

野生曲波皱纹蛤数量性状的相关与通径分析

张钰伟^{1,2,3,4*}, 邓正华^{1,2,3}, 黄星美^{1,2,3}, 赵旺^{1,2,3}, 温为庚^{1,2,3}, 方伟^{1,2,3}, 于刚^{1,2,3#}

¹中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州

²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

³三亚热带水产研究院, 海南 三亚

⁴天津农学院, 天津

收稿日期: 2022年5月6日; 录用日期: 2022年6月8日; 发布日期: 2022年6月20日

摘要

为确定1龄野生曲波皱纹蛤(*Periglypta chemnitzii*)外部形态性状对其湿质量的影响程度, 以海南省三亚市自然海域捕捞的312只1龄野生曲波皱纹蛤为研究对象, 对其外部形态性状壳长、壳高、壳宽及湿质量进行测量统计, 并进行相关性、多元逐步回归和通径分析。结果显示, 曲波皱纹蛤的各性状指标的变异系数范围为6.12%~17.01%, 并且各性状之间的相关系数均已达到极显著水平($P < 0.01$), 分别为0.782、0.735和0.677, 剔除差异不显著的外部形态性状壳宽建立最佳回归方程, 其中 $R^2 = 0.619$, 壳长对湿质量的直接作用最大为0.617, 而壳高通过壳长对湿质量的间接作用最大为0.549, 其中壳长对湿质量的决定系数为0.381。结果表明, 在对曲波皱纹蛤进行亲贝挑选过程中, 应当重视对壳长的选择, 制定合理的选种方案, 进而达到以湿质量为选育标准的目的。

关键词

贝类选育, 通径分析, 相关分析, 曲波皱纹蛤, 外部形态性状, 湿质量

Correlation and Path Analysis of Quantitative Traits of Wild *Periglypta chemnitzii*

Yuwei Zhang^{1,2,3,4*}, Zhenghua Deng^{1,2,3}, Xingmei Huang^{1,2,3}, Wang Zhao^{1,2,3}, Weigeng Wen^{1,2,3}, Wei Fang^{1,2,3}, Gang Yu^{1,2,3#}

¹Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou Guangdong

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张钰伟, 邓正华, 黄星美, 赵旺, 温为庚, 方伟, 于刚. 野生曲波皱纹蛤数量性状的相关与通径分析[J]. 海洋科学前沿, 2022, 9(2): 108-117. DOI: 10.12677/ams.2022.92012

²Tropical Fishery R & D Center, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya Hainan

³Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya Hainan

⁴Tianjin Agricultural University, Tianjin

Received: May 6th, 2022; accepted: Jun. 8th, 2022; published: Jun. 20th, 2022

Abstract

In order to determine the influence of external morphological traits on wet weight of 1-year-old wild *Periglypta chemnitzii*, 312 1-year-old wild *P. chemnitzii* were collected in the natural sea area of Sanya City, Hainan Province for measuring the shell length, shell height, shell width and wet weight, and the correlation analysis, path analysis and multiple stepwise regression analysis were conducted. The results showed that the coefficient of variation of *P. chemnitzii* traits ranged from 6.12% to 17.01%, and the correlation coefficients between each trait reached an extremely significant level ($P < 0.01$), which were 0.782, 0.735 and 0.677, respectively. The best regression equation was established by excluding the insignificant difference in shell width of external morphological traits, where $R^2 = 0.619$. The maximum direct effect of shell length on wet weight was 0.617, the maximum indirect effect of shell height on wet weight through shell length was 0.549, and the determination coefficient of shell length on wet weight was 0.381. The results suggest that in the process of parent-shell selection of *P. chemnitzii*, attention should be paid to the selection of shell length, and reasonable selection scheme should be formulated, so as to achieve the purpose of taking wet weight as the breeding standard.

