

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200221001

http://www.yykxjz.cn/

李明栋, 李吉涛, 史鲲鹏, 何玉英, 高保全, 刘萍, 李健. 脊尾白虾耐盐碱性状遗传力和遗传相关的估计. 渔业科学进展, 2021, 42(1): 117-123

Li MD, Li JT, Shi KP, He YY, Gao BQ, Liu P, Li J. Estimation of heritability and genetic correlation of saline-alkali tolerance in *Exopalaemon carinicauda*. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(1): 117-123

## 脊尾白虾耐盐碱性状遗传力和遗传相关的估计\*

李明栋<sup>1,2</sup> 李吉涛<sup>2①</sup> 史鲲鹏<sup>2</sup> 何玉英<sup>2</sup>  
高保全<sup>2</sup> 刘萍<sup>2</sup> 李健<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室  
青岛海洋科学与技术试点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)

**摘要** 应用数量遗传学原理和全同胞组内相关法估计 50 日龄脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)耐盐碱性状的遗传力和遗传相关。采用定向交尾方式构建脊尾白虾 50 个全同胞家系(包括 42 个半同胞家系), 利用 SPSS 软件的一般线性模型(GLM)对各家系盐碱胁迫的存活时间进行方差分析, 估计脊尾白虾耐盐碱性状的遗传力和遗传相关。结果显示, 脊尾白虾耐盐碱性状的遗传力为 0.18~0.60, 其估计值未达到显著水平, 属于中等遗传力; 50 日龄脊尾白虾耐盐碱性状与体长的遗传相关和表型相关分别为-0.401 和 0.127, 耐盐碱性状和体重的遗传相关和表型相关分别为-0.196 和 0.033, 耐盐碱性状与体长、体重的相关程度较低。本研究表明, 选择育种对于脊尾白虾耐盐碱性状的改良具有较大潜力, 且以耐盐碱性状为选育指标, 不会对脊尾白虾体长和体重产生显著影响。

**关键词** 脊尾白虾; 耐盐碱性状; 遗传力; 遗传相关

中图分类号 S917.4 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2021)01-0117-07

脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)又称小白虾、迎春虾, 主要分布于黄渤海浅海低盐水域, 是我国重要的中小型经济虾类。脊尾白虾为广温、广盐、广布种, 具有生长速度快、繁殖周期短、适应能力强等优点, 现已成为我国沿海地区的特色养殖品种(李新正等, 2003; 梁俊平, 2013)。我国有低洼盐碱水域 4600 万  $\text{hm}^2$ , 具有养殖潜力的盐碱水面积可达 667 万  $\text{hm}^2$ , 盐碱水由于具有高 pH、高碳酸盐碱度及离子组成复杂等特点, 阻碍了盐碱水资源的充分开发利用。脊尾白虾因环境

适应能力强, 近年来在滨海型盐碱水域养殖初获成功。为进一步提高脊尾白虾耐盐碱能力及其盐碱水养殖产量, 对其进行种质改良迫在眉睫。

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。遗传力的准确估计对正确评定育种值、制定和优化育种方案、计算遗传进展具有重要指导意义(李吉涛等, 2013)。近年来, 国内外已报道的甲壳动物抗逆性状的遗传参数主要集中在三疣梭子蟹(*Portunus*

\* 国家重点研发计划课题(2018YFD0901302)、现代农业产业技术体系(CARS-48)、山东省泰山产业领军人才工程项目(LNJY2015002)和中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2019ZD0603)共同资助 [This work was supported by National Key Research and Development Program of China (2018YFD0901302), China Agriculture Research System (CARS-48), Program of Shandong Leading Talent (LNJY2015002), and Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2019ZD0603)]. 李明栋, E-mail: lmdanyany@163.com

① 通讯作者: 李吉涛, 研究员, E-mail: lijt@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2020-02-21, 收修改稿日期: 2020-03-05

