

文章编号: 1000-0615(2016)04-0595-08

DOI: 10.11964/jfc.20150709985

零换水工厂化养殖模式下凡纳滨对虾生长和存活性状遗传参数估计

刘均辉^{1,2}, 栾生², 罗坤², 曹宝祥², 陈宝龙²,
孟宪红², 刘宁², 孔杰^{2*}

(1. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁大连 116023;

2. 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)

摘要: 针对凡纳滨对虾生长和存活性状, 本实验估算了零换水养殖模式下的遗传参数, 分析该模式与大换水量养殖模式的基因型与环境互作效应(genotype by environment interaction effect, G×E), 为后续留种、配种方案制定等育种规划工作提供依据。通过人工授精技术, 定向交尾建立了51个凡纳滨对虾全同胞家系。利用荧光标记识别家系, 采用零换水养殖模式混养52 d后, 测量并记录2个养殖池中的3822尾存活虾的体质量、体长及性别等信息。采用线性(广义线性)混合效应模型和REML算法, 基于个体动物模型和父母本阈值模型估计生长和存活性状的方差组分和遗传力。结果显示, 收获体质量和存活率具有较大变异系数。收获体质量和体长的遗传力分别为 0.49 ± 0.08 和 0.43 ± 0.07 , 均属于中高遗传力($h^2 \geq 0.15$); 存活的遗传力为 0.11 ± 0.03 , 属于低遗传力($h^2 < 0.15$)。收获体质量与收获体长的遗传相关系数为 0.98 ± 0.01 ; 收获体质量和体长与存活的遗传相关系数分别为 0.31 ± 0.15 和 0.34 ± 0.15 。对于体质量和存活性状, 零换水和大换水量养殖模式间的遗传相关系数分别为 0.62 ± 0.11 和 0.65 ± 0.11 , G×E效应显著($K > 0.5$)。综上所述, 凡纳滨对虾在零换水养殖模式下存在较高的遗传变异, 但是与大换水量常规养殖模式相比, 家系间存在较大的重排序效应, 因此针对该养殖模式应单独建立选育系进行新品种培育。

关键词: 凡纳滨对虾; 体质量; 存活率; 遗传参数; 基因型与环境互作效应

中图分类号: S 968.22

文献标志码: A

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)俗称南美白对虾, 原产于中南美太平洋海岸水域, 因为其对环境的适应能力强、经济价值高等优点, 是目前全球最主要的养殖对虾品种。凡纳滨对虾自20世纪80年代末被引进我国后, 养殖产量逐年攀升, 当前已占我国海水养殖对虾总年产量的75.15%(2013年)^[1]。目前, 我国养殖的凡纳滨对虾群体, 其种质主要来自美国, 出于知识产权保护等目的, 不能保证每年从国外引进的均是真正的良种。由于在引种和苗种生产过程

中, 缺少种质评估和近亲交配控制等措施, 多代养殖留种后, 可能会出现严重的近交衰退现象。选择育种技术是改良和培育优良种质最为直接和最有效的方法^[2]。利用群体和家系选择方法, 结合杂交技术, 已培育出“中科1号”、“壬海1号”、“中兴1号”、“科海1号”和“桂海1号”等多个新品种^[3], 生长和存活等性状得到了显著改良。

在选育过程中, 建立安全、稳定和可靠的生产测试系统, 确保家系和种虾始终处于无特定病原体(specific pathogen free, SPF)状态, 是育

收稿日期: 2015-07-22 修回日期: 2015-11-26

资助项目: 农业部“九四八”项目(2015-Z17); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2015B04XK01); 广东省水产良种体系建设项目(zj0001)

