

不同规格钝缀锦蛤(*Tapes conspersus*)数量性状的相关性和通径分析

连昌朋, 杨 凌, 王超奇, 刘一鸣, 李胜永, 吴 韬, 潘 英*

广西大学动物科学技术学院, 广西 南宁

收稿日期: 2022年7月28日; 录用日期: 2022年8月8日; 发布日期: 2022年8月19日

摘 要

为了确定钝缀锦蛤(*Tapes conspersus*)不同规格形态性状与质量性状的关系以及钝缀锦蛤室内、海区中培及亲本的选择提供策略, 本研究随机选取了钝缀锦蛤2月龄室内中培规格、5月龄海区中培规格各220个样本, 15月龄海区养成规格158个样本, 对壳长(SL)、壳宽(SW)、壳高(SH)以及体质量(W)进行了相关测量, 并运用相关分析、通径分析和多元回归分析等方法研究影响体质量的因素。相关性的分析结果显示, 钝缀锦蛤不同规格数量性状之间的相关性都是极显著水平($P < 0.01$)。通径分析结果表明, 稚贝室内中培阶段, 每项形态性状对体质量的影响程度不同, 依次为壳长 > 壳高 > 壳宽, 对体质量影响最大的是壳长(0.481), 最小的是壳宽(0.189); 稚贝海区中培阶段, 每项形态性状对体质量的影响程度不同, 依次为壳长 > 壳宽 > 壳高, 对体质量影响最大的是壳长(0.643), 最小的是壳高(0.070); 海区养成阶段, 每项形态性状对体质量的影响程度不同, 依次为壳高 > 壳宽 > 壳长, 对体质量影响最大的是壳高(0.448), 最小的是壳长(0.225), 通径分析结果的变化和决定系数结果一致。通过多元回归的方法, 构建了钝缀锦蛤室内中培规格贝、海区中培规格贝、海区养成规格贝形态性状对体质量的回归方程, 室内中培规格贝: $W_2 = -0.216 + 0.018SL + 0.02SW + 0.015SH$, $R^2 = 0.858$; 海区中培规格贝: $W_5 = -0.745 + 0.057SL + 0.063SW$, $R^2 = 0.926$; 海区养成规格贝: $W_{15} = -170.436 + 0.914SL + 2.099SW + 2.245SH$, $R^2 = 0.922$ 。本研究结果为钝缀锦蛤人工选育、种贝的选择提供一定的理论依据。

关键词

钝缀锦蛤, 规格, 形态性状, 质量性状, 相关分析, 通径分析, 多元回归分析

Correlation and Path Analysis of Qualitative Traits of Different Sizes of *Tapes conspersus*

Changpeng Lian, Ling Yang, Chaoqi Wang, Yiming Liu, Shengyong Li, Tao Wu, Ying Pan*

College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning Guangxi

Received: Jul. 28th, 2022; accepted: Aug. 8th, 2022; published: Aug. 19th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 连昌朋, 杨凌, 王超奇, 刘一鸣, 李胜永, 吴韬, 潘英. 不同规格钝缀锦蛤(*Tapes conspersus*)数量性状的相关性和通径分析[J]. 水产研究, 2022, 9(3): 95-104. DOI: 10.12677/ojfr.2022.93011

Abstract

In order to determine the relationship between morphological traits and quality traits of different sizes of *T. conspersus*, and to provide strategies for indoor and sea farming and parent selection of *T. conspersus*, we randomly selected 220 samples of *T. conspersus* from indoor medium farming size of 2-month age and from sea area medium farming size of 5-month age, and 158 samples of *T. conspersus* from sea area farming size of 15-month age. The shell length (SL), shell width (SW), shell height (SH), and body weight (W) were measured. Correlation analysis, path analysis, and multiple regression analysis were used to study the factors affecting body weight. Correlation analysis results show that the correlation between the quantitative traits of different specifications of the *T. conspersus* is extremely significant ($P < 0.01$). The results of path analysis showed that the influence degree of each morphological trait on body weight was different in indoor medium farming, and the order was shell length > shell height > shell width. The biggest influence on body weight was shell length (0.481), and the smallest was shell width (0.189). The results of the analysis showed that the influence degree of each morphological trait on body weight was different in the sea area medium farming, and the order was shell length > shell width > shell height. The biggest influence on body weight was shell length (0.643), and the smallest was shell height (0.070). The results of the analysis showed that the influence degree of each morphological trait on body weight was different in the sea area farming, and the order was shell height > shell width > shell length. The biggest influence on body weight was shell height (0.448), and the smallest was shell length (0.225), the change of path analysis result is consistent with the result of the determination coefficient. Through multiple regression analysis, the regression equation of morphological traits to body weight was established, the indoor medium farming size: $W_2 = -0.216 + 0.018SL + 0.02SH + 0.015SW$, $R^2 = 0.858$, the sea area medium farming size: $W_5 = -0.745 + 0.057SL + 0.063SH$, $R^2 = 0.926$. The sea area farming size: $W_{15} = -170.436 + 0.914SL + 2.099SH + 2.245SY$, $R^2 = 0.922$. The results of this study provide a certain theoretical basis for the artificial breeding and selection of *T. conspersus*.

