

## 三角帆蚌早期阶段生长性状遗传参数估计

金 武<sup>1</sup>, 李家乐<sup>1,2\*</sup>, 付龙龙<sup>1</sup>, 白志毅<sup>1</sup>, 刘 越<sup>1</sup>, 赵永超<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学上海市高校水产养殖学 E-研究院, 上海 201306)

**摘要:** 利用巢式设计构建了三角帆蚌 17 个父系半同胞家系, 包括 51 个全同胞家系。幼蚌规格达到 1 cm 时, 在每个全同胞家系随机取 40 个个体, 共 2 040 个个体, 测量它们的壳长、壳高、壳厚、体质量 4 个生长性状, 并对测量数据进行了遗传分析。结果表明, 壳长、壳高、壳厚、体质量这 4 个性状的遗传力分别为:  $0.356 \pm 0.047$ ,  $0.488 \pm 0.060$ ,  $0.453 \pm 0.055$ ,  $0.518 \pm 0.050$ 。这 4 个性状的表型相关和遗传相关的范围为:  $0.476 \sim 0.709$  和  $0.574 \sim 0.868$ 。三角帆蚌早期阶段生长性状有足够的遗传方差, 可以对它们进行遗传改良, 预期能够获得较好的遗传进展。这 4 个性状之间的表型相关和遗传相关均较紧密, 可以通过对体质量进行选择, 同时改良其它性状。

**关键词:** 三角帆蚌; 早期阶段; 生长性状; 遗传参数

**中图分类号:** Q 346; S 917.4

**文献标志码:** A

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)隶属软体动物门, 瓣鳃纲, 真瓣鳃目, 蚌科, 帆蚌属, 是我国的特有种, 它形成的珍珠具有珠质光滑细腻、色泽鲜艳等优点, 是淡水蚌中育珠质量最佳者, 已成为最主要的淡水养殖珍珠蚌<sup>[1]</sup>。三角帆蚌早期阶段包括稚蚌期和幼蚌早期<sup>[2]</sup>。已报道的关于三角帆蚌早期阶段的研究主要集中在三角帆蚌的繁殖<sup>[2-3]</sup>、生长发育<sup>[4-5]</sup>等方面。尚未有采用数量遗传学分析方法对三角帆蚌早期生长性状进行分析以及遗传学参数估计的报道。

遗传参数主要包括遗传力、遗传相关、重复力等。在这 3 个性状中, 尤其是遗传力和遗传相关, 对个体育种值估计、育种规划决策都起着十分重要的作用, 它们的准确与否直接关系到整个育种工作的效率<sup>[6]</sup>。遗传力是指加性方差占表型方差的比值。遗传相关是指不同性状之间由于各种遗传原因造成的相关程度的大小。国内外已报道的水产动物早期阶段生长性状的遗传参数估计主要集中在

哲罗鲑(*Hucho taimen*)<sup>[7]</sup>、刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)<sup>[8]</sup>、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)<sup>[9]</sup>、虾夷马粪海胆(*Strongylocentrotus intermedius*)<sup>[10]</sup>、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)<sup>[11]</sup>、硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)<sup>[12]</sup>等物种。本研究通过巢式设计构建家系, 获得了三角帆蚌早期生长性状的遗传学参数, 通过估算三角帆蚌基础群体的遗传参数, 进一步为三角帆蚌选择育种提供基础依据, 也为其它贝类选择育种提供参考数据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 亲本选择和暂养

实验配组用亲本于 2009 年 11 月从鄱阳湖、洞庭湖、太湖采集。采集后, 饲养在浙江省金华市威旺养殖有限公司的浙江省三角帆蚌良种场。通过抽取微量性腺细胞, 用显微镜观察法对亲本的性别进行鉴定, 并用激光雕刻机(上海神刻科技有限公司)在贝壳外表面进行个体标记。为避免暂养过程

