

疣荔枝螺形态性状对质量性状的影响*

田传远¹, 夏珮伦¹, 张嘉荣¹, 于瑞海¹, 郑小东¹, 顾忠旗²

(1. 海水养殖教育部重点实验室(中国海洋大学), 山东 青岛 266003; 2. 嵊泗县海洋科技研究所, 浙江 舟山 202450)

摘要: 随机抽取 100 只同龄疣荔枝螺(*Thais clavigera* Kuster), 开展其形态性状与体质量和软体部质量的相关与通径分析。实验选取并测量了壳长(X_1)、壳宽(X_2)、壳厚(X_3)、壳口长(X_4)和壳口宽(X_5)等 5 项形态性状以及体质量(Y)和软体部质量(Z)等 2 项质量性状, 运用相关分析、通径分析和多元回归分析等方法分析了各形态性状对体质量和软体部质量的影响。相关分析表明, 疣荔枝螺各项性状间的相关均呈极显著($P < 0.01$)。通径分析表明, 形态性状对体质量直接影响大小的顺序为壳长(0.459) > 壳宽(0.277) > 壳厚(0.209) > 壳口宽(0.140); 壳长对体质量的直接决定系数最大(0.220), 是影响体质量的主要因素。通过多元回归分析, 建立了形态性状对体质量的回归方程: $Y = -9.714 + 0.220X_1 + 0.204X_2 + 0.195X_3 + 0.151X_5$ 。

关键词: 疣荔枝螺; 形态性状; 质量性状; 相关分析; 通径分析; 多元回归分析

中图法分类号: S968.31

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2020)02-037-08

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxh.20180389

引用格式: 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(自然科学版), 2020, 50(2): 37-44.

TIAN Chuan-Yuan, XIA Pei-Lun, ZHANG Jia-Rong, et al. Effects of morphological traits of *Thais clavigera* Kuster on its qualitative traits[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(2): 37-44.

疣荔枝螺(*Thais clavigera* Kuster)俗称“辣螺”或“苦螺”, 隶属腹足纲(Gastropoda)新腹足目(Neogastropoda)骨螺科(Muricidae), 在我国分布于南北沿海, 生活在潮间带中下区的岩礁阴面或海底礁石上; 为广温性底栖贝类。目前, 有关疣荔枝螺的报道主要集中在其生态习性^[1]、营养分析^[2]、齿舌结构^[3]和性畸变现象^[4]等方面的研究, 而对于形态性状及其对体质量影响的研究尚未见报道。

腹足类的形态性状主要包括壳长、壳宽、壳厚、壳口长和壳口宽等五个方面, 质量性状主要包括体质量和软体部质量。这些性状是研究贝类生长和选育的重要指标。一般地, 形态性状与质量性状之间存在一定的关联, 但质量性状不如形态性状直观; 研究形态性状和质量性状之间的相关性, 可以较好地通过直观的形态性状反映质量性状。

目前, 贝类形态性状与质量性状关系方面的研究已在栉孔扇贝(*Chlamys (Azumapecten) farreri*)、合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)、梨形环棱螺(*Bellamya purificata*)和福寿螺(*Pomacea canaliculata* Lamarck)等经济种类中见有报道^[5-9]。本实验开展了疣荔枝螺形态性状和体质量之间关系的研究; 通过相关性分析、

通径分析和多元回归分析, 建立了形态性状对体质量的最优多元回归方程, 以期在今后开展疣荔枝螺的人工繁殖、增养殖以及选育等方面的研究和生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2018年4月, 从山东省莱州市近海采集疣荔枝螺成贝。清除壳表的污附, 用砂滤海水冲洗干净并用纱布拭去壳表和软体部表面的水分。

