

扁玉螺(*Neverita didyma*)表型性状对体重 和软体部重的影响效应分析*

孙振兴 常林瑞 徐建鹏

(鲁东大学生命科学学院 烟台 264025)

提要 采用相关分析和通径分析的方法,研究了扁玉螺的表型形态性状对体重和软体部重的影响。随机抽取 2 龄扁玉螺 100 只,分别测定其壳宽、壳高、壳顶至脐高、体高、厣长、厣宽、体重、软体部重共 8 项性状参数,并分别计算了各性状间的相关系数,以及以表型性状为自变量对体重和软体部重作因变量的通径系数和决定系数。结果表明,各表型性状与体重、软体部重之间的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$)。壳宽对体重和软体部重的直接效应均为最大,对二者的决定程度也最高,是影响体重和软体部重的最主要因素;而厣宽、壳顶至脐高和体高的直接作用较小,它们主要通过壳宽的间接作用影响体重和软体部重。因此,对壳宽的直接选择可有效地增加体重和软体部重,对壳顶至脐高、厣宽和体高的选择也有助于增加扁玉螺的重量。

关键词 扁玉螺,表型形态性状,相关分析,通径分析,多元分析

中图分类号 S917.4, Q953

生物的各种性状受遗传基因调控,不同基因之间存在着遗传连锁关系,因而不同性状间也存在着一定的相关性。研究生物表型性状与产量性状间的相互关系,有助于对产量性状进行间接选择以提高育种效率(Sabouri *et al.*, 2008)。水产经济动物的体重等指标是重要的产量性状之一,也是良种选育的直接目标性状,因此受到人们的高度重视。近年来,多元分析方法在估计水产经济动物的生产量方面也得到了广泛地应用(Debowski *et al.*, 1999; Kora *et al.*, 2000; Ahmed *et al.*, 2000; 刘小林等, 2002; 耿绪云等, 2007)等。这些研究通过分析表型形态性状与目标性状的关系,使人们更加容易找到影响目标性状的主要因子,有利于对目标性状的选择。但有关扁玉螺表型性状与体重之间的多元分析,国内外尚未见报道。本文着重探讨了扁玉螺表型形态性状与体重和软体部重的关系,旨在为扁玉螺的选择育种提供理论依据和理想的测度指标。

1 材料与方法

1.1 实验材料及数据采集

实验用 2 龄扁玉螺(*Neverita didyma*)采自山东烟台近海,活体带回实验室,随机取样 100 只用于采集数据。将扁玉螺逐一编号后,分别用游标卡尺测量壳宽(X_1)、壳高(X_2)、壳顶至脐高(X_3)、体高(X_4)、厣长(X_5)、厣宽(X_6)共 6 项表型形态参数(图 1),其中体高是扁玉螺壳口朝下,以生活状态匍匐于平板上,其贝壳最膨胀处至平面间的垂直距离。用电子天平称量扁玉螺阴干后的活体重(Y),敲碎并去掉贝壳后,称量软体部重(Z)。形态数据测量精确至 0.02mm,重量数据称量精确至 0.0001g。

1.2 分析方法

数据分析采用 SPSS 13.0 和 Excel 软件。整理采集的数据,获得各性状的统计参数,进行相关分析;然后用 SPSS 软件中的逐步回归法(stepwise)进行回归分析,建立以表型性状估计重量性状的多元回归方

* 山东省教育厅高校实验技术研究项目, 2005-396 号; 鲁东大学学科建设经费资助项目, 2009—2012。孙振兴, 教授, E-mail: sunzx@public.ytptt.sd.cn

收稿日期: 2009-05-04, 收修改稿日期: 2009-06-29

程; 并进行途径分析和决定程度分析。分别按以下各式(袁志发等, 2000, 2001)计算相关系数(r_{xy})、途径系数(P_i)、相关指数(R^2)和决定系数(d)。相关系数(r_{xy})的计算公式为:

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

途径系数 $P_i = b_{xi} \frac{\sigma_{xi}}{\sigma_y}$, 式中, b_{xi} 为自变量的偏回归系数, σ_{xi} 为自变量的标准差, σ_y 为因变量的标准差。