Keywords

Tapes conspersus, Size, Morphological Trait, Qualitative Trait, Correlation Analysis, Path Analysis, Multivariate Regression Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钝缀锦蛤(*Tapes conspersus*)隶属软体动物门(Mollusca)、瓣鳃纲(Lamellibranchia)、帘蛤目(Veneroida)、帘蛤科(Veneridae)、缀锦蛤属(*Tapes*), 俗称沙包螺, 是一种大型热带、亚热带海洋经济贝类[1], 主要分布在西南太平洋沿海的日本、菲律宾等。中国主要分布在海南、广西、广东、台湾海峡等。钝缀锦蛤主要栖息于潮间带中、低潮区至潮下带及浅海 3~15 cm 的泥沙底质中, 营埋栖生活, 在潮间带下部珊瑚块和碎石泥沙中亦有栖息[2]。近年来, 广东、广西、福建等沿海地区均已开展钝缀锦蛤人工养殖, 养殖规模不断扩大。因其具有生长快、个体大、肉质优和适应性强等优点, 深受消费者喜爱, 目前市场价格逐年攀升, 是一种经济价值较高的贝类。

双壳类形态性状方面,最直观可测量的主要有壳长、壳宽、壳高等。在研究贝类生长、选育等方面,质量性状是重要的研究内容之一,其往往决定了市场的价格,具有重要经济价值,且形态性状方面和质量性状方面存在密切的联系,有比较直观的相关性,可以通过分析形态性状反映其对质量性状的影响程度。目前,贝类形态性状对质量性状的影响研究已在栉孔扇贝(*Chlamys farreri*) [3]、疣荔枝螺(*Thais sclaviger*) [4]、香港牡蛎(*Crassostrea hongkongensis*) [5]、缢蛏(*Sinonovacula constricta*) [6]、青蛤(*Cyclina sinensis*) [7]等经济贝类中开展了相关研究。

国内有关钝缀锦蛤的研究目前主要集中在繁殖周期及胚胎发育[2]、群体选育[8]、生理生化[9]、形态性状[10]等,国外的相关研究主要在养殖方式[11]、盐度适应性[12]等,但对钝缀锦蛤不同养殖规格的通径分析尚未见报道。本研究以室内人工培育的钝缀锦蛤苗种为材料,研究钝缀锦蛤不同养殖阶段的形态性状与质量性状的通径分析及相关性,并通过回归分析的方式构建相应的回归方程,以期找到影响钝缀锦蛤不同养殖阶段体质量的主要因素,为钝缀锦蛤人工选育、种贝的选择提供一定的理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 样品采集

2020年2月在广东湛江市雷州覃斗镇流沙东村苗场通过室内人工育苗的方法获得一批钝缀锦蛤苗种,2020年2月~4月在广西富群海水种苗繁殖有限公司进行贝苗室内中间培育,然后将同批苗种投放于广西北海营盘海区进行海区中间培育和海区养成。2020年4月从广西富群海水种苗繁殖有限公司随机采集2月龄钝缀锦蛤(0.09 ± 0.05 g/粒)生长群体220粒;2020年7月在广西北海营盘海区随机采集5月龄钝缀锦蛤(0.44 ± 0.18 g/粒)生长群体220粒;2021年5月在广西北海营盘海区随机采集15月龄钝缀锦蛤(58.63 ± 19.47 g/只)生长群体158只,低温运回实验室后将贝壳附着物清洗干净,擦干贝壳表面水分。

