

# 香螺形态性状与质量性状的相关性及通径分析\*

王朔<sup>1,2,3</sup>, 李华琳<sup>1,2</sup>, 何心怡<sup>4</sup>, 滕炜鸣<sup>1,2</sup>, 刘海娇<sup>5</sup>, 李大成<sup>1,2</sup>, 于佐安<sup>1,2</sup>, 王庆志<sup>1,2,3\*\*</sup>

- (1. 辽宁省海洋水产科学研究院 大连市海产贝类种质资源创新利用重点实验室, 辽宁 大连 116023;  
2. 辽宁省海洋水产科学研究院 农业农村部水产种质资源保护与发掘利用重点实验室, 辽宁 大连 116023;  
3. 大连金石湾实验室, 辽宁 大连 116034; 4. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁 大连 116023;  
5. 大连长海益得水产养殖有限公司, 辽宁 大连 116001)

**摘要:** 本文为明确中国黄海北部地区香螺(*Neptunea cumingii*)自然群体的形态性状对质量性状的影响,测量了香螺的壳高 $X_1$ 、壳宽 $X_2$ 、壳口高 $X_3$ 、壳口宽 $X_4$ 、体螺层高 $X_5$ 、体螺层宽 $X_6$  6个形态性状和体质量 $M_1$ 、软体部质量 $M_2$  2个质量性状,采用相关性分析、通径分析和多元回归分析等方法研究了香螺形态性状对其质量性状的影响。研究表明:香螺各性状间均呈极显著相关( $P < 0.01$ ),体螺层宽 $X_6$ 与体质量 $M_1$ 和软体部质量 $M_2$ 的相关系数均最高;体螺层宽 $X_6$ 对体质量 $M_1$ 和软体部质量 $M_2$ 的直接作用均最大,分别为0.649和0.559;壳宽 $X_2$ 对体质量 $M_1$ 的间接作用最大(0.626),壳口宽 $X_4$ 对软体部质量 $M_2$ 的间接作用最大(0.606)。经多元回归分析,建立了以体质量 $M_1$ 为因变量、形态性状为自变量的最优回归方程: $M_1 = -145.039 + 0.649X_6 + 0.197X_2 + 0.170X_3$  ( $R^2 = 0.879$ );建立了以软体部质量 $M_2$ 为因变量、形态性状为自变量的最优回归方程: $M_2 = -53.492 + 0.559X_6 + 0.240X_3 + 0.172X_4$  ( $R^2 = 0.786$ )。研究结果表明,以质量性状为选育香螺目标性状时,应将体螺层宽作为首要形态性状进行选择;以体质量为目标性状时应协同选择壳宽性状,以软体部质量作为目标性状时应协同选择壳口宽性状。本研究可为香螺的生长、人工繁育和遗传育种等提供理论依据。

**关键词:** 香螺; 形态性状; 质量性状; 通径分析

**中图分类号:** S917.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-5174(2025)05-029-09

**DOI:** 10.16441/j.cnki.hdxh.20240139

**引用格式:** 王朔, 李华琳, 何心怡, 等. 香螺形态性状与质量性状的相关性及通径分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2025, 55(5): 29-37.

Wang Shuo, Li Hualin, He Xinyi, et al. Correlation and path analysis of relationship between morphological and qualitative traits in whelk *Neptunea cumingii*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2025, 55(5): 29-37.

香螺(*Neptunea cumingii*)隶属于软体动物门(Mollusca)、腹足纲(Gastropoda)、新腹足目(Neogastropoda)、蛾螺科(Buccinidae)、香螺属(*Neptunea*)。壳呈纺锤形,壳表面有许多细螺肋和生长纹,大多带有白、黄、褐色条纹,螺层7层左右,缝合线明显。香螺是温带海水大型肉食性螺类,栖息于水深数米至70余米的泥沙或岩礁质海底,分布范围较小,主要分布在渤海和黄海海域,朝鲜半岛及日本列岛周边海域也有分布<sup>[1]</sup>。在我国黄渤海海域,其主要分布在辽宁大连、山东烟台等地,是我国北方沿海主要的经济贝类。香螺个体较大,肉质肥嫩,味道鲜美,营养丰富,具有很高的

食用价值,市场需求量巨大。随着对香螺野生资源的捕捞力度日益增加,野生香螺的产量锐减。然而,香螺的养殖生产苗种来源主要依靠自繁自育或捕捞自然群体,目前香螺规模化人工增养殖技术尚未突破,亟需开展相关遗传育种工作。目前关于香螺的研究主要集中在生殖系统<sup>[2]</sup>、生理生态学<sup>[3-4]</sup>、行为方式<sup>[5]</sup>、营养成分<sup>[6-7]</sup>、壳体性状<sup>[8-10]</sup>、遗传多样性<sup>[11-13]</sup>等方面。

形态性状在生物学研究中具有举足轻重的地位,它们不仅是生物分类的重要依据,还是揭示生物生长发育和遗传育种奥秘的关键所在,是研究生物生长发育和遗传育种的重要指标之一。深入探究形态性状与

\* 基金项目:大连市科技创新基金项目(2021YF16SN015, 2021JB11SN035); 辽宁省海洋经济发展专项(202222); 国家重点研究发展计划项目(2022YFD2400305); 辽宁省农业科学院学科建设计划项目(2022DD268339); 现代农业产业技术体系专项(CARS-49)资助  
Supported by the Science and Technology Foundation of Dalian(2021YF16SN015, 2021JB11SN035); the Liaoning Provincial Department of Natural Resources(202222); the National Key Research and Development Program of China(2022YFD2400305); the Discipline Construction Plan of Liaoning Academy of Agricultural Sciences(2022DD268339); the Earmarked Fund for China Agriculture Research System(CARS-49)

