

G7代二龄泥蚶生长性状的相关性和通径分析

何俊^{1,2,3}, 蓝天¹, 刘颖³, 李宗涵^{1,2,3}, 方军³, 柴雪良³, 王志勇^{1,2}, 任鹏³

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 农业农村部东海海水健康养殖重点实验室, 福建 厦门 321021;
3. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室,
温州市海洋生物遗传育种重点实验室, 浙江 温州 325005)

[摘要] 为了探讨连续选育多代以后泥蚶形态性状对全重和软体部重的影响, 采用相关分析、通径分析对 330 个 2 龄“乐清湾 1 号”泥蚶的壳长 L 、壳高 H 、壳宽 W 、全重 Y_1 和软体部重 Y_2 等 5 个性状指标进行分析, 并建立形态性状对全重、软体部重的最优回归方程。结果显示: 1) 所测 5 个数量性状之间的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 壳宽与全重的相关系数最大 (0.952), 壳长与软体部重的相关系数最大 (0.928)。2) 通径分析结果显示, 壳宽对全重的直接影响最大 (0.479), 是影响全重的主要因素; 壳长和壳高主要通过壳宽间接影响全重, 是影响全重的次要因素; 对软体部重的直接影响最大的是壳长 (0.415), 其次是壳宽 (0.390), 两者是影响软体部重的主要因素。3) 用多元回归分析方法建立壳长、壳高、壳宽估计全重和软体部重的最优回归方程: $Y_1 = -18.798 + 0.265L + 0.294H + 0.646W$; $Y_2 = -7.194 + 0.143L + 0.088H + 0.203W$ 。

[关键词] 泥蚶; “乐清湾 1 号”; 生长性状; 相关分析; 通径分析

[中图分类号] Q 173; Q 954

Correlation and Path Analysis of Growth Traits of *Tegillarca granosa* After 7 Generations of Breeding

HE Jun^{1,2,3}, LAN Tianyi³, LIU Ying³, LI Zonghan^{1,2,3}, FANG Jun³, CHAI Xueliang³, WANG Zhiyong^{1,2}, REN Peng³

(1. Fishies College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xiamen 361021, China; 3. Zhejiang Mariculture Research Institute & Zhejiang Key Lab of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-Resource (Wenzhou) & Wenzhou Key Laboratory of Marine Genetics and Breeding, Wenzhou 325005, China)

Abstract: In order to study the relationship between morphological traits and weight traits of *Tegillarca granosa* after selection of seven generations, the shell length (L), shell height (H), shell width (W), body weight (Y_1) and soft-tissue weight (Y_2) of 330 two-year-old *T. granosa* were measured. With the morphological traits (L , H and W) used as independent variables, the weight traits (Y_1 and Y_2) as dependent variables, the path coefficients and determinant coefficient were calculated using correlation analysis and path analysis, and the multiple regression equations of morphological traits on Y_1 and Y_2 was established. The results showed that: 1) There were extremely significant correlations among the five measured traits ($P < 0.01$), the correlation coefficient between W and Y_1 was the largest; the correlation coefficient between L and Y_2 was the largest. 2) Path

[收稿日期] 2021-03-08

[基金项目] 温州市基础性农业科技项目 (N20190012); 温州市育种协作组项目 (2019ZX001)

[作者简介] 何俊 (1992—), 男, 硕士生, 从事贝类遗传育种方向研究。通信作者: 任鹏 (1981—), 男, 博士, 助理研究员, 从事贝类遗传育种方向研究。E-mail: renpeng6357@dingtalk.com

analysis results showed that W had the greatest direct impact on the $Y_1(0.479)$, which was the main factor affecting Y_1 ; L and H mainly affected Y_1 indirectly through W , which were the secondary factors affecting Y_1 ; L had the greatest direct impact on $Y_2(0.415)$, the second was $W(0.390)$, both of them mainly affected Y_1 . 3) The multiple regression equations were obtained to estimate Y_1 and Y_2 as: $Y_1 = -18.798 + 0.265L + 0.294H + 0.646W$; $Y_2 = -7.194 + 0.143L + 0.088H + 0.203W$. The above results provided basic data for the further development of the breeding of “Yueqing Bay # 1” of *T. granosa*.

