

## 棕带仙女蛤数量性状的相关与通径分析

魏海军<sup>1,2,3</sup>, 邓正华<sup>1,2</sup>, 陈明强<sup>1,2</sup>, 王继金<sup>4</sup>, 李有宁<sup>1,2</sup>, 王雨<sup>1,2</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东广州 510300;

2. 三亚热带水产研究院, 海南三亚 572018; 3. 海南大学海洋学院, 海南海口 570228;

4. 北海金不换水产有限公司, 广西北海 536007)

**摘要:** 为确定棕带仙女蛤 (*Callista erycina*) 壳形态性状与体质量之间的关系, 以从广西北海采集的 477 只野生棕带仙女蛤为研究对象, 分别测定其壳长、壳高、壳宽、前缘长、后缘长、生长线数和体质量, 对其表型性状进行相关性、多元逐步回归和通径分析。结果显示, 棕带仙女蛤各表型性状间均呈极显著相关 ( $P < 0.01$ ), 其中壳长和前缘长的相关系数最高 (0.886), 后缘长和生长线数的相关系数最低 (0.180); 对于棕带仙女蛤的体质量, 壳宽与壳长的相关系数最高 (0.865), 后缘长与壳高的相关系数最低 (0.474); 建立了棕带仙女蛤形态性状对体质量的回归方程, 其中  $R^2 = 0.812$ 。对棕带仙女蛤体质量直接影响最大的是壳宽, 通径系数为 0.665, 其次是壳长和壳高, 通径系数分别为 0.154 和 0.117; 对棕带仙女蛤体质量间接作用最大的是前缘长 (0.586), 其次是壳高 (0.580) 和壳长 (0.504); 对棕带仙女蛤体质量决定系数最大的是壳宽 (0.442), 其次是壳长 (0.024)。结果表明以体质量为选育目标选育棕带仙女蛤时, 应主要选择壳宽, 同时加强壳长和壳高的协同选育。

**关键词:** 棕带仙女蛤; 贝类选育; 通径分析; 数量性状; 相关性分析

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



## Correlation and path analysis of quantitative traits of clam (*Callista erycina*)

WEI Haijun<sup>1,2,3</sup>, DENG Zhenghua<sup>1,2</sup>, CHEN Mingqiang<sup>1,2</sup>, WANG Jijin<sup>4</sup>, LI Youning<sup>1,2</sup>, WANG Yu<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Development & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. Sanya Tropical

Fisheries Research Institute, Sanya 572018, China; 3. Ocean College, Hainan University, Haikou 570228, China;

4. Beihai Jinbuhuan Aquatic Products Co., Ltd., Beihai 536007, China)

**Abstract:** In order to study the relationship between morphological traits and body mass, 477 clams (*Callista erycina*) were randomly selected from Beihai, Guangxi Province to measure their shell length, shell height, shell width, anterior length, posterior length, number of growth lines and body mass by correlation analysis, path analysis and multiple stepwise regression analysis. The results show that there was extremely significant correlation among all the phenotypic traits ( $P < 0.01$ ), among which the correlation coefficient between shell length and anterior length was the highest (0.886), and that between posterior length and number of growth lines was the lowest (0.180). The correlation coefficients of body mass with shell width and posterior length were the highest (0.865)

收稿日期: 2019-06-14; 修回日期: 2019-07-29

资助项目: 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助 (2019TS07)

作者简介: 魏海军 (1995—), 硕士研究生, 从事海洋贝类遗传育种及种苗繁育研究。E-mail: whjocean@163.com

通信作者: 王雨 (1967—), 副研究员, 从事海洋贝类养殖研究。E-mail: winterrose@163.com

and the lowest (0.474), respectively. We established a regression equation of morphological traits for body mass ( $R^2=0.812$ ). The shell width influenced the body mass most with a path coefficient of 0.665, followed by shell length (0.154) and shell height (0.117). The anterior length had the greatest indirect effect on the body mass (0.586), followed by shell height (0.580) and shell length (0.504). The shell width was the most important determinant of body mass (0.442), followed by the shell length (0.024). The results suggest that breeding of *C. erycina* with body mass as breeding objective should mainly select shell width, and the synergistic breeding of shell length and shell height should be strengthened at the same time.

