

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20230904002

http://www.yykxjz.cn/

王成伟, 王佳佳, 张秀红, 唐帅, 王培春, 李健, 李吉涛. 脊尾白虾生长和繁殖性状的遗传参数估计. 渔业科学进展, 2024, 45(6): 155–166

WANG C W, WANG J J, ZHANG X H, TANG S, WANG P C, LI J, LI J T. Estimation of genetic parameters for growth and reproduction traits in *Exopalaemon carinicauda*. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(6): 155–166

脊尾白虾生长和繁殖性状的遗传参数估计*

王成伟^{1,2,3} 王佳佳^{2,3} 张秀红^{2,3} 唐 帅^{2,3}
王培春⁴ 李 健^{2,3} 李吉涛^{2,3①}

(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. 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室(中国水产科学研究院黄海水产研究所) 山东 青岛 266071;

3. 青岛海洋科技中心海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266237

4. 日照海辰水产有限公司 山东 日照 276800)

摘要 为估计脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)生长和繁殖性状的遗传参数,本研究采用巢式交配设计建立家系,构建了40个脊尾白虾全同胞家系,其中,包括25个半同胞家系,利用一般线性模型估计了脊尾白虾50日龄和80日龄体长、总腹节长、体重以及抱卵量、单位体重抱卵量、单位体长抱卵量和第1次产卵时间性状的遗传力、表型相关和遗传相关。结果显示,50日龄体长、总腹节长、体重的遗传力分别为0.27~0.69、0.31~0.44和0.20~0.65,80日龄体长、总腹节长和体重的遗传力分别为0.39~0.54、0.31~0.47、0.33~0.71;抱卵量、单位体重抱卵量、单位体长抱卵量和第1次产卵时间的遗传力分别为0.45~0.52、0.30~0.49、0.43~0.48和0.33~0.77;经过 t 检验,全同胞方差组分估计的遗传力达到极显著水平($P<0.01$)。因此,脊尾白虾的生长和繁殖性状的狭义遗传力的无偏估计值为全同胞方差组分估计的遗传力。体重与体长、抱卵量性状的遗传相关系数分别为0.9514和0.2058,体重与体长、抱卵量性状的表型相关系数分别为0.7420和0.2124。研究表明,脊尾白虾体长、总腹节长及体重3个生长性状和抱卵量、单位体长抱卵量、单位体重抱卵量及第1次产卵时间4个繁殖性状均达到中高等遗传力水平,体重和体长性状为高度正相关,体重和抱卵量性状为低度正相关。本研究为脊尾白虾高繁殖力性状良种选育工作提供了数据参考。

关键词 脊尾白虾; 生长性状; 繁殖性状; 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(2024)06-0155-12

脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)是我国重要的中小型经济虾类,具有生长速度快、繁殖能力强、环境适应性广等优点(李吉涛等,2013)。近年来,脊尾白虾作为新兴的养殖品种,其养殖产业发展迅速,全国养殖面积超过2万 hm^2 ,产量约5万t(梁俊平等,

2017)。繁殖性状是衡量亲虾质量的关键指标,对苗种的发育、品质至关重要,然而脊尾白虾的抱卵量远低于其他经济虾类,低繁殖力导致育苗成本升高(于天基等,2014);且脊尾白虾养殖苗种主要依靠捕捞野生亲虾或养殖亲本自繁等方式获得,亲虾繁殖能

* 国家自然科学基金(32072974)、现代农业产业技术体系(CARS-48)和中国水产科学研究院基本科研业务费(2023TD50)共同资助。王成伟, Email: 1710780799@qq.com

① 通信作者: 李吉涛, 研究员, Email: lijt@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2023-09-04, 收修改稿日期: 2023-10-13

力低下、苗种品质差,导致养殖的脊尾白虾常因苗种问题而表现出生长速度慢、抗病力差等,制约了脊尾白虾养殖产业的发展(李健等, 2019)。良种问题已成为制约我国脊尾白虾养殖业健康发展的主要瓶颈之一,培育繁殖力高、生长速度快的新品种能有效地改善这一现状。

生长和繁殖性状是水产养殖动物重要的经济性状,直接与产量相关,较快的生长速度和较短的繁殖周期可以提高养殖产量,缩短养殖时间,提高养殖效益,是水产养殖的主要目标之一(Wang *et al.*, 2020)。雌虾的抱卵量和产卵次数是衡量其繁殖性能高低的标准(Arcos *et al.*, 2005),不同遗传背景的甲壳动物的繁殖性能存在显著差异,罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)孟加拉种群的繁殖性能优于越南种群(黄光华等, 2019),长江野生中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)的产卵率显著高于普通中华绒螯蟹(万全等, 2013)。不同凡纳对虾(*Penaeus vannamei*)家系间繁殖性状差异显著,繁殖性能具有较大的家系选择潜力,在培育高繁殖力品系过程中,应以单次产卵量作为选育的目标性状(袁瑞鹏等, 2016)。张年国等(2023)研究发现,不同地理群体的脊尾白虾亲本的繁殖性状存在显著性差异,繁殖性状在不同群体间已出现分化或分化的趋势;池塘养殖脊尾白虾不同个体间的抱卵量性状存在显著差异(于天基等, 2014)。因此,脊尾白虾繁殖性能具有较大的遗传改良潜力。

在水产动物新品种选育中,遗传参数是重要的依据,可用于评估育种价值,制定和优化育种计划,其中,遗传力和遗传相关是2个常用的遗传参数(张沅, 2001)。准确合理的遗传参数估计有助于更好地理解遗传因素对特定群体某一性状的表型影响程度(倪萍等, 2021)。遗传力能够反映性状遗传能力的大小(Falconer *et al.*, 2000),通过有效评估遗传力,制定合理的育种计划,可实现子代遗传增益的最大化(赵虹博等, 2023)。目前,国内外对于甲壳动物生长性状遗传力的估计已有较多研究,中国对虾(*Penaeus chinensis*) (何玉英等, 2011)、凡纳对虾(孙坤等, 2022)、日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*) (贾永义等, 2014)、罗氏沼虾(江宗冰等, 2017)和三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*) (高保全等, 2016)等甲壳动物的体长、体重性状的遗传力已被评估。关于甲壳动物繁殖性状遗传力评估的报道较少,仅对凡纳对虾和斑节对虾(*Penaeus monodon*)产卵数量的遗传力进行了评估,结果表明其为中度遗传力(Ibarra *et al.*, 2005; Macbeth *et al.*, 2007),尚未见脊尾白虾繁殖性状遗传参数估计