Keywords: *Tegillarca granosa*; “Yueqing Bay # 1”; growth traits; correlation analysis; path analysis

0 引言

泥蚶 (*Tegillarca granosa*), 隶属于软体动物门 (Mollusca) 瓣鳃纲 (Lamellibranchia) 蚶目 (Arcoida) 蚶科 (Arcidae) 泥蚶属 (*Tegillarca*), 属于广温、广盐性贝类, 广泛分布于西太平洋和印度洋沿岸的温带和热带滩涂中^[1]。由于过度的渔业捕捞, 泥蚶在东亚和东南亚各国的自然资源量急剧衰退, 使泥蚶的增殖成为各国资源恢复和满足市场需求的必然选择^[2]。为响应泥蚶养殖业需求, 育种工作者以生长速度为选育指标培育出了泥蚶新品种“乐清湾 1 号”。与对照组相比, 其在相同养殖条件下 27 月龄的全重平均提高 31.0%^[3]。除“乐清湾 1 号”之外, 泥蚶再无其他选育品系的相关研究报道, 因此, 泥蚶的良种选育工作亟需加强。

研究性状之间的关系对于开展动物育种工作极为重要。那些一经测量就会造成损伤的性状, 若能利用与其相关性较高的形态性状进行替代研究, 会取得较好的选育效果^[4-6]。在贝类育种工作中, 牡蛎 (*Crassostrea angulata*)^[7]、扇贝^[8-10]、鲍^[11]、蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)^[12]、毛蚶 (*Scapharca subcrenata*)^[13-16]等经济品种都进行了形态性状与体重性状的多元分析, 并确定了影响体重性状的主要形态性状。

泥蚶各形态性状与体重性状间的关系已有研究报道^[5,17]。但是, 针对生长性状的连续多代选育难免会使选育系的形态发生一定程度变化, 这种变化是否改变形态性状与体重性状之间的关系尚无研究报道。2018 年“乐清湾 1 号”已选育至第七代, 本研究以此代的 2 龄贝为研究对象, 针对形态性状和体重性状进行相关性分析、通径分析和多元回归分析, 比较选育前后形态性状对体重性状的通径系数和决定程度的变化, 建立形态性状和体重性状的最优回归方程, 以期对泥蚶进一步的选育工作奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

泥蚶样品于 2020 年 7 月采自浙江省温岭市的泥蚶新品种“乐清湾 1 号”保种池塘, 共随机采集“乐清湾 1 号”第七代 2 龄泥蚶 330 枚。样品采集后清除体表附着物, 并竖立静置于冰格上过夜, 使其排净壳内储存海水, 保证总重和软体部重的测量值更加接近真实值。

1.2 测量方法

所有泥蚶在各数量性状测量前, 用纱布吸干壳表面和壳沿表面水分, 尽量使测量数据接近真实值。使用电子数显游标卡尺测量壳长 (L)、壳高 (H) 和壳宽 (W) (精确到 0.01 mm), 使用电子天平测定全重 (Y_1) 和软体部重 (Y_2) (精确到 0.01 g), 并计算表型参数的平均值和变异系数。

1.3 数据分析

采用 Excel 软件对实验数据进行初步处理, 获得描述性统计结果; 利用 IBM SPSS Statistics 22.0 软件对各性状进行统计分析, 统计结果用 $\text{mean} \pm \text{SD}$ 表示; 采用通径分析和决定分析公式计算形态性状与全重和软体部重的关系; 利用多元回归分析建立对偏回归系数显著的形态性状估算全重和软体部重的最优回归方程, 分析计算公式参考文献 [18]。以 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 泥蚶生长性状的描述性统计

