

文章编号: 1000-0615(2018)06-0941-09

DOI: 10.11964/jfc.20171111056

不同月龄缢蛏新品种数量性状的相关与通径分析

薛宝宝, 李浩, 牛东红, 李家乐*, 沈和定*

(上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 水产科学国家级实验教学示范中心, 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 为了检测缢蛏新品种“申浙1号”不同月龄数量性状间的相关性。随机选取4、9、11月龄缢蛏个体60个以上, 测量其壳长(SL)、壳高(SH)、壳宽(SW)、活体质量(W), 采用相关与通径分析方法分析壳形态性状对活体质量的作用效果。结果显示, 各数量性状间的相关关系均达到极显著水平, 其中与4、11月龄质量相关系数最大的是壳长, 分别为0.911、0.631, 与9月龄活体质量相关系数最大的是壳高, 为0.653。通径分析结果显示, 对4、9、11月龄活体质量的直接影响最大的分别是壳长(0.562)、壳宽(0.433)、壳高(0.394), 决定系数与以上通径分析结果的变化趋势一致。利用逐步回归的方法分别建立4、9、11月龄缢蛏活体质量(W)的最优回归方程: $W_4 = -0.756 + 0.039SL + 0.112SW$, $R^2 = 0.849$; $W_9 = -10.622 + 0.095SL + 0.404SH + 0.644SW$, $R^2 = 0.631$; $W_{11} = -23.772 + 0.207SL + 0.805SH + 0.587SW$, $R^2 = 0.909$ 。研究结果为缢蛏人工选育过程中的亲贝选择和产量预测等提供了基础数据。

关键词: 缢蛏; 贝龄; 数量性状; 相关分析; 通径分析

中图分类号: Q 348; S 968.3

文献标志码: A

缢蛏(*Sinonovacula constricta*), 俗称蛏子、蜻子, 属软体动物门(Mollusca)、瓣鳃纲(Lamellibranchia)、异齿亚纲(Heterodonta)、帘蛤目(Veneroidea)、竹蛏科(Solenidae)、缢蛏属(*Sinonovacula*)^[1], 主要分布于西太平洋沿海的中国和日本。缢蛏作为中国沿海地区的主要经济贝类, 从北部的辽宁至南部广东沿海均有分布, 是中国四大海水养殖贝类之一, 养殖历史悠久。在中国浙江、福建、山东、江苏、辽宁、广东和广西沿海均已开展养殖, 2016年的全国养殖面积58 294 hm², 产量达823 024 t^[2]。

贝类育种中, 壳形态性状(壳长、壳高、壳宽)和体质量(活体质量、软体质量)是贝类重要的测量指标和目标性状^[3-4]。研究遗传变异的同时对数量性状进行全面的分析比较, 用有效参数来研究形态性状与基因变异的关系及不同群体间的差异是现代群体遗传学研究的热点^[5]。在海

洋贝类苗种繁育和家系培育过程中, 通常根据数量性状、活体质量(鲜重)等指标来选择亲本。活体质量的测量需要去除多余的水分, 难以操作且存在误差; 然而, 壳形态性状则易于准确、快速地测量。国内外学者通过相关分析、通径分析和多元回归分析等方法研究了欧洲扇贝(*Pecten maximus*)^[6]、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)^[7-8]、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)^[9]、青蛤(*Cyclina sinensis*)^[10]、文蛤(*Meretrix meretrix*)^[11]、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)^[12]等海产经济贝类壳形态性状与活体质量的关系。本研究通过对“申浙1号”不同月龄缢蛏的壳形态性状和活体质量进行相关分析、通径分析和多元回归分析, 找出壳形态性状中对活体质量影响最直接和最重要的因素, 旨在提高亲本选择效率和新品种的产量预测, 为进一步制定合理的缢蛏新品种培育计划提供理论依据。

收稿日期: 2017-11-16 修回日期: 2018-01-16

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A400-3); 上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心(ZF1206)

通信作者: 李家乐, E-mail: jlli@shou.edu.cn; 沈和定, E-mail: hdshen@shou.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验对象

2017年2月、7月和9月，分别从宁海潮渔水产养殖有限公司采集月龄为4、9、11月的缢蛏新品种“申浙1号”快长群体，随机抽取个体数分别为70、159、61枚，取回清洗处理后测量。

