

南海毛蚶形态特征对体重的相关分析

王 辉, 刘志刚, 符世伟

(广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025)

摘要: 随机选取同龄南海毛蚶 *Scapharca subcrenata* 雌性 62 只、雄性 59 只, 测量壳长、壳厚、壳高、后闭壳肌直径、放射肋数及活体重。采用通径分析方法研究南海毛蚶 5 个形态特征对体重的总效应, 并以综合决定系数为确定形态性状重要性的准则。结果表明, 两性中壳厚、壳高和壳长与体重均为正相关 ($p < 0.01$), 直接和间接途径都不是体重的限制因素。壳厚、壳高的平均综合决定系数分别为 0.423 和 0.412, 是影响体重最主要因素且都具有育种意义。

关键词: 毛蚶 *Scapharca subcrenata*; 形态特征; 通径系数; 决定系数

中图分类号: Q173; Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5470(2007)06-0058-04

Correlation between morphological traits and body weight of *Scapharca subcrenata* from South China Sea

WANG Hui, LIU Zhi-gang, FU Shi-wei

(Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Abstract: Identically aged *Scapharca subcrenata* from the South China Sea were chosen at random (62 females and 59 males) to measure the morphological traits such as shell length, shell thickness, shell height, rear shell-closing muscle diameter, number of radial spokes and live body weight. The path analysis procedure was utilized to investigate the total effect of 5 morphological traits on the body weight of *Scapharca subcrenata* and the total decision coefficient was used as a criterion for determination of relative importance of the morphological traits. The results showed that the shell thickness, shell height and shell length were all positively related to the body weight for both the gender groups ($p < 0.01$); moreover, neither direct nor indirect paths were limiting factors of body weight. The total coefficients for shell thickness and shell height, on average, amounted to 0.423, 0.412 respectively, evincing that these two traits are most influential factors on body weight and are relevant to breeding.

Key words: *Scapharca subcrenata*; morphological trait; path coefficient; decision coefficient

毛蚶 *Scapharca subcrenata* 属著名海产双壳贝类, 为我国蚶科贝类中主要养殖对象之一。其适应范围广, 经济价值高, 加上营养丰富、味道鲜美, 深受消费者喜爱^[1]。毛蚶主要供鲜食, 亦有腌渍加工产品。蚶壳可作药用, 有“消血块, 化痰积”功效。贝壳含碳酸钙较多, 除烧制石灰外, 也是陶瓷工业的原料。然而, 由于捕捞过度和环境污染等原因, 近年来毛蚶资源量急剧下降且个体生产性能出

现较严重的衰退, 这就要求进行毛蚶育种工作, 而在育种中必须首先了解毛蚶各性状间的关系。

关于毛蚶的研究文献主要集中在养殖技术和育苗等方面^[2-4], 其基础研究不多见。刘小林等^[5]研究了栉孔扇贝 *Chlamys farreri* 壳尺寸对体重的影响; Robert 等^[6]研究了大扇贝 *Pecten maximus* 幼体形态学特征与体脂肪含量的关系; Yang 等^[7]分析了烟台筏养栉孔扇贝 *Chlamys farreri* 生长性状

收稿日期: 2006-10-17; **修订日期:** 2007-04-16。刘学东编辑

基金项目: 广东省科技厅项目 (2005B26001079、2006B20201055)

作者简介: 王 辉 (1966—), 男, 内蒙古通辽市人, 副教授, 从事水产经济动物遗传育种及生物统计学的教学与科研。E-mail: whh524@sina.com

通讯作者: 刘志刚。liuzg@gdou.edu.cn

与环境因子间的关系；Ana 等^[8]报道了经一个世代选择后扇贝 *Argopecten ventricosus* 体重与壳高间表型、遗传相关关系及实现遗传力；Harue 等^[9]利用多元相关分析通过红海鲤科养殖鱼类标准体长、体重估计了体脂肪含量；Pierre 等^[10]研究了太平洋牡蛎非整倍性与生长性状间的关系；Su 等^[11]分析了虹鳟不同阶段体重与繁殖性状间的关系。本文旨在利用通径分析方法来分析南海毛蚶形态特征与体重间的内在联系，为其育种工作提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 生物材料