泥蚶壳长、壳高、壳宽、全重和软体部重的数据统计结果见表1。从各参数的变异系数来看,壳长、壳高、壳宽的变异程度相似,变异系数均为8%;全重和软体部重的变异程度较大,分别为25%和26%,约为壳长、壳高、壳宽的三倍,说明体重性状具有很大的选择潜力。

表1 泥蚶各性状的表型参数
Tab.1 Phenotypic data statistics of each trait of *T. granosa*

指标 Index	壳长/mm Shell length	壳高/mm Shell height	壳宽/mm Shell width	全重/g Body weight	软体部重/g Soft-tissue weight
平均值 Mean	30.76	23.47	20.09	9.21	3.32
标准差 SD	2.55	1.91	1.69	2.27	0.88
变异系数 CV/%	8	8	8	25	26

2.2 泥蚶形态性状和全重、软体部重之间的相关性分析

由泥蚶壳长、壳高、壳宽、全重和软体部重之间的相关性分析(结果见表2)可见:壳长、壳高、壳宽与全重、软体部重的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$);全重与壳宽的相关系数最大,壳高次之,壳长最小;软体部重与壳长的相关系数最大,壳高次之,壳宽最小。

表2 泥蚶形态性状与全重、软体部重的相关系数
Tab.2 The correlation coefficients between the morphological traits and body weight and soft-tissue weight of *T. granosa*

指标 Index	壳长 Shell length	壳高 Shell height	壳宽 Shell width	全重 Body weight	软体部重 Soft-tissue weight
壳长 Shell length	1	0.927 **	0.862 **	0.938 **	0.928 **
壳高 Shell height		1	0.881 **	0.944 **	0.919 **
壳宽 Shell width			1	0.952 **	0.916 **
全重 Body weight				1	0.970 **
软体部重 Soft-tissue weight					1

注: ** 表示性状间相关系数达到极显著水平 ($P < 0.01$)。
Note: ** means the correlation coefficients between the traits was extremely significant ($P < 0.01$) .

2.3 泥蚶形态性状对全重、软体部重的通径系数分析

根据通径分析原理,将各性状的相关关系分为直接作用和间接作用,然后结合IMB SPSS Statistics 22.0 软件获得泥蚶各形态性状对全重、软体部重的通径系数,再通过通径系数求得相关指数 R^2 。通径分析结果(见表3)表明,壳长、壳高、壳宽对全重、软体部重的通径系数均达到极显著水平($P < 0.01$),说明此3个形态性状对全重及软体部重的直接影响较大。

对于全重,在直接作用上,壳宽对全重的影响最大(0.479),其次是壳长(0.297),最小是壳高(0.247)。在间接作用上,壳高对全重的影响最大(0.697),并且壳高主要是通过壳宽间接影响全重(0.422);其次是壳长(0.641),主要通过壳宽间接影响全重;再次为壳宽(0.473),主要通过壳长间接影响全重。综合直接作用和间接作用的效应,可以看出,壳长和壳高对全重的直接作用很小,两者均是主要通过壳宽间接影响全重,说明壳宽是影响全重的重要变量。通过通径系数求得相关指数 $R^2 = 0.967$ 。

对于软体部重,在直接作用上,壳长对软体部重的影响最大(0.415),其次是壳宽(0.390),最小是壳高(0.191)。在间接作用上,壳高对软体部重的影响最大(0.728),并且壳高主要通过壳长(0.384)和壳宽(0.344)间接影响软体部重。综合直接作用和间接作用的效应,可以看出,壳高

对软体部重的直接作用很小，壳高主要通过壳长和壳宽间接影响软体部重，说明壳长和壳宽是影响软体部重的重要变量。通过通径系数求得相关指数 $R^2 = 0.917$ 。

表 3 泥蚶形态性状对全重和软体部重的通径分析

Tab.3 The path analysis of the morphological traits to body weight and soft-tissue weight of *T. granosa*