收稿日期: 2011-12-14 修回日期: 2012-04-16

资助项目: 农业公益性行业科研专项(200903028); 上海市科委基础研究重点项目(10JC1406300); 上海市水产养殖工程技术研究中心项目(09DZ2251300)

通讯作者: 李家乐, E-mail: jlli@shou.edu.cn

中母本在养殖池塘中受精,把雌雄亲本分别挂在两个池塘中养殖,养殖密度为 1 尾/m<sup>2</sup>。

### 1.2 实验设计和抽样

2010 年 5 月,按照巢式设计选择健康、喷水有力、性腺发育良好的亲本进行配组,每组 1 个雄蚌配 2~5 个雌蚌。每组亲本放养在 3.2 m<sup>3</sup> 的玻璃钢水槽中,采用无蚌源的微流水饲养,流速约 1 L/s,持续时间为 30 d。在此过程中,每周检查一次是否有成熟的钩介幼虫。一旦发现有成熟的钩介幼虫,便用黄颡鱼进行集苗。集苗后的黄颡鱼暂养在规格为 65 cm × 45 cm × 18 cm 的周转箱中,7 d 左右发育成熟的钩介幼虫从黄颡鱼体上脱落。最终有 17 个雄蚌,51 个雌蚌配组成功,构建了 17 个父系半同胞家系包括 51 个全同胞家系。2010 年 7 月,从每个周转箱随机取 40 个个体,合计 2 040 个个体,对它们进行测量。3 个形态学性状用游标卡尺测量,精确到 0.01 cm。体质量用电子天平测量,精确到 0.01 g。

### 1.3 数据处理与分析

在数据分析之前对原始数据进行预处理,剔除在数据录入过程中出现的错误。用 PROC UNIVARIATE 对 4 个性状进行正态检验,结果表明原始数据并不符合正态分布(Kolmogorov-Smirnov

检验,  $P < 0.01$ )。对原始数据进行 Log 转换后用于遗传方差组分计算。用 PROC GLM 筛选出统计显著 ( $P < 0.01$ ) 的固定效应用于混合模型分析。数据预处理以及初步统计分析在 SAS(V8.2, SAS Institute, Cary, NC, USA) 中完成,方差协方差组分计算由 ASReml 1.0 完成。计算遗传学参数的动物模型为:

$$Y_{ijk} = u + F_i + a_j + e_{ijk}$$

式中,  $Y_{ijk}$  为性状观测值,  $u$  为总体均值,  $F_i$  为固定效应(雄性亲本采样点、雌性亲本采样点、协变量天数以及它们之间的互作),  $a_j$  为第  $j$  个亲本的加性效应,  $e_{ijk}$  为随机误差。计算遗传力的公式为  $h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2} = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2}$ , 遗传相关或表型相关  $r_{P/G(XY)} = \frac{\sigma_{P/G(XY)}}{\sigma_{P/G(X)}\sigma_{P/G(Y)}}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 描述性统计结果

原始数据的描述性统计结果如表 1 所示。4 个性状的变异系数均很大。偏度系数和峰度系数都表明:这 4 个性状的原始数据均不满足正态分布,需要对原始数据进行合适的转换。

表 1 三角帆蚌稚蚌期 4 个性状的描述性统计结果  
Tab. 1 Descriptive statistics of four traits in the larva stage of *H. cumingii*

	样本数 number of samples	平均值 mean	变异系数 coefficient of variation	偏度 skewness	峰度 kurtosis
壳长/cm shell length	2040	1.619	24.093	1.029	0.953
壳高/cm shell height	2040	0.847	26.424	1.000	1.125
壳厚/cm shell width	2040	0.179	33.739	1.212	1.719
体质量/g body weight	2040	0.227	87.819	2.548	7.753

### 2.2 4 个性状的统计分布图

4 个性状的原始数据统计分布如图 1。结果表明,壳厚和体质量性状的分布右偏,需要尝试对原始数据进行适当的转换。在比较多个转换方法后,最终选择对原始数据进行 Log 转换的效果最好(图 2)。

