

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20240119001

http://www.yykxjz.cn/

徐筱琰, 杜美荣, 王庭豪, 蒋增杰. 繁殖期日本海螂的壳尺寸性状对重量性状的通径分析. 渔业科学进展, 2025, 46(1): 127-135

XU X Y, DU M R, WANG T H, JIANG Z J. Path analysis of morphological traits on weight traits of breeding *Mya japonica*. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(1): 127-135

## 繁殖期日本海螂的壳尺寸性状 对重量性状的通径分析\*

徐筱琰<sup>1,2</sup> 杜美荣<sup>1,2①</sup> 王庭豪<sup>1,2</sup> 蒋增杰<sup>1,2</sup>

- (1. 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室 农业农村部海洋渔业与可持续发展重点实验室  
中国水产科学研究院黄海水产研究所 山东 青岛 266071;  
2. 青岛海洋科技中心海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266237)

**摘要** 为了揭示繁殖期日本海螂(*Mya japonica*)壳尺寸性状和重量性状之间的关系,通过直观可见性状判断非直观性状,在苗种繁育中指导种贝挑选,本研究测定了185只来自青岛胶州湾繁殖期日本海螂的壳尺寸性状[壳长( $X_1$ ),壳宽( $X_2$ ),壳高( $X_3$ )]和重量性状[总湿重( $Y_1$ ),软体湿重( $Y_2$ ),性腺湿重( $Y_3$ )],开展了壳尺寸性状对重量性状的通径分析。结果显示,繁殖期日本海螂的6个性状之间的相关系数均达到极显著水平( $P<0.01$ ),相关性系数为0.891~0.966。壳宽对总湿重、软体湿重和性腺湿重的直接效应最大,其值分别为0.462、0.519和0.537。单一性状中,壳宽对总湿重、软体湿重和性腺湿重的影响最大,其值分别为21.34%、26.94%和28.84%。壳宽和壳高对总湿重、软体湿重和性腺湿重的共同决定程度最大,其值分别为32.88%、24.93%和21.34%。利用多元回归分析法,建立壳尺寸性状对重量性状的最优回归方程: $Y_1=0.295X_1+1.73X_2+1.128X_3-72.554$ ,  $R^2=0.954$ ;  $Y_2=0.117X_1+0.56X_2+0.219X_3-19.240$ ,  $R^2=0.927$ ;  $Y_3=0.055X_1+0.362X_2+0.082X_3-9.402$ ,  $R^2=0.891$ 。研究表明,在日本海螂苗种繁育中的种贝挑选阶段,以重量性状(总湿重、软体湿重和性腺湿重)为首要育种目标时,可以通过壳宽进行间接选择,同时考虑壳高的协同作用。研究结果可为日本海螂的选择育种工作中的种贝选择提供理论依据。

**关键词** 日本海螂; 壳尺寸性状; 重量性状; 通径分析

**中图分类号** S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)01-0127-09

通径分析理论是由数量遗传学家 Wright (1977) 在20世纪20年代提出,它可以确定参数间的相关性,并将其相关系数拆分为直接影响和通过其他参数的间接影响,从而建立最优回归方程。通径分析指导水生生物的选择育种工作在许多品种都有开展,如毛蚶

(*Scapharca subcrenata*)(王冲等, 2015)、麦哲伦扇贝(*Placopecten magellanicus*)(于笛等, 2023)、刀蛸(*Cultellum scalprum*)(王灵平, 2020)、合浦珠母贝(*Pinctada martensii*)(范超等, 2022)、长牡蛎(*Crassostrea gigas*)(陈雨露等, 2023)、四角蛤蜊(*Mactra*

\* 国家自然科学基金青年基金(32202962)、中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费(20603022024007)和国家贝类产业技术体系(CARS-49)共同资助。徐筱琰, Email: xuxylf@163.com

① 通信作者: 杜美荣, 副研究员, Email: dumr@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2024-01-19, 收修改稿日期: 2024-03-02