指标 Index	性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect			
				Σ	壳长 Shell length	壳高 Shell height	壳宽 Shell width
全重 Body weight	壳长 Shell length	0.938 **	0.297 **	0.641	—	0.228	0.413
	壳高 Shell height	0.944 **	0.247 **	0.697	0.275	—	0.422
	壳宽 Shell width	0.952 **	0.479 **	0.473	0.256	0.217	—
软体部重 Soft-tissue weight	壳长 Shelllength	0.928 **	0.415 **	0.513	—	0.177	0.336
	壳高 Shell height	0.919 **	0.191 **	0.728	0.384	—	0.344
	壳宽 Shell width	0.916 **	0.390 **	0.526	0.358	0.168	—

注：* * 表示性状间相关系数达到极显著水平（ $P < 0.01$ ）。

Note: * * means the correlation coefficients between the traits was extremely significant ($P < 0.01$) .

2.4 泥蚶形态性状对全重和软体部重的决定系数分析

决定系数反映的是各自变量对因变量的决定程度。分别以泥蚶全重和软体部重为因变量，形态性状为自变量，根据决定系数公式计算出泥蚶形态性状对全重和软体部重的决定系数，结果见表 4。

表 4 泥蚶形态性状对全重和软体部重的决定系数

Tab.4 The determination coefficients of the morphological traits to body weight and soft-tissue weight of *T. granosa*

指标 Index	性状 Traits	直接决定系数 Coefficient of direct determination	间接决定系数 Coefficient of indirect determination		
			壳长 Shell length	壳高 Shell height	壳宽 Shell width
全重 Body weight	壳长 Shell length	0.088	—	0.136	0.245
	壳高 Shell height	0.061		—	0.208
	壳宽 Shell width	0.229			—
软体部重 Soft-tissue weight	壳长 Shell length	0.172	—	0.147	0.279
	壳高 Shell height	0.036		—	0.131
	壳宽 Shell width	0.152			—

壳长、壳高、壳宽对全重的直接决定程度分别为 8.8%、6.1%、22.9%。在间接决定系数中，壳宽和壳长、壳宽和壳高、壳高和壳长对全重的决定程度分别为 24.5%、20.8%、13.6%。此外，壳长、壳高和壳宽 3 个形态性状对全重的直接决定系数和间接决定系数的总和 $\Sigma d = 0.967$ ，与回归方程的多元决定系数 R^2 数值相等，说明本研究所列泥蚶形态性状是影响全重的重要性状，其他尚未测定的性状对其影响较小。

壳长、壳高、壳宽对软体部重的直接决定程度分别为 17.2%、3.6%、15.2%。在间接决定系数中，壳宽和壳长、壳宽和壳高、壳高和壳长对软体部重的决定程度分别为 27.9%、13.1%、14.7%。此外，壳长、壳高和壳宽 3 个形态性状对软体部重的直接决定系数和间接决定系数的总和 $\Sigma d = 0.917$ ，与回归方程的多元决定系数 R^2 数值相等，说明本研究所列泥蚶形态性状是影响软体部重的重要性状，其他尚未测定的性状对软体部重的影响较小。

2.5 泥蚶形态性状与全重、软体部重多元回归方程的建立

统计实验所测数据，并进行通径分析和多元回归分析，再进行复相关分析和回归分析，分别以全重和软体部重为因变量，以形态性状为自变量，建立多元回归方程。

复相关系数是评价一个变量和其他多个变量之间线性相关程度的指标，复相关系数值越大，说明变量间的关系越密切。由表 5 可知，形态性状组合与全重、软体部重的复相关系数均达到极显著水

平,说明它们与全重、软体部重存在极为紧密的关系。泥蚶形态性状对全重、软体部重的偏回归系数的显著性检验结果见表 6。形态性状与全重的多元回归方程为 $Y_1 = -18.798 + 0.265L + 0.294H + 0.646W$;形态性状与软体部重的多元回归方程为 $Y_2 = -7.194 + 0.143L + 0.088H + 0.203W$ 。从表 6 可以看出,所有形态性状的偏回归系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。由方差分析结果(见表 7)知,泥蚶形态性状对全重、软体部重所建立的回归方程的回归关系均达到极显著水平 ($P < 0.01$),说明形态性状与全重、软体部重之间存在较强的相关性,适合进行方差分析。