**Key words:** *Callista erycina*; shellfish breeding; path analysis; morphological traits; correlation analysis

棕带仙女蛤 (*Callista erycina*), 又称女神长文蛤 (台湾地区), 在我国主要分布于广东、广西、海南、福建及台湾等省沿海一带, 国外主要分布于印度洋<sup>[1-2]</sup> 以及阿拉伯海<sup>[3-4]</sup> 等海区。棕带仙女蛤主要栖息于潮间带至浅海 20 m 以内的沙质海底。关于棕带仙女蛤的分类地位, 程汉良等<sup>[5]</sup> 基于 *COI* 基因序列研究认为棕带仙女蛤与青蛤亚科和楔形蛤亚科种类之间的亲缘关系较近; 与此同时, 赵婷等<sup>[6]</sup> 基于 16S rRNA 序列对棕带仙女蛤等进行的分类学研究结果建议将仙女蛤属从卵蛤亚科中独立为仙女蛤亚科。不论其分类地位如何, 都不影响棕带仙女蛤走上餐桌, 因为棕带仙女蛤是一种安全无毒且营养丰富的贝类。刘仁沿等<sup>[7]</sup> 研究发现棕带仙女蛤腹泻性贝毒含量较低, 与菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 和四角蛤蜊 (*Macra quadrangularis*) 的毒素含量相近; 杨美兰等<sup>[8-9]</sup> 研究发现棕带仙女蛤的麻痹性毒素含量低于  $4 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$  (MU 为鼠单位), 比僧帽牡蛎 (*Saccostrea cucullata*)、翡翠贻贝 (*Perna viridis*)、华贵栉孔扇贝 (*Clamys nobilis*) 等要低, 与合浦珠母贝 (*Pinctada fucata*)、近江牡蛎 (*Crassostrea rivularis*) 和波纹巴非蛤 (*Paphia undulata*) 含量相当, 均在安全值范围内; 劳邦盛等<sup>[10]</sup> 研究发现棕带仙女蛤脂肪酸含量为 1.2%, 由亚麻酸、花生四烯酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸等 40 余种脂肪酸组成, 营养丰富。对于其贝壳, 张刚生和李浩璇<sup>[11]</sup> 研究棕带仙女蛤文石纤维的纳米形貌及光学反射特征发现其文石纤维是由 30~80 nm 的亚颗粒沿纤维轴向排列而成, 呈串珠状结构, 且其纤维横截面呈长六边形; Palma 等<sup>[12]</sup> 用 2 种方法 (高锰酸钾滴定法和原子吸收光谱法) 测定贝壳的钙含量时发现棕带仙女蛤贝壳的钙含量与牡蛎 (*C. echinata*)、翡翠贻贝和海月 (*Placuna placenta*) 均无显著差异。以上研究为棕带仙女蛤的深入研究奠定了一定的基础, 但国内外对棕带仙女蛤生物学及人工养殖方面的研究基本空白, 且近年来由于采捕过度, 棕带仙女蛤的自然资源量急剧减

少, 难以满足人类对其日益增长的需求, 因此亟需开展棕带仙女蛤的相关研究。形态性状和质量性状在贝类育种中是重要的目标性状<sup>[13]</sup>。通过相关性分析和通径分析研究并确定影响体质量的主要形态性状, 对于贝类选育工作的开展具有重要指导意义。目前该方法已在菲律宾蛤仔<sup>[14-15]</sup>、中国蛤蜊 (*M. chinensis*)<sup>[16]</sup>、四角蛤蜊<sup>[17-18]</sup>、薄片镜蛤 (*Dosinia corrugate*)<sup>[19]</sup>、黄边糙鸟蛤 (*Trachyardium flavum*)<sup>[20]</sup>、钝缀锦蛤 (*Tapes conspersus*)<sup>[21]</sup>、文蛤 (*Meretrix meretrix*)<sup>[22]</sup>、青蛤 (*Cyclina sinensis*)<sup>[23]</sup>、日本镜蛤 (*D. japonica*)<sup>[24]</sup>、杂交鲍 (*Haliotis discus hannai* × *H. gigantea*)<sup>[25]</sup>、毛蚶 (*Scapharca kagoshimensis*)<sup>[26]</sup>、牡蛎<sup>[27-29]</sup>、虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*)<sup>[30-31]</sup>、栉孔扇贝 (*C. farreri*)<sup>[32-33]</sup>、华贵栉孔扇贝<sup>[34-35]</sup>、合浦珠母贝<sup>[36-37]</sup> 等海水贝类的选择育种中应用, 并起到了重要的指导作用。然而, 对棕带仙女蛤形态性状和质量性状间相关关系的研究, 国内外皆尚未见报道。本研究以北部湾野生棕带仙女蛤为研究对象, 通过对其易获得的数量性状 (壳长、壳高、壳宽、前缘长、后缘长、生长线数和体质量) 进行相关性分析和通径分析, 查明棕带仙女蛤 7 个数量性状间的相关性及影响棕带仙女蛤体质量的形态性状组成, 以期对棕带仙女蛤的选育提供指导和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验对象