通信作者: 孔杰, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn

种项目可持续运行的先决条件。当前发展起来的零换水养殖模式,可使育种核心群始终处于SPF状态。该模式首先改造养殖池,利用曝气的方法提供动力输送养殖用水至过滤及生物降解系统,将养殖水环境控制在标准的水质参数下,期间只需补充少量损失的水,达到零换水目的。与传统的养殖模式相比,该模式不受区域和自然环境限制,水资源利用效率高,易于建立SPF体系,是未来家系测试的标准化养殖模式。当前已报道的凡纳滨对虾生长和存活等性状的遗传参数,大多是在室外池塘养殖和室内工厂化换水养殖模式下测试获得^[4-9],缺少零换水养殖模式下的估计值。

同一个育种群体,在不同养殖模式下,受基因型与环境互作(genotype by environment interaction, G×E)的影响,性状的遗传参数估计值可能会存在较大差别。已有研究表明,零换水养殖模式和工厂化换水模式下,生长速率和存活率存在较大差别。因此,评估零换水养殖模式下的遗传参数,分析可能存在的基因型与环境互作效应,是当前亟待解决的关键科学问题。本研究利用农业部海水养殖遗传育种中心(中国水产科学研究院黄海水产研究所鳌山基地)凡纳滨对虾G₁代家系,通过巢式交配(1尾雄虾与2尾雌虾交配;1尾雌虾与2尾雄虾交配)设计产生全同胞和半同胞家系,构建育种核心群体,利用可视嵌入性荧光标记(visible implant elastomer, VIE)进行家系标记,在零换水养殖模式下测试生长和存活个体,估计该养殖模式下体质量、体长和存活性状的遗传参数,分析零换水和工厂化换水养殖模式间的基因型与环境互作效应,为下一步育种值估计、配种方案制定,育种规划等提供重要的技术参数。

1 材料与方法

1.1 实验材料

在农业部海水养殖遗传育种中心(中国水产科学研究院黄海水产研究所鳌山基地),利用G₁代育种核心群优秀留种个体,通过定向交尾方法,构建凡纳滨对虾G₂代家系。选取体格健壮的亲虾催熟备用,之后挑选性腺发育成熟的亲虾,采用人工授精的方法按照优化配种方案进行定向交尾。在家系生产过程中,为了家系

安全和保持系谱的准确度,家系间要高度隔离,每个家系需移入单独的170 L的孵化桶进行孵化。在无节幼体阶段,取约5000尾幼体放入120 L的水体中培育;在糠虾幼体阶段,取约800尾幼体放入120 L的水体中培育;直至培育成仔虾。在此期间,注意保持家系间水环境和养殖操作管理等各项条件一致,降低家系间的环境差异。每天按阶段进行换水,主要的投喂饵料为虾片、虾元、牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)、螺旋藻、卤虫和配合饲料等。当家系个体发育成仔虾时,每个家系转移至一个单独的3 m³水泥圆池中暂养。家系个体平均体质量达到6 g左右时,对每个家系的个体注射VIE荧光标记,以便混养时区分家系。每个家系称取40尾个体,计算家系的平均体质量作为本实验的初始体质量。

1.2 养殖过程

实验选取了最终满足实验要求的51个全同胞家系(其中母系半同胞家系6个),混养在2个底面积27 m²(水深1 m)的气浮循环水跑道式水泥池中,养殖密度控制在80尾/m²左右。每个家系放入测试个体数为45~57尾。气浮循环水跑道式水泥池的结构是在养殖池的旁边建立一个3 m²的“水处理系统”,水泥池采用曝气法提供动力,将水提升到养殖池旁边的生态池中,生态池中放入生物毛刷及生物滤片,整个水处理池起到过滤养殖水体中大的有机物(饲料残渣、粪便和蜕壳等)及降解氨氮、亚硝酸盐等有害物质的作用。

