

# 长牡蛎壳橙品系形态性状与体质量的相关及通径分析\*

韩自强, 李琪\*\*

(海水养殖教育部重点实验室(中国海洋大学), 山东 青岛 266003)

**摘要:** 为研究长牡蛎(*Crassostrea gigas*)壳橙品系的壳形态性状对体质量性状的影响。本实验随机选取 144 只二龄壳橙品系长牡蛎为研究对象, 测量了壳高( $X_H$ )、壳长( $X_L$ )、壳宽( $X_W$ )、活体总重( $Y_L$ )和软体部重( $Y_S$ ), 以壳形态性状( $X_H, X_L, X_W$ )为自变量, 体质量性状( $Y_L, Y_S$ )为因变量进行了相关分析、通径分析和多元回归分析。相关分析结果表明, 所测量的长牡蛎橙色品系各性状间均呈极显著的表型相关( $P < 0.01$ )。通径分析结果表明, 壳形态性状对活体总重直接影响依次为壳高(0.477) > 壳宽(0.336) > 壳长(0.326), 壳高对活体总重的直接决定系数最大(0.228), 是影响活体总重的主要因素; 然而, 软体部重的相关系数  $R^2 < 0.850$ , 表明可能还存在对软体部重影响较大的其他因素。通过多元回归分析, 建立了壳形态性状对体质量性状的最优回归方程。

**关键词:** 长牡蛎; 壳橙品系; 壳形态性状; 体质量性状; 相关分析; 通径分析; 多元回归分析

**中图分类号:** S968.31 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-5174(2017)12-046-07

**DOI:** 10.16441/j.cnki.hdxh.20170001

**引用格式:** 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.

HAN Zi-Qiang, LI Qi. Multiple regression and path analysis of morphological and weight traits of pacific oyster (*Crassostrea gigas*) orange-shell strain [J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(12): 46-52.

长牡蛎(*Crassostrea gigas*)又称太平洋牡蛎, 具有生长速度快、抗逆性强、营养丰富和肉质鲜美等特点, 是世界上养殖产量最大的经济贝类。2015 年中国牡蛎养殖总产量达 457.3 万 t, 占全国所有海水养殖品产量的 24.38%<sup>[1]</sup>, 牡蛎养殖在我国海水养殖业中占有重要地位。为保障长牡蛎养殖业的健康发展, 国内学者开展了长牡蛎遗传育种研究。壳色作为一种影响消费者选择的重要因素, 逐渐成为贝类育种关注的热点。目前, 海产贝类中结合壳色和快速生长已选育出多个壳色新品种<sup>[2-5]</sup>, 长牡蛎新壳色快速生长品系的选育是改善长牡蛎品质和提高长牡蛎商品价值的一条重要途径。在长期的育种实践中, 我们选育出金黄色、白色、黑色和紫色 4 种长牡蛎壳色品系<sup>[6]</sup>, 通过黑壳色和紫壳色长牡蛎杂交形成紫黑壳色长牡蛎个体, 并在紫黑壳色长牡蛎个体的自交后代中发现橙壳色突变个体, 结合家系和群体选育技术, 培育出稳定遗传的壳橙长牡蛎品系, 具有重要的经济和科研价值。

贝类的体质量性状作为最直接的育种目标, 相比壳

高、壳长、壳宽等壳形态性状不够直观, 因此需要通过多元回归分析和通径分析查明壳形态性状(壳高、壳长和壳宽)与体质量性状(活体总重和软体部重)之间的相关性, 以及对体质量性状的影响和决定程度<sup>[7]</sup>。目前, 多元回归与通径分析在鱼类<sup>[8-9]</sup>、虾类<sup>[10]</sup>、蟹类<sup>[11]</sup>、贝类<sup>[12-17]</sup>等中已有较多报道, 并且双壳贝类的同一物种的不同地理群体<sup>[18]</sup>、不同养殖方式群体<sup>[19]</sup>、不同性别群体<sup>[20]</sup>、不同生长阶段群体<sup>[21-22]</sup>、不同壳色群体<sup>[23-25]</sup>的壳形态性状对体质量性状影响程度均表现出差异。

