

文章编号: 1000-0615(2017)04-0580-08

DOI: 10.11964/jfc.20160610463

## 不同贝龄栉孔扇贝数量性状的相关性和通径分析

杜美荣<sup>1,2</sup>, 方建光<sup>1,2</sup>, 高亚平<sup>1,2</sup>, 房景辉<sup>1,2</sup>, 蒋增杰<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 为深入了解栉孔扇贝形态性状与湿重之间的关系, 为栉孔扇贝选育工作中亲贝的挑选提供策略, 本研究使用来自同一家系的栉孔扇贝子代324只一龄个体以及生长到二龄的230个个体的性状数据进行通径分析。性状数据包括壳长( $x_1/\text{cm}$ ), 壳高( $x_2/\text{cm}$ ), 壳宽( $x_3/\text{cm}$ ), 湿重( $y/\text{g}$ )。结果显示, 所有形态性状和湿重之间的相关系数均达到极显著水平。其中与一龄贝湿重相关系数最大的是壳长, 为0.939, 与二龄贝湿重相关系数最大的是壳高, 为0.808。通径分析结果显示, 壳长对一龄贝湿重的直接影响最大(0.532), 壳高对一龄贝湿重的直接影响最小(0.163)。壳高对二龄贝湿重的直接影响最大(0.451), 壳长对二龄贝湿重的直接影响最小(0.191), 决定系数与以上通径分析结果的变化趋势一致。利用多元回归的方法构建了一龄贝和二龄贝形态性状与湿重间的回归方程, 一龄贝:  $y = -10.527 + 0.287x_1 + 0.087x_2 + 0.409x_3$ ,  $R^2 = 0.926$ ; 二龄贝:  $y = -68.609 + 0.254x_1 + 0.719x_2 + 2.008x_3$ ,  $R^2 = 0.830$ 。本研究结果为栉孔扇贝种贝的挑选提供了理论依据。

**关键词:** 栉孔扇贝; 贝龄; 数量性状; 通径分析

**中图分类号:** Q 348; S 968.3

**文献标志码:** A

生物体的表型性状受基因型、环境, 以及基因型与环境互作等方面影响, 表型性状被作为生物体进行种质复壮和优良性状选育的主要指标。实际养殖生产中, 多以重量进行最后价值的估算, 单个个体湿重直接影响总体产量, 所以湿重性状在选育工作中是较重要的目标经济性状。生物体的表型性状虽受多基因控制, 但形态性状与重量性状间也存在一定的关系。已有研究表明, 针对不同生物, 影响其湿重的主要形态性状是不同的, 在有关栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)、日本镜蛤(*Dosinia japonica*)<sup>[1-2]</sup>, 以及背瘤丽蚌(*Lamprotula leai*)<sup>[3]</sup>、日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)和日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)的研究中都有体现<sup>[4-5]</sup>。控制生物体形态性状和重量性状的基因间存在

遗传连锁, 因形态性状较为直观, 肉眼可辨, 而重量性状不直观, 需要借助天平等工具测量得出。因此, 发挥形态性状直观可见的优势, 研究其对重量性状的决定和影响程度, 并以形态性状为选育参数, 筛选出具有高产能力的养殖群体, 对指导选育工作具有十分重要的意义。

通径分析理论是由数量遗传学家Wright<sup>[6]</sup>在20世纪20年代提出, 通径分析可以确定参数间的相关性, 并将参数间的相关系数拆分为直接影响和通过其他参数的间接影响, 从而通过通径分析建立最优回归方程。利用形态性状和重量性状间的通径分析指导选育工作在多种海洋生物的选育中得以实现<sup>[7-10]</sup>。针对日本沼虾的研究发现, 影响湿重的主要性状在雌性和雄性中是不同的<sup>[4]</sup>, 并分别建立了雌雄个体形态性状和湿

收稿日期: 2016-06-29 修回日期: 2016-10-10

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(20603022016017); 国家贝产业技术体系专项(CARS-48); 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A405-2); 国家自然科学基金青年基金(41306117)