实验开始前对养殖池进行浸泡消毒,安装好消毒后的纳米气管、气石、生物毛刷和生物滤片等实验设备。然后,开始注入110 cm高的海水,调试养殖系统保证水体能够正常循环,加入20×10⁻⁶的强氯精进行养殖水体系统的消毒处理,最终检测水体余氯含量为0后,施加芽孢杆菌、光合细菌及肥水菌等调节水质。养殖水体温度每天通过加热管道自动控制在26~28℃。加热管道用水采用太阳能及电加热辅助的加热方式。监测每天水温和水质(pH、氨氮、亚硝酸盐和溶氧)的变化。定期往养殖池均匀泼洒芽孢杆菌、光合细菌及肥水菌用来调节氨氮和亚硝酸盐等有害物质。商品化饵料投喂在饵料框中,每天投喂4次,定时查看饵料框有无剩饵,保证对虾达到饱食状态。定期检测病原微生物。观察记录对虾养殖过程中的健康状态,养殖周期

为52 d。实验结束时,记录养殖个体的家系号、体质量、体长和性别等信息。

1.3 统计分析方法

实验数据通过Origin 9.0软件进行作图。通过SPSS 19.0软件的单因素方差分析(One-Way ANOVA)和ASReml 4.1软件的Wald F统计同时检验不同养殖池和性别组间体质量和体长的差异显著性, $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著。

建立线性混合效应模型,采用平均信息约束极大似然法(average information restricted maximum likelihood, AIREML)通过ASReml 4.1软件估计凡纳滨对虾体质量和体长的方差组分^[10]。采用的模型为单性状个体动物模型:

$$y_{ijk}=\mu+T_i+S_j+T_i\times S_j+bW_k(T_i\times S_j)+a_k+e_{ijk}$$

式中, y_{ijk} 为第 k 尾尾质量(g)或体长(cm)观测值, μ 为总体均值, T_i 为第 i 个养殖池的固定效应, S_j 为第 j 个性别的固定效应, $T_i\times S_j$ 为第 i 个测试池与第 j 个性别固定效应, W_k 为第 k 尾尾混养前的家系平均体质量(协变量), b 为回归系数, a_k 为第 k 尾尾质量或体长的加性遗传效应, e_{ijk} 为第 k 尾尾质量或体长的随机残差效应。由于混养前,每个家系分别在单独的小圆池中养殖2个月至可注射荧光标记规格,考虑到每个家系的养殖密度并不完全一致,因此与日龄相比,采用混养前家系的平均体质量作为协变量进行矫正更为合适(AIC和BIC值更小)。

基于广义线性混合效应模型(连接函数Probit),利用ASReml 4.1软件估计存活性状的方差组分^[5]。采用的育种分析模型为父母本阈值模型:

$$Pr(y_{hijk}=1)=Pr(l_{hijk}>0)=\Phi(\mu+T_h+s_i+d_j+e_{hijk})$$

式中, y_{hijk} 表示第 k 尾尾的存活状态(1为存活,0为死亡), l_{hijk} 为潜在变量(如果 $l_{hijk}>0$,则 $y_{hijk}=1$;如果 $l_{hijk}\leq 0$ 则 $y_{hijk}=0$), μ 为总体均值, T_h 为第 h 个养殖池的固定效应, 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, e_{hijk} 为第 k 尾尾的随机残差。由于利用父母本阈值模型估计出的存活性状遗传力估计值会比实际值偏高,因此采用了Dempster等^[11]建议的方法进行转换。由于本实验材料选育的代数比较少,包含的半同胞家系数目也比较少(本实验共计用51个全同胞家系,仅6个母系半同胞家系,占总数的12%),共同环境效应方差和加性方差会混在一起,无法剖分,所以上述模型中均未包括共同环境效应。

体质量、体长的遗传力(h^2)计算公式:

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

存活性状的遗传力(h^2)计算公式:

$$h^2 = \frac{4\sigma_s^2}{2\sigma_s^2 + \sigma_e^2}$$

式中, σ_a^2 为体质量或体长的加性遗传方差, σ_e^2 为残差方差, σ_s^2 为存活性状父母本方差均值(设置父本和母本遗传方差组分相等)。利用单性状个体动物模型和父母本阈值模型估计出各性状的方差组分,利用体质量、体长和存活性状的遗传力计算公式计算出各性状的遗传力。

