

7月龄方斑东风螺形态性状对体质量的通径分析

赵旺^{1,2}, 于刚^{1,2}, 王江勇², 严俊贤^{1,2}, 杨蕊^{1,2}, 吴开畅^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 热带水产研究开发中心, 海南 三亚 572018; 2. 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 为探明方斑东风螺(*Babylonia areolata*)形态性状对体质量的影响程度, 对7月龄方斑东风螺的体质量(Y)和11个(X_1 - X_{11})形态性状进行了测量。结果显示, 7月龄方斑东风螺体质量与各形态性状间呈正相关, 相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$); 通径分析发现壳宽(X_2)对体质量的直接作用最大(0.373), 其次为体螺层高(X_7)、壳口高(X_3), 而次螺层宽(X_{10})主要通过 X_2 、 X_3 及 X_7 间接影响体质量; 决定系数分析显示, 这4个性状对体质量的共同决定系数之和为0.852, 说明体质量主要受这些性状的影响; 经多元回归分析, 建立了7月龄方斑东风螺形态性状对体质量的回归方程。将回归方程中的 X_2 、 X_3 、 X_7 和 X_{10} 等4个形态性状与体质量分别进行模型拟合, 最优拟合模型分别为: $Y = 0.0034X_2^{2.5128}$, $Y = 0.0034X_3^{2.4349}$, $Y = 0.0015X_7^{2.5967}$, $Y = -6.4964 + 1.3293X_{10}$ 。

关键词: 方斑东风螺(*Babylonia areolata*); 形态性状; 体质量; 通径分析

中图分类号: S965.399

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2017)11-0082-07

DOI: 10.11759/hyxx20170714003

方斑东风螺(*Babylonia areolata*)俗称“花螺”, 隶属腹足纲、新腹足目、蛾螺科、东风螺属, 在中国主要分布于福建、广东、广西和海南等地。东风螺肉质鲜美、营养丰富, 广受人们的喜爱, 是中国东南沿海重要的经济养殖贝类。目前, 关于东风螺的研究有养殖^[1-2]、营养^[3]、生理生化^[4-5]、病害^[6]等方面, 而东风螺人工育种^[7]的研究虽有报道, 但仍缺乏对亲本选育的研究。东风螺作为一种食用贝类, 通常将体质量定为选育指标之一; 表型性状作为物种分类的重要依据, 是生物种群长期进化形成的固有属性, 也是环境条件对其生长状况优劣程度的综合体现^[8]。通过多元分析东风螺形态性状对体质量的影响, 揭示形态学特点, 进而可进行性状的筛选, 因此该方法已广泛应用于水产育种研究中^[9-13], 目前还未见有关方斑东风螺形态性状与体质量的相关关系研究的报道。生产上, 7月龄的方斑东风螺已达到商品螺的规格, 保留生长速度快、形态完好的方斑东风螺亲本进行育种, 而了解7月龄方斑东风螺形态性状对体质量的影响对亲本的挑选具有指导意义。本研究随机测定150粒7月龄方斑东风螺的表型性状数据, 分析各性状间的相关关系及形态性状对体质量的影响, 并结合逐步回归分析建立7月龄方斑东风螺形态性状对体质量的回归方程, 通过对回归方程中的形态性状与体质量进行曲线模型拟合, 筛选最优拟

合曲线模型, 以期方斑东风螺优良形态性状的选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

150粒试验用7月龄方斑东风螺随机采自海南万宁某东风螺养殖示范基地, 是东风螺海南群体亲本繁育产生的子代。东风螺流水养殖于室外遮阳陆基水泥池内(规格: 300 cm×700 cm×100 cm), 池内铺粒径为1~3 mm细沙, 日换水量为200%~400%, 养殖密度为1 000粒/m², 水温22~32℃, 盐度27~34, pH7.5~8.3, 溶解氧5 mg/L; 饵料以冰鲜小杂鱼为主, 生蚝、虾肉及蟹肉为辅, 日投饵量为3%~10%。