2.2. 实验方法

样品测量

采用精度为0.02 mm的数显游标卡尺测量3个形态性状(壳长 $SL = d_{AB}$ 、壳宽 $SH = d_{EF}$ 、壳高 $SY = d_{CD}$),具体测量位点如图1所示。用电子天平(精确度为0.01 g)称量体质量(W)。

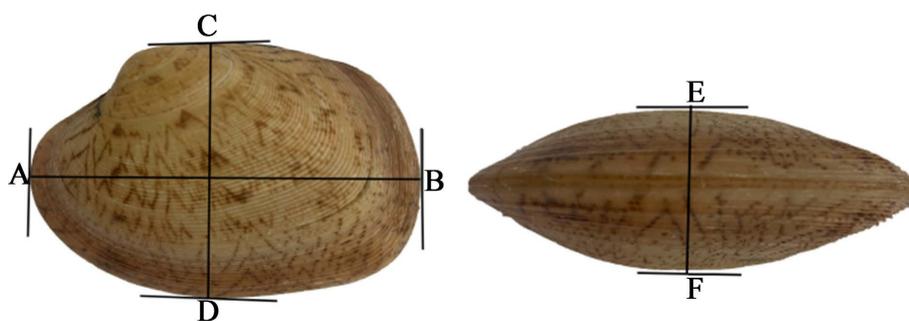


Figure 1. Landmark point of morphological measurement in *T. conpersus* (The distance of AB is shell length, the distance of CD is shell height, the distance of EF is shell width)

图 1. 钝缀锦蛤形态性状测量位点(d_{AB} 为壳长, d_{CD} 为壳高, d_{EF} 为壳宽)

2.3. 数据处理

根据肖述等[13]“数据处理”中的方法,利用SPSS 23.0软件进行分析各性状之间的相关系数、决定系数及建立形态性状与质量性状之间的最优回归方程。

形态性状与质量性状之间的最优回归方程采用模型:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_iX_i \quad (1)$$

式中, 因变量为 Y , 代表质量性状; 自变量为 $X_1 \dots X_i$, 代表各偏回归系数的自变量; b_0 则是常数项; b_i 则对应的是方程的偏回归系数。

直接通径系数的计算如下:

$$P_{Y(Z), X_i} = b_i \sigma_{x_i} / \sigma_Y \quad (2)$$

式中, b_i 因其具有单位属性, 所以要进行比较, 先将 b_i 相对应的分子、分母各除以 Y 与 X_i 的标准差, 就可以得到能比较的数值, 即直接通径系数。

相关系数的计算式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

总决定系数 R 的计算式为:

$$R = r_{ij}^2; \quad (4)$$

相关系数 r_{ij} 代表自变量 i 与 j 之间的系数。

直接决定系数 d_i 的计算式为:

$$d_i = P_{i,y}^2; \quad (5)$$

式中, P 为形态性状(自变量)对质量性状(因变量)的通径系数。

间接决定系数 d_{ij} 的计算式为:

$$d_{ij} = 2r_{ij}P_{i,y}P_j \quad (6)$$

式中, 相关系数 r_{ij} 代表自变量 i 与 j 之间的系数, P 为形态性状(自变量)对质量性状(因变量)的通径系数。

3. 结果与分析

3.1. 性状参数分析

对钝缙锦蛤不同规格表型统计如表 1 所示, 室内中培规格、海区中培规格、海区养成规格质量性状的变异系数明显大于形态性状, 变异系数是选育工作中一个重要的指标, 即变异系数越大, 其选育潜力也就越大。

从表 1 可知, 海区养成的钝缙锦蛤形态性状和质量性状都明显大于室内中培规格、海区中培规格的钝缙锦蛤。室内中培规格变异系数最大的是体质量为 49.22%, 最小的是壳高为 13.11%, 各形态性状变异系数的范围 13.11%~14.64%。海区中培规格变异系数最大的是体质量为 40.91%, 最小的是壳宽为 14.71%, 各形态性状变异系数的范围 14.71%~15.13%。海区养成规格变异系数最大的是体质量为 33.20%, 最小的是壳高为 6.92%, 各形态性状变异系数的范围 6.92%~10.92%。

3.2. 形态性状的表型相关系数

由表 2 可知, 钝缙锦蛤室内中培规格贝的壳长与体质量的相关系数最大, 为 0.921, 其次就是壳高(0.915), 再次是壳宽(0.888)。影响钝缙锦蛤海区中培规格体质量的相关系数中, 从大到小顺序为壳长