Keywords

Shellfish Breeding, Path Analysis, Correlation Analysis, *Periglypta chemnitzii*, External Morphological Traits, Wet Weight

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

曲波皱纹蛤(*Periglypta chemnitzii*)隶属帘蛤科、皱纹蛤属,其贝壳同心生长纹竖起成薄片状,放射肋细密与生长肋交织成曲波状,主要分布于中国海南三亚、福建的东山和平潭,印度太平洋区如日本纪伊半岛以南至琉球群岛,菲律宾和托雷斯海峡等潮间带下部和浅海 20 m 深的泥沙质中或珊瑚礁间的沙质中 [1] [2]。然而曲波皱纹蛤主要来源还是以野外捕捞为主,现如今随着科技进步、海洋捕捞技术的发展、装备的更新升级、捕捞队伍的壮大以及对捕捞作业的监管制度的不完善与监管力度不足,对其捕捞量日益增多,甚至出现过度捕捞的现象,长此以往必定会损害其种质资源 [3],因此亟需采取措施对野生曲波皱纹蛤种质资源进行保护,进行人工良种选育和养殖。明确曲波皱纹蛤外部形态性状与湿质量之间的关系,筛选出对湿质量起决定性作用的关键指标,为人工进行苗种选育提供参考指标,为深入研究奠定基础,意义深远。国内外目前并没有野生曲波皱纹蛤数量性状相关的研究。国内对曲波皱纹蛤的研究甚少,主要为种群分布与生物多样性 [4] [5] [6],高爱根等 [7] 研究发现曲波皱纹蛤作为底栖生物主要经济种主要分

布于冬季的象山港；刘德经和朱善央[8]对长乐沿海进行双壳贝类资源调查，研究发现由于环境污染与采集工具使用的不规范导致双壳贝类种质资源受损害，身处潮间带沙滩的曲波皱纹蛤年产量受到影响；寿鹿等[9]通过对兴化湾临近潮间带进行底栖生物调查发现，不同季节底栖生物种类数量也不同，其中曲波皱纹蛤相比较在春季数量最多；明红霞等[10]采用超浓缩方法，TaqMan 探针实时定量 PCR 技术对全国海水浴场和贝类增养殖区受到人类肠道腺病毒污染情况进行调查研究，结果显示曲波皱纹蛤带毒量为 $1.1 \times 10^5 \text{ copies} \cdot \text{g}^{-1}$ ；而国外对曲波皱纹蛤生物学及其人工养殖方面基本空白。通径分析作为人工选育常用的一种方法，在贝类中得到广泛应用[11]-[18]，其中具体有中国蛤蜊(*Macra chinensis*) [19]、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*) [20]、青蛤(*Cyclina sinensis*) [21]、华贵栉孔扇贝(*Clamys nobilis*) [22]、棕带仙女蛤(*Callista erycina*) [23]、企鹅珍珠贝(*Pteria penguin Röding*) [24]、大珠母贝(*Pinctada maxima*) [25]等，此方法对海水贝类进行人工选育起到了重要的指导作用。对曲波皱纹蛤外部形态性状和湿质量间的相关性分析与通径分析的研究，目前国内外均未见报道，因此亟需开展对曲波皱纹蛤的相关研究。本研究以海南省三亚市自然海域捕捞的 312 只 1 龄野生曲波皱纹蛤为研究对象，根据其壳长、壳高、壳宽和湿质量进行多元回归分析，确定它们之间的相关性，并采用逐步回归分析的方法根据显著性检验结果剔除差异不显著的性状，建立最佳回归方程，从而进行通径分析，进一步深入挖掘壳长和壳高对湿质量的影响程度及其决定系数，为人工进行曲波皱纹蛤苗种挑选与繁育提供最佳的参考指标。

2. 材料和方法

2.1. 实验材料

本实验所用的 1 龄野生曲波皱纹蛤为 2021 年 5 月采于海南省三亚市自然海域，取样 312 只于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暂养。

2.2. 实验方法

2.2.1. 数据测量

借助电子游标卡尺测量得到曲波皱纹蛤的壳长(SL)、壳高(SH)、壳宽(SW)，精确度为 0.01 mm，其中壳长为贝壳前端至后端纵向的最大距离，壳高为背腹间最大的距离，壳宽则为贝壳左右间横向的最大距离，其各形态测量如图 1 所示。并用电子天平测量曲波皱纹蛤的活体质量即湿质量(W)，精确度为 0.01 g。