相关指数 $R^2 = P_i r_{xiy}$, 式中, r_{xiy} 为自变量与因变量之间的相关系数。

单一自变量对因变量的决定系数 $d_i = P_i^2$, 式中, P_i 为该自变量对因变量的途径系数; 两个自变量对因变量的共同决定系数 $d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$, 式中, r_{ij} 为两个自变量之间的相关系数, P_i 和 P_j 分别为这两个自变量对因变量的途径系数。

2 结果与分析

2.1 各性状的描述统计量

扁玉螺各性状的描述统计量见表 1。从表 1 中可

见, 体重和软体部重的变异系数较大, 二者分别为 19.77% 和 24.52%, 说明重量性状具有较大的选择潜力。从表 1 中还可以看出, 扁玉螺各性状数据的偏斜度很小, 均接近于 0, 说明各组数据基本呈正态分布, 符合进行相关、回归和途径分析的要求。

2.2 各表型性状与体重、软体部重之间的相关分析

对上述各性状进行相关分析的结果(表 2)显示, 各性状之间的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$), 说明所选指标进行相关分析是有意义的。从相关程度的强弱(袁卫等, 2000)来看, 大多数性状间呈高度正相关($r > 0.7$), 个别性状间呈中度正相关($0.4 < r < 0.7$)。其中, 各表型性状与体重间的相关系数大小依次为壳宽 > 厖宽 > 壳顶至胛胛高 > 厖长 > 壳高 > 体高; 各表型性状与软体部重之间的相关系数大小依次为壳宽 > 厖宽 > 厖长 > 壳顶至胛胛高 > 壳高 > 体高, 二者趋势基本相同。

2.3 表型性状与体重、软体部重之间的回归分析

采用逐步回归法, 在对体重的回归分析中, 剔除了壳高、厖长和厖宽 3 项偏回归系数不显著的自变量性状; 在对软体部重的回归分析中, 剔除了壳高、体高和厖长 3 项偏回归系数不显著的自变量性状, 使保留的各自变量的偏回归系数检验结果均达到极显著水平(表 3)。进而分别得到各表型性状对扁玉螺体重、

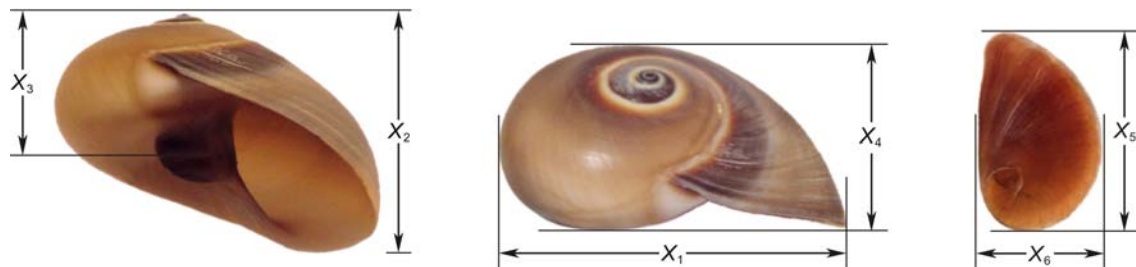


图 1 扁玉螺贝壳和厖的形态学参数

Fig.1 The morphologic parameters of shell and operculum of *N. didyma*
X₁: 壳宽, X₂: 壳高, X₃: 壳顶至胛胛高, X₄: 体高, X₅: 厖长, X₆: 厖宽

表 1 扁玉螺各性状的描述统计量($n = 100$)

Tab.1 Statistics of various traits of *Neverita didyma* ($n = 100$)

性状	壳宽(mm)	壳高(mm)	壳顶至胛胛高 (mm)	体高(mm)	厖长(mm)	厖宽(mm)	体重(g)	软体部重(g)
代码	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y	Z
平均值	37.7698	29.5840	17.4786	18.2190	25.3412	15.9386	15.7869	9.2534
标准差	2.3557	2.3468	1.5096	1.5767	1.9445	1.1020	3.1215	2.2689
变异系数(%)	6.2369	7.9325	8.6370	8.6542	7.6733	6.9140	19.7730	24.5196
偏斜度	- 0.1789	- 0.0709	0.1930	0.1921	- 0.1263	- 0.3683	0.3509	0.2676