(0.957) > 壳宽(0.931) > 壳高(0.879)。影响钝缀锦蛤海区养成规格体质量的相关系数中, 从大到小顺序为壳高(0.931) > 壳长(0.888) > 壳宽(0.885)。钝缀锦蛤不同规格形态性状与质量性状的相关性系数统一表现为极显著水平($P < 0.01$), 可以判断选择的性状进行相关分析具有实际意义。

Table 1. Phenotypic parameter statistics of *T. conpersus* at different sizes

表 1. 不同规格钝缀锦蛤表型性状统计

规格 Size	参数 Parameter	壳长/mm SL	壳宽/mm SW	壳高/mm SH	体质量/g W
室内中培(n = 220)	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	8.36 ± 1.20	2.98 ± 0.44	6.19 ± 0.81	0.09 ± 0.05
	变异系数 CV/%	14.37	14.64	13.11	49.22
海区中培(n = 220)	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	13.45 ± 2.04	5.30 ± 0.78	9.34 ± 1.38	0.44 ± 0.18
	变异系数 CV/%	15.13	14.71	14.82	40.91
海区养成(n = 158)	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	69.34 ± 4.80	29.38 ± 3.21	46.35 ± 3.89	58.63 ± 19.47
	变异系数 CV/%	6.92	10.92	8.39	33.20

注: 变异系数(%) = (标准差/平均值) × 100; SL、SW、SH、W 代表壳长、壳宽、壳高、体质量; 各性状代码在全文相同。

Table 2. Correlation coefficients of quantitative traits for *T. conpersus* at different sizes

表 2. 钝缀锦蛤不同规格数量性状相关系数

规格 Size	性状 Trait	体质量/g W	壳长/mm SL	壳宽/mm SW	壳高/mm SH
室内中培规格	W	1	0.921**	0.888**	0.915**
	SL	0.921**	1	0.927**	0.970**
	SW	0.888**	0.927**	1	0.929**
	SH	0.915**	0.970**	0.929**	1
海区中培规格	W	1	0.957**	0.931**	0.879**
	SL	0.957**	1	0.935**	0.895**
	SW	0.931**	0.935**	1	0.869**
	SH	0.879**	0.895**	0.869**	1
海区养成规格	W	1	0.888**	0.885**	0.931**
	SL	0.888**	1	0.765**	0.888**
	SW	0.885**	0.765**	1	0.817**
	SH	0.931**	0.888**	0.817**	1

注: **表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

3.3. 钝缀锦蛤形态性状对体质量的影响及通径系数分析

各形态性状对于体质量的影响程度和相关的通径系数统计如表 3, 由表 3 可知, 直接作用加上间接作用等于相关系数。室内中培规格贝的形态性状对体质量的直接作用(P_i)均有一定的影响, 可以看出, 壳长这对于体质量的直接作用是最显著的, 壳高次之(0.273), 壳宽的直接作用最小(0.189)。本研究中, 壳长通过壳高对室内中培规格贝体质量的间接影响最大为 0.467, 其次是壳长通过壳宽影响体质量(0.445), 再次是壳高通过壳长影响体质量(0.265)。海区中培规格贝形态性状对于体质量的直接作用中壳长(0.643) >

壳宽(0.269) > 壳高(0.070)。壳长通过壳宽对海区中培规格贝体质量的间接影响最大为 0.601, 其次是壳长通过壳高影响体质量(0.575), 再次是壳宽通过壳长对体质量的影响为 0.252。海区养成规格贝的直接作用中壳高(0.448) > 壳宽(0.346) > 壳长(0.225)。壳高通过壳长最大程度间接影响海区养成规格贝的体质量(0.398), 其次是壳高通过壳宽影响体质量(0.366), 再次是壳宽通过壳高对体质量的影响为 0.283。

Table 3. Path analysis of quantitative traits to body weight for *T. conpersus* at different sizes

