

## ◆特邀栏目◆

我国沿海 8 个地理群体缢蛭的表型性状对质量性状的影响<sup>\*</sup>吴雪萍<sup>\*\*</sup>, 韦熊刚, 韦美椿, 黄柯云, 王文杰, 童 潼<sup>\*\*</sup>

(广西民族大学, 海洋生物资源保护与利用校级重点实验室, 广西南宁 530008)

**摘要:** 为了探讨不同地理群体缢蛭(*Sinonovacula constricta*)各表型性状对活体质量与软体质量的影响,本研究以辽宁丹东、辽宁庄河、河北秦皇岛、山东沙子口、江苏连云港、浙江象山、福建厦门、广东惠州等 8 个地理群体缢蛭为研究对象,分别测量各群体的壳高、壳长、壳宽、活体质量和软体质量,采用相关分析和通径分析计算各表型性状分别对活体质量和软体质量的通径系数、决定系数。试验结果表明,不同地理群体各性状之间的相关系数均达到显著水平( $P < 0.05$ );决定系数分析表明,不同地理群体缢蛭影响活体质量与软体质量的表型性状有所不同:辽宁丹东、河北秦皇岛和江苏连云港群体直接影响缢蛭活体质量最大的表型性状是壳高,辽宁庄河、山东沙子口和浙江象山群体的是壳宽,福建厦门和广东惠州群体的是壳长;辽宁丹东、辽宁庄河、河北秦皇岛、浙江象山和广东惠州群体直接影响缢蛭软体质量最大的表型性状是壳长,山东沙子口、江苏连云港和福建厦门群体的是壳高。剔除通径系数检验不显著的自变量,采用逐步回归的方法,建立不同地理群体缢蛭表型性状对活体质量与软体质量的最优回归方程,结果表明回归关系均达到了极显著水平( $P < 0.01$ )。该研究结果可为缢蛭的实际选育提供一定的理论参考。

**关键词:** 缢蛭 表型性状 不同地理群体 相关分析 通径分析 多元回归分析

中图分类号: S917 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2022)03-0566-11

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20220720.020

缢蛭(*Sinonovacula constricta*),属软体动物门(Mollusca)瓣鳃纲(Lamellibranchia)异齿亚纲(Heterodonta)帘蛤目(Veneroida)竹蛭科(Solenidae)缢蛭属(*Sinonovacula*),俗称蛭子、蜻子,主要分布于日

本、韩国、越南以及我国南北沿海海域<sup>[1]</sup>。缢蛭是理想的滩涂养殖贝类,也是我国传统四大养殖贝类之一,具有生长速度快、产量高、养殖成本低,市场需求稳定、肉质嫩肥鲜美等特点<sup>[2]</sup>。2020年缢蛭的养殖

收稿日期: 2021-11-10

<sup>\*</sup> 广西自然科学基金项目(2020GXNSFBA159010),广西民族大学相思湖青年学者创新项目(2018RSCXSHQN02),2018年广西高校中青年教师基础能力提升项目(2018KY0174),广西民族大学引进人才启动基金(2017KJQD007),广西民族大学引进人才科研启动项目(2018KJQD14),广西科技基地和人才专项(桂科 AD18126005)和 2020 年广西壮族自治区大学生创新训练项目(202010608094)资助。

## 【作者简介】

吴雪萍(1987-),女,博士,讲师,主要从事经济贝类遗传与育种研究,E-mail:wxuep2020@163.com。

## 【\*\*通信作者】

吴雪萍;童 潼(1982-),男,助理研究员,主要从事水产动物增殖养殖研究,E-mail:ttong1028@126.com。

## 【引用本文】

吴雪萍,韦熊刚,韦美椿,等.我国沿海 8 个地理群体缢蛭的表型性状对质量性状的影响[J].广西科学,2022,29(3):566-576.

WU X P, WEI X G, WEI M C, et al. Effects of Phenotypic Traits on Quality Traits of *Sinonovacula constricta* in 8 Coastal Geographic Populations of China [J]. Guangxi Sciences, 2022, 29(3): 566-576.

面积为 43 326 hm<sup>2</sup>, 产量达 860 265 t, 具有极高的经济效益<sup>[3]</sup>。近年来, 随着市场需求量的逐年增长, 缢蛭的人工育苗技术也日益成熟。然而, 经过多年的人工育苗, 频繁近交和亲本选用不当等问题使得缢蛭种质资源混乱甚至严重退化, 严重阻碍了其产业的可持续发展<sup>[4]</sup>。因此, 对我国沿海不同的缢蛭种群进行种质资源保护已成为亟待解决的问题, 其中有效的途径之一是对其进行良种选育。