的相关研究。本研究采用巢式交配设计构建脊尾白虾全(半)同胞家系,对50日龄和80日龄脊尾白虾的生长性状以及繁殖性状的遗传参数进行了估计,将为脊尾白虾新品种选育提供基础依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 实验设计

亲虾来源于山东省日照海辰水产有限公司。选取200尾健康、体质强壮、性腺发育良好的亲虾,包括50尾雄虾和150尾雌虾用于构建家系。

采用群体间杂交的方式进行交尾,其中1♂:3~4♀。经过交尾、抱卵后,将抱卵虾捞出,单独进行孵育,2023年5月中下旬排卵成功,得到子一代并记录亲本排卵时间。共构建全同胞家系40个,其中包括半同胞家系25个。全同胞家系是指父本和母本都相同的后代个体组成的家系;半同胞家系是指父本相同,母本不同的后代个体组成的家系;雄间是指雄性亲本不同的个体间;雄内雌性间是指雄性亲本相同,雌性亲本不同的个体间;雌雄内全同胞间是指雌雄亲本都相同的个体间。

1.2 幼体的培育和养殖

每个亲虾后代取300尾I期蚤状幼体放到300L塑料桶中进行培养,培育过程中主要以褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、卤虫(*Artemia sinica*)为主要饵料,每天换水10%,连续充气培养。待发育至仔虾阶段后,每个家系保留200尾仔虾,继续培育。为保证环境对不同家系影响的一致性,保持各家系养殖条件一致。

1.3 性状测量

50日龄和80日龄时,从每个家系中随机选取30尾个体,用电子数显游标卡尺测量每个个体的体长、总腹节长,精确至0.01mm;用电子天平测量体重,精确至0.01g。

脊尾白虾卵巢开始发育后,每天观察每个家系的抱卵情况,记录雌虾第1次抱卵时间,并将抱卵雌虾捞出,吸干体表水分并用镊子轻轻将卵块取下,置于培养皿中使其平铺,拍照,使用Image J软件对受精卵进行计数,并测量其体长和体重。

1.4 统计分析

生长、繁殖性状的方差分析及协方差分析使用SPSS22.0软件的一般线性模型(general line model, GLM)。双因素系统分组的方差分析及协方差分析的

数学模型为:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

式中, Y_{ijk} 表示某个性状第 k 个个体的性状指标, μ 为总体平均数, α_i 和 β_j 分别为 A 因素的第 i 个水平效应与 B 因素第 j 个水平效应; $(\alpha\beta)_{ij}$ 为 A 因素第 i 个水平、B 因素第 j 个水平时的交互作用效应; e_{ijk} 为随机误差。

全同胞资料表型变量的方差组成见表 1, 由于每个雄性亲本的后代数 K_3 不相等, 故需要进行加权校正。计算公式如下:

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

式中, n_i 为第 i 个雄性亲本后代个体数。

表 1 全同胞资料表型变量组成的方差分析

Tab.1 Analysis of variance for phenotypic variation of full-sibs families

变异来源 Source of variance	自由度 df	平方和 SS	均方 MS	期望均方 EMS
雄间 Within sires	$S-1$	SS_S	MS_S	$\delta_e^2 + K_2 \times \delta_D^2 + K_3 \times \delta_S^2$
雄内雌间 Dams within sires	$D-S$	SS_D	MS_D	$\delta_e^2 + K_1 \times \delta_D^2$
雌雄内全同胞间 Full-sibs	$N-D$	SS_e	MS_e	δ_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; δ_S^2 为父系半同胞方差; δ_D^2 为母系半同胞方差; δ_e^2 为全同胞个体间方差; K_1 : 雄性亲本内与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; δ_S^2 : Paternal half-sib variance; δ_D^2 : Maternal half sib variance; δ_e^2 : Full sib variance; K_1 : Average offspring between female parents in male parent; K_2 : Average offspring of each female parent; K_3 : Number of offspring per male parent.

根据全同胞资料作二因素系统分组方差分析可以得到 3 个遗传力估计值。半同胞估计的狭义遗传力为半同胞组内相关系数的 4 倍, 即:

$$\text{父系半同胞: } h_S^2 = 4 \times \delta_S^2 / (\delta_S^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2) \quad (3)$$

$$\text{母系半同胞: } h_D^2 = 4 \times \delta_D^2 / (\delta_S^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2) \quad (4)$$

$$\text{全同胞: } h_{SD}^2 = 2 \times (\delta_S^2 + \delta_D^2) / (\delta_S^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2) \quad (5)$$

计算所得遗传力的估计值来自于样本, 需要对其进行显著性检验, 检测其是否能够代表总体参数。遗传力的显著性 t 检验, 用组内相关系数显著性检验方法(盛志廉等, 2001), t 检验公式如下:

$$t = h^2 / \delta_h^2 \quad (6)$$

根据全同胞资料利用二因素系统分组的方差、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)

$$\text{遗传相关的计算公式: } r_{A(S)} = \text{Cov}_s(x, y) / \delta_{s_x} \delta_{s_y} \quad (7)$$

$$\text{表型相关的计算公式: } r_p = \text{Cov}_p(x, y) / \delta_{p_x} \delta_{p_y} \quad (8)$$

式中, $r_{A(S)}$ 为父系半同胞的遗传相关, $\text{Cov}_s(x, y)$ 为两性状的遗传协方差, δ_{s_x} , δ_{s_y} 为两性状的遗传方差, r_p 为父系半同胞的表型相关, $\text{Cov}_p(x, y)$ 为两性状的表型协方差, δ_{p_x} , δ_{p_y} 为两性状的表型方差。在甲壳动物遗传力计算中, 何玉英等(2011)、李吉涛等(2013)、高保全等(2016)、李明栋等(2021)都采用一般

线性模型(GLM)和根据全同胞资料作二因素系统分组方差分析得到相关遗传力估计值和遗传相关系数。

2 结果与分析

2.1 生长性状

2.1.1 脊尾白虾不同日龄生长性状参数 50 日龄和 80 日龄脊尾白虾不同生长性状参数见表 2。不同日龄体长、总腹节长和体重性状的变异系数的范围为 6.78%~30.75%, 随着生长阶段的推进, 3 个性状的变异系数皆呈下降趋势; 相对于体长、总腹节长性状, 体重的变异系数的范围较大, 为 21.57%~30.75%, 说明相同环境条件下, 体重性状相对于其他 2 个性状具有更大的选择潜力。