表 5 泥蚶形态性状对全重、软体部重的复相关分析

Tab.5 The multiple-correlation coefficients of the morphological traits to body weight and soft-tissue weight of *T. granosa*

指标 Index	回归自由度 Regressive df	剩余自由度 Residual df	复相关系数 <i>R</i>	复相关指数 <i>R</i> ²	校正后复相关 指数 <i>R</i> ²	标准误差 SE
全重 Body weight	3	326	0.984 **	0.967	0.967	0.412
软体部重 Soft-tissue weight	3	326	0.958 **	0.917	0.917	0.252

注: ** 表示达极显著水平 ($P < 0.01$)。
Note: ** mains extremely significant ($P < 0.01$) .

表 6 泥蚶形态性状对全重、软体部重的偏回归系数检验

Tab.6 Test of partial regression coefficients of the morphological traits to body weight and soft-tissue weight of *T. granosa*

指标 Index	参数 Parameter	偏回归系数 B	标准差 SD	<i>T</i> 值	<i>P</i> 值
全重 Body weight	常数 Constant	-18.798	0.286	-65.665	0.000
	壳长 Shell length	0.265	0.025	10.768	0.000
	壳高 Shell height	0.294	0.035	8.336	0.000
	壳宽 Shell width	0.646	0.029	21.956	0.000
软体部重 Soft-tissue weight	常数 Constant	-7.194	0.175	-41.090	0.000
	壳长 Shell length	0.143	0.015	9.492	0.000
	壳高 Shell height	0.088	0.022	4.066	0.000
	壳宽 Shell width	0.203	0.018	11.273	0.000

表 7 泥蚶形态性状对全重、软体部重回归的方差分析表

Tab.7 Analysis of variance for regression of the morphological traits to body weight and soft-tissue weight of *T. granosa*

指标 Index	项目 Project	平方 SS	自由度 df	均方 MS	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
全重 Body weight	回归 Regression	1646.750	3	548.917	3231.419	0.000
	残差 Residual	55.377	326	0.170		
	总计 Total	1702.127	329			
软体部重 Soft-tissue weight	回归 Regression	232.252	3	77.417	1218.361	0.000
	残差 Residual	20.715	326	0.064		
	总计 Total	252.967	329			

3 讨论

全重和软体部重是泥蚶选育过程中的重要选择指标。但是,测量全重易受泥蚶体表附着物和壳内水分影响而造成偏差,测量软体部重会造成泥蚶的致命损伤;而对形态性状的测量则相对容易又准确。利用多元回归分析,对软体部重等不便于直接测量的性状进行改良,已经广泛应用于水生生物选育工作中。如刘贤德等^[4]分析了 13 月龄和 20 月龄大黄鱼形态性状对体重的影响,发现体高对其直接影响最大;李莉等^[14]通过多元分析法研究不同贝龄毛蚶形态性状对体重的影响,为毛蚶不同养殖时期增养殖方案制定提供依据;巫旗生等^[7]通过多元分析法研究 1~4 龄“金蚬 1 号”福建牡蛎形态性

状对体重的影响,为福建牡蛎的选育工作提供依据。本研究采用多元回归分析和通径分析,研究了针对生长速度连续选育至第七代的 2 龄泥蚶的壳长、壳高和壳宽 3 个形态性状与体重性状的相关性,获得了影响全重和软体部重的主要性状,为其下一步的选育工作提供了基础资料。