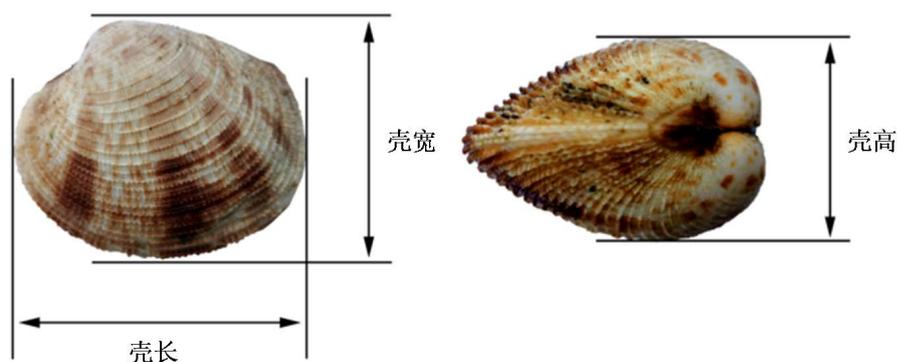


Figure 1. Measurement method of external morphological traits of *P. chemnitzii*

图 1. 曲波皱纹蛤外部形态性状测量方式

2.2.2. 分析方法

曲波皱纹蛤所测量的各性状数据采用 SPSS 21.0 软件进行分析总结，得到各性状均值、标准差、变

异系数, 将各性状之间进行相关分析、外部形态性状对湿质量的直接作用和间接作用, 并计算各形态性状对湿质量的决定系数, 采用逐步线性回归法剔除差异不显著的外部形态性状, 建立外部形态性状对湿质量的最优回归方程。各性状之间的相关系数计算过程如公式 1:

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

$$P_i = b_{xi} \frac{\sigma_{xi}}{\sigma_y} \quad 2$$

$$d_i = P_i^2; d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j \quad 3$$

$$R^2 = \sum_{i=1}^n P_i r_{xiy} \quad 4$$

通径系数即直接作用 P_i 如公式 2, b_{xi} 为各表型性状的偏回归系数, σ_{xi} 为各性状的标准差, σ_y 为湿质量的标准差。单一的表型性状 x_i 对湿质量 y 的决定系数 $d_i = P_i^2$, 两个表型性状 $x_i x_j$ 对湿质量 y 的共同决定系数 $d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$, 公式 3 中, P_i 为表型性状 x_i 对湿质量 y 的通径系数, r_{ij} 为两个表型性状之间的相关系数, P_i 和 P_j 分别为这两个表型性状 x_i 对湿质量 y 的通径系数。 R^2 为相关指数如公式 4, 其中 r_{xiy} 为表型性状 x_i 与湿质量 y 之间的相关系数[17]。

3. 结果与分析

3.1. 表型性状和湿质量的统计计量比较结果

本实验研究共测量 312 只 1 龄野生曲波皱纹蛤活体贝, 其主要外部形态性状和湿质量的统计计量比较结果如表 1 所示。各外部形态性状指标的变异系数范围为 6.12%~17.01%, 其中湿质量的变异系数最大, 为 17.01%, 高于外部形态性状。说明湿质量的选择潜力大于外部形态性状。3 个外部形态性状变异系数由高到低排序为壳宽(7.5%) > 壳高(6.35%) > 壳长(6.12%)。

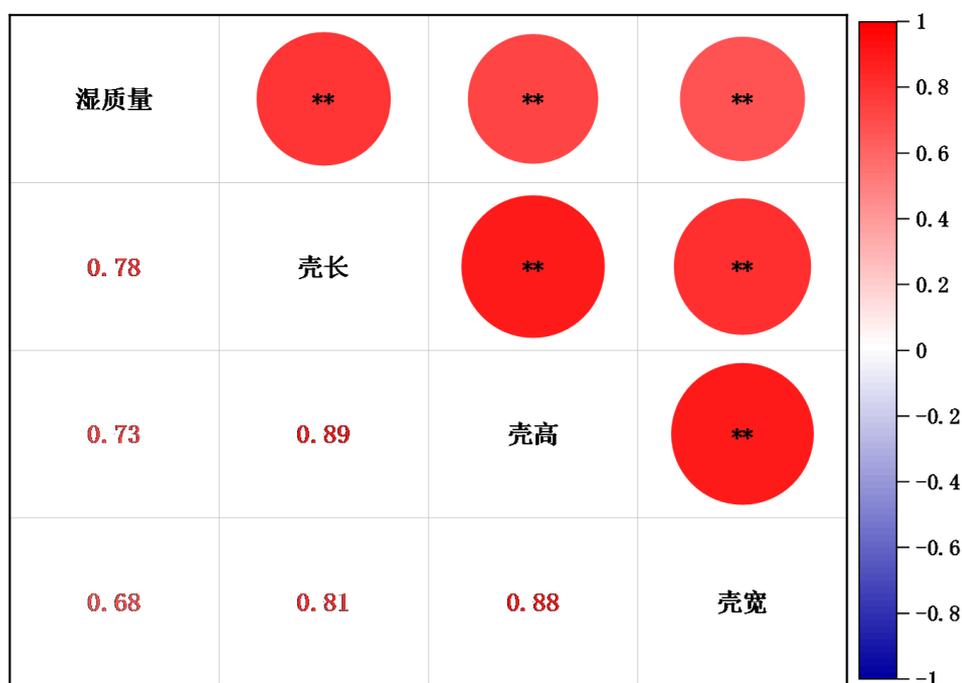
Table 1. The comparative results of statistical measurement of phenotypic traits and wet weight of *P. chemnitzii*