1.2 样品测量

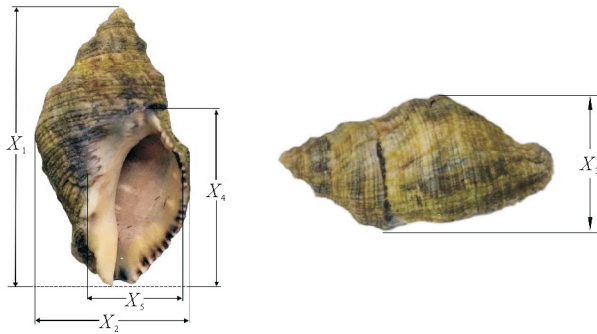
首先根据生长纹鉴定疣荔枝螺年龄, 再从同龄个体中随机抽取 100 只, 测量其形态性状和质量性状。用数显游标卡尺测量壳长(“壳长”过去习惯上称谓“壳高”^[10], 现在多称“壳长”^[11-13], 本文称为壳长, 下同, 记为 X_1)、壳宽(X_2)、壳厚(本处的“壳厚”指体螺层背部和腹部间的最大距离, 记为 X_3)、壳口长(X_4)和壳口宽(X_5), 数据精确到 0.01 mm。用电子天平称量体质量(本处的体质量指疣荔枝螺的鲜重, 即贝壳和软体部鲜重之和, 不含外套腔的水分)和软体部质量(软体部质量指软体部的鲜重, 外套腔的水分用纱布拭除), 数据精确到 0.01 g。形态性状的形态学测量部位见图 1。

* 基金项目: 山东省重点研究发展计划项目(2017GHY15104)资助

Supported by the Key Research and Development Program of Shandong Province(2017GHY15104)

收稿日期: 2019-03-16; 修订日期: 2019-05-19

作者简介: 田传远(1966-), 男, 高级工程师。E-mail: cytian66@ouc.edu.cn



(X_1 :壳长; X_2 :壳宽; X_3 :壳厚; X_4 :壳口长; X_5 :壳口宽。
 X_1 :Shell length; X_2 :Shell width; X_3 :Shell thickness;
 X_4 :Shell mouth length; X_5 :Shell mouth height.)

图1 疣荔枝螺贝壳形态学参数

Fig.1 Morphology parameters of *Thais clavigera*

1.3 数据处理

使用 Excel 对数据进行处理。使用软件 SPSS19.0 对疣荔枝螺形态性状和质量性状的平均值、标准差和变异系数进行统计,并进行 K-S 正态性检验和相关分析;用 SPSS19.0 软件进行形态性状和质量性状的相关性分析、通径分析和回归分析,并建立形态性状与质量性状相关的多元回归方程。显著性水平设定 $P < 0.05$,极显著水平设定 $P < 0.01$ 。

体质量(Y)和软体部质量(Z)的回归方程采用以下线性模型:

$$Y(Z) = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_i X_i。$$

式中: Y (或 Z)为因变量; b_0 为常数项; X_i 为自变量; b_i 为对应的偏回归系数^[14]。

由于偏回归系数具有单位属性,无法进行比较,因此对 b_i 的分子、分母分别除以 $Y(Z)$ 和 X_i 的标准差,得到 X_i 到因变量 $Y(Z)$ 的直接通径系数,即通径系数^[14]:

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

各性状之间的相关系数计算式为:

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

决定系数是表示原因变量对结果变量相对决定程度的系数,用字母 d 表示,为通径系数的平方。决定系数分为直接决定系数和间接决定系数。相关计算式分别为^[14]:

总决定系数用 R 表示,那么 $R = r_{ij}^2$;

直接决定系数 $d_i = P_{i,y}^2$;

间接决定系数 $d_{ij} = 2r_{ij}P_{i,y}P_{j,y}$ 。

2 结果与分析

2.1 性状参数分析

疣荔枝螺壳长、壳宽、壳厚、壳口长、壳口宽、体质量和软体部质量等7个性状的统计量见表1。由于不同性状具有各自不同的单位,形态性状和质量性状之间不能直接进行比较,所以需要通过变异系数进行比较。

表1 各性状的表型统计量($n=100$)

Table 1 Phenotypic statistic for each trait($n=100$)

参数 Parameter	壳长/mm Shell length	壳宽/mm Shell width	壳厚/mm Shell thickness	壳口长/mm Shell mouth length	壳口宽/mm Shell mouth height	体质量/g Total weight	软体部质量/g Software weight
代码 Code	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y	Z
平均值 Mean	31.55	19.46	16.63	19.95	11.41	5.02	1.28
标准差 SD	2.50	1.62	1.28	1.77	1.10	1.19	0.30
变异系数 CV/%	7.92	8.32	7.70	8.87	9.64	23.71	23.43
K-S 值 K-S value	0.430	0.579	0.328	0.713	0.806	0.695	0.747
P 值 P value	0.993	0.890	1.000	0.690	0.534	0.720	0.632

注:各性状的代码在全文中相同。

Note: The code for each character is the same in the full text.

