

# 长牡蛎二倍体与三倍体壳型性状对体质量的影响分析

褚洪永, 张建柏, 张秀梅, 徐晓莹, 吴红伟, 陈坤, 于炳礼, 许丰杰

(烟台市海洋经济研究院, 山东 烟台 264000)

**摘要:** 为了研究长牡蛎(*Crassostrea gigas*)二倍体和三倍体壳体性状对体质量的影响, 随机选取养殖 20 月龄的二倍体和三倍体个体各 75 个, 分别测量它们的壳体性状(壳高、壳长和壳宽)和体质量(全湿重和软体重), 并进行多元回归和通径分析。结果显示, 二倍体和三倍体的软体重变异系数都最高, 绝大多数性状间的相关性达到了显著水平( $P < 0.05$ ), 全湿重和软体重的相关性较高分别为 0.866 和 0.675; 多元回归分析结果显示, 壳长、壳高和壳宽对二倍体长牡蛎全湿重的影响相当, 其中壳高最大, 直接作用系数为 0.474, 对软体重影响最大的是全湿重, 直接作用系数高达 0.780; 壳宽对三倍体长牡蛎全湿重的影响最大, 直接作用系数为 0.471, 壳高和湿重对软体重的直接作用系数分别为 0.348 和 0.367; 对长牡蛎二倍体和三倍体全湿重和软体重分别进行回归, 结果显示其  $r^2$  值均小于 0.85, 说明存在对质量性状影响较大的其他因素。本研究为不同倍性长牡蛎的比较研究提供了数据支持。

**关键词:** 长牡蛎(*Crassostrea gigas*); 壳型性状; 质量性状; 通径分析; 多元回归

中图分类号: S968.311

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2022)08-0057-08

DOI: 10.11759/hyxx20211017001

长牡蛎(*Crassostrea gigas*)主要分布于我国长江口以北的江苏、山东、辽宁等地沿海, 常见垂直分布于低潮线附近, 是我国北方最重要的海产贝类之一。得益于四倍体技术的发明和应用, 长牡蛎三倍体实现了产业化养殖<sup>[1]</sup>。近年来, 随着长牡蛎养殖规模不断扩大, 消费者对于优质品种的需求不断增长, 相关从业者开展了大量选育工作。长牡蛎养殖产量与体质量直接相关, 因而在选育过程中, 重量性状常作为直接育种性状, 从遗传层面看, 长牡蛎的重量性状, 全湿重和软体重均属于数量性状, 与壳型性状, 壳高、壳长和壳宽之间相互关联程度较高。相较于重量性状, 贝类壳型性状更易于测量, 探明壳型性状与重量性状之间的相关性, 明确壳型性状对重量性状的决定系数, 有助于提高长牡蛎的新品种选育效率和准确性。

利用通径分析和多元回归方法评价贝类表型性状是贝类遗传育种的基础工作之一, 其结果可用于优化海洋贝类的育种策略<sup>[2]</sup>。Luo 等<sup>[3]</sup>对两种杂交鲍(*Haliotis discus hannai* / *Haliotis gigantea*)的表型性状进行分析, 认为壳型性状与体质量呈显著正相关; Huo 等<sup>[4]</sup>研究发现形态性状是影响菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)活体重的主要因素; Zhang 等<sup>[5]</sup>分别讨论了壳型性状对文蛤(*Meretrix meretrix*)

和青蛤(*Cyclina sinensis*)全湿重的影响, 发现壳高和壳宽对全湿重有重要的影响, 并构建了多元回归模型。在牡蛎的选育研究中, 孙泽伟等<sup>[6]</sup>研究结果表明近江牡蛎(*C. ariakensis*)壳长、壳高、壳宽、活体重和软体重的相关性均达到显著水平, 而形态性状对活体重和软体重具有相同的影响, 其中壳高的直接作用最大, 壳宽的作用最小; 韩自强等<sup>[7]</sup>研究认为长牡蛎(*C. gigas*)壳橙品系壳高、壳宽和壳长对活体重的直接影响依次减少, 壳高是影响活体全湿重的主要因素, 但是还存在对软体部重影响较大的其他因素。虽然在牡蛎选育研究中应用较广, 但关于三倍体牡蛎及其与二倍体牡蛎的比较研究尚未见报道。作者以普通二倍体长牡蛎和三倍体长牡蛎为研究对象, 探究各自数量性状之间的相关与通径分析, 比较了二者多元回归的差异为不同倍性长牡蛎的比较研究提供了基础。

