

3 月龄脉红螺表型性状对体质量影响效应分析

贺加贝^{1,2}, 纪翔³, 徐晓莹¹, 王鹤¹, 常婧婷⁴, 周广军¹, 刘蓬¹, 赵强¹

(1. 烟台市海洋经济研究院, 山东 烟台 264006; 2. 鲁东大学, 山东 烟台 264025; 3. 烟台经海海洋渔业有限公司, 山东 烟台 264006; 4. 环翠区海洋监测中心, 山东 威海 264200)

摘要: 随机抽取 3 月龄脉红螺稚螺 103 粒, 开展其表型性状对体质量性状影响分析, 以期对脉红螺人工选择育种提供较好的测度指标。实验测量了脉红螺壳长(X_1)、壳宽(X_2)、壳厚(X_3)、壳口长(X_4)、壳口宽(X_5)等 5 种表型性状和体质量性状(Y), 运用相关性分析、多元回归分析、通径分析及决定系数分析等方法分析了表型性状对体质量性状的影响。结果表明, 脉红螺各性状间的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$), 拟合的多元线性方程为 $Y = -18.4844 + 0.34835X_1 + 0.46379X_2$, 经自助法检验, 在 95% 置信区间条件下, 该方程决定系数(R^2)范围为 0.8635~0.9394, 拟合度较好; 壳长和壳宽对体质量的决定系数之和大于 0.85, 是最适宜用来预测体质量性状的两个表型性状指标。本研究成功分析出对脉红螺体质量直接影响作用最强的表型性状, 为脉红螺选择育种理想测度指标的挑选提供了依据。

关键词: 脉红螺; 体质量; 表型性状; R 语言; 多元回归; 自助法; 通径分析

中图分类号: S931.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)11-0118-07
DOI: 10.11759/hyxx20210108001

脉红螺(*Rapana venosa*)属腹足纲、骨螺科, 为我国北方重要经济螺类^[1]。随着现代航运业的发展, 其幼虫随着压舱水扩散到世界各地, 成为世界范围内广泛分布的一种经济螺类, 引起了世界各地海水养殖及海洋生态学者的高度关注^[2-4]。目前, 有关脉红螺的研究多集中在食物选择^[3, 5-6]、摄食节律^[7]、苗种繁育^[8-9]、遗传多样性^[10-12]和人工养殖^[13]等方面, 关于其表型性状对体质量的影响效应尚未见报道。

在实际养殖生产过程中, 单个个体湿重直接影响总体产量, 所以体质量性状是进行人工优良性状选育的主要指标^[14]。相较于表型性状, 体质量性状并不易直观感受^[15], 拟合表型性状与体质量性状方程能有效解决这一问题。在进行方程拟合过程中, 更多的预测变量及高阶方程能有效增加方程的拟合优度, 但会使得所拟合的方程过于复杂, 并不能很好地用于生产预测, 与我们进行方程拟合初衷不符。通过探究表型性状对体质量性状的影响效应, 能科学地减少预测变量, 为脉红螺人工选育提供理论依据和理想的测度指标。

在实际生产中发现, 脉红螺稚螺间生长速度差异大, 3 月龄稚螺个体间体质量差异即很明显。本文以 3 月龄脉红螺稚螺为样本, 通过表型性状与体质量

性状的相关性分析、逐步回归分析、通径分析及决定程度分析等方法, 建立了表型性状对体质量性状的最优回归方程, 以期今后脉红螺的选择育种及人工养殖工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料及数据采集

实验用 3 月龄脉红螺来自本研究团队 2020 年夏季人工繁育群体。随机取样 103 只, 并进行现场测定以采集数据。将脉红螺逐一编号后, 参考田传远等^[16]和孙振兴等^[17]的测量方法, 分别用游标卡尺(精度: 0.01 mm)测量壳长(X_1)、壳宽(X_2)、壳厚(X_3)、壳口长(X_4)、壳口宽(X_5), 用电子天平(精度: 0.1 g)称量每个稚螺体质量(Y)。

收稿日期: 2021-01-08; 修回日期: 2021-04-12

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2019GHY112022); 山东省贝类产业技术体系烟台综合试验站(SDAIT-14-11)