2018 年 12 月, 野生棕带仙女蛤采集于广西北海市沙塘海域, 暂养于中国水产科学研究院南海水产研究所科技成果转化基地 (广西北海金不换水产有限公司贝类育苗场) 的水泥池中备用。

### 1.2 测量方法

野生棕带仙女蛤采自同一批次, 随机选取贝龄为 1~2 年的收获期活体成贝 477 只, 用海水清洗干净后, 使用毛巾擦干个体壳表面的水分进行测量。用数显卡尺 (精度为 0.01 mm) 测量其壳长、壳高、壳宽、前缘长和后缘长 (测量方法见图 1), 其

中沿图1中后缘长(PL)线两相近凹槽间的凸起为一生长线纹,沿PL线的凸起总数为生长线数。用电子天平(精度为0.01 g)称量其体质量。

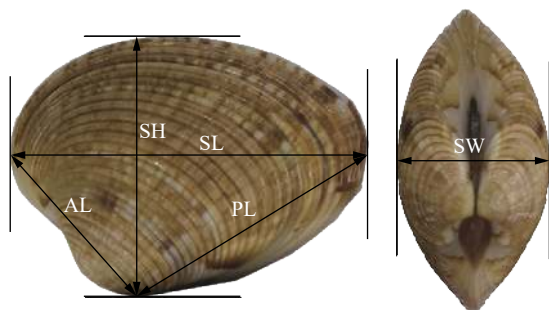


图1 棕带仙女蛤5个形态性状的测量方法

SL. 壳长; SH. 壳高; SW. 壳宽; AL. 前缘长; PL. 后缘长

Figure 1 Method for measuring five morphological traits of *C. erycina*

SL. shell length; SH. shell height; SW. shell width; AL. anterior length; PL. posterior length

### 1.3 数据分析

使用 Excel 2003 软件对数据进行整理和简单计算,得到数据的平均值、标准差和变异系数。使用 SPSS 18.0 软件进行数据分析,对棕带仙女蛤体质量性状进行 K-S 正态检验,并对其各数量性状进行相关分析、通径分析。采用逐步回归分析建立以形态性状为自变量,以体质量为因变量的多元回归方程。

## 2 结果

### 2.1 棕带仙女蛤数量性状的描述统计

对棕带仙女蛤体质量的正态性检验结果显示  $P=0.150$ ,表明数据符合正态分布 ( $P>0.05$ )。形态

性状的变异系数较小(5.47%~8.61%),体质量的变异系数较形态性状更大(16.86%),表明体质量对比形态性状有较大选育潜力(表1)。

表1 棕带仙女蛤各性状的描述统计量

Table 1 Statistics of various traits of *C. erycina*  $n=477$

性状 trait	平均值±标准差 $\bar{X} \pm SD$	变异系数/% coefficient of variation	全距 range
壳长/mm shell length	47.60±2.60	5.47	22.62
壳高/mm shell height	34.25±1.90	5.57	27.45
壳宽/mm shell width	21.23±1.27	5.97	8.37
前缘长/mm anterior length	39.37±2.22	5.62	16.41
后缘长/mm posterior length	25.16±1.81	7.18	11.43
体质量/g body mass	23.34±3.94	16.86	27.77
生长线数 number of growth lines	29.05±2.50	8.61	14.00

