

# 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\*

张嘉晨 曹伏君 刘建勇 袁瑞鹏

(广东海洋大学水产学院 湛江 524025)

**摘要** 选择来自 75 个家系的 6000 尾凡纳滨对虾个体进行为期 96h 的耐低溶氧试验,测定其生长性状和耐低溶氧性状。利用线性动物模型估计了凡纳滨对虾收获时期生长和耐低溶氧性状的方差组分和遗传参数。结果显示,凡纳滨对虾收获体长和收获体质量的遗传力分别为  $0.35 \pm 0.11$  和  $0.48 \pm 0.15$ , 表现为中高遗传力水平,且统计检验显著( $P < 0.05$ )。收获体长和收获体质量间的表型相关和遗传相关分别为 0.89 和 0.95, 表现为高度线性正相关( $P < 0.05$ )。凡纳滨对虾耐低溶氧性状的遗传力为  $0.07 \pm 0.03$ , 表现为低遗传力水平。生长性状(收获体长和收获体质量)和耐低溶氧性状间的表型相关和遗传相关分别为 0.14—0.18 和 0.11—0.13, 表现为低度线性正相关,但统计检验不显著( $P > 0.05$ )。耐低溶氧性状的选择反应和遗传获得的估计值较低,分别为  $0.02 \pm 0.02$  和 4.87%。体长的选择反应和遗传获得分别为  $0.65 \pm 0.18$  和 7.22%; 体质量的选择反应和遗传获得分别为  $1.13 \pm 0.31$  和 11.07%, 表明第一代对生长性状的选择达到了良好的效果。

**关键词** 凡纳滨对虾; 生长性状; 耐低溶氧性状; 遗传参数; 遗传获得

**中图分类号** S968.22 **doi:** 10.11693/hyhz20160400084

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*), 俗称南美白对虾, 自然分布于秘鲁至墨西哥的太平洋沿岸(王兴强等, 2005)。我国于 1988 年从美国夏威夷引进凡纳滨对虾品种, 因其具有生长速度快、适应性广、适合高密度养殖、便于活虾运输等优点, 现已成为我国重要的对虾养殖品种之一, 2011 年我国人工养殖凡纳滨对虾产量超过 120 万 t, 占我国养殖对虾总产量的 50% 以上。由于凡纳滨对虾在我国海域没有自然分布, 我国凡纳滨对虾种质主要依赖于进口, 国内商品苗种多为二代苗种或者多代自繁苗种, 长期无选择的苗种累代养殖可能会出现近交衰退现象(姚雪梅等, 2006)。近几年来, 我国养殖的凡纳滨对虾已开始出现生长速度减慢、规格不齐、抗逆性降低、发病率和死亡率上升等种质衰退的现象(李亚春等, 2010)。开展凡纳滨对虾遗传改良, 培育生长速度快和抗逆、抗病

性强的对虾良种, 是我国凡纳滨对虾产业可持续发展亟待解决的关键问题。

以数量遗传学为基础的选择育种技术, 是改良凡纳滨对虾种质的重要手段。与其它水产动物选择育种相比, 国内外凡纳滨对虾选择育种的研究起步较晚, 但是进展较快(Wyban *et al.*, 1992; Gitterle *et al.*, 2005a, b)。Argue 等(2002)针对凡纳滨对虾生长性状进行遗传改良, 经过一个世代选择, 选择组较对照组生长速度提高了 21.2%。De Donato 等(2005)对凡纳滨对虾开展大规模选育, 凡纳滨对虾各项生长性能相关参数得到显著改善, 生长速率从 0.76g/周增至 0.87g/周, 年平均存活率从 59% 增至 76%。黄永春等(2010)针对凡纳滨对虾 WSSV 抗性性状进行遗传改良, 经过 4 代选育后, 选育家系 WSSV 抗性明显提高。获得重要性状的遗传参数是选择育种中的基础工作。

\* 广东省海洋渔业科技推广专项科技攻关与研发项目, A201208B05 号; “十二五”国家科技支撑计划课题, 2015BAD13B03 号。张嘉晨, 硕士研究生, E-mail: 505413398@qq.com