收稿日期: 2017-01-28; 修回日期: 2017-06-11

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-49); 广东省渔港建设和渔业产业发展专项(海洋渔业科技推广方向-科技攻关与研发项目 A201601B11); 三亚市农业科技创新项目(2015KJ05)

[Foundation: Special Funds for the Construction of Modern Agricultural Industry Technology System, No.CARS-49; Special Project of Fishing-Port Construction and Fishery Industry Development of Guangdong, No.A201601B11; Agricultural Science and Technology Innovation Project of Sanya, No.2015KJ05]

作者简介: 赵旺(1987-), 男, 湖南湘潭人, 助理研究员, 硕士, 主要从事贝类苗种繁育研究, 电话: 0898-83361232, E-mail: zhaowang522@163.com; 吴开畅, 通信作者, 男, 海南万宁人, 研究员, 主要从事贝类苗种繁育研究, E-mail: 13907607203@163.com

1.2 测量方法

参考相关文献[14-15]方法,使用电子天平(精确度为 0.01 g)称量体质量(Y),游标卡尺(精确度 0.01 mm)测量壳高(X_1)、壳宽(X_2)、壳口高(X_3)、壳口宽(X_4)、厝长(X_5)、厝宽(X_6)、体螺层高(X_7)、次螺层高(X_8)、三螺层高(X_9)、次螺层宽(X_{10})、三螺层宽(X_{11})等 11 个长度指标。

1.3 统计、分析方法

变异系数 $C_V=(\text{标准差 SD}/\text{平均值 MN})\times 100\%$ [16]。

相关系数、通径系数以及回归曲线的拟合以杜家菊等[17]的方法为准。

采用软件 SPSS 19.0 和 Excel 对形态性状和体质量等数据进行统计分析。先获得各性状的描述性统计结果,然后通过相关分析和通径分析,确定各形

态性状对体质量的直接作用与间接作用的大小;再经逐步回归分析,构建 7 月龄方斑东风螺形态性状对体质量的多元回归方程及偏回归系数检验;并以回归方程中的形态性状为自变量,体质量为因变量进行曲线模型拟合,筛选最优拟合模型。

2 结果与分析

2.1 7 月龄方斑东风螺各性状的基本统计结果

经统计,各形态性状的表型参数如表 1 所示,体质量的变异系数最大(31.51%),而壳高的变异系数最小(11.35%),而其他性状的变异系数为 11.47%~18.22%,说明在 7 月龄方斑东风螺的各性状中,体质量具有较大的选择潜力,可作为亲本选择的目标性状。

表 1 7 月龄方斑东风螺各形态性状的描述性统计

Tab. 1 Descriptive statistics of morphometric attributes of 7-month-old *B. areolata*

性状	平均值	标准差	标准误差 SE	峰度	偏度	变异系数(%)
Y	5.30	1.67	0.14	1.108	0.729	31.51
X_1	30.74	3.49	0.29	-0.252	-0.005	11.35
X_2	18.44	2.25	0.18	-0.138	0.119	12.20
X_3	20.12	2.45	0.2	-0.145	0.094	12.18
X_4	10.91	1.66	0.14	0.605	0.415	15.22
X_5	17.39	2.61	0.21	-0.421	0.027	15.01
X_6	9.36	1.35	0.11	-0.4	-0.123	14.42
X_7	23.02	2.64	0.22	-0.355	0.085	11.47
X_8	3.91	0.56	0.05	0.477	-0.091	14.32
X_9	2.14	0.39	0.03	0.101	0.051	18.22
X_{10}	8.88	1.07	0.09	0.364	0.221	12.05
X_{11}	5.02	0.76	0.06	11.845	1.904	15.14