分析用毛蚶(2 龄生长期，以背面的放射肋数为参照)随机取自湛江市某养殖场。选取贝体强壮，活力好，贝壳表面无损伤，无寄生虫和其它病害。雌性贝体样本量为 62，雄性为 59。

1.2 性状测量

毛蚶 5 个形态性状分别为壳长、壳厚、壳高、后闭壳肌直径、放射肋数和一个产量性状为活体重。测量在广东海洋大学遗传育种实验室进行。将毛蚶置于盐度为 25—31 的水池中，然后用解剖刀剪解剖。用电子天平(精度±0.01g)称量毛蚶的体重，游标卡尺(精度±0.02mm)测量壳长、壳厚、壳高及后闭壳肌直径，计数器记录放射肋数，各性别组测量值以平均值±标准差统计汇总后进行统计分析。

1.3 统计分析

本文采用的统计方法为通径分析法^[12,13]，在此只给出分析中作为判定变量重要依据的综合决定系数 d_j ：

$$d_j = R_j^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j < k}}^p R_{jk}^2$$

$$R_j^2 = P_j^2, \quad R_{jk}^2 = 2P_j r_{jk} P_k$$

式中， R_j^2 为变量 j 对依变量的决定系数， R_{jk}^2 为

变量 j 与 k 通过相关对依变量的间接决定系数， $j = 1, \dots, p$ ， p 为自变量个数， $k \neq j$ ； P_j 、 P_k 为相应的通径系数； r_{jk} 为表型相关系数(Pearson 相关)。使用统计软件 SPSS13 处理数据。

2 结果与分析

毛蚶两个性别各形态性状的统计量见表 1。

2.1 两个性别各形态性状间的表型相关系数

在实际育种中，由于毛蚶雌雄群体中施加的选择压彼此不同，遗传进展也不同，所以本文对雌雄两组分别进行数据处理。

表 1 毛蚶两个性别各形态性状统计量

Tab. 1 Statistics for morphometrical traits of <i>Scapharca subcrenata</i>							
性别	统计量	体重 /g	壳长 /mm	壳宽 /mm	壳高 /mm	闭壳肌直 径/mm	放射肋数
雄	均值	136.763	7.532	5.401	6.341	1.485	36.58
	标准差	18.745	0.419	0.340	0.412	0.944	1.380
雌	均值	131.852	7.650	5.341	6.400	1.480	36.52
	标准差	20.012	0.484	0.391	0.460	0.136	0.998
总计	均值	134.227	7.593	5.370	6.370	1.483	36.55
	标准差	19.486	0.456	0.367	0.436	0.117	1.193

由于遗传和环境的影响，不但毛蚶各形态性状与体重间存在不同程度的相关，它们彼此间也存在相关。从相关系数看(表 2)，雌雄两组中除放射肋数与体重的相关不显著外($p > 0.05$)，其余 4 个形态性状与体重间的相关都有统计学意义($p < 0.05$)，且都为正相关，表明这几个形态性状的增大会引起体重的增长，但这还不能说明性状重要性的大小。事实上，某个形态性状与体重间的相关仅表示该性状对体重总的影响，其中包含其它变量的间接作用，因而不能仅以与体重的相关程度来确定形态变量的重要性，还要通过通径分析揭示各形态性状对体重的效应机理，进一步找出重要性状，并在实际育种中加以利用。

表 2 两个性别间各形态性状间的表型相关系数

Tab. 2 Phenotypic correlations between traits of interest

	壳长	壳厚	壳高	后闭壳肌直径	放射肋数	体重
壳长		0.383**	0.790**	0.539**	0.258*	0.734**
壳厚	0.315*		0.103	0.334**	0.074	0.692**
壳高	0.670**	0.242		0.416**	0.276*	0.648**
后闭壳肌直径	0.460**	0.264*	0.345**		0.200	0.483**
放射肋数	0.252*	−0.071	0.225	−0.121		0.230
体重	0.703**	0.645**	0.715**	0.382**	0.105	