*veneriformis*)(李昂等, 2024)和栉孔扇贝(*Chlamys Farreri*)(杜美荣等, 2012)等经济贝类。日本海螂(*Mya japonica*)隶属于双壳纲(Bivalvia)、异齿亚纲(Heterodonta)、海螂目(Myoida)、海螂科(Myidae)。在 2018 年之前, 日本海螂均被认作砂海螂(*Mya arenaria*)。Zhang 等(2018)研究发现, 分布于我国的砂海螂应为日本海螂, 属暖温性底栖贝类, 广泛分布于大西洋和北冰洋北半球寒温带, 主要分布于我国东海、南海, 连云港以北沿海。日本海螂生活在潮间带下至深数米的泥沙质水域海底, 营穴居生活; 其味道鲜美, 堪比牡蛎, 软体湿重大于同等大小的牡蛎, 出肉率高, 具有较高的经济价值。规模化贝类养殖中, 为了得到大量优质的苗种, 种贝的选择十分重要, 壳尺寸性状和重量性状都是贝类选择育种的重要指标。双壳贝类观察性腺成熟度的方式不同于鱼类, 在生产中, 处于繁殖期的鱼类可通过生殖孔颜色和腹部柔软程度判断性腺成熟度, 双壳贝类则需解剖后观察性腺的颜色和饱满程度才能判断性腺的成熟度, 操作繁琐, 效率低, 种贝解剖后死亡, 对贝类育苗场是一种巨大的损失。利用通径分析方法分析繁殖期日本海螂壳尺寸性状和重量性状之间的相关性, 选择与性腺湿重等重量性状相关性最高的壳尺寸性状作为选育指标, 该方法操作方便, 不会对种贝造成损伤。其他针对日本海螂的通径分析主要集中在非繁殖期, 较易获得的总湿重和软体重(孙振兴等, 2013; 王丽等, 2018), 而对不易获得的性腺湿重的通径分析, 尚未见报道。而性腺湿重是产业链终端消费者层面感兴趣的性状, 也是育种中根据怀卵(精)量大小进行选择的主要形状。本研究采用多元

回归分析和通径分析方法, 采用青岛胶州湾海域繁殖季节的日本海螂, 分析壳尺寸性状和重量性状的相关性, 以期找到对重量性状直接效应最大的壳尺寸性状, 在选择育种工作中优先选择相关性状的亲贝作为繁殖群体, 对日本海螂选择育种工作提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验用日本海螂采自繁殖季节的青岛胶州湾海域(7 月), 采集完毕后使用泡沫保温箱加冰低温运回实验室, 洗净泥沙后进行性状的测量。日本海螂壳形状的相关性状测量见图 1。

### 1.2 数据采集与处理

对采样的日本海螂随机选取 185 只个体, 逐一使用铅笔在壳表面进行编号后, 用游标卡尺(精准度 0.01 mm)测量壳长( $X_1$ )、壳宽( $X_2$ )、壳高( $X_3$ ), 用电子天秤(精度 0.001 g)对重量性状进行测量, 将完整日本海螂进行称重得到总湿重( $Y_1$ ), 解剖后将软体部称重得到软体湿重( $Y_2$ ), 取出性腺称重得到性腺湿重( $Y_3$ )。先采用 Excel 软件对所获得的数据进行初步处理, 再用 SPSS18.0 软件对数据进行相关性分析和通径分析。对各性状数据进行统计、相关分析, 采用线性回归法分析, 建立多元回归方程, 对数据进行通径分析, 计算相关系数( $r_{xy}$ )、通径系数( $P_i$ )、相关指数( $R^2$ )和决定系数( $d$ )。计算公式:

$$r_{xy} = P_i + \sum r_{ij} P_i$$



图 1 日本海螂壳尺寸性状的测量指标

Fig.1 Measurement method for morphological traits of *M. japonica*

$X_1$ : 壳长;  $X_2$ : 壳宽;  $X_3$ : 壳高。

$X_1$ : Shell length;  $X_2$ : Shell width;  $X_3$ : Shell height.

## 2 结果

### 2.1 各性状描述统计量

日本海螂的壳尺寸性状和重量性状的描述统

计量如表 1 所示。总湿重、软体湿重和性腺湿重的变异系数较大, 分别为 36.97%、33.63%和 42.54%, 远高于壳尺寸性状。重量性状的变异系数大于壳尺寸性状的变异系数, 表明重量性状在育种选育中具有较大选择潜力。

表 1 日本海螂各性状统计量(n=185)

Tab.1 Statistic of various traits of *M. japonica* (n=185)

性状 Traits	壳长 $X_1$ Shell length $X_1$ /mm	壳宽 $X_2$ Shell width $X_2$ /mm	壳高 $X_3$ Shell height $X_3$ /mm	总湿重 $Y_1$ Total wet weight $Y_1/g$	软体湿重 $Y_2$ Soft body wet weight $Y_2/g$	性腺湿重 $Y_3$ Gonadal wet weight $Y_3/g$
平均值 Mean	60.148	25.455	39.569	33.843	10.711	3.837
标准差 Standard deviation	6.460	3.341	4.375	12.513	3.602	1.632
变异系数 Coefficient of variation/%	0.107	0.131	0.111	0.370	0.336	0.425

2.2 日本海螂各性状之间的相关分析

日本海螂各性状之间的相关系数表明,壳尺寸性状对总湿重的相关性达到极显著相关水平( $P<0.01$ )(表 2),壳尺寸性状对软体湿重和性腺湿重的相关系数均达到极显著相关水平( $P<0.01$ )。且壳尺寸性状与重量性状之间高度相关( $R\geq 0.7$ )。