在贝类的良种选育过程中, 表型性状和质量性状是衡量经济效率的目标性状。通过各性状间的相关分析、通径分析以及回归分析等方法确定影响质量性状的主要表型性状, 对于贝类的选育和性状改良具有非常重要的指导意义, 是数量遗传学的研究热点之一。目前, 该方法已被广泛应用于葜巴非蛤(*Paphia schnelliana*)<sup>[5]</sup>、对角蛤(*Antigona lamellaris*)<sup>[6]</sup>、紫贻贝(*Mytilus edulis*)<sup>[7]</sup>、施氏獭蛤(*Lutraria sieboldii*)<sup>[8]</sup>、合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)<sup>[9]</sup>、中华文蛤(*Meretrix petechialis*)<sup>[10]</sup>、仿刺参(*Apostichopus japonicus*)<sup>[11]</sup>、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)<sup>[12]</sup>、广大扁玉螺(*Glossaulax reiniana*)<sup>[13]</sup>、香港牡蛎(*Crassostrea hongkongensis*)<sup>[14]</sup>等海洋经济软体动物, 而对缢蛭的研究较少。丛玉婷等<sup>[15]</sup>运用相关分析、回归分析和通径分析对大连庄河缢蛭进行研究, 认为壳长是影响缢蛭活体质量和软体质量的最主要表型性状。薛宝宝等<sup>[16]</sup>检测了缢蛭新品种“申浙 1 号”不同月龄数量性状间的相关性, 结果得出对 4, 9, 11 月龄“申浙 1 号”活体质量直接影响最大的分别是壳长、壳宽、壳高。滕爽爽等<sup>[17]</sup>采用判别分析、方差分析、主成分分析及聚类分析等方法对山东东营、福建云霄、浙江乐清、广东湛江和广西钦州 5 个缢蛭种群进行形态特征比较分析, 得出贝壳壳高与前后端性状是缢蛭种群形态差异的主要影响因子。然而, 不同缢蛭地理群体间的表型性状对质量性状的相关分析及通径分析尚未见报道。

本研究通过对我国沿海 8 个缢蛭地理群体的表型性状进行测量和分析, 找出表型性状对活体质量与软体质量的直接影响和间接影响, 并通过逐步回归方法, 建立各表型性状对活体质量与软体质量的最优回归方程, 从而阐明不同地理群体表型性状和体质量性状之间的关系, 为培育优良缢蛭品种、提高经济效益提供理论依据。

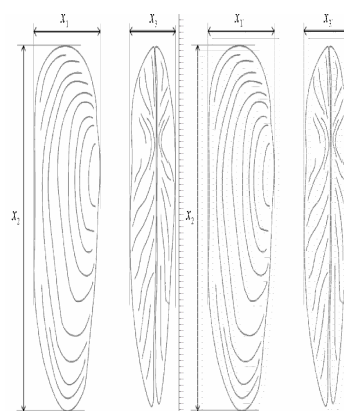
## 1 材料与方法

### 1.1 材料

于 2019 年 8—11 月, 随机采集 8 个自然海域滩涂的缢蛭, 即辽宁丹东、辽宁庄河、河北秦皇岛、山东沙子口、江苏连云港、福建厦门、浙江象山、广东惠州。在同一批次缢蛭中人工筛选出外壳完整无破损、性腺饱满度接近的缢蛭作为样本, 每个群体各 30 个个体, 共 240 个个体。经海水冲洗干净带回实验室暂养, 待其吐沙干净后取出控干 3 h, 直接进行测量。

### 1.2 数据测量

如图 1 所示, 使用电子游标卡尺(精度为 0.01 mm)测量各缢蛭群体个体的壳高( $x_1$ )、壳长( $x_2$ )和壳宽( $x_3$ )。用电子天平(精度 0.001 g)测量缢蛭的活体质量( $y_1$ ), 去除外壳后用滤纸将多余水分吸除并测量缢蛭的软体质量( $y_2$ )。



$x_1$ : shell height;  $x_2$ : shell length;  $x_3$ : shell width

图 1 缢蛭测量示意图

Fig. 1 Schematic diagram of *S. constricta* measurement

### 1.3 数据处理

使用 Excel 2004 软件对数据进行处理, 获得缢蛭各表型性状测量值的平均值、标准差和变异系数。参照 Huo 等<sup>[18]</sup>的方法, 运用 SPSS 25 软件进行各性状间的相关分析, 排除相关性不显著的表型性状后, 进行表型性状对活体质量与软体质量的通径分析, 剖析表型性状对活体质量与软体质量的直接影响和间接影响, 并计算出通径系数和决定系数。通过逐步回归方法(stepwise)剔除不显著的性状, 并建立表型性状对活体质量与软体质量的最优回归方程。相关系数( $r_{xy}$ )计算公式如下:

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

式中,  $r_{xy}$  为相关系数,  $x_i$  为自变量,  $\bar{x}$  为自变量均值,  $y_i$  为因变量,  $\bar{y}$  为因变量均值。

直接通径系数( $P_i$ )表示某一自变量对因变量的直接作用, 计算公式如下:

$$P_i = b_{x_i} \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_{y_i}}, \quad (2)$$

式中,  $b_{x_i}$  为自变量的回归系数,  $\sigma_{x_i}$  为自变量的标准差,  $\sigma_{y_i}$  为因变量的标准差。

间接通径系数( $P_{ij}$ )表示自变量通过其他变量对因变量的间接作用, 计算公式如下:

$$P_{ij} = r_{ij} P_{jy}, \quad (3)$$

式中,  $r_{ij}$  为两个自变量之间的相关系数,  $P_{jy}$  为  $x_j$  性状对  $y$  的直接通径系数。

决定系数( $d_i$ ):

$$d_i = P_i^2, \quad (4)$$

表 1 不同地理群体缢蛭各性状表型参数

Table 1 Phenotypic parameters of different geographical populations of *S. constricta*