### 2.2 棕带仙女蛤数量性状间的相关性分析

棕带仙女蛤所有的数量性状之间均表现为极显著正相关 ( $P<0.01$ ),其中壳长和前缘长的相关系数最高(0.886),后缘长和生长线数的相关系数最低(0.180,表2)。从相关强度分析<sup>[38]</sup>,壳长-前缘长、壳高-前缘长及壳宽-体质量为高度相关 ( $R>0.7$ ),生长线数和其他所有性状间皆为弱度相关 ( $R<0.4$ ),其余全为中度相关 ( $0.4<R<0.7$ )。单一性状与体质量间的相关系数为该性状对体质量的总影响,其中除了直接影响外还包含通过其他性状的间接影响。因此仅通过相关系数不能确定变量的重要性,需要

表2 棕带仙女蛤各性状之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among various traits of *C. erycina*

性状 trait	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	前缘长 anterior length	后缘长 posterior length	体质量 body mass	生长线数 number of growth lines
壳长	1	0.669**	0.539**	0.886**	0.518**	0.658**	0.344**
壳高		1	0.631**	0.736**	0.459**	0.697**	0.294**
壳宽			1	0.578**	0.458**	0.865**	0.275**
前缘长				1	0.546**	0.683**	0.381**
后缘长					1	0.474**	0.180**
体质量						1	0.258**
生长线数							1

注: \*\*. 相关性极显著 ( $P<0.01$ )

Note: \*\*. very significant correlation ( $P<0.01$ )

对其相关关系作进一步分析。

### 2.3 自变量的筛选和回归模型的建立

在进行形态性状对体质量的线性回归分析时, 对作为自变量的各形态性状进行了共线性检验, 结果表明, 6 个形态性状间不存在显著的共线性 (VIF < 10, 表 3)。偏回归系数显著性检验结果 (表 4) 显示, 形态性状后缘长对体质量的线性关系不显著 ( $P=0.611$ ), 构建方程时应剔除。剔除后缘长后, 壳长 (SL)、壳高 (SH)、壳宽 (SW)、前缘长 (AL)、生长线数 (GL) 对体质量 (BM) 的预测模型为:

$$L_{BM} = -44.420 + 2.064L_{SW} + 0.233L_{SL} + 0.242L_{SH} + 0.173L_{AL} - 0.078L_{GL}, R^2 = 0.812$$

棕带仙女蛤形态性状对体质量的回归达到了极显著水平 ( $P < 0.01$ , 表 5)。其中  $F=406.238$ ,  $P < 0.01$ , 说明该模型是有意义的。

### 2.4 棕带仙女蛤形态性状对体质量的通径分析

通过逐步回归, 计算棕带仙女蛤形态性状对其体质量的直接作用 (通径系数) 和间接作用, 对棕带仙女蛤体质量直接作用最大的是壳宽 (0.665), 最小的是生长线数 (-0.049); 间接作用总和最大的是前缘长 (0.586), 最小的是壳宽 (0.200); 壳高通过壳宽的间接作用最大 (0.419), 前缘长通过生长

表3 棕带仙女蛤形态性状间的共线性分析

Table 3 Collinearity diagnosis among independent variables of *C. erycina*

性状 trait	容忍度 tolerance	方差膨胀因子 variance inflation factor (VIF)
壳长 shell length	0.245	4.084
壳高 shell height	0.393	2.542
壳宽 shell width	0.550	1.820
前缘长 anterior length	0.194	5.147
后缘长 posterior length	0.664	1.506
生长线数 number of growth lines	0.847	1.181

线数的间接作用最小为 (-0.018, 表 6)。

### 2.5 决定程度分析

棕带仙女蛤形态性状对体质量的决定系数见表 7, 其中对角线右上方为棕带仙女蛤两两性状对其体质量的共同决定系数, 对角线上为棕带仙女蛤各形态性状单独对其体质量的决定系数。壳宽单独对体质量的决定系数最大 (0.442), 其次是壳长 (0.024) 和壳高 (0.014), 生长线数单独对体质量的决定系数最小 (0.002); 两两性状对体质量的共同决定系数最大的为壳长-壳宽 (0.110), 最小的为壳

表4 棕带仙女蛤形态性状对体质量的偏回归系数显著性检验

Table 4 Significance test of partial regressions coefficient of morphological traits on body mass of *C. erycina*