由表1可见,5个形态性状的变异系数相对较小;2个质量性状的变异系数相对较大,其中体质量的变异系数最大,为23.71%。变异系数越大,代表这个性状的选择范围越大,即多样性丰富,更适宜选育。因此,在疣荔枝螺产业化的选育中,对形态性状的选育顺序依次为壳口宽、壳口长、壳宽、壳长和壳厚,而对质量性

状的选育首先考虑体质量,其次是软体部质量。K-S正态性检验结果表明,7个性状的原始数据均符合正态分布,可以进行通径分析。

2.2 形态性状的表型相关系数

由表2可知,疣荔枝螺7个性状间表型相关均达到了极显著水平($P < 0.01$),其中形态性状中壳长与质

量性状之间的相关系数最大。形态性状与体质量之间相关系数的大小顺序依次为: 壳长 > 壳厚 > 壳宽 > 壳口长 > 壳口宽。形态性状与软体部质量间的相关关

系与其和体质量间的相关关系相比有所差异, 相关系数从大到小依次为: 壳长 > 壳口长 > 壳厚 > 壳宽 > 壳口宽。

表 2 疣荔枝螺形态性状间的相关系数

Table 2 Phenotypic correlation coefficients among the traits of the *Thais clavigera* Kuster

性状 Traits	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y	Z
X ₁	1	0.839**	0.873**	0.870**	0.741**	0.904**	0.821**
X ₂		1	0.859**	0.832**	0.748**	0.876**	0.805**
X ₃			1	0.841**	0.794**	0.888**	0.812**
X ₄				1	0.789**	0.832**	0.821**
X ₅					1	0.787**	0.751**
Y						1	0.844**

注: ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$), 下同。

Note: ** means very significantly different ($P < 0.01$), the same below.

2.3 疣荔枝螺形态性状对体质量的影响及通径系数分析

根据相关系数的组成, 把各形态性状对体质量性状的相关系数分为直接决定系数和间接决定系数 d_{ij} 两部分。

由表 3 可见, 壳长和壳宽对体质量的直接通径系数呈极显著水平 ($P < 0.01$), 壳厚和壳口宽对体质量的

直接通径系数达到显著水平 ($P < 0.05$), 壳口长对体质量的直接通径系数不显著 ($P > 0.05$)。在形态性状对体质量影响的直接通径系数中, 壳长最大 (0.459), 壳宽 (0.277) 次之, 然后是壳厚 (0.209) 和壳口宽 (0.140)。从通径分析结果看, 壳长、壳宽、壳厚、壳口长和壳口宽的间接影响皆占主导地位; 其中, 壳长的间接影响最大, 然后依次是壳宽、壳厚、壳口长和壳口宽。

表 3 疣荔枝螺形态性状对体质量的通径分析

Table 3 Path Analysis of the traits to the body weight

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	直接影响 Direct effect	间接影响 Indirect effect					
			Σ	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
X ₁	0.904**	0.459	0.518		0.232	0.182	(-0.073)	0.104
X ₂	0.876**	0.277	0.670	0.385		0.180	(-0.070)	0.105
X ₃	0.888**	0.209	0.742	0.401	0.230		(-0.071)	0.111
(X ₄)	0.832	-0.084	—	(0.399)	(0.230)	(0.176)		(0.110)
X ₅	0.787**	0.140	0.713	0.340	0.207	0.166	(-0.066)	

注: 括号中的性状是在回归中被剔除的性状, 为了方便比较相关系数和直接通径而保留, 无回归统计意义, 下同。

Note: the character in brackets are those that have been deleted in the regression, which are reserved for the convenience of comparison of correlation coefficient and direct path, without regression statistical significance, the same below.