注: 各性状的代码在全文中相同

软体部重的最优多元回归方程如下:

$$Y = -31.3155 + 0.7694 X_1 + 0.6454 X_3 + 0.3711 X_4$$

$$Z = -23.4084 + 0.4069 X_1 + 0.4179 X_3 + 0.6267 X_6$$

式中, Y 为体重, Z 为软体部重, X_1 为壳宽, X_3 为壳顶至胼胝高, X_4 为体高, X_6 为厣宽。

由表 4 的方差分析结果可见, 以上两个方程的回归关系均达到了极显著水平 ($P < 0.01$), 表明所求的多元回归方程成立, 对下一步进行通径分析是有意义的。而且上述方程经回归预测, 估计值与实际观测值差异

不显著 ($P > 0.05$), 表明上述方程客观地反映了扁玉螺表型性状与重量性状间的真实关系。

2.4 主要表型性状对体重、软体部重影响的通径分析

在回归分析的基础上, 保留达到极显著水平的自变量, 由 SPSS 13.0 软件计算分别得到各主要表型性状对体重、软体部重的通径系数(表 5、表 6)及相关指数。壳宽、壳顶至胼胝高、体高 3 个性状对体重的相关指数 $R^2_{xy} = 0.8530$; 壳宽、壳顶至胼胝高、厣宽 3 个性状对软体部重的相关指数 $R^2_{xz} = 0.7800$ 。

表 2 扁玉螺各性状之间的相关系数

Tab.2 Correlation coefficients among various traits of *N. didyma*

性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y	Z
X_1	1.0000	0.6863**	0.5624**	0.5105**	0.6900**	0.7590**	0.8518**	0.8098**
X_2		1.0000	0.6172**	0.5230**	0.5622**	0.6361**	0.7274**	0.6744**
X_3			1.0000	0.5846**	0.6040**	0.6153**	0.7483**	0.7030**
X_4				1.0000	0.6079**	0.6573**	0.6664**	0.6484**
X_5					1.0000	0.7501**	0.7280**	0.7178**
X_6						1.0000	0.7939**	0.7961**

注: $r_{0.01, 98} = 0.2560$, **表示相关性极显著 ($P < 0.01$), 下同

表 3 扁玉螺表型性状的偏回归系数检验

Tab.3 Partial regression coefficients for phenotypic traits of *N. didyma*

因变量	自变量	偏回归系数	标准误差	t -统计量	P 值
Y	截距	- 31.3155	2.0287	- 15.4366	9.3888E-28**
	X_1	0.7694	0.0651	11.8141	2.0293E-20**
	X_3	0.6454	0.1077	5.9916	3.6176E-08**
	X_4	0.3711	0.0992	3.7424	0.0003**
Z	截距	- 23.4084	1.7995	- 13.0081	6.6275E-23**
	X_1	0.4069	0.0721	5.6450	1.6734E-07**
	X_3	0.4179	0.0929	4.4987	1.9168E-05**
	X_6	0.6267	0.1616	3.8778	0.0002**

表 4 扁玉螺表型性状与重量性状间多元回归方程的方差分析

Tab.4 ANOVA analysis on multivariate regression between phenotypic traits and weight traits of *N. didyma*

因变量	项目	自由度 df	平方和 SS	均方 MS	F 检验值	显著性
Y	回归	3	822.9439	274.3146	185.8236	7.6009E-40**
	残差	96	141.7161	1.4762		
	总计	99	964.6601			
Z	回归	3	397.4942	132.4981	113.4230	1.9255E-31**
	残差	96	112.1449	1.1682		
	总计	99	509.6391			

根据通径分析的原理,将各自变量与因变量的相关系数($r_{x_{ij}}$)剖分为直接作用(P_i)和通过其它自变量的间接作用($r_{ij}P_j$)两部分,即 $r_{x_{ij}} = P_i + r_{ij}P_j$,而通径系数 P_i 反映了自变量对因变量的直接作用大小(袁志发等,2000)。从表5可知,各性状对体重的直接作用由大到小依次为壳宽(X_1)、壳顶至脐高(X_3)和体高(X_4)。壳宽对体重的直接通径系数最大,为0.5806;壳宽通过壳顶至脐高、体高2个性状,对体重有不同程度的正向间接作用,但间接作用小于直接作用。因此,壳宽是影响体重的主要因素。壳顶至脐高、体高2个性状对体重的直接作用较小,但二者通过壳宽对体重的间接影响作用都较大,这表明加强对壳顶至脐高、体高2个性状的选择,有助于增加体重。