在长牡蛎生长性状方面, 王庆志等比较了中国、日本和韩国 3 个地理群体快速生长选育系的生长性状、壳型指数和颜色形状的差异<sup>[26]</sup>, 以及长牡蛎成体壳高、壳长、壳宽、壳重、肉重和出肉率的遗传参数<sup>[27]</sup>; 孔宁等研究了长牡蛎快速生长选育群体不同时期生长性状的发育模型<sup>[28]</sup>; 林青等比较了长牡蛎和福建牡蛎(葡萄牙牡蛎)壳形态性状对活体总重的影响<sup>[29]</sup>。然而, 关于长牡蛎壳色品系的壳形态性状对体质量性状影响程度的分析还未见报道。本研究中, 以长牡蛎壳橙新品系为

\* 基金项目: 泰山学者种业计划专家项目; 农业科技成果转化资金项目(2014GB2B020029); 山东省科技发展计划项目(2014GHY115002); 鳌山科技创新计划项目(2015ASKJ02)资助

Supported by Taishan Scholar Seed Industry Experts Project; Agriculture Science Technology Achievement Transformation Fund (2014GB2B020029); Science and Technology Development Project of Shandong Province (2014GHY115002); Aoshan Science and Technology Innovation Program (2015ASKJ02)

收稿日期: 2017-01-01; 修订日期: 2017-03-29

作者简介: 韩自强(1993-), 男, 硕士生。E-mail: hanziqiang1993@gmail.com

\*\* 通讯作者: E-mail: qili66@ouc.edu.cn

研究对象,通过通径分析和多元回归分析,研究壳形态性状对体质量性状的直接和间接影响,旨在为长牡蛎壳橙优良品系的选育提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

2016年3月,于山东省荣成市爱莲湾海区采集2龄长牡蛎壳橙品系第4代选育群体作为实验材料,进行壳形态性状和体质量性状的测量。

### 1.2 样品测量

随机选取144个壳橙品系长牡蛎,清除壳表面附着物,用纱布吸收壳内外表面水分,使用数显游标卡尺(精确到0.01mm)测量其壳高( $X_H$ )、壳长( $X_L$ )、壳宽( $X_W$ ),用电子天平(精确到0.01g)测量活体总重( $Y_L$ )和壳质量。

### 1.3 数据处理

使用Excel对数据进行整理,计算软体部重( $Y_S$ )=活体总重( $Y_L$ )壳质量。参考杜家菊等<sup>[30]</sup>和孙泽伟<sup>[16]</sup>的方法,使用软件SPSS19.0统计壳形态性状和体质量性状的均值(Mean)、标准差(SD)和变异系数(CV%),对测量性状进行K-S正态性检验和相关分析;将壳形态性状(壳高、壳长和壳宽)作为自变量,体质量性状(活体总重和软体部重)作为因变量进行通径分析并计算决定系数,分析每个壳形态性状分别对活体总重和软体部重的直接作用和间接作用;通过逐步回归分析法确立壳形态性状估计体质量性状最优回归方程。显

著性水平设定 $P < 0.05$ ,极显著水平设定 $P < 0.01$ 。

活体总重 $Y_L$ 和软体部重 $Y_S$ 的回归采用的线性模型为:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_i X_i$$

式中: $Y$ ( $Y_L$ 或 $Y_S$ )是因变量; $a$ 是常数项; $b_i$ 是偏回归系数; $X_i$ 是自变量。根据下列公式由偏回归系数进一步计算通径系数<sup>[22]</sup>。

$$P_{Y, X_i} = b_i \times \frac{S_{X_i}}{S_Y}$$

$$P_{X_i, X_j} = r_{ij} P_{j, Y} (i \neq j)$$

式中: $P_{Y, X_i}$ 是 $X_i$ 对 $Y$ 的直接通径系数; $S_{X_i}$ 是自变量 $X_i$ 的标准差; $S_Y$ 是因变量 $Y$ 的标准差; $P_{X_i, Y}$ 是 $X_i$ 通过 $X_j$ 对 $Y$ 的间接通径系数; $r_{ij}$ 是相关系数; $P_{j, Y}$ 是 $X_j$ 对 $Y$ 的通径系数。根据下列公式计算直接决定系统和间接决定系数<sup>[22]</sup>。