注：上三角为雌性($n=62$)，下三角为雄性($n=59$)；双尾 t 检验；* 与 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平上有统计学意义。

2.2 线性模型拟合与复相关系数

毛蚶体重与 5 个形态性状间的线性模型拟合结

果见表 3。由表 3 可见该线性模型在两性中拟合效果理想，在雌雄组中校正复相关系数分别是 0.896

和 0.878，都有统计学意义。表明毛蚶体重与 5 个形态性状间为线性关系。这种线性关系的存在对通径分析至关重要。

表 3 方差分析表与复相关系数

Tab. 3 ANOVA and multiple correlations						
性别	模型	平方和	自由度	均方差	F 值	复相关系数
						未校正 校正
雄	回归	16 106.874	5	3 221.375	39.959**	
	残差	4 272.684	53	80.617		0.889** 0.878**
	总和	20 379.558	58			
雌	回归	20 333.639	5	4 066.728	50.749**	
	残差	4 487.550	56	80.135		0.905** 0.896**
	总和	24 821.190	61			

注：依变量为体重，* 与 ** 意义同表 2 注。

2.3 通径系数与方差膨胀因子

毛蚶两性别组中各形态性状的通径系数、显著性及方差膨胀因子见表 4。从表 4 可见，在雌雄中壳长、壳厚、壳高的通径系数都有统计学意义($p < 0.05$)，说明这 3 个形态性状对毛蚶体重的效应大；而后闭壳肌直径和放射肋数的通径系数都没有统计学意义($p > 0.05$)，说明这 2 个形态性状对体重的效应很小。就各形态性状对体重的直接效应看，壳厚>壳高>壳长>后闭壳肌直径>放射肋数，这一点在雌雄两组中相同。方差膨胀因子是线性模型中衡量共线性程度的统计量。一般认为，当方差膨胀因子大于 10，即表明线性模型中存在严重的复共线性，而严重的复共线性将导致通径分析丧失可靠性。从表 4 看，毛蚶雌雄组中形态性状的方差膨胀因子都没有超过 4，表明模型中的复共线性程度很小，拟合的线性统计模型及相应参数的估计可靠。

表 4 通径系数与方差膨胀因子

Tab. 4 Path coefficients and variance inflation factors					
性别	性状	通径系数 P_j	t 检验	显著性	方差膨胀因子
雄	壳长	0.298	3.178	0.002	2.224
	壳厚	0.453	6.700	0.000	1.155
	壳高	0.423	4.950	0.000	1.842
	后闭壳肌直径	-0.025	-0.339	0.736	1.395
	放射肋数	-0.037	-0.532	0.597	1.189
雌	壳长	0.100	0.905	0.369	3.788
	壳厚	0.595	8.927	0.000	1.377
	壳高	0.498	4.975	0.000	3.099
	后闭壳肌直径	0.023	0.333	0.741	1.457
	放射肋数	0.004	0.060	0.952	1.104

2.4 两组性别间形态性状对体重效应的通径分析

从表 5 中各形态性状对体重的间接效应看，在雄性组中壳长主要通过壳厚和壳高间接途径对体重产生正的影响，分别为 0.143 和 0.283；通过后闭壳肌直径和放射肋数间接途径的效应很小，分别为

-0.012 和 -0.009，可忽略不计。另外壳厚主要通过壳长和壳高、壳高主要通过壳长和壳厚间接途径对体重产生正的影响，而壳厚和壳高分别通过后闭壳肌直径、放射肋数途径的间接效应，故也可忽略不计。在雌性组中也存在相同情况，只是各间接效应值彼此不同(表 5)。