本研究对所测性状进行数据统计时,发现形态性状和体重性状两者的变异系数存在明显差异,壳长、壳高和壳宽三者的变异系数均为 8%,而全重和软体部重的变异系数分别为 25% 和 26%,体重性状的变异系数明显高于形态性状,这与其他学者的相关研究结果^[8,13]相似。猜测出现这种现象的原因有以下几点:首先,泥蚶在养殖过程中会进行“筛苗”操作,将不同规格大小的泥蚶进行分开养殖,以防止摄食能力差距太大而导致小苗生长受限。但“筛苗”只是根据泥蚶壳的形态大小进行筛选,对泥蚶体重性状却无法进行控制,因此会导致泥蚶壳形态性状的变异系数较小而体重性状的变异系数较大。其次,体重性状与形态性状的关系不是简单的线性关系,导致体重性状的增加速度远远超过形态性状,从而使得体重性状的变异系数远高于形态性状。再次,同一时期不同个体的肥满程度存在明显差异,在壳形外观大小差不多的情况下,有的个体比较肥满,而有的个体比较消瘦,从而导致体重性状的变异系数较大。

本研究中,泥蚶壳长、壳高、壳宽与全重的相关系数在 0.938 ~ 0.952 之间,与软体部重相关系数在 0.916 ~ 0.928 之间,均呈现极显著正相关。董志国等^[19]认为单个性状与体重的相关系数表示的是该性状对体重直接和间接影响的累积,仅仅依靠相关性分析不能确定该性状对体重的影响效应,而是既要分析该性状对体重的直接影响,又要分析该性状通过其他性状对体重的间接影响,然后再综合分析该性状对体重的影响效应。由本研究中,泥蚶壳长、壳高、壳宽与全重、软体部重的相关系数基本相同。但是,由本研究通径分析的结果可以看出,壳长和壳高对全重的直接决定系数远小于壳宽对全重的直接决定系数,壳长和壳高主要通过壳宽的间接作用影响全重,说明壳宽是影响全重的重要性状;壳长和壳宽对软体部重的直接决定系数远大于壳高对软体部重的直接决定系数。由此也说明变量之间的相关关系不能直接准确反映其间的真实关系。

在表型性状相关分析的基础上,进行通径分析和决定系数分析时,只有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 $\sum d$ (数值上 $R^2 = \sum d$) ≥ 0.85 时,才表明已找到影响因变量的主要自变量^[6]。本研究中,通过对全重、软体部重进行通径分析得到的 $\sum d$ 分别为 0.967 和 0.917,说明“乐清湾 1 号”泥蚶壳长、壳高和壳宽是影响全重和软体部重的重要性状,其他尚未测定的性状对体重的影响较小。由于不同贝类形态特征差异较大,影响其体重的关键性状也各有差异。在紫石房蛤^[20]、琴文蛤^[21]和 3 龄毛蚶^[14]的壳形态性状对全重影响的研究中发现,壳宽是影响全重的主要因素;而在文蛤^[22]、硬壳蛤^[23]的同类研究中,壳长是影响全重的主要因素;在栉孔扇贝^[6]、华贵栉孔扇贝^[8]中,壳高是影响全重的主要因素。本研究中,壳宽对“乐清湾 1 号”泥蚶全重的通径系数、决定系数均是最大,说明壳宽是影响全重的主要因素;壳长和壳宽对“乐清湾 1 号”泥蚶软体部重的通径系数和决定系数较大,而壳高较小,说明壳长和壳宽是影响软体部重的主要因素,而壳高主要通过壳长和壳宽的间接作用来影响软体部重。

本研究结果与前人的研究结果之间既有一致也有不同。蒋涛涛等^[5]对 2 龄泥蚶的分析结果表明,壳宽和壳高是决定体重的主要因素,二者在通径分析的直接作用相关系数分别为 0.456 和 0.434,决定系数分别为 0.2079 和 0.1884;而在本研究中,壳高对全重的影响有所降低,决定系数甚至不到壳宽的一半(分别为 0.061 和 0.229)。在蒋涛涛等^[5]的分析结果中,壳长对软体部重的通径分析处于不显著水平,壳高是影响软体部重的最重要因素;而在本研究中,形态性状与软体部重的相关性大幅增加,壳长和壳宽成为影响软体部重的最主要因素。由此推断,在多代选育后,泥蚶的壳形态受到选择压力的影响而发生一定改变,从而造成上述变化。

[参 考 文 献]

[1] 朱泽闻. 泥蚶大规模死亡的病原生物学及其宿主血细胞免疫特征研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2012.