收稿日期: 2021-10-17; 修回日期: 2022-02-26

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系项目(SDAIT-14-11)

[Foundation: The Project of Modern Agricultural Industry Technology System of Shandong Province, China, No. SDAIT-14-11]

作者简介: 褚洪永(1964—), 山东威海人, 高级工程师, 主要从事水产增殖、渔业资源修复、海洋牧场研究, 电话: 13562537850, E-mail: hongyongch@163.com; 张建柏(1969—), 通信作者, 正高级工程师, 主要从事海洋经济、海洋牧场、水产养殖研究, E-mail: hjzjb@126.com

# 1 材料方法

## 1.1 实验材料

2018年11月,在乳山市牡蛎养殖基地随机采集20月龄的健康无损伤二倍体长牡蛎(D, Diploid)和三倍体长牡蛎(T, Triploid)单体各75个,筏式养殖水层3~5 m。

## 1.2 数据测量

利用牡蛎刀将长牡蛎二倍体和三倍体壳表面清理干净后吸去水分,用游标卡尺测量样本壳高( $H$ , Height;  $x_1^{D/T}$ )、壳长( $L$ , Length;  $x_2^{D/T}$ )和壳宽( $W$ , Width;  $x_3^{D/T}$ );用电子天平称量个体全湿重(TWW, Total Wet Weight;  $x_4^{D/T}/y_1^{D/T}$ ),随后,将牡蛎解剖称量牡蛎软体部重(STW, Soft Tissue Weight;  $y_2^{D/T}$ );个体全湿重和软体重精确到0.01 g,长度参数精确至0.01 mm。

## 1.3 数据处理

使用 Microsoft Excel 2016 软件、R-Asreml 4.0.3 (Windows 64 位版)(R 包: agricolae 1.3.0-2、car 3.0-8 等)进行实验设计、数据统计、方差分析等,差异显著性设置为  $P < 0.05$ 。分别以全湿重和软体重为因变量  $y_k^{D/T}$  ( $k=1, 2$ ),以壳型性状为自变量  $x_i^{D/T}$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ),利用通径分析确定自变量对因变量的直接作用和间接作用,进行逐步回归建立最优多元回归方程。

变异系数(C.V.)的计算公式<sup>[8]</sup>:

$$C.V. = \frac{S.D.}{Mean} \times 100\%, \quad (1)$$

式中,  $S.D.$  为标准偏差,  $Mean$  为平均值;

通径系数( $P_i$ )表示自变量  $x_i^{D/T}$  对因变量  $y_k^{D/T}$  的直接作用,计算公式为<sup>[9]</sup>:

$$P_i = b_{x_i^{D/T}} + \frac{\sigma_{x_i^{D/T}}}{\sigma_{y_k^{D/T}}}, \quad (2)$$

式中,  $b_{x_i^{D/T}}$  为自变量的回归系数,  $\sigma_{x_i^{D/T}}$  为自变量的标准差,  $\sigma_{y_k^{D/T}}$  为因变量的标准差;

间接通径系数( $P_{ij}$ )表示自变量  $x_i^{D/T}$  通过自变量  $x_j^{D/T}$  对因变量  $y_k^{D/T}$  的间接作用,计算公式为<sup>[10]</sup>:

$$P_{ij} = r_{ij}P_j, \quad (3)$$

式中,  $r_{ij}$  为两性性状间的相关系数,  $P_j$  为  $x_j^{D/T}$  对  $y_k^{D/T}$  的通径系数;

多元回归分析中,决定系数为通径系数的平方,自变量  $x_i^{D/T}$  对因变量  $y_k^{D/T}$  的决定系数,计算公式为<sup>[9]</sup>:

$$Cd_i = P_i^2, \quad (4)$$

两不同性状  $x_i^{D/T}$  和  $x_j^{D/T}$  共同对  $y_k^{D/T}$  的共同决定系数( $Cd_{ij}$ ),计算公式为<sup>[9]</sup>:

$$Cd_{ij} = 2P_iP_jr_{ij}, \quad (5)$$

$y_k^{D/T}$  对  $x_i^{D/T}$  的多元线性回归方程<sup>[11]</sup>:

$$y_k^{D/T} = a + \sum b_i \times x_i^{D/T}, \quad (6)$$

式中,  $a$  为常数,  $b_i$  为偏回归系数,  $x_i^{D/T}$  为对体质量影响显著的自变量。

# 2 结果与分析

## 2.1 表型性状参数分析

长牡蛎二倍体、三倍体样本表型性状参数见表1,各性状参数经 Shapiro-Wilk 检验,均满足正态分布;二倍体和三倍体的体质量变异系数均大于壳型性状的变异系数,且软体重的变异系数均最大。因此,对采样海域养殖的长牡蛎进行人工选择时,应首先考虑体质量(软体重和全湿重),其次才是长度参数(壳高、壳长、壳宽)。

表1 长牡蛎二倍体、三倍体表型性状参数统计

Tab. 1 Parameters statistics of phenotypic traits of diploid and triploid oysters of *C. gigas* (N=75)

分组	参数	壳高 $H/mm$	壳长 $L/mm$	壳宽 $W/mm$	全湿重 TWW/g	软体重 STW/g
二倍体/D	均值	93.72	50.12	28.01	77.56	12.54
	标准差/S.D.	12.13	6.39	5.00	23.44	4.01
	变异系数/C.V. (%)	12.94	12.75	17.85	30.22	31.97
三倍体/T	均值	97.87	58.18	33.47	126.52	13.40
	标准差/S.D.	9.10	8.29	4.95	23.34	3.31
	变异系数/C.V. (%)	9.30	14.25	14.80	18.45	24.72

## 2.2 各性状间的相关性分析

二倍体长牡蛎和三倍体牡蛎的各性状间相关

系数都列于表2中。在20个相关性分析中,只有4个不显著,其余16个均达到显著水平( $P < 0.05$ );

体质量无论是二倍体还是三倍体，相关系数最大的都是在全湿重与软体重间，分别高达 0.886 和

0.675，这说明全湿重与软体重之间有较高的正向联系。

表 2 长牡蛎二倍体、三倍体表型性状的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between shell phenotypic traits of diploid and triploid oysters of *C. gigas*

分组	性状	壳高 <i>H</i>	壳长 <i>L</i>	壳宽 <i>W</i>	全湿重 TWW	软体重 STW
二倍体/D	壳高 <i>H</i>	1	0.185	0.235*	0.636**	0.577**
	壳长 <i>L</i>		1	0.222	0.563**	0.414**
	壳宽 <i>W</i>			1	0.599**	0.619**
	全湿重 TWW				1	0.866**
	软体重 STW					1
三倍体/T	壳高 <i>H</i>	1	0.243*	0.142	0.425**	0.566**
	壳长 <i>L</i>		1	0.140	0.407**	0.463**
	壳宽 <i>W</i>			1	0.550**	0.409*
	全湿重 TWW				1	0.675**
	软体重 STW					1

注: \*\*,  $P < 0.01$ ; \*,  $P < 0.05$ 。下同。

二倍体长牡蛎与三倍体长牡蛎通径分析结果见表 3。结果显示，二倍体长牡蛎的 3 个壳型性状对全湿重的直接作用均比较高(最低的为 0.380)，三者并未出现主要决定性状，对软体重的直接作用均比较低(最高的仅为 0.154)，而全湿重与软体重的直接作用最强(高达 0.780)。因此，育种工作中，可以通过选择壳高来提高全湿重，进而提高软体重。当然最直接的还是直接通过选择全湿重来提高软体重。在软体重的通径分析中，全湿重与软体重的直接作用最强

为 0.780，而多元回归被剔除的壳长对软体重直接作用最小为 -0.072，小于其间接作用 0.482，此外，壳高和壳宽对软体重的直接作用同样小于其间接作用；三倍体长牡蛎全湿重直接作用最大的为壳宽 0.471，最小的为壳长 0.275，壳型性状壳高、壳长和壳宽对全湿重的直接作用均大于间接作用；全湿重和壳高对三倍体长牡蛎软体重的直接作用为 0.348 和 0.367 均大于其间接作用，而壳长和壳宽对软体重的直接作用均小于其间接作用。

表 3 长牡蛎二倍体、三倍体表型性状对软体重和全湿重的影响

Tab. 3 Effects of shell phenotypic traits on total wet weight and soft tissue weight of diploid and triploid oysters of *C. gigas*