1.2 数据测量与处理

用电子游标卡尺(精度为0.01 mm)测量缢蛏的壳长(SL= d_{AB})、壳高(SH= d_{CD})、壳宽(SW: 两壳E、F间的最大距离)，测量位点如图1。用电子天平(精度为0.001 g)测量缢蛏的活体质量(W)。

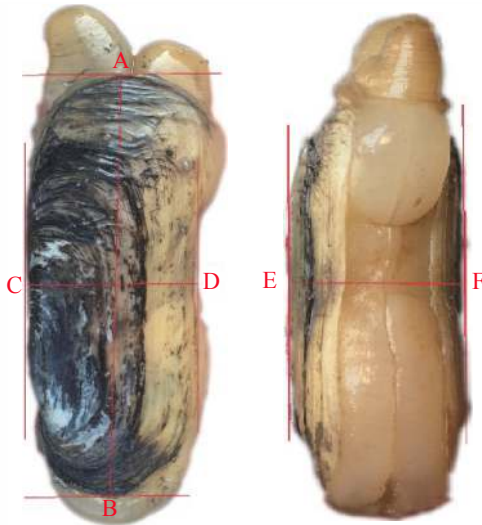


图1 缢蛏壳形态性状测量位点

d_{AB} 为壳长， d_{CD} 为壳高，壳宽为壳E、F间的最大距离(两壳合拢后)

Fig. 1 Landmark points of morphological measurement in *S. constricta*

The distance of AB is shell length, the distance of CD is shell height, two valves(E, F) closed gap is shell width

用Excel软件对数据进行处理，得到数量性状的平均值、标准差和变异系数。数据分析参照Huo等^[13]的方法，使用SPSS 20.0软件进行分析，对各性状进行相关分析、途径分析，并计算决定系数，采用逐步回归系数显著的壳形态性状对活体质量建立回归方程。设置0.05为显著水平，0.01为极显著水平。相关系数(r)、途径系数(P_i)、相关系数(R^2)和决定系数(d_i)的计算公式：

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

$$P_i = b_{x_i} \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_{y_i}} \tag{2}$$

$$P_{i-j-y} = r_{ij} P_{jy} \tag{3}$$

$$R^2 = P_i r_{x_i y} \tag{4}$$

$$d_i = P_i^2 \text{ 或 } d_{ij} = 2r_{ij} P_i P_j \tag{5}$$

式(2)中， b_{x_i} 为自变量的偏回归系数， σ_{x_i} 为自变量的标准差， σ_{y_i} 为因变量的标准差；式(3)中， P_{i-j-y} 为*i*通过*j*对*y*的间接作用；式(4)中， $r_{x_i y}$ 为自变量与因变量之间的相关系数；式(5)中， d_i 为单一自变量对因变量的决定系数， 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途径系数。

2 结果

2.1 性状的描述统计量

通过对3个贝龄期(4、9、11月龄)数量性状的统计分析，缢蛏新品种“申浙1号”1年即可达到商品上市规格(表1)。由变异系数可知，活体质量的变异系数大于壳形态性状的变异系数，活体质量的选择潜力大于壳形态性状。

2.2 数量性状间的相关性分析

实验中所有的数量性状均表现为极显著相关($P < 0.01$)，说明对实验中所选的壳形态性状进行相关性分析具有实际意义；不同月龄的壳形态性状与活体质量相关系数不同，4月龄和11月龄壳长与活体质量的相关系数最高，分别为0.911、0.631；9月龄，壳高与活体质量的相关系数最高，为0.653(表2)。从相关强度^[14]分析，4月龄中所有性状高度相关($r > 0.70$)，9月龄中，除壳长与壳宽为弱度相关外($r < 0.4$)，其余均为中度相关($0.4 < r < 0.7$)。

2.3 壳形态性状与活体质量间的回归分析

通过对不同月龄缢蛏的壳形态性状相关关系进行拟合，壳长、壳高、壳宽之间呈线性关系(图2)，壳形态性状与活体质量间也可能存在线性关系。以壳形态性状为自变量，活体质量

表 1 不同月龄缙蛭新品种生物学性状的描述统计量

Tab. 1 The description of the character statistics for *S. constricta* at different months of age