壳尺寸性状中单一性状与总湿重的相关系数由大到小依次为  $X_2(0.952)$ 、 $X_3(0.950)$ 、 $X_1(0.917)$ ,与软体湿重的相关系数由大到小依次为  $X_2(0.944)$ 、 $X_3(0.925)$ 、 $X_1(0.908)$ ,与性腺湿重的相关系数由大到小依次为  $X_2(0.927)$ 、 $X_3(0.903)$ 、 $X_1(0.891)$ 。由此可见,壳尺寸性状中,壳宽与重量性状的相关系数最大。

2.3 壳尺寸性状对重量性状的多元回归分析

利用 SPSS 软件,采用线性回归分析法对壳尺寸性状对重量性状回归进行分析,结果显示,壳尺寸性

状对重量性状均有极显著影响(表 3、表 5、表 7),且回归系数均通过了  $T$  检验,回归系数不为 0,由此可得,壳尺寸性状分别对总湿重、软体湿重和性腺湿重的多元回归方程:

$$Y_1 = 0.295X_1 + 1.73X_2 + 1.128X_3 - 72.554, R^2 = 0.954$$

$$Y_2 = 0.117X_1 + 0.56X_2 + 0.219X_3 - 19.240, R^2 = 0.927$$

$$Y_3 = 0.055X_1 + 0.362X_2 + 0.082X_3 - 9.402, R^2 = 0.891$$

式中,  $X_1$  为壳长(mm),  $X_2$  为壳宽(mm),  $X_3$  为壳高(mm),  $Y_1$  为总湿重(g),  $Y_2$  为软体湿重(g),  $Y_3$  为性腺湿重(g)。通过壳尺寸性状对重量性状进行方差分析。由表 4、表 6 和表 8 可知,壳尺寸性状与总湿重、软体湿重和性腺湿重的回归均达到极显著水平( $P<0.01$ )。以上 3 个方程通过回归预测,估计值与实际观测值差异不显著,表明上述方程能反映日本海螂壳尺寸性状与重量湿重之间的内在联系,可准确高效地应用于选育工作中。

表 2 日本海螂各性状之间的相关性

Tab.2 Correlation coefficients of various morphological and weight traits of *M. japonica*

性状 Traits	壳长 $X_1$ Shell length $X_1/mm$	壳宽 $X_2$ Shell width $X_2/mm$	壳高 $X_3$ Shell height $X_3/mm$	总湿重 $Y_1$ Total wet weight $Y_1/g$	软体湿重 $Y_2$ Soft body wet weight $Y_2/g$	性腺湿重 $Y_3$ Gonadal wet weight $Y_3/g$
$X_1$	1.000	0.880**	0.908**	0.917**	0.908**	0.891**
$X_2$		1.000	0.903**	0.952**	0.944**	0.927**
$X_3$			1.000	0.950**	0.925**	0.903**
$Y_1$				1.000	0.966**	0.958**
$Y_2$					1.000	0.907**
$Y_3$						1.000

注: \*\*表示相关性极显著( $P<0.01$ )。

Notes: \*\* means the correlation is highly significant ( $P<0.01$ ).

表 3 日本海螂壳尺寸性状对总湿重的回归分析

Tab.3 Multiple regression analysis between total wet weight and morphological traits of *M. japonica*

项目 Item	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	T-统计量 T-statistic	P 值 P value
截距 Intercept	-72.554	1.952	-37.163	0.000
变量 Variable				
$X_1$	0.295	0.079	3.75	0.000
$X_2$	1.730	0.147	11.681	0.000
$X_3$	1.128	0.128	8.822	0.000

表4 日本海螂壳尺寸性状与总湿重之间多元回归方程的方差分析

Tab.4 ANOVA analysis on multiple regression equations between total wet weight and morphological traits of *M. japonica*

项目 Item	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	P 值 P value
回归 Regression	27 329.077	3	9 109.692	0.000
残差 Residual	1 322.390	180	7.347	
总计 Total	28 651.467	183		

表5 日本海螂壳尺寸性状对软体湿重的回归分析

Tab.5 Multiple regression analysis between soft body wet weight and morphological traits of *M. japonica*

项目 Item	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	T-统计量 T-statistic	P 值 P value
截距 Intercept	-19.240	0.708	-27.176	0.000
变量 Variable	X <sub>1</sub>	0.117	4.117	0.000
	X <sub>2</sub>	0.560	10.417	0.000
	X <sub>3</sub>	0.219	4.716	0.000

表6 日本海螂壳尺寸性状与软体湿重之间多元回归方程的方差分析

Tab.6 ANOVA analysis on multiple regression equations between soft body wet weight and morphological traits of *M. japonica*

项目 Item	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	P 值 P value
回归 Regression	27 329.077	3	9 109.692	0.000
残差 Residual	1 322.390	180	7.347	
总计 Total	28 651.467	183		