通讯作者: 曹伏君, 教授, 硕士生导师, E-mail: 1141463165@qq.com

收稿日期: 2016-04-19, 收修改稿日期: 2016-04-30

Pérez-Rostro 等(2003a)报道凡纳滨对虾体尺性状 17 周和 29 周为中高水平遗传力, 分别为 0.15—0.22 和 0.28—0.35。Gitterle 等(2005a)研究了凡纳滨对虾收获体质量和池塘成活率的遗传力, 分别为 0.17—0.24 和 0.04—0.10。凡纳滨对虾遗传参数估计涉及的性状参数主要包括生长、存活、抗病等经济性状(Pérez-Rostro *et al*, 2003b; Castillo-Juárez *et al*, 2007; Caballero-Zamora *et al*, 2015b; Li *et al*, 2015)和产卵量、产卵次数等繁殖性状(Arcos *et al*, 2003, 2004; Ibarra *et al*, 2005; Caballero-Zamora *et al*, 2015a), 有关凡纳滨对虾生长和耐低溶氧性状遗传参数估计的报道较少。

本研究通过巢式交配设计产生全同胞和半同胞家系, 利用凡纳滨对虾选育家系进行耐低溶氧试验, 同时测定相应的生长指标, 估计凡纳滨对虾收获时期生长和耐低溶氧性状的遗传参数和经一代选育后的遗传进展, 为凡纳滨对虾选择育种提供必要的基础依据和技术参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为湛江市德海水产有限公司培育的 2015 年凡纳滨对虾选育家系。亲虾为 2014 年人工培育并测定育种值的凡纳滨对虾家系。选择系: 根据 2014 年家系育种值高低, 从 2014 年选育家系中挑选育种值较高家系, 每个家系分别挑选 10 条雄虾和雌虾进行留种, 用于 2015 年家系的构建。利用人工授精技术, 通过巢式设计, 成功构建 65 个全同胞家系, 其中包括 30 个半同胞家系。控制系: 挑选 10 条个体育种值最近接平均育种值的雄虾和雌虾, 构建 10 个全同胞家系。选取来自 75 个家系的 6000 尾凡纳滨对虾进行耐低溶氧试验。其中包括 30 个半同胞家系和 45 个全同胞家系, 每个家系试验个体为 80 尾。

### 1.2 苗种培育

亲虾成熟后, 通过人工授精技术和巢式设计, 构建全同胞家系和半同胞家系, 家系生产周期为 30d。雌虾人工授精后, 分别移入孵化车间的 500L 孵化桶, 水温 30℃ 孵化, 幼体孵化后, 每个家系随机留取 5000 尾幼体于 500L 育苗桶内培育至仔虾。整个幼体培育过程尽量保持养殖水质、温度、盐度、pH、饵料等一致。仔虾第 3 天后, 每个家系分别放入 40 目网箱(2.0m×2.0m×1.5m)内暂养。待仔虾体长达到 3cm 时, 每个家系随机抽取 150 尾进行可视嵌入性荧光标志(VIE)标记, 用于区别不同家系。VIE 标记后, 75 个

家系共计 11250 尾虾放入 6 个 25m<sup>2</sup> 水泥池中混养测试, 每个混养测试池的养殖密度均控制在 75 尾/m<sup>2</sup>。每个混养测试池的水质控制、饵料投喂和日常管理均按照标准化程序保持一致。养殖 120d 后, 测量每个家系所有个体的生长情况(包括体质量、体长), 记录个体的 VIE 颜色组合、测试池号和测量日期等, 并随机挑选 80 尾虾眼柄环标记, 用于低溶氧耐受性试验。

### 1.3 低溶氧耐受性试验

低溶氧耐受性试验: 试验共持续 96h, 设有试验组和对照组。试验个体进行眼柄环标记, 暂养 48h 后放入试验水体中将溶解氧消耗至预定值, 此时为试验起始时间, 通过控制供氧量使水体中溶解氧浓度维持在预定值附近。每小时通过溶氧仪测定、记录水体溶解氧浓度并调整供氧量。试验水体放入水泵保持水体溶解氧分布均匀。根据预备试验结果, 确定试验组溶解氧浓度为 1.6mg/L 左右为试验适宜值。在水温 27.9—28.5℃, 96h 试验组和对照组的溶氧变化分别为 1.46—1.81mg/L 和 5.03—5.31mg/L。每 12h 捞出死亡个体, 记录个体的死亡情况和眼柄环信息。