月龄 month age	参数 parameter	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	壳宽/mm shell width	活体质量/g body weight
4	平均值±标准差 mean±SD	18.60±2.45	6.83±0.75	3.64±0.57	0.38±0.17
	变异系数/% coefficient of variation	13.17	10.98	15.66	44.74
9	平均值±标准差 mean±SD	47.24±2.90	16.47±1.01	12.76±0.84	8.77±1.25
	变异系数/% coefficient of variation	6.14	6.91	6.57	14.21
11	平均值±标准差 mean±SD	59.65±4.68	19.50±1.66	16.40±1.90	13.90±3.40
	变异系数/% coefficient of variation	7.85	8.51	11.59	24.46

注: 变异系数(%)=(标准差/平均值)×100

Notes: CV(%)=(SD/mean)×100

表 2 不同月龄缙蛭数量性状相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between the quantitative character for *S. constricta* at different months of age

月龄 month age	性状 character	活体质量/g body weight	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	壳宽/mm shell width
4	活体质量 body weight	1	0.911**	0.887**	0.897**
	壳长 shell length		1	0.943**	0.926**
	壳高 shell height			1	0.916**
	壳宽 shell width				1
9	活体质量 body weight	1	0.608**	0.653**	0.649**
	壳长 shell length		1	0.678**	0.376**
	壳高 shell height			1	0.402**
	壳宽 shell width				1
11	活体质量 body weight	1	0.631**	0.537**	0.557**
	壳长 shell length		1	0.824**	0.827**
	壳高 shell height			1	0.866**
	壳宽 shell width				1

注: **表示在0.01水平(双侧)上极显著相关, 下同

Notes: ** means very significant difference ($P<0.01$), the same below

为因变量, 用SPSS软件进行回归分析, 得到对因变量影响显著的各自变量的偏回归系数(表3)。根据显著性检验结果, 保留偏回归系数达到显著水平的性状($P<0.05$), 剔除不显著的性状。得到不同月龄缙蛭壳形态性状对活体质量的最优回归方程: 4月龄: $W_4 = -0.756 + 0.039 SL + 0.112 SW$, $R^2 = 0.849$; 9月龄: $W_9 = -10.622 + 0.095 SL + 0.404 SH + 0.644 SW$, $R^2 = 0.631$; 11月龄: $W_{11} = -23.772 + 0.207 SL + 0.805 SH + 0.587 SW$, $R^2 = 0.909$ 。多元线性回归的方差分析表明, 活体质量与形态性状之间的回归达到极显著水平($P<0.01$)(表4)。其中 F 值分别为189.084、88.238、189.488, 均符合

$P<0.01$, 方差分析结果差异显著, 说明方差分析是有意义的, 可以应用于实际生产中。

2.4 壳形态性状对活体质量影响的通径分析

通过逐步回归分析, 剔除差异不显著的壳形态性状, 计算得到壳形态性状对活体质量的通径系数(直接作用)和间接作用, 壳高对活体质量的影响无显著性差异, 被剔除。由表5可知, 对4月龄直接作用最大的是壳长, 为0.562, 对4月龄间接作用最大的是壳宽通过壳长对活体质量的间接影响(0.520); 对9月龄直接作用中, 壳宽(0.433)>壳高(0.328)>壳长(0.221), 壳长通过壳高对活体质量的间接影响最大, 为0.222; 对11月