表 1. 曲波皱纹蛤表型性状和湿质量的统计计量的比较结果

参数	壳长(mm)	壳高(mm)	壳宽(mm)	湿质量(g)
Parameter	Shell length	Shell height	Shell width	Wet weight
平均值 Mean	52.91	42.00	29.36	39.78
标准差 SD	3.24	2.67	2.2	6.76
变异系数 CV (%)	6.12	6.35	7.5	17.01

3.2. 各外部形态性状与湿质量之间的相关性

如图 2 所示, 曲波皱纹蛤各参数指标间的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$, 下同), 说明相关性分析结果具有实际意义。各外部形态性状中壳长和壳高与湿质量的相关系数较大分别为 0.782 和 0.735, 壳宽与湿质量的相关系数较小为 0.677。



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

Figure 2. Correlation coefficient between traits of *P. chemnitzii*

图 2. 曲波皱纹蛤各性状之间的相关系数

3.3. 各外部形态性状对湿质量的回归分析

如表 2 所示, 利用 SPSS 21.0 软件对自变量壳长 x_1 、壳高 x_2 和壳宽 x_3 , 因变量湿质量 y 进行逐步回归分析, 得到对湿质量影响显著的各外部形态性状的途径系数。根据显著性检验结果剔除不显著的性状壳宽, 保留途径系数显著的性状壳长和壳高。最终得到曲波皱纹蛤表型性状对湿质量的最优多元线性回归方程如下:

$$y = 1.288x_1 + 0.472x_2 - 48.224; R^2 = 0.619$$

Table 2. Test of partial regression coefficient of different traits to wet weight of *P. chemnitzii*

表 2. 曲波皱纹蛤各性状对湿质量的偏回归系数检验

参数 Parameter	偏回归系数 Partial regression coefficient		t	P	
	系数 B	标准误差 SE			
常量 Constant	-48.224	3.939	-12.242	2.3073×10^{-28}	
湿质量(g) Wet weight	壳长(mm) Shell length	1.288	0.161	8.004	2.4639×10^{-14}
	壳高(mm) Shell height	0.472	0.196	2.414	1.6363×10^{-2}

因为该多元线性方程的回归关系达到极显著水平($P < 0.01$), 见表 3, 所以该方程成立, 可进一步对其进行途径分析。其中 F 值为 251.158, 达到极显著水平($P < 0.01$), 说明该结论可用于实际的生产。此外, 保留下来的外部形态性状壳长和壳高与湿质量间的复相关系数(R^2)为 0.787, 进一步证实这些外部形态性状是影响曲波皱纹蛤湿质量的主要性状。

Table 3. Variance analysis of external morphological traits on wet weight regression of *P. chemnitzii*
表 3. 曲波皱纹蛤外部形态性状对湿质量回归的方差分析

参数	方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
Parameter	Source of variance	Sum of squares	df	Mean square	F-value	P-value
湿质量(g) Wet weight	回归 Regression	8809.826	2	4404.913	251.158	1.6929×10^{-65}
	残差 Residual error	5419.359	309	17.538		
	总计 Total	14229.185	311			