表7 日本海螂壳尺寸性状对性腺湿重的回归分析

Tab.7 Multiple regression analysis between gonadal wet weight and morphological traits of *M. japonica*

项目 Item	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	T-统计量 T-statistic	P 值 P value
截距 Intercept	-9.402	0.392	-23.998	0.000
变量 Variable	X <sub>1</sub>	0.055	3.493	0.001
	X <sub>2</sub>	0.262	8.819	0.000
	X <sub>3</sub>	0.082	3.205	0.002

表8 日本海螂壳尺寸性状与性腺湿重之间多元回归方程的方差分析

Tab.8 ANOVA analysis on multiple regression equations between gonadal wet weight and morphological traits of *M. japonica*

项目 Item	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	P 值 P value
回归 Regression	434.265	3	144.755	0.000
残差 Residual	53.251	180	0.296	
总计 Total	487.516	183		

## 2.4 壳尺寸性状对总湿重的通径分析

壳尺寸性状对总湿重均能产生直接正向效应(表9)。壳尺寸性状对总湿重的直接影响由大到小依次为壳宽(0.462)、壳高(0.394)、壳长(0.152)。壳宽对总湿重的直接效应最大,间接效应最小;壳高对总湿重的直接效应和间接效应次之;壳长对总湿重的直接效应最小,间接效用最大。因此,以总湿重为育种选育目标时,壳宽为首要考虑因素,同时考虑壳长的协同作用。壳尺寸性状对软体湿重都能产生直接显著正向效应。壳尺寸性状对软体湿重的直接影响由大到小依次为

壳宽(0.519)、壳高(0.266)、壳长(0.210)。壳尺寸性状中对软体湿重直接效应最大的是壳宽,壳高次之,壳长最小,对软体湿重间接效应最大的是壳长,壳高次之,壳宽最小,其值分别为 0.698、0.659、0.425。因此,在以软体湿重为选育目标时,壳宽为首要考虑因素,同时考虑壳长的协同作用。壳尺寸性状对性腺湿重均能产生直接显著正向效应。壳尺寸性状对性腺性状的直接效应由大到小依次为壳宽(0.537)、壳高(0.220)、壳长(0.218)。壳尺寸性状中对性腺湿重间接效应最大的是壳高,壳宽次之,壳高最小,其值分别为 0.683、0.673、0.39。壳长和壳高的间接效应相接

近, 可知, 壳长和壳高对性腺湿重的间接影响大致相同, 因此, 在以性腺湿重为选育目标时, 壳宽为首要考虑因素, 同时应考虑壳长和壳高的协同作用。

**2.5 壳尺寸性状对总湿重、软体湿重和性腺湿重影响的决定系数**

壳尺寸性状对重量性状的决定系数(表 10)表明,

壳宽对总湿重的决定程度最大(0.213 4)、对软体湿重的决定程度最大(0.269 4)、对性腺湿重的决定程度亦最大(0.288 4)。壳宽和壳高对总湿重的共同决定系数最大(0.328 8), 远大于壳宽对总湿重的决定程度。壳宽和壳高对软体湿重的共同决定程度最大(0.249 3), 低于壳宽决定系数。壳宽和壳高对性腺湿重的共同决定程度最大(0.213 4), 低于壳宽决定系数。

**表 9 日本海螂壳尺寸性状对重量性状影响的通径分析**

Tab.9 Path analysis on effect of morphological traits on weight traits of *M. japonica*

重量性状 Weight traits	壳尺寸性状 Morphological traits	相关系数 $r_{kiz}$ Correlation coefficient	直接效应 $P_i$ Direct effect	间接效应 Indirect effect			
				$\Sigma$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
总湿重 Total wet weight	$X_1$	0.917	0.152	0.765		0.407	0.358
	$X_2$	0.952	0.462	0.490	0.134		0.356
	$X_3$	0.950	0.394	0.556	0.138	0.417	
软体湿重 Soft body wet weight	$X_1$	0.908	0.210	0.698		0.457	0.242
	$X_2$	0.944	0.519	0.425	0.185		0.240
	$X_3$	0.925	0.266	0.659	0.191	0.469	
性腺湿重 Gonadal wet weight	$X_1$	0.891	0.218	0.673		0.473	0.200
	$X_2$	0.927	0.537	0.39	0.191		0.199
	$X_3$	0.903	0.220	0.683	0.198	0.485	

**表 10 日本海螂壳尺寸性状对重量性状的决定系数**

Tab.10 Determinant coefficients of morphological traits on wet weight of *M. japonica*