2.4 疣荔枝螺各性状对软体部质量的影响及通径系数分析

各性状对疣荔枝螺软体部质量的影响及通径分析结果见表 4。由表 4 可以看出, 只有壳口长和体质量对软体部质量的影响达到显著水平 ($P < 0.05$), 其余 5 个性状对软体部质量的影响均不显著 ($P > 0.05$)。并且, 体质量对软体部质量的相关系数和直接影响均较高, 是影响软体部质量的主要因素; 壳口长是通过体质量

影响软体部质量的次要因素。

2.5 对体质量和软体部质量的回归分析

根据以上分析, 当各形态性状与质量性状的相关系数和通径系数均达到显著或极显著时, 则保留相关性性状。各形态性状对体质量的偏回归系数检验结果见表 5。由表 5 可知, 壳长、壳宽、壳厚和壳口宽对体质量的偏回归系数检验均达到显著水平; 但壳口长的检验结果不显著, 应剔除。

表4 疣荔枝螺各项性状对软体部质量的通径分析
Table 4 Path analysis of the traits to the edible part weight

性状 Traits	相关关系 Correlation coefficient	直接影响 Direct effect	间接影响 Indirect effect						
			Σ	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
(X_1)	0.821	0.086	—		(0.088)	(0.050)	(0.221)	(0.073)	(0.302)
(X_2)	0.805	0.105	—	(0.072)		(0.049)	(0.211)	(0.074)	(0.292)
(X_3)	0.812	0.057	—	(0.075)	(0.090)		(0.214)	(0.079)	(0.297)
X_4	0.821*	0.254	0.278	(0.075)	(0.087)	(0.048)		(0.078)	0.278
(X_5)	0.751	0.099	—	(0.637)	(0.079)	(0.045)	(0.200)		(0.263)
Y	0.844*	0.334	0.211	(0.077)	(0.091)	(0.051)	0.211	(0.078)	

表5 对体质量的偏回归系数检验
Table 5 Partial regression coefficients on body weight

变量 Variable	偏回归系数 Partial regression coefficient	标准回归系数 Standard regression coefficient	T 检验 T test value	显著性 Significance conspicuousness
常数 Constant	-9.714			
X_1	0.220	0.459	5.328	0.000
X_2	0.204	0.277	3.604	0.001
X_3	0.195	0.209	2.364	0.020
X_4	-0.057	-0.084	-1.014	0.313
X_5	0.151	0.140	2.225	0.029

各性状对软体部质量的偏回归系数检验结果见表 6。由表 6 可知,各性状对软体部质量的影响有所差异;其中壳口长和体质量对软体部质量的作用达到显著水平,其余性状对软体部质量影响均不显著。

表6 对软体部质量的偏回归系数检验
Table 6 Partial regression coefficients on edible part weight

变量 Variable	偏回归系数 Partial regression coefficient	标准回归系数 Standard regression coefficient	T 检验 T test value	显著性 Significance conspicuousness
常数 Constant	-1.262			
X_1	0.010	0.086	0.618	0.538
X_2	0.020	0.105	0.905	0.368
X_3	0.013	0.057	0.440	0.661
X_4	0.044	0.254	2.148	0.034
X_5	0.027	0.099	1.088	0.280
Y	0.085	0.334	2.288	0.024

根据多元回归分析结果,分别建立壳长、壳宽、壳厚、壳口宽等 4 个形态性状对体质量的多元回归方程和壳口长、体质量等 2 个性状对软体部质量的多元回归方程:

$$Y = -9.714 + 0.220X_1 + 0.204X_2 + 0.195X_3 + 0.151X_5, (R^2 = 0.953);$$

$$Z = -1.262 + 0.044X_4 + 0.085Y, (R^2 = 0.490).$$

在表型相关分析的基础上进行通径分析和决定系数分析时,一般当 $R^2 \geq 0.850$ 时,即可认为已经找到影

响因变量的主要因素。根据壳长、壳宽、壳厚和壳口宽等 4 个形态性状对体质量的多元回归分析结果可知, 相关指数 $R^2 = 0.953$, 说明影响疣荔枝螺体质量的主要因素为壳长、壳宽、壳厚和壳口宽, 并且该回归方程可以运用到实际当中去。根据壳口长、体质量等 2 个性状对软体部质量的多元回归分析结果可知, 软体部质量相关指数 $R^2 = 0.490$, 说明还有影响软体部质量的其他性状或因素未考虑进去。

3 讨论

形态性状间的相关系数是变量间关系的综合体现, 但它并不能直观的呈现出自变量与因变量之间的关系组成, 而通过通径分析则可以将这些变量间的相互影响分解为直接影响和间接影响^[15], 这利于在一个多变量的系统中抓住影响因变量的主要因素。本研究中, 壳长、壳宽、壳厚、壳口长、壳口宽、体质量和软体部质量等 7 个性状的变异系数范围与很多报道^[16-21]相近。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^[22]。在本研究中, 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; 同时, 体质量和软体部质量变异系数较大的原因也可能与个体间肥满度差异较大有关, 有待进一步研究。