$$d_i = P_{Y, X_i}^2$$

$$d_{ij} = 2r_{ij} P_{Y, X_i} P_{Y, X_j}$$

式中: $d_i$ 是直接决定系数; $d_{ij}$ 是间接决定系数。

## 2 结果

### 2.1 壳形态和体质量性状的参数分析

所测性状的相关统计量见表1,其中壳高、壳长和壳宽3个壳形态性状的变异系数相对较小,而2个体质量性状的变异系数相对较大,软体部重变异系数最大,为34.034%。K-S正态性检验结果表明,5个性状原始数据均符合正态分布,可进行通径分析。

表1 壳橙品系长牡蛎各性状统计量分析

Table 1 Statistics of various traits in the orange-shell strain of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*

性状 Traits	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 Coefficient of variation/%	K-S 值 K-S value	P 值 P value
壳高 Shell height $X_H$ /mm	82.167±11.767	14.321	0.049	0.875
壳长 Shell length $X_L$ /mm	47.927±6.366	13.282	0.045	0.937
壳宽 Shell width $X_W$ /mm	30.159±4.424	14.668	0.053	0.813
活体总重 Live body weight $Y_L$ /g	59.925±18.425	30.747	0.039	0.981
软体部重 Soft body weight $Y_S$ /g	19.733±6.716	34.034	0.037	0.989

### 2.2 壳形态和体质量性状间的相关性分析

5个性状间的表型相关均呈极显著( $P < 0.01$ ),其中以活体总重与软体部重间的相关系数最大,活体总重和软体部重与壳形态性状间的相关系数大小关系相同,依次为:壳高>壳长>壳宽(见表2)。

### 2.3 壳形态性状对体质量性状的通径分析和相关指数分析

以壳高、壳长、壳宽为自变量,活体总重和软体部重为因变量进行通径分析,结果见表3。通径分析反映自变量对因变量的直接作用,壳高对活体总重和软体部重的通径系数最大(0.447和0.451),壳宽次之(0.336和0.310),且均为极显著( $P < 0.01$ )。壳形态性状对活体总重和软体部重的相关指数分别为0.860和0.683。

表2 壳橙品系长牡蛎各性状间表型相关系数

Table 2 Phenotypic correlation coefficients among the traits in the orange-shell strain of the Pacific oyster

	$X_H$	$X_L$	$X_W$	$Y_L$
$X_L$	0.565**			
$X_W$	0.396**	0.510**		
$Y_L$	0.794**	0.766**	0.691**	
$Y_S$	0.717**	0.666**	0.618**	0.887**

注:\*\*表示极显著性相关( $P < 0.01$ ),下同。

Note: \*\* means very significantly different ( $P < 0.01$ ), et sequentia.

表3 壳橙品系长牡蛎壳形态性状对体质量性状的通径分析和相关指数分析

Table 3 Path coefficient and correlation index of shell morphological traits on body weight traits in the orange-shell strain of the Pacific oyster

体质量性状 <sup>①</sup>	通径系数 <sup>②</sup>			相关指数 $R^2$ <sup>③</sup>
	$X_H$	$X_L$	$X_W$	
$Y_L$	0.477**	0.326**	0.336**	0.860
$Y_S$	0.451**	0.252**	0.310**	0.683

Note: ①Weight traits; ②Path coefficient; ③Correlation index  $R^2$

表4 壳橙品系长牡蛎壳形态性状对体质量性状的作用

Table 4 Effects of shell morphological traits in the orange-shell strain of the Pacific oyster

体质量性状 <sup>①</sup>	壳形态性状 <sup>②</sup>	相关系数 <sup>③</sup>	直接作用 <sup>④</sup>	间接作用 <sup>⑤</sup>			
				$X_H$	$X_L$	$X_W$	SUM
$Y_L$	$X_H$	0.794**	0.477**	—	0.184	0.133	0.317
	$X_L$	0.766**	0.326**	0.270	—	0.171	0.441
	$X_W$	0.691**	0.336**	0.189	0.166	—	0.355
$Y_S$	$X_H$	0.717**	0.451**	—	0.142	0.123	0.265
	$X_L$	0.666**	0.252**	0.255	—	0.158	0.413
	$X_W$	0.618**	0.310**	0.179	0.129	—	0.307