[Foundation: Shandong Key Research and Development Program, No. 2019GHY112022; Yantai Comprehensive Test Station of Shandong Shellfish Industry Technology System, No. SDAIT-14-11]

作者简介: 贺加贝(1988—), 男, 硕士研究生, 主要从事贝类遗传育种及增养殖的研究, E-mail: hejiabei_1988@126.com; 赵强(1968—), 通信作者, 男, 正高级工程师, 主要从事贝类遗传育种及增养殖的研究, E-mail: shell-zhao@163.com

1.2 分析方法

利用 Excel 软件进行数据的记录及简单分析。利用 R 语言(4.0.2)“nortest” 程辑包(Package)对数据进行 Kolmogorov-Smirnov(K-S)正态分布检验。利用“psych” 程辑包进行 Pearson 相关性检验。利用“MASS” 程辑包根据 Akaike 精准信息量准则(Akaike information criterion, AIC)^[18], 以体质量性状(Y)为响应变量, 表型性状(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)为预测变量, 拟合线性回归模型; 通过逐步回归分析, 依次剔除一个自变量参数计算其 AIC 值, 选择 AIC 值最小的回归方程, 所得差值与卡方值表中所得卡方值($P=0.05$)比较, 从而拟合最优线性回归方程。利用“base”程辑包对所得方程进行偏回归系数检验及 F 检验, 确认方程各预测变量显著程度及拟合优度。利用“boot”程辑包根据自助法(Bootstrap)对所得方程决定系数进行计算^[18], 在 95%置信区间条件下, 自助抽样 1 000 次, 获得决定系数范围。根据下列公式计算通径系数(P_i)、单性状决定系数(d_i)和多性状决定系数(d_{ij})进行通径分析和决定系数分析:

$$P_i = b_{X_i} \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_Y} \quad (1)$$

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

$$d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j \quad (3)$$

式中, b_{X_i} 为自变量 X_i 的偏回归系数, σ_{X_i} 为自变量 X_i 的标准差, σ_Y 为因变量 Y 的标准差, r_{ij} 为两个自变量 X_i 和 X_j 间的相关系数, P_j 为自变量 X_j 对因变量 Y 的通径系数。

2 结果与分析

2.1 各性状的描述统计量及正态性检验

由表 1 可知, 脉红螺体质量性状变异系数(0.35)较大, 明显高于表型性状变异系数(0.13~0.16)。经 K-S 检验, 查表可知, 在 95%置信区间内, 所有性状的 D 值均小于表中 $D(103, 0.05)$ 值($\frac{1.36}{\sqrt{103}}=0.134$), 且各性状 P 值均大于 0.05, 说明所有性状的总体分布均与正态分布无显著性差异, 基本符合正态分布, 可进行进一步分析。

表 1 脉红螺各性状的描述统计量($n=103$)

Tab. 1 Statistics of various traits of rock shell

性状	壳长/mm	壳宽/mm	壳厚/mm	壳口长/mm	壳口宽/mm	体质量/g
代码	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
平均值	45.511 4	29.314 2	23.619 5	32.842 4	15.972 6	10.965 0
标准差	5.765 4	3.750 5	3.145 3	4.285 0	2.612 6	3.856 0
变异系数/%	0.126 7	0.127 9	0.133 2	0.130 5	0.163 6	0.351 7
D 值	0.080 8	0.043 5	0.060 0	0.078 4	0.062 9	0.083 8
P 值	0.093 9	0.902 9	0.482 2	0.124 2	0.405 4	0.071 8

注: 各性状的代码在全文中相同。

2.2 各性状间相关性分析

由表 2 可以看出, 各表型性状与体质量性状间均呈显著正相关($P<0.01$); 其中, 壳长与体质量相关

性最大, 达到 0.927, 壳口宽与体质量相关性最小, 为 0.801; 各表型性状与体质量性状相关性大小依次为壳长>壳宽>壳口长>壳厚>壳口宽。

表 2 脉红螺各性状间的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients among various traits of rock shell

性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
X_1	1					
X_2	0.900 9**	1				
X_3	0.874 7**	0.893 8**	1			
X_4	0.890 1**	0.871 1**	0.817 2**	1		
X_5	0.799 6**	0.821 3**	0.783 7**	0.799 2**	1	
Y	0.927 3**	0.920 4**	0.879 6**	0.885 9**	0.800 7**	1