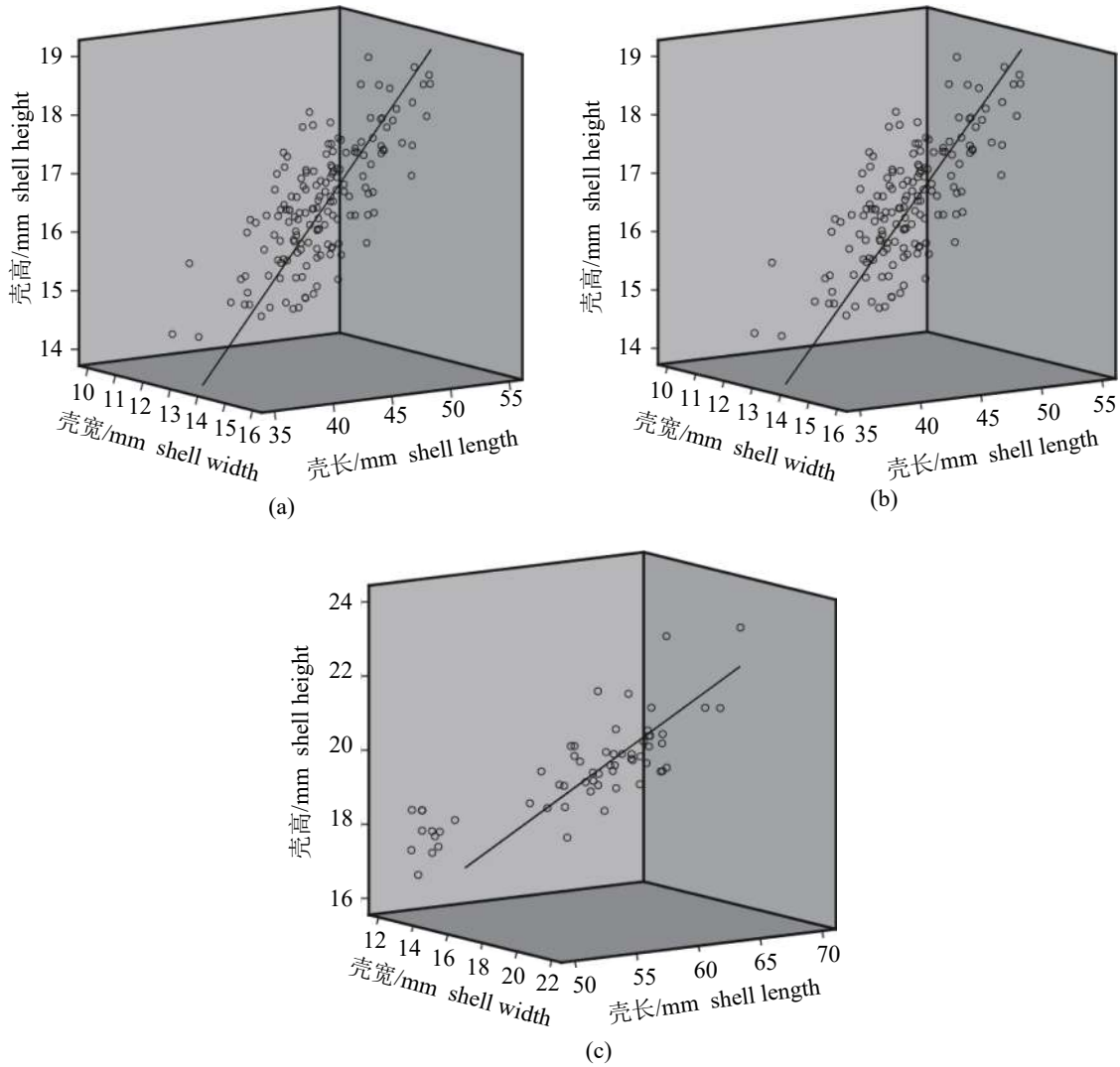


图2 缢蛏壳形态性状的相关性分析

图中(a)、(b)、(c)分别为4、9、11月龄缢蛏壳形态性状间的三维散点图

Fig. 2 The correlation analysis of shell morphological characters of *S. constricta*

Histological examination of (a), (b), (c) indicates the three-dimensional scatter plot of shell morphological characters of *S. constricta* at 4th, 9th and 11th month age

龄直接作用中，壳高(0.394)>壳宽(0.329)>壳长(0.285)，壳宽通过壳高对活体质量的间接影响最大，为0.341。

2.5 壳形态性状对活体质量的决定程度

根据式(4)计算得到壳形态性状对活体质量的决定系数(图3)。SL-SL、SH-SH、SW-SW表示单一自变量对应变量的决定系数；SL-SH、SL-SW、SH-SW表示两个自变量对应变量的决定系数。相同养殖群体在不同月龄时，对活体质量起决定作用的壳形态性状不同，4、9、11月龄单参数决定系数最大的分别为壳长(0.316)、壳宽(0.187)、壳高(0.155)。4月龄壳长与壳宽对活体