注: Y 为体质量、 X_1 为壳高、 X_2 为壳宽、 X_3 为壳口高、 X_4 为壳口宽、 X_5 为厝长、 X_6 为厝宽、 X_7 为体螺层高、 X_8 为次螺层高、 X_9 为三螺层高、 X_{10} 为次螺层宽、 X_{11} 为三螺层宽,下同

2.2 7 月龄方斑东风螺各性状间的相关分析

7 月龄方斑东风螺各形态性状间的相关性如图 2 所示,各性状间的相关性都达到极显著水平, X_1 与 X_7 的相关系数最大(0.951), X_7 与 X_9 的相关系数最小(0.519);而各形态性状与体质量的相关性中,相关系数最大的为 X_2 (0.950),最小的为 X_9 (0.636)。

2.3 7 月龄方斑东风螺形态性状对体质量的通径分析

表 3 为 7 月龄方斑东风螺形态性状对体质量的通径系数。经显著性检验, X_2 对体质量的通径系数达

到了极显著水平($P<0.01$), X_3 、 X_7 和 X_{10} 对体质量的通径系数达到了显著水平($P<0.05$)。在这 4 个形态性状中, X_2 的通径系数最大(0.373),即对体质量的直接作用也最大,而 X_3 、 X_7 和 X_{10} 对体质量的影响较小,分别为 0.157、0.290 和 0.147;从间接结果来看, X_3 对体质量的间接影响最大(0.719),间接影响最小的为 X_2 (0.533)。

2.4 7 月龄方斑东风螺形态性状对体质量的决定系数

通过计算得出主要形态性状对方斑东风螺体质量的决定系数(表 4)。结果显示,直接决定系数与间接决定系数的总和为 0.852,表明选取的 X_2 、 X_3 、 X_7 、

X_{10} 等 4 个形态性状是影响 7 月龄方斑东风螺体质量的主要性状, 其他的性状对体质量的影响不大; 而这 4 个性状对体质量的影响也存在差异, X_2 对体质量的直接决定程度最大(0.139), 远高于其他性状, 决

定程度较小的是 X_{10} (0.022); X_2 和 X_7 共同作用对体质量的决定程度最大为 0.197, X_3 和 X_{10} 共同对体质量的决定程度最小(0.037); 可见, 7 月龄方斑东风螺体质量主要由 X_2 和 X_7 决定, 其次为 X_3 和 X_{10} 。

表 2 7 月龄方斑东风螺各形态性状间的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients among morphometric attributes of 7-month-old *B. areolata*

性状	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.948**										
X_2	0.950**	0.932**									
X_3	0.917**	0.934**	0.910**								
X_4	0.850**	0.867**	0.857**	0.889**							
X_5	0.810**	0.850**	0.823**	0.841**	0.822**						
X_6	0.874**	0.906**	0.874**	0.883**	0.847**	0.897**					
X_7	0.929**	0.951**	0.910**	0.906**	0.833**	0.828**	0.879**				
X_8	0.672**	0.736**	0.683**	0.650**	0.611**	0.591**	0.639**	0.536**			
X_9	0.636**	0.709**	0.623**	0.635**	0.605**	0.563**	0.604**	0.519**	0.769**		
X_{10}	0.854**	0.867**	0.857**	0.797**	0.788**	0.768**	0.816**	0.771**	0.779**	0.736**	
X_{11}	0.716**	0.768**	0.718**	0.677**	0.659**	0.634**	0.662**	0.645**	0.732**	0.749**	0.647**

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

表 3 7 月龄方斑东风螺各形态性状对体质量的通径分析

Tab. 3 Path analysis of morphological attributes to body weight of 7-month-old *B. areolata*

性状	相关系数	直接作用	间接作用				
			Σ	X_2	X_3	X_7	X_{10}
X_2	0.948	0.373**	0.533	—	0.143	0.264	0.126
X_3	0.919	0.157*	0.719	0.339	—	0.263	0.117
X_7	0.929	0.290*	0.595	0.339	0.142	—	0.113
X_{10}	0.854	0.147*	0.668	0.320	0.125	0.224	—