利用2个性状模型估计生长(个体动物模型+线性混合效应模型)与存活(父母本阈值模型+广义线性混合模型)性状间的遗传相关。为了评估零换水养殖模式下生长和存活性状是否存在基因型与环境交互效应,利用两性状动物模型(父母本阈值模型)估计零换水养殖模式和大换水量养殖模式间的遗传相关系数。由于每尾尾只能在一种养殖模式中测试,因此在模型中设置2种养殖模式间的残差协方差为0。大换水量养殖模式测试地点为河北黄骅遗传育种中心,测试材料(40个家系,共4800尾个体)与本实验材料为同一代家系,设置2个测试密度,分别为80尾/m²和160尾/m²;每种养殖密度设置2个平行,每天换水量超过40%,生长和存活测试周期为60 d。大换水量养殖模式测试数据当前是未公开发表数据,由其他研究人员独立完成该项实验并撰写论文,在本研究中仅用于评价零换水养殖模式下是否存在基因型与环境交互效应,因此并未公开统计性描述和遗传参数等主要结果。

为了进一步评价G×E效应的显著性,计算体质量基因型与环境交互方差组分与加性遗传方差组分比值:

$$K = \frac{\sigma_{ae}^2}{\sigma_a^2}$$

存活性状基因型与环境交互方差组分与加性遗传方差组分比值:

$$K = \frac{\sigma_{sde}^2}{\sigma_{sd}^2}$$

式中, σ_a^2 为体质量加性遗传方差组分, σ_{sd}^2 为存活性状父母本方差组分均值(利用ASReml的AND函数重新校对设置数据矩阵使父本和母本

遗传完全相关并且方差相等), σ_{ae}^2 和 σ_{sde}^2 为体质量和存活性状基因型与环境互作方差组分。如果 $K > 0.5$, $G \times E$ 效应显著; $K \leq 0.5$, $G \times E$ 效应不显著^[12]。

2 结果

2.1 养殖水体水环境监测

pH值范围在7.32~8.07, 并且从养殖开始至养殖结束呈逐步递减的趋势, 说明养殖过程随着水体的利用时间pH会逐渐下降(图1)。氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)及亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)含量的变化趋势都是养殖前期急速升高, 升高到一个稳定值后, 逐渐变低回归到正常水平(氨氮浓度 $< 0.5 \text{ mg/L}$, 亚硝酸盐氮浓度 $< 0.2 \text{ mg/L}$)(图2)。在养殖过程中2号养殖池的水质条件优于1号养殖池。整个养殖过程显示, 该循环水结构的水质基本能满足对虾正常生长的需要。

2.2 生长和存活性状统计性描述

体质量和体长观测值范围分别为3.10~29.13 g和6.4~12.8 cm, 且体质量的变异系数较体长的变异系数高, 雌虾体质量和体长的变异系数均高于雄虾。One-Way ANOVA和Wald F统计同时显示, 2个养殖池对虾体质量的均值间差异极显著($P < 0.01$), 2个养殖池对虾体长的均值间差异极显

著($P < 0.01$); 雌雄个体间体质量的均值差异不显著($P > 0.05$), 雌雄个体间体长的均值差异显著($P < 0.05$)。家系存活率的变化范围在35.56%~98.33%。2号养殖池的总体存活率高于1号养殖池, 同时2号养殖池家系存活率的变异系数较1号养殖池低(表1)。

2.3 生长和存活性状的遗传参数

收获体质量的遗传力为 0.49 ± 0.08 , 体长的遗传力为 0.43 ± 0.07 , 均属于中高遗传力($h^2 \geq 0.15$); 存活的遗传力为 0.11 ± 0.03 , 属于低遗传力($h^2 < 0.15$)。收获体质量与收获体长间遗传相关系数为 0.98 ± 0.01 , 表现为高度线性正相关($R > 0.8$)。收获体质量、体长与存活间的遗传相关系数分别为 0.31 ± 0.15 和 0.34 ± 0.15 , 表现为中度线性正相关($R > 0.3$)(表2)。