### 2.3 方差组分分析结果

方差组分估计结果如表 2 所示。4 个性状均有加性方差可以用于进行选择育种。遗传力为 0.356~0.518。

### 2.4 表型相关和遗传相关分析

表型相关和遗传相关的分析结果如表 3 所示。

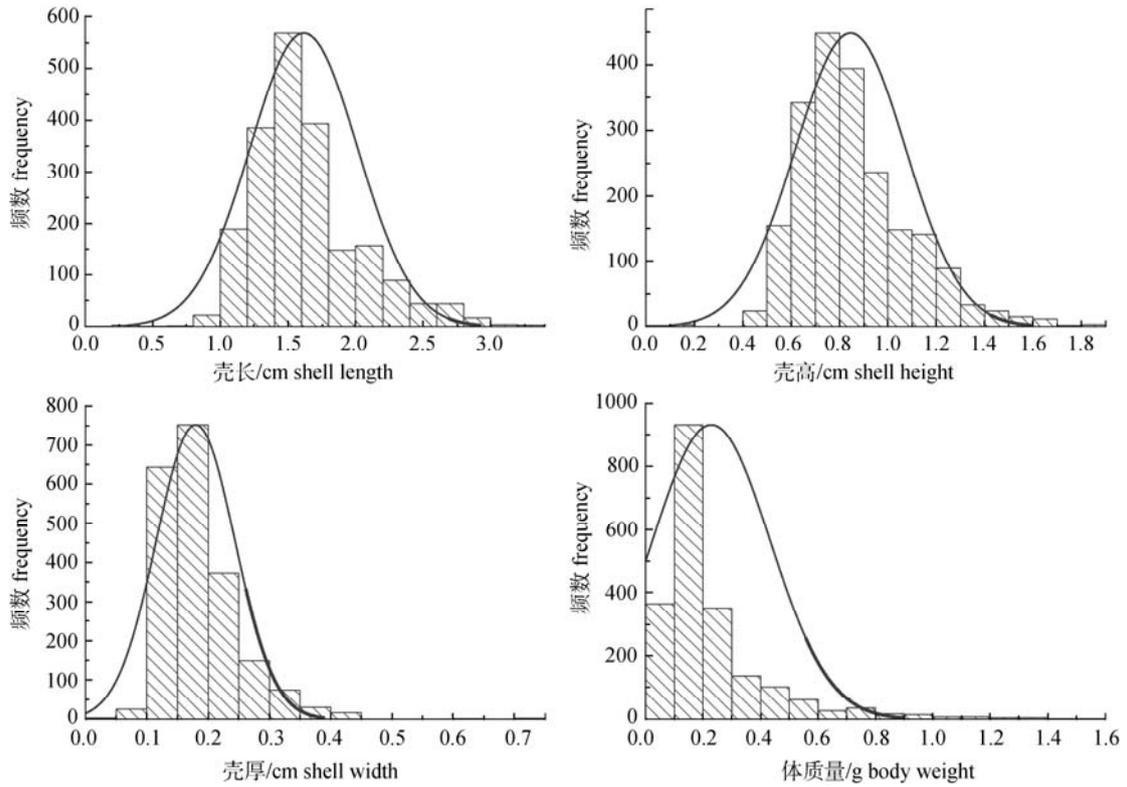


图 1 三角帆蚌稚蚌期 4 个性状的数据分布  
 Fig. 1 Normal distribution of four traits in the larva stage of *H. cumingi*