质量的间接决定系数为0.391，9月龄和11月龄对活体质量间接决定最大的是壳高和壳宽。因此，以活体质量为目标性状挑选4月龄幼贝时，从壳形态性状上首先要选择壳长，同时加强对壳宽的协同选择。以活体质量为目标挑选11月龄成贝时，应以壳高为优先选择，同时加强壳宽的协同选择。

3 讨论

3.1 对缢蛏数量性状研究的意义

在数量遗传研究中，多重数量性状之间的关系研究是一个重要领域^[15-16]，贝类人工繁育过

表 3 不同月龄缢蛏数量性状的偏回归系数检验

Tab. 3 The test of partial regression coefficient of quantitative character of *S. constricta* at different months of age

月龄 month age	参数 parameter	偏回归系数 partial regression coefficient	标准差 mean	<i>t</i>	<i>Sig</i>
4	常数 constant	-0.756	0.064	-11.838	0
	壳长 shell length	0.039	0.009	4.486	0
	壳宽 shell width	0.112	0.038	2.975	0
9	常数 constant	-10.622	1.200	-8.855	0
	壳长 shell length	0.095	0.029	3.697	0.001
	壳高 shell height	0.404	0.084	4.556	0
	壳宽 shell width	0.644	0.080	3.775	0
11	常数 constant	-23.772	1.926	-12.343	0
	壳长 shell length	0.207	0.056	3.697	0
	壳高 shell height	0.805	0.177	4.556	0
	壳宽 shell width	0.587	0.156	3.775	0

表 4 缢蛏壳形态性状与活体质量间的多元回归方程的方差分析

Tab. 4 Analysis of variance of the multiple regression equations between body weight traits and morphological traits for *S. constricta*

月龄 month age	方差来源 source of variance	平方和 sum of squares	<i>d_f</i>	均方 mean square	<i>F</i> 值 <i>F</i> -value	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
4	回归 regression	1.714	2	0.857	189.084	0
	残差 residual error	0.304	67	0.005		
	总计 total	2.017	69			
9	回归 regression	154.766	3	51.589	88.238	0
	残差 residual error	90.621	155	0.585		
	总计 total	245.388	158			
11	回归 regression	630.142	3	210.047	189.488	0
	残差 residual error	63.184	57	1.108		
	总计 total	693.327	60			

程中, 亲本选择极其重要, 在很大程度上取决于数量性状, 其中活体质量是最直接的目标性状^[17]。本研究利用相关分析、通径分析等方法, 研究缢蛏新品种“申浙1号”壳形态性状与活体质量的关系, 找出影响活体质量的主要壳形态性状, 对缢蛏良种繁育的深入开展具有良好的指导意义。

3.2 相关分析与通径分析的关系

相关系数是两变量间关系的综合体现, 它既可包括变量间的直接关系, 也包括通过其他变量影响的间接关系。利用表型性状相关分析

可以了解各数量性状之间关系的密切程度, 但相关分析不能全面考察变量间的相互关系, 会使结果带有一定的片面性。因此, 单纯采用相关性分析不能正确表述两个性状间的真实关系。

通径系数是变量标准化的偏回归系数, 表示了变量间的直接关系, 而且不受其他变量的影响。利用通径分析可以把相关系数剖分为直接影响和间接影响两部分, 能够真实地反映各自变量和因变量的关系, 从而全面反映原因和结果的相对重要性。通径分析中, 一般以自变量对因变量的表型相关系数达到显著水平为自

表 5 不同月龄缢蛏壳形态性状对活体质量影响的通径分析

Tab. 5 The path coefficients of the morphological to body weight for *S. constricta* at different months of age

月龄 month age	性状 trait	相关系数 r_{ij} relative coefficient	直接作用 P_i direct effect	间接作用 $r_{ij}P_i$ indirect effect			
				Σ	SL	SH	SW
4	SL	0.911**	0.562	0.348			0.348
	SW	0.897**	0.376	0.520	0.520		
9	SL	0.608**	0.221	0.385		0.222	0.163
	SH	0.653**	0.328	0.324	0.150		0.174
	SW	0.649**	0.433	0.215	0.083	0.132	
11	SL	0.881**	0.285	0.597		0.325	0.272
	SH	0.913**	0.394	0.520	0.235		0.285
	SW	0.906**	0.329	0.577	0.236	0.341	