表 4 7 月龄方斑东风螺形态性状对体质量的决定系数

Tab. 4 Coefficient of determination of morphological attributes to body weight of 7-month-old *B. areolata*

性状	X_2	X_3	X_7	X_{10}	Σd
X_2	0.139	0.107	0.197	0.094	0.852
X_3		0.025	0.083	0.037	
X_7			0.084	0.066	
X_{10}				0.022	

2.5 多元回归方程的构建

通过多元回归分析, 剔除偏回归系数不显著的形态性状, 利用偏回归系数显著的形态性状与体质量建立 7 月龄方斑东风螺形态性状与体质量的多元回归方程:

$$Y = -8.869 + 0.3X_2 + 0.1X_3 + 0.198X_7 + 0.233X_{10}$$

方程式中, Y 为体质量, X_2 为壳宽, X_3 为壳口高, X_7 为体螺层高, X_{10} 为次螺层宽。方差分析显示, 多元回归

方程的回归关系达极显著水平($F=535.874$, $P=0.000 < 0.01$), 其调整 $R^2=0.935$ 。经显著性检验该回归方程的偏回归系数, 所选的 X_2 、 X_3 、 X_7 和 X_{10} 等 4 个形态性状对方斑东风螺体质量的偏回归系数达到显著或极显著水平(X_2 : $t=6.027$, $P=0.000 < 0.01$; X_3 : $t=2.589$, $P=0.011 < 0.05$; X_7 : $t=5.527$, $P=0.000 < 0.01$; X_{10} : $t=3.655$, $P=0.000 < 0.01$)。

2.6 曲线模型拟合

多元回归方程中的 X_2 、 X_3 、 X_7 和 X_{10} 等 4 个形态性状为自变量, 体质量为因变量, 分别进行曲线模型拟合, 拟合函数模型包括: 线性函数、对数函数、倒数函数、幂函数和指数函数。拟合结果显示(图 1~图 4), 7 月龄方斑东风螺 X_2 、 X_3 、 X_7 、 X_{10} 与体质量的最优拟合模型分别为幂函数模型、幂函数模型、幂函数模型、线性函数模型, 回归方程分别为: $Y=0.0034X_2^{2.5128}$, $Y=0.0034X_3^{2.4349}$, $Y=0.0015X_7^{2.5967}$,

$Y = -6.4964 + 1.3293X_{10}$, R^2 分别为: 0.9351、0.8834、0.8877、0.7293。

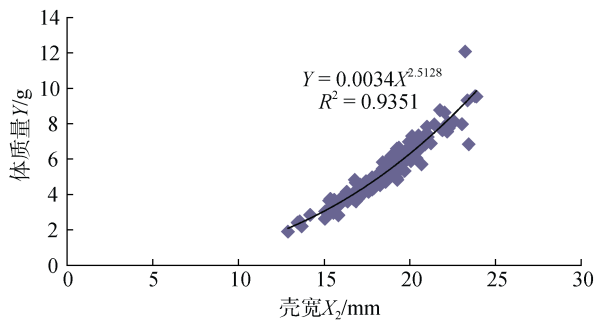


图 1 方斑东风螺壳宽与体质量的曲线拟合结果

Fig. 1 Model curve estimation results of shell width versus body weight of *B. areolata*.

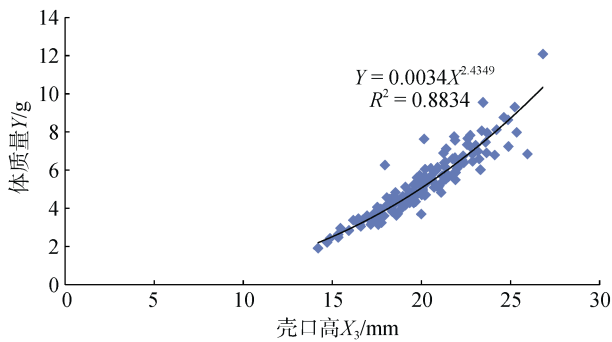


图 2 方斑东风螺壳口高与体质量的曲线拟合结果

Fig. 2 Model curve estimation results of aperture height versus body weight of *B. areolata*.