分组	因变量	性状	直接作用	间接作用				
				壳高 <i>H</i>	壳长 <i>L</i>	壳宽 <i>W</i>	全湿重 TWW	总和
二倍体 D	全湿重 TWW	壳高 <i>H</i>	0.474		0.072	0.094		0.166
		壳长 <i>L</i>	0.380	0.090		0.090		0.180
		壳宽 <i>W</i>	0.407	0.109	0.084			0.193
	软体重 STW	壳高 <i>H</i>	0.059		-0.014	0.035	0.499	0.521
		壳长 <i>L</i>	-0.072	0.011		0.034	0.437	0.482
	壳宽 <i>W</i>	0.154	0.014	-0.016		0.468	0.466	
	全湿重 TWW		0.780	0.038	-0.040	0.093		0.090
三倍体 T	全湿重 TWW	壳高 <i>H</i>	0.288		0.066	0.066		0.132
		壳长 <i>L</i>	0.275	0.069		0.066		0.135
		壳宽 <i>W</i>	0.471	0.040	0.038			0.079
	软体重 STW	壳高 <i>H</i>	0.348		0.050	0.018	0.154	0.570
		壳长 <i>L</i>	0.208	0.083		0.018	0.151	0.252
		壳宽 <i>W</i>	0.130	0.049	0.029		0.202	0.280
		全湿重 TWW	0.367	0.146	0.085	0.072		0.303

### 2.3 壳型性状对长牡蛎体质量的作用分析

总决定系数( $R^2$ )为直接决定系数和间接决定系数的总和,大小近似等于拟合度相关指数值( $r^2$ )。壳型性状对体质量的决定系数分析结果见表 4,壳高对二倍体长牡蛎全湿重的决定系数最高为 0.225;逐步回归结果显示,模型拟合度随自变量壳高、壳长和壳宽的引入而增加,但剩余因子数值仍较大为 0.489,说明对全湿

重的多元回归模型仍待补充除壳型性状外的其他因素以提高拟合精度;在对软体重的逐步回归中,模型保留了二倍体牡蛎的壳高和壳宽参数进行拟合,总决定系数为 0.776,剩余因子数值为 0.473,而二倍体长牡蛎壳高和全湿重对软体重的决定系数分别为 0.024 和 0.608;单性状中,壳高对二倍体长牡蛎全湿重的决定系数最高,而对软体重决定程度最高的是全湿重。

表 4 长牡蛎壳型性状对体质量的决定系数

Tab. 4 Determination coefficient of shell morphological traits on weight indices of *C. gigas*

分组	因变量	壳型性状	壳高 $H$	壳长 $L$	壳宽 $W$	全湿重 TWW	决定系数和 $\Sigma d$	剩余因子 $e$	
	全湿重 TWW	壳高 $H$	0.225	0.067	0.091		0.761	0.489	
		壳长 $L$		0.145	0.069				
		壳宽 $W$			0.166				
二倍体 D	软体重 STW	壳高 $H$					0.776	0.473	
		壳长 $L$				0.024			0.144
		壳宽 $W$							0.608
	全湿重 TWW	壳高 $H$	0.083	0.039	0.039		0.494	0.711	
		壳长 $L$		0.076	0.036				
		壳宽 $W$			0.222				
全湿重/T	软体重 STW	壳高 $H$	0.121	0.035		0.108	0.504	0.704	
		壳长 $L$		0.043		0.062			
		壳宽 $W$							
	全湿重 TWW					0.135			

在对三倍体长牡蛎性状进行分析时,壳高、壳长以及壳宽对牡蛎全湿重的总决定系数为 0.494;逐步回归结果显示,壳型性状作为自变量引入时拟合度随之增加,但剩余因子数值仍较大为 0.711,说明除壳型性状外仍有对三倍体总湿重影响较大的因素尚未考虑到;单性状中,壳宽对三倍体长牡蛎全湿重的决定系数最高为 0.222;在对三倍体长牡蛎软体重的逐步回归分析中,模型保留了壳高、壳长和全湿重三个参数进行拟合,总决定系数为 0.504,剩余因子数值为 0.704,其中全湿重和壳高的直接决定系数最高分别为 0.135 和 0.121,因此,在对三倍体软体重性状进行选择时建议优先考虑全湿重和壳高两个参数。