表 5 两组性别间形态性状对体重效应的通径分析

Tab. 5 Path analysis for effects of morphological traits on body weight in two sex groups						
通径	直接决定效应		间接决定效应		决定系数 d_j	
	雄	雌	雄	雌	雄	雌
壳长对体重	0.089	0.010	0.241	0.136	0.330	0.137
壳厚对体重	0.205	0.354	0.173	0.114	0.378	0.468
壳高对体重	0.179	0.248	0.249	0.149	0.428	0.397
后闭壳肌直径对体重	0.000	0.001	-0.023	0.021	-0.023	0.022
放射肋数对体重	0.001	0.000	-0.006	0.002	-0.005	0.002
残差	0.122	0.104			0.122	0.104

某个形态性状对体重的综合决定系数 d_j 中包含 2 个组分：一是该性状对体重的直接决定效应(通径线)；二是该性状通过其他路径(相关线)对体重的间接决定效应。作为确定形态性状对体重效应的准则，其意义很明显，即把某个形态性状对体重的直接效应与该性状通过其它各性状对体重的间接效应综合起来考虑。因此， d_j 的值可能为正，也可能为负(表 5)，将该值由大到小排序，这个顺序就反映了性状对体重的综合效应大小的顺序。与 d_j 最大值对应的变量可能对体重的直接效应不是最大(表 5)，但它的综合效应最大，因而可以把它作为体重的主要决定因素。从表 5 中综合决定系数看，在毛蚶雄性组中形态性状重要性顺序为壳高(0.428)>壳厚(0.378)>壳长(0.330)，在雌性组中壳厚(0.468)>壳高(0.397)>壳长(0.137)，后闭壳肌直径和放射肋数对体重的效应可以忽略。

3 讨论

通径分析能够从复杂的自变量相关网络中确定某个自变量并决定依变量的最佳路径，具有决策意义，其决策准则即是综合决定系数^[12]。由于综合决定系数中包含直接和间接决定系数，因而信息量较大，当将该方法应用于分析生物性状间是否相关时，以综合决定系数为变量重要性的决策准则应是恰当的^[13]。本文采用综合决定系数确定毛蚶形态性状对体重的相对重要性，结果表明，在南海毛蚶两性群体中，壳厚、壳高和壳长遗传上似属于同一连锁群，且都不是体重的限制性因素，其综合决定效应平均分别为 0.423、0.412 和 0.234，这一点

具有较大实际育种意义，同时与刘小林等^[6]的结论不同，因为后者的决策准则是变量的直接决定系数，并没有考虑间接途径的效应；后闭壳肌直径和放射肋数对体重的效应可忽略，它们与体重和其它形态性状的相关可能是由抽样误差所造成。由于基因的多效性、连锁及共同环境的影响，生物性状间都彼此相关，因此在决定性状的重要性时，不应单纯以直接决定效应作为确定变量重要性的准则，应将间接决定效应也考虑进来，增加信息量，提高决策的准确性。进一步应该从遗传相关而不是从表型相关角度研究性状间的关系^[8,11]，因为性状间的遗传相关揭示了由基因多效和连锁造成的遗传关系，它可在上下代间稳定传递，而表型相关中含有不能真实遗传的环境相关^[14,15]。

由于多性状选择指数在任何情况下均具有最高的选择效率^[14,15]，所以育种过程中的选种都依据选择指数来进行，本研究有助于毛蚶育种方案的制定。若将形态性状纳入到选择指数中，须首先搞清性状间关系才会使各性状取得满意的遗传进展，不至于出现“顾此失彼”的情况^[10]。从本文结果看，由于毛蚶重要形态性状间为正相关，要提高毛蚶体重或产量，形态性状应以壳厚和壳高为主要育种目标性状。当然，实际中还有很多其他考虑，如目标性状的个数、选择强度、性状的经济价值等。