### 1.4 数据统计分析

建立线性混合模型, 通过 ASReml 软件估计凡纳滨对虾收获时期生长性状的方差组分。育种分析模型为单性状个体动物模型

$$y_{ijk} = u + pond_i + bd_{ijk} + a_k + c_j + e_{ijk}$$

式中,  $y_{ijk}$  为第  $k$  尾虾的生长性状观测值;  $u$  为总体均值;  $pond_i$  为第  $i$  个池塘的固定效应;  $b$  为回归系数;  $d_{ijk}$  为日龄协变量;  $a_k$  为第  $k$  尾虾生长性状的加性遗传效应;  $c_j$  为第  $j$  个全同胞家系单独养殖时产生的共同环境效应;  $e_{ijk}$  为随机残差。

低溶氧实验结束后, 存活个体记录为 1, 死亡个体记录为 0。应用阈值模型和广义线性混合模型(logistic 分布)估计耐低溶氧性状的方差组分。育种分析模型为个体动物模型: 模型中包括:  $y_{ijk}$  为第  $k$  尾虾的存活状态(存活记为 1, 死亡记为 0);  $u$  为总体均值;  $pond_i$  为第  $i$  个池塘的固定效应;  $b$  为回归系数;  $d_{ijk}$  为日龄协变量;  $a_k$  为第  $k$  尾虾生长性状的加性遗传效应;  $c_j$  为第  $j$  个全同胞家系单独养殖时产生的共同环境效应;  $e_{ijk}$  为随机残差。

生长性状和耐低溶氧性状的遗传力计算公式

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

式中,  $\sigma_a^2$  为加性遗传方差组分,  $\sigma_c^2$  为共同环境效应的

方差组分,  $\sigma_e^2$  为残差方差组分。

利用 ASReml 软件通过多性状动物模型估计凡纳滨对虾收获时期生长性状间的表型相关系数和遗传相关系数。计算出各家系收获时期生长性状和耐低溶氧性状的表型和育种值均值后, 通过 SPSS 软件的双变量相关分析模型估计出生长性状和耐低溶氧性状间的表型相关系数和遗传相关系数。

参照 Ponzoni 等(2005)使用的方法, 通过比较选择系和对照系的育种值来估计选择反应。遗传获得即遗传增益  $\Delta G$  (Genetic gain), 是选择反应与亲本群体平均值比值; 公式表示

$$\Delta G = \frac{R}{\bar{x}}$$

## 2 结果

### 2.1 生长和耐低溶氧性状的描述性统计量

凡纳滨对虾生长和耐低溶氧性状实测值的描述性统计量见表 1。由表 1 可以看出试验家系收获体质量范围为 1.17—21.97g, 变异系数较高(CV=29.33%); 收获体长的均值为 9.22cm, 标准差为 1.33cm, 具有较低的变异系数(CV=12.77%)。试验家系耐低溶氧性状的变异系数最高(CV=36.87%), 表明试验家系间耐低溶氧能力有较大的差异, 进行耐低溶氧性状的遗传改良有较大的潜力。

表 1 凡纳滨对虾生长和耐低溶氧性状的描述性统计量  
Tab.1 Description statistics of growth and hypoxic tolerance traits of *L. vannamei*

性状	均值	最小值	最大值	标准差 SD	变异系数 CV(%)
收获体长(cm)	9.22	5.2	12.3	1.33	12.77
收获体质量(g)	9.52	1.17	21.96	3.89	29.33
低溶氧耐受性(%)	50.53	8.00	80.00	18.63	36.87