表 3. 不同规格钝缀锦蛤数量性状对体质量的通径分析

规格 Size	性状 Trait	相关系数 r_{ij} Correlation coefficient	直接作用 P_i Direct effect		间接作用 $r_{ij} P_j$ Indirect effect		
			Σ	壳长/mm SL	壳宽/mm SW	壳高/mm SH	
室内中培	SL	0.921	0.481	0.440	—	0.175	0.265
	SW	0.888	0.189	0.699	0.445	—	0.254
	SH	0.915	0.273	0.642	0.467	0.175	—
海区中培	SL	0.957	0.643	0.314	—	0.252	0.062
	SW	0.931	0.269	0.662	0.601	—	0.061
	SH	0.879	0.070	0.809	0.575	0.234	—
海区养成	SL	0.888	0.225	0.663	—	0.265	0.398
	SW	0.885	0.346	0.539	0.173	—	0.366
	SH	0.931	0.448	0.483	0.200	0.283	—

注: r_{ij} 为性状间的相关系数, P_i 、 P_j 为单性状分别对总体重的通径系数。

3.4. 钝缀锦蛤壳长、壳高和壳宽对体质量的决定程度

根据肖述等[13]“数据处理”中的方法计算相关系数, 由公式(5)、(6)可以计算得到壳长、壳高、壳宽 3 个形态性状对体质量相关的直接决定与间接决定系数。由表 4 可知, 对角线上的决定系数是一个自变量对因变量的决定系数, 对角线以上表示的是两个自变量对因变量的决定系数。由表 4 可知, 对不同规格贝体质量主要起决定作用的外壳形态性状是不一致的。

单参数中, 对钝缀锦蛤室内中培规格贝直接决定系数中, 最大的是壳长为 0.231; 对海区中培规格贝直接决定系数最大的是壳长为 0.413; 海区养成规格贝直接决定系数最大的是壳高 0.201。间接决定系数中, 对体质量影响程度在钝缀锦蛤不同规格贝中也有所不同, 壳高和壳长对钝缀锦蛤室内中培规格贝的间接决定系数最大为 0.255; 壳长与壳宽对于海区中培规格贝的间接决定系数影响最大为 0.324; 间接决定系数中, 壳高和壳宽对海区养成规格贝的系数最大为 0.253。

3.5. 钝缀锦蛤体质量的回归分析

钝缀锦蛤形态性状和体质量偏回归系数和回归常数的显著性检验结果见表 5。室内中培规格贝壳长和壳宽对体质量的偏回归系数显著性($P < 0.01$), 壳高这个自变量不显著($P > 0.05$), 可以剔除。针对室内中培、海区中培规格、海区养成规格的钝缀锦蛤可以建立以形态性状(壳长 SL 、壳宽 SH 、壳高 SY)为自变量, 质量性状(体质量 W)为因变量的回归方程:

$$\text{室内中培规格贝: } W_2 = -0.216 + 0.018SL + 0.02SW + 0.015SH, R^2 = 0.858;$$

$$\text{海区中培规格贝: } W_5 = -0.745 + 0.057SL + 0.063SW, R^2 = 0.926;$$

$$\text{海区养成规格贝: } W_{15} = -170.436 + 0.914SL + 2.099SW + 2.245SH, R^2 = 0.922。$$

Table 4. Determinant coefficients of morphometric traits to body weight of *T. conpersus***表 4.** 钝缙锦蛤形态性状对体质量的决定系数

规格 Size	性状 Trait	壳长/mm SL	壳宽/mm SW	壳高/mm SH
室内中培	SL	0.231	0.168	0.255
	SW		0.036	0.096
	SH			0.075
海区中培	SL	0.413	0.324	0.080
	SW		0.072	0.033
	SH			0.005
海区养成	SL	0.051	0.119	0.179
	SW		0.120	0.253
	SH			0.201

一般来说,找到影响因变量的自变量时,需要满足一个条件,即指数 $R^2 \geq 0.850$,当满足这一条件,则表示已找到影响因变量的主要因子。由钝缙锦蛤不同规格贝的壳长、壳宽、壳高这 3 个形态性状对体质量的回归分析中可知,室内中培规格贝的 $R^2 = 0.858$,海区中培规格贝的 $R^2 = 0.926$,海区养成规格贝的 $R^2 = 0.922$,均满足 $R^2 \geq 0.850$ 的这一条件。由此可知,室内中培、海区养成规格贝的壳长、壳宽、壳高是影响体质量的主要因子。海区中培规格贝中,壳长、壳宽是影响体质量的主要因子。

Table 5. Significance test of partial regression coefficients and constants of morphological traits and body weight of *T. conpersus***表 5.** 钝缙锦蛤形态性状和体质量偏回归系数和回归常数的显著性检验

