

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2012.01.007

不同贝龄华贵栉孔扇贝数量性状的通径分析

刘文广, 林坚士, 何毛贤

(中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院海洋生物资源可持续利用重点实验室, 广东 广州 510301)

摘要: 对华贵栉孔扇贝 (*Chlamys nobilis*) 3月龄、6月龄、7月龄、9月龄和15月龄的4个数量性状(壳高、壳长、壳宽和体质量)进行了测量, 分析了性状间的表型相关性及其对体质量的影响程度。结果表明, 4个数量性状两两间呈正相关, 其相关系数达到极显著水平 ($P < 0.001$)。形态性状与体质量间, 壳长对体质量的相关系数较高, 壳宽对体质量的相关系数较小。通径分析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。相关指数分析的结果与通径分析结果相似, 形态性状对体质量的相关指数为 0.910 ~ 0.943。经多元回归分析, 建立了4个月龄时期壳高、壳长和壳宽对体质量的线性回归方程。研究表明, 在6月龄后以壳高为主要选择指标, 可达到对体质量的选择, 研究结果为华贵栉孔扇贝选择育种中选育指标的确立提供了理论指导。

关键词: 数量性状; 通径分析; 华贵栉孔扇贝

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2012)01-0043-06

Path analysis of quantitative traits of scallop *Chlamys nobilis* at different ages

LIU Wenguang, LIN Jianshi, HE Maoxian

(Key Lab. of Marine Bio-resources Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract: Four quantitative traits (shell height, shell length, shell width and total weight) of scallop (*Chlamys nobilis*) at 3, 6, 7, 9 and 15 months were measured; phenotypic correlation of the 4 traits and their influence on total weight were analyzed. Results indicate that significant positive correlation is found among the 4 traits ($P < 0.001$). Shell length has a higher correlation coefficient to total weight than shell width. Path analysis shows that shell width has the smallest direct effect on total weight, while shell height has direct effect on total weight than shell length does at all ages except 7 months old. The determination coefficient of morphological traits to total weight varies from 0.910 to 0.943 and shows a similar trend with the path analysis. Regression equations between total weight and morphological traits at 6, 7, 9 and 15 months were also established. To improve total weight via morphological traits, the shell height should be selected firstly for scallops over 6 months old. The results provide a theoretical basis for determining selection index in genetic breeding of *C. nobilis*.

Key words: quantitative trait; path analysis; *Chlamys nobilis*

华贵栉孔扇贝 (*Chlamys nobilis*) 隶属于扇贝科、栉孔扇贝属, 为暖水性双壳贝类, 自然分布于日本

的本州岛、四国岛、九州岛、中国的南海、泰国及印度尼西亚等地。在广东省沿海的海门、遮浪、大

收稿日期: 2011-05-04; 修回日期: 2011-06-21

资助项目: 广东省科技计划项目(2009B020308003); 中科院知识创新工程重要方向项目(KZCXZ-YW-Q07-03)

作者简介: 刘文广(1979-), 男, 助理研究员, 从事贝类生理学研究。E-mail: wg-liu@163.com

通讯作者: 何毛贤, E-mail: hmx@scsio.ac.cn

亚湾、大鹏湾及闸坡等地均有分布。其闭壳肌干制品俗称“干贝”，是名贵的海珍品，营养和经济价值很高。华贵栉孔扇贝养殖周期短，一般1~1.5年达到商品规格，是一种有开发前景的经济养殖贝类。华贵栉孔扇贝育苗与养殖生物学的研究促进了其养殖业在福建、广东和广西等地的发展^[1]。但在其养殖过程中也存在许多问题，如自发展养殖生产以来，年复一年，几乎都是采用养殖的成贝做亲贝，未进行选择，特别是为了避免精子过多，在生产中只使用少量的雄性个体，这样可能使其遗传结构发生改变、遗传多样性下降^[2]，从而在生产中出现种质衰退、活力下降及死亡率升高等现象^[3]。通过遗传育种提高华贵栉孔扇贝的种质质量，已取得了一些初步效果^[4-7]。选择育种是贝类品种培育极见成效的育种技术，形态性状(壳长、壳高及壳宽)和体质量等产量性状是贝类选择育种及定向培育中常用的指标^[8]。阐明形态、体质量等指标的相互关系，将为加快育种工作的进程提供重要的参考资料。