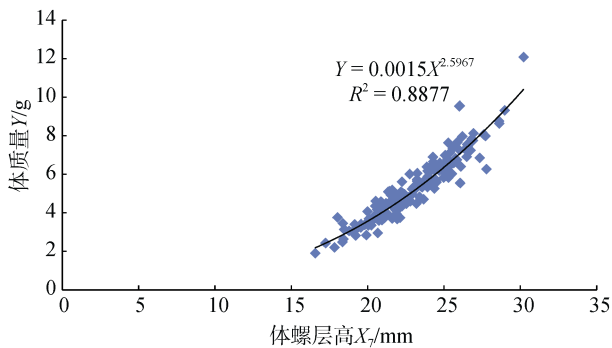


图 3 方斑东风螺体螺层高与体质量的曲线拟合结果

Fig. 3 Model curve estimation results of body whorl height versus body weight of *B. areolata*.

3 讨论

3.1 影响 7 月龄方斑东风螺体质量主要形态性状的确定

通过通径分析可将自变量和因变量之间的相关关系分解为自变量(形态性状)对因变量(体质量)的直

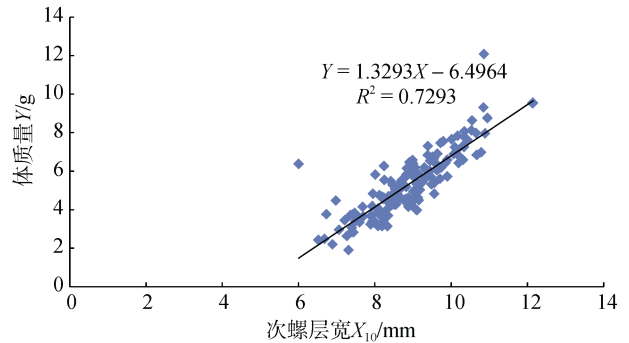


图 4 方斑东风螺次螺层宽与体质量的曲线拟合结果

Fig. 4 Model curve estimation results of the second whorl width versus body weight of *B. areolata*.

接作用和间接作用两个部分^[18]。在本研究中,各形态性状与体质量的相关系数均达到极显著的水平,相关系数为 0.636~0.950。通径分析发现,壳宽、壳口高、体螺层高、次螺层宽等 4 个形态性状对体质量的直接影响达到显著或极显著水平,其中,次螺层宽对体质量的直接影响最小,但是它通过壳宽、壳口高、体螺层高对体质量产生较大的间接作用,而壳宽对体质量的直接作用最大,但是它通过壳口高、体螺层高、次螺层宽对体质量产生的间接作用却较小。可见通过各性状间表型相关系数并不能正确判断各形态性状对体质量的影响大小,而通径分析可在表型相关分析的基础上进一步找出影响体质量的主要形态性状。研究结果与实际生产相符:方斑东风螺呈螺旋圆锥形,其体质量主要集中在体螺层,这与研究结果得出的影响体质量最主要形态性状是壳宽和体螺层高相符,即更大的体螺层具有更宽的壳宽和更高的体螺层,因此可获得更重的体质量。

偏回归系数的显著性检验结果显示,壳宽、壳口高、体螺层高、次螺层宽对方斑东风螺体质量的偏回归系数均达到极显著水平。再经逐步回归分析结果建立了 7 月龄方斑东风螺的回归方程,量化了壳宽、壳口高、体螺层高、次螺层宽等 4 个形态性状与体质量的综合关系。而将这 4 个形态性状分别与体质量进行曲线模型拟合,获得最优拟合曲线模型,可以更好的反应单一形态性状与体质量之间的关系。拟合结果显示,4 个性状与体质量的 6 种曲线模型拟合结果均达到极显著水平($P < 0.01$),说明所拟合的曲线模型均有意义。从决定系数和 F 值来看,壳宽、壳口高、体螺层高与体质量的幂函数曲线模型的拟合度最高,即拟合效果最好,次螺层宽与体质量的线性函数模型的拟合效果最好。这说明不同