收稿日期:2024-04-02; 修订日期:2024-06-01

作者简介:王朔(1995—),女,硕士,助理研究员,研究方向:贝类遗传育种。E-mail: 1165018093@qq.com

\*\* 通信作者:王庆志,男,博士,研究员,研究方向:贝类遗传育种。E-mail: wqzlm@126.com

质量性状之间的相关性可以为人工养殖经济物种提供坚实的理论基础和实践指导,是经济物种亲本选育和提高育种效率的重要环节。目前,此类研究在华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)<sup>[14-15]</sup>、栉孔扇贝(*C. farre-ri*)<sup>[16-17]</sup>、平濞掌扇贝(*Volachlamys hirasei*)<sup>[18]</sup>、虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)<sup>[19-21]</sup>、海湾扇贝(*Argopecten irradians*)<sup>[22]</sup>、墨西哥湾扇贝(*A. irradians concentricus*)<sup>[23]</sup>、麦哲伦扇贝(*Placopecten magellanicus*)<sup>[24]</sup>、中国蛤蜊(*Macra chinensis*, Philippi)<sup>[25]</sup>、青蛤(*Cyclina sinensis*)<sup>[26]</sup>、紫石房蛤(*Saxidomus purpurata*)<sup>[27]</sup>、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)<sup>[28]</sup>、四角蛤蜊(*Macra veneriformis*)<sup>[29-30]</sup>、文蛤(*Meretrix meretrix*)<sup>[31]</sup>、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)<sup>[32]</sup>、光滑河蓝蛤(*Potamocorbula laevis*)<sup>[33]</sup>、福建牡蛎(*Crassostrea angulata*)<sup>[34]</sup>、长牡蛎(*C. gigas*)<sup>[35]</sup>、香港牡蛎(*C. hongkongensis*)<sup>[36]</sup>、合浦珠母贝(*Pinctada martensi*)<sup>[37]</sup>、魁蚶(*Scapharca broughtonii*)<sup>[38]</sup>、泥蚶(*Tegillarca granosa*)<sup>[39]</sup>等双壳贝类中大量报道。腹足类中,齿纹蜒螺(*Nerita yoldi*)<sup>[40]</sup>、泥东风螺(*Babylonia lutosus*)<sup>[41]</sup>、方斑东风螺(*B. areolata*)<sup>[42]</sup>、梨形环棱螺(*Bellamya purificata*)<sup>[43]</sup>、疣荔枝螺(*Thais clavigera*, Kuster)<sup>[44]</sup>、福寿螺(*Pomacea canaliculata*)<sup>[45]</sup>、皮氏蛾螺(*Volutharpa ampullacea*, Perryi)<sup>[46]</sup>、铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)<sup>[47]</sup>、微黄濂玉螺(*Lunatica gilva*)<sup>[48]</sup>、扁玉螺(*Neverita didyma*)<sup>[49]</sup>等种类已有相关研究。

为探究中国黄海北部地区香螺的形态性状与质量性状之间的关联性,本研究运用相关性分析、通径分析以及多元回归分析等方法对香螺的形态性状与体质量(湿质量)及软体部质量进行了系统性的探讨。相关性分析衡量两个变量因素的相关密切程度,通径分析分析多个自变量与因变量之间的线性关系,进一步揭示了香螺形态性状对质量性状的影响路径。本研究旨在筛选影响香螺质量性状的关键形态性状,并构建形态性状与质量性状之间的最优多元回归模型。研究结果为香螺遗传育种提供了新的思路和方法,有助于培育出更优质、高产的香螺品种,从而为香螺的生长研究、遗传育种研究、人工增养殖等提供科学依据,为香螺产业的可持续发展提供科学支撑。

## 1 材料与方法

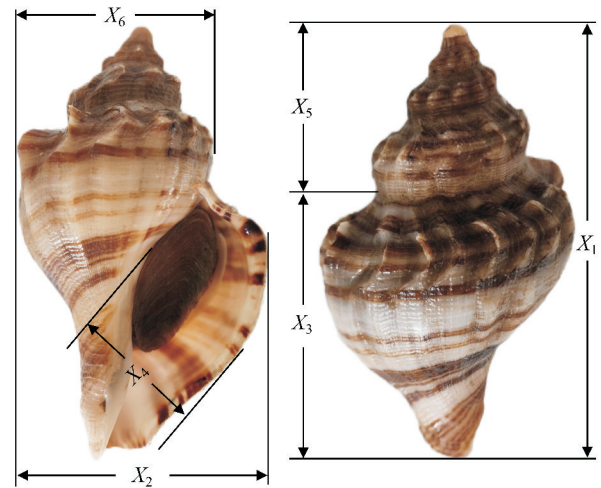
### 1.1 实验材料

实验香螺采自辽宁省大连市旅顺口区近岸海域(121°13'E, 38°45'N),将采集的香螺个体暂养于辽宁省海洋水产科学研究院室内养殖水池中,暂养1周后开始实验。暂养期间,海水温度为(12.8±0.3)℃,溶解

氧含量充足;每2天投喂一次贻贝(*Mytilus edulis*),循环水养殖。

### 1.2 实验方法

1.2.1 性状测量 随机选取100个健康、活力好的香螺个体进行测量,测量前用纸巾擦干表面水分和杂质。使用精确度为0.01 mm的数显游标卡尺测量香螺6个形态性状,包括壳高(Shell height)  $X_1$ 、壳宽(Shell width)  $X_2$ 、壳口高(Shell aperture height)  $X_3$ 、壳口宽(Shell aperture width)  $X_4$ 、体螺层高(Body whorl height)  $X_5$ 和体螺层宽(Body whorl width)  $X_6$ ;使用精确度为0.01 g的电子天平测量2个质量性状,包括体质量(Body mass)  $M_1$ (带壳湿质量)和软体部质量(Soft tissue mass)  $M_2$ (软体部鲜重)。形态性状的形态学测量部位见图1。



( $X_1$ :壳高; $X_2$ :壳宽; $X_3$ :壳口高; $X_4$ :壳口宽; $X_5$ :体螺层高; $X_6$ :体螺层宽。 $X_1$ : Shell height;  $X_2$ : Shell width;  $X_3$ : Shell aperture height;  $X_4$ : Shell aperture width;  $X_5$ : Body whorl height;  $X_6$ : Body whorl width.)