通信作者: 蒋增杰, E-mail: jiangzj@ysfri.ac.cn

重性状间的回归方程。对日本囊对虾野生群体和越冬养成群体的研究表明,影响其体质量和肌肉重的核心变量大致相同<sup>[5]</sup>,并给出形态性状与重量之间的回归关系。刘小林等<sup>[1]</sup>建立了栉孔扇贝壳尺寸对湿重的回归方程,并指出壳高对湿重的直接影响最大。

栉孔扇贝是我国北方传统养殖贝类,在我国北方的三大扇贝[栉孔扇贝、海湾扇贝(*Argopecten irradians*)和虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)]养殖种类中,栉孔扇贝是唯一原产于我国的土著种类,养殖历史悠久。20世纪80年代,我国的栉孔扇贝养殖达到顶峰,90年代后期发生了大规模死亡现象,这与多年使用自然采集的苗种,未对种质进行选育和复壮有一定关系<sup>[11]</sup>,因此针对栉孔扇贝开展人工选育工作显得尤为重要。春季繁殖的栉孔扇贝,经过一年的生长,到次年的春天(一龄),个体平均壳长为3~4 cm<sup>[12]</sup>,几乎所有扇贝均性成熟可进行繁殖。因此,一龄贝可以作为繁殖群体,使用一龄贝进行繁育可以缩短选育周期。目前的育苗生产中,主要以二龄贝作为繁殖主力参与繁殖,而选育的科研工作为了加快育种进程大多使用一龄贝,因此这两种贝龄扇贝的种贝挑选中如何通过直观性状确定非直观性状(如湿重)的优劣,显得尤为重要。目前虽有针对不同性别以及苗种来源的栉孔扇贝的通径分析<sup>[11, 13-14]</sup>,但对具有相同遗传背景的不同贝龄的栉孔扇贝通径分析尚无报道。本研究通过对2013年春季建立栉孔扇贝家系在同一个养殖海区养殖到一龄和二龄时的形态性状和湿重性状的通径分析,研究不同贝龄湿重性状与贝壳尺寸性状间的相关性,建立回归方程,以期为加入繁殖群体的一龄和二龄种贝的挑选提供策略,缩短育种进程。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

2013年4月采用升温育苗的方法构建了栉孔扇贝家系,在青岛流清河进行中间培育和养成。扇贝养殖一年后(一龄),取样324只,测量壳长、壳高、壳宽和湿重;再经过1周年的养殖后(二龄)随机取样230只个体测量壳长、壳高、壳宽和湿重。

### 1.2 实验方法

**数据测定** 对上述栉孔扇贝数据进行形态学测定,使用精确度为0.01 mm的游标卡尺测定壳长( $x_1$ )、壳高( $x_2$ )、壳宽( $x_3$ ),使用精确度为0.01 g的天平称量湿重( $y$ ),统计各参数的平均值和标准差。

**数据分析** 数据采用SPSS Statistics17.0逐步回归的方法进行分析。采用Pearson相关性计算相关系数,剖析相关系数,对影响湿重的贝壳尺寸性状进行通径分析,计算决定系数。

分析中使用的公式:

$$\text{决定系数}(d_i): d_i = P_i^2$$

式中, $P_i$ 为某性状对湿重的通径系数。

$$\text{多参数共同决定系数}(d_{ij}): d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$$

式中, $r_{ij}$ 为性状间的相关系数; $P_i$ 、 $P_j$ 分别为单参数对湿重的通径系数。

$$\text{多元线性回归方程: } y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k$$

式中, $\beta_0$ 为常数项, $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、... $\beta_k$ 为偏回归系数; $x_1$ 、 $x_2$ 、... $x_k$ 为偏回归系数所对应的自变量。

## 2 结果

### 2.1 形态性状与湿重的统计

从一龄和二龄栉孔扇贝的贝壳尺寸分析,经过一年的生长,二龄贝壳尺寸性状和湿重性状显著大于一龄贝( $P < 0.01$ )(表1)。由变异系数可知,湿重的变异系数大于其他贝壳尺寸性状,变异系数的大小是进行选育的关键参考依据,变异较大时选择的潜力也较大,开展选择育种的价值也越高。