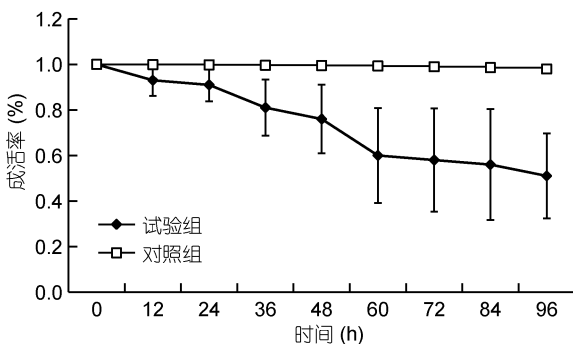


图 1 试验组与对照组凡纳滨对虾平均存活率

Fig.1 The average survival rate in experimental group and control group

在水温 27.9—28.5°C, 96h 试验组和对照组的溶氧变化分别为 1.46—1.81mg/L 和 5.03—5.31mg/L。试验组和对照组的平均成活率变化情况见图 1。由图 1 可见, 试验组在低溶氧胁迫 6h 后就开始出现死亡现象, 经 96h 胁迫后, 平均成活率在 50%左右。对照组至试验结束几乎没有出现死亡现象。

### 2.2 生长和耐低溶氧性状的遗传参数

生长和耐低溶氧性状的遗传力的估计值列于表 2。由表 2 可知, 收获体长和收获体质量的遗传力分别为 0.35±0.11 和 0.48±0.15, 属于中高等遗传力( $h^2$  0.15)。耐低溶氧性状的遗传力为 0.07±0.03, 表现出低等遗传力。所有性状的遗传力估计值均达到显著水平( $P<0.05$ )。生长性状和耐低溶氧性状的共同环境效应( $c^2$ )范围为 0.02—0.05, 但均未达到显著水平( $P>0.05$ )。

表 2 凡纳滨对虾生长和耐低溶氧性状的方差组分  
Tab.2 Components of variance in estimation on growth and hypoxic tolerance traits of *L. vannamei*

性状	方差组分				$c^2$	$h^2$
	$\sigma_p^2$	$\sigma_a^2$	$\sigma_e^2$	$\sigma_c^2$		
收获体长(cm)	1.95	0.69	1.20	0.06	0.03±0.02	0.35±0.11*
收获体质量(g)	26.75	12.84	12.57	1.34	0.05±0.03	0.48±0.15*
低溶氧耐受性(%)	3.599	0.24	3.289	0.07	0.02±0.03	0.07±0.03

注: \*表示差异显著( $P<0.05$ )

生长和耐低溶氧性状表型相关和遗传相关的结果列于表 3。由表 3 可知, 耐低溶氧性状和生长性状间表型相关和遗传相关分别为 0.14—0.18 和 0.11—0.13, 表现出低度正相关, 但均未达到显著水平( $P>0.05$ )。收获体长和收获体质量的表型相关和遗传相关分别为 0.89 和 0.95, 表现出高度正相关, 其估计值均达到显著水平( $P<0.05$ )。

表 3 凡纳滨对虾生长和耐低溶氧性状间的表型相关和遗传相关

Tab.3 Phenotypic and genetic correlations in growth and hypoxic tolerance traits of *L. vannamei*

性状	收获体长 (cm)	收获体质量 (g)	低溶氧耐受性 (%)
收获体长(cm)	—	0.89*	0.14
收获体质量(g)	0.95*	—	0.18
低溶氧耐受性(%)	0.11	0.13	—

注: 对角线上方为表型相关, 下方为遗传相关, \*表示差异显著( $P<0.05$ )

生长和耐低溶氧性状选择反应和遗传获得的结果列于表 4。由表 4 可知, 体长和体质量的选择反应

分别为  $0.65 \pm 0.18$  和  $1.13 \pm 0.31$ , 遗传获得分别为 7.22% 和 11.07%。耐低溶氧性状的选择反应和遗传获得分别为  $0.02 \pm 0.02$  和 4.87%。

表 4 凡纳滨对虾生长和耐低溶氧性状的选择反应和遗传获得

Tab.4 The response-to-selection and genetic gain of growth and hypoxic tolerance traits of *L. vannamei*

性状	选择反应	遗传获得
收获体长	$0.65 \pm 0.18$	7.22
收获体质量	$1.13 \pm 0.31$	11.07
低溶氧耐受性(%)	$0.02 \pm 0.02$	4.87