本文初步研究了毛蚶各形态性状间的关系，初步为解决毛蚶育种问题奠定了基础。为了实际应用，还应利用亲子回归或同胞相关等方法估计出重要经济性状的遗传参数，如遗传力、遗传相关等^[15]。运用分子遗传技术检测群体遗传变异水平对毛蚶育种亦为必要。

从本文中 ANOVA 的结果和校正复相关系数(或剩余系数)看，毛蚶形态性状与体重间存在线性回归关系($p<0.01$)，没有将影响毛蚶体重的其它重要形态性状遗漏，表明这种线性关系可靠。线性回归模型是通径分析的基础，其通径系数的估计是利用最小二乘法得到的^[12,13]。若模型为非线性，则直接违反了线性回归模型的 Gauss-Markov 假设，即使估计出了各性状效应，也不能保证所有估计具有最小二乘估计的优良性质，从而失去通径分析的意义，这一点在实际应用通径分析时经常被忽略。

在生物模型中总存在程度不同的复共线性，严重重复共线性的存在会破坏或极大降低通径系数估计的准确度，增加其不稳定性，因此必须引起重视^[12,13]。从本研究中方差膨胀因子的结果看，毛蚶体重与形态性状间的回归模型中不存在严重的复共线性(表 4)，因而本文中各形态性状对毛蚶体重

的效应具有稳定性。

另外，一些研究者从生化、能量代谢角度研究了贝类形态性状与生化指标间的相关关系^[6,9]，以及从生态角度研究了贝类生长发育与环境因子间的相关^[7]，这都为南海毛蚶的深入研究指明了方向。

参考文献：

[1] 周 军，张海鹏，李怡群，等. 毛蚶生物学特性的研究[J]. 河北渔业，2005，2：18—20.

[2] 刘洪文，郭增祥，孙庆田. 浅海毛蚶养殖试验[J]. 河北渔业，2004，3：25—26.

[3] 刘爱英，马云聪，赵光环，等. 毛蚶人工育苗技术[J]. 海洋湖沼通报，2005，1：86—90.

[4] 牟均素，唐晓利，衣维国，等. 毛蚶生产性育苗试验[J]. 中国水产，2005，6：62—64.

[5] 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.

[6] ROBERT R, NICOLAS L, MOISAN C, et al. Morphological and biochemical characterizations of the great scallop *Pecten maximus* metamorphosis[J]. C R Acad Sci (Ser. 3), 1999, 322(10)：847—853.

[7] YANG Hong-Sheng, ZHANG Tao, WAN Jiang, et al. Growth characteristics of *Chlamys farreri* and its relation with environmental factors in intensive raft-culture area of Sishiliwan Bay, YanTai[J]. J Shellfish Res, 1999, 18(1)：71—76.

[8] ANA M, IBARRA J L, RAMIREZ C A, et al. Realized heritabilities and genetic correlation after dual selection for total weight and shell width in catarina scallop (*Argopecten ventricosus*) [J]. Aquaculture, 1999, 175(3—4)：227—241.

[9] HARUE K, MUTSUYSHI T, KATSUYA M, et al. Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured Red Sea bream [J]. Fisheries Science Tokyo, 2000, 66(2)：365—371.

[10] PIERRE B, CATHERINE T Q. Negative correlation between aneuploidy and growth in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*: ten years of evidence [J]. Aquaculture, 2001, 193(1—2)：39—48.

[11] SU Guo-Shengt, LARS-ERIK Liljedahl. Genetic correlations between body weight at different ages and with reproductive traits in rainbow trout[J]. Aquaculture, 2002, 213(1—4)：85—94.

[12] 袁志发，周静丰. 多元统计分析[M]. 北京：科学出版社，2003：145—180.

[13] STEVENS J P. Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences (4th ed.) [M]. Mahwah N J. Lawrence Erlbaum Associates, 2001：123—165.

[14] FALCONER D S, MACKAY T F C. Introduction to quantitative Genetics (4th ed.) [M]. Addison Wesley Longman Limited, U K. 1996：223—245.

[15] 盛志廉，陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京：科学出版社，1999：120—168.