参数 parameter	偏回归系数 partial regression coefficient	标准误差 standard error	<i>t</i>	<i>P</i>
常量 constant	-44.293	1.681	-26.356	$1.165 \times 10^{-94}$
壳长 shell length	0.236	0.061	3.864	$1.274 \times 10^{-4}$
壳高 shell height	0.243	0.066	3.687	$2.537 \times 10^{-4}$
壳宽 shell width	2.072	0.084	24.726	$4.461 \times 10^{-87}$
前缘长 anterior length	0.179	0.081	2.223	$2.667 \times 10^{-2}$
后缘长 posterior length	-0.027	0.054	-0.508	$6.115 \times 10^{-1}$
生长线数 number of growth lines	-0.079	0.034	-2.299	$2.194 \times 10^{-2}$

表5 形态性状对体质量回归的方差分析

Table 5 Variance analysis of morphological traits for body mass regression

方差来源 source of variance	平方和 SS	自由度 <i>df</i>	均方 <i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
回归 regression	5 991.447	5	1 198.289	406.238	$3.123 \times 10^{-168}$
残差 residual	1 389.319	471	2.950		
总计 total	7 380.766	476			

表6 棕带仙女蛤形态性状对体质量的通径分析

Table 6 Path analysis of morphological traits on body mass of *C. erycina*

性状 trait	相关系数 relative coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect					生长线数 number of growth lines
			总和 total	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	前缘长 anterior length	
壳长	0.658	0.154	0.504		0.079	0.358	0.084	-0.017
壳高	0.697	0.117	0.580	0.103		0.419	0.072	-0.014
壳宽	0.865	0.665	0.200	0.083	0.074		0.056	-0.013
前缘长	0.683	0.097	0.586	0.134	0.086	0.384		-0.018
生长线数	0.258	-0.049	0.307	0.053	0.034	0.183	0.037	

表7 棕带仙女蛤形态性状对体质量的决定系数

Table 7 Determinant coefficient of morphological traits on body mass of *C. erycina*

性状 trait	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width	前缘长 anterior length	生长线数 number of growth lines
壳长	0.024	0.024	0.110	0.026	-0.005
壳高		0.014	0.098	0.017	-0.003
壳宽			0.442	0.074	-0.017
前缘长				0.009	-0.003
生长线数					0.002

宽-生长线数 (-0.017)。可见棕带仙女蛤形态性状对体质量决定程度最高的是壳宽，其次是壳长和壳高。因此在棕带仙女蛤的选育过程中，应以壳宽作为主要指标，同时以壳长和壳高为协同选择。

### 3 讨论

棕带仙女蛤营养丰富，经济价值高，是餐桌上的美食佳肴海鲜产品之一，现主要来源于野生捕捞。长此以往，必定会对其种质资源造成一定的损害，因此应尽早开展棕带仙女蛤的野生种质资源保护工作及人工育苗和养殖试验。本研究发现棕带仙女蛤体质量的变异系数最大 (16.86%)，与福建牡蛎 (*C. angulata*)<sup>[39]</sup>、栉孔扇贝<sup>[33]</sup> 等一致，表明其体质量相对于形态性状有更大的选育潜力。

棕带仙女蛤的数量性状间均存在极显著的相关性 ( $P < 0.01$ )，说明除常规壳性状 (壳长、壳高、壳宽) 外，棕带仙女蛤的前缘长、后缘长和生长线数与其体质量也极显著相关。为了建立棕带仙女蛤壳形态性状对体质量的回归方程，需要进一步对自变量进行筛选。张伟杰等<sup>[24]</sup> 对日本镜蛤的壳尺寸进行共线性分析时，发现其壳高和壳长与自变量间存

在严重的共线性 ( $VIF > 10$ )，其  $VIF$  分别为 19.079 和 14.473，剔除壳长后进行第二次共线性分析表明自变量间共线性程度较小 ( $VIF < 10$ )。陈飞飞等<sup>[40]</sup> 在建立合浦珠母贝三亚养殖群体壳形态性状对其体质量的回归方程时，根据偏回归系数显著性检验的结果，剔除了韧带槽长、顶点-腹缘长和韧带槽宽。Huo 等<sup>[41]</sup> 根据偏回归系数检验结果保留了菲律宾蛤仔的壳长和壳高 ( $P < 0.05$ )，剔除了  $P > 0.05$  的壳宽。巫旗生等<sup>[39]</sup> 根据逐步回归分析的偏回归系数检验结果，剔除了 2 龄群体和 4 龄“金蚶 1 号”福建牡蛎的未达到显著性水平的数量性状壳长。而巫旗生等<sup>[21]</sup> 在建立钝缀锦蛤形态性状对其活体质量回归方程时，发现其壳长、壳高、壳宽对活体质量的偏回归系数均为极显著 ( $P < 0.01$ )，故无须剔除自变量；王祎哲等<sup>[36]</sup> 在研究合浦珠母贝不同壳色选育系  $F_6$  时，发现 5 种壳色合浦珠母贝所选壳形态性状 (壳长、壳高、壳宽和绞合线长) 对体质量的偏回归系数均为极显著 ( $P < 0.01$ )，亦无须剔除便可直接建立回归方程。本研究中壳形态性状的共线性分析结果显示，6 个壳形态性状的方差膨胀因子均小于 10，即共线性不明显，无需剔除；

