the 30 and 15 salinity. The results showed that at the 30 salinity, both the average body weight and survival rate were higher than those at the 15 salinity. In this study, the heritabilities of BW at the 30 and 15 salinity were (0.51±0.08) and (0.30±0.07), respectively, which were all high. After conversion, the heritabilities of survival were 0.22 and 0.39, which varied from medium to high. After integrating the data in the 30 and 15 salinity, the heritability of BW and converted heritability of survival were (0.45±0.07) and 0.31, respectively, which were both high. The estimates of genetic parameters might be over-estimated because the common environmental effect was not included in the estimation model due to convergence problem. The results showed there were high genetic correlations (0.81–0.90) for BW and survival between the two salinity. Ratios of G×E variance to additive genetic variance were all less than 0.5, G×E effects for BW and survival were not significant. These results suggested that although there were differences in growth and survival for families of *L. vannamei* between the 30 and 15 salinity, the G×E was not significant and re-ranking effect was low. Therefore, there is no need to establish a separate breeding line of *L. vannamei* for each salinity from 15 to 30 salinity environment.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; salinity; body weight; survival rate; heritability; G×E interaction

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

Funding projects: Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, Chinese Academy of Fishery Sciences (2015B04XK01); National Natural Science Foundation of China (31572616); "948" Project of the Ministry of Agriculture of China (2016-X39); Key Research and Development Project of Shandong Province (2016GSF115030); Project of Taishan Scholar Program for Seed Industry ; Guangdong Province Agriculture Improved Variety Establishment of System Project (zj0004)