形态性状的生长模式不同, 适用的曲线模型也不尽相同。

3.2 影响不同贝类体质量的形态性状

贝类通径分析研究发现, 不同的螺类影响其体质量的形态性状不甚相同。孙振兴等^[14]对扁玉螺(*Neverita didyma*)的体质量与形态性状进行了通径分析, 发现影响扁玉螺体质量的最主要性状是壳宽, 这与本研究结果相同; 而秦溱^[19]发现壳高、体螺层高、壳宽是决定泥东风螺(*Babylonia lutosa*)体质量的主要形态性状; 福寿螺(*Pomacea canaliculata*)的体质量主要由壳宽、壳高和壳口宽决定^[20]。其他双壳贝类体质量的影响性状也存在差异, 如壳高、壳宽、铰合线长和壳长是决定野生长肋日月贝(*Amusium pleuronectes*)体质量的主要性状^[21]; 外韧带长和壳宽对体重的直接影响较大, 是影响琴文蛤(*Meretrix lyrata*)体重的主要因素^[22]; 严俊贤等^[23]研究认为黑蝶贝(*Pinctada margaritifera*)的壳高、壳宽和壳长是进行选育时的重要性状。不同生长时期, 影响贝类体质量的形态性状也可能不同。李莉等^[24]发现不同贝龄期影响毛蚶(*Scapharca subcrenata* Lischke)体质量的主要因素是不同, 壳长是影响 1 龄毛蚶体质量的主要因素, 壳长和壳宽是影响 2 龄毛蚶体质量的主要因素, 壳宽是影响 3 龄毛蚶体质量的主要因素; 刘文广等^[25]对 3 月龄、6 月龄、7 月龄、9 月龄和 15 月龄的华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)4 个数量性状(壳高、壳长、壳宽和体质量)进行了通径分析, 结果显示壳宽对体质量的通径系数最小, 除 7 月龄外, 壳高对体质量的通径系数大于壳长; 可见, 不同生长时期选育所依据的选育性状不同。本研究确定了壳宽、壳口高、体螺层高和次螺层宽等 4 个形态性状是 7 月龄方斑东风螺体质量的主要影响性状, 选育时应加强对这 4 个形态性状的挑选; 养殖生产上, 通过对不同生长时期的方斑东风螺进行选育, 可提高育种效率, 然而, 其他生长阶段形态性状与体质量的关系如何, 选育性状是否仍为壳宽、壳口高、体螺层高和次螺层宽等形态性状, 这都将有待进一步研究。

参考文献:

[1] Kritsanapuntu S, Chaitanawisuti N, Santhaweesuk W, et al. Effects of water exchange regimes on growth, survival and shell normality of the hatchery reared juvenile spotted babylon (*Babylonia areolata* Link 1807) in a recirculating seawater system[J]. *Aquaculture International*, 2006, 14(6): 587-594.

[2] 郑纪盟, 高霄龙, 邱天龙, 等. 不同底质对方斑东风螺生长及存活的影响[J]. *海洋科学*, 2015, 39(11): 1-6. Zheng Jimeng, Gao Xiaolong, Qiu Tianlong, et al. Effect of different bottom substrate materials on the growth and survival of spotted babylon (*Babylonia areolata*)[J]. *Marine Sciences*, 2015, 39(11): 1-6.

[3] 杨原志, 吴业阳, 董晓慧, 等. 方斑东风螺饲料中锌需要量的研究[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(3): 643-650. Yang Yuanzhi, Wu Yeyang, Dong Xiaohui, et al. Dietary zinc requirement of spotted *Babylonia areolata*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(3): 643-650.