但棕带仙女蛤的形态性状对体质量的偏回归系数的显著性检验结果表明, 后缘长应剔除 ( $P=0.611$ )。剔除后缘长后, 建立以棕带仙女蛤 5 个形态性状对其体质量的回归方程为  $L_{BM}=-44.420+2.064L_{SW}+0.233L_{SL}+0.242L_{SH}+0.173L_{AL}-0.078L_{GL}$ ,  $R^2=0.812$ 。本实验中棕带仙女蛤形态性状对体质量的相关指数  $R^2=0.812$ , 近似等于决定系数总和, 且接近 1, 说明大多数影响体质量的性状已被分析;  $R^2<0.850$  说明影响棕带仙女蛤体质量的主要自变量除了已被分析的壳形态性状还有其他<sup>[42-43]</sup>。猜测其他可能的自变量有性腺质量、韧带长、壳前至壳缘长、壳后至壳缘长等<sup>[19,24,27]</sup>。

赵旺等<sup>[44]</sup>研究 7 月龄方斑东风螺 (*Babylonia areolata*) 发现, 壳宽对其体质量的影响最大 (0.373), 其次为体螺层高和壳口高; 王祎哲等<sup>[36]</sup>研究发现壳长对传统壳色和白壳色合浦珠母贝体质量的直接影响最大, 壳高对金壳色和红壳色合浦珠母贝体质量的直接影响最大, 壳宽对黑壳色合浦珠母贝体质量的直接影响最大; 韩自强和李琪<sup>[45]</sup>研究发现壳高对长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 活体总质量的直接影响最大 (0.477), 其次为壳宽; Zhang 等<sup>[46]</sup>研究发现壳宽对文蛤的体质量直接影响最大, 壳高对青蛤的体质量直接影响最大; 杜美荣等<sup>[33]</sup>研究发现壳长对 1 龄栉孔扇贝湿质量的直接影响最大, 壳高对 2 龄栉孔扇贝湿质量的直接影响最大; 薛宝宝等<sup>[47]</sup>研究发现对 4、9、11 月龄缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 新品种“申浙 1 号”活体质量影响最大的分别是壳长、壳宽、壳高。巫旗生等<sup>[21]</sup>研究发现壳宽对钝缀锦蛤活体质量的直接影响最大。本研究通过对棕带仙女蛤体质量直接影响最大的为壳宽 (0.665), 对其体质量决定系数最大的也为壳宽 (0.442), 说明壳宽是影响棕带仙女蛤体质量的主要因素。该结果与以上结果有些许异同, 可能是不同贝类的遗传背景、生活习性、生存背景、形态特征均不同, 且每种贝类在不同生长阶段, 影响其质量性状的形态性状也会有所差异。

本研究通过对棕带仙女蛤的形态性状和体质量进行通径分析和相关分析, 结果表明棕带仙女蛤的壳宽是影响其体质量的主要形态性状; 通过多元回归分析建立了棕带仙女蛤形态性状对其体质量的最优回归方程, 其中  $R^2=0.812$ 。本研究结果可为棕带仙女蛤的选择育种提供参考依据。