2.1.2 脊尾白虾体长、总腹节长及体重的方差分析

50 日龄和 80 日龄脊尾白虾的体长和体重的方差分析见表 3。结果显示, 50 日龄和 80 日龄体长、总腹节长及体重性状的雄性亲本间和雄内雌性间方差的 F 检验均差异极显著($P < 0.01$)。

雄性亲本与雌性亲本间的有效平均后代数量计算结果如下: 半同胞家系中雌性的后代数量 $K_1 = 30$; 每个雌性亲本的后代数量 $K_2 = 30$; 每个雌性后代的平均后代数量 $K_3 = 71$ 。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组分见表 4。

表 2 脊尾白虾生长性状的基本统计参数

Tab.2 Basic statistical parameters of growth traits in *E. carinicauda*

性状 Traits	50 日龄 Day 50			80 日龄 Day 80		
	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
体长 Body length/mm	30.57	3.10	10.14	38.67	2.62	6.78
总腹节长 Total abdominal length/mm	15.93	1.45	9.10	20.04	1.49	7.44
体重 Body weight/g	0.39	0.12	30.75	0.79	0.17	21.57

表 3 脊尾白虾生长性状表型变量组成的方差分析

Tab.3 Variance analysis of phenotypic variable composition of growth traits in *E. carinicauda*

性状 Traits	变异来源 Source of variance	50 日龄 Day 50			80 日龄 Day 80		
		自由度 df	均方 MS	F	自由度 df	均方 MS	F
体长 Body length	雄间 Within sires	22	81.14	13.74**	22	67.80	12.71**
	雄内雌间 Dams within sires	17	45.78	7.75	17	33.17	6.22**
	雌雄内全同胞间 Full-sibs	1 160	5.90		1 160	5.33	
	总和 Total	1 199			1 199		
总腹节长 Total abdominal length	雄间 Within sires	22	15.22	11.86**	22	18.72	10.38**
	雄内雌间 Dams within sires	17	6.48	5.05**	17	9.75	5.40**
	雌雄内全同胞间 Full-sibs	1 160	1.28		1 160	1.80	
	总和 Total	1 199			1 199		
体重 Body weight	雄间 Within sires	22	0.12	11.67**	22	0.30	14.00**
	雄内雌间 Dams within sires	17	0.08	7.21**	17	0.18	8.20**
	雌雄内全同胞间 Full-sibs	1 160	0.01		1 160	0.02	
	总和 Total	1 199			1 199		

注：**表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: ** represents highly significant difference ($P<0.01$).

表 4 生长性状表型变量的原因方差组分

Tab.4 Analysis results of causal components of phenotypic variance of growth traits

性状 Traits	方差组分 Components of variance	50 日龄 Day 50	80 日龄 Day 80
体长 Body length	δ_s^2	0.495	0.667
	δ_D^2	1.329	0.928
	δ_e^2	5.904	5.334
	$\delta_T^2 = \delta_s^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2$	7.728	6.930
	$\delta_s^2 + \delta_D^2$	1.825	1.595
总腹节长 Total abdominal length	δ_s^2	0.122	0.173
	δ_D^2	0.173	0.265
	δ_e^2	1.284	1.804
	$\delta_T^2 = \delta_s^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2$	1.579	2.242
	$\delta_s^2 + \delta_D^2$	0.296	0.438
体重 Body weight	δ_s^2	0.001	0.002
	δ_D^2	0.002	0.005
	δ_e^2	0.010	0.022
	$\delta_T^2 = \delta_s^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2$	0.013	0.029
	$\delta_s^2 + \delta_D^2$	0.003	0.008

其中, 雌性亲本的方差大于雄性亲本的方差, 表明雌性亲本间半同胞具有较大的差异。

2.1.3 脊尾白虾 50 日龄和 80 日龄的体长、总腹节长及体重的遗传力估计 根据父系半同胞、母系半同胞和全同胞的方差组分, 估计了 50 日龄和 80 日龄脊尾白虾生长性状的遗传力, 如表 5 所示, 脊尾白虾 50 日龄的体长、总腹节长、体重性状的遗传力估计值为 0.256~0.688、0.310~0.439 和 0.197~0.652, 80 日龄的体长、总腹节长、体重性状的遗传力估计值为 0.385~0.536、0.309~0.473 和 0.331~0.710, 其中, 只有基于雌雄内全同胞个体间达到了极显著水平。

2.2 繁殖性状

2.2.1 脊尾白虾初次抱卵时繁殖性状参数 脊尾白虾初次抱卵的繁殖性状参数如表 6 所示, 抱卵量、单位体重抱卵量、单位体长抱卵量、第 1 次产卵时间性状的变异系数范围为 14.23%~28.58%, 且抱卵量的

变异系数最大, 为 28.58%, 第 1 次产卵时间性状的变异系数最小, 为 14.23%, 说明相对于其他性状, 抱卵量性状具有更大的选择潜力。

2.2.2 脊尾白虾繁殖性状的方差分析 脊尾白虾繁殖性状的方差分析见表 7, 抱卵量、单位体重抱卵量、单位体长抱卵量和第 1 次抱卵时间性状的雄性亲本间和雄内雌性亲本间方差的 F 检验均具有极显著差异($P<0.01$)。

雄性亲本与雌性亲本间的有效平均后代数量计算结果如下: 半同胞家系中雌性的后代数量 $K_1=14$, 每个雌性亲本的后代数量 $K_2=16$, 每个雌性后代的平均后代数量 $K_3=44$ 。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组分见表 8。其中, 雄性亲本的方差大于雌性亲本的方差, 表明雄性亲本间半同胞具有较大的差异。

表 5 脊尾白虾生长性状的遗传力及 t 检验
Tab.5 Heritability and t -test of growth traits in *E. carinicauda*

性状 Traits	遗传力估计方法 Estimation methods of heritability	50 日龄 Day 50		80 日龄 Day 80	
		遗传力 Heritability	t	遗传力 Heritability	t
体长 Body length	父系半同胞 Paternal half-sibs	0.256	1.019	0.385	1.480
	母系半同胞 Maternal half-sibs	0.688	2.043 [*]	0.536	2.446 [*]
	全同胞 Full-sibs	0.472	3.310 ^{**}	0.460	3.751 ^{**}
总腹节长 Total abdominal length	父系半同胞 Paternal half-sibs	0.310	1.445	0.309	1.367
	母系半同胞 Maternal half-sibs	0.439	1.880	0.473	2.375 [*]
	全同胞 Full-sibs	0.374	3.200 ^{**}	0.391	3.693 ^{**}
体重 Body weight	父系半同胞 Paternal half-sibs	0.197	0.866	0.331	1.143
	母系半同胞 Maternal half-sibs	0.652	2.020	0.710	2.560 [*]
	全同胞 Full-sibs	0.425	3.250 ^{**}	0.520	3.888 ^{**}

注: *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$)。下同。
Note: * represents significant difference ($P<0.05$), ** represents highly significant difference ($P<0.01$). The same below.