### 3 讨论

目标性状的遗传参数估计是水产动物育种中的一项基本工作。生长性状, 如体长、体重和生长率等, 作为主要的选育目标性状之一, 其遗传参数估计的研究在水产动物育种中报道较多, 表现为中高等遗传力(Fishback *et al.*, 2002; Ponzoni *et al.*, 2005; 孙长森等, 2010; 刘永新等, 2014)。本研究结果显示, 凡纳滨对虾收获体长和收获体质量的遗传力分别为  $0.35 \pm 0.11$  和  $0.48 \pm 0.15$ , 均属于中高等遗传力。生长性状的变异系数和遗传力结果均表明, 凡纳滨对虾选育家系的生长性状遗传变异丰富, 具有较大的选育潜力。国外有关凡纳滨对虾生长性状遗传参数估计的研究报道较多。Pérez-Rostro 等(2003b)利用 37 个全同胞家系资料估计了凡纳滨对虾生长性状的遗传力(0.14—0.23), Gitterle 等(2005a)对标准化商业养殖中的凡纳滨对虾收获体质量的遗传力进行了估计, 估计值为 0.17—0.24, 均低于本研究结果。造成遗传力估计值存在差异的原因, 可能是因为群体遗传背景、遗传结构组成不同, 养殖环境不同以及估计遗传参数时凡纳滨对虾所处的生长阶段不同, 还可能因为应用的数据分析模型及方法不同。Argue 等(2002)估计了凡纳滨对虾生长性状的遗传力偏高(0.52—0.84), 属于高等遗传力, 可能由于全同胞组内相关法不能利用个体间的亲缘关系, 加上无法剖分随机效应, 其遗传力估计值一般偏高(Eknath *et al.*, 2007)。国内学者同样对凡纳滨对虾生长性状遗传参数的展开研究。安迪(2011)利用个体动物模型估计了凡纳滨对虾生长性状的遗传(0.32—0.45), 属于中高等遗传力, 但由于模型中未包括共同环境效应( $c^2$ ), 估计值可能偏高。徐如卫等(2013)得到凡纳滨对虾收获体质量和体长的遗传力估计值分别为 0.460 和 0.303, 栾生等(2013)估

计了凡纳滨对虾基础群体收获体质量的遗传力(0.19—0.43), 属于中高等遗传力, 这些研究结果与本研究估计的遗传力大小接近, 表明遗传因素对凡纳滨对虾收获体质量影响较大(徐如卫等, 2013)。

阈性状是一类符合二项分布(存活和死亡), 但在遗传上由多基因决定的复杂性状, 其表现型同样受遗传控制和环境效应共同作用。在水产动物中主要应用线性动物模型(Charo-Karisa *et al.*, 2006; Krishna *et al.*, 2011)和公母畜阈值模型(栾生等, 2012)两种方法来确定这两种效应作用的大小, 估计阈值性状遗传参数。有些学者通过线性动物模型估计了凡纳滨对虾(Gitterle *et al.*, 2005a)和斑节对虾(Kenway *et al.*, 2006)的存活性状遗传力(0.04—0.10 和 0.36—0.71), 也有学者利用公母畜阈值模型估计了斑点叉尾鲷存活性状的遗传力(0.037)(栾生等, 2012)。考察个体对某一阈值性状的抵抗力, 可根据对疾病抵抗力一样用死亡和存活来作为判断的标准(McIntyre *et al.*, 1978), 但是需要较大的样本含量, 样本含量较小则会导致估计出现偏差。本研究试验家系样本含量较大( $n=40$ ), 因此估计的遗传参数可信度较高。

目前研究水产动物低溶氧耐受性遗传参数的报道较少。Nagy 等(1980)报道了鲤鱼耐低溶氧性状的遗传力达到了显著水平。Ibarra 等(2007)估计了凡纳滨对虾幼虾阶段耐低溶氧遗传力( $1.15 \pm 0.10$  和  $1.08 \pm 0.11$ ), 遗传力估计值超出了理论估算范围( $h^2 > 1$ )。原因可能是共同环境效应在凡纳滨对虾生活史早期影响较大, 加上数据分析时模型中未包括共同环境效应( $c^2$ ), 使得共同环境效应和加性遗传效应混淆在一起无法剖分, 导致了遗传力估计值大于 1。王晓清等(2009)估计了大黄鱼耐低溶氧性状的遗传力(0.23), 表现出中等遗传力水平, 认为通过个体或群体表型选择法进行选种。本研究凡纳滨对虾耐低溶氧性状的遗传力估计值为  $0.07 \pm 0.03$ , 低于王晓清等(2009)的研究结果, 表现出低遗传力。低遗传力性状适合用家系选择和家系内选择(赵存发等, 1999), 笔者认为在进行耐低溶氧性状的遗传改良时, 需要更多的世代和家系, 每个家系需要测定更多的个体。