重量性状 Weight traits	壳尺寸性状 Morphological traits	$X_1$	$X_2$	$X_3$
总湿重 Total wet weight	$X_1$	0.003 5	0.123 6	0.108 8
	$X_2$		0.213 4	0.328 8
	$X_3$			0.155 2
软体湿重 Soft body wet weight	$X_1$	0.044 1	0.191 8	0.101 4
	$X_2$		0.269 4	0.249 3
	$X_3$			0.070 8
性腺湿重 Gonadal wet weight	$X_1$	0.047 5	0.206 0	0.087 1
	$X_2$		0.288 4	0.213 4
	$X_3$			0.048 4

**3 讨论**

以食用为主的经济双壳贝类, 出肉率的高低是影响消费者是否考虑购买的因素之一。出苗量的多少对育苗场极为重要, 而性腺的大小关系着怀卵(精)量, 因此, 在生产中要选择同龄的贝中性腺湿重更大的种贝进行培育。双壳贝类在繁殖季节时, 对性腺的观察方式与鱼类不同, 鱼类可通过腹部柔软度和观察生殖孔颜色判断性腺发育成熟度, 观察双壳贝类性腺发育成熟度需要解剖贝。在贝类养殖场, 根据贝的外观快速判断种贝的性腺状况, 指导种贝挑选十分重要。性腺湿重是非直观数据, 需要对贝类解剖称重才

能获得数据, 操作麻烦, 步骤繁琐, 最重要的是解剖后贝死亡, 无法作为种贝进行繁殖。通过直观的壳尺寸性状快速挑选出性腺成熟度好的种贝, 在亲贝挑选工作中显得尤为重要。目前, 对水产动物的通径分析主要集中在形态性状对重量性状的通径分析, 针对繁殖期的亲贝性腺湿重的通径分析较少。本研究针对日本海螂的结果表明, 壳宽是影响贝壳内部体积的重要指标, 壳宽大预示着双壳向外膨出, 内部体积大, 相应地容纳的软体部和性腺较重。日本海螂贝壳呈卵圆形, 壳面较膨胀, 本研究中采用的日本海螂的壳长/壳宽值为 2.34, 壳长/壳高值为 1.52, 壳高/壳宽值为 1.55, 壳高和壳宽之间较为接近。壳宽尺寸越大, 贝

壳膨胀程度越大,内部体积越大。在繁殖期,性腺成熟度越大,性腺越肥满,日本海螂的壳宽值越大,结合本研究结果表明,在日本海螂繁殖期可将壳宽作为选育的首要指标。

不同种属的贝类,其形态结构存在一定的差异,形态性状对重量性状的影响不同。双壳贝类壳型多种多样,有卵圆形、圆形、长条形、扁平型和扇形等形状。对角蛤(*Antigona lamellaris Schumacher*)、泥蚶(*Tegillarca granosa*)、大珠母贝(*Pinctada maxima*)和日本海螂等壳型为卵圆形。对角蛤活体重的研究表明,壳宽对活体重直接影响最大(陈健等, 2020)。何俊等(2022)对 G7 代泥蚶的研究表明,壳宽对全重的直接影响最大,壳长对软体重的直接影响大。对大珠母贝重量性状的研究表明,壳高对湿重的影响最大(邓正华等, 2018)。三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)贝壳大而扁平,对三角帆蚌的体重研究表明,壳长对体重的影响最大(张根芳等, 2018)。栉孔扇贝壳呈扇形,对栉孔扇贝数量性状分析表明,壳长对总干重的影响最大(王光花等, 2011)。海湾扇贝(*Argopecten irradians*)为圆形,对海湾扇贝的研究表明,壳高对软体重的影响最大,壳高和壳宽对体重的影响最大(徐晓莹等, 2023)。长牡蛎为长条形,对长牡蛎的研究表明,壳高对软体部重的直接效应最大(韩自强等, 2017)。对施氏獭蛤(*Lutraria sieboldii*)的研究表明,壳重对软体重影响最大(邹杰等, 2020)。结合以上结果表明,双壳贝类膨胀程度不同,腔体内容积不同,所能容纳的内容物体积大小不一,以壳尺寸性状为选育标准时,不同种属的双壳贝类所测得的结果有所不同,对重量性状的通径分析和直接效应结果不同。本研究的决定系数分析结果与通径分析结果一致,壳宽是日本海螂育种时的首要考虑因素,同时应该考虑壳高的协同作用。

贝类的壳形态复杂多样,其形态受环境和遗传因素影响,不同环境条件下,贝类种群的壳尺寸性状存在差异导致壳形态出现分化(刘括等, 2021)。同一物种生活在不同的地理位置,生长速度和大小均有差异。本研究利用通径分析对青岛胶州湾日本海螂的重量性状进行研究,结果表明,壳宽是影响重量性状的首要因素,壳高是影响重量性状的次要因素。对烟台近海日本海螂的重量性状研究表明,壳长对体重决定系数最大(31.8%),壳宽对体重的决定系数次之(15.31%)(孙振兴等, 2013)。对大连旅顺龙王塘海域日本海螂的重量性状研究表明,壳长对活体重的决定系数最大(31.8%),壳宽对体重的决定系数最小(2.4%),