图1 香螺形态学参数

Fig. 1 Morphological parameters of *N. cumingii*

1.2.2 数据处理 采用Excel软件统计香螺形态性状和质量性状的描述性统计结果。参照文献[50]的方法,运用SPSS 27软件对数据进行Kolmogorov-Smirnov正态性检验、通径分析和回归分析。采用通径分析方法(Pearson相关系数)进行形态性状对各个质量性状的通径分析。参照文献[46]的方法,计算各形态性状对质量性状的直接决定系数和间接决定系数。显著性水平设定 $P < 0.05$ ,极显著水平设定 $P < 0.01$ 。

相关计算公式如下:

变异系数:  $CV = (\text{标准差} / \text{平均值}) \times 100\%$ 。

单一自变量对因变量的直接决定系数:  $d_i = P_i^2$ 。

两个自变量对因变量的间接决定系数:  $d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$ 。

式中: $r_{ij}$  为两个自变量间的相关系数; $P_i$  和  $P_j$  分别为两个自变量对因变量的通径系数。

多元线性回归方程: $Y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\dots+\beta_iX_i$ 。

式中: $\beta_0$  为常数; $\beta_1,\beta_2,\dots,\beta_i$  为偏回归系数; $X_1,X_2,\dots,X_i$  为偏回归系数对应自变量。

## 2 结果与分析

### 2.1 香螺各性状参数分析

香螺的壳高  $X_1$ 、壳宽  $X_2$ 、壳口高  $X_3$ 、壳口宽  $X_4$ 、体螺层高  $X_5$ 、体螺层宽  $X_6$ 、体质量  $M_1$  和软体部质量  $M_2$  8 个性状的统计结果见表 1。在 8 个性状中,壳口宽  $X_4$  的标准差最小(3.38),体质量  $M_1$  的标准差最大(22.78)。2 个质量性状的标准差均大于 6 个形态性状的标准差,这表明香螺个体间壳口宽差异最小,体质量差异最大,质量性状差异均大于形态性状差异。

形态性状和质量性状由于单位不同不能直接进行比较,需通过变异系数进行比较。在香螺的形态性状中,壳口高  $X_3$  的变异系数最大(11.56%) ;壳高  $X_1$  的变异系数最小(8.76%)。在质量性状中,体质量  $M_1$  和软体部质量  $M_2$  的变异系数分别是 25.82% 和 25.74%,均大于形态性状的变异系数。

### 2.2 香螺各性状间的相关性分析

由表 2 可知,香螺 8 个性状间相关系数均达到了极显著水平( $P<0.01$ )。根据相关强度<sup>[51]</sup>,形态性状  $X_1,X_2,X_3,X_4,X_6$  与质量性状  $M_1,M_2$  均呈高度相关(相关系数 $\geq 0.7$ ),其中  $X_6$  与质量性状  $M_1,M_2$  的

相关系数最高,分别为 0.919 和 0.860;  $X_5$  与  $M_1,M_2$  均为中度相关( $0.4<$ 相关系数 $<0.7$ ),且与  $M_1,M_2$  的相关系数最小,分别为 0.653 和 0.585。6 个形态性状中,  $X_1$  和  $X_2$  的相关系数最大(0.866),  $X_3$  和  $X_5$  的相关系数最小(0.484)。形态性状与  $M_1$  的相关系数从大到小依次为  $X_6,X_1,X_2,X_4,X_3,X_5$ ; 形态性状与  $M_2$  的相关系数从大到小依次为  $X_6,X_1,X_4,X_2,X_3,X_5$ 。

表 1 香螺各性状的描述性统计分析( $n=100$ )

Table 1 Descriptive statistical analysis for morphological traits of *N. cumingii* ( $n=100$ )

性状 <sup>①</sup>	代码 <sup>②</sup>	平均值 <sup>③</sup>	标准差 <sup>④</sup>	变异系数 <sup>⑤</sup> /%
壳高 <sup>⑥</sup>	$X_1$	92.66 mm	8.11 mm	8.76
壳宽 <sup>⑦</sup>	$X_2$	56.66 mm	6.25 mm	11.04
壳口高 <sup>⑧</sup>	$X_3$	61.79 mm	7.14 mm	11.56
壳口宽 <sup>⑨</sup>	$X_4$	31.13 mm	3.38 mm	10.84
体螺层高 <sup>⑩</sup>	$X_5$	35.12 mm	3.78 mm	10.75
体螺层宽 <sup>⑪</sup>	$X_6$	41.67 mm	3.87 mm	9.28
体质量 <sup>⑫</sup>	$M_1$	88.23 g	22.78 g	25.82
软体部质量 <sup>⑬</sup>	$M_2$	35.77 g	9.21 g	25.74

注:各性状的代码在全文中相同。The code for each trait is same throughout the text. ①Trait; ②Code; ③Mean; ④Standard deviation; ⑤Variability coefficient; ⑥Shell height; ⑦Shell width; ⑧Shell aperture height; ⑨Shell aperture width; ⑩Body whorl height; ⑪Body whorl width; ⑫Body mass; ⑬Soft tissue mass.

表 2 香螺性状间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients among the traits of *N. cumingii*

性状 Trait	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$M_1$	$M_2$
$X_1$	1.000	0.866**	0.669**	0.775**	0.727**	0.830**	0.840**	0.779**
$X_2$	0.866**	1.000	0.604**	0.740**	0.515**	0.806**	0.822**	0.742**
$X_3$	0.669**	0.604**	1.000	0.587**	0.484**	0.658**	0.715**	0.709**
$X_4$	0.775**	0.740**	0.587**	1.000	0.638**	0.831**	0.799**	0.778**
$X_5$	0.727**	0.515**	0.484**	0.638**	1.000	0.686**	0.653**	0.585**
$X_6$	0.830**	0.806**	0.658**	0.831**	0.686**	1.000	0.919**	0.860**
$M_1$	0.840**	0.822**	0.715**	0.799**	0.653**	0.919**	1.000	0.911**
$M_2$	0.779**	0.742**	0.709**	0.778**	0.585**	0.860**	0.911**	1.000

注: \*\* 表示极显著相关( $P<0.01$ )。  $X_1$ : 壳高,  $X_2$ : 壳宽,  $X_3$ : 壳口高,  $X_4$ : 壳口宽,  $X_5$ : 体螺层高,  $X_6$ : 体螺层宽,  $M_1$ : 体质量,  $M_2$ : 软体部质量; 下同。  
\*\* means very significant correlations ( $P<0.01$ ).  $X_1$ : Shell height,  $X_2$ : Shell width,  $X_3$ : Shell aperture height,  $X_4$ : Shell aperture width,  $X_5$ : Body whorl height,  $X_6$ : Body whorl width,  $M_1$ : Body mass,  $M_2$ : Soft tissue mass; the same below.