地理群体 Geographical population	参数 Parameter	$x_1$ (mm)	$x_2$ (mm)	$x_3$ (mm)	$y_1$ (mm)	$y_2$ (mm)
Dandong, Liaoning	Mean	20.39	60.90	14.33	12.33	6.96
	SD	1.05	3.35	1.02	1.80	1.14
	CV(%)	5.13	5.50	7.09	14.62	16.35
Zhuanghe, Liaoning	Mean	23.41	69.12	18.82	21.30	13.91
	SD	2.86	5.84	3.68	2.85	1.48
	CV(%)	12.23	8.45	19.58	13.39	10.62
Qinhuangdao, Hebei	Mean	20.52	62.78	16.32	16.33	9.84
	SD	1.27	3.35	0.98	2.34	1.48
	CV(%)	6.18	5.33	5.99	14.35	14.99
Shazikou, Shandong	Mean	21.41	64.94	15.54	19.13	12.18
	SD	1.44	2.50	0.96	2.81	1.74
	CV(%)	6.74	3.85	6.16	14.71	14.26
Lianyungang, Jiangsu	Mean	19.59	60.13	15.18	10.93	4.92
	SD	1.03	1.92	1.10	1.51	1.09
	CV(%)	5.25	3.19	7.25	13.82	22.09
Xiangshan, Zhejiang	Mean	19.92	60.92	14.52	13.30	8.34
	SD	1.17	3.17	1.51	3.00	1.94
	CV(%)	5.89	5.20	10.38	22.56	23.24
Xiamen, Fujian	Mean	21.27	64.48	16.47	16.00	9.40
	SD	1.38	4.03	1.39	2.37	1.87
	CV(%)	6.49	6.24	8.44	14.78	19.90
Huizhou, Guangdong	Mean	17.55	54.58	12.76	9.23	6.20
	SD	1.44	4.48	1.38	2.32	1.56
	CV(%)	8.19	8.22	10.78	25.17	25.24

Note:  $x_1$ , shell height;  $x_2$ , shell length;  $x_3$ , shell width;  $y_1$ , living body weight;  $y_2$ , soft body weight

式中,  $d_i$  为单一变量自变量对因变量的决定系数。

共同决定系数:

$$d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j, \quad (5)$$

式中,  $d_{ij}$  为两个自变量对因变量的共同决定系数,  $r_{ij}$  为两个自变量之间的相关系数,  $P_i$  和  $P_j$  分别为两个自变量对因变量的直接通径系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 各性状的统计分析

如表 1 所示, 辽宁庄河缢蛭的壳高、壳长、壳宽、活体质量、软体质量的测量平均值均大于其余 7 个群体, 广东惠州缢蛭的各性状测量平均值均小于其他 7 个群体(除软体质量大于江苏连云港)。由变异系数可知, 除辽宁庄河群体外, 其余地理群体体质量的变异系数均大于壳形态的变异系数, 证明体质量性状的选择潜力大于表型性状的选择。

## 2.2 各性状间的相关分析

如表 2 所示, 不同地理群体缢蛭各性状间的相关系数均呈显著相关关系 ( $P < 0.05$ ), 表型性状与活体质量、软体质量之间存在极显著的线性相关关系 ( $P < 0.01$ )。辽宁丹东群体缢蛭活体质量和表型性状的相关系数大小依次为壳高 = 壳长 > 壳宽; 辽宁庄河群体和浙江象山群体为壳宽 > 壳长 > 壳高; 河北秦皇岛群体为壳高 > 壳宽 > 壳长; 山东沙子口群体为壳

宽 > 壳高 > 壳长; 江苏连云港群体为壳高 > 壳长 > 壳宽; 福建厦门群体为壳长 > 壳宽 > 壳高; 广东惠州群体为壳长 > 壳高 > 壳宽。辽宁丹东、河北秦皇岛和浙江象山群体缢蛭软体质量与表型性状的相关系数依次为壳长 > 壳高 > 壳宽; 辽宁庄河和广东惠州群体为壳长 > 壳宽 > 壳高; 山东沙子口群体为壳宽 > 壳高 > 壳长; 江苏连云港和福建厦门群体为壳高 > 壳长 > 壳宽。

表 2 不同地理群体缢蛭各性状表型相关系数

Table 2 Phenotypic correlation coefficients of different geographical populations of *S. constricta*

		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_1$	$y_2$
Dandong, Liaoning	$x_1$	1	0.841**	0.753**	0.859**	0.776**
	$x_2$		1	0.625**	0.859**	0.785**
	$x_3$			1	0.737**	0.734**
	$y_1$				1	0.910**
	$y_2$					1
Zhuanghe, Liaoning	$x_1$	1	0.727**	0.746**	0.735**	0.550**
	$x_2$		1	0.897**	0.928**	0.840**
	$x_3$			1	0.933**	0.773**
	$y_1$				1	0.879**
	$y_2$					1
Qinhuangdao, Hebei	$x_1$	1	0.689**	0.516**	0.610**	0.519**
	$x_2$		1	0.572**	0.564**	0.636**
	$x_3$			1	0.602**	0.475**
	$y_1$				1	0.673**
	$y_2$					1
Shazikou, Shandong	$x_1$	1	0.706**	0.413*	0.644**	0.630**
	$x_2$		1	0.521**	0.574**	0.564**
	$x_3$			1	0.741**	0.718**
	$y_1$				1	0.899**
	$y_2$					1
Lianyungang, Jiangsu	$x_1$	1	0.637**	0.465**	0.656**	0.560**
	$x_2$		1	0.733**	0.496**	0.512**
	$x_3$			1	0.470**	0.467**
	$y_1$				1	0.687**
	$y_2$					1
Xiangshan, Zhejiang	$x_1$	1	0.703**	0.500**	0.670**	0.714**
	$x_2$		1	0.485**	0.681**	0.758**
	$x_3$			1	0.753**	0.689**
	$y_1$				1	0.899**
	$y_2$					1