### 2.2 各性状间的相关性分析

本实验中所有性状均表现为极显著相关( $P < 0.01$ ),其中与一龄贝湿重相关系数最大的是壳长(0.939),其次是壳高,再次是壳宽(表2)。与二龄贝湿重相关系数最大的为壳高(0.808),再次是壳宽,壳高最小。单一性状与湿重间的相关系数表示该性状对湿重的总影响(直接影响与间接影响),其中除了该性状的直接影响外还包含通过其他性状的间接影响,仅通过相关系数不能确定变量的重要性,需要对相关关系作进一步分析。

### 2.3 壳长、壳高和壳宽对湿重的通径分析

根据形态性状与湿重间的相关系数,使用

表 1 不同贝龄栉孔扇贝表型性状统计

Tab. 1 The phenotypic parameter statistics of *C. farreri* at different ages

贝龄 age	参数 parameter	壳长/mm shell length	壳高/mm shell height	壳宽/mm shell width	湿重/g wet weight
一龄	平均值	30.414	35.456	10.690	5.652
	标准差	4.729	4.791	1.836	2.554
	变异系数/%	15.547	13.512	17.180	45.181
二龄	平均值	65.769	71.744	23.858	47.616
	标准差	6.502	4.791	1.851	8.639
	变异系数/%	9.887	6.678	7.759	18.143

表 2 不同贝龄栉孔扇贝表型性状相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between the phenotypic traits for *C. farreri* at different ages

贝龄 age	参数 parameter	湿重 wet weight	壳长 shell length	壳高 shell height	壳宽 shell width
一龄	湿重	1	0.939**	0.914**	0.890**
	壳长	0.939**	1	0.944**	0.861**
	壳高	0.914**	0.944**	1	0.848**
	壳宽	0.890**	0.861**	0.848**	1
二龄	湿重	1	0.679**	0.808**	0.763**
	壳长	0.679**	1	0.641**	0.460**
	壳高	0.808**	0.641**	1	0.543**
	壳宽	0.763**	0.460**	0.543**	1

注: \*\* 相关性指数差异极显著 ( $P < 0.01$ )

Notes: \*\*. the difference was extremely significant ( $P < 0.01$ )

通径分析理论分解性状间相关系数。并采用逐步回归的方法得出壳长、壳高和壳宽对湿重的直接通径系数(直接作用)和其他性状的间接作用之和。在相关系数中扣除其他性状与湿重的直

接作用, 得到其他性状中每一个性状对湿重的间接作用(表3)。

对一龄贝直接作用最大的是壳长(0.532), 其次为壳宽(0.294), 再次为壳高(0.163)。对一龄

表 3 不同贝龄栉孔扇贝数量性状对湿重的通径分析

Tab. 3 The path coefficients of the morphometric to the wet weight for *C. farreri* at different ages

贝龄 age	性状 trait	相关系数 $r_{ij}$ relative coefficient	直接作用 $P_i$ direct effect	间接作用 $r_{ij}P_j$ indirect effect			
				$\Sigma$	壳长/mm shell length	壳宽/mm shell width	壳高/mm shell height
一龄	壳长	0.939	0.532	0.407		0.253	0.153
	壳宽	0.890	0.294	0.596	0.458		0.138
	壳高	0.914	0.163	0.751	0.502	0.250	
二龄	壳长	0.679	0.191	0.487		0.198	0.289
	壳宽	0.763	0.430	0.333	0.088		0.245
	壳高	0.808	0.451	0.356	0.123	0.233	

注: 以第一行为例,  $\Sigma$ 代表壳长通过壳宽和壳高对湿重的间接作用之和, 下同

Notes: take the first row as an example,  $\Sigma$  represents the effect of the shell length on the wet weight through the shell width and the shell height constant, the same below

贝间接作用最大的是壳长通过壳高间接影响湿重(0.502),其次是壳长通过壳宽间接影响湿重(0.458),再次是壳宽通过壳长间接影响湿重(0.253)。

对二龄贝直接作用最大的是壳高(0.451),其次是壳宽(0.430),最小的是壳长(0.191)。壳高通过壳长最大程度的间接影响湿重(0.289),其次是壳高通过壳宽间接影响湿重(0.245),再次是壳宽通过壳高间接影响湿重(0.233)。