#### 参考文献:

- [1] GINTING E D, SUSETYA I E, PATANA P, et al. Identification of bivalvia in Tanjungbalai Waters, North Sumatera Province[J]. Acta Aquatica: Aquat Sci J, 2017, 4(1): 13-20.
- [2] PAWAR P R. Molluscan diversity in mangrove ecosystem of Uran (Raigad), Navi Mumbai, Maharashtra, west coast of India[J]. Bull Environ Pharm Life Sci, 2012, 1(6): 55-59.
- [3] ALRASHDI K M, MCLEAN E. Contribution of small-scale fisheries to the livelihoods of Omani women: a case study of the Al Wusta governorate[J]. Asian Fish Sci Spec Issue, 2014, 27S: 135-149.
- [4] JAHANGIR S, SIDDIQUI G, MOAZZAM M, et al. Clams of the families Tellinidae and Veneridae and blood cockle of family Arcidae from phitti Creek and Sonmiani along the coast of the Pakistan (northern Arabian sea)[J]. Pak J Zool, 2012, 44(1): 259-266.
- [5] 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等. 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究 [J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2744-2753.
- [6] 赵婷, 吴琪, 潘宝平. 我国重要帘蛤科 (Veneridae) 贝类的 16S rRNA 序列系统学分析 [J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(6): 1500-1505.
- [7] 刘仁沿, 梁玉波, 张芳, 等. 中国沿海贝类腹泻性贝毒的酶联免疫分析方法 [J]. 大连海事大学学报, 2008, 34(2): 33-36.
- [8] 杨美兰, 林燕棠, 全桂英. 深圳海域麻痹性贝类毒素含量特征 [J]. 湛江海洋大学学报, 2000, 20(4): 13.
- [9] 杨美兰, 林燕棠, 贾晓平, 等. 珠江口及邻近海域贝类麻痹性毒素调查 [J]. 中国水产科学, 2002, 9(3): 283-285.
- [10] 劳邦盛, 盛国英, 傅家谟, 等. 5 种贝类脂肪含量及脂肪酸组成研究 [J]. 色谱, 2001, 19(2): 137-140.
- [11] 张刚生, 李浩璇. 双壳纲韧带文石纤维的纳米形貌及光学反射特征 [J]. 矿物岩石, 2008, 28(3): 9-13.
- [12] PALMA C E, MAMON S B, RUBIN K D, et al. A comparative study in the calcium content of the shells of oyster (*Crassostrea echinata*), green shell (*Perna viridis*), capiz shell (*Placuna placeta*), and nylon shell (*Callista erycina*) from Panay Island, Philippines[J]. IJAPBR, 2017, 2(4): 21-27.
- [13] KVINDEDAL R, EVANS B S, LIND C E, et al. Population and family growth response to different rearing location, heritability estimates and genotype  $\times$  environment interaction in the silver-lip pearl oyster (*Pinctada maxima*)[J]. Aquaculture, 2010, 304(1/2/3/4): 1-6.
- [14] HUO Z M, YAN X W, ZHAO L Q, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(5): 251-256.
- [15] 刘辉, 张兴志, 鹿瑶, 等. 菲律宾蛤仔橙色品系壳形态性状对质量性状的通径及多元回归分析 [J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(5): 514-518.
- [16] 郭文学, 闫喜武, 肖露阳, 等. 中国蛤蜊壳形态性状对体质量性状的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 49-54.