续表

Continued table

		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_1$	$y_2$
Xiamen, Fujian	$x_1$	1	0.666**	0.548**	0.637**	0.651**
	$x_2$		1	0.523**	0.750**	0.602**
	$x_3$			1	0.664**	0.590**
	$y_1$				1	0.764**
	$y_2$					1
Huizhou, Guangdong	$x_1$	1	0.905**	0.791**	0.905**	0.853**
	$x_2$		1	0.829**	0.916**	0.902**
	$x_3$			1	0.873**	0.858**
	$y_1$				1	0.969**
	$y_2$					1

Note:  $x_1$ , shell height;  $x_2$ , shell length;  $x_3$ , shell width;  $y_1$ , living body weight;  $y_2$ , soft body weight; \*  $P < 0.05$ , indicates significant difference;

\*\*  $P < 0.01$ , indicates extremely significant difference

### 2.3 表型性状对活体质量、软体质量的通径分析

据相关性分析结果,对活体质量和软体质量进行通径分析,保留通径系数达到显著水平的表型性状,去除不显著的表型性状(表3)。对缢蛏活体质量分析发现,辽宁丹东群体保留了壳高和壳长两个性状;辽宁庄河、福建厦门、浙江象山、广东惠州群体保留了壳长和壳宽;河北秦皇岛、山东沙子口群体保留了壳高和壳宽;江苏连云港群体仅保留了壳高一个性状。其中,壳高(0.467,0.407,0.656)对辽宁丹东、河北秦皇岛和江苏连云港群体活体质量的直接作用最大,壳长(0.554,0.614)对福建厦门和广东惠州群体的直接

作用最大,壳宽(0.513,0.572,0.552)对辽宁庄河、山东沙子口和浙江象山群体的直接作用最大。

对缢蛏软体质量分析发现,辽宁丹东、浙江象山和广东惠州群体保留了壳长和壳宽两个性状;辽宁庄河、河北秦皇岛群体保留了壳长;山东沙子口和福建厦门群体保留了壳高和壳宽;江苏连云港群体仅保留了壳高。对辽宁丹东、辽宁庄河、河北秦皇岛、浙江象山、广东惠州群体缢蛏软体质量直接作用最大的是壳长(0.536,0.840,0.636,0.554,0.609),对山东沙子口、江苏连云港和福建厦门群体直接作用最大的是壳高(0.552,0.560,0.467)。

表3 不同地理群体缢蛏表型性状对活体质量、软体质量的通径分析

Table 3 Path analysis of phenotypic traits on living body weight and soft body weight of different geographical populations of *S. constricta*

地理群体 Geographical population	性状 Trait	活体质量 Living body weight				软体质量 Soft body weight							
		相关系数 $r_{xy}$ Correlation index	直接作用 $P_i$ Direct effect	间接作用 $P_{ij}$ Indirect effect			相关系数 $r_{xy}$ Correlation index	直接作用 $P_i$ Direct effect	间接作用 $P_{ij}$ Indirect effect				
				$x_1$	$x_2$	$x_3$			合计 Total	$x_1$	$x_2$	$x_3$	合计 Total
Dandong, Liaoning	$x_1$	0.859**	0.467	0.392			$x_1$						
	$x_2$	0.859**	0.466	0.393	0.393		$x_2$	0.785**	0.536	0.250 0.250			
	$x_3$						$x_3$	0.734**	0.400	0.335	0.335		
Zhuanghe, Liaoning	$x_1$						$x_1$						
	$x_2$	0.928**	0.468	0.460 0.460		$x_2$	0.840**	0.840					
	$x_3$	0.933**	0.513	0.420	0.420		$x_3$						

续表

Continued table

地理群体 Geographical population	活体质量 Living body weight							软体质量 Soft body weight							
	性状 Trait	相关系数 $r_{xy}$ Correlation index	直接作用 $P_i$ Direct effect	间接作用 $P_{ij}$ Indirect effect				性状 Trait	相关系数 $r_{xy}$ Correlation index	直接作用 $P_i$ Direct effect	间接作用 $P_{ij}$ Indirect effect				
				$x_1$	$x_2$	$x_3$	合计 Total				$x_1$	$x_2$	$x_3$	合计 Total	
Qinhuangdao, Hebei	$x_1$	0.610**	0.407			0.202	0.202	$x_1$							
	$x_2$							$x_2$	0.636**	0.636					
	$x_3$	0.602**	0.392	0.210			0.210	$x_3$							
Shazikou, Shandong	$x_1$	0.644**	0.408			0.236	0.236	$x_1$	0.630**	0.552			0.166	0.166	
	$x_2$							$x_2$							
	$x_3$	0.741**	0.572	0.169			0.169	$x_3$	0.718**	0.402	0.228				0.228
Lianyungang, Jiangsu	$x_1$	0.656**	0.656					$x_1$	0.560**	0.560					
	$x_2$							$x_2$							
	$x_3$							$x_3$							
Xiangshan, Zhejiang	$x_1$							$x_1$							
	$x_2$	0.681**	0.414			0.268	0.268	$x_2$	0.758**	0.554			0.204	0.204	
	$x_3$	0.753**	0.552	0.201			0.201	$x_3$	0.689**	0.420	0.269				0.269
Xiamen, Fujian	$x_1$							$x_1$	0.651**	0.467			0.183	0.183	
	$x_2$	0.750**	0.554			0.196	0.196	$x_2$							
	$x_3$	0.664**	0.374	0.290			0.290	$x_3$	0.590**	0.334	0.256				0.256
Huizhou, Guangdong	$x_1$							$x_1$							
	$x_2$	0.916**	0.614			0.302	0.302	$x_2$	0.902**	0.609			0.293	0.293	
	$x_3$	0.873**	0.364	0.509			0.509	$x_3$	0.858**	0.353	0.505				0.505