性状间遗传相关系数是制定目标性状的重要依据。在水产动物育种中, 田焱等(2008)研究了中国对虾生长性状间的遗传相关, 发现各个生长性状间表现出高度正相关, 认为对体质量性状进行选择的同时, 可得到其余的生长性状的间接选择反应。Pérez-Rostro 等(2003b)报道凡纳滨对虾生长性状间存

在高度正相关( $r_g > 0.95$ ), 但随着生长期延长, 生长性状间遗传相关逐渐降低。国内学者发现泥蚶(孙长森等, 2010)、长牡蛎(王庆志等, 2009)、斑点叉尾鲷等(栾生等, 2012)物种的生长性状间同样存在高度正相关。本研究中收获体质量和收获体长表型相关和遗传相关均为高度正相关(0.89 和 0.95), 与上述研究结果接近。高的遗传相关表明控制生长性状的基因是紧密连锁的, 或者这些基因是多效的。在选育时, 以任意一个生长性状作为目标性状进行选育, 均可达到改良生长情况的效果。有关生长性状和耐低溶氧性状间的遗传相关和表型相关尚未见文献报道, 部分学者研究了生长性状和其它抗逆性状间的相关系数。Li 等(2015)发现凡纳滨对虾体质量与耐低温性状存在高度负相关( $-0.7702 \pm 0.4583$  和  $-0.8253 \pm 0.4553$ ,  $P > 0.05$ )。Zhang 等(2014)研究了大菱鲆生长和耐高温性状间的遗传相关( $-0.044 \pm 0.239$ ,  $P > 0.05$ ), 表现出低度负相关。本研究发现凡纳滨对虾收获体质量和耐低溶氧性状、收获体长和耐低溶氧性状的遗传相关系数均很小(0.11 和 0.13), 表现出低度线性正相关, 表明如果只将体质量作为目标性状, 多代选择后核心群的耐低溶氧性状并不一定能得到改善。因此在凡纳滨对虾育种规划过程中, 有必要采用经济加权系数或百分比赋值方式, 对耐低溶氧性状进行一定的加权, 制定多性状综合选择指数, 据此评估和选择优秀的留种亲本。

选择育种具有长期性, 主要是通过持续对育种群体进行有计划的筛选和淘汰, 已达到提高和稳定目标性状的目的, 因此对每代选择反应和遗传进展进行评估是十分重要的。国内外学者报道了通过选育技术对水产动物重要经济性状进行遗传改良, 每代可取得 10%—20% 的遗传增益(Gjedrem, 2000)。刘旭东等(2012)分析了牙鲆经一代家系选育后的育种效果, 结果表明选育群体全长和体质量较未选育群体提高了 1.33cm 和 2.91g, 遗传增益分别为 11.25% 和 10.36%, 显示出良好的选育效果。张天时等(2008)应用 BLUP 法对中国对虾快生长系进行选育, 一代选育后的遗传进展为 13.28%, 表明 BULP 法对中国对虾生长性状的选育效果显著。本研究已对凡纳滨对虾开展了一代家系选育, 有必要通过选育后代的遗传进展对第一代选育效果进行评估, 为今后选育提供育种设计的理论参考, 本研究估算凡纳滨对虾生长性状的遗传增益为 7.22%—11.07%, 与上述报道相符, 表明经一代家系选育后凡纳滨对虾生长性状的选育效果显著; 而凡纳滨对虾耐低溶氧性状的遗传增益