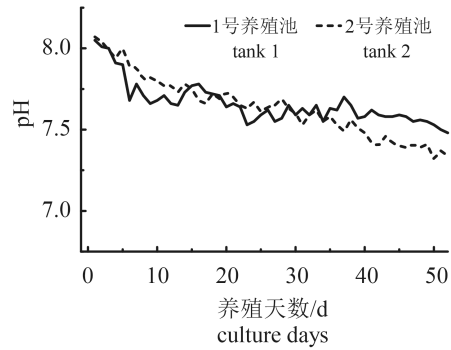


图1 pH值的变化情况
Fig. 1 Variation of pH

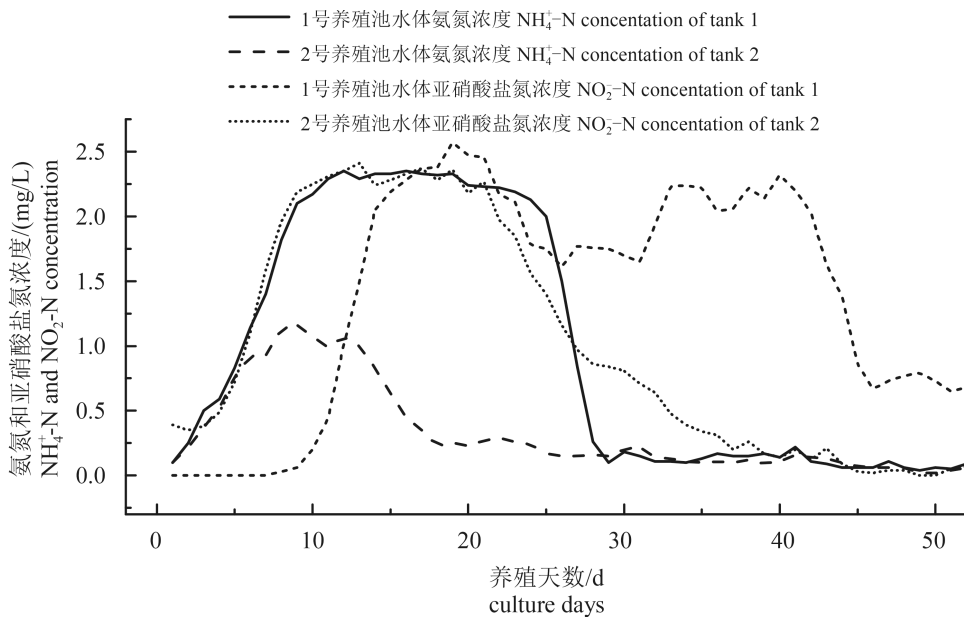


图2 氨氮和亚硝酸盐氮的变化情况
Fig. 2 Variation of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_2^- - \text{N}$

表 1 凡纳滨对虾G₂代的体质量、体长和家系存活性状的统计性描述Tab.1 Number of shrimp (N), mean, minimum, maximum, standard deviation, and coefficient variation for body weight and family survival at harvest in the G₂ generation of *L. vannamei*

性状 trait	养殖池 tank	性别 sex	个体数/家系 number of individual/family	均值 mean	最小值 minimum	最大值 maximum	标准差 standard deviation	变异系数/% coefficient of variation
体质量/g body weight	1	雌 female	954/51	12.08	3.26	23.55	3.31	27.40
		雄 male	834/51	11.92	4.08	26.36	3.09	25.92
	2	雌 female	1137/51	12.30	3.70	29.13	3.34	27.15
		雄 male	897/51	12.70	3.10	23.27	3.03	23.86
体长/cm body length	1	雌 female	954/51	9.66	6.70	12.80	0.87	9.01
		雄 male	834/51	9.64	6.80	12.80	0.84	8.71
	2	雌 female	1137/51	9.74	6.70	12.70	0.86	8.92
		雄 male	897/51	9.88	6.40	12.10	0.79	8.00
存活率/% survival rate	1		1788/51	77.10	35.56	98.33	15.50	20.10
	2		2034/51	85.61	50.00	98.33	9.94	11.61