在相关分析中, 壳长、壳宽、壳厚、壳口长、壳口宽、体质量和软体部质量等 7 个性状间的相关关系均极显著 ($P < 0.01$)。壳长与体质量相关系数最大 (0.904), 其次是壳厚; 而与软体部质量间相关系数最大的是体质量 (0.844), 其次是壳长和壳口长。

在通径分析和决定系数分析中, 只有当相关指数 R^2 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综合 Σd (在数值上 $R^2 = \Sigma d$) 大于或等于 0.850 时, 才表明影响因变量的主要自变量已经找到^[23-25]。在相关分析的基础上, 本研究经通径分析和决定系数分析, 壳长、壳宽、壳厚和壳口宽等 4 个形态性状对体质量的多元回归的决定系数 $R^2 = 0.953$; 该值大于 0.850, 表明壳长、壳宽、壳厚和壳口宽等 4 个形态性状是影响体质量的主要性状。以形态性状为自变量、体质量为因变量, 可以建立回归方程: $Y = -9.714 + 0.220X_1 + 0.204X_2 + 0.195X_3 + 0.151X_5$ 。

但从分析结果看, 壳长、壳宽、壳厚和壳口宽等 4 个性状对体质量的直接作用均小于间接作用, 表明它们对体质量的影响还受到其他性状的间接作用。这一现象在整个贝类研究中报道较多, 在其他水产动物中也有类似报道。如: 刘文广等^[26]在对不同贝龄华贵栉孔扇贝数量性状做通径分析时发现, 7、9 和 15 月龄华贵栉孔扇贝表型性状通径分析的直接作用均小于间接

作用; 陈红林^[27]等研究的 8 月龄牙鲆表型性状对体质量的直接影响小于间接影响; 董世瑞等^[28]也指出: 5 月龄中国对虾的体长、全长和头胸甲长等性状对体质量的影响是通过各项性状间的相互作用体现的。还有其他水产动物, 如中国蛤蜊^[29]、菲律宾蛤仔^[30]、黄边糙鸟蛤^[31]、南澳青蛤^[32]、虾夷扇贝^[33]和蛭蚌^[34]等与本研究的结论也相似。

通径分析表明, 壳长 (0.459) 对体质量的直接作用最大, 壳宽 (0.277) 的直接作用次之, 且壳宽主要是通过影响壳长而间接影响体质量。从综合决定系数分析结果看, 壳长为影响疣荔枝螺体质量的主要因素, 壳宽为次要因素。同样, 在扁玉螺^[35]相关研究中, 表型性状壳长对体重直接作用最大, 其次是壳宽。柴壮林等^[24]在对齿纹蛭螺形态性状对体质量的影响分析中, 也认为壳长对体重影响作用最大。

在本研究中, 壳口长和体质量等 2 个性状对软体部质量的决定系数 $R^2 < 0.850$, 说明影响软体部质量的大小不仅仅是本研究中所涉及的 6 个性状, 还有其他影响较大的因素并未考虑。在其他研究^[36-39]中, 也存在软体部质量 $R^2 < 0.850$ 的现象。肖露阳等^[28]在研究不同性别中国蛤蜊数量性状的相关与通径分析时认为, 除了贝壳形态因素外, 年龄、性腺重、活体重、性别和壳重也是影响其软体部质量的重要因素; 刘辉^[30]等在对菲律宾蛤仔壳橙品系的研究中认为, 室内繁育状态下蛤仔的壳型和贝壳厚度较自然状态下存有差异。本研究所取的材料刚好处于疣荔枝螺发育之前, 因此, 笔者认为疣荔枝螺软体部质量 $R^2 < 0.850$ 的原因, 可能与其性腺发育的程度有重要关系。关于性腺发育程度对软体部质量的影响有待进一步研究。