关于华贵栉孔扇贝各形态性状和质量性状间的相关分析已有研究报道^[9-11]，可是上述研究只分析了某一特定生长阶段的测量数据，无法反映各个生长或贝龄时期各性状的相关关系。但是选择育种时往往需要在不同的生长阶段进行留种，所以探讨不同贝龄期各个性状指标的相关关系，对于选择育种更具有实际指导作用。该研究对华贵栉孔扇贝进行了约1年的生长测量，对5个贝龄期4个数量性状之间的相关性及其影响体质量的因素组成进行了分析，以期选择育种提供指导。

1 材料与方法

所用的华贵栉孔扇贝来源于2009年4月人工

繁育的苗种，养殖于深圳大亚湾大鹏澳海区。在5个贝龄期(3月龄、6月龄、7月龄、9月龄和15月龄)，分别从该养殖群体中随机取100只扇贝对其壳高(SH)、壳长(SL)、壳宽(SW)和体质量(TW)进行测量，测量前将贝体表面的所有附着物及淤泥清洗干净。体质量用电子分析天平称量，精确到0.01 g，壳形态大小用数显测量尺测量，精确到0.01 mm。

采用SPSS 16.0统计软件进行表型相关分析和通径分析。通径分析参照杜家菊和陈志伟^[12]的方法进行，设TW为因变量，SH、SL、SW为自变量，因变量实施正态性检验后，然后进行逐步回归分析，并建立线性回归方程。

2 结果

2.1 5个贝龄期4个数量性状的表型相关分析

5个贝龄期华贵栉孔扇贝的壳高、壳长、壳宽和体质量的平均值见表1。4个性状间的表型相关系数见表2，都呈正相关，并达到极显著水平($P < 0.001$)。在6月龄、7月龄、9月龄和15月龄贝中，壳高与壳长之间的相关系数在所有性状间最高(0.967、0.986、0.986和0.948)；3月龄贝中壳长与体质量间的相关系数最高。在形态性状与体质量之间，除6月龄外，其他4个贝龄期的壳长与体质量的相关系数最高，壳宽与体质量的相关系数最小。

2.2 壳形态性状对体质量的通径分析

根据通径分析原理，利用性状间的表型相关系数分析结果，得到各性状对体质量的通径系数，进而得到相关指数，6月龄、7月龄、9月龄和15月龄各形态性状对体质量的相关指数分别为0.943、0.936、0.937和0.910。正态分布检验表明3月龄

表1 不同月龄华贵栉孔扇贝4个数量性状的大小($n=100$)

Tab. 1 Four quantitative traits of *C. nobilis* at different ages

月龄 months of age	壳高/mm SH	壳长/mm SL	壳宽/mm SW	体质量/g TW
3	27.65 ± 4.80	24.82 ± 4.35	9.26 ± 1.52	3.74 ± 1.91
6	42.42 ± 6.24	39.58 ± 5.92	13.41 ± 2.11	11.69 ± 4.73
7	46.02 ± 6.32	43.58 ± 6.21	14.40 ± 2.05	14.74 ± 5.46
9	53.33 ± 7.10	50.89 ± 7.00	16.78 ± 2.28	22.43 ± 8.08
15	60.71 ± 5.85	58.00 ± 5.62	21.09 ± 1.95	36.97 ± 8.88

表2 华贵栉孔扇贝各数量性状间的 Pearson 相关系数

Tab. 2 Pearson correlation coefficients among quantitative traits of *C. nobilis*

月龄 months of age	性状 trait	体质量 TW	壳高 SH	壳长 SL	壳宽 SW
3	TW	-	0.840*	0.923*	0.790*
	SH		-	0.875*	0.785*
	SL			-	0.880*
	SW				-
6	TW	-	0.964*	0.953*	0.872*
	SH		-	0.967*	0.837*
	SL			-	0.853*
	SW				-
7	TW	-	0.961*	0.964*	0.903*
	SH		-	0.986*	0.885*
	SL			-	0.897*
	SW				-
9	TW	-	0.954*	0.958***	0.861*
	SH		-	0.986***	0.836*
	SL			-	0.866*
	SW				-
15	TW	-	0.916*	0.929*	0.775*
	SH		-	0.948*	0.638*
	SL			-	0.700*
	SW				-

注: *. $P < 0.001$ Note: *. $P < 0.001$

贝的体质量不符合正态分布,因而未对其进行通径分析,其他4个贝龄期壳形态性状对体质量的通径分析结果见表3。在6月龄贝中壳长对体质量的回归系数不显著。壳高对体质量的通径系数最大为0.783(6月龄),壳长对体质量的通径系数最大为0.428(7月龄),壳宽对体质量的通径系数最小为0.158~0.266,除7月龄外,壳高的通径系数都大于壳长的通径系数。在6月龄、7月龄和9月龄,壳宽通过壳高或壳长对体质量的间接作用最大,且明显大于直接作用,15月龄时的间接作用与直接作用的差异较小。