表 6 脊尾白虾繁殖性状的基本统计参数
Tab.6 Basic statistical parameters of reproductive traits in *E. carinicauda*

性状 Traits	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
抱卵量/粒 Egg production	546.67	156.23	28.58
单位体重抱卵量/(粒/g) Eggs per gram	555.14	128.18	23.09
单位体长抱卵量/(粒/mm) Eggs per millimeter	12.97	3.31	25.50
第 1 次产卵时间 First spawning time/d	82.59	11.76	14.23

2.2.3 脊尾白虾繁殖性状的遗传力估计 根据父系半同胞、母系半同胞和全同胞的方差组分, 计算了脊尾白虾繁殖性状的遗传力(表 9), 其中, 抱卵量、单位体重抱卵量、单位体长抱卵量、第 1 次产卵时间的遗传力估计值分别为 0.45~0.52、0.30~0.49、0.43~0.48 和 0.33~0.77, 均为中高度遗传力, 表明对脊尾白虾繁殖性状进行选择育种能达到较好的效果。

2.3 脊尾白虾生长性状与繁殖性状遗传相关和表型相关

根据父系半同胞方差组分和协方差组分以及表

表 7 脊尾白虾繁殖性状表型变量组成的方差组分

Tab.7 Analysis of variance for components of phenotypic variation of reproductive traits in*E. carinicauda*

性状 Traits	变异来源 Source of variance	自由度 df	均方 MS	F
抱卵量 Egg production	雄间 Within sires	26	172 806.31	9.98**
	雄内雌间 Dams within sires	13	59 395.48	3.43**
	雌雄内全同胞间 Full-sibs	605	17 319.32	
	总和 Total	644		
单位体重抱卵量(粒/g) Eggs per gram	雄间 Within sires	26	92 939.54	7.35**
	雄内雌间 Dams within sires	13	40 437.00	3.20**
	雌雄内全同胞间 Full-sibs	605	12 652.96	
	总和 Total	644		
单位体长抱卵量(粒/mm) Eggs per millimeter	雄间 Within sires	26	74.20	9.38**
	雄内雌间 Dams within sires	13	25.54	3.23**
	雌雄内全同胞间 Full-sibs	605	7.91	
	总和 Total	644		
第 1 次产卵时间 First spawning time	雄间 Within sires	26	1 815.43	28.57**
	雄内雌间 Dams within sires	13	170.16	2.68**
	雌雄内全同胞间 Full-sibs	605	63.54	
	总和 Total	644		

表 8 脊尾白虾繁殖性状表型变量的原因方差分析

Tab.8 Analysis of variance for phenotypic variables of reproductive traits in *E. carinicauda*

性状 Traits	方差组分 Components of variance	
抱卵量 Egg production	δ_s^2	2 544.64
	δ_D^2	2 952.96
	δ_e^2	17 319.32
	$\delta_r^2 = \delta_s^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2$	22 816.91
	$\delta_s^2 + \delta_D^2$	5 497.59
单位体重抱卵量(粒/g) Eggs per gram	δ_s^2	1 178.02
	δ_D^2	1 949.92
	δ_e^2	12 652.96
	$\delta_s^2 = \delta_s^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2$	15 780.89
	$\delta_s^2 + \delta_D^2$	3 127.93
单位体长抱卵量(粒/mm) Eggs per millimeter	δ_s^2	1.09
	δ_D^2	1.24
	δ_e^2	7.91
	$\delta_s^2 = \delta_s^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2$	10.24
	$\delta_s^2 + \delta_D^2$	2.33
第 1 次产卵时间 First spawning time	δ_s^2	16.80
	δ_D^2	7.18
	δ_e^2	63.54
	$\delta_s^2 = \delta_s^2 + \delta_D^2 + \delta_e^2$	87.51
	$\delta_s^2 + \delta_D^2$	23.98

型方差组分和协方差组分估计第 1 次产卵时间, 体长、体重、抱卵量、单位体重抱卵量、单位体长抱卵量和第 1 次产卵时间之间的遗传相关和表型相关系数如表 10 所示, 体长和体重性状的遗传相关和表型相关系数分别为 0.951 4 和 0.742 0, 抱卵量和体重性状的遗传相关和表型相关系数分别为 0.205 8 和 0.212 4, 抱卵量和体长性状的遗传相关和表型相关系数分别为 0.016 6 和 0.001 4, 抱卵量和第 1 次产卵时间的遗传相关和表型相关系数分别为 0.002 2 和 0.000 1, 均为正相关关系。

3 讨论

3.1 生长性状遗传力的估计

水产动物的遗传参数对于制定育种计划和进行遗传改良具有重要意义。生长速度、繁殖力和抗逆性被视为水产动物选育的基本标准(李明栋等, 2021)。遗传力估计是制定育种方案和选育优良品种的基础之一, 利用合适的方法对遗传力进行无偏估计, 保证研究结果的准确性, 对育种工作具有重要意义。张沅(2001)对遗传力的大小进行了划分, 认为遗传力大于 0.3 为高度遗传力, 小于 0.15 为低度遗传力, 介于中间为中度遗传力。国内外广泛利用全同胞(半同胞)相关法对甲壳动物生长性状的遗传力进行估计, 何玉英等(2011)通过全同胞相关法, 获得中国对虾在 150 日龄时体长、总腹节长、体重性状的遗传力估计值分别

表 9 脊尾白虾繁殖性状的遗传力及 *t* 检验
Tab.9 Heritability and *t*-test of reproductive traits in *E. carinicauda*