2.4 不同养殖模式间的基因型与环境互作

对于体质量性状, 零换水和大换水量养殖模式间的遗传相关系数为 0.62 ± 0.11 , 表现为中度线性正相关。对于存活性状, 零换水和大换水量养殖模式间的遗传相关系数为 0.65 ± 0.11 , 表现为中度线性正相关($R > 0.3$)。体质量和存活性状的K值分别为0.61和0.82, 表明在2种养殖模式间存在着显著的G×E效应($K > 0.5$) (表3)。

3 讨论

3.1 生长和存活性状的遗传参数

遗传力和遗传相关是水产经济动物选择育种的重要参数, 是制定选择策略的重要依据^[6], 育种中可以通过选择高遗传力的可量性状对种群进行选育, 而一些不能直接测量的性状或者一些需要屠宰测量的性状往往只能借助与其遗传

表 2 凡纳滨对虾G₂代体质量、体长和存活性状的遗传力和遗传相关Tab.2 Heritabilities and genetic correlations for body weight, body length and survival in the G₂ generation of *L. vannamei*

性状 trait	体质量 body weight	体长 body length	存活率 survival rate
体质量 body weight	0.49±0.08		
体长 body length	0.98±0.01	0.43±0.07	
存活率 survival rate	0.31±0.15	0.34±0.15	0.11±0.03

相关度高的其他可量性状进行间接选择育种。目前国内外已报道的凡纳滨对虾体质量、体长和存活性状遗传力研究较多, 不同养殖模式下的估计值不同, 并且利用不同模型获得的估计值也存在差异。Gitterle等^[7]估计了商业养殖模式和集约化养殖模式下凡纳滨对虾收获体质量和

表 3 凡纳滨对虾G₂代的零换水和大换水量养殖模式间基因型与环境互作的遗传参数Tab.3 Genetic parameters for body weight and survival from zero and large water exchange systems in the G₂ generation of *L. vannamei*

参数 parameters	REML估计值 REML estimates	
	体质量 body weight	存活率 survival rate
基因型与环境互作方差 variance of G×E	$\sigma_a^2=3.0128$ $\sigma_{ae}^2=1.8343$	$\sigma_{sd}^2=0.0540$ $\sigma_{sde}^2=0.0445$
遗传方差比值(K) ratio of genetic variance (K)	0.61	0.82
不同养殖模式的遗传相关 genetic correlation of different breeding systems	0.62±0.11	0.65±0.11

存活的遗传力, 体质量的估计值分别为0.24和0.17, 存活的估计值分别为0.04和0.10。Montaldo等^[8]和Caballero-Zamora等^[9]利用动物模型估计了凡纳滨对虾日龄在第28和130天时体质量的遗传力, 分别为 0.13 ± 0.03 和 0.19 ± 0.03 。国内的一些学者估计凡纳滨对虾不同生长阶段体质量遗传力水平在中高遗传力水平, 但模型中缺少共同环境效应^[5,13]。本实验估计的体质量和体长的遗传力在中高水平, 存活的遗传力属于低遗传力。Montaldo等^[8]利用28 d日龄的凡纳滨对虾体质量的真实数据和模拟数据验证共同环境效应和池塘固定效应对真实遗传力的影响, 结果显示, 两者都有可能引起估计值偏高。由于无法剖分出环境共同效应的因素, 本研究得到估计遗传力可能比实际水平要高。与此同时, 通过不断地增加选育世代, 丰富群体系谱的深度, 增加家系间的亲缘关系, 从而估计得到的遗传力和共同环境效应会变得更加准确, 利用多个世代数据估计的遗传力值也会更加精确^[14-15]。