4 结语

本实验测量了疣荔枝螺壳长、壳宽、壳厚、壳口长和壳口宽等形态性状和体质量、软体部质量等质量性状, 通过相关分析、通径分析和多元回归分析等方法对形态性状和质量性状之间的关系进行了研究。研究结果表明, 疣荔枝螺各项性状间的相关均呈极显著, 形态性状对体质量直接影响的大小顺序依次为壳长、壳宽、壳厚和壳口宽。这些研究结果可为疣荔枝螺的人工繁殖、增养殖和选育等提供参考。

参考文献:

- [1] 樊甄姣, 吕振明, 吴常文, 等. 温度、盐度和 pH 值对疣荔枝螺耗氧率的影响[J]. 河北渔业, 2009(2): 5-6.
Fan W L, Zhen M, Wu C W, et al. Effects of temperature, salinity and pH on the oxygen consumption rate of *Thais clavigera* Kuster[J]. Hebei Fisheries, 2009(2): 5-6.
- [2] 朱爱意, 谢佳彦, 杨运琪, 等. 舟山东极岛潮间带两种荔枝螺的营

- 营养成分分析[J]. 海洋学研究, 2008, 26(1): 80-84.
- Zhu A Y, Xie J Y, Yang Y Q, et al. Nutrient composition analysis of two species of *Thais* in the intertidal zone of Zhoushan, Dongji island[J]. Ocean Science Research, 2008, 26(1): 80-84.
- [3] 黄建荣, 丁少雄, 王德祥, 等. 中国沿岸 13 荔枝螺的齿舌形态分析[J]. 海洋科学, 2013, 37(8): 72-77.
- Huang J R, Ding S X, Wang D X, et al. Analysis of the tooth morphology of 13 *Thais* along the coast of China[J]. Marine Science, 2013, 37(8): 72-77.
- [4] 管云雁, 韩雅莉. 两种荔枝螺染色体核型以及性畸变个体染色体研究[J]. 海洋环境科学, 2004, 23(3): 21-23.
- Guan Y Y, Han Y L. Chromosomal karyotypes of two *Thais* and chromosome analysis of individual aberrations[J]. Marine Environmental Science, 2004, 23(3): 21-23.
- [5] 金武, 马学艳, 闻海波, 等. 梨形环棱螺 3 个群体形态性状与体质量的相关及通径分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(32): 135-139.
- Jin W, Ma X Y, Wen H B, et al. Correlation and path analysis of morphological traits and body mass of three populations of pear-shaped snails[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(32): 135-139.
- [6] Du M, Wang B, Zhang J, et al. Correlation and path analysis on shell length and shell height to wet weight of *Chlamys farreri* at one-year old[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(20): 136-139.
- [7] Mei-Rong D U, Fang J G, Bao Z M, et al. Correlation and path coefficient analysis for *Chlamys farreri* Cultured in different sea areas[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2016, 47(5): 963-970.
- [8] Chen F F, Huang G J, Chen M Q, et al. Correlation and path analysis of growth-related traits in Sanya cultured population of pearl oyster *Pinctada fucata*[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012(9): 128-131.
- [9] 李玺洋, 罗渡, 顾党恩, 等. 不同壳色福寿螺形态性状与体质量的关系[J]. 生物安全学报, 2012, 21(4): 287-290.
- Li Y Y, Luo D, Gu D E, et al. Relationship between morphological traits and body mass of different snails of *Pomacea canaliculata* [J]. Chinese Journal of Biosafety, 2012, 21(4): 287-290.
- [10] 蔡英亚, 张英, 等. 贝类学概论[D]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995.
- Cai Y Y, Zhang Y, et al. Shellfish Introduction[D]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1995.
- [11] 奥谷乔司. 日本近海贝类图鉴(第二版)[D]. 日本, 东京: 东海大学出版社, 2017.
- Takashi Okutani. Marine Mollusks in Japan(The Second Edition) [D]. Tokyo, Japan: Tokai University Press, 2017.
- [12] 郑小东, 曲学存, 曾晓起, 等. 中国水生贝类图鉴[D]. 青岛: 青岛出版社, 2013.
- Zheng X D, Qu X C, Zeng X Q, et al. Atlas of Aquatic Mollusks in China[D]. Qingdao: Qingdao Publishing house, 2013.
- [13] 张素萍. 中国海洋贝类图鉴[D]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- Zhang S P. Atlas of Marine Mollusks in China[D]. Beijing: Ocean Press, 2008.
- [14] 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.
- Xiao S, Fu Z J, Yu Z N. Path analysis of quantitative traits of male and female populations of giant oyster in Hong kong[J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(4): 1-9.
- [15] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- Du J J, Chen Z W. Method of path analysis using SPSS linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6.
- [16] 赵旺, 王江勇. 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, (11).
- Zhao W, Wang J Y. path analysis of body quality of 7-month-old *Babylonia areolata*[J]. Ocean Science, 2017, (11).
- [17] 巫旗生, 宁岳, 曾志南, 等. 不同贝龄“金蛎 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, (1): 72-78.
- Wu Q S, Ning Y, Zeng Z N, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of fujian oysters with different baying ages [J]. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2018, (1): 72-78.
- [18] 李淑瑜, 赖志服, 杜涛, 等. 九孔鲍主要经济性状对体质量的影响效果分析[J]. 广东海洋大学学报, 2012(6): 39-44.
- Li S Y, Lai Z F, Du T, et al. Effect of main economic traits on body mass in Jiukong abalone[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012(6): 39-44.
- [19] 刘志刚, 王辉, 孙小真, 等. 马氏珠母贝经济性状对体重决定效应分析[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(4): 15-20.
- Liu Z G, Wang H, Sun X Z, et al. Analysis of the effect of economic traits on the weight of Marsh's motherfish[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2007, 27(4): 15-20.
- [20] 栗志民, 刘志刚, 王辉, 等. 企鹅珍珠贝(*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.
- Li Z M, Liu Z G, Wang H, et al. Analysis of the effect of main economic traits of *Pteria penguin* on body weight[J]. Ocean and Limbe, 2011, 42(6): 798-803.
- [21] Toro J E, Aguila P, Vergara A M. Spatial variation in response to selection for live weight and shell length from data on individually tagged Chilean native oysters (*Ostrea chilensis* Philippi, 1845) [J]. Aquaculture, 1996, 146(1-2): 27-36.
- [22] 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.
- Lin Q, Wang Y J, Wang D W, et al. Comparative analysis of quantitative traits of Pacific oysters and Portuguese oyster cultured populations[J]. Ocean Report, 2014, 33(1): 106-111.
- [23] 王庆恒, 邓岳文, 杜晓东, 等. 翡翠贻贝形态性状对软体部质量的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(4): 1-4.
- Wang Q H, Deng Y W, Du X D, et al. Effects of morphological traits of soft-shelled mussels on the quality of soft body[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(4): 1-4.
- [24] 柴壮林, 王一农, 陈德云, 等. 齿纹蛭螺的形态性状对体质量的影响分析[J]. 水产科学, 2011, 30(8): 505-508.
- [25] Qi Z L, Wang Y N, Chen D Y, et al. Analysis of the effect of morphological traits on the body mass of the *Clam neritayoldi* [J]. Fisheries Science, 2011, 30(8): 505-508.
- [26] 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.
- Liu W G, Lin J S, He M X. Path analysis of quantitative characters of scallop *Chlamys farreri* in different bay ages[J]. South Chi-