3.4. 各外部形态性状对湿质量的通径分析

以上述的逐步分析为基础, 在剔除相关不显著($P > 0.05$)的表型性状壳宽后, 计算壳长和壳高对湿质量性状的直接作用、间接作用及其相关指数, 见表 4, 表中壳长对湿质量的直接作用大于壳高, 分别为 0.617 和 0.186, 然而壳高通过壳长对湿质量的间接作用比较大为 0.549, 说明壳长是影响湿质量的主要因素。在选育过程中, 为了有效增加曲波皱纹蛤的湿质量, 可以加强对其壳长和壳高的选择。

Table 4. Path analysis results of the effects of *P. chemnitzii* external morphological traits on wet weight
表 4. 曲波皱纹蛤外部形态性状对湿质量的影响的通径分析结果

质量性状	形态性状	相关系数	直接作用	间接作用 Indirect effect		
Qualitative traits	Morphological traits	Relative coefficient	Direct effect	Σ Total	壳长 Shell length	壳高 Shell height
湿质量 Wet weight	壳长	0.782**	0.617**	0.166		0.166
	壳高	0.735**	0.186**	0.549	0.549	

3.5. 表型性状壳长和壳高对湿质量的决定程度分析

根据上述公式 3 计算壳长和壳高对湿质量的决定系数见表 5, 壳长对湿质量的决定系数为 0.381 大于壳高对湿质量的决定系数 0.035, 壳长和壳高共同对湿质量的决定系数达到 0.204。该结果与其通径分析结果基本一致, 说明壳长是影响曲波皱纹蛤湿质量的主要形态性状。

Table 5. The determination coefficient of phenotypic traits of *P. chemnitzii* to wet weight
表 5. 曲波皱纹蛤表型性状对湿质量的决定系数

质量性状	参数	壳长(mm)	壳高(mm)
Qualitative traits	Parameter	Shell length	Shell height
湿质量	壳长	0.381	0.204
Wet weight	壳高		0.035

4. 讨论

曲波皱纹蛤现主要采集于野外, 因其肉质鲜美, 富含营养, 具有较高的经济潜力, 深受消费者的喜爱。现如今由于种种原因, 曲波皱纹蛤的野外种质资源受到威胁, 亟需采取措施对其进行保护, 进行人工良种选育和养殖。湿质量在一定程度上能够直观地反应贝类生长、健康及其经济效果, 因此, 进行通径分析深入研究, 为人工进行苗种选育提供参考指标。本研究结果表明, 曲波皱纹蛤湿质量的变异系数最大为 17.01%, 均高于壳长(6.12%)、壳高(6.35%)和壳宽(7.5%), 与不同贝龄的岩扇贝(*Crassadoma gigantea*)

[26]、文蛤(*Meretrix meretrix*) [27]、长牡蛎(*Crassostrea gigas*) [28]和不同贝龄的栉孔扇贝(*Chlamys farreri*) [29]的结果描述一致, 此结果表明, 在曲波皱纹蛤人工选种过程中其湿质量仍存在巨大的提升空间。

曲波皱纹蛤各性状之间均存在极显著相关($P < 0.01$), 但并不能全面反应各性状之间的本质联系[30], 只是各性状之间相互关系的综合结果; 因此需要通过逐步回归分析进一步深入挖掘, 根据显著性检验结果剔除不显著的性状, 建立最佳回归方程, 得出对湿质量影响显著的主要外部形态性状的通径系数, 通常情况下又将其细分为直接作用与间接作用进行全面剖析[31] [32] [33]。本研究剔除差异不显著的性状为壳宽($P > 0.05$), 保留了曲波皱纹蛤的壳长($P < 0.01$)和壳高($P < 0.05$), 与Huo等[34]分析结果一致; 而邓正华等[35]根据显著性检验结果, 合浦珠母贝(*Pictada fucata*)剔除的是壳长, 保留下来的为壳高、壳宽和绞合线长, 黑珠母贝(*Pictada nigra*)保留下来的是壳高和绞合线长, 对于射肋珠母贝(*Pictada radiata*)而言, 所有的性状均被保留。根据显著性结果建立最佳回归方程 $y = 1.288x_1 + 0.472x_2 - 48.224$, 其中 $R^2 = 0.619$, 近似等于各决定系数之和(0.620), 并且接近 1, 说明对湿质量有影响的外部形态性状多数已被分析, 而刘小林等[36]研究认为, 以表型相关分析为基础, 在进行通径系数与决定系数分析时, 只有当相关指数 R^2 大于或等于 0.850 时, 才能说明影响因变量的主要自变量已被找到, 本研究中 R^2 小于 0.850, 说明影响曲波皱纹蛤湿质量的主要外部形态性状除了已经被分析的壳长、壳高与壳宽外, 还有其他。猜测其他外部形态性状可能有条纹数、韧带长、足丝直径、最大对角线、绞合线长等[37] [38]。