Note: ①Weight traits; ②Shell morphological traits; ③Correlation coefficient; ④Direct effect; ⑤Indirect effect

表5 壳形态性状对体质量性状的决定系数

Table 5 Determinant coefficients of morphological traits on weight traits in the orange-shell strain of the Pacific oyster

体质量性状 <sup>①</sup>	形态性状 <sup>②</sup>	$X_H$	$X_L$	$X_W$	$\sum d_i$	相关指数 $R^2$ <sup>③</sup>
$Y_L$	$X_H$	0.228				
	$X_L$	0.176	0.106		0.861	0.860
	$X_W$	0.127	0.112	0.113		
$Y_S$	$X_H$	0.203				
	$X_L$	0.128	0.064		0.682	0.683
	$X_W$	0.080	0.096			

Note: ①Weight traits; ②Shell morphological traits; ③Correlation index  $R^2$

2.4 壳形态性状对体质量性状的作用

壳形态性状分别对活体总重和软体部重的相关系数,及分解后的直接作用和间接作用见表4。3个壳形态性状对活体总重的作用中,壳高对活体总重的直接作用最大(0.477,  $P < 0.01$ ),壳宽次之(0.336,  $P < 0.01$ );通过分析各间接作用发现,壳长对活体总重的间接作用最大(0.441)。而3个壳形态性状对软体部重的作用中,直接作用最大的同样是壳高(0.451,  $P < 0.01$ ),壳宽次之(0.310,  $P < 0.01$ ),壳长对活体总重的间接作用最大(0.413)。

2.5 壳形态性状对体质量性状的决定系数

单一壳形态性状(壳高、壳长或壳宽)对体质量性状(活体总重和软体部重)的直接决定系数和两两壳形态性状对体质量性状的共同决定系数见表5。壳高对活体总重和软体部重的直接决定系数最大,分别为0.228和0.203。壳高和壳长对活体总重和软体部重的共同决定系数最大,分别为0.176和0.128。壳橙品系长牡蛎壳形态性状对体质量性状的决定系数的总和 $\sum d_i$ 与各自的相关指数 $R^2$ 相近,所得结果与通径分析和相关指数分析结果一致。

## 2.6 壳形态性状对体质量性状的多元回归分析

通过逐步回归分析法得到壳形态性状对体质量性状的作用结果见表 6。壳橙品系长牡蛎壳高、壳长、壳宽与活体总重和软体部重呈极显著相关( $P < 0.01$ ), 多元回归方程为:

$$Y_L = -88.783 + 0.747X_H + 1.399X_W + 0.942X_L, \\ R^2 = 0.860; \\ Y_S = -28.399 + 0.258X_H + 0.471X_W + 0.266X_L, \\ R^2 = 0.683.$$

表 6 壳橙品系长牡蛎壳形态性状的偏回归系数检验

Table 6 Partial regression coefficient test for morphological traits in the orange-shell strain of the Pacific oyster

体质量性状 <sup>①</sup>	壳形态性状 <sup>②</sup>	偏回归系数 <sup>③</sup>	标准误差 <sup>④</sup>	T 检验值 <sup>⑤</sup>	P 值 <sup>⑥</sup>
Y <sub>L</sub>	X <sub>H</sub>	0.747	0.061	12.310	0.000
	X <sub>W</sub>	1.399	0.155	9.038	0.000
	X <sub>L</sub>	0.942	0.120	7.873	0.000
	常数 <sup>⑦</sup>	-88.783			
Y <sub>S</sub>	X <sub>H</sub>	0.258	0.033	7.737	0.000
	X <sub>W</sub>	0.471	0.085	5.545	0.000
	X <sub>L</sub>	0.266	0.066	4.055	0.000
	常数 <sup>⑦</sup>	-28.399			

Note: ①Weight traits; ②Shell morphological traits; ③Partial regression coefficient; ④Standard error; ⑤T test value; ⑥P value; ⑦Constant