### 2.3 香螺各形态性状对质量性状的通径分析

根据通径分析原理计算香螺各形态性状对质量性

状的通径系数,经显著性检验,保留显著性状,剔除不显著的性状(见表 3)。其中,体质量  $M_1$  保留了壳宽

$X_2$ 、壳口高  $X_3$ 、体螺层宽  $X_6$ ；软体部质量  $M_2$  保留了壳口高  $X_3$ 、壳口宽  $X_4$ 、体螺层宽  $X_6$ 。根据相关系数的组成效应,将相关系数剖分为各性状的直接作用(通径系数)和各性状通过其他性状的间接作用(间接通径系数)。结果显示,在香螺的形态性状中, $X_6$  对  $M_1$  和

$M_2$  的直接作用均最大,分别为 0.649 和 0.559; $X_6$  对  $M_1$  和  $M_2$  的间接作用均最小,分别为 0.271 和 0.301; $X_2$  对  $M_1$  的间接作用最大(0.626),是通过影响  $X_3$  和  $X_6$  作用的; $X_4$  对  $M_2$  的间接作用最大(0.606),是通过影响  $X_3$  和  $X_6$  作用的。

表3 香螺各形态性状对质量性状的通径分析

Table 3 Path analysis of morphological traits on qualitative traits of *N. cumingii*

质量性状 Qualitative trait	形态性状 Morphological trait	相关系数 Relative coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect				
				$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_6$	$\Sigma$
$M_1$	$X_2$	0.822**	0.197**	—	0.103	—	0.523	0.626
	$X_3$	0.715**	0.170**	0.119	—	—	0.427	0.546
	$X_6$	0.919**	0.649**	0.159	0.112	—	—	0.271
$M_2$	$X_3$	0.709**	0.240**	—	—	0.101	0.368	0.469
	$X_4$	0.778**	0.172*	—	0.141	—	0.465	0.606
	$X_6$	0.860**	0.559**	—	0.158	0.143	—	0.301

注:—表示无间接作用,空白表示性状间的间接作用无统计意义, $\Sigma$ 表示总间接作用,\*表示显著相关( $P<0.05$ ),\*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )。— means no indirect effect, no statistical significance is expressed in the interconnection of the blank,  $\Sigma$  means total indirect effect, \* means significant correlations ( $P<0.05$ ), \*\* means very significant correlations ( $P<0.01$ ).

## 2.4 香螺形态性状对质量性状的决定系数分析

香螺各形态性状间及形态性状对体质量性状的决定系数见表4。 $X_6$  对  $M_1$  的直接决定系数最大(0.421), $X_3$  对  $M_1$  的直接决定系数最小(0.029); $X_2$  和  $X_6$  对  $M_1$  的共同决定系数最大(0.206), $X_2$  和  $X_3$  对  $M_1$  的共同决定系数最小(0.040)。 $X_6$  对  $M_2$  的直接决定系数最大(0.312), $X_4$  对  $M_2$  的直接决定系数最

小(0.030); $X_3$  和  $X_6$  对  $M_2$  的共同决定系数最大(0.177); $X_3$  和  $X_4$  对  $M_2$  的共同决定系数最小(0.048)。

## 2.5 香螺形态性状与质量性状间的回归分析

通过逐步回归分析筛选出对  $M_1$  和  $M_2$  影响显著的形态性状( $X_1$ — $X_6$ ),其标准回归系数(即通径分析中对应的通径系数)见表5,通径系数达到显著水平( $P<0.05$ )的性状被保留。在对  $M_1$  的回归分析过程中保留  $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_6$ ,对  $M_2$  的回归分析过程中保留  $X_3$ 、 $X_4$  和  $X_6$ ,最终得到香螺形态性状对  $M_1$ 、 $M_2$  的最优回归方程分别为:

$$M_1 = -145.039 + 0.649X_6 + 0.197X_2 + 0.170X_3, \\ R^2 = 0.879;$$

$$M_2 = -53.492 + 0.559X_6 + 0.240X_3 + 0.172X_4, \\ R^2 = 0.786.$$

式中: $R^2$  被称为决定系数或判定系数,是反映因变量的全部变动能通过回归关系被自变量解释的比例<sup>[52]</sup>。

## 3 讨论

### 3.1 香螺的选育潜力

形态性状是遗传育种研究中重要指标之一。通过对形态性状进行遗传分析,我们可以了解不同性状之间的遗传关系,为亲本选育提供科学依据。通过分析和研究形态性状与质量性状之间的相关性,可以筛选出具有优良性状的亲本,为人工繁育和规模化养殖提

表4 形态性状对质量性状的决定系数

Table 4 Determination coefficients of morphological traits on qualitative traits

质量性状 <sup>①</sup>	形态性状 <sup>②</sup>	决定系数 <sup>③</sup>			
		$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_6$
$M_1$	$X_2$	<b>0.039</b>	0.040	—	0.206
	$X_3$	0.040	<b>0.029</b>	—	0.145
	$X_6$	0.206	0.145	—	<b>0.421</b>
$M_2$	$X_3$	—	<b>0.058</b>	0.048	0.177
	$X_4$	—	0.048	<b>0.030</b>	0.160
	$X_6$	—	0.177	0.160	<b>0.312</b>

注:粗体数据是单一自变量对因变量的决定系数,其他数据是两个自变量对因变量的共同决定系数。—表示无统计学意义。Bold data represent the determination coefficient of a single independent variable on the dependent variable, and the other data are the co-determination coefficients of two independent variables on the dependent variable. — indicates no statistical significance. ① Qualitative trait; ② Morphological trait; ③ Determinant coefficient.