本研究结果中, 壳长对湿质量的直接作用最大为 0.617, 壳高通过壳长对湿质量的间接作用最大为 0.549 与决定系数分析结果相一致。陈飞飞等[39]根据通径分析结果得出, 决定合浦珠母贝三亚养殖群体体质量的主要形态性状是壳长, 与本研究结果一致; 而魏海军等[40]通过靓巴非蛤(*Paphiaschnelliana*)形态性状对体质量的影响得出, 壳宽对体质量的影响最大, 其次为壳高和壳长; 赵冲等[41]又分析得出, 决定长竹蛭(*Solen Gouldi*)体质量的主要外部形态性状为壳高; 刘博等[42]研究表明, 对琴文蛤(*Meretrix lyata*)体质量直接影响最大的却是韧带长, 其次为壳宽, 壳长的影响较小, 与本研究结果并不完全相同, 说明虽同为双壳贝类, 不同贝类之间的研究结果存在差异, 猜测的原因可能为双壳贝的种类不同, 其壳的形态特征不同, 主要有细圆柱型、卵圆形、等壳楔形与不等壳、大而扁平型, 壳的形态特征影响着外部形态性状的生长发育, 而外部形态性状的生长变化又决定其贝壳的形态特征, 他们之间相互联系相互影响, 最终形成决定其湿质量的主要性状不同的种间差异。

然而, 不只是种间, 同种双壳贝类中对湿质量影响最大的外部形态特征随着贝龄的不同也会出现不同的情况, 如薛宝宝等[43]所研究的不同月龄的缢蛭(*Simonovacula constricta*)对湿质量起决定影响的外部形态性状因月龄不同而不同, 4 月龄起主要影响的性状为壳长, 9 月龄为壳宽, 11 月龄为壳高; 巫旗生等[44]通过对“金蛎 1 号”福建牡蛎(*Crassostrea angulata*)的研究发现, 决定 1 龄和 2 龄“金蛎 1 号”福建牡蛎的主要外部形态性状均为壳宽, 而决定 3 龄和 4 龄的是壳高; 王潇等[26]、杜美荣等[29]与刘文广等[45]分别研究表明, 对岩扇贝、栉孔扇贝和华贵栉孔扇贝的湿质量影响最大的外部形态性状也均随着贝龄的不同而不同; Huo 等[46]也研究得出不同贝龄的菲律宾蛤仔(*R. philippinarum*)对湿质量的直接作用最大的外部形态性状不同, 说明曲波皱纹蛤也极可能存在决定其湿质量的主要外部形态性状随着贝龄的不同而不同的现象, 因为双壳贝类从受精到成年贝的发育过程中, 存在多个生长阶段, 而每个生长阶段其体态特征各不相同, 甚至推测其成年贝在生长的过程中也存在肉眼难见的变化差异。

单壳贝类壳的形态特征与双壳贝类有着本质的不同, 其外部形态性状类型、数量甚至对其测量方法都大不相同, 赵旺等[47]研究表明, 对 7 月龄方斑东风螺(*Babylonia areolata*)体质量直接作用最大的外部形态性状为壳宽, 间接作用最大的是壳口高; 而李玺洋等[48]研究结果显示, 决定黄色福寿螺(*Pomacea canaliculata Lamarck*)体质量的主要形态性状为壳高, 决定黑色福寿螺体质量的主要形态性状是口宽, 此外李玺洋等[49]还调查研究得出清远和阳江地区福寿螺对体质量的直接作用最大的为壳高, 番禺地区决定

福寿螺体质量的主要形态性状为层高,肇庆与潮汕地区为壳宽,惠州地区的是口宽,而中山地区决定福寿螺体质量的主要形态性状则为壳高与壳宽,由此可以推测,不同区域不同环境的曲波皱纹蛤对其湿质量影响最大的外部形态性状也不同,可能因为不同区域的经纬度决定其气候特征,而气候特征又影响着海水的酸碱度、盐度、温度等一系列环境因子,甚至不同区域的生物多样性也存在差异,因此对曲波皱纹蛤生长发育的全过程产生影响,最终导致决定其湿质量的主要外部形态性状不同。