壳长对软体重的决定系数最大(23.9%),壳宽对软体重决定系数最小(1.6%)(王丽等, 2018)。本研究中,壳宽和壳高对总湿重的共同决定系数最大(32.88%),壳宽对软体重的决定系数最大(26.94%),壳宽对性腺湿重的决定系数最大(28.84%)。来自不同海域的同一物种在形态上可能存在差异。虽然,来自大连旅顺龙王塘的日本海螂和来自烟台近海的日本海螂均是壳长对体重的决定系数最大,但是 2 个海域的日本海螂的壳宽对体重和软体重的决定系数差异较大,表明不同海域的同一物种在形态上可能存在差异,也是导致本研究结果与其他研究结果不一致的原因。在测定重量性状时,性腺成熟度也是影响体重和软体重的重要因素之一,本研究的对象为胶州湾在繁殖季节的日本海螂,此时其性腺处于成熟期,软组织积累明显,甚至软体部溢出贝壳,双壳不能完全闭合,这是本研究结果与其他研究不同的主要原因。对不同地理群体菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)的重量性状研究表明,影响不同地理位置的菲律宾蛤仔重量性状的的因素不同,福建莆田、广东潮汕、大连金州、大连庄河、大连东港和山东莱州的蛤仔对活体重决定作用最大的是壳宽,福建连江、浙江宁波和山东红岛的蛤仔对活体重决定作用最大的是壳高(王松林等, 2023)。对不同地理群体魁蚶(*Scapharca broughtonii*)的重量性状研究表明,大连、荣成和秦皇岛的魁蚶对软体重直接影响最大的是壳长,韩国统营的魁蚶对软体重直接影响最大的是壳高(信炳龙等, 2021)。对栉孔扇贝的研究表明,青岛海域的栉孔扇贝壳高对总体重直接效应最大,荣成海域的栉孔扇贝壳长对总体重直接效应最大,大连海域的栉孔扇贝壳宽对总体重直接效应最大(杜美荣等, 2016)。对不同地理位置的菲律宾蛤仔研究发现,胶州湾的菲律宾蛤仔壳型最扁、莱州湾的菲律宾蛤仔壳型最圆(于文涵, 2022)。同一种属生物,研究材料来源不同,实验结果可能存在差异。对繁殖期和非繁殖期的同种属的生物进行重量性状的研究,对性腺湿重的通径分析结果可能会存在差异。

## 4 结论

本研究中,壳尺寸性状与重量性状之间均存在极显著相关( $P < 0.01$ )。对来自胶州湾海域的繁殖期日本海螂亲贝以性腺湿重为选育目标时,壳宽为首要选择,壳高次之;以总湿重为选育目标时,壳宽为首要选择,壳长次之;以软体湿重为选育目标时,壳宽为首要选择,壳长次之。综上所述,在繁殖季节的日本海螂应选择壳宽作为选育的首要选择。