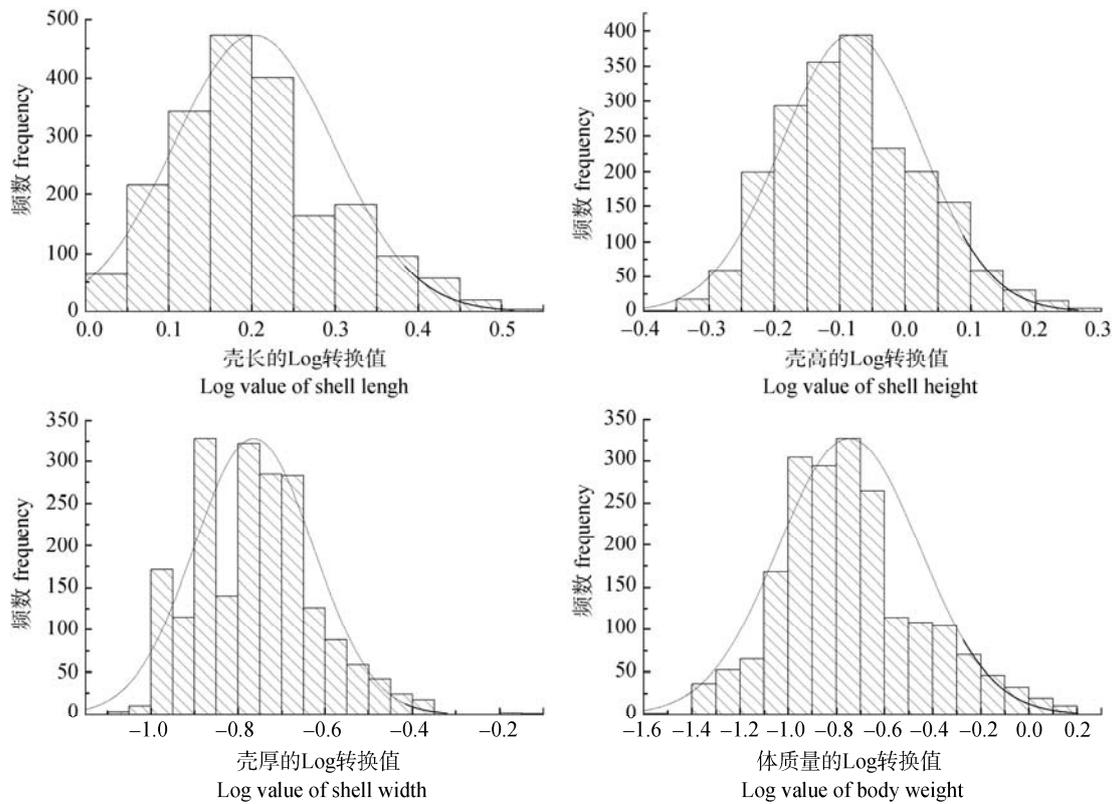


图 2 三角帆蚌稚蚌期 4 个性状数据转换后的分布  
 Fig. 2 Normal distribution of transformed data of four traits in the larva stage of *H. cumingii*

表 2 三角帆蚌稚蚌期 4 个性状的方差组分估计结果  
Tab. 2 Variance components of four traits in the larva stage of *H. cumingii*

	$\sigma_a^2$	$\sigma_e^2$	$\sigma_p^2$	$h^2$
壳长/cm shell length	0.009	0.017	0.027	0.356±0.047
壳高/cm shell height	0.015	0.016	0.032	0.488±0.060
壳厚/cm shell width	0.022	0.026	0.048	0.453±0.055
体质量/g body weight	0.076	0.071	0.147	0.518±0.050

表 3 三角帆蚌稚蚌期 4 个性状的表型相关  
(上三角)和遗传相关(下三角)

Tab. 3 Phenotypic correlation (above the diagonal) and genetic correlation (under the diagonal) of four traits in the larva stage of *H. cumingii*

	壳长/cm shell length	壳高/cm shell height	壳厚/cm shell width	体质量/g body weight
壳长/cm shell length		0.476±	0.539±	0.651±
壳高/cm shell height	0.574±		0.502±	0.592±
壳厚/cm shell width	0.087	0.087		0.709±
体质量/g body weight	0.828±	0.629±	0.868±	