### 2.4 多元回归方程的建立

长牡蛎形态性状偏回归系数分析结果见表 5,壳高( $x_1^{D/T}$ )、壳长( $x_2^{D/T}$ )和壳宽( $x_3^{D/T}$ )参数对长牡蛎二倍体和三倍体的全湿重( $y_1^{D/T}$ )均有显著影响;壳宽( $x_3^D$ )和全湿重( $x_4^D$ )参数对二倍体长牡蛎软体重( $y_2^D$ )

有显著作用;壳高( $x_1^T$ )、壳长( $x_2^T$ )和全湿重( $x_4^T$ )参数则对三倍体长牡蛎软体重( $y_2^T$ )有显著作用,因变量与自变量之间线性关系显著,所选壳型性状均达到显著水平及以上( $P < 0.05$ )。因此,利用逐步回归法分别建立以长牡蛎二倍体和三倍体软体重及全湿重为因变量的最优回归方程,此外,经回归预测,估计值与实际观察值差异不显著,说明方程可,有效地应用于实际生产中。最优回归方程如下:

$$y_1^D = -131.406 + 0.908x_1^D + 1.416x_2^D + 1.889x_3^D \quad (7)$$

$$(r^2 = 0.757, F = 73.89, P < 0.01),$$

$$y_2^D = -1.221 + 0.125x_3^D + 0.132x_4^D \quad (8)$$

$$(r^2 = 0.766, F = 117.80, P < 0.01),$$

$$y_1^T = -65.220 + 0.749x_1^T + 0.759x_2^T + 2.219x_3^T \quad (9)$$

$$(r^2 = 0.493, F = 23.00, P < 0.01),$$

$$y_2^T = -10.937 + 0.118x_1^T + 0.080x_2^T + 0.065x_4^T \quad (10)$$

$$(r^2 = 0.583, F = 33.09, P < 0.01).$$

表 5 长牡蛎形态性状偏回归系数分析

Tab. 5 Analysis of partial regression coefficient of shell phenotypic traits of diploid and triploid oysters of *C. gigas*

分组	因变量	参数	常数	壳高 <i>H</i>	壳长 <i>L</i>	壳宽 <i>W</i>	全湿重 <i>TWW</i>	
二倍体/D	全湿重 <i>TWW</i>	偏回归系数	-131.406**	0.908**	1.416**	1.889**		
		标准误差	14.413	0.117	0.222	0.287		
		<i>T</i> 值	-9.117	7.732	6.380	6.585		
	软体重 <i>STW</i>	偏回归系数	-1.221				0.125*	0.132**
		标准误差	1.300				0.057	0.012
		<i>T</i> 值	-0.939				2.199	10.846
三倍体/T	全湿重 <i>TWW</i>	偏回归系数	-65.220*	0.749**	0.759**	2.219**		
		标准误差	24.978	0.225	0.247	0.405		
		<i>T</i> 值	-2.611	3.332	3.075	5.484		
	软体重 <i>STW</i>	偏回归系数	-10.937**	0.118**	0.080*			0.065**
		标准误差	2.977	0.031	0.034			0.013
		<i>T</i> 值	-3.673	3.807	2.367			5.057

### 3 讨论

牡蛎个体全湿重直接反映了养殖产量，而软体重在某种程度上将决定牡蛎的品质。相较体质量牡蛎壳的形状更易于测量，利用相关性分析和通径分析探明牡蛎壳长、壳高、壳宽与个体全湿重、软体重之间的关系，以及壳型性状对体重的决定系数，有助于通过壳型性状的选择直接提高牡蛎产量或品质。相比二倍体牡蛎，三倍体牡蛎由于育性差，使得其软体部更饱满，个体生长往往更快。为了比较二倍体和三倍体壳型性状对体质量的影响，实验选取成体长牡蛎二倍体和三倍体，以全湿重和软体重作为产量和品质的参考，目的在于为不同倍性长牡蛎的生产性能比较提供依据。