表 5 形态性状对质量性状的偏回归系数检验

Table 5 Partial regression coefficient test between morphological traits and qualitative traits

因变量 Dependent variable	常量 Constant	偏回归系数		标准回归系数 Standardized regression coefficient	$t$ -统计量 $t$ -test value	$P$ 值 $P$ value
		Partial regression coefficient				
		B	S. E.			
$M_1$		-145.039	8.923		-16.254	<0.001
	$X_6$	3.822	0.379	0.649	10.072	<0.001
	$X_2$	0.541	0.153	0.197	3.547	<0.001
	$X_3$	0.716	0.222	0.170	3.232	0.002
$M_2$		-53.492	4.798		-11.149	<0.001
	$X_6$	1.332	0.219	0.559	6.091	<0.001
	$X_3$	0.310	0.081	0.240	3.812	<0.001
	$X_4$	0.469	0.233	0.172	2.010	0.047

注: B 表示回归系数, S. E. 表示标准误差, 空白表示无意义。B means regression coefficient, S. E. means standard error, blank means meaningless.

供优质的种质资源。同时,通过对形态性状的遗传分析可以了解不同性状之间的遗传规律,为制定科学的育种方案和相关产业发展提供理论依据。由于形态性状与质量性状的单位不同,不能直接作比较,因此引入变异系数指标。变异系数越大,代表这个性状的选择范围越大<sup>[53]</sup>,即性状具有多样性丰富、选育潜力较大的特点,更适宜人工选育。变异系数可作为目标性状的评估指标,在水产动物目标性状的前期评估中得到了广泛应用<sup>[54]</sup>。已有腹足纲贝类的研究中,长岛香螺<sup>[13]</sup>、齿纹蜒螺<sup>[40]</sup>、7月龄方斑东风螺<sup>[42]</sup>、梨形环棱螺<sup>[43]</sup>、黄色福寿螺<sup>[45]</sup>、铜锈环棱螺<sup>[47]</sup>的体质量的变异系数均超过20%;扁玉螺<sup>[49]</sup>体质量的变异系数接近20%,软体部质量的变异系数超过20%;疣荔枝螺<sup>[44]</sup>、皮氏蛾螺<sup>[46]</sup>的体质量和软体部质量的变异系数均超过20%。本研究中,香螺的体质量与软体部质量的变异系数均超过20%,且大于长岛香螺体质量的变异系数(20.23%),说明本地区香螺的体质量和软体部质量具有较大的选育潜力。

### 3.2 香螺形态性状与质量性状的相关性和通径分析

本研究中,6个形态性状与质量性状的相关系数均达到极显著水平( $P < 0.01$ ),这与腹足纲贝类已有的研究结果一致<sup>[13,42,44-46,48]</sup>。蛾螺科中,长岛香螺的壳宽与体质量的相关系数最大<sup>[13]</sup>,与方斑东风螺体质量相关系数最大的性状是壳宽<sup>[42]</sup>,与不同群体泥东风螺相关系数最大的性状是壳高和壳宽<sup>[41]</sup>,与皮氏蛾螺体质量和软体部质量相关系数最大的性状是体螺层高<sup>[46]</sup>。在本研究中,香螺的体螺层宽与体质量和软体部质量的相关系数均最大,这与同属蛾螺科的方斑东风螺、泥东风螺和皮氏蛾螺的研究结果不一致,推测是由香螺与其他螺类的形态特征有较大差异导致的;本研究结果

与长岛香螺不一致,推测是由地域差异和变异系数差异导致的,本研究中香螺的变异系数(8.76%~25.82%)大于长岛香螺的变异系数(5.38%~20.23%),选育指标多样性更丰富。

相关性分析只能提供变量间的线性关系,无法深入揭示变量间的复杂关系,因此,我们需要进一步引入通径分析。在腹足类通径分析的研究中,对质量性状影响最大的形态性状在不同物种中存在差异。影响长岛香螺体质量的主要性状是壳宽、壳口高和体螺层高<sup>[13]</sup>;齿纹蜒螺的壳长是影响体质量的最主要性状<sup>[40]</sup>;泥东风螺的壳高、体螺层高和壳宽是决定泥东风螺体质量的主要形态性状<sup>[41]</sup>;7月龄方斑东风螺的壳宽、壳口高、体螺层高和次螺层宽是影响体质量的主要性状<sup>[42]</sup>;梨形环棱螺的壳高是影响体质量的主要性状<sup>[43]</sup>;疣荔枝螺的壳长是影响体质量的主要性状<sup>[44]</sup>;福寿螺<sup>[45]</sup>中,对黄色福寿螺体质量影响较大的为壳高、壳口宽,对黑色福寿螺体质量影响较大的为壳口宽、体螺层高;皮氏蛾螺的壳宽对体质量影响最大,体螺层高则对软体部质量影响最大<sup>[46]</sup>;壳高或壳宽是铜锈环棱螺体质量的主要影响因素<sup>[47]</sup>;微黄濂玉螺的螺高对湿质量影响最大<sup>[48]</sup>;影响扁玉螺体质量的最主要性状是壳宽<sup>[49]</sup>。从本研究的通径分析和决定系数结果来看,影响香螺体质量的主要性状是体螺层宽,次要性状是壳宽;影响软体部质量的主要性状是体螺层宽,次要性状是壳口高,这一结果与长岛香螺及同科的皮氏蛾螺、方斑东风螺及泥东风螺类似。

### 3.3 影响香螺质量性状的主要性状

本研究中,对香螺体质量有显著影响的三个形态性状,直接作用从大到小依次是体螺层宽、壳宽和壳口高,壳宽对体质量的间接作用最大;对香螺软体部质量

有显著影响的三个性状,直接作用从大到小依次是体螺层宽、壳口高和壳口宽,壳口宽对软体部质量的间接作用最大。因此,以质量性状为选育目标性状时,应将体螺层宽作为首要形态性状进行选择,以体质量为目标性状时应协同选择壳宽性状,以软体部质量作为目标性状时应将协同选择壳口宽性状。