为 4.87%, 估计值远低于 10%, 结果表明经多代选育后, 耐低溶氧性状可能无法取得良好的育种效果。

## 参 考 文 献

- 王兴强, 马 甦, 董双林, 2005. 凡纳滨对虾生物学及养殖生态学进展. 海洋湖沼通报, (4): 94—100
- 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, 16(5): 736—743
- 王晓清, 王志勇, 何湘蓉, 2009. 大黄鱼(*Larimichthys crocea*)耐环境因子试验及其遗传力的估计. 海洋与湖沼, 40(6): 781—785
- 田 焱, 孔 杰, 栾 生等, 2008. 中国对虾生长性状遗传参数的估计. 海洋水产研究, 29(3): 1—6
- 刘永新, 周 勤, 张红涛等, 2014. 红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)生长性状的遗传参数估计. 渔业科学进展, 35(6): 39—44
- 刘旭东, 刘志鹏, 王亚楠等, 2012. 对牙鲆进行一代选择之后的育种效果分析. 海洋科学进展, 30(4): 548—555
- 安 迪, 2011. 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. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 41—43
- 孙长森, 林志华, 董迎辉等, 2010. 泥蚶(*Tegillarca granosa*)主要经济性状遗传参数的估算. 海洋与湖沼, 41(6): 907—913
- 李亚春, 蔡 强, 陈海进等, 2010. 凡纳滨对虾良种选育之虾苗培育技术探讨. 海洋与渔业, (11): 41—42
- 张天时, 孔 杰, 栾 生等, 2008. 应用 BLUP 法对中国对虾一代选择的遗传进展. 海洋水产研究, 29(3): 35—40
- 赵存发, 高佃平, 李金泉等, 1999. 内蒙古白绒山羊体重性状遗传力的估计. 内蒙古畜牧科学, 20(4): 12—14
- 姚雪梅, 黄 勃, 赖秋明等, 2006. 凡纳滨对虾自交系与杂交系早期生长和存活比较. 水产学报, 30(6): 791—795
- 徐如卫, 钱昭英, 刘小林等, 2013. 凡纳滨对虾生长性状遗传参数的估计. 水产学报, 37(5): 672—678
- 栾 生, 边文翼, 邓 伟等, 2012. 斑点叉尾鲷基础群体生长和存活性状遗传参数估计. 水产学报, 36(9): 1313—1321
- 栾 生, 罗 坤, 阮晓红等, 2013. 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. 海洋与湖沼, 44(2): 445—452
- 黄永春, 艾华水, 殷志新等, 2010. 第四代凡纳滨对虾抗 WSSV 选育家系的抗病及免疫特性研究. 水产学报, 34(10): 1549—1558
- Arcos F G, Ibarra A M, Palacios E *et al*, 2003. Feasible predictive criteria for reproductive performance of white shrimp *Litopenaeus vannamei*: egg quality and female physiological condition. Aquaculture, 228(1—4): 335—349
- Arcos F G, Racotta I S, Ibarra A M, 2004. Genetic parameter estimates for reproductive traits and egg composition in Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. Aquaculture, 236(1—4): 151—165
- 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(3—4): 447—460
- Caballero-Zamora A, Cienfuegos-Rivas E G, Montaldo H H *et al*,