[4] Supanopas P, Sretarugsa P, Kruatrachue M, et al. Acute and subchronic toxicity of lead to the spotted Babylon, *Babylonia areolata* (Neogastropoda, Buccinidae)[J]. *Journal of Shellfish Research*. 2005, 24(1): 91-98.

[5] 薛明, 柯才焕. 不同营养状态下方斑东风螺的镉生物积累及毒性[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(7): 1965-1972. Xue Ming, Ke Caihuan. Cadmium bioaccumulation and its toxicity in *Babylonia areolata* under different nutritional status[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(7): 1965-1972.

[6] Tanhan P, Sretarugsa P, Pokethitiyook P, et al. Histopathological alterations in the edible snail, *Babylonia areolata* (spotted babylon), in acute and subchronic cadmium poisoning[J]. *Environmental Toxicology*, 2005, 20(2): 142-149.

[7] 罗杰, 杜涛, 刘楚吾. 酸碱度、盐度对方斑东风螺卵囊孵化率和不同饵料对幼虫生长发育、存活的影响[J]. *海洋科学*, 2004, 28(6): 5-9. Luo Jie, Du Tao, Liu Chuwu. The influence of pH and salinity in hatching rate of egg sac of *Babylonia areolata* and the effect of different diet on the development, survival rate of the larvae[J]. *Marine Sciences*, 2004, 28(6): 5-9.

[8] 邹李昶, 付英杰, 王志铮, 等. 两种养殖模式下紫贻贝生长转折期形态性状对体重的影响效应[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2014, 33(3): 244-250. Zhou Lichang, Fu Yingjie, Wang Zhizheng, et al. The study of the effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of *Mytilus edulis* linnaeu of various regions in the stage of growth turning[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science)*, 2014, 33(3): 244-250.

[9] 郭华阳, 陈明强, 王雨, 等. 黄边糙鸟蛤野生群体主要经济性性状间的相关性及通径分析[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(2): 1-8. Guo Huayang, Chen Mingqiang, Wang Yu, et al. Cor-