综上所述,研究贝的种类不同,其贝壳的形态特征也不尽相同,对其湿质量有影响的主要外部形态性状也不同,因此,在进行人工选育时,应该根据所选育的具体贝种,甚至根据该贝种的贝龄以及所处区域来确定为实现选育目的主要外部形态性状。

5. 结论

在对野生曲波皱纹蛤进行人工选育作业时,要根据其所处地域,甚至贝龄以及壳色的不同来确定为实现选育目的的主要外部形态性状。当对三亚自然海域 1 龄野生曲波皱纹蛤以湿质量为选育标准进行苗种挑选与繁育时,应当重视对壳长的选择,制定合理的育种方案,并为其他区域和不同贝龄曲波皱纹蛤的选择育种提供参考依据。

基金项目

国家重点研发计划(2019YFD0900905);财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系,农业农村部财政专项(NHYYSWZZZYKZX2020)。

参考文献

- [1] 杨瑞琼,钟爱平.福建沿海的双壳类[J].集美大学学报(自然科学版),1987,9(2):32-50.
- [2] 庄启谦.中国动物志软体动物门双壳纲帘蛤科[M].北京:科学出版社,2001:278.
- [3] 徐林通,郝俊,郑艳坤,等.中国贝类资源现状及管理问题探讨[J].科技创新导报,2018,15(16):201+203.
- [4] 王迪,陈丕茂,马媛.钦州湾大型底栖动物生态学研究[J].生态学报,2011,31(16):4768-4777.
- [5] 蔡英亚,林永木,欧瑞木.广东南澳岛贝类区系的研究[J].湛江水产学院学报,1990,10(1):1-13.
- [6] 阮桂文.广西北海市海滨多板纲、双壳纲和腹足纲种类的初步研究[J].玉林师范学院学报,2003,24(3):73-78.
- [7] 高爱根,杨俊毅,胡锡钢.2002年冬季象山港大型底栖生物生态分布特征[J].东海海洋,2004,22(2):28-34.
- [8] 刘德经,朱善央.长乐沿海食用双壳贝类及其可持续利用的研究[J].经济动物学报,2009,13(4):229-236.
- [9] 寿鹿,廖一波,徐晓群.福清核电站邻近潮间带大型底栖生物数量分布与群落结构[J].海洋学研究,2009,27(2):42-50.
- [10] 明红霞,樊景凤,梁玉波.全国海水浴场及经济贝类中腺病毒的分布[J].海洋学报(中文版),2014,36(2):108-114.
- [11] Luo, X., Ke, C.H. and You, W.W. (2013) Estimates of Correlations for Shell Morphological Traits on Body Weight of Interspecific Hybrid Abalone (*Haliotis discus hannai* and *Haliotis gigantea*). *Journal of Shellfish Research*, **32**, 115-118. <https://doi.org/10.2983/035.032.0117>
- [12] Zhang, A.G., Wang, L.L., Yang, X.L., et al. (2018) Relationship between Shell Morphological Traits and Body Weight in Two Estuarine Clams, *Meretrix meretrix* and *Cyclina sinensis* in Shuangtaizi Estuary, Bohai Sea in China. *Journal of Shellfish Research*, **37**, 989-996. <https://doi.org/10.2983/035.037.0509>
- [13] You, W.W., Ke, C.H., Luo, X., et al. (2010) Genetic Correlations to Morphological Traits of Small Abalone *Haliotis diversicolor*. *Journal of Shellfish Research*, **29**, 683-686. <https://doi.org/10.2983/035.029.0319>
- [14] Vasquez, H.E., Zheng, X., Gu, Z.F., et al. (2017) Relationships between Shell Morphological Traits and the Byssus Dimensions in the Winged Pearl Oyster *Pteria penguin* (Röding, 1798) Cultivated in Sanya, Hainan Island, China. *Journal of Shellfish Research*, **36**, 669-676. <https://doi.org/10.2983/035.036.0316>
- [15] Chen, Y.H., Li, H.Y., Ding, H.B., et al. (2021) Heritability Estimation and Path Analysis for Growth Traits of the Razor Clam *Sinonovacula constricta* under High Salinity. *Aquaculture*, **545**, Article ID: 737175.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737175>