在所有的表型相关中,壳厚与体质量的相关最高,壳长与壳高的相关最低。在所有的遗传相关中,壳厚与体质量的遗传相关最高,壳高与壳厚的遗传相关最低。

### 3 讨论

有关珍珠贝类数量遗传研究起步较早,在上世纪 80 年代,日本专家 Wada 等<sup>[13]</sup>对日本产马氏珠母贝开展了选择育种。为了培育高品质白色珍珠,通过连续 3 代的选育,使产高品质白色珍珠的珍珠贝类由原来的 20% 提高到 80%,且两种珍珠质颜色的供片蚌培育出来的珍珠在重量上没有显著差异<sup>[14]</sup>。我国进入本世纪才开展珍珠贝的数量遗传研究,何毛贤等<sup>[15]</sup>通过回归法计算出壳宽的遗传力为 0.47,研究还表明壳宽与珍珠规格之间存在一定的相关性,因此认为通过对壳宽进行遗传改良,是提高马氏珠母贝所产珍珠质量的一条有效途径。Deng 等<sup>[16]</sup>和邓岳文等<sup>[17]</sup>对马氏珠母贝育种基础群体进行选择,获得了选育系  $F_2$ ,并估计了选择反应和现实遗传力,结果表明选育系  $F_2$  的平均壳长显

著大于对照群体( $P < 0.05$ ),在第 8、14、21 和 35 天,选择反应和现实遗传力变化范围分别为 0.63 ~ 0.89 和 0.36 ~ 0.51。王爱民等<sup>[18-19]</sup>选育出了第一个海水珍珠贝类新品种,目前正在对马氏珠母贝数量遗传学、特别是贝壳珍珠质颜色和珍珠颜色的数量遗传规律进行系统研究。在已报道的三角帆蚌所培育的珍珠直径与壳厚性状之间也存在较高的正相关性<sup>[20]</sup>。但是,由于三角帆蚌测量珍珠直径需要杀死育珠蚌,取出珍珠进行测量,由此可能导致优秀育珠性能的个体的优秀育珠性能基因未能遗传,对后续的选择育种工作不利。因此,在实际选择育种研究中应尝试通过间接选择的方法对育珠性状进行遗传改良<sup>[20]</sup>。在本研究中,主要集中在三角帆蚌早期阶段生长性状的遗传参数的估计。通过对构建的基础群体的研究,确保有足够的加性遗传方差用于后续的选择育种。后续阶段生长性状的遗传参数估计以及育珠生产过程中,育珠蚌生长速度和育珠性能之间的相关性研究需要进一步研究。

通常情况下,将  $h^2 < 0.15$  划分为低遗传力水平,  $0.15 < h^2 < 0.3$  划分为中等遗传力,  $h^2 > 0.3$  划分为高遗传力<sup>[6]</sup>。从表 2 中可以看出,三角帆蚌幼蚌早期阶段 4 个生长指标遗传力在 0.356~0.518 之间,均为高遗传力水平,与在虾夷马粪海胆<sup>[10]</sup>、长牡蛎<sup>[11]</sup>、硬壳蛤<sup>[12]</sup>、智利贻贝<sup>[21-22]</sup>、麦哲伦扁圆扇贝<sup>[23]</sup>早期生长阶段的研究结果一致。遗传力水平越高,说明对三角帆蚌进行选择育种具有较高的潜力,预期能够获得良好的遗传进展。在已报道的贝类<sup>[10-11, 21-23]</sup>的遗传参数计算中均采用了公母畜模型,且最终结果表明,在这些贝类生活史的早期阶段,母性效应均很明显。此外,这些研究中家系数目偏少,样本含量相对较少,这对于遗传力的正确性和准确性有较大影响<sup>[24]</sup>。在本研究中采用动物模型,利用 REML 法计算方差组分,充分利用所有的数据信息,比单纯利用方差分析的方法误差小很多<sup>[25-26]</sup>。此外,由于只有一个世代的数据,在利用动物模型进行方差组分估计时不能对母性效应进行准确剖分,可能将部分母性效应划为加性效应,从而导致遗传力偏高。因此,在后续的研究中,需要不断补充后续世代数据,以提高遗传力的准确度。