*trituberculatus*)(王正等, 2015)、日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)(郑静静等, 2017)、中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)(董丽君, 2018; 王明珠等, 2018)等物种, 其抗逆性状主要涉及耐低盐、耐高氨氮、耐低温和耐高温等。目前, 关于水产动物耐盐碱遗传参数估计的研究较少, 大多数研究集中于盐碱胁迫对水生动物的影响机制, 如碳酸盐碱度对尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)(赵丽慧等, 2013; 赵岩等, 2016)、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)(沈立等, 2014)、青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii*)(王卓, 2013)、缙蛭(*Sinonovacula constricta*)(叶博等, 2019)、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)(杨富亿等, 2008; 么宗利等, 2010)、罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)(González-Vera *et al.*, 2017)生长和存活的影响等方面。史为良(1981)研究发现, 鱼类中青海湖裸鲤的盐碱适应能力最强, 其次为尼罗罗非鱼、鲫鱼(*Carassius auratus*)、瓦氏雅罗鱼(*Leuciscus waleckii*)。另外, 还有一些环境适应性广的甲壳类, 如凡纳滨对虾、脊尾白虾等, 也是开展水产动物盐碱适应性及耐盐碱分子生理机制研究的理想材料。

水产动物一般具有高繁殖的特性, 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构建脊尾白虾全(半)同胞家系, 利用 72 h 半致死碱度进行胁迫实验, 采用方差分析法对脊尾白虾耐盐碱性状的遗传力和遗传相关进行估计, 可为脊尾白虾耐盐碱性状的选育提供基础数据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 亲本材料

脊尾白虾全(半)同胞家系构建的亲本来源于山东省日照海辰水产有限公司的养殖群体, 其中, 雌虾 142 尾, 雄虾 45 尾。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 亲虾定向交尾** 2019 年 4 月挑选性腺发育成熟的脊尾白虾, 采用 1♂: 3~4♀进行定向交尾。亲虾交尾后, 将抱卵雌虾捞出, 进行单独孵化。5 月下旬, 50 尾抱卵亲虾成功排幼得到子一代, 即 50 个全同胞家系, 其中包括同一雄性亲本不同雌性亲本的半同胞家系 42 个。

**1.2.2 幼体的培育** 每个家系各取 300 尾 I 期溞状幼体, 分别放入 300 L 塑料桶进行培育, 各家系培

育条件一致。在幼体培育过程中, 以褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)和卤虫(*Artemia sinica*)为主要饵料, 每天换水 10%, 孵育温度为 24℃, 连续充气培育至仔虾(李吉涛等, 2013)。

### 1.3 盐碱胁迫实验

根据前期预实验, 得到脊尾白虾 72 h 半致死碱度为 8.26 mmol/L, 利用 72 h 半致死碱度对所有家系(全同胞和半同胞)进行盐碱胁迫实验。每个家系随机挑选 30 尾虾, 在 50 L 整理箱中暂养 24 h。每个家系分 3 组, 每组 10 尾, 在实验过程中各组盐度保持一致, 碱度用 1 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 溶液调节, 用酸碱滴定法检测, 每隔 6 h 调整 1 次水体碱度, 保持水体碳酸盐碱度稳定, 整个实验周期不投喂饲料。记录每尾个体的存活时间及生长性状。

### 1.4 数据统计分析

对耐盐碱性状遗传力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,  $\alpha_i$  和  $\beta_j$  分别为 A 因素的第  $i$  个水平效应与 B 因素的第  $j$  个水平效应,  $(\alpha\beta)_{ij}$  为 A 因素的第  $i$  个水平、B 因素的第  $j$  个水平时的交互作用效应,  $e_{ijk}$  为随机误差。通过 SPSS 软件的一般线性模型对数据进行方差分析, 全同胞资料表型变量的方差组成见表 1。

因为每个雄性亲本的后代数目不相等, 所以需要加权矫正:

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

式中,  $n_i^2$  为第  $i$  个雄性亲本后代个体数。

根据全同胞资料进行二因素系统分组方差分析可得到 3 个遗传力估计值。半同胞家系的狭义遗传力为组内系数的 4 倍, 所以父系半同胞狭义遗传力为:

$$h_S^2 = 4 \times \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2}$$

母系半同胞狭义遗传力为:

$$h_D^2 = 4 \times \frac{\sigma_D^2}{\sigma_s^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2}$$

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:

$$h_{SD}^2 = 2 \times \frac{\sigma_s^2 + \sigma_D^2}{\sigma_s^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2}$$