- [16] 杨彬, 谢恩义, 贾桢. 北部湾长肋日月贝形态性状对活体质量的影响分析[J]. 水产养殖, 2013, 34(7): 14-18.
- [17] 王成东. 薄片镜蛤壳形态与重量性状通径分析及繁殖生物学初步研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海洋大学, 2014: 1-51.
- [18] 刘志刚, 王辉, 孙小真, 等. 马氏珠母贝经济性状对体重决定效应分析[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(4): 15-20.
- [19] 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.
- [20] 武禹安. 菲律宾蛤仔群体间壳形态及生长性状比较研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海洋大学, 2018: 1-61.
- [21] 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.
- [22] 杨蕊, 赵旺, 张欣, 等. 华贵栉孔扇贝两个群体的养殖效果评价及通径分析[J]. 水产科技情报, 2017, 44(1): 20-24.
- [23] 魏海军, 邓正华, 陈明强, 等. 棕带仙女蛤数量性状的相关与通径分析[J]. 南方水产科学, 2019, 15(6): 34-40.
- [24] 陈明强, 魏海军, 李有宁, 等. 野生企鹅珍珠贝形态性状对质量性状的影响[J]. 中国渔业质量与标准, 2019, 9(6): 48-56.
- [25] 邓正华, 陈明强, 李有宁, 等. 野生大珠母贝形态性状对湿重和壳重的相关性及通径分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2545-2550.
- [26] 王潇, 曹善茂, 印明昊, 等. 不同贝龄岩扇贝数量性征的相关性及通径分析[J]. 河北渔业, 2018(2): 23-28+38.
- [27] 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.
- [28] 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(自然科学版), 2017, 47(12): 46-52.
- [29] 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.
- [30] 郭华阳, 陈明强, 王雨, 等. 黄边糙鸟蛤野生群体主要经济性状间的相关性及通径分析[J]. 南方水产科学, 2013, 9(2): 1-8.
- [31] 袁向阳, 李鸿鹏, 杨程, 等. 泥鳅养成品形态性状与体质量和净体质量的相互关系[J]. 南方农业学报, 2016, 47(7): 1234-1240.
- [32] 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.
- [33] 孙秀俊, 杨爱国, 刘志鸿, 等. 2 种壳色虾夷扇贝的形态学指标比较分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 10008-10010+10160.
- [34] Hou, Z.M., Wu, Y.A., Gao, Z.Y., *et al.* (2016) Effects of Shell Morphological Traits on the Weight Trait of the Orange Strain of the Manila Clam. *Acta Ecologica Sinica*, **37**, 75-78. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.12.007>
- [35] 邓正华, 陈明强, 李有宁, 等. 3 种野生珍珠贝表型性状比较及通径分析[J]. 广东农业科学, 2019, 46(1): 122-132.
- [36] 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 857-862.
- [37] 宋仲晖, 李乐, 李贤良, 等. 去掉角质层边缘前后企鹅珍珠贝形态性状的相关性及通径分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(6): 2389-2396.
- [38] 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.
- [39] 陈飞飞, 黄桂菊, 陈明强, 等. 合浦珠母贝三亚养殖群体生长性状的相关与通径分析[J]. 广东农业科学, 2012, 39(9): 122-125.
- [40] 魏海军, 邓正华, 陈明强, 等. 靓巴非蛤形态性状对体质量的影响[J]. 水产科学, 2021, 40(2): 233-238.
- [41] 赵冲, 常亚青, 张伟杰, 等. 长竹蛏壳尺寸性状对重量性状的影响效果分析[C]//中国水产学会. 2010 年中国水产学会学术年会论文摘要集. 西安: 西安出版社, 2010: 251.
- [42] 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.
- [43] 薛宝宝, 李浩, 牛东红, 等. 不同月龄缙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.

-
- [44] 巫旗生, 曾志南, 宁岳, 等. 钝缀锦蛤形态性状对活体质量的影响[J]. 水产科学, 2018, 37(1): 110-114.
- [45] 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.
- [46] Hou, Z.M., Wu, Y.A., Gao, Z.Y., *et al.* (2010) Effects of Shell Morphological Traits on the Weight Traits of Manila Clam (*Ruditapes philippinarum*). *Acta Ecologica Sinica*, **30**, 251-256.
<https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2010.08.004>
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] 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.