表型相关是指同一个体的两个数量性状度量值间的相关,遗传相关是指不同性状之间由于各

种遗传因素造成的相关程度<sup>[6]</sup>。研究遗传相关主要用于以下几个方面: (1)间接选择: 当一个性状不能直接选择, 或者直接选择效果很差时, 借助与之相关的另一个性状的选择来达到选择的目的; (2)不同环境下的选择育种。当同一个性状在两个或多个环境中进行选择时, 可以将同一性状在不同环境下的表现作为不同的性状来分析; (3)制定选择指数。当涉及到两个以上的性状的选择时, 通常采用效率较高的选择指数法对多个性状同时进行选择<sup>[24]</sup>。在长牡蛎幼体的研究中发现壳长和壳高的表型相关和遗传相关均为正相关, 且遗传相关有随着日龄增加而减弱的趋势, 这种趋势可能是由于在长牡蛎在早期生长阶段受到共同环境效应的影响<sup>[27]</sup>。在本研究中发现: 在幼蚌早期阶段, 三角帆蚌 4 个性状之间的表型相关和遗传相关均为显著的正相关, 这与长牡蛎<sup>[11, 27]</sup>的研究结果一致。在所有的分析中, 体质量和壳厚的相关性均最强, 且体质量与其它 3 个形态学性状的相关性也达到显著水平。因此, 考虑到测量的可操作性, 在早期阶段生长性状的遗传改良可以优先对体质量进行选择。对体质量进行选择亦可以同时达到对其它 3 个性状改良的目的。

感谢浙江省金华市威旺养殖有限公司张根芳教授在实验期间提供的帮助。本实验室 2009 级硕士研究生徐波、2010 级硕士研究生董姝君、陈玲以及 2011 级硕士研究生苏婷、常馨之、陈玥、金凯、罗宇鹏、曹新荣、李达、林静云、夏秀琳等在数据测量和个体标记工作中提供了诸多帮助, 在此一并感谢。

#### 参考文献:

- [1] 刘月英. 中国经济动物志: 淡水软体动物[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 71-73.
- [2] 刘士力, 李家乐, 张根芳, 等. 三角帆蚌稚蚌形态发育与生长特性[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 604-609.
- [3] 闻海波, 顾若波, 华丹, 等. 三角帆蚌钩介幼虫体外培养及变态稚贝的形态变化[J]. 武汉大学学报: 理学版, 2011, 57(1): 57-62.
- [4] 王宏, 李家乐, 汪桂玲, 等. 三角帆蚌钩介幼虫寄宿阶段形态变化的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(4): 394-398.
- [5] 闻海波, 邱丽华, 华丹, 等. 不同盐度对三角帆蚌钩介幼虫, 稚贝生理活动和存活的影响[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 233-236.
- [6] 张沅. 家畜育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 37-38.
- [7] 王俊, 匡友谊, 佟广香, 等. 不同温度下哲罗鲑幼鱼生长性状的遗传参数估计[J]. 中国水产科学, 2011, 18(1): 75-82.
- [8] 栾生, 孙慧玲, 孔杰. 刺参耳状幼体体长遗传力的估计[J]. 中国水产科学, 2006, 13(3): 378-383.
- [9] 马爱军, 王新安, 杨志, 等. 大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼生长性状的遗传力及其相关性分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(5): 499-504.
- [10] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 虾夷马粪海胆早期生长发育的遗传力估计[J]. 中国水产科学, 2003, 10(3): 206-211.
- [11] 王庆志, 李琪, 刘士凯, 等. 长牡蛎幼体生长性状的遗传力及其相关性分析[J]. 中国水产科学, 2009(5): 736-743.
- [12] Rawson P D, Hilbish T J. Heritability of juvenile growth for the hard clam *Mercenaria mercenaria*[J]. Marine Biology, 1990, 105(3): 429-436.
- [13] Wada K T. Breeding study of the pearl oyster, *Pinctada fucata*[J]. Bulletin of National Research Institute of Aquaculture, 1984, 6: 79-157.
- [14] Wada K T, Komaru A. Color and weight of pearls produced by grafting the mantle tissue from a selected population for white shell color of the Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii* (Dunker)[J]. Aquaculture, 1996, 142(1-2): 25-32.
- [15] 何毛贤, 史兼华, 林岳光, 等. 马氏珠母贝生长性状的相关分析[J]. 海洋科学, 2006, 30(11): 1-4.
- [16] Deng Y W, Du X D, Wang Q H, et al. Correlation and path analysis for growth traits in F1 population of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Marine Science Bulletin, 2008, 10(2): 68-73.
- [17] 邓岳文, 符韶, 杜晓东, 等. 马氏珠母贝选系 F2 早期选择反应和现实遗传力估计[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(4): 26-29.
- [18] 王爱民, 石耀华. 中国马氏珠母贝选育的现状与展望[J]. 农业生物技术学报, 2003, 11(6): 547-553.
- [19] 王爱民, 石耀华, 顾志峰, 等. 珍珠贝育种计划(Pearl oyster breeding scheme, POBs)简介[C]. 海口: 全国海水养殖学术研讨会, 2007.
- [20] 白志毅, 李家乐, 汪桂玲. 三角帆蚌产珠性能与生长性状和插片部位的关系[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 493-499.
- [21] Toro J E, Alcapán A C, Vergara A M, et al. Heritability estimates of larval and spat shell height in the Chilean blue mussel (*Mytilus chilensis* Hupe 1854) produced under controlled laboratory conditions[J]. Aquaculture Research, 2004, 35(1): 56-61.
- [22] Toro J E, Paredes L I. Heritability estimates of larval shell length in the Chilean blue mussel *Mytilus chilensis*, under different food densities[J]. Aquatic living resources, 1996, 9(4): 347-350.