性状 Traits	遗传力估计方法 Estimation methods of heritability	遗传力 Heritability	<i>t</i>
抱卵量/粒 Egg production	父系半同胞 Paternal half-sibs	0.45	2.13*
	母系半同胞 Maternal half-sibs	0.52	1.80
	全同胞 Full-sibs	0.48	3.55**
单位体重抱卵量/(粒/g) Eggs per gram	父系半同胞 Paternal half-sibs	0.30	1.74
	母系半同胞 Maternal half-sibs	0.49	1.75
	全同胞 Full-sibs	0.40	3.28**
单位体长抱卵量(粒/mm) Eggs per millimeter	父系半同胞 Paternal half-sibs	0.43	2.13*
	母系半同胞 Maternal half-sibs	0.48	1.76
	全同胞 Full-sibs	0.46	3.50**
第 1 次产卵时间 First spawning time	父系半同胞 Paternal half-sibs	0.77	2.18*
	母系半同胞 Maternal half-sibs	0.33	0.77
	全同胞 Full-sibs	0.55	2.19**

表 10 脊尾白虾生长性状与繁殖性状的遗传相关和表型相关系数
Tab.10 Genetic and phenotypic correlations of growth and reproductive traits in *E. carinicauda*

	体长 Body length	体重 Body weight	抱卵量 Egg production	单位体重抱卵量 Eggs per gram	单位体长抱卵量 Eggs per millimeter	第 1 次产卵时间 First spawning time
体长 Body length	—	0.742 0	0.001 4	0.000 1	0.044 6	0.000 1
体重 Body weight	0.951 4	—	0.212 4	−0.003 3	0.756 9	0.063 1
抱卵量 Egg production	0.016 6	0.205 8	—	0.000 0	0.002 0	0.000 1
单位体重抱卵量 Eggs per gram	−0.000 8	−0.006 5	0.000 4	—	0.024 2	0.000 0
单位体长抱卵量 Eggs per millimeter	0.637 2	0.857 6	0.019 9	0.002 1	—	0.004 6
第 1 次产卵时间 First spawning time	0.020 3	0.233 3	0.002 2	0.003 7	0.114 3	—

注：对角线上方为表型相关系数，对角线下方为遗传相关系数。
Note: Above the diagonal is phenotypic correlation, below the diagonal is genetic correlation.

为 0.36~0.51、0.25~0.50 和 0.04~0.2；高保全等(2016)通过全同胞相关法，估计了三疣梭子蟹 80 日龄生长性状的遗传力为 0.51~0.69，120 日龄生长性状的遗传力为 0.27~0.70，皆为中高度遗传力。本研究采用全同胞组内相关法，估计了脊尾白虾 50 日龄和 80 日龄的体长、总腹节长、体重的遗传力，生长性状遗传力估计值分别在 0.20~0.69 和 0.31~0.71 之间，属于中高度遗传力。因此，脊尾白虾生长性状适用于个体或群体表型选择方式育种。

遗传力是亲代的性状变异遗传给子代的能力，理论上，其基于父系半同胞、母系半同胞和全同胞方差组分的遗传力估计值应该相同，然而，在实际估计时，偏差总是存在的，在罗氏沼虾(贾永义等, 2014)、缢蛏

(*Sinonovacula constricta*) (李浩等, 2018)遗传力估计中发现，母系半同胞的遗传力最大，父系半同胞最小，而中国对虾生长性状的父系半同胞的遗传力最大，母系半同胞最小(何玉英等, 2011)。本研究对 50 日龄和 80 日龄生长性状的遗传力进行估计，其中，母系半同胞的遗传力最大，全同胞次之，父系半同胞最小，一般以全同胞估计遗传力为准，因为它是母系半同胞和父系半同胞估计遗传力的平均值，且本研究中只有全同胞的遗传力估计值达到极显著水平，因此，采用全同胞相关法获得的遗传力估计值可以作为 50 日龄和 80 日龄脊尾白虾生长性状遗传力的无偏估计值。

遗传力估计值的准确性受到群体遗传结构与环境的互动、性状的母体效应、连续世代选择、样本含

量及遗传力估计方法等的影响。在前期研究中,李吉涛等(2013)估计了 30 日龄和 50 日龄脊尾白虾体长和体重的遗传力值分别为 0.07~0.35 和 0.12~0.33,与本研究的结果略有差异。一方面,不同群体的遗传背景、群体结构不同、与环境间的互作不同,导致遗传估计值的差异,且随着日龄增加,全同胞间的效应增加,从而导致遗传力的增加;另一方面,二者样本数量的差异导致遗传力估计值的偏差。但是研究结果均表明,脊尾白虾生长性状属于中高度遗传力。

3.2 繁殖性状遗传力的估计

繁殖性状在育种计划和物种改良中具有重要意义,它不仅是评估繁殖状况的重要指标,还能反映种群的繁衍模式以及物种的生存能力(Levanduski *et al.*, 1988)。繁殖性状也是育种的重要目标经济性状,与生产成本、经济效益密切相关。多项研究表明,畜禽繁殖性状的遗传力大多数为中度遗传力,长白猪繁殖周期的遗传力为 0.18(张蕾等, 2021), 300 日龄徐海鸡产蛋数、开产日龄和开产体重的遗传力分别为 0.35、0.22 和 0.28(刘一帆等, 2020), 如皋黄鸡繁殖遗传力在 0.177~0.320 之间(王克华等, 2010)等,上述研究为畜禽新品种的选育奠定了重要基础。鱼类繁殖性状遗传力的研究发现,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)产卵时间的遗传力为 0.497~0.563 (Abadía-Cardoso *et al.*, 2013), 产卵数量的遗传力为 0.42 (D'Ambrosio *et al.*, 2020), 太平洋银鲑(*Oncorhynchus kisutch*)产卵时间的遗传力为 0.24 (Gall *et al.*, 2004), 属于中高等遗传力。在甲壳动物中,凡纳对虾产卵数量的遗传力为 0.20 (Ibarra *et al.*, 2005), 斑节对虾产卵数量的遗传力为 0.41 ± 0.18 (Macbeth *et al.*, 2007), 均属于中高度遗传力。本研究估计了脊尾白虾绝对抱卵量、单位体重抱卵量、单位体长抱卵量以及第 1 次产卵时间等 4 个繁殖性状的遗传力,表明绝对抱卵量、单位体重抱卵量、单位体长抱卵量、第 1 次产卵时间的遗传力估计值分别为 0.45~0.52、0.30~0.49、0.43~0.48 和 0.33~0.77,值得注意的是,雌雄内全同胞间的遗传力均达到了极显著水平,属于中高等遗传力水平。因此,脊尾白虾繁殖性状可以通过个体或群体表型选择方式开展选择育种。

3.3 生长与繁殖性状间的表型相关和遗传相关

基因连锁和基因多效性的存在,使生物体不同性状间存在不同程度的相关性(何玉英等, 2011)。甲壳动物生长性状与其个体的繁殖能力存在一定的相关关系,日本沼虾的雌性生殖力与头胸甲长和体重相关

