

文章编号: 1674-5566(2024)03-0562-10

DOI: 10.12024/jsou.20230204103

## 不同年龄三角帆蚌新生长性状臀角放射肋长与其他生长性状相关性和通径分析

吕高伦<sup>1</sup>, 吕雪峰<sup>1</sup>, 王昊<sup>1</sup>, 张瑶<sup>1</sup>, 李家乐<sup>1,2</sup>, 王正<sup>3</sup>, 白志毅<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 上海市水产动物良种创新与绿色养殖协同中心, 上海 201306; 3. 金华市浙星珍珠商贸有限公司, 浙江 金华 321001)

**摘要:** 贝类养殖和育种实践中, 贝壳生长纹宽窄是衡量贝类生长速度的重要观测指标, 臀角放射肋为呈现生长纹最宽的部位, 为了探究臀角放射肋长作为典型生长性状的可行性, 本研究分析了1~3龄三角帆蚌臀角放射肋长( $X_1$ )与壳长( $X_2$ )、壳高( $X_3$ )、全高( $X_4$ )、壳宽( $X_5$ )、活体质量( $Y_1$ )、软体质量( $Y_2$ )、壳质量( $Y_3$ )的相关性, 并进行体尺性状对体质量性状(活体质量、软体质量和壳质量)的通径分析。相关性分析结果表明, 1~3龄的三角帆蚌臀角放射肋长与体质量均呈极显著正相关。1龄、2龄三角帆蚌壳长与活体质量的相关系数最高, 而3龄三角帆蚌的臀角放射肋长与活体质量的相关性最高, 且臀角放射肋长与体质量性状的相关系数均随年龄的增加呈增长趋势。通径分析和多元回归分析表明, 影响1~3龄的三角帆蚌活体质量的主要因子为臀角放射肋长、壳长、壳宽, 影响3龄的三角帆蚌软体质量的主要因子为壳长、壳宽, 影响1龄、2龄的三角帆蚌壳质量的主要因子为壳长、壳宽, 影响3龄的三角帆蚌壳质量的主要因子为臀角放射肋长、壳长、壳宽。综上所述, 臀角放射肋长可与壳长、壳宽性状一起作为三角帆蚌新的典型生长性状, 用以表示三角帆蚌生长速度。

**关键词:** 三角帆蚌; 体尺性状; 体质量; 相关分析; 通径分析

**中图分类号:** S 917.4 **文献标志码:** A

三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)隶属于蚌科(Unionidae)帆蚌属(*Hyriopsis*), 是我国特有的育珠蚌<sup>[1]</sup>。我国淡水珍珠养殖产量居世界首位, 三角帆蚌育珍珠产量占我国总产量的70%以上<sup>[2-3]</sup>。三角帆蚌的良种培育和绿色养殖技术研究随之不断进行。新典型表型性状的鉴定与精准测评技术开发是当今育种研究领域的重要发展方向, 具有重要研究意义。MCLAREN等<sup>[4]</sup>运用CT扫描技术测量了公绵羊(*Ovis aries*)的眼肌尺寸、脊柱区域长度等新的表型性状, 且新的表型性状可与现有性状制定新的选择指数用于公绵羊的育种。

贝类贝壳形态多态, 比如, BALLA等<sup>[5]</sup>研究发现位于不同地理区域的贝类贝壳形态略有不同, 生长于澳大利亚墨累河的河蚌贝壳呈扁长

状, 背缘有羽状延伸, 而维多利亚和新南威尔士的河蚌贝壳呈椭圆形, 背缘钝, 后腹缘变形。NATHALIE等<sup>[6]</sup>研究根据贝类形态, 法国阿卡雄湾蛤仔可以划分为圆形和球形。KITADA等<sup>[7]</sup>研究发现中国养殖的菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)贝壳扁平, 放射肋的数量相对较多, 但日本的贝壳壳宽与壳长比更高。三角帆蚌形态为典型三角形, 壳顶发生偏移, 并位于贝壳的最顶端, 导致目前广泛采用的三角帆蚌壳高性状与扇贝(*Pectinidae*)等海洋贝类壳高性状非同性状, 扇贝的壳高为壳顶到腹缘的最大距离, 与贝壳生长纹垂直, 通过观察, 作者发现三角帆蚌壳顶沿臀角到贝壳后腹缘顶端的距离为最大放射状肋长, 该生长性状更与扇贝等海水贝类壳高的定义相匹配, 本研究首次命名该性状为臀角