- [23] Jones R, Bates J A, Innes D J, *et al.* Quantitative genetic analysis of growth in larval scallops (*Placopecten magellanicus*) [J]. *Marine Biology*, 1996, 124(4): 671–677.
- [24] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [25] Hilbish T J, Winn E P, Rawson P D. Genetic variation and covariation during larval and juvenile growth in *Mercenaria mercenaria*[J]. *Marine Biology*, 1993, 115(1): 97–104.
- [26] Kashiani P, Saleh G. Estimation of genetic correlations on sweet corn inbred lines using SAS mixed model[J]. *Source*, 2010, 5(3): 309–314.
- [27] Ernande B, Clobert J, McCombie H, *et al.* Genetic polymorphism and trade-offs in the early life history strategy of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795): a quantitative genetic study[J]. *Journal of evolutionary biology*, 2003, 16(3): 399–414.

## Genetic parameter estimates for growth traits in the earlier larva stage of *Hyriopsis cumingii*

JIN Wu<sup>1</sup>, LI Jia-le<sup>1,2\*</sup>, FU Long-long<sup>1</sup>, BAI Zhi-yi<sup>1</sup>, LIU Yue<sup>1</sup>, ZHAO Yong-chao<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries Genetic Resources Certificated by Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** 17 half-sib families and 51 full-sib families of *Hyriopsis cumingii* were constructed by nested design. 40 individuals were randomly selected from each of these full-sib families when the individuals in the cages reached 1 cm, and the number was 2 040 in all. Shell length, shell height, shell width and body weight were measured of these individuals, and these data were used for genetic analysis. The heritability of these four traits was  $0.356\pm 0.047$ ,  $0.488\pm 0.060$ ,  $0.453\pm 0.055$  and  $0.518\pm 0.050$  respectively. The phenotype correlation and genetic correlation was between 0.476 – 0.709 and 0.574 – 0.868. There was enough genetic variance for selective breeding and when we have selective breeding program on weight, the other three traits would have some genetic improvement at the same time.

**Key words:** *Hyriopsis cumingii*; earlier larva stage; growth related trait; genetic parameter

**Corresponding author:** LI Jia-le. E-mail: jlli@shou.edu.cn