决定系数表示自变量对因变量的解释程度,只有当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 $\sum d_{ij}$ 或相关指数 $R^2$ ( $R^2 = \sum d_{ij}$ ) $\geq 0.85$ 时,影响因变量的主要自变量才算找到<sup>[55]</sup>。本研究中,壳宽、壳口高和体螺层宽对体质量的直接决定系数与间接决定系数的总和为0.880,大于0.85,表明影响体质量的主要自变量已找到,分别是壳宽、壳口高和体螺层宽;壳口高、壳口宽和体螺层宽对软体部质量的直接决定系数与间接决定系数总和为0.785,小于0.85,表明除了壳口高、壳口宽和体螺层宽外,还存在其他对软体部质量影响较大的形态性状,这还需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 魏建功, 曲学存. 中国常见海洋生物原色图典[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2020.  
Wei J G, Qu X C. Primary Color Atlas of Common Marine Organisms in China[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2020.
- [2] 贺加贝, 王涵, 赵延宁, 等. 人工养殖条件下香螺生殖系统组织学观察及生殖细胞特征[J]. 大连海洋大学学报, 2024, 39(3): 402-409.  
He J B, Wang H, Zhao Y N, et al. Histological observation of reproductive system and reproductive cell characteristics of limpet (*Neptunea cumingii*) under artificial culture conditions[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2024, 39(3): 402-409.
- [3] 张思研, 王绍军, 杨佳程, 等. 盐度对香螺行为、鳃和肾抗氧化酶活性与组织结构的影响[J]. 海洋科学, 2022, 46(10): 129-139.  
Zhang S Y, Wang S J, Yang J C, et al. Effect of salinity on *Neptunea cumingii* behavior and antioxidant enzyme activities and tissue structure of the gill and kidney[J]. Marine Sciences, 2022, 46(10): 129-139.
- [4] 张倩鸿, 王绍军, 田莹, 等. 溶解氧对香螺行为、抗氧化酶活性及组织结构的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2022, 37(4): 643-649.  
Zhang Q H, Wang S J, Tian Y, et al. Effects of dissolved oxygen concentration on behavior, antioxidant enzyme activities and tissue structure of whelk *Neptunea cumingii* Crosse [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2022, 37(4): 643-649.
- [5] Katsuki F, Shigeru N. Migration pattern of *Neptunea arthritica* Bernardi, with special reference to relations with reproductive and feeding activities[J]. Japanese Journal of Ecology, 1994, 44: 331-338. doi: 10.18960/seitai.44.3\_331.
- [6] 何晋浙. 香螺生物体内的微量元素分析及食用安全性[J]. 食品科学, 2010, 31(8): 181-184.  
He J Z. Analysis of trace elements and edibility of *Neptunea cumingii* tissue[J]. Food Science, 2010, 31(8): 181-184.
- [7] 郝振林, 王煜, 于洋洋, 等. 香螺肌肉营养成分分析及评价[J]. 大连大学学报, 2016, 37(6): 66-70.  
Hao Z L, Wang Y, Yu Y Y, et al. Analysis and evaluation of nutritive composition in the muscle of *Neptunea arthritica cumingii* Crosse (Gastropoda: Buccinidae)[J]. Journal of Dalian University, 2016, 37(6): 66-70.
- [8] 赵杰, 丁晓非, 高山, 等. 香螺壳体的结构特征分析[J]. 材料科学与工程学报, 2004(5): 644-646.  
Zhao J, Ding X F, Gao S, et al. Structure characteristics of the shell of the conch *Hemifusus tuba* [J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2004(5): 644-646.
- [9] 邵林, 王中华, 郭庆梅, 等. 贝壳类药材海螺壳和香螺壳的性状显微鉴别[J]. 中国海洋药物, 2017, 36(4): 18-24.  
Shao L, Wang Z H, Guo Q M, et al. Comparative study on morphology and microscopy of *Rapanae concha* and *Neptuneae concha* [J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2017, 36(4): 18-24.
- [10] 杨陆飞, 高雁, 栾森, 等. 长岛香螺(*Neptunea cumingii* Crosse)野生群体壳形态性状与体质量相关性和通径分析[J]. 水产学杂志, 2025, 38(1): 56-60, 91.  
Yang L F, Gao Y, Luan M. Correlation and path analysis between shell morphological traits and body weight of limpet *Neptunea cumingii* Crosse from Changdao, Shandong Province, China [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2025, 38(1): 56-60, 91.
- [11] Azuma N. Polymorphic microsatellite markers isolated from the neptune whelk *Neptunea arthritica* [J]. Molecular Ecology Resources, 2009, 9(1): 120-121. doi: 10.1111/j.1755-0998.2008.02179.x.
- [12] 王煜. 黄、渤海海域香螺遗传多样性研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2018.  
Wang Y. Study of Genetic Diversity of *N. arthritica Cumingii* [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2018.
- [13] 张旦旦, 王煜, 李卓, 等. 香螺线粒体 COX I 和 CYTB 基因遗传多样性研究[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(4): 612-619.  
Zhang D D, Wang Y, Li Z, et al. Genetic diversity of mitochondrial COX I and CYTB genes in neptune whelk *Neptunea cumingii* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(4): 612-619.
- [14] 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, et al. Path analysis of quantitative traits of scallop *Chlamys nobilis* at different ages[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(1): 43-48.
- [15] 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.  
Yan Z, Gu Z F, Zhang H Z, et al. Correlation and path analysis of major quantitative traits of *Chlamys nobilis* in Sanya[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(3): 34-38.
- [16] 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.  
Du M Y, Fang J G, Gao Y P, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of different-age *Chlamys farreri* [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(4): 580-587.
- [17] 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.  
Du M R, Fang J G, Bao Z M, et al. Correlation and path coefficient analysis of quantitative traits of different-age *Chlamys farreri* mixed families from different culture areas [J]. Marine Science and Technology, 2016, 47(5): 963-970.