- 2015a. Genetic parameters for spawning and growth traits in the Pacific white shrimp (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei*). *Aquaculture Research*, 46(4): 833—839
- Caballero-Zamora A, Montaldo H H, Campos-Montes G R *et al*, 2015b. Genetic parameters for body weight and survival in the Pacific White Shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* affected by a White Spot Syndrome Virus (WSSV) natural outbreak. *Aquaculture*, 447: 102—107
- 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(1): 42—49
- Charo-Karisa H, Komen H, Rezk M A *et al*, 2006. Heritability estimates and response to selection for growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in low-input earthen ponds. *Aquaculture*, 261(2): 479—486
- De Donato M, Manrique R, Ramirez R *et al*, 2005. Mass selection and inbreeding effects on a cultivated strain of *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* in Venezuela. *Aquaculture*, 247(1—4): 159—167
- Ekneath A E, Bentsen H B, Ponzoni R W *et al*, 2007. Genetic improvement of farmed tilapias: composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding. *Aquaculture*, 273(1): 1—14
- Fishback A G, Danzmann R G, Ferguson M M *et al*, 2002. Estimates of genetic parameters and genotype by environment interactions for growth traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as inferred using molecular pedigrees. *Aquaculture*, 206(3—4): 137—150
- 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(1—4): 83—92
- Gitterle T, Salte R, Gjerde B *et al*, 2005b. Genetic (co)variation in resistance to White Spot Syndrome Virus (WSSV) and harvest weight in *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture*, 246(1—4): 139—149
- Gjedrem T, 2000. Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research*, 31(1): 25—33
- Ibarra A M, Arcos F G, Famula T R *et al*, 2005. Heritability of the categorical trait ‘number of spawns’ in Pacific white female shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture*, 250(1—2): 95—101
- Ibarra A M, Pérez-Rostro C I, Ramírez J L *et al*, 2007. Genetics of the resistance to hypoxia in postlarvae and juveniles of the Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei* (Boone 1931). *Aquaculture Research*, 38(8): 838—846
- 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(1—4): 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(1—2): 74—78
- Li W J, Luan S, Luo K *et al*, 2015. 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*, 441: 8—15
- McIntyre J D, Amend D F, 1978. Heritability of tolerance for infectious hematopoietic necrosis in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Transactions of the American Fisheries Society*, 107(2): 305—308
- Nagy A, Csanyi V, Bakos J *et al*, 1980. Development of a short-term laboratory system for the evaluation of carp growth in ponds. *Bamidgeh*, 32(1): 6—15
- Pérez-Rostro C I, Ibarra A M, 2003a. Quantitative genetic parameter estimates for size and growth rate traits in Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* (Boone 1931) when reared indoors. *Aquaculture Research*, 34(7): 543—553
- Pérez-Rostro C I, Ibarra A M, 2003b. 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(12): 1079—1085
- Ponzoni R W, Hamzah A, Tan S *et al*, 2005. Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 247(1—4): 203—210
- Wyban J A, Swingle J S, Sweeney J N *et al*, 1992. Development and commercial performance of high health shrimp using specific pathogen free (SPF) broodstock *Penaeus vannamei*. In: *Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming*. Baton Rouge, LA, USA: World Aquaculture Society
- Zhang T S, Kong J, Liu B S *et al*, 2014. Genetic parameter estimation for juvenile growth and upper thermal tolerance in turbot (*Scophthalmus maximus* Linnaeus). *Acta Oceanologica Sinica*, 33(8): 106—110

## ESTIMATION ON GENETIC PARAMETERS AND GENETIC GAIN IN GROWTH AND HYPOXIC TOLERANCE TRAITS OF *LITOPENAEUS VANNAMEI*

ZHANG Jia-Chen, CAO Fu-Jun, LIU Jian-Yong, YUAN Rui-Peng  
(Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

**Abstract** We conducted a 96-h experiment on 6000 individuals from 75 families of *Litopenaeus vannamei* to estimate the genetic parameters in growth and hypoxic tolerance traits of the shrimp to hypoxic tolerance challenge. Variance components and genetic parameters of growth and hypoxic tolerance traits of *L. vannamei* were estimated using animal models. The results show that the heritability estimates on body length and body weight at harvest were high ( $0.35\pm 0.11$  and  $0.48\pm 0.15$ ) ( $P<0.05$ ). The phenotypic and genetic correlation between body weight and body length at harvest were high (0.89 and 0.95) ( $P<0.05$ ), too. However, the heritability estimates on hypoxic tolerance traits were low ( $0.07\pm 0.03$ ), and the phenotypic and genetic correlations between growth traits and hypoxic tolerance traits were low (0.14—0.18 and 0.11—0.13) ( $P>0.05$ ), respectively. The response to selection and genetic gain for hypoxic tolerance traits were low ( $0.02\pm 0.02$  and 4.87%, respectively). The response to selection and genetic gain in body length were  $0.65\pm 0.18$  and 7.22%, and in body weight  $1.13\pm 0.31$  and 11.07%, respectively, which suggest that a high effectiveness of selection for growth traits in *L. vannamei*.

**Key words** *Litopenaeus vannamei*; growth traits; hypoxic tolerance traits; genetic parameters; genetic gain