由表6可知,各性状对软体部重的直接作用由大到小依次为壳宽(X_1)、厣宽(X_6)和壳顶至脐高(X_3)。壳宽对软体部重的直接通径系数最大,为0.4224;壳宽通过壳顶至脐高、厣宽2个性状,对软体部重有不同程度的正向间接作用,但间接作用小于直接作用。因此,壳宽也是影响软体部重的主要因素。壳顶至脐高、厣宽2个性状对软体部重的直接作用都小于其间接作用,二者通过壳宽对软体部重的间接影响效应都较大,尤其是厣宽主要通过间接作用对软体部重产生影响。

2.5 主要表型性状对体重、软体部重的决定程度
利用决定系数公式,计算出各单一表型性状及

性状间协同作用对重量性状的决定系数,结果见表7。从表7中可以看出,壳宽(X_1)、壳顶至脐高(X_3)和体高(X_4)对体重(Y)的相对决定程度分别为33.71%,9.74%和3.51%;壳宽(X_1)、壳顶至脐高(X_3)和厣宽(X_6)对软体部重(Z)的相对决定程度分别为17.85%,7.73%和9.27%,其中壳宽对体重和软体部重的决定程度都最大。在共同决定系数中,壳宽、壳顶至脐高二者对体重的共同决定程度最大,为20.39%;壳宽与厣宽对软体部重的共同决定程度最大,为19.52%。

根据表7进一步分析,各表型性状对体重的决定系数的总和 $d_{xy} = 0.8530$;对软体部重的决定系数的总和 $d_{xz} = 0.7800$,它们分别与对应的相关指数 R^2 的数值相等,这说明表中所列各性状是影响扁玉螺体重和软体部重的主要性状,其他性状的影响程度相对较小。

3 讨论

3.1 扁玉螺贝壳的测度指标

反映螺类贝壳形态的测度指标有很多(王忠明等,2003;周艺彪等,2006),与锥形、塔形的螺类贝壳具有明显的螺旋部不同,扁玉螺的贝壳略呈半球形,螺旋部低平,背腹扁而宽,所以无法用螺旋部高、体螺层高作为测度指标。本文引入了体高、壳顶至脐高(图1)两项参数作为扁玉螺的测度指标,这两项参数可以在一定程度上直观地反映出扁玉螺贝壳的膨胀

表5 扁玉螺表型性状对体重影响的通径分析
Tab.5 Path analysis on effect of phenotypic trait on body weight of *N. didyma*

性状	相关系数($r_{x_{ij}}$)	直接作用(P_i)	间接作用($r_{ij} \times P_j$)		
			X_1	X_3	X_4
X_1	0.8518**	0.5806**	0.2712	0.1755	0.0957
X_3	0.7483**	0.3121**	0.4362	0.3266	0.1096
X_4	0.6664**	0.1875**	0.4789	0.2964	0.1825

表6 扁玉螺表型性状对软体部重影响的通径分析
Tab.6 Path analysis on effect of phenotypic trait on soft-tissue weight of *N. didyma*

性状	相关系数($r_{x_{iz}}$)	直接作用(P_i)	间接作用($r_{ij} \times P_j$)		
			X_1	X_3	X_6
X_1	0.8098**	0.4224**	0.3874	0.1564	0.2310
X_3	0.7030**	0.2781**	0.4249	0.2376	0.1873
X_6	0.7961**	0.3044**	0.4917	0.3206	0.1711

表7 扁玉螺表型性状对体重和软体部重的决定系数
Tab.7 Determinant coefficients of phenotypic trait on weight trait of *N. didyma*

性状	Y			性状	Z		
	X_1	X_3	X_4		X_1	X_3	X_6
X_1	0.3371	0.2039	0.1111	X_1	0.1785	0.1321	0.1952
X_3		0.0974	0.0684	X_3		0.0773	0.1042
X_4			0.0351	X_6			0.0927

注:粗体数据是单一自变量对因变量的决定系数(d_i),其他数据是两个自变量共同对因变量的决定系数(d_{ij})