根据全同胞资料, 利用二因素系统分组的方差、

表 1 全同胞资料表型变量的方差组成  
Tab.1 Analysis of variance for phenotypic variance

变异来源 Source of variance	自由度 df	平方和 Quadratic sum	均方 MP	期望均方 Expected mean square
雄性间 Within sires	$S-1$	$SS_S$	$MS_S$	$\sigma_e^2 + K_2 \times \sigma_D^2 + K_3 \times \sigma_S^2$
雄内雌间 Dams within sires	$D-S$	$SS_D$	$MS_D$	$\sigma_e^2 + K_1 \times \sigma_D^2$
雌雄内后代个体间 Full-sibs within sires and dams	$N-D$	$SS_e$	$MS_e$	$\sigma_e^2$
总和 Total	$N-1$	$SS_T$		

注:  $N$ : 后代个体总数;  $S$ : 雄性亲本数量;  $D$ : 雌性亲本数量;  $\sigma_S^2$ 、 $\sigma_D^2$  和  $\sigma_e^2$ : 父系半同胞方差、母系半同胞方差和全同胞个体间方差;  $K_1$ : 雄性亲本内相配的雌性亲本平均后代数;  $K_2$ : 每个雌性亲本的平均后代数;  $K_3$ : 每个雄性亲本的后代数

Note:  $N$ : Total number of offspring individuals;  $S$ : Number of male parents;  $D$ : Number of female parents;  $\sigma_S^2$ : Paternal half-sib variance;  $\sigma_D^2$ : Maternal half sib variance;  $\sigma_e^2$ : Full sib variance;  $K_1$ : Average offspring between female parents in male parent;  $K_2$ : Average postagebra of each female parent;  $K_3$ : Number of offspring per male parent

协方差分析, 估计出相应的方差组分和协方差组分, 进行遗传相关的估计(盛志廉等, 2001)。

遗传相关的计算公式为:

$$r_{A(S)} = Cov_s(x, y) / \sigma_{s_x} \sigma_{s_y}$$

表型相关的计算公式为:

$$r_p = Cov_p(x, y) / \sigma_{p_x} \sigma_{p_y}$$

式中,  $r_{A(S)}$  为父系半同胞的遗传相关,  $Cov_s(x, y)$  为两性状的遗传协方差,  $\sigma_{s_x}$   $\sigma_{s_y}$  为两性状的遗传方差,  $r_p$  为父系半同胞的表型相关,  $Cov_p(x, y)$  为两性状的表型协方差,  $\sigma_{p_x}$   $\sigma_{p_y}$  两性状的表型方差。

## 2 结果与分析

### 2.1 脊尾白虾耐盐碱性状的遗传力估计

**2.1.1 脊尾白虾盐碱胁迫存活时间的方差分析** 每个脊尾白虾家系经 72 h 盐碱胁迫后, 运用 SPSS 软件对其存活时间进行统计分析, 各家系存活时间方差分析见表 2。由表 2 可知, 对雄性亲本间的存活时间进行  $F$  检验, 差异极显著( $P < 0.01$ ); 对雄性亲本内雌性亲本间存活时间进行  $F$  检验, 差异极显著( $P < 0.01$ )。

雄性亲本内相配的雌性亲本平均后代数  $K_1 = 20$ , 每个雌性亲本的平均后代数  $K_2 = 20$ 、 $K_3$  每个雄性亲本的后代数  $K_3 = 47.21$ 。

**2.1.2 脊尾白虾存活时间变量方差的分析** 根据亲本后代数目以及方差分析的结果, 计算脊尾白虾雄性亲本、雌性亲本和全同胞组分的方差见表 3。

**2.1.3 脊尾白虾耐盐碱性状遗传力估计** 根据父系半同胞、母系半同胞以及全同胞家系的方差组分,

表 2 脊尾白虾耐盐碱性状的方差分析

Tab.2 Analysis of variance of survival time of *E. carinicauda*

变异来源 Source of variance	耐盐碱性状 Saline-alkali tolerance		
	自由度 df	均方 MP	均方比 F
雄性间 Within sires	19	904.678	7.318**
雄内雌间 Dams within sires	30	583.164	4.717**
全同胞间 Full-sibs within sires and dams	920	123.627	
总和 Total	970		

\*\*表示差异极显著

\*\* represents highly significant difference

表 3 存活时间组成的方差组分

Tab.3 Analysis of causal components of the survival time in *E. carinicauda*

方差组分 Components of variance	存活时间 Survival time
雄性间 Within sires	$\sigma_S^2$ 6.81
雄内雌间 Dams within sires	$\sigma_D^2$ 22.97
全同胞间 Full-sibs within sires and dams	$\sigma_e^2$ 123.63
总和 Total	$\sigma_S^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2$ 153.41
雄性间+雄内雌间 Within sires+Dams within sires	$\sigma_S^2 + \sigma_D^2$ 29.78