收稿日期: 2023-02-27 修回日期: 2023-06-27

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD2400105); 国家现代农业产业技术体系(CARS-49)

作者简介: 吕高伦(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为贝类遗传育种。E-mail: 1093813827@qq.com

通信作者: 白志毅, E-mail: zybai@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

放射肋长。该新性状在测量时不会因为三角帆蚌帆部易于断裂而影响测量的准确性,因此,臀角放射肋长与其他生长性状一起作为在人工选育过程中的新性状,可能对人工选育有更加可靠的参考价值。

运用数量性状的通径分析作为选择育种的重要参考,已普遍应用于动植物育种领域,在贝类育种中也已广泛应用<sup>[8-11]</sup>。比如在长牡蛎(*Crassostrea gigas*)<sup>[12]</sup>、麦哲伦扇贝(*Placopecten magellanicus*)<sup>[13]</sup>、橄榄蛭蚌(*Solenia oleivora*)<sup>[14]</sup>、棕带仙女蛤(*Callista erycina*)<sup>[15]</sup>、企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*)<sup>[16]</sup>、大珠母贝(*Pinctada maxima*)<sup>[17]</sup>、合浦珠母贝(*Pinctada martensi*)<sup>[11]</sup>、三角帆蚌<sup>[18]</sup>等贝类中采用通径分析探究其壳形性状对体质量的影响,为其选育提供了理论依据。本研究运用相关分析和通径分析研究1龄、2龄、3龄三角帆蚌体尺性状与体质量(活体质量、软体质量、壳质量)的

相互关系,探究新性状臀角放射肋长是否可在三角帆蚌选育过程中具有理论意义。

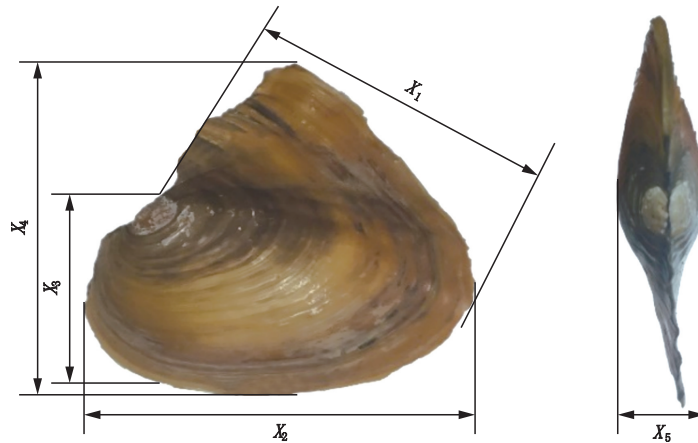
## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2022年9月,于安徽省铜陵市义安区东联新村三角帆蚌养殖基地随机取1龄、2龄、3龄三角帆蚌各30只。

### 1.2 测量方法

刷洗三角帆蚌表面污垢,擦干水分,用精度0.01 mm的电子游标卡尺测量三角帆蚌臀角放射肋长( $X_1$ )、壳长( $X_2$ )、壳高( $X_3$ )、全高( $X_4$ )、壳宽( $X_5$ ),测量方法如图1,用精度为0.1 g的电子天平称量三角帆蚌活体质量( $Y_1$ ),用解剖刀将活体剖开,把蚌壳和蚌肉分离,分别用吸水纸将表面水分吸干后称量,软体质量( $Y_2$ )、壳质量( $Y_3$ )。



$X_1$ . 臀角放射肋长;  $X_2$ . 壳长;  $X_3$ . 壳高;  $X_4$ . 全高;  $X_5$ . 壳宽。

$X_1$ . Anal Angle radiating rib length;  $X_2$ . Shell length;  $X_3$ . Shell height;  $X_4$ . Full height;  $X_5$ . Shell width.