注: *表示显著相关($P<0.05$), **表示极显著相关($P<0.01$)。

2.3 表型性状与体质量性状间的回归分析

以体质量性状(Y)为响应变量,表型性状(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)为预测变量,拟合线性回归模型;通过逐步回归分析,依次选择 AIC 值最小的回归方程(逐步回归分析结果见表 3—表 5),依次剔除壳口宽(X_5)、壳厚(X_3)、壳口长(X_4)3 项表型性状,最终拟合出以壳长(X_1)和壳宽(X_2)预测体质量(Y)的回归方程。

表 3 四元线性方程逐步回归分析

Tab. 3 Backward stepwise regression for quaternary linear equation

剔除变量	自由度	平方和	残差平方和	Akaike 信息量
不剔除			145.00	45.22
X_3	1	3.81	148.80	45.89
X_4	1	7.22	152.22	48.23
X_2	1	20.63	165.63	56.93
X_1	1	29.38	174.38	62.23

表 4 三元线性方程逐步回归分析

Tab. 4 Backward stepwise regression for ternary linear equation

剔除变量	自由度	平方和	残差平方和	Akaike 信息量
不剔除			148.80	45.89
X_4	1	7.21	156.01	48.76
X_2	1	38.91	187.71	67.82
X_1	1	40.48	189.28	68.67

表 5 二元线性方程逐步回归分析

Tab. 5 Backward stepwise regression for binary linear equation

剔除变量	自由度	平方和	残差平方和	Akaike 信息量
不剔除			156.01	48.76
X_2	1	58.68	214.69	79.65
X_1	1	78.23	234.24	88.63

2.4 回归方程检验

对所得回归方程各偏回归系数进行 t 检验,所有的预测变量偏回归系数均达到极显著水平($P<0.01$, 见表 6)。拟合的回归方程如下: $Y = -18.484\ 4 + 0.348\ 35X_1 +$

$0.463\ 79X_2$ 。针对所得回归方程,进行 F 检验,结果 $F = 440.8$, $P < 0.01$, 可认为所得回归方程具有统计学意义;同时,调整后的回归方程决定系数 $R^2 = 0.896\ 1$, 说明此多元一次方程拟合度较好。

表 6 脉红螺各性状的偏回归系数检验

Tab. 6 Partial regression coefficient for phenotypic traits of rock shell

变量	偏回归系数	标准误	t 检验	P 值
截距	-18.484 40	0.999 4	-18.495	$< 2 \times 10^{-16}$ **
X_1	0.348 35	0.049 2	7.081	2.02×10^{-10} **
X_2	0.463 79	0.075 6	6.133	1.73×10^{-8} **

注: **表示极显著相关($P < 0.01$)

2.5 自助法检验

利用 Bootstrap 方法在此次实验样本中抽样 1 000 次,可得上述回归方程($Y = -18.484\ 4 + 0.348\ 35X_1 + 0.463\ 79X_2$)决定系数(R^2)偏差为 0.006 2, 标准误为 0.020 4; 在 95% 置信区间条件下,利用分位数方法可得,此方程决定系数(R^2)范围为从 0.863 5 至 0.939 4, 差值很小,且 0 处于置信区间外,零假设 $H_0: R^2 = 0$ 被拒绝,表明所拟合的方程能满足大部分脉红螺稚螺形态特征。

2.6 主要表型性状对体质量性状的通径分析及决定程度分析

根据通径分析的原理,将各预测变量与体质量的相关系数(r_{X_iY})剖分为两部分。一为 X_i 对体质量直接作用,即通径系数(P_i);二为 X_i 通过与其相关的预测变量 X_j 而对响应变量产生的间接作用($r_{ij}P_j$),即 $r_{X_iY} = P_i + r_{ij}P_j$ [19]。由表 7 可知,脉红螺稚螺壳长(X_1)较壳宽(X_2)对体质量的直接作用大,但壳宽(X_2)通过对壳长(X_1)的影响而产生的间接作用较壳长(X_1)通过对壳宽(X_2)的影响而产生的间接作用更大;综合来看,壳长(X_1)对体质量的决定系数较壳宽(X_2)的决定系数大,两者共同决定系数达到 0.423 3, 壳长、壳宽两性状对体质量决定系数之和为 0.898 0。