## 参 考 文 献

- CHEN J, GUO D, ZHAI Z Q, *et al.* Effects of shell morphological traits on weight traits in *Antigona lamellaris schumacher*. Journal of BeiBu Gulf University, 2020, 35(8): 8–14 [陈健, 郭丹, 翟子钦, 等. 对角蛤形态性状对活体质量的影响效果分析. 北部湾大学学报, 2020, 35(8): 8–14]
- CHEN Y L, XU C X, LIU S K, *et al.* Estimates of genetic parameters for orange shell color and correlation with growth traits in the improved orange shell line of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). Journal of Fisheries of China, 2024, 48(1): 019611 [陈雨露, 徐成勋, 刘士凯, 等. 长牡蛎壳橙性状遗传参数评估及与生长性状的关联性. 水产学报, 2024, 48(1): 019611]
- DENG Z H, CHEN M Q, LI Y N, *et al.* Correlation and path analysis of morphological traits to wet weight and shell weight of wild *Pinctada maxima*. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(12): 2545–2550 [邓正华, 陈明强, 李有宁, 等. 野生大珠母贝形态性状对湿重和壳重的相关性及通径分析. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2545–2550]
- DU M R, FANG J G, BAO Z M, *et al.* Correlation and path coefficient analysis for *Chlamys farreri* cultured in different sea areas. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(5): 963–970 [杜美荣, 方建光, 包振民, 等. 不同养殖海域栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)混合家系的通径分析. 海洋与湖沼, 2016, 47(5): 963–970]
- 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. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(20): 136–139 [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及通径分析. 中国农学通报, 2012, 28(20): 136–139]
- FAN C, ZHANG X K, ZHANG X Z, *et al.* Correlation and path analysis of phenotypic traits among different populations of pearl oyster *Pinctada martensii*. Periodical of Ocean University of China, 2022, 52(Sup.1): 12–19 [范超, 张学开, 张兴志, 等. 不同群体合浦珠母贝表型性状的相关性与通径分析. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52(Sup.1): 12–19]
- HAN Z Q, LI Q. Multiple regression and path analysis of morphological and weight traits of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) orange-shell strain. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(12): 46–52 [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. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(12): 46–52]
- HE J, LAN T Y, LIU Y, *et al.* Correlation and path analysis of growth traits of *Tegillarca granosa* after 7 generations of breeding. Journal of Jimei University (Natural Science), 2022, 27(2): 107–113 [何俊, 蓝天一, 刘颖, 等. G7 代二龄泥蚶生长性状的相关性和通径分析. 集美大学学报(自然科学版), 2022, 27(2): 107–113]
- LI A, FENG J L, LI J Q, *et al.* Path analysis of quantitative characters for *Mactra veneriformis* with different ages in Geligang. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(1): 185–193 [李昂, 冯加岭, 李加琦, 等. 蛤蜊岗不同贝龄四角蛤蜊数量性状的通径分析. 渔业科学进展, 2024, 45(1): 185–193]
- LIU K, LI X T, CHE Z H, *et al.* Current trends in population research on shell morphological polymorphism of mollusks. Marine Sciences, 2021, 45(4): 213–221, I0001–I0047 [刘括, 李晓彤, 车宗豪, 等. 贝类种群壳形态性状多态性研究进展. 海洋科学, 2021, 45(4): 213–221, I0001–I0047]
- SUN Z X, LIU X Q, CHANG L R. Estimation of selection index of soft-shell clam (*Mya japonica*) based on quantitative traits. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(3): 763–767 [孙振兴, 刘相全, 常林瑞. 基于数量性状的砂海螂(*Mya arenaria*)选择指标评估. 海洋与湖沼, 2013, 44(3): 763–767]
- 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. Marine Fisheries, 2015, 37(5): 427–433 [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. 海洋渔业, 2015, 37(5): 427–433]
- WANG G H, JIANG Z J, FANG J G. Correlation and path analysis on quantitative traits of *Chlamys farreri* in offshore area. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(19): 327–328, 330 [王光花, 蒋增杰, 方建光. 浅海远岸水域筏养栉孔扇贝数量性状的相关性及通径分析. 现代农业科技, 2011(19): 327–328, 330]
- WANG L P. Observation and correlation analysis of body size and body weight traits of bivalve, *Cultellum scalprum* in Funing Bay of Fujian Province. Journal of Fisheries Research, 2020, 42(3): 216–222 [王灵平. 福建福宁湾尖刀蛸体尺与体重性状及其相关性. 渔业研究, 2020, 42(3): 216–222]
- WANG L, CONG Y T, LU Y N, *et al.* Correlation and path analysis of *Mya arenaria* group phenotypic traits and weight traits. Journal of Fisheries Research, 2018, 40(1): 35–41 [王丽, 丛玉婷, 卢亚楠, 等. 砂海螂群体表型性状和重量性状的相关及通径分析. 渔业研究, 2018, 40(1): 35–41]
- WANG S L, XU X H, TU K, *et al.* Effects of shell morphology on the weight traits of manila clam (*Ruditapes philippinarum*) from different geographical populations. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(6): 142–154 [王松林, 许星鸿, 涂康, 等. 不同地理群体菲律宾蛤仔壳形态对体重性状的影响研究. 渔业科学进展, 2023, 44(6): 142–154]
- WRIGHT S. Evolution and the genetics of populations. Volume 3. Experimental results and evolutionary deductions. University of Chicago Press, 1977
- XIN B L, WU B, ZHOU L Q, *et al.* Characters of main