图1 三角帆蚌形态性状测量示意图

Fig. 1 Schematic diagram of *H. cumingii* morphological characteristics measurement

### 1.3 数据处理

采用SPSS 27.0对不同龄的三角帆蚌各形态性状的数据进行描述性分析,计算出平均值、标准差和变异系数。通过Pearson法对各性状进行相关性分析,根据杜家菊等<sup>[19]</sup>的方法进行通径分析,确定体尺性状对体质量的直接作用和间接作用的影响,计算体尺性状对体质量的决定系数。采用逐步回归分析剔除不显著的体尺性状,对体质量建立多元线性回归方程,取偏回归系数检验极显著或显著的自变量建立体尺性状与体质量的最优多元线性回归方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同年龄三角帆蚌各性状的统计分析

1~3龄三角帆蚌各性状的统计结果如表1所示。1龄三角帆蚌体尺性状和体质量的变异系数均高于2龄、3龄,其中,1龄、2龄、3龄三角帆蚌体质量的变异系数分别在22.4%~24.0%、9.8%~12.1%、12.9%~16.0%;1龄、2龄、3龄三角帆蚌体尺性状的变异系数分别在8.6%~11.6%、4.1%~10.5%、4.6%~6.8%。变异系数的大小与人工选育时的选择潜力呈正比,因此,在人工选育过程中,

1龄三角帆蚌的选择潜力要高于2龄、3龄。对同年齡的三角帆蚌各性状进行正态分布检验,结果表明,1~3龄三角帆蚌各性状均符合正态分布,可进行回归分析。

表1 不同年龄三角帆蚌各性状的描述性分析  
Tab. 1 Descriptive analysis of characteristics of *H. cumingii* at different ages

性状 Trait	1龄 One year old		2龄 Two years old		3龄 Three years old	
	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV
$X_1$	86.318±9.236	10.7%	122.084±6.696	5.5%	139.907±6.435	4.6%
$X_2$	99.298±8.563	8.6%	134.851±5.506	4.1%	151.736±6.967	4.6%
$X_3$	52.451±4.623	8.8%	67.855±4.045	6.0%	80.585±4.672	5.8%
$X_4$	83.175±9.654	11.6%	117.146±12.253	10.5%	129.367±8.818	6.8%
$X_5$	23.108±2.328	10.1%	36.884±2.139	6.0%	38.930±2.445	6.3%
$Y_1$	79.793±18.358	23.0%	210.317±21.447	10.2%	336.863±43.303	12.9%
$Y_2$	17.150±3.846	22.4%	36.300±3.541	9.8%	57.970±9.258	16.0%
$Y_3$	35.797±8.606	24.0%	106.177±12.820	12.1%	168.170±24.843	14.8%

2.2 不同年龄三角帆蚌各性状的相关性分析

不同年龄三角帆蚌体尺性状与体质量均表现为极显著相关(表2)。其中,1龄、2龄三角帆蚌均表现为壳长与活体质量的相关性最高,3龄为臀角放射肋长,相关系数分别为0.914、0.928、

0.932;1龄、3龄三角帆蚌的壳长与软体质量的相关性最高,2龄为壳宽性状,相关系数分别为0.849、0.914、0.857;1龄、3龄三角帆蚌的壳长与壳质量的相关性最高,2龄为壳宽性状,相关系数分别为0.884、0.920、0.899。

表2 不同年龄三角帆蚌各性状相关性分析  
Tab. 2 Correlation analysis of traits of *H. cumingii* at different ages