程度。从本文得出的贝壳表型性状对体重的多元回归方程 $Y = -31.3155 + 0.7694X_1(\text{壳宽}) + 0.6454X_3(\text{壳顶至胛胝高}) + 0.3711X_4(\text{体高})$, 以及对软体部重的多元回归方程 $Z = -23.4084 + 0.4069X_1(\text{壳宽}) + 0.4179X_3(\text{壳顶至胛胝高}) + 0.6267X_6(\text{厣宽})$ 看, 这两项参数也能反映出贝壳表型性状与重量性状的关系, 可以作为扁玉螺贝壳的测度指标。

3.2 决定扁玉螺体重、软体部重的主要构成因子

本文选择的 6 个自变量性状中, 大多数自变量与因变量之间呈高度正相关, 但这并不意味着所有自变量都是影响因变量的主要因子。因为变量之间的相关关系和函数关系, 在一定条件下是可以相互转化的, 如果能把影响因变量变动的因子纳入方程, 则相关关系可转化为函数关系(袁卫等, 2000)。本文在回归分析中采用了逐步回归法, 目的是剔除对因变量作用不显著的自变量, 使进入回归方程的自变量都达到极显著水平, 保证了所建立回归方程的可靠性及通径分析的可信度。

进行通径分析时, 只有当相关指数 R^2 或各自变量对因变量的决定系数的总和 d (数值上 $R^2 = d$) 大于或等于 0.85 时, 表明影响因变量的主要自变量已经找到(刘小林等, 2004)。本文中, 体重(Y)与壳宽(X_1)、壳顶至胛胝高(X_3)、体高(X_4)间的相关指数 $R^2_{xy} = 0.8530$, 说明壳宽、壳顶至胛胝高、体高 3 个性状确实是决定体重的主要构成因子。软体部重(Z)与壳宽(X_1)、壳顶至胛胝高(X_3)、厣宽(X_6)间的相关指数 $R^2_{xz} = 0.7800$, 说明壳宽、壳顶至胛胝高、厣宽 3 个性状基本上是决定软体部重的主要构成因子。

确定了影响扁玉螺体重、软体部重的主要构成因子, 对指导扁玉螺的选择育种有重要意义。在实际工作中可根据随机抽样测量的壳宽、壳顶至胛胝高、体高及厣宽值, 利用上述回归方程, 估算扁玉螺的体重或软体部重。

3.3 各主要性状对体重、软体部重的作用

通径分析的特点是把某一自变量与因变量的相互关系, 剖分成该自变量对因变量的直接作用和该自变量通过其它自变量对因变量的间接作用(袁志发等, 2000; Seker *et al.*, 2004)。从本文结果看, 无论是对扁玉螺的体重、软体部重而言, 壳宽(X_1)都是最主要的影响因子, 它与体重、软体部重的关系最为密切, 对体重、软体部重的直接作用都大于间接作用(表 5、表 6), 因而对体重、软体部重的直接贡献也最大。在

影响体重的其它因子中, 对体重的直接作用大小依次为壳顶至胛胝高(X_3)>体高(X_4), 但二者的直接作用都小于其间接作用(表 5), 说明它们主要通过壳宽的间接效应影响体重。在影响软体部重的其它因子中, 对软体部重的直接作用大小依次为厣宽(X_6)>壳顶至胛胝高(X_3), 二者对软体部重的间接作用都大于其直接作用(表 6), 表明它们对软体部重的贡献主要也是通过壳宽的间接效应。本文中决定系数分析的结果与通径分析结果具有一致的变化趋势。由此可见, 壳宽是决定扁玉螺体重和软体部重的最主要性状。壳顶至胛胝高、厣宽、体高也是不容忽视的主要性状, 它们对重量性状的间接影响效应都较大, 在扁玉螺选择过程中, 加强对这 3 个性状的选择, 有利于增加扁玉螺的体重和软体部重。

在有关双壳贝类的通径分析中, 栉孔扇贝的壳高对活体重的影响最大(刘小林等, 2002), 虾夷扇贝的壳宽对闭壳肌重的影响最大(张存善等, 2009), 紫石房蛤的壳宽对活体重的影响最大(黎筠等, 2008), 青蛤的壳高对软体部重的影响最大(高玮玮等, 2009), 可见影响双壳贝类重量性状的主要因子是壳高或壳宽。但在腹足类中目前尚无同类资料进行比较。