规格 Size	参数 Parameter	偏回归系数 Partial regression coefficient		回归系数 Regression	<i>t</i>	<i>Sig.</i>	<i>VIF</i>	
		<i>B</i>	SD	coefficient				
室内中培	W	C	-0.216	0.009		-23.277	0.000	
		SL	0.018	0.004	0.481	4.367	0.000	18.728
		SW	0.020	0.008	0.189	2.644	0.000	7.906
		SH	0.015	0.006	0.273	2.445	0.015	19.182
海区中培	W	C	-0.745	0.024		-31.444	0.000	
		SL	0.057	0.005	0.643	10.900	0.000	10.244
		SW	0.063	0.012	0.269	5.060	0.000	8.307
		(SH)	0.009	0.006	0.070	1.635	0.099	5.256
海区养成	W	C	-170.436	6.405		-26.608	0.000	
		SH	2.245	0.274	0.448	8.201	0.000	6.037
		SW	2.099	0.237	0.346	8.860	0.000	3.080
		SL	0.914	0.198	0.225	4.603	0.000	4.480

注: *B* 为回归方程的常数项, *SD* 为标准差, *Sig.* 为差异显著性水平值, *C* 代表常量。

由表 6 方差分析可知,钝缙锦蛤各性状的回归水平均达到了极显著 ($P < 0.001$),室内中培规格贝的 *F* 值为 442.770、海区中培规格贝的 *F* 值为 909.641、海区养成规格贝的 *F* 值为 621.994,表明结果有显著

差异($P < 0.01$), 具有实际的分析意义。在室内中培阶段, 壳长和壳宽对体质量的方差膨胀因子 VIF 值远超过 10, 表明各形状的效应统计和方程的建立可能受到复共线性的影响。然而, 海区中培阶段和海区养成阶段中, 各形状对体质量的方差膨胀因子 VIF 值与 10 接近或小于 10, 说明各形状的效应统计和方程的建立几乎没有受到复共线性的影响, 因此是可靠的。

Table 6. Analysis of variance of the multiple regression equations between morphological traits and body weight of *T. conpersus*

表 6. 钝缟锦蛤形态性状与体质量间的多元回归方程的方差分析

规格 Size	方差来源 Source of variation		平方和 Sum of squares	d_f	均方 Mean square	F 值 F -value	P 值 P -value
室内中培	回归	regression	0.399	3	0.133	442.770	0.000
	残差	residual error	0.065	216	0.000		
	总计	total	0.464	219			
海区中培	回归	regression	6.694	3	2.231	909.641	0.000
	残差	residual error	0.530	216	0.002		
	总计	total	7.224	219			
海区养成	回归	regression	54952.635	3	18317.545	621.994	0.000
	残差	residual error	4535.253	154	29.450		
	总计	total	59487.888	157			

注: d_f 为自由度, P 值代表显著性水平。

4. 讨论

4.1. 形态性状与质量性状的通径分析

通径分析是进行相关系数分解的一种统计方法, 是回归分析的拓展[14], 可以用于分析多个不同的自变量与因变量之间存在的线性关系。形态性状与质量性状之间存在着重要的联系, 利用通径分析解析质量性状和形态性状的关系已经应用在各种水生动物研究中。张新明等[15]利用通径分析研究了解放眉足蟹 (*Blepharipoda liberate*) 形态性状对重量性状影响, 表明对于雌、雄性个体而言, 体长对体质量的直接作用最大。王祎哲等[16]利用通径分析研究了合浦珠母贝 (*Pinctada fucata*) 不同壳色选育系 F_6 之间的关系, 表明壳长对传统壳色和白壳色贝体重的直接影响最大, 壳高对金壳色和红壳色贝体重的直接影响最大, 壳宽对黑壳色贝体重的直接影响最大。唐琼英[17]等研究了罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*) 养殖群体表型性状间的相关性及类群差异分析, 表明 3 个类群除上、下额刺数 2 个可数性状外, 其他 9 个可量形态性状与体重都呈极显著的正相关 ($P < 0.01$)。这说明在不同的水产动物中, 影响其活体质量的形态性状也有较大区别。在贝类选育工作中, 找到影响质量性状的主要因素, 有助于提高贝类选育的效率[18]。