年龄 Age	性状 Trait	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	$X_1$	1	0.878**	0.846**	0.752**	0.595**	0.893**	0.764**	0.875**
	$X_2$		1	0.883**	0.810**	0.691**	0.914**	0.849**	0.884**
	$X_3$			1	0.814**	0.725**	0.904**	0.803**	0.867**
	$X_4$				1	0.617**	0.787**	0.680**	0.727**
	$X_5$					1	0.838**	0.821**	0.788**
	$Y_1$						1	0.930**	0.971**
	$Y_2$							1	0.883**
	$Y_3$								1
2	$X_1$	1	0.891**	0.786**	0.611**	0.855**	0.911**	0.842**	0.896**
	$X_2$		1	0.891**	0.727**	0.869**	0.928**	0.850**	0.878**
	$X_3$			1	0.571**	0.803**	0.817**	0.753**	0.762**
	$X_4$				1	0.656**	0.642**	0.657**	0.657**
	$X_5$					1	0.918**	0.857**	0.899**
	$Y_1$						1	0.881**	0.939**
	$Y_2$							1	0.928**
	$Y_3$								1
3	$X_1$	1	0.911**	0.814**	0.850**	0.837**	0.932**	0.878**	0.915**
	$X_2$		1	0.778**	0.751**	0.846**	0.927**	0.914**	0.920**
	$X_3$			1	0.800**	0.783**	0.811**	0.747**	0.823**
	$X_4$				1	0.789**	0.822**	0.768**	0.818**
	$X_5$					1	0.901**	0.859**	0.884**
	$Y_1$						1	0.931**	0.968**
	$Y_2$							1	0.928**
	$Y_3$								1

注:\*\*表示相关性极显著( $P<0.01$ ),\*表示相关性显著( $P<0.05$ )。

Notes: \*\* represents extremely significant correlation( $P<0.01$ ), and \* represents significant correlation( $P<0.05$ ).

2.3 不同年龄三角帆蚌各性状对体质量的途径分析

不同年龄三角帆蚌保留对体质量的途径系

数达到显著( $P<0.05$ )或极显著水平( $P<0.01$ )的体尺性状,未到达显著水平的予以剔除(表3)。其中,影响1龄、3龄三角帆蚌活体质量直接系数最

大的为臀角放射肋长,而影响2龄三角帆蚌活体质量直接系数最大的为壳长;影响1龄、3龄三角帆蚌软体质量直接系数最大的为壳长,而影响2龄三角帆蚌软体质量直接系数最大的为壳宽;影响1龄、2龄、3龄三角帆蚌壳质量直接系数最大的分别为臀角放射肋长、壳宽、壳长。

#### 2.4 不同年龄三角帆蚌各性状对体质量的决定系数分析

不同年龄三角帆蚌体尺性状对体质量的决定系数见表4,1龄三角帆蚌臀角放射肋长和壳宽对活体质量的共同决定程度最大,壳长和壳宽对软体质量的共同决定程度最大,对壳质量决定程度最大的是臀角放射肋长;2龄三角帆蚌壳长和壳宽对活体质量的共同决定程度最大,壳长和壳宽对软体质量的共同决定程度最大,臀角放射肋长和壳宽对壳质量的共同决定程度最大;3龄三角帆蚌臀角放射肋长和壳长对活体质量的共同决定程度最大,对软体质量决定程度最大的是壳长,臀角放射肋长和壳长对壳质量的共同决定程度最大。

#### 2.5 多元回归方程的建立

采用多元逐步回归分析,剔除对体质量影响不显著的体尺性状后,按照体尺性状影响1龄三角帆蚌体质量的显著程度(表5),建立最优回归方程: $Y_1 = -122.652 + 0.579X_2 + 3.191X_1 + 0.825X_3$ ,  $R^2 = 0.978$ ;  $Y_2 = -24.001 + 0.242X_2 + 0.741X_3$ ,  $R^2 = 0.909$ ;  $Y_3 = -50.177 + 1.531X_3 + 0.586X_1$ ,  $R^2 = 0.937$ 。

同理,建立2龄三角帆蚌各体尺性状与体质量的最优回归方程: $Y_1 = -221.247 + 1.457X_2 + 3.683X_3 + 0.843X_1$ ,  $R^2 = 0.961$ ;  $Y_2 = -29.597 + 0.804X_3 + 0.275X_2$ ,  $R^2 = 0.883$ ;  $Y_3 = -110.683 + 2.951X_3 + 0.909X_1$ ,  $R^2 = 0.932$ 。