估计脊尾白虾耐盐碱性状的遗传力见表 4。

经  $t$  检验, 依据父系半同胞与母系半同胞的方差组分估计的遗传力未达显著水平, 可认为, 依据全同胞方差组分估计的遗传力是脊尾白虾耐盐碱性状遗传力的无偏估计值。

表4 脊尾白虾耐盐碱性状的遗传力及  $t$  检验  
Tab.4 Heritability and  $t$  test of the tolerance to saline-alkali in *E. carinicauda*

遗传力估计方法 Estimation methods of heritability	存活时间 Survival time	
	50 日龄 50-day-old	$t$ 检验 $t$ test
父系半同胞 Paternal half-sibs	0.18	0.14
母系半同胞 Maternal half-sibs	0.60	0.41
全同胞 Full-sibs	0.39	4.25*

\*表示差异显著。下同

\* represents significant difference. The same as below

## 2.2 脊尾白虾耐盐碱性状与生长性状的遗传相关和表型相关

脊尾白虾 50 日龄生长性状与耐盐碱性状的协方差分析见表 5。根据计算的遗传协方差分析和表型协方差分析见表 6。估计 50 日龄脊尾白虾生长性状和耐盐碱性状的遗传相关和表型相关见表 7。

通过协方差分析可知,脊尾白虾体长与体重的相关系数为 0.830~0.890,为极显著正相关( $P<0.01$ ),而耐盐碱性状与生长性状的相关性较低,为不显著的负相关;遗传相关与表型相关变化一致,说明抗逆性状与生长性状间无显著相关关系。

表5 表型变量的协方差分析

Tab.5 Covariance analysis for components of phenotypic variance

性状间 Between traits	雄性间 Among sires		雌内雌间 Dams among sires		全同胞间 Among full-sibs	
	自由度 df	均方 MP	自由度 df	均方 MP	自由度 df	均方 MP
体长, 存活时间 Body length, survival time	9	-0.141	80	4.681	630	3.417
体重, 存活时间 Body weight, survival time	9	0.016	80	0.122	630	0.054
体长, 体重 Body length, body weight	9	0.378	80	0.111	630	0.110

表6 表型变量间的原因协方差组分

Tab.6 Causal component of phenotypic covariance

性状间 Between traits	协方差组分 Phenotypic covariance		
	$Cov_s(x,y)$	$Cov_D(x,y)$	$Cov_e(x,y)$
体长, 存活时间 Body length, survival time	-0.067	0.158	3.417
体重, 存活时间 Body weight, survival time	-0.001	0.009	0.054
体长, 体重 Body length, body weight	0.0340	0.0002	0.1100

表7 脊尾白虾生长性状和耐盐碱性状的遗传相关和表型相关

Tab.7 Genetic and phenotypic correlations between growth and saline-alkali resistance traits in *E. carinicauda*

	体长 Body length	体重 Body weight	存活时间 Survival time
体长 Body length	-	0.890*	0.127
体重 Body weight	0.830*	-	0.033
存活时间 Survival time	-0.401	-0.196	-

注: 对角线以上为表型相关; 对角线以下为遗传相关

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

## 3 讨论

生长速度快、繁殖力强、抗逆性强是水产动物选育的基础标准,这些性状遗传参数的估计是制定育种计划的依据和进行遗传改良的基础。在选育过程中,遗传力越高的性状,其后代重现性状的可能性就高,当水产动物某个性状的遗传力大于0.4时,属高程度遗传力,适合个体或群体表型选择法来选种。当水产动物某个性状的遗传力小于0.2时,后代重现性状的

可能性较低,适用于家系选择或家系内选择(赵存发等,2010)。多数水产动物都未达到高程度遗传力的标准,李吉涛等(2013)应用全同胞组内相关法估计得到脊尾白虾50日龄时体长的遗传力为0.170~0.330,体重的遗传力为0.140~0.330,为中度遗传力。李祥孔等(2017)通过对已建立的牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)核心群体进行性状测试,得到牙鲆180、240和360日龄体长、体重、体高遗传力分别为0.290~0.320、0.130~0.350和0.350~0.390,均为中度遗传力。高保全等(2016)