表 7 脉红螺主要表型性状对体质量性状影响的通径分析及决定程度分析

Tab. 7 Path and determinant coefficient analysis of the influence of rock shell phenotypic traits on body mass

性状	相关系数(r_{X_iY})	直接作用(P_i)	间接作用($r_{ij}P_j$)		决定系数
			X_1	X_2	
X_1	0.927 3	0.520 8		0.406 4	0.271 2
X_2	0.920 4	0.451 1	0.469 2		0.203 5

注: 加*数据是两个表型性状对体质量性状的共同决定系数(d_{ij})

3 讨论

3.1 各性状基本统计参数及相关性

在目前的养殖生产中,体质量是大部分贝类选择育种依据的重要性状指标之一。一般来说,性状的变异系数越大,说明其离散程度大,可供选择的范围越大,作为选种指标的潜力越大^[8]。本研究结果表明,脉红螺表型性状变异系数较小,而体质量性状变异系数较大,这与许多研究结果相一致^[20-22]。其中,脉红螺体质量性状变异系数高达 35.17%,远高于其他表型性状变异系数,明显更具选育潜力。在相关性分析中,虽然表型性状与体质量性状相关性为壳长>壳宽>壳口长>壳厚>壳口宽,但本研究所测各性状间的相关关系均达到极显著水平,简单依据相关系数筛选评价体质量的表型性状并不可靠,需要进行进一步分析。

3.2 决定 3 月龄脉红螺体质量的主要因子

AIC 是日本数学家 Akaike 提出的一种信息量准则,在理论结构上,可以看作是最小限度假定——“简约原则(principle of parsimony)”的具体化^[23]。本研究依据 AIC 准则,采用逐步回归方法,剔除了 3 个形态性状参数,在生产实践中,只需测量壳长、壳宽两项形态指标即可估量体质量,为后续的选育种操作提供极大便利。在三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)^[24]、文蛤(*Meretrix meretrix*)^[25]、中国蛤蜊(*Macra chinensis*)^[26]等双壳贝类的研究中,壳长及壳宽两个形态性状均是保留的预测变量,这与本文研究结果一致,表明这两种表型性状对贝类体质量影响效应较大。

本研究所得的回归方程经验证具备统计学意义,验证所得与以往在水产动物^[27-29]研究中所得结果一致,表明运用表型性状拟合方程预测体质量在水产养殖过程中有较大价值;另外,本研究采用在 95% 置信区间内进行抽样,所得决定系数变动很小,表明所拟合的方程能在大部分情况下解释脉红螺表型性状与体质量性状的关系,对实际性生产具有指导意义。

3.3 主要表型性状对体质量的作用

简单的拟合线性回归方程并不能解释相关变量间的因果关系,为解决这一问题,本研究开展了表型性状对体质量性状的通径分析及决定关系分析。从通径分析结果看,脉红螺壳长与其体质量的关系最为密切,其对体质量的直接作用较间接作用更大,

而壳宽对体质量影响的间接作用系数高于通径系数,表明壳宽更多的是通过对壳长产生影响从而影响体质量,这与疣荔枝螺(*Thais clavigera*)^[16]、扁玉螺(*Neverita didyma*)^[17]上的研究相一致。壳长、壳宽两性状对体质量决定系数之和(0.898 0)大于 0.85,表明影响体质量的主要表型性状已经找到^[30-33],决定系数分析也验证了通径分析的变化趋势。

在有关腹足类的分析中,壳长是对疣荔枝螺^[16]、扁玉螺^[17]、九孔鲍(*Haliotis diversicolor*)^[34]、齿纹蜆螺(*Nerita yoldi*)^[35]、皱纹盘鲍(*H. discus hannai* Ino)^[36]体质量影响最大的表型性状,均与本研究结果相一致,可见壳长是影响腹足类体质量最重要的表型性状之一;但在扁玉螺^[17]、九孔鲍^[34]、皱纹盘鲍^[36]及方斑东风螺(*Babylonia areolata*)^[20]的研究中,壳宽对体质量的影响程度依物种不同而异,这可能与几种腹足类动物外壳形状差异较大有关。