同理,建立3龄三角帆蚌各体尺性状与体质量的最优回归方程: $Y_1 = -534.320 + 2.612X_1 + 5.718X_3 + 1.866X_2$ ,  $R^2 = 0.965$ ;  $Y_2 = -119.351 + 0.875X_2 + 1.146X_3$ ,  $R^2 = 0.928$ ;  $Y_3 = -327.547 + 1.305X_2 + 2.990X_3 + 1.296X_1$ ,  $R^2 = 0.951$ 。

对回归方程的方差分析表明,回归关系均达到极显著水平( $P < 0.01$ )。对回归方程中各系数进行显著性检验显示,各体尺性状对体质量的偏回归系数均达到显著( $P < 0.05$ )或者极显著水平( $P < 0.01$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同年龄三角帆蚌体尺性状差异比较

本研究通过测量1龄、2龄、3龄三角帆蚌的8个数量性状,发现除2龄全高性状的变异系数高于活体质量与软体质量外,不同年龄三角帆蚌体质量的变异系数均高于体尺性状,且1龄三角帆蚌体质量变异系数均大于20%,表明其具有较高的选育潜力。在合浦珠母贝<sup>[11]</sup>、黑蝶贝(*Pinctada margaritifera*)<sup>[20]</sup>、大珠母贝<sup>[17]</sup>、企鹅珍珠贝<sup>[16]</sup>等贝类研究中发现,产量性状的变异系数远高于体尺性状。1龄、2龄、3龄的三角帆蚌壳高的变异系数均高于臀角放射肋长和壳长,张根芳等<sup>[18]</sup>对1龄三角帆蚌的研究中表明,壳高变异系数也高于壳长。壳高性状的测量可能由于其帆部易断裂导致测量差异,尽管变异系数越大代表选育潜力越大,但是在测量过程中由于结果的偏差也会影响变异系数的大小。因此,在确定选育性状时应排除干扰后选择选育潜力较大的性状。

#### 3.2 不同年龄三角帆蚌相关分析和通径分析比较

本研究对不同年龄三角帆蚌进行相关性分析,并在相关性分析的基础上进行通径分析和多元回归分析。相关性分析表明,1~3龄的三角帆蚌的体尺性状中与体质量的相关系数为0.642~0.932,臀角放射肋长对活体质量的相关系数在0.893以上,且均呈极显著相关。通过表型的相关分析不能全面诠释各性状之间的相互关系,通径分析可将对其他性状影响的相关系数分为直接和间接影响,进而可全面阐述壳型性状对体质量的影响<sup>[21-22]</sup>。对1龄三角帆蚌体尺性状与活体质量的相关性分析发现,臀角放射肋长和壳宽与活体质量的相关系数(分别为0.893、0.838)低于壳长与活体质量的相关系数(0.914),但通径分析表明,壳长对活体质量的直接作用(0.270)小于臀角放射肋长和壳宽对活体质量的直接作用(分别为0.415、0.405);在2龄三角帆蚌体尺性状与活体质量相关性与通径分析结果相一致;对3龄三角帆蚌体尺性状与活体质量的相关性分析发现,壳宽与活体质量的相关系数(0.901)低于壳长与活体质量的相关系数(0.927),但通径分析表明,壳长对活体质量的直接作用(0.300)小于壳宽对活体质量的直接作用(0.323),且仅为显著水平。

李哲等<sup>[23]</sup>对中华圆田螺 (*Cipangopaludina chinensis*) 的研究中,不同地区的形态性状与体质量的相关性分析与通径分析也均有不一致的结

果。因此,不能仅通过相关性分析判断壳形性状对体质量的影响,可通过通径分析可进一步找出影响体质量的主要壳形性状<sup>[24]</sup>。

表3 不同年龄三角帆蚌各性状对体质量的通径分析  
Tab. 3 Path analysis of body mass of *H. cumingii* with different traits at different ages