(尹婷婷等, 2012), 罗氏沼虾体重与抱卵量、生殖力和生殖指数呈显著正相关关系(李清清等, 2022), 中华绒螯蟹的亲本抱卵量与其体重、壳长和壳宽均呈指数正相关,而亲本生殖力和生殖指数与其体重、壳长和壳宽成幂函数负相关(石今朝等, 2020); 凡纳对虾部分家系中可以观察到体重与产卵量呈显著正相关(樊云鹏等, 2021)。研究发现,池塘养殖脊尾白虾的体长性状与抱卵量呈线性关系(于天基等, 2014)。然而,甲壳动物生长与繁殖性状是否存在遗传相关或表型相关尚未见报道。

两性状之间的表型相关性是遗传相关性和环境相关性共同影响的结果。在两性状的遗传影响较为有限的情况下,表型相关性主要受到环境方面的共变影响;相反地,如果这 2 个性状都受到较高度度的遗传影响,那么遗传相关性将发挥主导作用。但有时正向的遗传相关性可能会被负向的环境相关性所抵消,从而导致表型相关性的值接近于 0 (GJEDREM *et al.*, 2009)。大部分数量性状之间存在相互关系,这种性状间的协同变化主要是由于它们可能受到同一个或多个共同基因的调控,也可能是因为它们受到相似环境因素的影响。基因的连锁作用以及基因的多重效应会导致遗传相关性,从而导致生物体的不同性状之间呈现出不同程度的关联(李焕军等, 2017)。何玉英等(2011)估计了中国对虾 150 日龄生长性状的遗传参数,得到体重和总腹节长的遗传相关系数最大(0.92)、体长和头胸甲长之间的遗传相关系数最小(0.83)的结果;郑静静等(2017)发现日本对虾 45 日龄和 75 日龄体长-总腹节长的表型相关和遗传相关最大,为 0.712 1~0.730 9、0.989 6~0.993 0 和 0.671 0~0.694 6、0.763 7~0.779 8;李浩等(2018)发现,缢蛏 60 日龄、90 日龄和 150 日龄壳长-壳高性状间遗传相关系数分别为 0.980、0.755、0.942,表型相关系数分别为 0.910、0.882、0.912。本研究分析了脊尾白虾体长、体重和第 1 次抱卵时的抱卵量、单位体长抱卵量、单位体重抱卵量和第 1 次抱卵时间之间的表型相关和遗传相关,第 1 次抱卵时间与抱卵量性状的遗传相关系数为 0.002 2,表型相关系数为 0.000 1,说明第 1 次产卵时间与抱卵量性状的控制基因之间相互作用较弱。体长和体重性状的遗传相关和表型相关系数分别为 0.951 4 和 0.742 0,说明以体长或体重性状作为选择目标进行选育,均能达到改良脊尾白虾选育群体生长性状的效果。抱卵量和体重性状的遗传相关和表型相关系数分别为 0.205 8 和 0.212 4,均为正相关关系,抱卵量与体重性状的遗传相关和表型相关为中等

程度相关,与体长性状相关程度较弱,因此,建议育种过程中将体长和抱卵量性状作为2个选择目标进行同时选育。

4 结论

本研究利用全同胞组内相关法,研究了50日龄和80日龄脊尾白虾体长、总腹节长、体重3个生长性状以及脊尾白虾雌虾初次抱卵量、单位体长抱卵量、单位体重抱卵量和第1次产卵时间4个繁殖性状的遗传参数。结果显示,50日龄生长性状的遗传力估计值为0.197~0.652,80日龄生长性状的遗传力估计值为0.391~0.710,繁殖性状的遗传力估计值为0.299~0.768,遗传力估计值均为中高度遗传水平。体长与体重的表型相关和遗传相关系数最高,分别为0.7420和0.9514,抱卵量和体重性状的遗传相关和表型相关系数分别为0.2058和0.2124,均为正相关关系;抱卵量与体长性状相关程度较弱。综上所述,脊尾白虾生长性状和繁殖性状可通过个体或群体表型选择方式育种,建议育种过程中将体长和抱卵量性状作为2个选择目标进行同时选育,上述结果为脊尾白虾的遗传改良提供了重要的基础数据支持,对未来的选育工作具有重要的应用价值。

参 考 文 献

- ARCOS F G, RACOTTA I S, Palacios E, *et al.* Ovary development at the onset of gametogenesis is genetically determined and correlated with reproductive traits at maturity in shrimp *Litopenaeus (Penaeus) vannamei*. *Marine Biology*, 2005, 148(2): 339–346
- D'AMBROSIO J, MORVEZEN R, BRARD-FUDULEA S, *et al.* Genetic architecture and genomic selection of female reproduction traits in rainbow trout. *BMC Genomics*, 2020, 21(1): 558
- FALCONER D S, MACKAY T F. Introduction to quantitative genetics 4th Edition. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000 [FALCONER D S, MACKAY T F. 数量遗传学导论第4版. 北京: 中国农业科技出版社, 2000]
- FAN Y P, TAN J, LUAN S, *et al.* Comparative analysis of breeding characteristics of different strains of *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(9): 1141–1151 [樊云鹏, 谭建, 栾生, 等. 凡纳滨对虾不同品系繁育性状的比较分析. 中国水产科学, 2021, 28(9): 1141–1151]
- GALL G A E, NEIRA R. Genetic analysis of female reproduction traits of farmed coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 2004, 234(1/2/3/4): 143–154
- GAO B Q, 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(自然科学版), 2016, 46(4): 56–62]
- GJEDREM T, BARANSKI M. Selective breeding in aquaculture: An introduction. Netherlands: Springer, 2009
- HE Y Y, WANG Q Y, TAN L Y, *et al.* Estimates of heritability and genetic correlations for growth traits in Chinese Shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(17): 10499–10502 [何玉英, 王清印, 谭乐义, 等. 中国对虾生长性状的遗传力和遗传相关估计. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10499–10502]
- HUANG G H, LEI Y, MA H W, *et al.* Comparison of parental morphology and breeding properties of roche marsh shrimp from three different geographical populations. *Fisheries Science and Technology Information*, 2019, 46(4): 187–191 [黄光华, 雷燕, 马华威, 等. 罗氏沼虾不同地理种群亲本形态及繁育性能比较. 水产科技情报, 2019, 46(4): 187–191]
- IBARRA A M, ARCOS F G, FAMULA T R, *et al.* Heritability of the categorical trait 'number of spawns' in Pacific white female shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture*, 2005, 250(1/2): 95–101
- JIA Y Y, GU Z M, YANG Y J, *et al.* Initial family construction and heritability estimates for growth-related traits in *Macrobrachium nipponensis*. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2014, 34 (2): 154–160 [贾永义, 顾志敏, 杨元杰, 等. 日本沼虾家系的初步构建及生长相关性状的遗传力估计. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2014, 34(2): 154–160]
- JIANG Z B, DAI X L, MING L, *et al.* Analysis of intraspecific heterosis, heritability and genetic correlation of growth traits of *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(2): 189–196 [江宗冰, 戴习林, 明磊, 等. 罗氏沼虾生长性状的种内杂交优势及遗传力与遗传相关分析. 上海海洋大学学报, 2017, 26(2): 189–196]
- LEVANDUSKI M J, CLOUD J G R. Rainbow trout (*Salmo gairdneri*) semen: Effect of non-motile sperm on fertility. *Aquaculture*, 1988, 75(1/2): 171–179
- LI H J, XU T, WANG W J, *et al.* Analysis of heritability, genetic correlation and phenotypic correlation for growth trait in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(11): 1680–1686 [李焕军, 徐涛, 王卫军, 等. 长牡蛎生长性状遗传力、遗传相关和表型相关分析. 水产学报, 2017, 41(11): 1680–1686]
- LI H, XUE B B, LI L X, *et al.* Heritability estimates for growth traits at the earlier stage of the fast-growth selected line of *Sinonovacula constricta*. *Marine Fisheries*, 2018, 40(3): 342–350 [李浩, 薛宝宝, 李炼星, 等. 缢蛏快长选育系早期生长性状的遗传参数估计. 海洋渔业, 2018, 40(3):