- measurable traits of *Scapharca broughtonii* in 4 different geographical populations. *Marine Fisheries*, 2021, 43(6): 652–660 [信炳龙, 吴彪, 周丽青, 等. 4 个不同地理群体魁蚶主要可量性状特征分析. *海洋渔业*, 2021, 43(6): 652–660]
- XU X Y, HU L P, HE J B, *et al.* Effects of morphometric traits of *Argopecten irradians* on its quality traits. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2023, 45(4): 73–78 [徐晓莹, 胡丽萍, 贺加贝, 等. 海湾扇贝形态性状对质量性状的影响效应分析. *海洋湖沼通报*, 2023, 45(4): 73–78]
- YU D, CHEN W, TENG W M, *et al.* Correlation and path analysis between morphological traits and body weight of scallop *Placopecten magellanicus*. *Fisheries Science*, 2023, 42(3): 496–501 [于笛, 陈微, 滕炜鸣, 等. 麦哲伦扇贝形态性状与体质量相关性及其通径分析. *水产科学*, 2023, 42(3): 496–501]
- YU W H. Analysis of the shell characteristics of *Ruditapes philippinarum* in different geographical regions along the coast of Shandong Province. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2022 [于文涵. 山东沿海不同地理群体菲律宾蛤仔壳性状特征分析. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2022]
- ZHANG G F, ZHANG W F, LUO Y, *et al.* Path analysis of morphometrical traits on body weight of one-year old freshwater mussel *Hyriopsis cumingii*. *Journal of Dalian Ocean University*, 2018, 33(6): 755–759 [张根芳, 张文府, 罗雨, 等. 1 龄三角帆蚌壳形态性状对体质量的通径分析. *大连海洋大学学报*, 2018, 33(6): 755–759]
- ZHANG J L, YURCHENKO O V, LUTAENKO K A, *et al.* A tale of two soft-shell clams: An integrative taxonomic analysis confirms *Mya japonica* as a valid species distinct from *Mya arenaria* (Bivalvia: Myidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2018, 184(3): 605–622
- ZOU J, PENG H J, ZHANG S D, *et al.* Effects of shell phenotypic traits on body weight of clam *Lutraria sieboldii*. *Fisheries Science*, 2020, 39(4): 573–578 [邹杰, 彭慧婧, 张守都, 等. 施氏獭蛤壳体表型性状对体质量的影响分析. *水产科学*, 2020, 39(4): 573–578]

(编辑 马璀艳)

## Path Analysis of Morphological Traits on Weight Traits of Breeding *Mya japonica*

XU Xiaoyan<sup>1,2</sup>, DU Meirong<sup>1,2</sup>①, WANG Tinghao<sup>1,2</sup>, JIANG Zengjie<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods, Key Laboratory of Marine Fisheries and Sustainable Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao 266237, China)

**Abstract** In shellfish farms, to guide selection, it is important to rapidly determine the gonadal condition of the parents based on the appearance and morphology of the shells. For the intuitive shell size traits of shellfish, without the intuitive weight traits of the soft body and gonadal wet weights, the shellfish must be dissected and weighed pre-data collection in the laborious shellfish death after dissection is a significant loss to the breeding plant. It is crucial to determine weight trait growth (gonadal wet, soft body wet, and total wet weights) by measuring visual data (shell length, width, and height). Pathway analysis, which was developed by the quantitative geneticist Wright in the 1920s, identifies the correlations between parameters and categorizes their correlation coefficients into direct and indirect influences through other parameters to create the optimal regression equations. Pathway analysis to guide selective breeding of aquatic organisms was achieved for many species using the morphological traits of body mass and soft weight; however, pathway analysis of soft body and gonad wet weights, which are not readily available, was not reported. *Mya japonica* has a flavor comparable to that of a *Crassostrea gigas* whose soft body wet weight is heavier than that of an oyster of the same size, with a high meat yield and

① Corresponding author: DU Meirong, Email: dumr@ysfri.ac.cn



economic value. The relationship between shell size and weight traits of *M. japonica* during the breeding period was explored to guide seed shell selection during breeding. In this study, the shell size traits (shell length  $X_1$ , width  $X_2$ , and height  $X_3$ ) and weight traits (total wet weight  $Y_1$ , soft wet weight  $Y_2$ , and gonad wet weight  $Y_3$ ) of 185 *M. japonica* from Jiaozhou Bay, Qingdao, were measured, and a path analysis of shell size traits on weight traits was conducted. The results demonstrated that the correlation coefficients of six traits of the six breeding *M. japonica* traits reached a highly significant level (0.01), with correlation coefficients ranging from 0.891 to 0.966. The direct effects of shell width on the total, soft, and gonad wet weights were 0.462, 0.519, and 0.537, respectively. The influence of the shell width on the total, soft, and gonadal wet weights was the greatest, with values of 21.34%, 26.94%, and 28.84%, respectively. Shell width and height had the greatest degree of co-determination for total, soft, and gonadal wet weights, with values of 32.88%, 24.93%, and 21.34%, respectively. Using the multiple regression analysis method, the optimal regression equation of shell size trait to weight trait was established as  $Y_1=0.295X_1+1.73X_2+1.128X_3-72.554$ ,  $R_2=0.954$ ;  $Y_2=0.117X_1+0.56X_2+0.219X_3-19.240$ ,  $R_2=0.927$ ;  $Y_3=0.055X_1+0.362X_2+0.082X_3-9.402$ ,  $R_2=0.891$ . The results demonstrated that when weight were the primary breeding targets, indirect selection could be performed using shell width, and the synergistic effect of shell height could be considered. Our findings provide a theoretical basis for brood selection for breeding *M. japonica*.

**Key words** *Mya japonica*; Shell size traits; Weight traits; Path analysis