研究估计得到三疣梭子蟹80和120日龄生长性状的遗传力为0.530~0.600和0.450~0.500, 属于高度遗传力。水产动物抗逆性状的遗传力一般较低, 如九孔鲍(*Halotis diversicolor supertexta*)耐低盐遗传力为(0.056±0.022)(蒋湘等, 2014), 属低度遗传力; 董丽君(2018)通过对中国明对虾3个世代进行低温胁迫实验, 估计其耐低温性状遗传力为(0.054±0.074)~(0.223±0.101); 张嘉晨等(2016)对凡纳滨对虾耐低氧性状的遗传力进行估计, 得到其遗传力为0.070±0.030, 属于低度遗传力; 斑节对虾(*Penaeus monodon*)耐氨氮、耐低盐性状的遗传力为(0.110±0.040)和(0.290±0.080)(周发林等, 2019); 中国明对虾耐低温性状的遗传力为(0.169±0.078)(王明珠等, 2018); Charo-Karisa等(2005)估计尼罗罗非鱼幼鱼的耐低温性状的遗传力为(0.080±0.190), 属于低度遗传力。王正等(2015)通过对三疣梭子蟹进行低盐胁迫, 估计Ⅱ期幼蟹耐低盐性状遗传力为0.180, 80日龄稚蟹的耐低盐性状遗传力为0.200, 均属低度遗传力。本研究利用全同胞组内相关法估计脊尾白虾耐盐碱性状的遗传力0.180~0.600, 为中度遗传力, 与其他水产动物抗逆性状的遗传力相比较, 说明脊尾白虾耐盐碱能力较强, 以耐盐碱性状作为选育指标可选育出耐盐碱能力强的新品种。脊尾白虾的生长性状与耐盐碱性状均达到中度遗传力, 可为脊尾白虾耐盐碱新品种的选育提供基础数据。

在水产动物育种工作中, 抗逆性状与生长性状间的遗传相关与表型相关参数通常用来进行辅助选择, 当通过直接选育的方法难以达到要求, 或无法直接对某一性状进行选育时, 可选择另外一个与目标性状有高度遗传相关的性状来完成选育(蒋湘等, 2014)。一般水产动物的抗逆性状与生长性状之间的遗传相关都很低。Krishna等(2011)估计斑节对虾体重与存活率的相关系数仅为0.050( $P>0.05$ ); 刘宝锁等(2011)研究表明, 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)耐高温性状与体重的表型相关仅为0.040, 遗传相关为-1.000; 蒋湘等(2014)通过对九孔鲍家系进行低温胁迫实验, 得到其壳长、壳宽、体重与耐低盐性状的表型相关为-0.040~0.156, 遗传相关系数为-0.030~0.140, 呈不显著负相关关系; 日本囊对虾耐低温性状与生长性状之间的表型相关系数为(0.043±0.054)~(0.126±0.046), 遗传相关系数为(0.100±0.442)~(0.159±0.441), 均为低度正相关(郑静静等, 2017)。本研究发现, 脊尾白虾耐盐碱性状与生长性状的表型相关和遗传相关系数分别为0.033~0.127和-0.401~0.196, 与以上研究结论一致。因此, 在脊尾白虾选育过程中, 可对耐盐碱性状