- cient analysis for *Chlamys farreri* cultured in different sea areas [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(5): 963-970.
- [18] 宋坚, 肖登兵, 张伟杰, 等. 2 个类型平濞掌扇贝壳性状对活体质量的影响分析[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(3): 215-217.  
Song J, Xiao DB, Zhang W J, et al. Analysis of the influence of two types of *Volachlamys hirasei* shell traits on body mass[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, 43(3): 215-217.
- [19] 于德良, 丁君, 郝振林, 等. 不同养殖群体虾夷扇贝数量性状的相关性与通径分析[J]. *大连海洋大学学报*, 2013, 28(4): 350-354.  
Yu D L, Ding J, Hao Z L, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits in different cultured populations of yesso scallop *Patinopecten yessoensis* [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2013, 28(4): 350-354.
- [20] 杜美荣, 刘毅, 蒋增杰, 等. 底播虾夷扇贝数量性状的相关性和通径分析[J]. *水产科学*, 2015, 34(1): 8-13.  
Du M R, Liu Y, Jiang Z J, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits in bottom-cultured yesso scallop *Patinopecten yessoensis* [J]. *Fisheries Science*, 2015, 34(1): 8-13.
- [21] 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]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2016, 6(5): 1-6.
- [22] 李朝霞, 王春德. 海湾扇贝自交与杂交子代的生长比较和通径分析[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(8): 282-285.  
Li Z X, Wang C D. Comparison of growth and path analyses of inbred and cross-bred populations in the bay scallop *Argopecten irradians irradians* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(8): 282-285.
- [23] 任琰, 魏钰恒, 潘英. 墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians concentricus*) 选育系与对照系数量性状对闭壳肌重影响的通径分析[J]. *水产研究*, 2020, 7(2): 84-92.  
Ren Y, Wei Y H, Pan Y. Effect of quantitative traits on adductor muscle weight in selected and control lines of *Argopecten irradians concentricus* [J]. *Open Journal of Fisheries Research*, 2020, 7(2): 84-92.
- [24] 于笛, 陈微, 滕炜鸣, 等. 麦哲伦扇贝形态性状与体质量相关性通径分析[J]. *水产科学*, 2023, 42(3): 496-501.  
Yu D, Chen W, Teng W M, et al. Correlation and path analysis between morphological traits and body weight of scallop *Placopecten magellanicus* [J]. *Fisheries Science*, 2023, 42(3): 496-501.
- [25] 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.  
Guo W X, Yan X W, Xiao L Y, et al. Effects of shell morphological characters on body weight performance in clam *Macrta chinensis* Philippi [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2013, 28(1): 49-54.
- [26] 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.  
Gao WW, Yuan Y, Pan B P, et al. The relationship between shell morphology and body weight of *Cyclina sinensis* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(2): 166-169.
- [27] 李朝霞. 紫石房蛤形态性状对体重的影响效果分析[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(5): 279-282.  
Li Z X. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Saxidomus purpurata* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(5): 279-282.
- [28] 梁健, 王俊杰, 郭永军, 等. 不同地理群体菲律宾蛤仔表型性状的相关性与通径分析[J]. *水产科学*, 2020, 39(1): 40-47.  
Liang J, Wang J J, Guo Y J, et al. Correlation and path analysis of phenotypic traits in different geographical groups of manila clam *Ruditapes philippinarum* [J]. *Fisheries Science*, 2020, 39(1): 40-47.
- [29] 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.  
Yan X W, Wang Y, Guo W X, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of clam *Macrta veneriformis* Reeve along northern coast in China [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(10): 1513-1518.
- [30] 李昂, 冯加岭, 李加琦, 等. 蛤蜊岗不同贝龄四角蛤蜊数量性状的通径分析[J]. *渔业科学进展*, 2024, 45(1): 185-193.  
Li A, Feng J L, Li J Q, et al. Path analysis of quantitative characters for *Macrta veneriformis* with different ages in Geligang [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2024, 45(1): 185-193.
- [31] 方军, 肖国强, 张炯明, 等. 两种壳色文蛤壳形态性状对活体质量的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2017, 32(3): 310-315.  
Fang J, Xiao G Q, Zhang J M, et al. Effect of morphological traits on live body weight in clam *Meretrix meretrix* with two kind color shells [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2017, 32(3): 310-315.
- [32] 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.  
Xue B B, Li H, Niu D H, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of new variety of *Sinonovacula constricta* at different months of age [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(6): 941-949.
- [33] 胡清彪, 汤爱淞, 白永安, 等. 光滑河蓝蛤形态性状对质量性状的影响[J]. *黑龙江水产*, 2023, 42(4): 241-246.  
Hu Q B, Tang A S, Bai Y A, et al. Effect of morphological characters on quality characters of *Potamocorbula laevis* [J]. *Northern Chinese Fisheries*, 2023, 42(4): 241-246.
- [34] 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.  
Wu Q S, Ning Y, Zeng Z N, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of different-age “Golden Oyster # 1” *Crassostrea angulata* [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2018, 57(1): 72-78.
- [35] 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.  
Han Z Q, Li Q. Multiple regression and path analysis of morphological and weight traits of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) orange-shell strain [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(12): 46-52.
- [36] 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.
- Wei P Y, Li W, Zhang X Z, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of *Crassostrea hongkongensis* with different sizes[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(4): 961-967.
- [37] 范超, 张学开, 张兴志, 等. 不同群体合浦珠母贝表型性状的相关性与通径分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52(S1): 12-19.
- Fan C, Zhang X K, Zhang X Z, et al. Correlation and path analysis of phenotypic traits among different populations of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2022, 52(S1): 12-19.
- [38] 吴彪, 杨爱国, 刘志鸿, 等. 魁蚶两个不同群体形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(6): 54-59.
- Wu B, Yang A G, Liu Z H, et al. The relationship between morphometric traits and body weight of *Scapharca broughtonii* in two different populations[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(6): 54-59.
- [39] 孙长森, 林志华, 董迎辉, 等. 泥蚶(*Tegillarca granosa*)主要经济性状遗传参数的估算[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(6): 907-913.
- Sun C S, Lin Z H, Dong Y H, et al. Estimation of genetic parameters of major economic traits in blood clam *Tegillarca granosa* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(6): 907-913.
- [40] 柴壮林, 王一农, 陈德云, 等. 齿纹蜆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.
- Qi Z L, Wang Y N, Chen D Y, et al. Effect of morphometric traits on body weight in clam *Nerita yoldi*[J]. Fisheries Science, 2011, 30(8): 505-508.
- [41] 秦臻. 泥东风螺形态及遗传多样性分析[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- Qin Z. Studies on the Genetic Diversity and Morphology of *Babylonia lutosa* [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [42] 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.
- Zhao W, Yu G, Wang J Y, et al. Path analysis of the effects of morphometric attributes on the body weight of 7-month-old *Babylonia areolata*[J]. Marine Sciences, 2017, 41(11): 82-88.
- [43] 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: 135-139.
- Jin W, Ma X Y, Wen H B, et al. Correlation and path analysis between morphology traits and body weight of *Bellamya purificata* from three populations[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33: 135-139.
- [44] 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 C Y, Xia P L, Zhang J R, et al. Effects of morphological traits of *Thais clavigera* Kusteron its qualitative traits[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(2): 37-44.
- [45] 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 X Y, Luo D, Gu D E, et al. Relationship between morphological traits and body mass of different snails of *Pomacea canaliculata*[J]. Journal of Biosafety, 2012, 21(4): 287-290.
- [46] 韩森荣, 李春茂, 李婷婷, 等. 皮氏蛾螺形态性状对体质量与软体部质量的相关性及通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(6): 976-984.
- Han S R, Li C M, Li T T, et al. Correlation and path analysis on relationship between morphological traits and body mass and soft tissue mass in the whelk *Volutharpa ampullacea* Perryi [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(6): 976-984.
- [47] 于明, 滕建, 张冲, 等. 铜锈环棱螺形态性状对体质量的影响分析[J]. 水产科学, 2024, 43(1): 136-143.
- Yu M, Teng J, Zhang C, et al. Analysis on the influence of morphology traits on body mass of *Bellamya aeruginosa*[J]. Fisheries Science, 2024, 43(1): 136-143.
- [48] 黄贤克, 肖国强, 张鹏, 等. 微黄镰玉螺壳形态性状对体质量性状的影响[J]. 水产养殖, 2017, 38(1): 25-29.
- Huang X K, Xiao G Q, Zhang P, et al. The relationship between morphometric traits and body weight of *Lumatica gilva*[J]. Journal of Aquaculture, 2017, 38(1): 25-29.
- [49] 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. Effect of phenotypic morphometric trait on body weight and soft-tissue weight of *Neverita didyma* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(4): 513-518.
- [50] 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. Path analysis using SPSS linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6.
- [51] 袁卫, 庞皓, 曾五一, 等. 统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 142-184.
- Yuan W, Pang H, Zeng W Y, et al. Statistics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 142-184.
- [52] 明道绪. 高级生物统计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 130-131.
- Ming D X. Advanced Biostatistics[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 130-131.
- [53] 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]. Marine Science Bulletin, 2014, 33(1): 106-111.
- [54] Gjedrem T. Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish[J]. Aquaculture, 1983, 33(1-4): 51-72.
- [55] 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 857-862.
- Liu X L, Wu C G, Zhang Z H, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(4): 857-862.