Note:  $x_1$ , shell height;  $x_2$ , shell length;  $x_3$ , shell width

## 2.4 表型性状对活体质量、软体质量的决定程度

各表型性状及各表型性状间对活体质量的决定系数结果显示, 辽宁丹东、河北秦皇岛和江苏连云港群体的壳高, 山东沙子口、辽宁庄河和浙江象山群体的壳宽, 福建厦门和广东惠州群体的壳长对缢蛭活体质量的决定程度最大。8 个不同地理群体缢蛭的表型性状对活体质量的决定系数的总和分别为 0.801, 0.913, 0.485, 0.686, 0.430, 0.698, 0.664 和 0.880, 分别与相关系数近似相等, 表明本研究中不同地理群体缢蛭的 3 个表型性状壳高、壳长和壳宽均是影响活体质量的主要因素(表 4)。

各表型性状及各表型性状间对软体质量的决定系数结果显示, 辽宁丹东、辽宁庄河、河北秦皇岛、浙江象山和广东惠州群体的壳长, 山东沙子口、江苏连云港、福建厦门群体的壳高对缢蛭软体质量的决定程度最大。8 个不同地理群体缢蛭的表型性状对软体质量的决定系数的总和分别为 0.715, 0.706, 0.404, 0.650, 0.314, 0.709, 0.501, 0.852, 分别与相关系数近似相等, 表明本研究中不同地理群体缢蛭的 3 个表型性状壳高、壳长和壳宽均是影响软体质量的主要因素(表 4)。

表 4 不同地理群体缢蛭表型性状对活体质量、软体质量的决定系数

Table 4 Determination coefficients of morphological traits on living body weight and soft body weight of different geographical populations of *S. constricta*

地理群体 Geographical population	性状 Trait	活体质量 Living body weight				相关系数 Correlation index	软体质量 Soft body weight				相关系数 Correlation index
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	合计 Total		$x_1$	$x_2$	$x_3$	合计 Total	
Dandong, Liaoning	$x_1$	0.218	0.366								
	$x_2$		0.217				0.287	0.268			
	$x_3$				0.801	0.802			0.160	0.715	0.714
Zhuanghe, Liaoning	$x_1$										
	$x_2$		0.219	0.431			0.706				
	$x_3$			0.263	0.913	0.914				0.706	0.706
Qinhuangdao, Hebei	$x_1$	0.166		0.165							
	$x_2$						0.404				
	$x_3$			0.154	0.485	0.484				0.404	0.405
Shazikou, Shandong	$x_1$	0.166		0.193			0.305		0.183		
	$x_2$										
	$x_3$			0.327	0.686	0.686			0.162	0.650	0.649
Lianyungang, Jiangsu	$x_1$	0.430					0.314				
	$x_2$										
	$x_3$				0.430	0.430				0.314	0.314
Xiangshan, Zhejiang	$x_1$										
	$x_2$		0.171	0.222				0.307	0.226		
	$x_3$			0.305	0.698	0.698			0.176	0.709	0.710
Xiamen, Fujian	$x_1$						0.218		0.171		
	$x_2$		0.307	0.217							
	$x_3$			0.140	0.664	0.664			0.112	0.501	0.501
Huizhou, Guangdong	$x_1$										
	$x_2$		0.377	0.371				0.371	0.356		
	$x_3$			0.132	0.880	0.881			0.125	0.852	0.852

Note:  $x_1$ , shell height;  $x_2$ , shell length;  $x_3$ , shell width

## 2.5 多元回归方程的建立与检验

经多元回归分析,对不同地理群体缢蛭各表型性状的偏回归系数进行显著性检验,结果均达到显著性水平( $P < 0.05$ )(表 5)。在此基础上,采用逐步回归分析方法分别建立不同地理群体缢蛭活体质量和软体质量最优回归方程。辽宁丹东群体: $y_1 = -19.368 + 0.805x_1 + 0.251x_2$ ,  $y_2 = -10.538 + 0.182x_2 + 0.447x_3$ ;辽宁庄河群体: $y_1 = -1.969 + 0.229x_2 + 0.397x_3$ ,  $y_2 = -0.785 + 0.213x_2$ ;河北秦皇岛群体: $y_1 = -14.435 +$