致谢 鲁东大学生命科学学院 2005 级水产养殖专业学生马德轩、孙秀雅、孙鹏、牛玉国、曲瑞夏、刘九菊协助采集数据, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王忠明, 陈德牛, 吴小平, 2003. 腹足类贝壳特征的测量及分析方法. 动物学杂志, 38(4): 62—65
- 刘小林, 吴长功, 张志怀等, 2004. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析. 生态学报, 24(4): 857—862
- 刘小林, 常亚青, 相建海等, 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析. 海洋与湖沼, 33(6): 673—678
- 周艺彪, 姜庆五, 赵根明等, 2006. 中国大陆钉螺螺壳形态性状聚类分析. 动物分类学报, 31(2): 441—447
- 郑怀平, 高 健, 2002. 扁玉螺蛋白质、脂肪含量的季节变化. 海洋科学, 26(4): 52—55
- 袁 卫, 庞 皓, 曾五一, 2000. 统计学. 北京: 高等教育出版社, 142—184
- 袁志发, 周敬芋, 2000. 试验设计与分析. 北京: 高等教育出版社, 142—202
- 袁志发, 周敬芋, 郭满才等, 2001. 决定系数——通径系数的决策指标. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 29(5): 131—133
- 耿绪云, 王雪惠, 孙金生等, 2007. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)一龄幼蟹外部形态性状对体重的影响效果分析.

- 海洋与湖沼, 38(1): 49—54
- 高玮玮, 袁媛, 潘宝平等, 2009. 青蛤(*Cyclina sinensis*)贝壳形态性状对软体部重的影响分析. 海洋与湖沼, 40(2): 166—169
- 黎筠, 王昭萍, 于瑞海等, 2008. 紫石房蛤壳性状对活体重影响的定量分析. 海洋水产研究, 29(6): 71—77
- Ahmed M, Abbas G, 2000. Growth parameters of finfish and shellfish juveniles in the tidal waters of Bhanbhore, Korangi Creek and Miani Hor Lagoon. Pakistan Journal of Zoology, 32(1): 21—26
- Debowski P, Dobosz S, Robak S *et al*, 1999. Fat level in body of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and sea trout (*Salmo trutta* M. *trutta* L.), and method of estimation from morphometric data. Archives of Polish Fisheries, 7(2): 237—243
- Kora H, Tsuchimoto M, Miyata K *et al*, 2000. Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured red sea bream. Fisheries Science, 66(2): 365—371
- Sabouri H, Rabiei B, Fazlalipour M, 2008. Use of selection indices based on multivariate analysis for improving grain yield in rice. Rice Science, 15(4): 303—310
- Seker H, Serin Y, 2004. Explanation of the relationships between seed yield and some morphological traits in smooth brome-grass (*Bromus inermis* Leys.) by path analysis. European Journal of Agronomy, 21(1): 1—6

EFFECT OF PHENOTYPIC MORPHOMETRIC TRAIT ON BODY WEIGHT AND SOFT-TISSUE WEIGHT OF *NEVERITA DIDYMA*

SUN Zhen-Xing, CHANG Lin-Rui, XU Jian-Peng
(College of Life Science, Ludong University, Yantai, 264025)

Abstract Effect of phenotypic morphometric trait on body weight and soft-tissue weight of *Neverita didyma* was studied in correlation and path analysis. A hundred of two-year-old individuals were randomly sampled, from which eight traits were measured including shell width, shell height, height between apex and callus, body height, operculum length, operculum width, body weight, and soft-tissue weight. The correlation coefficients among the eight traits were calculated; and phenotypic traits were used as independent variables and body weight, and soft-tissue weight as dependent ones for path analysis. The results show that all the correlation coefficients between each phenotypic trait and body weight or soft-tissue weight are at extremely significant level ($P < 0.01$). The shell width is the key effective factors. Direct selection of shell width is effective for increasing body weight and soft-tissue weight of *Neverita didyma*, followed by the heights between apex and callus, and operculum width and body height come the second.

Key words *Neverita didyma*, Phenotypic morphometric traits, Correlation analysis, Path analysis, Multivariate analysis