- relation and path analysis of main economic traits of wild population of *Trachycardium flavum*[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(2): 1-8.
- [10] 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 Wenguang, Lin Jianshi, He Maoxian, et al. Path analysis of quantitative traits of scallop *Chlamys nobilis* at different ages[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(1): 43-48.
- [11] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 凡纳滨对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2002, 33(6): 673-678.
Liu Xiaolin, Chang Yaqing, Xiang Jianhai, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 33(6): 673-678.
- [12] 刘永新, 刘奕, 刘英杰, 等. 牙鲆体质量与形态性状的异速生长分析[J]. 南方水产科学, 2016, 12(1): 36-42.
Liu Yongxin, Liu Yi, Liu Yingjie, et al. Allometric analysis of body weight and morphological traits for Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(1): 36-42.
- [13] 肖凤芳, 李伟, 朱新平, 等. 中华鳖 3 个养殖群体形态性状对体质量的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2014, 33(6): 1247-1253.
Xiao Fengfang, Li Wei, Zhu Xinping, et al. Effects of morphometric traits on body weight of three cultured-populations of *Pelodiscus sinensis*[J]. Genomics and Applied Biology, 2014, 33(6): 1247-1253.
- [14] 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, et al. 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.
- [15] 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 Xiyang, Luo Du, Gu Dangen, et al. The relationship between morphological characters and body mass of different shell-colored apple snail *Pomacea canaliculata* different shell-color[J]. Journal of Biosafety, 2012, 21(4): 287-290.
- [16] 明道绪. 高级生物统计[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
Ming Daoxu. Senior Biostatistics[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [17] 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 Jiaju, Chen Zhiwei. Method of path analysis using SPSS linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6.
- [18] 严福升, 王志刚, 刘旭东, 等. 3 月龄牙鲆形态性状对体质量的通径分析[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 45-50.
Yan Fusheng, Wang Zhigang, Liu Xudong, et al. Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for 3-month aged *Paralichthys olivaceus*[J]. Marine Fisheries Research, 2010, 31(2): 45-50.
- [19] 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 Qin. Studies on the genetic diversity and morphology of *Babylonia lutosa*[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [20] 李玺洋, 徐猛, 罗渡, 等. 广东省福寿螺形态性状变异及其与体质量的关系[J]. 生物安全学报, 2012, 21(4): 283-286.
Li Xiyang, Xu Meng, Luo Du, et al. Correlation analysis of morphometric traits and body mass of the golden apple snail *Pomacea canaliculata* in Guangdong Province, China[J]. Journal of Biosafety, 2012, 21(4): 283-286.
- [21] 王雨, 叶乐, 陈旭, 等. 海南野生长肋日月贝形态性状与重量性状的通径分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(8): 3570-3572.
Wang Yu, Ye Le, Chen Xu, et al. Path analysis on the morphological and weight characters of wild *Amussium pleuronectes* in Hainan[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(8): 3570-3572.
- [22] 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.
Liu Bo, Teng Shuangshuang, Shao Yanqing, et al. Mathematical analysis of the correlations between the morphometric attributes and body weight *Meretrix lyrata*[J]. Marine Sciences, 2011, 35(10): 91-95.
- [23] 严俊贤, 刘宝锁, 李有宁, 等. 野生黑蝶贝表型性状对体质量的影响分析[J]. 水产科学, 2015, 34(9): 560-564.
Yan Junxian, Liu Baosuo, Li Youning, et al. Effects of phenotypic traits on body weight in wild population of pearl oyster *Pinctada margaritifera*[J]. Fisheries Science, 2015, 34(9): 560-564.
- [24] 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.
Li Li, Zheng Yongyun, Xu Kefeng, et al. The relationship between morphometric traits and body weight of *Scapharca subcrenata* at different ages[J]. Marine Sciences, 2015, 39(6): 54-58.
- [25] 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 Wenguang, Lin Jianshi, He Maoxian, et al. Path

analysis of quantitative traits of scallop *Chlamys nobilis* at different ages[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(1): 43-48.

Path analysis of the effects of morphometric attributes on the body weight of 7-month-old *Babylonia areolata*

ZHAO Wang^{1, 2}, YU Gang^{1, 2}, WANG Jiang-yong², YAN Jun-xian^{1, 2}, YANG Rui^{1, 2}, WU Kai-chang^{1, 2}

(1. Tropical Fisheries Research and Development Center, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya 572018, China; 2. Key Lab. of South China Sea Fishery Resource Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China)

Received: Jan. 28, 2017

Key words: *Babylonia areolata*; Morphometric attributes; Body weight; Path analysis

Abstract: This study analyzed the relationship between 11 morphometric attributes (X_1 – X_{11}) and the body weight (Y) of 7-month-old *Babylonia areolata*. The results showed highly significantly positive correlations between morphometric attributes and body weight ($P < 0.01$). The path analysis revealed that X_2 displayed the highest positive direct effect (0.373) on body weight, followed by X_7 and X_3 . X_{10} showed an indirect effect on body weight through X_2 , X_3 , and X_7 . The results of analysis of the determination coefficients revealed the total decision coefficient of four morphological attributes affecting body weight to be 0.852, indicating that these morphological attributes are the primary factors affecting body weight. Multiple regression equations established using multiple regression analysis revealed that all the morphometric attributes are the best models for the 7-month-old *B. areolata*, including $Y = 0.0034X_2^{2.5128}$, $Y = 0.0034X_3^{2.4349}$, $Y = 0.0015X_7^{2.5967}$, and $Y = -6.4964 + 1.3293X_{10}$.

(本文编辑: 梁德海)