由表 7 可知, 3 个壳形态性状的偏回归系数对 2 个体质量性状均达到极显著水平( $P < 0.01$ ), 能够客观的

反映出壳形态性状与体质量性状间的相互影响, 可应用于实际统计操作。

表 7 壳橙品系长牡蛎壳形态性状对体质量性状的多元回归方差分析

Table 7 Multiple regression analysis of morphological characters on weight traits in the orange-shell strain of the Pacific oyster

体质量性状 <sup>①</sup>	变异来源 <sup>②</sup>	平方和 <sup>③</sup> SS	自由度 <sup>④</sup> df	均方 <sup>⑤</sup> MS	F 检验值 <sup>⑥</sup>	P 值 <sup>⑦</sup>
Y <sub>L</sub>	回归 <sup>⑧</sup>	41 765.855	3	13 921.952	287.44	0.000
	残差 <sup>⑨</sup>	6 780.806	140	48.434		
	总计 <sup>⑩</sup>	48 546.661	143			
Y <sub>S</sub>	回归 <sup>⑧</sup>	4 407.418	3	1 469.139	100.727	0.000
	残差 <sup>⑨</sup>	2 041.959	140	14.585		
	总计 <sup>⑩</sup>	6 449.377	143			

Note: ①Weight traits; ②Sources of variation; ③Sum of square; ④Degree of freedom; ⑤Mean square; ⑥F test value; ⑦P value; ⑧Regression; ⑨Residual; ⑩Total

## 3 讨论

优良性状亲本的选择是通过挑选满足期望表型性状的个体实现的, 因此, 在开始育种前, 通过估算表型的相关性, 提高选择的准确性可有效提高性状改良的速率<sup>[31]</sup>。本研究测量了壳橙品系长牡蛎的 5 个主要经济性状, 其中体质量性状作为最直接的选育目标, 相对于 3 个壳形态性状(壳高、壳长、壳宽)在测量上不够直观, 并且 3 个壳形态性状与 2 个体质量性状间存在不同程度的直接和间接的影响, 因此, 需要利用通径分析法

确定影响壳橙品系长牡蛎体质量性状的主要壳形态性状。

本研究中, 壳高、壳长、壳宽、活体总重和软体部重 5 个数量性状的变异范围与香港牡蛎<sup>[20]</sup>和近江牡蛎<sup>[16]</sup>的研究结果相近, 其中壳形态性状(壳高、壳长和壳宽)的变异系数较小, 体质量性状(活体总重和软体部重)的变异系数较大, 这可能与长牡蛎个体间肥满度差异较大有关, 具备较大的改良潜力。长牡蛎壳橙品系的壳高、壳长、壳宽、活体总重和软体部重 5 个数量性状间均存在极显著的表型相关关系, 活体总重和软体部

重与壳形态性状间的相关系数大小关系相同,依次为:壳高>壳长>壳宽。在进行通径分析和计算决定系数时,当相关指数  $R^2$  或各自变量对因变量的单独决定系数与两两共同决定系数的总和  $\sum d_i$  (在数值上  $R^2 = \sum d_i$ ) 大于或等于 0.850,方可确定影响因变量的主要自变量<sup>[7, 15]</sup>。本研究中,活体总重的  $R^2$  (0.861)与  $\sum d$  (0.860)近似相等且大于 0.850,表明壳高、壳长、壳宽是影响活体总重的主要性状<sup>[17]</sup>。通径分析结果中,对活体总重直接作用最大的是壳高(0.477,  $P < 0.01$ ),大于间接作用(0.317,  $P < 0.01$ );壳宽(0.336,  $P < 0.01$ )和壳长(0.326,  $P < 0.01$ )对活体总重的直接作用相近,且壳宽和壳长的间接作用均大于两者的直接作用,表明壳宽和壳长主要是通过影响壳高从而间接影响活体总重,壳长间接作用大于壳宽,而壳高是影响活体总重的主要壳形态性状。结合决定系数的分析结果,得出壳高为影响活体总重的主要因素,壳长为次要因素。在栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)<sup>[15]</sup>、日本镜蛤(*Dosinia japonica*)<sup>[32]</sup>、虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)<sup>[19]</sup>、黑蝶贝(*Pinctada margaritifera*)<sup>[33]</sup>的相关研究中,同样得到类似的结论。同样,近江牡蛎对活体总重直接作用最大的是壳高,间接作用最大的是壳长<sup>[16]</sup>。在对长牡蛎和福建牡蛎(葡萄牙牡蛎)(*Crossostrea angulata*)的比较研究中,林青<sup>[29]</sup>也得出壳高对活体总重影响作用最大的结果。