年龄 Age	质量 Mass	性状 Trait	相关系数 Coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect			
					$X_1$	$X_2$	$X_5$	$\Sigma$
1	$Y_1$	$X_1$	0.893**	0.415**		0.237	0.241	0.478
		$X_2$	0.914**	0.270**	0.364		0.280	0.644
		$X_5$	0.838**	0.405**	0.247	0.187		0.434
	$Y_2$	$X_2$	0.849**	0.539**			0.310	0.310
		$X_5$	0.821**	0.448**		0.372		0.372
	$Y_3$	$X_1$	0.875**	0.629**			0.246	0.246
$X_5$		0.788**	0.414**	0.374			0.374	
2	$Y_1$	$X_1$	0.911**	0.263*		0.333	0.314	0.647
		$X_2$	0.928**	0.374*	0.234		0.318	0.552
		$X_5$	0.918**	0.367**	0.225	0.325		0.550
	$Y_2$	$X_2$	0.850**	0.427*			0.422	0.422
		$X_5$	0.857**	0.486*		0.371		0.371
	$Y_3$	$X_1$	0.896**	0.475**			0.421	0.421
$X_5$		0.899**	0.492**	0.406			0.406	
3	$Y_1$	$X_1$	0.932**	0.388**		0.273	0.270	0.543
		$X_2$	0.927**	0.300*	0.353		0.273	0.626
		$X_5$	0.901**	0.323**	0.325	0.254		0.579
	$Y_2$	$X_2$	0.914**	0.658**			0.256	0.256
		$X_5$	0.859**	0.303*		0.557		0.557
	$Y_3$	$X_1$	0.915**	0.336*		0.333	0.246	0.579
$X_2$		0.920**	0.366*	0.306		0.249	0.555	
		$X_5$	0.884**	0.294*	0.281	0.310	0.591	

注:\*\*表示相关性极显著( $P<0.01$ ),\*表示相关性显著( $P<0.05$ )。

Notes: \*\* represents extremely significant correlation ( $P<0.01$ ), and \* represents significant correlation ( $P<0.05$ ).

表4 不同年龄三角帆蚌各性状对体质量的决定系数  
Tab. 4 Determinants of body mass of different traits in *H. cumingii* at different ages

年龄 Age	质量 Mass	性状 Trait	$X_1$	$X_2$	$X_5$	$\Sigma$
1	$Y_1$	$X_1$	0.172	0.197	0.200	
		$X_2$		0.073	0.151	0.957
		$X_5$			0.164	
	$Y_2$	$X_2$		0.291	0.334	0.826
		$X_5$			0.201	
	$Y_3$	$X_1$	0.396		0.305	0.872
$X_5$				0.171		
2	$Y_1$	$X_1$	0.069	0.175	0.165	
		$X_2$		0.140	0.238	0.922
		$X_5$			0.135	
	$Y_2$	$X_2$		0.182	0.360	0.778
		$X_5$			0.236	
	$Y_3$	$X_1$	0.226		0.400	0.868
$X_5$				0.242		
3	$Y_1$	$X_1$	0.151	0.212	0.210	
		$X_2$		0.09	0.164	0.931
		$X_5$			0.104	
	$Y_2$	$X_2$		0.433	0.337	0.862
		$X_5$			0.092	
	$Y_3$	$X_1$	0.113	0.224	0.167	
$X_2$			0.134	0.182	0.906	
		$X_5$		0.086		

表5 不同年龄三角帆蚌多元回归方程的偏回归系数和回归系数显著性检验  
 Tab. 5 Partial regression coefficient and significance test of regression coefficient of multiple regression equation of *H. cumingii* at different ages