- na Fisheries Science, 2012, 8(1): 43-48.
- [27] 陈红林, 田永胜, 刘峰, 等. 不同时期牙鲆形态性状对体重影响的通径分析及曲线拟合研究[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 64-76.
Chen H L, Tian Y S, Liu F, et al. Path analysis and curve fitting study on the effects of gingival morphological traits on body weight in different periods[J]. Chinese Journal of Fisheries Sciences, 2016, 23(1): 64-76.
- [28] 董世瑞, 孔杰, 万初坤, 等. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 渔业科学进展, 2007, 28(3): 15-22.
Dong S R, Kong J, Wan C K, et al. Path analysis of the Effects of morphological traits of chinese prawn on body weight[J]. Journal of Fisheries Science, 2007, 28(3): 15-22.
- [29] 肖露阳, 马贵范, 郭文学, 等. 不同性别中国蛤蚧数量性状的关联与通径分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(29): 115-119.
Xiao L Y, Ma G F, Guo W X, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of chinese quail in different sex[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(29): 115-119.
- [30] 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.
Liu H, Zhang X Z, Lu Y, et al. Path and multiple regression analysis of morphological traits of the orange cultivar in the Philippine clam (Taiwan University)[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2015, 30(5): 514-518.
- [31] 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.
Guo H Y, Chen M Q, Wang Y, et al. Correlation and path analysis of main economic characters of wild populations of *Rana esculenta*[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(2): 1-8.
- [32] 杨彦鸿, 李朝霞, 郑怀平, 等. 南澳青蛤(*Cyclina sinensis*)野生群体数量性状间的相关及通径分析[J]. 海洋通报, 2010, 29(5): 550-553.
Yang Y H, Li Z X, Zheng H P, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of wild populations of *Cyclina sinensis* in south australia[J]. Ocean Report, 2010, 29(5): 550-553.
- [33] 郑关超, 吴海燕, 郭萌萌, 等. 虾夷扇贝形态性状对活体质量的影响[J]. 中国渔业质量与标准, 2016, 6(5): 1-6.
Zheng G C, Wu H Y, Guo M M, et al. The relationship between morphometric traits and bodyweight of Yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. China Fisheries Quality and Standards, 2016, 6(5): 1-6.
- [34] 由学策, 尹东红, 曹淑青, 等. 缙蛭体形性状对活体重和肉重的影响效果分析[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(3): 363-367.
You X C, Yin D H, Cao S Q, et al. Effect of body shape traits on live weight and meat weight[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2011, 38(3): 363-367.
- [35] 孙振兴, 常林瑞, 徐建鹏. 扁玉螺(*Neverita didyma*)表型性状对体重和软体部重的影响效应分析[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(4): 513-518.
Sun Z X, Chang L R, Xu J P. Analysis of the effects of phenotypic traits on the weight and soft body weight of *Neverita didyma*[J]. Ocean and Lake Journal, 2010, 41(4): 513-518.
- [36] 陆雅凤, 赵晟, 徐梅英, 等. 东极厚壳贻贝养殖群体表型性状的相关与通径分析[J]. 安徽农业科学, 2015(3): 147-150.
Lu Y F, Zhao W, Xu M Y, et al. Correlation and path analysis of phenotypic traits in the cultured population of the thick-shelled mussels in the East China Sea[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2015(3): 147-150.
- [37] 蒋涛涛, 施育彦, 姚韩韩, 等. 泥蚶壳形态性状对活体重和软体部重的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 200-202.
Jiang T T, Shi Y Y, Yao H H, et al. Effects of morphological traits of loach shell on live weight and soft body weight[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2013, 41(5): 200-202.
- [38] 宁军号, 常亚青, 宋坚, 等. 偏顶蛤壳尺寸与体质量性状的相关与回归分析[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(1): 68-72.
Ning J H, Chang Y Q, Song J, et al. Correlation and regression analysis of the size and body mass traits of the partial crust[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2015, 30(1): 68-72.
- [39] 郭文学, 闫喜武, 肖露阳, 等. 中国蛤蚧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.
Guo W W, Yan X W, Xiao L Y, et al. Effects of morphological traits of Chinese clams on body mass traits[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(1): 49-54.