软体部重的  $R^2 < 0.850$ ,说明影响软体部重的主要因素不止是本研究所测的 3 个壳形态性状,还存在其他影响较大的因素,在其他研究中也存在与软体部重的壳形态性状  $R^2 < 0.850$  的现象。在虾夷扇贝中,软体部重可能与贝壳的凹凸、两壳的绞合度、贝壳表面积和水环境等因素有关;在菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)中,贝龄、性别、发育时期、活体总重、壳质量、养殖方式等是软体部重潜在的影响因素<sup>[17, 21, 23]</sup>。在不同牡蛎种类的软体部重通径分析中同样得到  $R^2 < 0.850$ <sup>[16, 20, 29]</sup>,推测壳形态性状之外的因素对软体部重有较大影响。但是软体部重的  $R^2$  与  $\sum d$  近似相等,决定系数分析的结果和通径分析结果相同,表明在这 3 个壳形态性状中,通过选育壳高可使软体部重获得较好的选育效果<sup>[27]</sup>。

#### 4 结语

本研究确定了壳橙品系长牡蛎活体总重的主要影响因素为壳高,次要因素为壳长;壳高对壳橙品系长牡蛎软体部重有较大的影响;获得了壳高、壳长、壳宽与活体总重和软体部重的多元回归方程,为壳橙品系长牡蛎体质量性状的遗传改良提供了重要的基础资料。

#### 参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 28-29.  
Ministry of Agriculture Fisheries. China Fishery Statistical Year Book[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016: 28-29.
- [2] 林志华, 董迎辉. 文蛤“万里红”[J]. 中国水产, 2015, 479(10): 50-52.  
Li Z H, Dong Y W. “Red Forever” Clam *Meretrix meretrix*[J]. China Fisheries, 2015, 479(10): 50-52.
- [3] 许飞, 郑怀平, 张海滨, 等. 海湾扇贝“中科红”品种与普通养殖群体不同温度下早期性状的比较[J]. 水产学报, 2008, 32(6): 876-883.  
Xu F, Zheng H P, Zhang H B, et al. Comparison on the larval traits between strain “Zhongkehong” and common cultured population of bay scallop *Argopecten irradians* under different temperature[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(6): 876-883.
- [4] 闫喜武, 霍志明, 杨凤, 等. 菲律宾蛤仔“斑马蛤”[J]. 中国水产, 2015, 478(9): 52-53.  
Yan X W, Huo Z M, Yang F, et al. “Zebra Clam” Manila Clam *Ruditapes philippinarum*[J]. China Fisheries, 2015, 478(9): 52-53.
- [5] 郑怀平, 刘合露, 陈兴强, 等. 华贵栉孔扇贝“南澳金贝”[J]. 中国水产, 2015, 479(10): 57-58.  
Zheng H P, Liu H L, Chen X Q, et al. “Nan’ao golden Scallop” Noble Scallop *Chlamys nobilis*[J]. China Fisheries, 2015, 479(10): 57-58.
- [6] 丛日浩, 李琪, 葛建龙, 等. 长牡蛎 4 种壳色家系子代的表型性状比较[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 494-502.  
Cong R H, Li Q, Ge J L, et al. Comparison of phenotypic traits of four shell color families of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 494-502.
- [7] 常亚青, 张存善, 曹学彬, 等. 1 龄虾夷扇贝形态性状对重量性状的影响效果分析[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(5): 330-334.  
Chang Y Q, Zhang C S, Cao X B, et al. Effect of morphometrical traits on weight traits in one-year old yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2008, 23(5): 330-334.
- [8] 刘峰, 陈琳, 楼宝, 等. 小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(3): 655-662.  
Liu F, Chen L, Lou B, et al. Correlation and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(3): 655-662.
- [9] 刘贤德, 蔡明夷, 王志勇, 等. 闽-粤东族大黄鱼生长性状的相关与通径分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2008, 38(6): 916-920.  
Liu X D, Cai M Y, Wang Z Y, et al. The Correlation and Path Analysis for Growth-Related Traits of Large Yellow Croaker *Pseudosciaena crocea* from Min-Yuedong Tribe[J]. Periodical of Ocean University of China, 2008, 38(6): 916-920.
- [10] 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.  
Liu X L, Wu C G, Zhang Z H, et al. Mathematical analysis of

- effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 857-862.
- [11] Ma H, MA C, Ma L, et al. Correlation of growth-related traits and their effects on body weight of the mud crab (*Scylla paramamosain*)[J]. *Genet Mol Res*, 2013, 12(4): 4127-4136.
- [12] Deng Y W, Du X D, Wang Q H, et al. Correlation and path analysis for growth traits in F1 population of pearl oyster *Pinctada martensii*[J]. *Marine Science Bulletin*, 2008, 10(2): 68-73.
- [13] Luo X, Ke C, You W. Estimates of correlations for shell morphological traits on body weight of interspecific hybrid abalone (*Haliotis discus hamai* and *Haliotis gigantea*)[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2013, 32(1): 115-118.
- [14] Zhao L, He Y, Yang F, et al. Correlation and path analysis of morphological and weight traits in marine gastropod *Glossaulax reiniana*[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2014, 32(4): 821-827.
- [15] 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.
- [16] 孙泽伟, 郑怀平, 杨彦鸿, 等. 近江牡蛎养殖群体数量性状间的相关及通径分析[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(6): 332-336.  
Sun Z W, Zheng H P, Yang Y H, et al. Correlation and path analysis to quantitative traits for a cultured population of Jinjiang oyster *Crassostrea hongkongensis*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(6): 332-336.
- [17] 闫喜武, 王琰, 郭文学, 等. 四角蛤蜊形态性状对重量性状的影响效果分析[J]. *水产学报*, 2011, 35(10): 1513-1518.  
Yan X W, Wang Y, Guo W X, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of clam *Macra veneriformis* Reeve along northern coast in China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(10): 1513-1518.
- [18] 王冲, 孙同秋, 王玉清, 等. 不同群体毛蚶形态性状对重量性状的影响效果分析[J]. *海洋渔业*, 2015, 37(5): 427-433.  
Wang C, Sun T Q, Wang Y Q, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of *Scapharca subcrenata* Lischke in different populations[J]. *Marine Fisheries*, 2015, 37(5): 427-433.
- [19] 杜美荣, 刘毅, 蒋增杰, 等. 底播虾夷扇贝数量性状的相关性和通径分析[J]. *水产科学*, 2015, 34(1): 8-13.  
Du M R, Liu Y, Jiang Z J, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits in bottom-cultured Yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. *Fisheries Science*, 2015, 34(1): 8-13.
- [20] 肖述, 符政君, 喻子牛. 香港巨牡蛎雌雄群体的数量性状通径分析[J]. *南方水产科学*, 2011, 7(4): 1-9.  
Xiao S, Fu Z J, Yu Z N. Path analysis of quantitative traits of male and female Hong Kong oyster *Crassostrea hongkongensis*[J]. *South China Fisheries Science*, 2011, 7(4): 1-9.
- [21] HUO Zhong-Ming, YAN Xi-Wu, ZHAO Li-Qiang, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*)[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 251-256.
- [22] 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.
- [23] 刘辉, 张兴志, 鹿瑶, 等. 菲律宾蛤仔橙色品系壳形态性状对质量性状的通径及多元回归分析[J]. *大连海洋大学学报*, 2015, 30(5): 514-518.  
Liu H, Zhang X Z, Lu Y, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of orange strain of Manila clam *Ruditapes philippinarum*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2015, 30(5): 514-518.
- [24] 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): 10008-10160.  
Sun X J, Yang A G, Liu Z H, et al. Comparative analysis of morphological indices of Papanese scallops with 2 shell colors[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(23): 10008-10160.
- [25] 赵鹏, 丁君, 常亚青. 两种壳色虾夷扇贝壳体尺性状对活体重影响效果的分析[J]. *大连海洋大学学报*, 2011, 26(1): 1-5.  
Zhao P, Ding J, Chang Y Q. Effect of shell size characters on live body weight in Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* with two colors[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2011, 26(1): 1-5.
- [26] 王庆志, 李琪, 刘士凯, 等. 长牡蛎不同地理群体选育系数数量性状的比较[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2011, 41(Z2): 36-41.  
Wang Q Z, Li Q, Liu S K, et al. Comparison of quantitative traits among the breeding lines of different geographic populations of *Crassostrea gigas*[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2011, 41(Z2): 36-41.
- [27] 王庆志, 李琪, 刘世凯, 等. 长牡蛎成体生长性状的遗传参数估计[J]. *中国水产科学*, 2012, 19(4): 700-706.  
Wang Q Z, Li Q, Liu S K, et al. Estimates of genetic parameters for growth-related traits in adult *Crassostrea gigas*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(4): 700-706.
- [28] 孔宁, 李琪, 丛日浩, 等. 长牡蛎 F3 代快速生长选育群体生长特性的研究[J]. *海洋科学*, 2015, 39(3): 7-11.  
Kong N, Li Q, Cong R H, et al. Study on growth characteristics of the selected third generation of Pacific oyster *Crassostrea gigas* with rapid growth[J]. *Marine Sciences*, 2015, 39(3): 7-11.
- [29] 林清, 王亚骏, 王迪文, 等. 太平洋牡蛎和葡萄牙牡蛎养殖群体数量性状比较分析[J]. *海洋通报*, 2014, 33(1): 106-111.  
Lin Q, Wang Y J, Wang D W, et al. Comparison analysis of quantitative traits and path between twocultured populations of *Crassostrea gigas* and *C. angulata*[J]. *Marine Science Bulletin*, 2014, 33(1): 106-111.
- [30] 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 J J, Chen Z W. Method of path analysis using SPSS regression[J]. *Bulletin of Biology*, 2010, 45(2): 4-6.
- [31] 张国范, 李霞, 薛真福. 我国养殖贝类大规模死亡的原因分析及防治对策[J]. *中国水产*, 1999(9): 34-39.  
Zhang G F, Li X, Xue Z F. Cause analysis and prevention meth-