## 2.4 壳长、壳高和壳宽对湿重的决定程度

根据“实验方法”中的公式计算形态性状对湿重的决定系数。对角线方向是单参数决定系数,对角线以上是一个性状通过其他性状间接决定湿重的系数。针对单参数决定系数而言,对一龄贝决定系数最大的参数是壳长,为0.283,影响二龄贝最大的是壳高,为0.204(表4)。可见,即便是同一个遗传背景的养殖群体,在一

表4 栉孔扇贝形态性状对湿重的决定系数

**Tab. 4 The determinant coefficients of morphometric traits to the wet weight of *C. farreri***

贝龄 age	性状 trait	壳长/mm shell length	壳宽/mm shell width	壳高/mm shell height
一龄	壳长	0.283	0.269	0.163
	壳宽		0.087	0.081
	壳高			0.026
二龄	壳长	0.037	0.076	0.111
	壳宽		0.185	0.211
	壳高			0.204

表5 栉孔扇贝形态性状和湿重偏回归系数和回归常数的显著性检验

**Tab. 5 Test of significance of the partial regressions and constants of *C. farreri***

贝龄 age	参数 parameter	偏回归系数 partial regression coefficient		回归系数 regression coefficient	<i>t</i>	Sig.	
		<i>B</i>	标准差				
一龄	湿重	常量	-10.527	0.329		-31.993	0.000
		壳长	0.287	0.029	0.532	9.778	0.000
		壳高	0.087	0.028	0.163	3.120	0.002
		壳宽	0.409	0.047	0.294	8.693	0.000
二龄	湿重	常量	-68.609	3.616		-18.975	0.000
		壳长	0.254	0.049	0.191	5.161	0.000
		壳高	0.719	0.062	0.451	11.520	0.000
		壳宽	2.008	0.158	0.430	12.703	0.000

龄和二龄时其表型性状亦有差别。就间接决定系数而言,对一龄贝决定系数最大的是壳高与壳长对湿重的间接决定,对二龄贝间接决定系数最大的是壳高与壳宽对湿重的间接决定,甚至超过壳高的决定系数。因此,以湿重为目标挑选一龄贝时,从形态性状上首先要选择壳长,同时加强对壳高的协同选择。以湿重为目标挑选二龄贝时,则以壳高为优先选择,同时加强壳宽的协同选择。

## 2.5 壳长、壳高和壳宽对湿重的回归

对偏回归系数的统计表明,各形态性状均对湿重产生极显著的影响( $P<0.01$ )(表5),说明所有自变量和因变量之间都有极显著的线性关系。对一龄贝和二龄贝建立以壳长、壳高和壳宽等形态性状为自变量,湿重为因变量的回归方程:

$$\text{一龄贝: } y = -10.527 + 0.287x_1 + 0.087x_2 + 0.409x_3, R^2 = 0.926$$

$$\text{二龄贝: } y = -68.609 + 0.254x_1 + 0.719x_2 + 2.008x_3, R^2 = 0.830$$

多元线性回归的方差分析表明,湿重与形态性状之间的回归达到极显著水平( $P<0.01$ )(表6)。其中 $F=1071.399$ 、 $349.428$ ,均符合 $P<0.01$ ,方差分析结果有显著差异,说明方差分析是有意义的,可以应用于实际的生产中。

## 3 讨论

### 3.1 栉孔扇贝的生长特性与实验材料的选取

栉孔扇贝属我国北方养殖扇贝的主要种类,

表6 栉孔扇贝壳长、壳高对湿重回归的方差分析

Tab. 6 Analysis of variance of the multiple regression equations for *C. farreri*

贝龄 age	方差来源 source of variance	平方和 squares	df	均方 mean square	F值 F-value	P值 P-value
一龄	回归	1915.647	3	638.549	1071.399	0.000
	残差	190.719	320	0.596		
	总计	2106.366	323			
二龄	回归	1 4060.088	3	4686.696	349.428	0.000
	残差	3031.221	226	13.412		
	总计	1 7091.309	229			