## Correlation and Path Analysis of Relationship Between Morphological and Qualitative Traits in Whelk *Neptunea cumingii*

Wang Shuo<sup>1,2,3</sup>, Li Hualin<sup>1,2</sup>, He Xinyi<sup>4</sup>, Teng Weiming<sup>1,2</sup>, Liu Haijiao<sup>5</sup>,  
Li Dacheng<sup>1,2</sup>, Yu Zuohan<sup>1,2</sup>, Wang Qingzhi<sup>1,2,3</sup>

(1. Dalian Key Laboratory of Genetic Resources for Marine Shellfish, Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China; 2. Key Laboratory of Protection and Utilization of Aquatic Germplasm Resource of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China; 3. Laboratory of Dalian Jinshiwang, Dalian 116034, China; 4. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 5. Dalian Changhai Yide Aquaculture Company Limited, Dalian 116001, China)

**Abstract:** In order to determine the influence of morphological traits on the quality traits of natural population of the whelk *Neptunea cumingii* in northern Yellow Sea, China, six morphological traits (shell height  $X_1$ , shell width  $X_2$ , shell aperture height  $X_3$ , shell aperture width  $X_4$ , body whorl height  $X_5$ , body whorl width  $X_6$ ) and two quality traits (body mass  $M_1$  and soft tissue mass  $M_2$ ) of *N. cumingii* were measured. Correlation analysis, path analysis and multiple regression analysis were used to study the influence of morphological traits on the quality traits. The results showed that there were significant correlations among all the traits ( $P < 0.01$ ). The body whorl width ( $X_6$ ) had the maximum correlation with body mass and soft tissue mass. The body whorl width ( $X_6$ ) had the maximal direct effect on both body mass and soft tissue mass. The direct effect of body whorl width ( $X_6$ ) on body mass and soft tissue mass was 0.649 and 0.559, respectively. Shell width ( $X_2$ ) had the maximal indirect effect on body mass (0.626), and shell aperture width ( $X_4$ ) had the maximal indirect effect on soft tissue mass (0.606). Stepwise regression analysis established the optimal regression equation with body mass ( $M_1$ ) as dependent variable and morphological traits as independent variable, which was  $M_1 = -145.039 + 0.649X_6 + 0.197X_2 + 0.170X_3$  ( $R^2 = 0.879$ ). Stepwise regression analysis established the optimal regression equation with soft tissue mass ( $M_2$ ) as dependent variable and morphological traits as independent variable, which was  $M_2 = -53.492 + 0.559X_6 + 0.240X_3 + 0.172X_4$  ( $R^2 = 0.786$ ). The results showed that when mass traits were selected as the target traits, the body whorl width ( $X_6$ ) should be selected as the primary morphological traits. Shell width ( $X_2$ ) should be selected cooperatively when body mass is the target trait, and shell aperture width ( $X_4$ ) should be selected cooperatively when soft tissue mass is the target trait. In conclusion, our findings can provide a scientific reference for the growth, artificial culture and genetic breeding of *N. cumingii*.

**Key words:** *Neptunea cumingii*; morphological trait; qualitative trait; path analysis

责任编辑 朱宝象