从表4可以看出,除7月龄外,壳高对体质量的直接决定系数最大,其次是壳长,最小为壳宽;壳长通过壳高对体质量的间接决定系数最大。以体质量为依变量,其他3个壳形性状为自变量进行多元回归分析,通过逐步剔除偏回归系数不显著的自

变量,建立了4个月龄期的线性回归方程,其线形回归系数都达到显著水平($P < 0.05$)。

$$TW_6 = -19.948 + 0.593SH + 0.483SW (R^2 = 0.943)$$

$$TW_7 = -23.639 + 0.317SH + 0.376SL + 0.521SW (R^2 = 0.936)$$

$$TW_9 = -36.441 + 0.507SH + 0.441SL + 0.56SW (R^2 = 0.937)$$

$$TW_{15} = -58.855 + 0.419SH + 0.345SL + 0.266SW (R^2 = 0.91)$$

3 讨论

利用多元回归分析弄清形态性状与体质量之间的关系对于选择育种具有非常重要的现实意义^[10]。ROBERT等^[13]根据大扇贝(*Pecten maximus*)双轮幼体形态学特征和幼体脂肪含量与最大形变进行了多

表3 形态性状对体质量的通径分析

Tab. 3 Path analysis of morphological traits to total weight

月龄 months of age	形态性状 morphological trait	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect			合计 total
			壳长 SL	壳高 SH	壳宽 SW	
6	SH	0.783	-	-	0.181	0.181
	SW	0.216	-	0.655	-	0.655
7	SL	0.428	-	0.354	0.166	0.520
	SH	0.366	0.414	-	0.163	0.577
	SW	0.195	0.365	0.306	-	0.671
9	SL	0.382	-	0.439	0.137	0.576
	SH	0.445	0.377	-	0.132	0.509
	SW	0.158	0.331	0.372	-	0.703
15	SL	0.345	-	0.397	0.186	0.583
	SH	0.419	0.327	-	0.170	0.497
	SW	0.266	0.242	0.267	-	0.509

表4 形态性状对体质量的决定系数

Tab. 4 Coefficient of determination of morphological traits to total weight

月龄 months of age	形态性状 morphological trait	直接决定系数 direct coefficient of determination	间接决定系数 indirect coefficient of determination			合计 total
			壳长 SL	壳高 SH	壳宽 SW	
6	SH	0.613	-	-	0.283	0.896
	SW	0.047	-	-	-	0.047
7	SL	0.183	-	0.309	0.150	0.642
	SH	0.134	-	-	0.122	0.256
	SW	0.038	-	-	-	0.038
9	SL	0.146	-	0.335	0.105	0.586
	SH	0.198	-	-	0.118	0.316
	SW	0.025	-	-	-	0.025
15	SL	0.119	-	0.274	0.128	0.521
	SH	0.176	-	-	0.142	0.318
	SW	0.071	-	-	-	0.071

元回归分析; AHMED 和 ABBAS^[14] 利用多元相关分析了鱼、鲸和贝类幼龄期体长、体质量相关的生长参数。华贵栉孔扇贝作为一种食用贝类, 在养殖生产和育种中活体质量是生产性能的直接反映, 也是良种选育中最关注的目标性状。然而, 与准确测量的形态性状相比, 体质量性状准确测量操作的难度较大。因此, 分析形态性状(壳长、壳高及壳宽等)与体质量等之间的关系以及作用效果, 对制定合适的选育指标和育种策略具有重要的意义。该研究表明, 华贵栉孔扇贝的数量性状在其 5 个贝龄期

4 个数量性状两两间都呈正相关, 并达到极显著水平。在 3 月龄时因其体质量不符合正态分布, 不能建立线性偏回归方程, 即在该阶段通过对壳形性状的选择难以达到对体质量的选择。在表型相关分析的基础上, 进行通径系数分析和决定系数分析, 当相关指数 $R^2 \geq 0.85$ 时, 表明影响依变量的主要自变量已经找到。此研究中形态性状(壳高、壳长和壳宽)对体质量的相关指数为 0.910 ~ 0.943, 说明壳形状是影响体质量的主要因素。在 6 月龄时壳长对体质量的偏回归系数不显著, 壳高对体质量的直