对于体质量与体长间表现出的高度遗传相关, 在罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)中也有同样的表现, 遗传相关为 $0.98^{[6]}$, 表明体质量与体长是紧密相关的经济性状, 通过对体质量的选择可以同时改良体长。但体质量较体长表现出更高的变异系数, 这表明体质量更适合作为衡量品种优劣的性状。Campos等^[6]估计了凡纳滨对虾日龄为128 d时, 体质量跟存活率的遗传相关系数为 0.56 ± 0.10 , 具有中度线性正相关。本研究体质量和体长跟存活率具有相对较低的遗传相关性, 但通过对体质量性状的多代选择, 可以间接对存活性状进行改良。

3.2 不同养殖模式间的基因型与环境互作

在凡纳滨对虾的育种体系中, 通常生产群体的养殖环境是多种多样的。例如, 本研究采用的这种零换水养殖模式与大换水量养殖模式的养殖环境差异很大。强基因型与环境互作效应可能会使同一基因型个体在不同环境中的育种值排序出现变化, 即重排效应(re-ranking effect)^[3]。大多数国内外学者的研究表明基因型与环境互作效应对凡纳滨对虾群体生长影响不显著^[7,17-18], 推测其不同养殖环境间差异不大。例如, Gitterle等^[7]估计的商业养殖模式和集约化养殖模式下收获体质量遗传相关为高度正相关, 说明2种养殖环境间G×E效应小。Sui等^[18]估计了大换

水量养殖模式下2个地域2个世代凡纳滨对虾体质量的G×E效应并不显著, 遗传相关大于0.8。当生长环境中存在强基因型与环境互作效应时, 水产经济动物性状的选择往往会低于预期的水平。Sae-Lim等^[19]估计了3个大洲的4个不同养殖环境下G×E效应对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)生长性状的影响, 结果表明相同性状之间的遗传相关在0.19~0.48之间, 显示了较强的基因型与环境互作效应。栾生等^[5]研究结果也证明了凡纳滨对虾在2个地域G×E效应对存活性状的影响显著($K=1.67$)。本研究的2种养殖环境处于不同的地理位置, 本身的水环境就存在一定的差异, 并且养殖模式的差异导致2个群体存在较大的G×E效应。

综上所述, 凡纳滨对虾在零换水养殖模式下, 经济性状表现出较高的遗传变异, 并且存在较强的基因型与环境互作效应, 因此针对该种养殖模式, 应单独建立选育系, 进行多性状新品种的培育。