#### 3.1 长牡蛎二倍体和三倍体形态差异比较

本研究长牡蛎苗种来源于同批次培育的普通二倍体和全三倍体(四倍体  $\delta \times$  普通二倍体  $\text{♀}$ )，因而，对二者进行比较具有一定的参考价值。二倍体长牡蛎和三倍体长牡蛎形态差异比较发现，20 月龄二倍体长牡蛎的平均壳高、壳长、壳宽、全湿重和软体重均小于 20 月龄三倍体长牡蛎，但各项参数差异不显著( $P > 0.05$ )；二者全湿重和软体重的变异系数均高于壳型性状；壳型性状中壳宽的变异系数最高，二倍体的壳高变异系数与壳长相当，而三倍体的变异系数要小于二倍体；这说明，在相同养殖条件下，三倍体长牡蛎生长性能要略优于二倍体，这一结论与此前多数学者的研究结论一致<sup>[12]</sup>。分析认为，三倍体牡蛎的生长优势可能不仅得益于其育性差，也得益

于其生长基因的调控。

#### 3.2 相关性和回归分析比较

在其他种类牡蛎的研究中，福建牡蛎<sup>[13]</sup>壳型性状的相关系数为-0.064~0.106，与体质量的相关系数为-0.232~0.514；香港牡蛎<sup>[14]</sup>壳型性状相关系数为-0.047~0.451，与体质量的相关系数为 0.202~0.820；近江牡蛎<sup>[6]</sup>壳型性状的相关系数为 0.167~0.441，与体质量的相关系数为 0.292~0.820。本研究结果显示，二倍体长牡蛎壳型性状的相关系数为 0.185~0.235，与体质量的相关系数为 0.414~0.866，而三倍体长牡蛎壳型性状的相关系数为 0.140~0.243，与体质量的相关系数为 0.409~0.675。比较发现，长牡蛎二倍体和三倍体壳型性状的相关系数与近江牡蛎<sup>[6]</sup>相似，壳型性状与体质量的相关系数明显高于福建牡蛎<sup>[13]</sup>。分析认为，由于遗传背景和养殖环境等的差异，不同牡蛎壳型性状的相关程度不同，但贝类的壳型性状之间普遍存在相关性，而其与体质量的相关程度均达到显著水平( $P < 0.05$ )，说明壳型性状与体质量的相关分析具有实际意义。

相关指数或总决定系数大于或等于 0.85 时，可以确定影响因变量的主要性状<sup>[15]</sup>。韦媛媛等<sup>[16]</sup>研究发现，小规格香港牡蛎壳型性状与全重的相关指数大于 0.85，而中规格和大规格均小于 0.85，说明影响小规格香港牡蛎全重的多数性状已进行分析。本研究中壳型性状对二倍体和三倍体长牡蛎全湿重的相关指数分别为 0.761 和 0.494，说明除了壳高、壳长和壳宽外，还有其他因子尚未被纳入自变量进行分析，在对福建牡蛎<sup>[13]</sup>和近江牡蛎<sup>[6]</sup>的研究中也得到

类似的结果。此外,本研究中自变量对二倍体和三倍体长牡蛎软体重的相关指数均小于 0.85,同样说明还有其他因子尚未被纳入自变量进行分析,需要进一步的研究和分析来确定主要性状。而二倍体相较于三倍体普遍较高的相关指数可能与二倍体规格偏小且变异系数普遍较大有关。

本研究中,二倍体和三倍体表现出不同的体型特征,说明影响其各自体质量的主要形态性状有所不同。在牡蛎的有关研究中,影响体质量的主要因子多为壳高性状<sup>[7, 13]</sup>,与本文对二倍体长牡蛎全湿重的分析结果一致,即壳高对全湿重的直接作用最高为 0.474,而壳长和壳宽的直接作用略小但二者相当,而三倍体长牡蛎的壳宽对全湿重的直接作用最高,结果与相关系数大小关系相一致,我们推测可能是由于本研究中的二倍体牡蛎壳形狭长,而三倍体牡蛎壳宽相对较大有关。本文通径分析认为壳高是影响二倍体长牡蛎全湿重的最主要性状,但是多元回归分析中对全湿重的偏回归系数影响最大的是壳宽,二者之间有一定差异。偏回归系数的本质是自变量对因变量影响程度,但是没有经过处理的回归系数会因为自变量的变异程度和均数造成差异,无法直接通过偏回归系数比较自变量对因变量的直接影响程度。因而,一般通过直接作用来判断单一性状的重要性。本研究中体质量数据显示,三倍体牡蛎总湿重和软体重变异系数均低于二倍体,说明三倍体牡蛎生长的一致性好于二倍体,但二倍体牡蛎软体重占总湿重的比值更高,这可能与牡蛎性腺发育的程度相关,这可能是造成通径分析中二倍体牡蛎总湿重对软体重的直接作用较高(0.780),而三倍体则相对较低(0.367)的原因。但是整体上来看,直接作用分析结果基本与相关关系的大小一致,不论二倍体还是三倍体总湿重对软体重的决定系数均高于壳形参数。