接作用最大(78.3%),壳高通过壳宽的间接作用明显大于壳宽的直接作用,表明在该阶段主要以壳高进行选择,就可达到增加体质量的目的。在生长的后几个测量阶段(7月龄、9月龄和15月龄),壳长、壳高对体质量的直接作用都大于壳宽,壳高对体质量的决定系数大于壳长,壳长通过壳高对体质量的间接决定系数最大,在这些阶段选育指标应以壳高为主,同时可对壳长开展协同选择,就可达到对体质量的选择。郑怀平等^[10]对1龄华贵栉孔扇贝的通径分析也表明,以提高活体质量为目标,主要选择壳高,同时加强对壳长的协同选择。闭壳肌肉是扇贝的重要产品形式,如以提高闭壳肌质量为目标,主要选择壳长,同时加强对壳宽的协同选择^[10],而刘志刚等^[9]的报道则认为应以壳宽为第一选育目标性状,其次是体质量和壳长。这些研究结果差异产生的原因可能是所分析样品的生长状况或遗传背景有差异,虽然他们所分析的都是1龄的华贵栉孔扇贝,但其形态性状与体质量性状差异较大,如1个群体的活体质量为46.88 g,闭壳肌质量3.88 g,而另一个所分析群体活体质量为57.16 g,闭壳肌质量6.76 g。从此研究的数据也可以看出,由于不同年龄段其大小不同,形态性状对体质量的影响也会随之发生一些变化。而且这些差异原因还可能与所分析的种类有很大的关系,如刘志刚等^[15]的研究表明,马氏珠母贝(*Pinctada martensii*)壳长对体质量的决定效应最大。刘小林^[16]的研究指出壳高对栉孔扇贝(*C. farreri*)活体质量的影响最大,杨彦鸿等^[17]的研究指出青蛤(*Cyclina sinensis*)的壳长对体质量的决定效应最大。因此,形态性状对体质量影响效果的分析要充分考虑所分析样品的遗传背景、年龄和生长状况等因素。

多元回归分析已广泛应用于水产动物数量性状间的相关分析,并对育种实践中选择指标的确立提供了一定的参考价值,对马氏珠母贝壳高进行选择时其体质量也获得了较大的遗传进展^[18]。但也存在其他一些情况,有报道表明当对某个性状进行选择时其他性状有时与其呈负相关^[19-21]。当对壳高选择时,扇贝(*Argopecten ventricosus*)后代体质量的相关反应不明显,而当对体质量选择时,壳宽却发生了8%~9%的相关反应^[19]。此结果显示在育种实践中,各选育性状的相关性研究需要与各性状的遗传力大小及育种的策略等研究相结合。

致谢:该研究所用的华贵栉孔扇贝种苗在中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站培育,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 黄启风. 华贵栉孔扇贝暴发性死亡原因及防治措施刍议[J]. 福建水产, 2000, 22(3): 75-77.
HUANG Qifeng. Primary discussion on explosive death reasons and its control countermeasures of *Chlamys nobilis* [J]. J Fujian Fish, 2000, 22(3): 75-77. (in Chinese)
- [2] YUAN Tao, HE Maoxian, HUANG Liangmin. Intraspecific genetic variation in mitochondrial 16S rRNA and COI genes in domestic and wild populations of Huaguizhikong scallop *Chlamys nobilis* Reeve [J]. Aquaculture, 2009, 289 (1/2): 19-25.
- [3] 周瑞莲, 吕军仪, 吴进锋. 雷州半岛北部湾海域华贵栉孔扇贝的暴死原因调查情况[J]. 水产科技, 2006(2): 22-23.
ZHOU Ruilian, LÜ Junyi, WU Jinfeng. Investigation on explosive death reasons of *Chlamys nobilis* in Leizhou Peninsula and Beibu Gulf [J]. Fish Sci Technol, 2006(2): 22-23. (in Chinese)
- [4] AKIRA K, YUUSHI U, HIROSHI I, et al. Detection of induced triploid scallop, *Chlamys nobilis*, by DNA microfluorometry with DAPI staining [J]. Aquaculture, 1988, 69(3/4): 201-209.
- [5] 林岳光, 何毛贤, 庆宁, 等. 华贵栉孔扇贝的三倍体诱导及生长比较[J]. 热带海洋, 1995, 1(4): 84-89.
LIN Yueguang, HE Maoxian, QING Ning, et al. Triploid induction in the scallop, *Chlamys nobilis* and growth comparisons [J]. Trop Oceanol, 1995, 1(4): 84-89. (in Chinese)
- [6] 孙长森, 包振民, 王师, 等. 栉孔扇贝与华贵栉孔扇贝远缘杂交子代的胚胎发生及幼虫生长发育的初步研究[J]. 海洋与湖泊, 2007, 38(3): 227-233.
SUN Changsen, BAO Zhenmin, WANG Shi, et al. Primary study on embryogenesis and growth of distant hybrid larvae of *Chlamys farreri* × *C. nobilis* [J]. Oceanology et Limnologia Sinica, 2007, 38(3): 227-233. (in Chinese)
- [7] 张涛, 郑怀平, 孙泽伟, 等. 华贵栉孔扇贝不同壳色后代早期发育阶段性状比较[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 478-484.
ZHANG Tao, ZHENG Huaiping, SUN Zewei, et al. Comparison of traits among offspring deriving from different shell colors in noble scallop *Chlamys nobilis* Reeve at early developmental stage [J]. Chin Agric Sci Bull, 2009, 25(23): 478-484. (in Chinese)
- [8] 汤娇雯, 张富, 陈兆波. 中国海水养殖种类遗传育种进展与发展趋势[J]. 南方水产, 2009, 5(4): 77-84.
TANG Jiaowen, ZHANG Fu, CHEN Zhaobo. Achievement and development trend of genetics and breeding of mariculture varieties in China [J]. South China Fish Sci, 2009, 5(4): 77-78. (in Chinese)
- [9] 刘志刚, 章启忠, 王辉. 华贵栉孔扇贝主要经济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.
LIU Zhigang, ZHANG Qizhong, WANG Hui. Effects of main eco-