本研究主要研究钝缟锦蛤不同养殖阶段中形态性状对质量性状的影响程度, 对不同养殖阶段钝缟锦蛤的壳形态性状与质量性状分别测定并进行通径分析, 研究结果显示, 形态性状对钝缟锦蛤不同养殖阶段的体质量均存在一定的直接或间接影响, 表明本次研究选取的相关形态性状具有一定的实际意义。

4.2. 钝缟锦蛤不同规格贝变异系数对选育潜力的影响

一般来说, 性状的变异系数越大, 表明可供选择的范围较大, 选择的潜力越大[19]。田传远等[4]发

现疣荔枝螺体质量和软体部质量的变异系数均大于 20%，反映这些性状多样性丰富，表明疣荔枝螺具有较好的选育潜力，与本研究结果相近。钝缙锦蛤室内中培规格、海区中培规格、海区养成规格的体质量变异系数依次为 49.22、40.91、33.20，则说明不同规格的钝缙锦蛤以体质量为主要选育目标时，其选育潜力较大，选择范围较广，物种多样性丰富。

4.3. 钝缙锦蛤不同规格贝形态性状与体质量的关系

当复相关指数或各自变量对因变量的单独决定系数及两两共同决定系数的总和 $\sum d$ (在数值上 $R^2 = \sum d$) 大于或等于 0.85 (即 85%) 时，表明影响因变量的主要自变量已经找到[20]。本研究中 R^2 与决定系数之和的值相等，表明选取的自变量是影响钝缙锦蛤体质量的主要因素，通径分析和多元回归方程也很好得反映了形态性状(壳长、壳高、壳宽)与质量性状(体质量)之间的关系。

本研究中，钝缙锦蛤室内中培规格、海区中培规格、海区养成规格贝形态性状对体质量 R^2 依次为 0.858、0.926、0.922，说明 3 个形态性状对质量性状具有重要影响，且相关程度高。不同规格的钝缙锦蛤影响体质量的主要因子也不同，在室内中培阶段，壳长是影响体质量的主要因素，其次是壳高；海区中培阶段，壳长是影响体质量的主要因素，其次是壳宽；在海区养成阶段，壳高是影响体质量的主要因素，其次是壳宽。这与巫旗生等[10]在研究钝缙锦蛤形态性状对活体质量的影响中，得到钝缙锦蛤自然群体的相关指数 $R^2 = 0.960$ ，表明壳宽是影响体质量的主要因素有所差异，分析其结果不一样的原因可能是遗传背景和养殖环境不同造成的差异有关。由上述可知，以体质量为主要目标挑选钝缙锦蛤室内中培规格贝时，首先考虑形态性状中的壳长，其次将壳高作为次要考虑因素；选择海区中培规格贝时，形态性状上首先考虑选择壳长，其次加强壳宽的协同作用；选择海区养成规格贝时，形态性状上首先考虑选择壳高，其次加强壳宽的协同作用。

本研究结果的 R^2 也与其它贝类研究结果类似。李莉等[21]研究不同贝龄毛蚶(*Scapharca subcrenata*)壳形态性状对体质量的影响时表明 1 龄、2 龄、3 龄毛蚶的相关指数 R^2 均大于 0.85，确定了影响不同贝龄毛蚶体质量的主要影响因素。杜美荣等[22]在不同养殖海域栉孔扇贝混合家系的通径分析，研究通过 R^2 确定了影响不同海域栉孔扇贝体质量的主要因素。张根芳等[23]在养殖条件下不同年龄背瘤丽蚌(*Lamprotula leai*)数量性状的相关与通径分析中，通过 R^2 确定了各年龄段各种性状对壳重的主要因素。张雷雷等[7]在不同月龄青蛤形态性状对活体质量研究中，5 月龄、10 月龄和 15 月龄的青蛤相关系数 R^2 以此为 0.933、0.934、0.957，从而确定了影响青蛤活体质量的主要因素。粟志民等[24]在研究企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*)主要经济性状对体重的影响中也发现相关指数 R^2 为 0.921，从而确定了影响企鹅珍珠贝活体质量的主要因素。由此可见， R^2 是确定影响贝类体质量因子的重要判断依据。