4 结论

在所测脉红螺表型性状与体质量性状中,体质量性状变异程度高;各性状间的相关性均达到极显著水平,壳长和壳宽性状对脉红螺体质量影响程度深,壳长对体质量的直接决定程度最大。本研究利用较少的表型性状来预测脉红螺体质量性状,为脉红螺的选择育种提供了理想的测度指标。

参考文献:

- [1] ANTONIO P, LUCIA R, AUGUSTO R, et al. History of the Spanish demersal fishery in the Atlantic and Mediterranean Seas[J]. ICES Journal of Marine Science, 2020, 77(2): 553-566.
 - [2] JANSSEN R, KNUDSEN S, TODORAVA V, et al. Managing Rapana in the Black Sea: Stakeholder workshops on both sides[J]. Ocean & Coastal Management, 2014, 87: 75-87.
 - [3] SAVINI D, OCCHIPINTI-AMBROGI A. Consumption rates and prey preference of the invasive gastropod *Rapana venosa* in the Northern Adriatic Sea[J]. Helgolander Marine Research, 2006, 60(2): 153-159.
 - [4] MUNARI C, MISTRI M. Short-term hypoxia modulates *Rapana venosa* (Muricidae) prey preference in Adriatic lagoons[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2011, 407(2): 166-170.
 - [5] 宋军鹏, 房建兵, 宋浩, 等. 饵料、温度和个体规格对脉红螺摄食的影响[J]. 海洋科学, 2016, 40(1): 48-53.
- SONG Junpeng, FANG Jianbing, SONG Hao, et al. Ef-