注：以第一行为例， Σ 代表壳长通过壳宽和壳高对活体质量的间接作用之和

Notes: take the first row as an example, Σ represents the effect of the shell length on the body weight through the shell width and the shell height constant

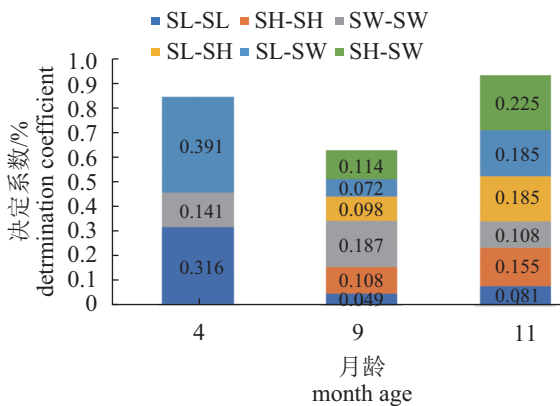


图 3 壳形态性状对活体质量的决定系数

SL-SL、SH-SH、SW-SW表示单一自变量对因变量的决定系数；SL-SH、SL-SW、SH-SW表示两个自变量对因变量的决定系数

Fig. 3 The determinant coefficients of morphological traits to the body weight traits of *S. constricta*

SL-SL, SH-SH, SW-SW were determination coefficient of single independent variable to dependent variable; SL-SH, SL-SW, SH-SW were determination coefficient of two independent variables which influence the dependent variable

变量的选入条件，同时将那些不显著者进行剔除^[18]，本实验中，4月龄的壳高被剔除；9、11月龄时，壳长、壳高、壳宽对活体质量的相关系数均呈极显著正相关($P < 0.01$)，符合自变量入选的条件，可以进行进一步的分析和统计。

3.3 不同月龄缢蛏壳形态性状与活体质量的关系

在通径系数分析和决定系数分析时，当相

关系系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(总决定系数) $\Sigma d \geq 0.85$ 时，表明影响因变量的主要自变量已经找到^[19-20]。

不同月龄壳形态性状对活体质量的相关指数(R^2)分别为0.849、0.631、0.909，近似等于决定系数总和 Σd ，4月龄和11月龄的决定系数总和接近1，说明大多数影响质量的性状已被分析；11月龄壳形态性状对活体质量的相关指数大于0.85，所列壳形态性状是影响活体质量的重点性状。4、9月龄时的 Σd 小于0.85，可能原因是性腺成熟程度不同造成的，而4月龄近似等于0.85，此时性腺还没有开始发育，对其影响几乎为0。闫喜武等^[21]在对四角蛤蜊(*Macatra veneriformis*)的研究中发现，影响活体质量和软体质量的主要性状并不相同，猜测性腺重可能是影响滩涂贝类重量性状的原因之一。

Huo等^[13]在不同贝龄菲律宾蛤仔对重量性状的影响效果分析中，得出不同贝龄蛤仔对重量性状起决定影响的形态性状并不相同。本研究显示，同一养殖环境下缢蛏“申浙1号”在不同阶段表现出不同的体型特征，对活体质量起决定影响的壳形态性状不同，4月龄时的主要影响因子为壳长，其次为壳宽；9月龄时主要影响因子为壳宽，其次为壳高；11月龄时的主要影响因子为壳高，其次为壳宽。而由学策等^[22]研究得出缢蛏对活体质量的主要决定因子为壳高，其次为壳宽。郑怀平等^[23]研究得出，3月龄华贵栉孔扇

贝以壳长为主要选择指标,而6月龄之后主要以壳高为主要选择指标;本实验结果显示,4、9、11月龄时主要选择指标分别为壳长、壳宽、壳高,出现上述现象的原因可能与缢蛏从幼贝到成贝过渡的生长策略有一定的关系。

孙泽伟等^[24]在近江牡蛎(*C. hongkongensis*)养殖群体数量性状相关性研究中发现,影响活体质量最大的直接作用是壳高;郭文学等^[25]、曹学顺等^[17]在相关研究中发现,对活体质量影响最大的是壳宽;但杨彦鸿等^[26]在对南澳青蛤(*C. sinensis*)野生群体数量性状间的相关性研究中发现,对活体质量影响最大的因素是壳长。不同种双壳贝类其壳形态特征的差异造成了不同的分析结果。