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, 可加快育种进程。

## 参 考 文 献

- 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
- Dong LJ. Evaluation of genetic parameters and screening related genes of cold tolerance traits in shrimp. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2018 [董丽君. 对虾耐低温性状遗传参数分析及相关基因筛选. 上海海洋大学硕士学位论文, 2018]
- Gao BQ, Liu P, Li J, *et al.* Estimates for the heritability of economically important growth-traits in *Portunus trituberculatus*. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, 46(4): 56-62 [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹生长性状的遗传力评估. *中国海洋大学学报*, 2016, 46(4): 56-62]
- González-Vera C, Brown J. Effects of alkalinity and total hardness on growth and survival of postlarvae freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man 1879). *Aquaculture*, 2017, 473: 521-527
- Jiang X, Liu JY, Lai ZF. Estimation of genetic parameter for low salinity tolerance and growth of *Halotis diversicolor supertexta*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(3): 542-547 [蒋湘, 刘建勇, 赖志服. 九孔鲍(*Halotis diversicolor supertexta*)耐低盐与生长性状的遗传参数评估. *海洋与湖沼*, 2014, 45(3): 542-547]
- Krishna G, Gopikrishna G, Gopal C, *et al.* Genetic parameters for growth and survival in *Penaeus monodon* cultured in India. *Aquaculture*, 2011, 318(1-2): 74-78
- Li JT, Li J, Liu P, *et al.* Heritability of body length and weight for the ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(4): 968-972 [李吉涛, 李健, 刘萍, 等. 脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)体长和体重遗传力的估计. *海洋与湖沼*, 2013, 44(4): 968-972]
- Li XK, Tian YS, Li H, *et al.* Genetic effect analysis of growth traits in *Paralichthys olivaceus* families. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(3): 39-50 [李祥孔, 田永胜, 李洪, 等. 牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)家系生长性状遗传效应分析. *渔业科学进展*, 2017, 38(3): 39-50]
- Li XZ, Liu RY, Liang XQ. The zoogeography of Chinese Palaemonoidea fauna. *Biodiversity Science*, 2003, 11(5): 393-406 [李新正, 刘瑞玉, 梁象秋. 中国长臂虾总科的动物地理学特点. *生物多样性*, 2003, 11(5): 393-406]
- Liang JP. Study on the technology of artificial breeding and expression of genes involving in reproducing of *Exopalaemon carinicauda*. Doctoral Dissertation of Ocean University of China, 2013 [梁俊平. 脊尾白虾全人工繁育及繁殖相关基因的研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2013]
- 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]
- Shen L, Hao ZR, Zhou K, *et al.* Tolerability studies of *Carassius auratus gibelio* to salinity and carbonate alkalinity. Marine Fisheries, 2014, 36(5): 445–452 [沈立, 郝卓然, 周凯, 等. 异育银鲫“中科三号”对盐度和碳酸盐碱度的耐受性. 海洋渔业, 2014, 36(5): 445–452]
- Sheng ZL, Chen YS. Quantitative genetics. Beijing: Science Press, 2001, 60–74 [盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学. 北京: 科学出版社, 2001, 60–74]
- Shi WL. On the adaptability of some Chinese fishes to the carbonate brackish water of Da-Li Lake. Acta Hydrobiologica Sinica, 1981, 7(3): 359–369 [史为良. 我国某些鱼类对达里湖碳酸盐型半咸水的适应能力. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 359–369]
- Wang MZ, Meng XH, Kong J, *et al.* 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 [王明珠, 孟宪红, 孔杰, 等. 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 Z, Gao BQ, Liu P, *et al.* Estimation of the heritability of the tolerance to low-salinity in *Portunus trituberculatus*. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(3): 74–78 [王正, 高保全, 刘萍, 等. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)耐低盐的遗传力估计. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 74–78]
- Wang Z, Yao ZL, Lin TT, *et al.* Effects of carbonate alkalinity stress on SOD, ACP and AKP activities in the liver and kidney of juvenile *Gymnocypris przewalskii*. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(6): 1212–1218 [王卓, 么宗利, 林听听, 等. 碳酸盐碱度对青海湖裸鲤幼鱼肝和肾 SOD、ACP 和 AKP 酶活性的影响. 中国水产科学, 2013, 20(6): 1212–1218]
- Yang FY, Li XJ, Yang XQ, *et al.* Adaptability of *Litopenaeus vannamei* to carbonate saline-alkaline waters in northeast China. Marine Sciences, 2008, 32(1): 41–44 [杨富亿, 李秀军, 杨欣乔, 等. 凡纳滨对虾对东北碳酸盐型盐碱水域的适应能力. 海洋科学, 2008, 32(1): 41–44]
- Yao ZL, Wang H, Zhou K, *et al.* Effects of water carbonate alkalinity and pH on survival rate of post-larval *Litopenaeus vannamei*. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(5): 945–950 [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. 生态学杂志, 2010, 29(5): 945–950]
- Ye B, Cheng ZY, Peng MX, *et al.* Effects of pH and carbonate alkalinity on survival rate,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase activity and phagocytic ability of the razor clam (*Sinonovacula constricta*). Journal of Fisheries of China, 2019, 43(8): 1723–1732 [叶博, 程之扬, 彭茂潇, 等. 急性 pH 和碳酸盐碱度对缢蛏存活率、 $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase 活性及血淋巴吞噬能力的影响. 水产学报, 2019, 43(8): 1723–1732]
- 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]
- Zhao CF, Gao DP, Li JQ, *et al.* Estimation of heritability of body weight traits in Inner Mongolia white cashmere goats. Animal Husbandry and Feed Science, 2010, 31(6–7): 73–74 [赵存发, 高佃平, 李金泉, 等. 内蒙古白绒山羊体重性状遗传力的估计. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(6–7): 73–74]
- Zhao LH, Jia JH, Zhang YH, *et al.* Growth comparison among three strains of *Oreochromis niloticus* juvenile in net cage under different salinity-alkalinity waters. South China Fisheries Science, 2013, 9(4): 1–7 [赵丽慧, 笄金华, 张艳红, 等. 不同盐、碱度下 3 品系尼罗罗非鱼幼鱼网箱养殖的生长比较. 南方水产科学, 2013, 9(4): 1–7]
- Zhao Y, Wu JW, Meng S, *et al.* Effects of carbonate alkalinity on serum pH, ammonia concentration and related gene expression in *Oreochromis niloticus*. Journal of Southern Agriculture, 2016, 47(6): 1032–1038 [赵岩, 吴俊伟, 孟森, 等. 碳酸盐碱度胁迫对尼罗罗非鱼血清 pH、游离氨浓度及相关基因表达的影响. 南方农业学报, 2016, 47(6): 1032–1038]
- Zheng JJ, Liu JY, Jiang X, *et al.* Genetic parameter estimation of growth traits for early growth stage of *Marsupenaeus japonicus*. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(4): 710–717 [郑静静, 刘建勇, 蒋湘, 等. 日本囊对虾早期生长性状遗传参数估计. 中国水产科学, 2017, 24(4): 710–717]
- Zhou FL, Yang QB, Huang JH, *et al.* Estimation of genetic parameters for ammonia nitrogen and freshwater tolerance traits in *Penaeus monodon*. South China Fisheries Science, 2019, 15(5): 63–68 [周发林, 杨其彬, 黄建华, 等. 斑节对虾耐氨氮和淡水应激性状的遗传参数估计. 南方水产科学, 2019, 15(5): 63–68]