- [17] 闫喜武, 王琰, 郭文学, 等. 四角蛤蜊形态性状对重量性状的影响效果分析[J]. 水产学报, 2011, 35(10): 1513-1518.
- [18] 郭文学, 闫喜武, 马贵范, 等. 两种四角蛤蜊 (*Mactra veneriformis*) 壳内色品系选育初探[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(2): 262-267.
- [19] 王成东, 聂鸿涛, 鹿瑶, 等. 薄片镜蛤野生群体主要经济性状间的相关性及通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(4): 380-385.
- [20] 郭华阳, 陈明强, 王雨, 等. 黄边糙鸟蛤野生群体主要经济性状间的相关性及通径分析[J]. 南方水产科学, 2013, 9(2): 1-8.
- [21] 巫旗生, 曾志南, 宁岳, 等. 钝缀锦蛤形态性状对活体质量的影响[J]. 水产科学, 2018, 37(1): 110-114.
- [22] WANG H X, CHAI X L, LIU B Z. Estimation of genetic parameters for growth traits in cultured clam *Meretrix meretrix* (Bivalvia: Veneridae) using the Bayesian method based on Gibbs sampling[J]. Aquacult Res, 2011, 42(2): 240-247.
- [23] 高玮玮, 袁媛, 潘宝平, 等. 青蛤 (*Cyclina sinensis*) 贝壳形态性状对软体部重的影响分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 166-169.
- [24] 张伟杰, 常亚青, 丁君, 等. 日本镜蛤 (*Dosinia japonica* Reeve) 壳尺寸与重量性状的相关与回归分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(3): 796-800.
- [25] LUO X, KE C H, YOU W W, et al. Estimates of correlations for shell morphological traits on body weight of inter specific hybrid abalone (*Haliotis discus hannai* and *Haliotis gigantea*)[J]. J Shellfish Res, 2013, 32(1): 115-118.
- [26] 李莉, 郑永允, 徐科凤, 等. 不同贝龄毛蚶壳形态性状对体质量的影响[J]. 海洋科学, 2015, 39(6): 54-58.
- [27] 肖述, 符政君, 喻子牛. 香港巨牡蛎雌雄群体的数量性状通径分析[J]. 南方水产科学, 2011, 7(4): 1-9.
- [28] TORO J E, NEWKIK G F. Divergent selection for growth rate in the European oyster *Ostrea edulis*: response to selection and estimation of genetic parameters[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1990, 62(3): 219-227.
- [29] TORO J E, AGUILA P, VERGARA A M. Spatial variation in response to selection for live weight and shell length form data on individually tagged Chilean native oysters (*Ostrea chilensis* Philippi, 1845)[J]. Aquaculture, 1996, 146(1/2): 27-36.
- [30] 张存善, 常亚青, 曹学彬, 等. 虾夷扇贝体形性状对软体重和闭壳肌重的影响效果分析[J]. 水产学报, 2009, 33(1): 87-94.
- [31] 赵鹏, 丁君, 常亚青. 两种壳色虾夷扇贝壳体尺性状对活体重影响效果的分析[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(1): 1-5.
- [32] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 673-678.
- [33] 杜美荣, 方建光, 高亚平, 等. 不同贝龄栉孔扇贝数量性状的相关性和通径分析[J]. 水产学报, 2017, 41(4): 580-587.
- [34] 刘文广, 林坚士, 何毛贤. 不同贝龄华贵栉孔扇贝数量性状的通径分析[J]. 南方水产科学, 2012, 8(1): 43-48.
- [35] 鄢朝, 顾志峰, 章华忠, 等. 华贵栉孔扇贝数量性状的相关性及通径分析[J]. 南方水产科学, 2012, 8(3): 34-38.
- [36] 王祎哲, 邓正华, 王雨, 等. 合浦珠母贝不同壳色选育系 F<sub>6</sub> 数量性状的相关性和通径分析[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 988-997.
- [37] 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]. Mar Sci Bull, 2008, 10(2): 68-73.
- [38] 袁卫, 庞皓, 曾五一. 统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 142-184.
- [39] 巫旗生, 宁岳, 曾志南, 等. 不同贝龄“金蚶1号”福建牡蛎数量性状的相关性和通径分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2018, 57(1): 72-78.
- [40] 陈飞飞, 黄桂菊, 陈明强, 等. 合浦珠母贝三亚养殖群体生长性状的相关与通径分析[J]. 广东农业科学, 2012, 39(9): 122-125.
- [41] HUO Z M, WU Y A, GAO Z Y, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of the orange strains of the Manila clam[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(2): 75-78.
- [42] 张琪, 丛鹏, 彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现[J]. 农业网络信息, 2007(3): 109-110, 91.
- [43] 李松岗. 实用生物统计[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002: 1-256.
- [44] 赵旺, 于刚, 王江勇, 等. 7月龄方斑东风螺形态性状对体质量的通径分析[J]. 海洋科学, 2017, 41(11): 82-88.
- [45] 韩自强, 李琪. 长牡蛎壳橙品系形态性状与体质量的相关及通径分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(12): 46-52.
- [46] ZHANG A G, WANG L L, YANG X L, et al. Relationship between shell morphological traits and body weight in two estuarine clams, *Meretrix meretrix* and *Cyclina sinensis* in Shuangtaizi estuary, Bohai sea in China[J]. J Shellfish Res, 2018, 37(5): 989-996.
- [47] 薛宝宝, 李浩, 牛东红, 等. 不同月龄缢蛏新品种数量性状的相关与通径分析[J]. 水产学报, 2018, 42(6): 941-949.