3.4 影响活体质量的表型性状和最优回归方程

通过相关分析、通径分析和多元回归分析找出影响缢蛏活体质量的主要壳形态性状、建立最优回归方程,确定了“申浙1号”不同月龄缢蛏壳形态性状和活体质量之间的关系,4月龄是播种放苗时间,放苗时以壳长为主要选择指标;6—7月份时达到9月龄,此时温度高、饵料丰富,缢蛏生长速率快,选择促熟亲贝时应以壳宽为主要指标;11月龄是缢蛏性腺成熟产卵的最佳时期,选择亲贝繁育时应以壳高为主要选择指标。本研究结果为缢蛏苗种的选择、人工选育过程中亲贝的选择和产量预测等提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 徐凤山,张素萍.中国海产双壳类图志[M].北京:科学出版社,2008:211-213.
Xu F S, Zhang S P. An Illustrated Bivalvia Mollusca Fauna of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008: 211-213(in Chinese).
- [2] 农业部渔业渔政管理局.中国渔业统计年鉴2017[M].北京:中国农业出版社,2017:27,54.
Ministry of Agriculture Fishery Administration. China Fisheries Statistics Yearbook 2017[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017: 27, 54(in Chinese).
- [3] Kvingedal R, Evans B S, Lind C E, et al. Population and family growth response to different rearing location, heritability estimates and genotype×environment interaction in the silver-lip pearl oyster (*Pinctada maxima*)[J]. Aquaculture, 2010, 304(1-4): 1-6.
- [4] Wang H X, Chai X L, Liu B Z. Estimation of genetic parameters for growth traits in cultured clam *Meretrix meretrix* (Bivalvia: Veneridae) using the Bayesian method based on Gibbs sampling[J]. Aquaculture Research, 2011, 42(2): 240-247.
- [5] 张跃环,闫喜武,杨凤,等.菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)大连群体两种壳型家系生长发育比较[J].生态学报,2008,28(9):4246-4252.
Zhang Y H, Yan X W, Yang F, et al. Comparison of growth and development of two shell-shape lines of Dalian-population Manila clam[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4246-4252(in Chinese).
- [6] René Robert, Nicolas L, Moisan C, et al. Morphological and biochemical characterizations of the great scallop *Pecten maximus* metamorphosis[J]. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III - Sciences de la Vie, 1999, 322(10): 847-853.
- [7] 王冲.栉孔扇贝不同性别间重要经济性状比较及通径分析[J].水产科学,2013,32(8):441-446.
Wang C. Comparison and Path Analysis of important economic traits between genders of scallop *Chlamys farreri*[J]. Fisheries Science, 2013, 32(8): 441-446(in Chinese).
- [8] 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 R, 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(in Chinese).
- [9] 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. Effects of shell morphological traits on the weight traits of orange strain of manila clam *Ruditapes philippinarum*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2015, 30(5): 514-518(in Chinese).
- [10] 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 W W, 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(in Chinese).