$0.753x_1 + 0.938x_3$ ,  $y_2 = -7.780 + 0.281x_2$ ;山东沙子口群体: $y_1 = -24.031 + 0.795x_1 + 1.682x_3$ ,  $y_2 = -13.719 + 1.001x_1 + 0.483x_3$ ;江苏连云港群体: $y_1 = -7.955 + 0.964x_1$ ,  $y_2 = -6.689 + 0.593x_1$ ;福建厦门群体: $y_1 = -15.473 + 0.325x_2 + 0.637x_3$ ,  $y_2 = -11.469 + 0.633x_1 + 0.449x_3$ ;浙江象山群体: $y_1 = -26.526 + 0.392x_2 + 1.100x_3$ ,  $y_2 = -20.148 + 0.339x_2 + 0.540x_3$ ;广东惠州群体: $y_1 = -15.980 + 0.318x_2 + 0.614x_3$ ,  $y_2 = -10.524 + 0.212x_2 + 0.402x_3$ 。

表 5 不同地理群体缢蛭表型性状对活体质量、软体质量的偏回归系数显著性检验

Table 5 Significance test of partial regression coefficient of morphological traits on living body weight and soft body weight of different geographical populations of *S. constricta*

地理群体 Geographical population		活体质量 Living body weight				软体质量 Soft body weight			
		偏回归系数 Partial regression coefficient	标准偏回归系数 Standard partial regression coefficient	<i>t</i>	显著性 Sig.	偏回归系数 Partial regression coefficient	标准偏回归系数 Standard partial regression coefficient	<i>t</i>	显著性 Sig.
Dandong, Liaoning	Constant	-19.368				-10.538			
	$x_1$	0.805	0.467	2.950	0.006				
	$x_2$	0.251	0.466	2.943	0.007	0.182	0.536	4.062	0.000
	$x_3$					0.447	0.400	3.031	0.005
Zhuanghe, Liaoning	Constant	-1.969				-0.785			
	$x_1$								
	$x_2$	0.229	0.468	3.662	0.001	0.213	0.84	8.200	0.000
	$x_3$	0.397	0.513	4.016	0.000				
Qinhuangdao, Hebei	Constant	-14.435				-7.780			
	$x_1$	0.753	0.407	2.524	0.018				
	$x_2$					0.281	0.636	4.366	0.000
	$x_3$	0.938	0.392	2.426	0.022				
Shazikou, Shandong	Constant	-24.031				-13.719			
	$x_1$	0.795	0.408	3.442	0.002	1.001	0.552	4.402	0.000
	$x_2$								
	$x_3$	1.682	0.572	4.832	0.000	0.483	0.402	3.206	0.003
Lianyungang, Jiangsu	Constant	-7.955				-6.689			
	$x_1$	0.964	0.656	4.598	0.000	0.593	0.560	3.578	0.001
	$x_2$								
	$x_3$								
Xiangshan, Zhejiang	Constant	-26.526				-20.148			
	$x_1$								
	$x_2$	0.392	0.414	3.418	0.002	0.339	0.554	4.672	0.000
	$x_3$	1.100	0.552	4.566	0.000	0.540	0.420	3.545	0.001
Xiamen, Fujian	Constant	-15.473				-11.469			
	$x_1$					0.633	0.467	2.876	0.008
	$x_2$	0.325	0.554	4.234	0.000				
	$x_3$	0.637	0.374	2.861	0.008	0.449	0.334	2.056	0.005
Huizhou, Guangdong	Constant	-15.980				-10.524			
	$x_1$								
	$x_2$	0.318	0.614	5.167	0.000	0.212	0.609	4.604	0.000
	$x_3$	0.614	0.364	3.061	0.005	0.402	0.353	2.673	0.013

Note:  $x_1$ , shell height;  $x_2$ , shell length;  $x_3$ , shell width; Sig. indicates significant difference level



### 3 讨论

在贝类苗种繁育中,通过表型性状的选育来实现质量性状的选育能获得事半功倍的效果。贝类的主要表型性状包括壳长、壳宽、壳高等形态性状,这些形状易于准确测量。质量性状主要包含活体质量和软体质量,其中活体质量是最直接的目标性状;软体部分是可食用部分,其质量决定品质的好坏<sup>[19]</sup>。本研究利用相关分析、通径分析和多元回归分析等方法探讨我国沿海8个地理群体缢蛭的表型性状与质量性状的关系,找出影响质量性状的直接表型性状,为缢蛭的选择育种提供参考依据。