- onomic traits on adductor weight of *Chlamys nobilis* (Reeve)[J]. J Trop Oceanogr, 2009, 28(1): 61-66. (in Chinese)
- [10] 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 Huaiping, SUN Zewei, ZHANG Tao, et al. Correlation and path analysis to quantitative traits of noble scallop *Chlamys nobilis* Reeve at one-year old[J]. Chin Agric Sci Bull, 2009, 25(20): 322-326. (in Chinese)
- [11] LI Junhui, DU Xiaodong, DENG Yüewen, et al. Correlation and path coefficient analysis for phenotypic traits of noble scallop *Chlamys nobilis*[J]. Mar Sci Bull, 2010, 12(2): 55-60.
- [12] 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. Using linear regression in SPSS for path analysis[J]. Bull Biol, 2010, 45(2): 4-6. (in Chinese)
- [13] ROBERT R, NICOLAS L, MOISAN C, et al. Morphological and biochemical characterizations of the great scallop *Pecten maximus* metamorphosis[J]. C R Acad Sci, 1999, 322(10): 847-853.
- [14] AHMED M, ABBAS G. Growth parameters of finfish and shellfish juveniles in the tidal waters of Bhanbhore, Korangi Creek and Miani Hor Lagoon[J]. Pakistan J Zool, 2000, 32(1): 21-26.
- [15] 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.
LIU Zhigang, WANG Hui, SUN Xiaozhen, et al. Analysis of determination effects of economic traits on body weight of *Pinctada martensii* (Dunker)[J]. J Guangdong Ocean Univ, 2007, 27(4): 15-20. (in Chinese)
- [16] 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): 673-677.
LIU Xiaolin, CHANG Yaqing, XIANG Jianhai, et al. Analysis of effects of shell size characters on live weight in Chinese scallop *Chlamys farreri*[J]. Oceanology et Limnologia Sinica, 2002, 33(6): 673-677. (in Chinese)
- [17] 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 Yanhong, LI Zhaoxia, ZHENG Huaiping, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits for natural population of *Cyclina sinensis* in Nan'ao Island[J]. Mar Sci Bull, 2010, 29(5): 550-553. (in Chinese)
- [18] HE Maoxian, GUAN Yunyan, YUAN Tao, et al. Realized heritability and response to selection for shell height in the pearl oyster *Pinctada fucata*(Gould)[J]. Aquac Res, 2008, 39(3): 801-805.
- [19] IBARRA A M. Correlated responses at age 5 months and 1 year for a number of growth traits to selection for total weight and shell width in catarina scallop (*Argopecten ventricosus*)[J]. Aquaculture, 1999, 175(3/4): 243-254.
- [20] HEFFERMAN P B, WALKER R L, CRENSHAW J W JR. Negative larval response to selection for increases growth rate in northern quahogs *Mercenaria mercenaria* Linnaeus, 1758[J]. J Shellfish Res, 1991, 10(1): 199-202.
- [21] HEFFERMAN P B, WALKER R L, CRENSHAW J W, Jr. Embryonic and larval responses to selection for increase rate of growth in adult bay scallops, *Argopecten irradians concentricus* (Say), 1822[J]. J Shellfish Res, 1992, 11(1): 21-25.