### 3.3 多元回归方程的建立和比较

某一个变量可以用另一个变量的线性表达式来表示,说明两个变量间存在共线性<sup>[17]</sup>,通径分析是多重共线性的一种分析方法<sup>[18]</sup>,通过保留通径系数显著的自变量,进行逐步回归,最终建立最优回归方程。本研究中,长牡蛎二倍体和三倍体的壳长、壳宽、壳高之间的相关性均显著( $P < 0.05$ ),多元回归关系和偏回归系数均达到显著水平( $P < 0.05$ ),说明可以通过测量壳高、壳长和壳宽性状对长牡蛎二倍体和

三倍体的全湿重性状进行预测,而对长牡蛎二倍体软体重进行预测需要测定全湿重和壳宽,对三倍体长牡蛎软体重进行预测则需要测定全湿重、壳长和壳宽性状。这种对软体重预测差别,说明通过壳形性状对二倍体长牡蛎和三倍体长牡蛎在体质量上的差异进行预测有一定可行性。

## 4 结语

本文利用相关分析、通径分析和多元回归等方法对长牡蛎二倍体和三倍体群体的壳型性状和体质量进行了研究,结果表明,二倍体长牡蛎和三倍体长牡蛎软体重变异系数均最高,性状间相关性均达到显著水平( $P < 0.05$ ),全湿重和软体重的相关性较高分别为 0.866 和 0.675;多元回归分析结果显示,壳长、壳高和壳宽对二倍体长牡蛎全湿重的影响相当,其中壳高最大,直接作用系数为 0.474,对软体重影响最大的是全湿重,直接作用系数高达 0.780;壳宽对三倍体长牡蛎全湿重的影响最大,直接作用系数为 0.471,壳高和湿重对软体重的直接作用系数高达分别为 0.348 和 0.367。建立了关于长牡蛎二倍体和三倍体壳型性状与重量参数的多元回归方程,为不同倍性长牡蛎壳形的比较研究提供了一种分析方法,同时为长牡蛎壳形选育提供理论依据。

### 参考文献:

- [1] GUO X, DEBROSSE G, ALLEN JR S. All-triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by mating tetraploids and diploids[J]. Aquaculture, 1996, 142(3/4): 149-161.
- [2] 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.
- [3] LIU Xiaolin, CHANG Yaqing, XIANG Jianhai, 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.
- [4] LUO X, KE C, YOU W. Estimates of correlations for shell morphological traits on body weight of interspecific hybrid abalone (*Haliotis discus hannai* and *Haliotis gigantea*)[J]. Journal of Shellfish Research, 2013, 32(1): 115-118.
- [5] HUO Z, WU Y, GAO Z, et al. Effects of shell morphological traits on the weight trait of the orange strain of the Manila clam[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(2): 75-78.
- [5] ZHANG A, WANG L, YANG X, et al. Relationship