参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 2014中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 28.
The People's Republic of China Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau. China fishery statistical yearbook (2014) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014: 28 (in Chinese).
- [2] 何玉英, 李健, 刘萍, 等. 中国对虾家系幼体对氨氮和pH值的耐受性比较[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(5): 761-765.
He Y Y, Li J, Liu P, et al. Comparison of the resistance to pH value and ammonia in Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) families [J]. Periodical of Ocean University of China, 2008, 38(5): 761-765 (in Chinese).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 栾生, 罗坤, 阮晓红, 等. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)体重、存活性状的遗传参数和基因型与环境互作效应[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(2): 445-452.
- Luan S, Luo K, Ruan X H, *et al.* Genetic parameters and genotype by environment interaction for body weight and survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(2): 445-452 (in Chinese).
- [6] Campos-Montes G R, Montaldo H H, Martínez-Ortega A, *et al.* Genetic parameters for growth and survival traits in Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* from a nucleus population undergoing a two-stage selection program [J]. Aquaculture International, 2013, 21(2): 299-310.
- [7] Gitterle T, Rye M, Salte R, *et al.* Genetic (co)variation in harvest body weight and survival in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* under standard commercial conditions [J]. Aquaculture, 2005, 243(1-4): 83-92.
- [8] Montaldo H H, Castillo-Juárez H, Campos-Montes G, *et al.* Effect of the data family structure, tank replication and the statistical model, on the estimation of genetic parameters for body weight at 28 days of age in the Pacific white shrimp (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei* Boone, 1931) [J]. Aquaculture Research, 2013, 44(11): 1715-1723.
- [9] Caballero-Zamora A, Cienfuegos-Rivovs E G, Montaldo H H, *et al.* Genetic parameters for spawning and growth traits in the Pacific white shrimp (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei*) [J]. Aquaculture Research, 2015, 46(4): 833-839.
- [10] Gilmour A R, Gogel B J, Cullis B R, *et al.* ASReml user guide release 3.0 [R]. UK: VSN International Ltd, 2009: 1-372.
- [11] Dempster E R, Lerner I M. Heritability of threshold characters [J]. Genetics, 1950, 35(2): 212-236.
- [12] Shelbourne C J A. Genotype-environment interaction: its study and its implications in forest tree improvement [R]. SABRAO Joint Symposium. Tokyo: Government Forest Experiment Station, 1972.
- [13] 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.
- 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. (in Chinese)
- [14] Maluwa A O, Gjerde B. Response to selection for harvest body weight of *Oreochromis shiranus* [J]. Aquaculture, 2007, 273(1): 33-41.
- [15] Rezk M A, Ponzoni R W, Khaw H L, *et al.* Selective breeding for increased body weight in a synthetic breed of Egyptian Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: response to selection and genetic parameters [J]. Aquaculture, 2009, 293(3-4): 187-194.
- [16] 罗坤, 孔杰, 栾生, 等. 罗氏沼虾生长性状的遗传参数及其相关性[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 80-84.
- 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 (in Chinese).
- [17] 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 [J]. Veterinaria México, 2009, 40(3): 255-267.
- [18] Sui J, Luan S, Luo K, *et al.* Genetic parameters and response to selection for harvest body weight of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture Research, 2015, DOI: 10.1111/are.12729.
- [19] Sae-Lim P, Kause A, Mulder H A, *et al.* Genotype-by-environment interaction of growth traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): a continental scale study [J]. Journal of Animal Science, 2013, 91(12): 5572-5581.

Genetic parameters for growth and survival traits in the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultured using the zero water exchange system

LIU Junhui^{1,2}, LUAN Sheng², LUO Kun², CAO Baoxiang², CHEN Baolong²,
MENG Xianhong², LIU Ning², KONG Jie^{2*}

(1. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: Heritabilities and genotype by environment interaction effect for growth and survival traits were estimated in the G₂ generation of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under the zero water exchange system and large water exchange system. A total of 51 Pacific white shrimp full-sib families were established by artificial fertilization and directional mating technology. After communally rearing for 52 d in zero water exchange system, body weight, body length, and sex of the 3822 shrimps in two concrete tanks were recorded. The variance components for growth and survival traits were estimated using the linear (generalized linear) mixed model and REML method. The results showed that body weight and survival rate had a high coefficient of variation. The heritabilities estimated for body weight and body length were 0.49±0.08 and 0.43±0.07, respectively. Both of them were high heritability estimates ($h^2 \geq 0.15$). The heritability estimated for survival was 0.11±0.03, which was a low heritability estimate ($h^2 < 0.15$). There was a high genetic correlation between body weight and body length (0.98±0.01). The genetic correlation between body weight and survival was 0.31±0.15. The genetic correlation between body length and survival was 0.34±0.15. For body weight and survival traits, the genetic correlations between zero and large water exchange systems were 0.62±0.11 and 0.65±0.11, respectively. This implied that there were great genotypes by environment interaction effect between the two systems ($K > 0.5$). In conclusion, there was high genetic variation for body weight of this population in the zero water exchange system. However, a separate selection line should be established to improve growth and survival for shrimp reared in the zero water exchange system because high re-ranking of families occurred between zero and large water exchange systems.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; body weight; survival rate; genetic parameter; genotype by environment interaction effect

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

Funding projects: Ministry of Agriculture “948” Project (2015-Z17); Special Fund of Chinese Central Government for Basic Scientific Research Operations in Commonweal Research Institutes (2015B04XK01); Guangdong Province Construction Project of Aquaculture Varieties System (zj0001)