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

- [2] LAI Z W, TEOH H W, LEE C W, et al. Macrobenthic community associated with semi-cultured blood cockles (*Tegillarca granosa*) in tropical mudflats [J]. Continental Shelf Research, 2020, 195: 104061. DOI:10.1016/j.csr.2020.104061.
- [3] 柴雪良, 肖国强, 刘保忠, 等. 泥蚶“乐清湾1号”[J]. 中国水产, 2015(9): 53-56.
- [4] 刘贤德, 蔡明夷, 王志勇, 等. 不同生长时期大黄鱼形态性状与体重的相关性分析[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(5): 159-163.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 刘志刚, 章启忠, 王辉. 华贵栉孔扇贝主要经济性性状对闭壳肌重的影响效果分析[J]. 热带海洋学报, 2009, 28(1): 61-66.
- [9] 赵鹏, 丁君, 常亚青. 两种壳色虾夷扇贝壳体尺性状对活体重影响效果的分析[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(1): 1-5.
- [10] 张存善, 常亚青, 曹学彬, 等. 虾夷扇贝体形性状对软体重和闭壳肌重的影响效果分析[J]. 水产学报, 2009, 33(1): 87-94.
- [11] LUO X, KE C H, YOU W W. Estimates of correlations for shell morphological traits on body weight of interspecific hybrid abalone (*Haliotis discus hannai* and *Haliotis gigantea*) [J]. Journal of Shellfish Research, 2013, 32(1): 115-118. DOI:10.2983/035.032.0117.
- [12] 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. DOI:10.1016/j.chnaes.2010.08.004.
- [13] 陈丽梅, 刘利华, 秦传新, 等. 渤海地区毛蚶形态性状对活体重的影响效果[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(28): 13813-13814.
- [14] 李莉, 郑永允, 徐科凤, 等. 不同贝龄毛蚶壳形态性状对体质量的影响[J]. 海洋科学, 2015, 39(6): 54-58.
- [15] 郝伟, 徐国成, 庞作宽, 等. 毛蚶壳性状对体质量和软体部质量的影响效果分析[J]. 淮海工学院学报(自然科学版), 2012, 21(3): 81-87.
- [16] 王辉, 刘志刚, 符世伟. 南海毛蚶形态特征对体重的相关分析[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(6): 58-61.
- [17] 钱旭阳, 张永普. 泥蚶数量性状的相关分析[J]. 温州师范学院学报(自然科学版), 2004, 25(2): 84-86.
- [18] 张雷雷, 滕爽爽, 李腾腾, 等. 不同月龄青蛤形态性状对活体质量的影响分析[J]. 海洋科学, 2019, 43(12): 74-80.
- [19] 董志国, 李晓英, 程汉良, 等. 生殖季节青蛤性别与形态相关性分析[J]. 海洋科学, 2011, 35(8): 32-36.
- [20] 黎筠, 王昭萍, 于瑞海, 等. 紫石房蛤壳性状对活体重影响的定量分析[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(6): 71-77.
- [21] 刘博, 滕爽爽, 邵艳卿, 等. 琴文蛤形态性状对体量的影响效果分析[J]. 海洋科学, 2011, 35(10): 91-95.
- [22] 吴杨平, 陈爱华, 姚国兴, 等. 文蛤贝壳形态性状对活体重的影响分析[J]. 海洋渔业, 2010, 32(3): 320-325.
- [23] 宋坚, 张伟杰, 常亚青, 等. 硬壳蛤形态性状对活体重的影响效果分析[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2): 273-277.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)