- between shell morphological traits and body weight in two estuarine clams, *Meretrix meretrix* and *Cyclina sinensis* in shuangtaizi estuary, bohai sea in China[J]. *Journal of Shellfish Research*, 2018, 37(5): 989-996.
- [6] 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 Zewei, ZHENG Huaiping, YANG Yanhong, et al. Correlation and path analysis to quantitative Traits for a cultured population of Jinjiang oyster *Crassostrea hongkongensis*[J]. *Chinese Agriculture Science Bullrtin*, 2010, 26(6): 332-336.
- [7] 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 Zhiqiang, LI Qi. Multiple regression and path analysis of morphological and weight traits of Pacific syster (*Crassostrea gigas*) orange-shell strain[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(12): 46-52.
- [8] BEDEIAN A, MOSSHOLDER K. On the use of the coefficient of variation as a measure of diversity[J]. *Organizational Research Methods*, 2000, 3(3): 285-297.
- [9] 梁健, 王俊杰, 郭永军, 等. 不同地理群体菲律宾蛤仔表型性状的相关性与通径分析[J]. *水产科学*, 2020, 39(1): 40-47.
- LIANG Jian, WANG Junjie, GUO Yongjun, et al. Correlation and path analysis of phenotypic traits in different geographical groups of manila clam *Ruditapes philippinarum*[J]. *Fisheries Science*, 2020, 39(1): 40-47.
- [10] FINNEY J. Indirect effects in path analysis[J]. *Sociological Methods and Research*, 1972, 1(2): 175-186.
- [11] AIKEN L, WEST S, PITTS S. Multiple linear regression[M]. Edition 1. Online: *Handbook of psychology*, 2003: 481-507.
- [12] 曾志南, 林琪, 吴建绍, 等. 太平洋牡蛎二倍体和三倍体的生长比较[J]. *上海水产大学学报*, 1999, 8(2): 119-123.
- ZENG Zhinan, LIN Qi, WU Jianshao, et al. Comparison of growth between diploids and triploids oyster *Crassostrea gigas*[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1999, 8(2): 119-123.
- [13] 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 Qing, WANG Yajun, WANG Diwen, et al. Comparison analysis of quantitative traits and path between two cultured populations of *Crassostrea gigas* and *C. angulata*[J]. *Marine Science Bulletin*, 2014, 33(1): 106-111.
- [14] 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 Shu, FU Zhengjun, YU Ziniu. Path analysis of quantitative traits of male and female Hong Kong oyster *Crassostrea hongkongensis*[J]. *South China Fisheries Science*, 2011, 7(4): 1-9.
- [15] 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 Xiwu, WANG Yan, GUO Wenxue, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of clam *Macraa veneriformis* Reeve along northern coast in China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(10): 1513-1518.
- [16] 韦媛媛, 李蔚, 张兴志, 等. 不同规格香港牡蛎壳形态性状对重量性状的影响[J]. *南方农业学报*, 2020, 51(4): 961-967.
- WEI Pinyuan, LI Wei, ZHANG Xingzhi, et al. Effects of shell morphological traits on the weight traits of *Crassostrea hongkongensis* with different sizes[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2020, 51(4): 961-967.
- [17] NÆS T, MEVIK B. Understanding the collinearity problem in regression and discriminant analysis[J]. *Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society*, 2001, 15(4): 413-426.
- [18] 张宏. 通径分析法——多重共线性的一种分析方法[J]. *统计教育*, 1997, 5: 23-25.
- ZHANG Hong. Path analysis - an analysis method of Multicollinearity[J]. *Statistical Education*, 1997, 5: 23-25.

# Correlation and path analysis of quantitative traits of diploid and triploid *Crassostrea gigas*

CHU Hong-yong, ZHANG Jian-bai, ZHANG Xiu-mei, XU Xiao-ying, WU Hong-wei, CHEN Kun, DING Bing-li, XU Feng-jie

(Yantai Marine Economic Research Institute, Yantai 265500, China)

**Received:** Oct. 17, 2021

**Key words:** *Crassostrea gigas*; triploid; diploid; quantitative trait; correlation coefficient; path analysis

**Abstract:** To study the effects of shell traits on weight traits of diploid and triploid *Crassostrea gigas*, 75 diploid and triploid oysters aged 20 months were randomly sampled. Shell height, length, width, total wet weight, and soft body weight were analyzed using correlation analysis and path analysis. The results showed that soft body weight had the highest coefficient of variation (*C.V.*) in both diploid and triploid oysters. The correlation between total wet weight and soft body weight was significant ( $p < 0.05$ ) and high in both groups, with correlation coefficients of 0.866 and 0.675 for diploid and triploid oysters, respectively. Multiple regression analysis showed that shell height had the greatest effect on the total wet weight of diploids, with a direct effect coefficient of 0.474, and the greatest effect on the soft weight was the total wet weight, with a direct effect coefficient of 0.780. Shell width had the greatest effect on the total wet weight of the triploids, and the direct effect coefficients of shell height and wet weight on soft weight were 0.348 and 0.367, respectively. The regression equations of total wet weight and soft weight of diploids and triploids had  $R^2$  of less than 0.85 for both groups, indicating that there were other factors that had a great impact on weight traits. These findings provide a baseline for the comparative study of *C. gigas* with different ploidy.

(本文编辑: 康亦兼)