性状间的相关系数是性状两两之间密切程度的综合体现。本研究中各表型性状与活体质量、软体质量之间的相关性均达到极显著水平( $P < 0.01$ ),但表型相关分析只是简单地估测两个变量之间的相关系数,在多变量情况下其并不能完全反应变量之间的真实相关程度,包含了变量之间的直接关系和通过其他变量影响的间接关系,会导致结果存在片面性。然而,通径分析能将相关系数剖分为直接作用和间接作用,其中直接作用即是通径系数。因通径系数不会受到其他变量的影响,故可采用通径分析来找出两个性状之间的真实关系。孙静等<sup>[20]</sup>运用相关分析和通径分析比较不同地理群体合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)双列杂交子代数量性状,发现软体质量最具有选择潜力;梁健等<sup>[12]</sup>采用相关分析与通径分析方法筛选影响菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)软体质量的表型指标,得出南方群体北方养殖蛤仔群体的壳宽直接作用最大,北方土著品种群体的主要直接作用是壳长,南方群体南方养殖蛤仔群体的主要直接作用是壳高;邓正华等<sup>[21]</sup>经多元统计分析研究长肋日月贝(*Amusium pleuronectes*)表型性状对4个经济性状的作用,结果表明不同地区影响其经济性状的表型性状有所不同;孙俭等<sup>[22]</sup>利用通径分析探讨3个海湾扇贝(*Argopecten irradians*)群体各可量性状对闭壳肌重的影响,结果显示加拿大和山东群体壳宽对闭壳肌的直接作用最大,大连群体的软体部重对闭壳肌的直接效应最大。本研究中,壳高对辽宁丹东、河北秦皇岛和江苏连云港群体活体质量的直接作用最大,壳长对福建厦门和广东惠州群体的直接作用最大,壳宽对辽宁庄河、山东沙子口和浙江象山群体的直接作用最大。辽宁丹东、辽宁庄河、河北秦皇岛、浙江象山、广东惠州群体壳长对缢蛭软体质量的直接作

用最大,山东沙子口、江苏连云港和福建厦门群体壳高的直接作用最大。由此可见,不同地理群体缢蛭的表型性状对活体质量和软体质量有直接影响作用的性状是有差异的。

在相关分析的基础上进行决定系数分析。当各自变量对因变量的单独决定系数和两两共同决定系数的总和或相关系数大于或等于0.85时,表明影响因变量的主要自变量已经找到<sup>[23]</sup>。本研究中,辽宁庄河缢蛭活体质量的决定系数总和(0.913)大于0.85,说明影响该群体活体质量的表型性状已明确;惠州缢蛭软体质量的决定系数总和(0.852)约等于0.85,证明已找到影响该地理群体软体质量的自变量。其余地理群体缢蛭的相关指数大于0.4,但小于0.85,表明影响缢蛭活体质量与软体质量的部分性状已经被找到,但还存在其他影响缢蛭活体质量和软体质量的因素,从而造成相关性的差异,这种差异可能与其生存环境密切相关。本次采样中,各群体所处的气候带不同。河北秦皇岛、辽宁丹东、辽宁庄河、山东青岛属于暖温带海域,江苏连云港和福建厦门属于北亚热带海域,浙江宁波属于亚热带海域,广东惠州属于热带海域。同时,缢蛭属于埋栖型贝类,它的形态在一定程度上与底质相关:河北秦皇岛以平原沙质海岸为主,辽宁丹东为平原淤泥质海岸,辽宁庄河为岬湾淤泥质海岸,山东青岛海岸以粉沙质、粉细砂黏土为主,江苏连云港为淤泥质海岸,福建厦门和浙江象山多为砂质海岸,广东惠州海岸为粒度较细的粉沙质黏土软泥。另外,缢蛭主要以底栖硅藻为食。据报道,我国南北方潮间带底栖硅藻的种类分布不同,南方种类明显多于北方<sup>[24]</sup>。因此,为适应生存环境,缢蛭的表型特征会随之产生地理变异。再者,形态差异产生的原因可能与性别、自身遗传物质的变异水平相关<sup>[25]</sup>。

### 4 结论

在相关分析和通径分析的基础上进行多元回归分析,建立最优回归方程,可客观真实地反映不同地理群体缢蛭表型性状与活体质量、软体质量之间的关系,为遗传育种和人工繁殖提供理论依据。当以活体质量为选育目标达成更高的经济效益时,缢蛭的人工选育应根据其地理位置进行相应的表型性状选择。辽宁丹东海域应以壳高为首选性状,同时兼顾对壳长的协同选择;辽宁庄河和浙江象山海域首先考虑壳宽,并加强对壳长的协同选择;福建厦门和广东惠州

海域应以壳长为首选,同时兼顾壳宽;河北秦皇岛海域以壳高优先,协同壳宽;山东沙子口海域应以壳宽为首选性状,并加强壳高的协同选择。当以软体质量为选育目标达成更高的经济效益时,辽宁丹东、浙江象山和广东惠州海域应以壳长为首选性状,同时兼顾对壳宽的选择;辽宁庄河、河北秦皇岛海域应以壳长为首选性状;山东沙子口、福建厦门海域应以壳高为首选性状,同时兼顾对壳宽的选择;江苏连云港海域应以壳高为首选性状。