- fect of feeding preferences, temperature, and size on food intake of *Rapana venosa*[J]. Marine Science, 2016, 40(1): 48-53.
- [6] 于瑞海, 安俊庭, 张扬, 等. 脉红螺对不同贝类摄食喜好性的研究[J]. 海洋湖沼通报, 2013(4): 61-65.
YU Ruihai, AN Juntong, ZHANG Yang, et al. Research on feeding favor in different kinds of shellfish on *Rapana venosa*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(4): 61-65.
- [7] 王平川, 张立斌, 潘洋, 等. 脉红螺摄食节律的研究[J]. 水产学报, 2013, 37(12): 1807-1814.
WANG Pingchuan, ZHANG Libin, PAN Yang, et al. The feeding rhythm of veined rapa whelk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(12): 1807-1814.
- [8] 杨智鹏, 于红, 于瑞海, 等. 脉红螺附着变态与食性转换的研究[J]. 水产学报, 2016, 40(9): 1472-1478.
YANG Zhipeng, YU Hong, YU Ruihai, et al. Studies on larval metamorphosis and feed conversion of *Rapana venosa*[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(9): 1472-1478.
- [9] 杨智鹏, 于红, 于瑞海, 等. 不同温度、盐度和培育密度对脉红螺浮游幼虫生长存活的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(11): 15-19.
YANG Zhipeng, YU Hong, YU Ruihai, et al. Effects of temperature, salinity and stocking density on the growth and survival of veined Rapa Whelk(*Rapana venosa*) pelagic larva[J]. Periodical of Ocean University of China(Natural Science), 2015, 45(11): 15-19.
- [10] 班绍君, 薛东秀, 张涛, 等. 三种壳口颜色脉红螺(*Rapana venosa*)形态学和线粒体 16S rRNA 与 CO I 基因片段差异比较分析[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(6): 1209-1217.
BAN Shaojun, XUE Dongxiu, ZHANG Tao, et al. Variance analysis of three color morphs of *Rapana venosa* based on morphological traits and mt16s rRNA and CO I partial sequences[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(6): 1209-1217.
- [11] 杨智鹏, 于红, 于瑞海, 等. 中国沿海脉红螺群体遗传多样性及其遗传结构[J]. 水产学报, 2015, 39(10): 1443-1449.
YANG Zhipeng, YU Hong, YU Ruihai, et al. Genetic diversity and population structure of *Rapana venosa* along the coast of China[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(10): 1443-1449.
- [12] 杨建敏, 李琪, 郑小东, 等. 中国沿海脉红螺(*Rapana venosa*)自然群体线粒体 DNA 16S rRNA 遗传特性研究[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 257-262.
YANG Jianmin, LI Qi, ZHENG Xiaodong, et al. Genetic diversity in populations of *Rapana venosa* in coastal waters of China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(3): 257-262.
- [13] 王健, 王振岐, 杨哥跃, 等. 莱州湾脉红螺筏式养殖的初步研究[J]. 齐鲁渔业, 1997, 14(5): 9-11.
WANG Jian, WANG Zhenqi, YANG Geyue, et al. A preliminary study on the Gulf of Laizhou *Rapana venosa* raft culture[J]. Shandong Fisheries, 1997, 14(5): 9-11.
- [14] 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 Meirong, FANG Jianguang, GAO Yaping, 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.
- [15] 刘贤德, 张国范. 皱纹盘鲍表型性状与肌肉重的相关与通径分析[J]. 海洋科学, 2010, 34(4): 40-44.
LIU Xiande, ZHANG Guofan. Effects of dimethylhydantoin and dietary carbohydrate levels on the growth and immune factors of *Litopenaeus vannamei*[J]. Marine Science, 2010, 34(4): 40-44.
- [16] 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 Chuanyuan, XIA Peilun, ZHANG Jiarong, et al. Effect of morphological traits of *Thais clavigera* Kuster on its qualitative traits[J]. Periodical of Ocean University of China(Natural Science), 2020, 50(2): 37-44.
- [17] 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 Zhenxing, CHANG Linrui, XU Jianpeng. Analysis of the effect of phenotypic traits on the weight and soft body weight of *Neverita didyma*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(4): 513-518.
- [18] KABACOFF R. R in action: data analysis and graphics with R[M]. USA: Manning Publications, 2015: 190-275.
- [19] 李春喜, 姜丽娜, 邵云, 等. 生物统计学[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 247-253.
LI Chunxi, JIANG Lina, SHAO Yun, et al. Biostatistics[M]. Beijing: Science Press, 2013: 247-253.
- [20] 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 Wang, YU Gang, WANG Jiangyong, et al. Path analysis of body quality of 7-month-old *Babylonia areolata*[J]. Marine Science, 2017, 41(11): 82-88.
- [21] 巫旗生, 宁岳, 曾志南, 等. 不同贝龄“金蛎 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 Qisheng, NING Yue, ZENG Zhinan, 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.
- [22] TORO J, AGUILA P, VEGARA A. Spatial variation in response to selection for live weight and shell length from data on individually tagged Chilean native oysters (*Ostrea chilensis* Philippi, 1845)[J]. Aquaculture, 1996, 146(1): 27-36.
- [23] 刘璋温. 赤池信息量准则 AIC 及其意义[J]. 数学的实践与认识, 1980(3): 64-72.
LIU Zhangwen. Akaike information criterion and the sense[J]. Mathematics in Practice and Theory, 1980(3): 64-72.
- [24] 张根芳, 张文府, 罗雨, 等. 1 龄三角帆蚌壳形态性状对体质量的通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(6): 755-759.
ZHANG Genfang, ZHANG Wenfu, LUO Yu, et al. Path analysis of morphometrical traits on body weight of one-year old freshwater mussel *Hyriopsis cumingii*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2018, 33(6): 755-759.
- [25] 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 Jun, XIAO Guoqiang, ZHANG Jiongming, 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.
- [26] 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 Wenxue, YAN Xiwu, XIAO Luyang, 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.
- [27] 李洋, 刘萍, 李健, 等. 脊尾白虾形态性状对体重的相关性 & 通径分析[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(6): 59-65.
LI Yang, LIU Ping, LI Jian, et al. Correlation and path analysis of morphometric traits on body weight for *Exopalaemon carinicauda*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(6): 59-65.
- [28] 宁军号, 常亚青, 宋坚, 等. 偏顶蛤壳尺寸与体质量性状的相关 & 回归分析[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(1): 68-72.
NING Junhao, CHANG Yaqing, SONG Jian, et al. Correlation and regression analysis of shell size and body weight of mussel *Modiolus modiolus* Linnaeus[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2015, 30(1): 68-72.
- [29] 李莉, 王雪, 菅玉霞, 等. 不同月龄大泷六线鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(1): 58-66.
LI Li, WANG Xue, JIAN Yuxia, et al. Correlation and path analysis between morphological traits and body mass of *Hexagrammos otakii* at different months of age[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(1): 58-66.
- [30] 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 Xiaolin, CHANG Yaqing, XIANG Jianhai, et al. Analysis of effects of shell size character on live weight in Chinese scallop *Chlamys ferrerii*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(6): 673-678.
- [31] 唐瞻杨, 林勇, 陈忠, 等. 尼罗罗非鱼的形态性状对体重影响效果的分析[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 428-433.
TANG Zhanyang, LIN Yong, CHEN Zhong, et al. Mathematical analysis of effects of morphological traits on body weight for tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(5): 428-433.
- [32] 王庆恒, 邓岳文, 杜晓东, 等. 翡翠贻贝形态性状对软体部质量的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(4): 1-4.
WANG Qingheng, DENG Yuewen, DU Xiaodong, et al. Effect of Morphometric Traits on Edible Part Weight of *Perna viridis*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(4): 1-4.
- [33] HUO Zhongming, WU Yuan, GAO Zhiying, et al. Effects of shell morphological traits on the weight trait of the orange strain of the Manila clam[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(2): 75-78.
- [34] 李淑瑜, 赖志服, 杜涛, 等. 九孔鲍主要经济性状对体质量的影响效果分析[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(6): 39-44.
LI Shuyu, LAI Zhifu, DU Tao, et al. Effects of main economic traits on body weights of *Haliotis diversicolor* aquatilis[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012, 32(6): 39-44.
- [35] 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 Zhuanglin, WANG Yinong, CHEN Deyun, et al. Effect of morphometric traits on body weight in clam *Nerita yoldi*[J]. Fisheries Science, 2011, 30(8): 505-508.
- [36] 丁君, 许通, 常亚青, 等. 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)数量性状的相关性与通径分析[J]. 农学学报, 2014, 4(12): 82-86, 98.
DING Jun, XU Tong, CHANG Yaqing, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Journal of Agriculture, 2014, 4(12): 82-86, 98.