养殖周期一般为18~24个月<sup>[15]</sup>。该物种每年有两个快速生长期,分别为水温15~20℃的春季和秋季,生长因季节不同而有明显差异,并且在其生活史的范围,生长速率亦存在较大的年度差异,第一年和第二年的生长量占一生的65%,以后壳长的年生长量越来越小<sup>[16]</sup>。开展通径分析实验材料要选取具有较大生长率的年份(一龄,二龄)。同时一龄贝在繁殖季节性腺发育成熟可以参与繁殖,二龄贝也是育苗生产上通用种贝的规格。通过对一龄、二龄贝数量性状对湿重的通径分析可以很好地指导育苗生产中种贝的挑选工作。同时,生物体形态性状受遗传和环境共同作用影响<sup>[17]</sup>,为尽量减少苗种来源和遗传背景对本实验结果的影响,实验中使用具有相同遗传背景的栉孔扇贝家系子代,从而最大程度降低因遗传背景不同造成的误差。

### 3.2 不同贝龄栉孔扇贝数量性状与湿重的关系

研究表明,同一养殖环境下,具有相同遗传背景的栉孔扇贝在不同年龄阶段,表现出不同的体型特征。不同年龄阶段的栉孔扇贝影响湿重的主要决定因子不同,一龄时的主要影响因子为壳长,其次是壳高;而二龄时主要影响因子为壳高,其次是壳宽。这与刘小林等<sup>[1]</sup>和杜美荣等<sup>[13]</sup>关于一龄和二龄栉孔扇贝的通径分析结果一致。栉孔扇贝浮游幼虫阶段,其生长主要在壳长方向,最大生长线为沿壳长方向,壳高方向的日生长率较低。当变态为稚贝后,逐渐开始壳高方向的生长,壳高方向的生长率略大于壳长方向,最大生长线开始由壳长方向转为壳高方向<sup>[15]</sup>。针对不同贝龄的华贵栉孔扇贝(*C. nobilis*)的研究表明<sup>[18]</sup>,3月龄华贵栉孔扇贝以壳长为主要选择指标,而6月龄之后主要以壳高

为主要选择指标,本研究结果与该研究一致,只是延迟至一龄以后才以壳高为主要选择指标,以上结果可能与贝类从幼虫到成贝过渡的生长策略有一定关系。

与其他贝类相比,本研究结果也与埋栖型贝类不同贝龄的通径分析有所差异。针对不同贝龄毛蚶(*Scapharca subcrenata*)的数量性状与体质量的通径分析结果表明,影响一龄毛蚶体质量的因子为壳长,影响二龄毛蚶体质量的因子为壳长和壳宽,而到三龄时影响其体质量的因子则为壳宽<sup>[19]</sup>。不同贝龄,一般会有较大的个体大小差异。针对硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)的研究表明,不论规格大小,壳长均是影响体质量的主要因素<sup>[20]</sup>。本研究结果显示一龄时的主要影响因子为壳长,而二龄时主要影响因子为壳高,与以上两种贝类有所不同,原因可能为以上两种贝类是埋栖型,栉孔扇贝属于固着型,其生活习性以及外观都与前二者有差别,故通径分析的结果不同,不能一概而论。

本研究通过对作为繁殖群体主力的一龄和二龄栉孔扇贝的数量性状和湿重的通径分析,阐明了不同生长阶段扇贝的数量性状随着生长的变化及其对湿重的影响,并使用多元回归分析的方法获得了不同贝龄扇贝的湿重和数量性状间的回归方程,在针对栉孔扇贝进行繁育时,亲贝贝龄不同,对亲贝的挑选策略亦需要调整,以上数据可作为亲贝选择、调整育种策略的有力依据。