- ods of mass cultured shellfish death in China[J]. *China Fisheries*, 1999(9): 34-39.
- [32] 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.
- [33] 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 J X, Liu B S, Li Y N, et al. Effects of phenotypic traits on body weight on wild population of Pearl oyster *Pinctada margaritifera* [J]. *Fisheries Science*, 2015, 34(9): 560-564.

## Multiple Regression and Path Analysis of Morphological and Weight Traits of Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) Orange-Shell Strain

HAN Zi-Qiang, LI Qi

(The Key Laboratory of Mariculture (Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** To evaluate the effect of shell morphological traits on weight traits in the orange-shell strain of Pacific oyster *Crassostrea gigas*, shell height ( $X_H$ ), shell length ( $X_L$ ), shell width ( $X_W$ ), live body weight ( $Y_L$ ) and soft tissue weight ( $Y_S$ ) were measured for 144 individuals of two-year-old orange-shell strain of Pacific oyster. Morphological traits ( $X_H$ ,  $X_L$  and  $X_W$ ) were used as independent variables and weight traits ( $Y_L$ ,  $Y_S$ ) as dependent variables for path coefficient and multiple regression analyses. Correlation indices showed that the direct effects of correlation coefficient between each shell morphological traits ( $X_H$ ,  $X_L$  and  $X_W$ ) and weight traits ( $Y_L$  and  $Y_S$ ) were all significantly different ( $P < 0.01$ ). In path analysis, the direct effects of the shell morphological traits on live body weight were in order of shell height (0.477) > shell length (0.336) > shell width (0.326). Shell height had the maximum direct effect (0.228) on the live body weight, and was the key influencing factor. However, the correlation indices ( $R^2$ ) of morphological traits against the edible tissue weight was less than 0.85, indicating that some other factors might associate with the edible tissue weight. The optimum multiple regression equations were also obtained through stepwise multiple regression analysis.

**Key words:** *Crassostrea gigas*; orange-shell strain; morphological trait; weight trait; correlation analysis; path analysis; multiple regression analysis

责任编辑 朱宝象