Effects of Morphological Traits of *Thais clavigera* Kuster on its Qualitative Traits

TIAN Chuan-Yuan¹, XIA Pei-Lun¹, ZHANG Jia-Rong¹, YU Rui-Hai¹, ZHENG Xiao-Dong¹, GU Zhong-Qi²

(1. The Key Laboratory of Mariculture (Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266003, China;

2. Shengsi Institute of Marine Science and Technology in Zhejiang Province, Zhoushan 202450, China)

Abstract: In this study, 100 individuals of *Thais clavigera* were used to analyze the correlations among morphological traits and body mass and soft body mass. Body mass (Y), soft body mass (Z) and five morphological traits including shell length (X_1), shell width (X_2), shell thickness (X_3), shell length (X_4) and shell width (X_5) were measured. The effects of various morphological traits on body mass and soft body were analyzed through correlation, path and multiple regression analyses. The correlations among the traits of Periwinkle were extremely significant ($P < 0.01$). The direct influence of morphological traits on body mass ranged from shell length (0.459) to shell width (0.277), shell thickness (0.209) to shell width (0.140) with the shell length the most dominant factor of body mass. The regression equation of morphological traits to body mass was $Y = -9.714 + 0.220X_1 + 0.204X_2 + 0.195X_3 + 0.151X_5$.

Key words: *Thais clavigera*; morphological trait; qualitative trait; correlation analysis; path analysis; multiple regression analysis

责任编辑 朱宝象