Phenotypic traits predicting body mass in three-month old *Rapana venosa*

HE Jia-bei^{1, 2}, JI Xiang³, XU Xiao-ying¹, WANG He¹, CHANG Jing-ting⁴,
ZHOU Guang-jun¹, LIU Peng¹, ZHAO Qiang¹

(1. Yantai Marine Economic Research Institute, Yantai 264006, China; 2. Ludong University, Yantai 264025, China; 3. Yantai Jinghai Marine Fisheries Co., Ltd., Yantai 264006, China; 4. Huancui Marine Monitoring Center, Weihai 264200, China)

Received: Jan. 8, 2021

Key words: *Rapana venosa*; body mass; phenotypic traits; R program; multiple regression; bootstrap; path analysis

Abstract: In order to find better measurable traits for selecting *Rapana venosa* parents, 103 three-month old individuals were randomly sampled to measure body mass (Y) and phenotypic traits, including shell length (X_1), shell width (X_2), shell thickness (X_3), shell mouth length (X_4), and shell mouth width (X_5). The relationship between the phenotypic traits and body mass was analyzed through correlation, multiple regression, and path analyses using the R program (version 4, 0.2). The results showed that the correlation between each of the phenotypic traits and the body mass was highly significant ($P < 0.01$), with correlation coefficients ranging from 0.80 to 0.93. The multiple regression equation, $Y = -18.4844 + 0.3484X_1 + 0.4638X_2$, was the most supported by the results. The R^2 ranged from 0.8635 to 0.9394 in 95% confidence intervals tested by Bootstrap, showing that the model is useful as it explains most of the variation in body mass. The sum of determinant coefficients of shell length and shell width to body mass was larger than 0.85, indicating that the two traits were the best in predicting body mass. Therefore, shell length and shell width can be used as a foundation in selective breeding of *R. venosa* for improvement in body mass.

(本文编辑: 杨 悦)