(编辑 马瑰艳)

## Estimation of Heritability and Genetic Correlation of Saline-Alkali Tolerance in *Exopalaemon carinicauda*

LI Mingdong<sup>1,2</sup>, LI Jitao<sup>2①</sup>, SHI Kunpeng<sup>2</sup>, HE Yuying<sup>2</sup>, GAO Baoquan<sup>2</sup>, LIU Ping<sup>2</sup>, LI Jian<sup>2</sup>

(1. National Experimental Teaching Demonstration Center of Aquatic Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;  
2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071)

**Abstract** *Exopalaemon carinicauda* is a widely-distributed species. Its wide temperature and salinity tolerances, fast growth, and strong adaptability have enabled it to become a characteristic breeding species in coastal areas of China. In China, there are around 100 million acres of saline-alkali water with breeding potential. Saline-alkali water has a high-pH, high-carbonate alkalinity, and complex ion composition, which hinders the full development and utilization of resources. Due to its strong environmental adaptability, *E. carinicauda* has been successfully cultivated in coastal saline-alkali waters in recent years. It is urgent to improve its germplasm for saline-alkali aquaculture production of this species. In this study, quantitative genetics principles and intra-sibling correlation methods were used to estimate the heritability and heredity-related parameters of saline-alkali stress in 50-day-old *E. carinicauda*. Fifty full-sib families (including 42 half-sib families) were constructed by directional mating. The survival time under saline-alkali stress was analyzed with a general linear model (GLM) using SPSS software, and the genetic correlation with and heritability of saline-alkali tolerance were estimated. The results showed that the heritability of saline-alkali tolerance was 0.18~0.60, and the estimated value was not significant. The genetic correlation and phenotypic correlation between saline-alkali tolerance and body length were -0.401 and 0.127, respectively. The genetic and phenotypic correlations between saline-alkali tolerance and body weight were -0.196 and 0.033, respectively. The results of this study showed that selective breeding has great potential to improve the saline-alkali tolerance of *E. carinicauda*, and taking the saline-alkali tolerance as the breeding index would not significantly affect the body length and weight of *E. carinicauda*.

**Key words** *Exopalaemon carinicauda*; Saline-alkali tolerance; Heritability; Genetic correlations

① Corresponding author: LI Jitao, E-mail: lijtao@ysfri.ac.cn