- 342–350]
- LI J T, 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 J, LIU P, LI J T. Development and utilization of germplasm resources and ecological health breeding of *Exopalaemon carinicauda*. *China Science and Technology Achievements*, 2019, 20(1): 25–27, 32 [李健, 刘萍, 李吉涛. 脊尾白虾种质资源开发利用与生态健康养殖. *中国科技成果*, 2019, 20(1): 25–27, 32]
- LI M D, LI J T, SHI K P, *et al.* Estimation of heritability and genetic correlation of saline-alkali tolerance in *Exopalaemon carinicauda*. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(1): 117–123 [李明栋, 李吉涛, 史鲲鹏, 等. 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 Q Q, CAI Z M, CHEN J, *et al.* Effects of female size of *Macrobrachium rosenbergii* on reproductive performance and embryo quality. *Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering*, 2022, 35(2): 15–19 [李清清, 蔡子民, 陈建, 等. 罗氏沼虾雌虾规格对生殖性能和胚胎质量的影响. *仲恺农业工程学院学报*, 2022, 35(2): 15–19]
- LIANG J P, LI J, LI J T, *et al.* Controlled propagation of ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda*. *Fisheries Science*, 2017, 36(3): 290–295 [梁俊平, 李健, 李吉涛, 等. 脊尾白虾全人工繁育技术初步研究. *水产科学*, 2017, 36(3): 290–295]
- LIU Y F, LU J, TU Y J, *et al.* Estimation of heritability of spur length and its association with reproductive traits in Xuhai hens. *Chinese Journal of Animal Science*, 2020, 56(11): 44–46 [刘一帆, 卢建, 屠云洁, 等. 徐海鸡母鸡距长性状的遗传力估计及其与繁殖性状的关联分析. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(11): 44–46]
- MACBETH M, KENWAY M, SALMON M, *et al.* Heritability of reproductive traits and genetic correlations with growth in the black tiger prawn *Penaeus monodon* reared in tanks. *Aquaculture*, 2007, 270(1/2/3/4): 51–56
- NI P, REN Q, WANG J, *et al.* Estimating SNP heritability for papillae number in sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(3): 68–76 [倪萍, 任强, 王静, 等. 仿刺参疣足数量 SNP 遗传力评估. *渔业科学进展*, 2021, 42(3): 68–76]
- SHENG Z L, CHEN Y S. Quantitative genetics. Beijing: Science Press, 1999, 60–74 [盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学. 北京: 科学出版社, 1999, 60–74]
- SHI J Z, JIANG X D, LIU N G, *et al.* Effects of broodstock size on reproductive performance and embryo quality of *Eriocheir sinensis*. *Freshwater Fisheries*, 2020, 50(6): 70–76 [石今朝, 姜晓东, 刘乃更, 等. 亲本规格对中华绒螯蟹生殖性能和胚胎质量的影响. *淡水渔业*, 2020, 50(6): 70–76]
- SUN K, LI P X, SUI J, *et al.* Evaluation of genetic parameters of body length, body weight and WSSV resistance of *Litopenaeus vannamei* based on microsatellite markers. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(4): 583–593 [孙坤, 李旭鹏, 隋娟, 等. 基于微卫星标记评估凡纳滨对虾收获体长、体质量以及抗 WSSV 性状的遗传参数. *水产学报*, 2022, 46(4): 583–593]
- WAN Q, SU S P, MA H Q, *et al.* Preliminary study on the breeding performance for wild Yangtze River brood stocks of Chinese mitten crab. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2013, 40(3): 406–410 [万全, 苏时萍, 马浩强, 等. 长江野生中华绒螯蟹育苗性能的初步研究. *安徽农业大学学报*, 2013, 40(3): 406–410]
- WANG K H, DOU T C, QU L, *et al.* Analysis of laying performance and genetic parameters of Rugao yellow chicken. *Chinese Journal of Animal Science*, 2010, 46(9): 12–14 [王克华, 窦套存, 曲亮, 等. 如皋黄鸡产蛋性能与遗传参数分析. *中国畜牧杂志*, 2010, 46(9): 12–14]
- WANG L, GUO Q, LEVY T, *et al.* Ovarian development pattern and vitellogenesis of ridgetail white prawn, *Exopalaemon carinicauda*. *Cell and Tissue Research*, 2020, 382(2): 367–379
- YIN T T, GUAN W B. Reproductive biology of the mature *Macrobrachium nipponensis* in Yangtze River estuary. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2012(4): 79–83 [尹婷婷, 管卫兵. 长江口日本沼虾繁殖群体生物学研究. *海洋湖沼通报*, 2012(4): 79–83]
- YU T J, LI J, LI J T, *et al.* The growth and reproduction characteristics of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) cultured in ponds. *Chinese Fishery Quality Standards*, 2014, 4(2): 16–25 [于天基, 李健, 李吉涛, 等. 池养脊尾白虾的生长与繁殖特性. *中国渔业质量与标准*, 2014, 4(2): 16–25]
- YUAN R P, LIU J Y, ZHANG J C, *et al.* A comparative study of reproductive traits among different *Litopenaeus vannamei* families. *Haiyang Xuebao*, 2016, 38(6): 89–97 [袁瑞鹏, 刘建勇, 张嘉晨, 等. 凡纳滨对虾不同家系间繁殖性状的比较. *海洋学报*, 2016, 38(6): 89–97]
- ZHANG L, WANG P F, SUN J C, *et al.* Estimation of genetic parameters for reproductive traits in long white pigs. *Chinese Journal of Animal Science*, 2021, 57(S1): 89–91 [张蕾, 王鹏飞, 孙敬春, 等. 长白猪繁殖性状的遗传参数估计. *中国畜牧杂志*, 2021, 57(S1): 89–91]
- ZHANG N G, ZHOU Y H, ZHOU W Y, *et al.* Comparative study of reproductive characteristics among different geographic populations of *Exopalaemon carinicauda*. *Fisheries Science and Technology Information*, 2023, 50(1): 8–13 [张年国, 周裕华, 周文玉, 等. 不同地理群体脊尾白虾亲本繁殖特性比较. *水产科技情报*, 2023, 50(1): 8–13]
- ZHANG R. Livestock breeding. Beijing: China Agriculture Press, 2001 [张沅. 家畜育种学. 北京: 中国农业出版社, 2001]