- [11] 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(in Chinese).
- [12] 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, 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]. Journal of Ocean University of China, 2017, 47(12): 46-52(in Chinese).
- [13] 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.
- [14] 袁卫, 庞皓, 曾五一. 统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 142-184.
Yuan W, Pang H, Zeng W Y. Statistics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 142-184(in Chinese).
- [15] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 109.
Sheng Z L, Chen Y S. Quantitative Genetics[M]. Beijing: Science Press, 1999: 109.
- [16] 李加纳. 数量遗传学概论[M]. 2版. 北京: 西南师范大学出版社, 2007: 214.
Li J N. An Outline of Quantitative Genetics[M]. 2nd ed. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2007: 214(in Chinese).
- [17] 曹学顺, 丁君, 常亚青, 等. 加州扁鸟蛤(*Clinocardium californiense*)数量性状的相关性及通径分析[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(5): 139-146.
Cao X S, Ding J, Chang Y Q, *et al.* Correlation and path analysis on quantitative traits of *Clinocardium californiense*[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2014, 16(5): 139-146(in Chinese).
- [18] 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.
Liu X L, Chang Y Q, Xiang J H, *et al.* Analysis of effects of shell size characters on live weight in Chinese scallop *Chlamys farreri*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(6): 673-678(in Chinese).
- [19] 张琪, 丛鹏, 彭励. 通径分析在Excel和SPSS中的实现[J]. 农业网络信息, 2007(3): 109-110, 91.
Zhang Q, Cong P, Peng L. The path analysis is implemented in Excel and SPSS[J]. Agriculture Network Information, 2007(3): 109-110, 91(in Chinese).
- [20] 李松岗. 实用生物统计[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002: 1-256.
Li S G. Practical Biometrics[M]. Beijing: Peking University Press, 2002: 1-256(in Chinese).
- [21] 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 *Macraa veneriformis* Reeve along northern coast in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(10): 1513-1518(in Chinese).
- [22] 由学策, 尹东红, 曹淑青, 等. 缢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.* Effects of phenotypic characters on body and tissue weights in the clam *Sinonovacula constricta*[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2011, 38(3): 363-367(in Chinese).
- [23] 郑怀平, 孙泽伟, 张涛, 等. 华贵栉孔扇贝1龄贝数量性状的相关性及通径分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(20): 322-326.
Zheng H P, Sun Z W, Zhang T, *et al.* Correlation and path analysis to quantitative traits of noble scallop *Chlamys nobilis* reeve at one-year old[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(20): 322-326(in Chinese).
- [24] 孙泽伟, 郑怀平, 杨彦鸿, 等. 近江牡蛎养殖群体数量性状间的相关及通径分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(6): 332-336.
Sun Z W, Zheng H P, Yang Y H, *et al.* Correlation and Path analysis to quantitative traits for a cultured population of Jinjiang oyster *Crassostrea hongkongensis*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(6): 332-336(in Chinese).
- [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 *Macra chinensis* Philippi[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(1): 49-54(in Chinese).
- [26] 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 for natural population of *Cyclina sinensis* in Nan'ao Island[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(5): 550-553(in Chinese).

Correlation and path analysis of quantitative traits of new variety of *Sinonovacula constricta* at different months of age

XUE Baobao, LI Hao, NIU Donghong, LI Jiale*, SHEN Heding*

(Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education,
National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education,
Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding Shanghai,
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to detect the correlation between quantitative characters for one new variety “Shenzhe No. 1” of *Sinonovacula constricta* at different months of age, more than 60 individuals of *S. constricta* at 4th, 9th and 11th month age were randomly selected to measure the shell length (SL), shell height (SH), shell width (SW) and body weight (W). And the correlation and path analysis method were used to analyze the effect of phenotypic character on qualitative traits. Then results showed that the correlations among the qualitative characters reached extremely significant levels. The shell length showed the greatest correlation coefficients to the live weight of the 4-month age and 11-month age (0.911 and 0.631) respectively. However, the shell height showed the greatest correlation coefficients to the weights of the 9-month age (0.653). The result of the path coefficient analysis showed that the highest path coefficients were the shell length (0.562), shell width (0.433), and shell height (0.394) at 4th, 9th and 11th month age, respectively. The results of the determinant coefficients were consistent with the results of the path analysis. The multiple regression equations were obtained to estimate live weight of *S. constricta* as 4th, 9th and 11th month age weights (W): $W_4 = -0.756 + 0.039SL + 0.112SW$, $R^2 = 0.849$; $W_9 = -10.622 + 0.095SL + 0.404SH + 0.644SW$, $R^2 = 0.631$; $W_{11} = -23.772 + 0.207SL + 0.805SH + 0.587SW$, $R^2 = 0.909$. The study provides theoretical basis and good measures for the selection of the parents and aquaculture production forecast in the breeding of *S. constricta*.

Key words: *Sinonovacula constricta*; month age; quantitative traits; correlation analysis; path analysis

Corresponding author: LI Jiale. E-mail: jlli@shou.edu.cn; SHEN Heding. E-mail: hdshen@shou.edu.cn

Funding projects: National High-tech Research and Development Program (2012AA10A400-3); Shanghai University Knowledge Service Platform Shanghai Ocean University Aquatic Animal Genetic Breeding Center (ZF1206)