5. 结论

本研究首次通过对钝缙锦蛤不同规格贝的壳长、壳宽、壳高、体质量进行了测量，并运用相关分析等分析方法对数据进行分析，阐明了不同规格贝的数量性状随着生长的变化及其对体质量的重要影响。通过多元回归分析方程得到了钝缙锦蛤海区中培规格贝、海区养成规格贝的数量性状与质量性状的回归方程，为钝缙锦蛤室内中培、海区中培苗种选择及亲本的挑选提供数据参考。研究结果表明，选取的形态性状对室内中培、海区中培、海区养成钝缙锦蛤的体质量均存在直接或间接影响，表明开展钝缙锦蛤数量性状与质量性状关系的研究对指导生产、科研工作具有实际意义。

致 谢

感谢广西创新驱动发展专项(AA19254032)；国家重点研发计划项(2018YFD0901400)基金资助。

参考文献

- [1] 庄启谦. 中国动物志, 软体动物门, 双壳纲, 帘蛤科[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 63-64.
- [2] 巫旗生, 文字, 曾志南, 等. 钝缙锦蛤繁殖周期和胚胎发育[J]. 中国水产科学, 2017, 24(3): 488-496.
- [3] 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.
- [4] 田传远, 夏珮伦, 张嘉荣, 等. 疣荔枝螺形态性状对质量性状的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2020, 50(2): 37-44.
- [5] 韦媛媛, 李蔚, 张兴志, 等. 不同规格香港牡蛎壳形态性状对重量性状的影响[J]. 南方农业学报, 2020, 51(4): 961-967.
- [6] 薛宝宝, 李浩, 牛东红, 等. 不同月龄缙蛭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.
- [7] 张雷雷, 滕爽爽, 李腾腾, 等. 不同月龄青蛤形态性状对活体质量的影响分析[J]. 海洋科学, 2019, 43(12): 74-80.
- [8] 聂振平, 彭慧婧, 邹杰, 等. 钝缙锦蛤选育群体 F_2 生长性状相关性分析及遗传力分析[J]. 广西科学, 2020, 27(3): 241-247.
- [9] 杨家林, 邹杰, 彭慧婧. 温度、盐度和体质量对钝缙锦蛤滤食率和同化率的影响[J]. 水产科学, 2019, 38(1): 104-108.
- [10] 巫旗生, 曾志南, 宁岳, 等. 钝缙锦蛤形态性状对活体质量的影响[J]. 水产科学, 2018, 37(1): 110-114.
- [11] Paterson, K.J. and Nell, J.A. (1997) Effect of Different Growing Techniques and Substrate Types on the Growth and Survival of the Clams *Tapes dorsatus* (Lamarck) and *Katylsia rhytiphora* (Lamy). *Aquaculture Research*, **28**, 707-715. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1997.tb01093.x>
- [12] Nell, J.A. and Paterson, K.J. (1997) Salinity Studies on the Clams *Katylsia rhytiphora* (Lamy) and *Tapes dorsatus* (Lamarck). *Aquaculture Research*, **28**, 115-119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1997.tb01023.x>
- [13] 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.
- [14] Jasso de Rodríguez, D., Angulo-Sánchez, J.L. and Rodríguez-García, R. (2001) Correlation and Path Coefficient Analyses of the Agronomic Trait of a Native Population of Guayule Plants. *Industrial Crops and Products*, **14**, 93-103. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(00\)00092-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(00)00092-3)
- [15] 张新明, 程顺峰, 张敏. 解放眉足蟹形态性状对重量性状影响的效果分析[J]. 中国水产科学, 2020, 27(1): 62-74.
- [16] 王祎哲, 邓正华, 王雨, 等. 合浦珠母贝不同壳色选育系 F_6 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.
- [17] 唐琼英, 夏正龙, 蔡缪荧, 等. 罗氏沼虾养殖群体表型性状间的相关性及类群差异分析[J]. 中国水产科学, 2019, 26(6): 1075-1085.
- [18] 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.
- [19] 林清, 王亚骏, 王迪文, 等. 太平洋牡蛎和葡萄牙牡蛎养殖群体数量性状比较分析[J]. 海洋通报, 2014, 33(1): 106-111.
- [20] 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.
- [21] 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
- [22] 杜美荣, 方建光, 包振民, 等. 不同养殖海域栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)混合家系的通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(5): 963-970.
- [23] 张根芳, 张文府, 方爱萍, 等. 养殖条件下不同年龄背瘤丽蚌(*Lamprotula leai*)数量性状的相关与通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(5): 1115-1121.
- [24] 栗志民, 刘志刚, 王辉, 等. 企鵝珍珠贝(*Pteria penguin*)主要经济性状对体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(6): 798-803.