### 参考文献:

- [1] 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 X L, Chang Y Q, Xiang J H, *et al.* Analysis of effects of shell size characters on live weight in Chinese scallop *Chlamys farreri*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(6): 673-678 (in Chinese).
- [ 2 ] 张伟杰, 常亚青, 丁君, 等. 日本镜蛤(*Dosinia japonica* Reeve)壳尺寸与重量性状的相关与回归分析[J]. *海洋与湖沼*, 2013, 44(3): 796-800.
- Zhang W J, Chang Y Q, Ding J, *et al.* Correlation and regression of shell size and weight of *Dosinia japonica* Reeve[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(3): 796-800 (in Chinese).
- [ 3 ] 张根芳, 张文府, 方爱萍, 等. 养殖条件下不同年龄背瘤丽蚌(*Lamprotula leai*)数量性状的相关与通径分析[J]. *海洋与湖沼*, 2014, 45(5): 1115-1121.
- Zhang G F, Zhang W F, Fang A P, *et al.* Correlation and path analysis of quantitative traits of different-age *Lamprotula leai* in artificial breeding[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(5): 1115-1121 (in Chinese).
- [ 4 ] 王志铮, 吴一挺, 杨磊, 等. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)形态性状对体重的影响效应[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(4): 612-618.
- Wang Z Z, Wu Y T, Yang L, *et al.* Effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of *Macrobrachium nipponensis*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(4): 612-618 (in Chinese).
- [ 5 ] 李鸿鹏, 富裕, 任凤艺, 等. 舟山近海日本囊对虾野生群体与越冬养成群体形态性状对体重和肉重影响的比较[J]. *海洋与湖沼*, 2015, 46(5): 1218-1227.
- Li H P, Fu Y, Ren S Y, *et al.* Comparison in the effect of morphological traits on body weight and meat weight of *Marsipenaes japonicus* from wild and overwintered cultivated groups in zhoushan offshore regions[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 46(5): 1218-1227 (in Chinese).
- [ 6 ] Wright S. Evolution and the genetics of populations, Volume 3: experimental results and evolutionary deductions[D]. Chicago: University of Chicago Press, 1977.
- [ 7 ] 张嘉丽, 王庆恒, 邓岳文, 等. 斧文蛤(*Meretrix lamarchii*)形态性状对体质量的影响效果分析[J]. *渔业科学进展*, 2014, 35(6): 110-113.
- Zhang J L, Wang Q H, Deng Y W, *et al.* Effects of morphological traits on the weight of *Meretrix lamarchii*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(6): 110-113 (in Chinese).
- [ 8 ] 耿绪云, 王雪惠, 孙金生, 等. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)一龄幼蟹外部形态性状对体重的影响效果分析[J]. *海洋与湖沼*, 2007, 38(1): 49-54.
- Geng X Y, Wang X H, Sun J S, *et al.* Morphometric attributes to body weight for juvenile crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(1): 49-54 (in Chinese).
- [ 9 ] 白临建, 杨爱国, 周丽青, 等. 栉江珧形态性状对重量性状的影响[J]. *渔业科学进展*, 2012, 33(6): 87-92.
- Bai L J, Yang A G, Zhou L Q, *et al.* Effects of morphometric traits on weight traits of *Atrina pectinata*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(6): 87-92 (in Chinese).
- [10] 黎筠, 王昭萍, 于瑞海, 等. 紫石房蛤壳性状对活体重影响的定量分析[J]. *海洋水产研究*, 2008, 29(6): 71-77.
- Li J, Wang Z P, Yu R H, *et al.* Quantitative analysis of the relationship between shell characters and live body weight of *Saxidomus purpuratus* Sowerby[J]. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29(6): 71-77 (in Chinese).
- [11] 张福绥, 杨红生. 山东沿岸夏季栉孔扇贝大规模死亡原因分析[J]. *海洋科学*, 1999, 23(1): 44-47.
- Zhang F S, Yang H S. Analysis of the causes of mass mortality of farming *Chlamys farreri* in summer in coastal areas of Shandong, China[J]. *Marine Sciences*, 1999, 23(1): 44-47 (in Chinese).
- [12] 杜美荣, 方建光, 毛玉泽, 等. 栉孔扇贝春季升温育苗与保苗技术研究[J]. *南方水产*, 2009, 5(2): 40-44.
- Du M R, Fang J G, Mao Y Z, *et al.* Preliminary studies on spring seed production of *Chlamys farreri* and temporary cultivation of the seedlings in shrimp pond[J]. *South China Fisheries Science*, 2009, 5(2): 40-44 (in Chinese).
- [13] 杜美荣, 王彬, 张继红, 等. 一龄栉孔扇贝壳长与壳高对湿重的相关性和通径分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(20): 136-139.
- Du M R, Wang B, Zhang J H, *et al.* Correlation and path analysis on shell length and shell height to wet weight of *Chlamys farreri* at one-year old[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(20): 136-139 (in Chinese).
- [14] 王冲. 栉孔扇贝不同性别间重要经济性状比较及通径分析[J]. *水产科学*, 2013, 32(8): 441-446.
- Wang C. Comparison and path analysis of important economic traits between genders of scallop *Chlamys*