ZHAO H B, TAN Y T, YANG L, *et al.* The full length heritability estimation of *Acanthopagrus latus*. Journal of Fisheries Research, 2023, 45(1): 23–29 [赵虹博, 谭宇婷, 杨乐, 等. 黄鳍棘鲷全长遗传力估计. 渔业研究, 2023, 45(1): 23–29]

ZHENG J J, LIU J Y, 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]

(编辑 马瑾艳)

Estimation of Genetic Parameters for Growth and Reproduction Traits in *Exopalaemon carinicauda*

WANG Chengwei^{1,2,3}, WANG Jiajia^{2,3}, ZHANG Xiuhong^{2,3}, TANG Shuai^{2,3},
WANG Peichun⁴, LI Jian^{2,3}, LI Jitao^{2,3①}

(1. National Experimental Teaching Demonstration Center of Aquatic Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao 266237, China; 4. Rizhao Haichen Aquaculture Co., Ltd, Rizhao 276800, China)

Abstract The ridgetail white shrimp (*Exopalaemon carinicauda*), belonging to the Palaemonidae family of crustaceans, is an economically important small-to-medium-sized shrimp in China that is naturally distributed on the coasts of the Yellow and Bohai Seas. Due to its rapid growth and high tolerance for environmental stress, the scale at which *E. carinicauda* is cultured has expanded in recent years. The reproductive performance of broodstock is crucial to the yield and quality of larvae, as the egg production of *E. carinicauda* is much lower than that of other economically important shrimps. Meanwhile, *E. carinicauda* seedling production mainly relies on wild shrimp or breeding parents, resulting in low fertility and poor seed quality, such that the cultivation of *E. carinicauda* is often hindered by a slow growth rate and poor disease resistance, seriously limiting the development of the *E. carinicauda* farming industry. Optimizing growth and reproductive traits is vital for the animal aquaculture industry, as these traits are crucial for developing high-quality seedlings and are directly related to yield. Cultivating new varieties with high fertility and fast growth rates can effectively improve the aquaculture of *E. carinicauda*. In this study, we estimated the genetic parameters of growth and reproduction traits in *E. carinicauda*. We constructed 40 full-sibling lines of *E. carinicauda* and 25 half-sibling lines by pairing one male with two females. Thirty shrimps were randomly selected from each line at 50 d and 80 d of age, and the body length, total abdominal length, and body weight were measured to calculate the genetic parameters. The number of eggs, body length, body weight, and incubation time of the first spawning were measured to ensure that the culture conditions for each line were consistent. The main baits used during incubation were folded brachyuran rotifers (*Brachinonus plicatilis*) and brine shrimp (*Artemia sinica*). The heritability, phenotypic correlations, and genetic correlations of body weight, body length, total abdominal length traits, time of first spawning, absolute egg count, egg count per unit of body length, and egg count per unit of body weight in *E. carinicauda* were estimated at the ages of 50 and 80 d using a general linear model. The results showed that the heritability estimate values for body length, total abdominal length, and body weight at 50 d were approximately 0.27–0.69, 0.31–0.44, and 0.20–0.65,

① Corresponding author: LI Jitao, Email: lijtao@ysfri.ac.cn

respectively, and those for body length, total abdominal length, and body weight at 80 d were approximately 0.39–0.54, 0.31–0.47, and 0.33–0.71, respectively. The heritability estimate values for the number of eggs, the number of eggs per unit of body length, the number of eggs per unit of body weight, and the time of the first spawning were approximately 0.45–0.52, 0.30–0.49, 0.43–0.48, and 0.33–0.77, respectively. The heritability estimate values for all three growth-related traits and four reproduction traits almost reached the level of medium-high heritability. The heritability estimate values for growth and reproduction traits based on full siblings reached a highly significant level according to t-tests. Therefore, the unbiased estimates of narrow-sense heritability for growth and reproduction traits were those estimated by the full-sibling variance component. The phenotypic and genetic correlations for growth and reproduction traits were approximately 0–0.756 9 and –0.006 5–0.951 4, respectively. The genetic correlation coefficients of body weight with body length and egg count were 0.951 4 and 0.205 8, respectively. The phenotypic correlation coefficients of body weight with body length and egg count were 0.742 0 and 0.212 4, respectively. However, the genetic and phenotypic correlations between body length and egg count were poor. Therefore, we suggest that body length and egg count be set as two different targets in breeding programs. The results indicate that the heritability estimate values for body length, total abdominal length, and body weight at 50 and 80 d and for reproduction traits including egg count, egg count per unit length or weight, and time of first spawning almost reached the level of medium-high heritability. The growth and reproductive traits of *E. carinicauda* can be selected through individual or population-phenotypic selection. The above results provide important basic data to support the breeding of *E. carinicauda* and have considerable application value for future breeding programs.

Key words *Exopalaemon carinicauda*; Growth trait; Reproductive trait; Heritability; Genetic correlation