#### 参考文献

- [1] 徐凤山,张素萍,王少青. 中国海产双壳类图志[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [2] 施振宁. 南美白对虾与缢蛭套养试验[J]. 科学养鱼, 2017(7):50-51.
- [3] 《中国渔业统计年鉴》编辑委员会. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2021.
- [4] 李浩. 缢蛭选育系生长参数估计和 $\alpha$ -淀粉酶基因外显子区域 SNPs 筛选及生长关联分析[D]上海:上海海洋大学,2018.
- [5] 魏海军,邓正华,陈明强,等. 靛巴非蛤形态性状对体质量的影响[J]. 水产科学,2021,40(2):233-238.
- [6] 陈健,郭丹,翟子钦,等. 对角蛤形态性状对活体质量的影响效果分析[J]. 北部湾大学学报,2020,35(8):8-14.
- [7] 张新明,程顺峰,张敏. 日照海域紫贻贝形态性状对体质量的影响[J]. 水产学杂志,2020,33(4):29-34.
- [8] 邹杰,彭慧婧,张守都,等. 施氏獭蛤壳体表型性状对体质量的影响分析[J]. 水产科学,2020,39(4):573-578.
- [9] 陈健,白丽蓉,罗会,等. 2种贝龄合浦珠母贝数量性状的相关与通径分析[J]. 南方农业学报,2020,51(10):2557-2564.
- [10] JIANG F J, YUE X, ZHANG S J, et al. Heritability of resistance-related gene expression traits and their correlation with body size of clam *Meretrix petechialis* [J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2020, 38(2):571-578.
- [11] ZHAN Y Y, ZHANG W J, GE C, et al. Relationships between body weight and other morphological traits in young sea cucumbers *Apostichopus japonicus* [J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2019, 37(2):759-766.
- [12] 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.
- [13] ZHAO L Q, HE Y Y, YANG F, et al. Correlation and path analysis of morphological and weight traits in marine gastropod *Glossaulax reiniana* [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2014, 32(4):821-827.
- [14] 韦嫔媛,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.
- [15] 丛玉婷,王丽,卢亚楠,等. 缢蛭表型性状对体质量和软体部重的影响效应分析[J]. 水产养殖,2019,40(1):28-32.
- [16] 薛宝宝,李浩,牛东红,等. 不同月龄缢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.
- [17] 滕爽爽,林兴管,方军,等. 缢蛭不同种群数量形态特征的比较分析[J]. 海洋湖沼通报,2020(4):127-137.
- [18] 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.
- [19] 陈健,郭丹,翟子钦,等. 西施舌形态性状与体质量性状的相关性分析[J]. 南方水产科学,2021,17(1):45-51.
- [20] 孙静,陈明强,魏海军,等. 不同地理群体合浦珠母贝双列杂交子代数量性状比较及其相关和通径分析[J]. 南方农业学报,2020,51(6):1451-1461.
- [21] 邓正华,陈明强,李有宁,等. 5个地区长肋日月贝形态性状对主要经济性状的相关性和通径分析[J]. 中国渔业质量与标准,2018,8(2):17-28.
- [22] 孙俭,王国栋,周玮,等. 三个海湾扇贝群体可量性状对闭壳肌重的通径分析[J]. 河北渔业,2017(3):31-36.
- [23] 王中霞,孟晶,陈树荣. 小刀蛭壳性状与活体质量、软体部重的相关分析[J]. 水产养殖,2017,38(10):28-33.
- [24] 徐帅帅,邸宝平,王玉珏,等. 我国典型潮间带底栖硅藻群落空间分布特征[J]. 海洋学报,2017,39(6):95-113.
- [25] 刘达博,牛东红,姜志勇,等. 缢蛭 7 群体的形态差异与判别分析[J]. 海洋渔业,2009,31(4):363-368.

## Effects of Phenotypic Traits on Quality Traits of *Sinonovacula constricta* in 8 Coastal Geographic Populations of China

WU Xueping, WEI Xionggang, WEI Meichun, HUANG Keyun, WANG Wenjie, TONG Tong  
(School-level Key Laboratory of Marine Biological Resources Protection and Utilization, Guangxi University for Nationalities, Nanning, Guangxi, 530008, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of phenotypic traits on living body weight and soft body weight of *Sinonovacula constricta* in different geographic populations, in this study, eight geographic populations of *Sinonovacula constricta*, including Dandong (Liaoning), Zhuanghe (Liaoning), Qinhuangdao (Hebei), Shazikou (Shandong), Lianyungang (Jiangsu), Xiangshan (Zhejiang), Xiamen (Fujian) and Huizhou (Guangdong), were selected as the research objects. The shell height, shell length, shell width, living body weight and soft body weight of each population were measured. Correlation analysis and path analysis were used to calculate the path coefficient and determination coefficient of each phenotypic trait to living body quality and soft body quality, respectively. The results showed that the correlation coefficients between the traits of different geographical groups were significant ( $P < 0.05$ ). Determinant coefficient analysis showed that different geographical populations of *S. constricta* had different effects on phenotypic traits of living body weight and soft body weight. The largest phenotypic trait directly affecting the living quality of *S. constricta* was shell height in Dandong of Liaoning, Qinhuangdao of Hebei and Lianyungang of Jiangsu, shell width in Zhuanghe of Liaoning, Shazikou of Shandong and Xiangshan of Zhejiang, shell length in Xiamen of Fujian and Huizhou of Guangdong. The largest phenotypic traits directly affecting the soft weight of *S. constricta* were shell length in Dandong, Zhuanghe, Qinhuangdao, Xiangshan and Huizhou populations, and shell height in Shazikou, Lianyungang and Xiamen. Excluding independent variables that are not apparent in path coefficient test, the optimal regression equation of phenotypic traits of *S. constricta* in different geographical populations on living body quality and soft body quality was established by stepwise regression method. The results showed that the regression relationship reached extremely significant level ( $P < 0.01$ ). The results of this study can provide a theoretical reference for the selection and breeding of *S. constricta* in practice.

**Key words:** *Sinonovacula constricta*; phenotypic traits; different geographical groups; correlation analysis; path analysis; multiple regression analysis

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxk@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxk.ijournal.cn/gxxk/ch>