- farreri*[J]. Fisheries Science, 2013, 32(8): 441-446 (in Chinese).
- [15] 杜美荣. 栉孔扇贝春苗繁育与扇贝幼虫高效附着技术的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- Du M R. Preliminary studies on the techniques of spring seed production of *Chlamys farreri* and new treatment method for inducing the settlement of eye-spot larvae[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009 (in Chinese).
- [16] 张玺, 齐钟彦, 李杰民. 栉孔扇贝的繁殖和生长[J]. 动物学报, 1956, 8(2): 235-250.
- Zhang X, Qi Z Y, Li J M. The reproduction and growth of *Chlamys farreri*[J]. Acta Zoologica Sinica, 1956, 8(2): 235-250 (in Chinese).
- [17] Gauch J H G. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs[M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992.
- [18] 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 H P, Sun Z W, Zhang T, et al. Correlation and path analysis to quantitative traits of Noble Scallop *Chlamys nobilis* Reeve at one-year old[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(20): 322-326 (in Chinese).
- [19] 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 L, Zheng Y Y, Xu K F, et al. The relationship between morphometric traits and body weight of *Scapharca subcrenata* at different ages[J]. Marine Sciences, 2015, 39(6): 54-58 (in Chinese).
- [20] 宋坚, 张伟杰, 常亚青, 等. 硬壳蛤形态性状对活体重的影响效果分析[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2): 273-277.
- Song J, Zhang W J, Chang Y Q, et al. Effects of shell characters on body weight in hard clam *Mercenaria mercenaria*[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2010, 37(2): 273-277 (in Chinese).

## Correlation and path analysis of quantitative traits of different-age *Chlamys farreri*

DU Meirong<sup>1,2</sup>, FANG Jianguang<sup>1,2</sup>, GAO Yaping<sup>1,2</sup>, FANG Jinghui<sup>1,2</sup>, JIANG Zengjie<sup>1,2\*</sup>

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Eco-Environment;  
Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture;  
Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao 266071, China;

2. Function Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes,  
Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** According to supply strategies for the parent selection during the breeding of *Chlamys farreri*, the relationship between the morphological characters and wet weight was studied using age one (324 individuals) and age two (230 individuals) which came from the same mix family. The traits included the shell length ( $x_1$ /cm), shell height ( $x_2$ /cm), shell width ( $x_3$ /cm) and wet weight ( $y$ /g). The result showed that the correlation coefficients between shell character and the wet weight were all very significantly different. The shell length and shell height showed the greatest correlation coefficients to the wet weight of age one and age two (0.939 and 0.808) respectively. The result of the path coefficient analysis showed that the shell length and shell height also showed the highest correlation coefficients to the wet weight and gave predominant direct effect and determinacy on the wet weight for scallop of age one (0.532) and age two (0.451) respectively. The results of the determinant coefficients were consistent with the results of the path analysis. The shell height and shell length showed the lowest correlation coefficients to the wet weight of age one (0.163) and age two (0.191). The multiple regression equations were obtained to estimate wet weight as age one:  $y = -10.527 + 0.287x_1 + 0.087x_2 + 0.409x_3$ ,  $R^2 = 0.926$ ; age two:  $y = -68.609 + 0.254x_1 + 0.719x_2 + 2.008x_3$ ,  $R^2 = 0.830$ . This paper provides theoretical basis and perfect measures for the selection of the parents scallop in the breeding.

**Key words:** *Chlamys farreri*; shell age; quantitative traits; path analysis

**Corresponding author:** JIANG Zengjie. E-mail: jiangzj@ysfri.ac.cn

**Funding projects:** Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (20603022016017); Earmarked Fund for Modern Agro-industry Technology Research System (CARS-48); National High-Tech Research and Development Program of China ("863" Program) (2012AA10A405-2); National Natural Science Foundation of China (41306117)