年龄 Age	质量 Mass	项目 Item	非标准化系数 Non-standardized coefficient		标准化系数 Standardized coefficient	<i>t</i>	<i>P</i>
			B	标准误差 Standard error			
1	Y <sub>1</sub>	常量	-122.652	8.999		-13.630	0
		X <sub>2</sub>	0.579	0.203	0.270	2.848	0.008
		X <sub>1</sub>	3.191	0.444	0.405	7.183	0
		X <sub>5</sub>	0.825	0.169	0.415	4.876	0
	Y <sub>2</sub>	常量	-24.001	3.690		-6.505	0
		X <sub>2</sub>	0.242	0.050	0.539	4.843	0
		X <sub>5</sub>	0.741	0.184	0.448	4.031	0
	Y <sub>3</sub>	常量	-50.177	6.301		-7.936	0
		X <sub>5</sub>	1.531	0.310	0.414	4.936	0
X <sub>1</sub>		0.586	0.078	0.629	7.496	0	
2	Y <sub>1</sub>	常量	-221.247	30.855		-7.170	0
		X <sub>2</sub>	1.457	0.521	0.374	2.795	0.010
		X <sub>5</sub>	3.683	1.175	0.367	3.135	0.004
		X <sub>1</sub>	0.843	0.409	0.263	2.064	0.049
	Y <sub>2</sub>	常量	-29.597	8.377		-3.533	0.001
		X <sub>5</sub>	0.804	0.303	0.486	2.655	0.013
		X <sub>2</sub>	0.275	0.118	0.427	2.334	0.027
	Y <sub>3</sub>	常量	-110.683	16.501		-6.708	0
		X <sub>5</sub>	2.951	0.809	0.492	3.647	0.001
X <sub>1</sub>		0.909	0.259	0.475	3.516	0.002	
3	Y <sub>1</sub>	常量	-534.320	51.804		-10.314	0
		X <sub>1</sub>	2.612	0.882	0.388	2.961	0.006
		X <sub>5</sub>	5.718	1.796	0.323	3.183	0.004
		X <sub>2</sub>	1.866	0.837	0.300	2.230	0.035
	Y <sub>2</sub>	常量	-119.351	14.780		-8.075	0
		X <sub>2</sub>	0.875	0.178	0.658	4.906	0
		X <sub>5</sub>	1.146	0.508	0.303	2.257	0.032
	Y <sub>3</sub>	常量	-327.547	34.940		-9.375	0.000
		X <sub>2</sub>	1.305	0.564	0.366	2.313	0.029
X <sub>5</sub>		2.990	1.212	0.294	2.468	0.020	
X <sub>1</sub>		1.296	0.595	0.336	2.178	0.039	

### 3.3 不同年龄三角帆蚌体尺性状对体质量的影响

多元回归方程能够量化体尺性状与体质量的影响关系。其中,1龄和2龄体尺性状对软体质量的影响共同决定系数分别为0.825、0.778,低于0.85,而对活体质量、壳质量及2龄软体质量的影响共同决定系数均高于0.85。因此,对1龄、2龄三角帆蚌软体质量起主要作用的壳型性状还需要进一步探究。在对中国圆田螺<sup>[23]</sup>、皮氏蛾螺(*Volutharpa ampullacea perryi*)<sup>[25]</sup>、菲律宾蛤仔<sup>[26]</sup>、

合浦珠母贝<sup>[27]</sup>、珍珠贝<sup>[28]</sup>、长牡蛎<sup>[12]</sup>、虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)<sup>[29]</sup>等研究中均得到了类似的结果。范超<sup>[27]</sup>等研究中发现双壳贝类的壳质量变化不大,而软体质量会受到环境和群体差异的影响。本研究表明影响1~3龄的三角帆蚌活体质量的主要因子为臀角放射肋长、壳长、壳宽,影响3龄的三角帆蚌软体质量的主要因子为壳长、壳宽,影响1龄、2龄的三角帆蚌壳质量的主要因子为壳长、壳宽,影响3龄的三角帆蚌壳质量的主要因子为臀角放射肋长、壳长、壳宽。比如,

影响施氏獭蛤 (*Lutraria sieboldii*)<sup>[30]</sup>、硬壳蛤 (*Mercenaria mercenaria*)<sup>[31]</sup>和菲律宾蛤仔<sup>[32]</sup>体质量的主要因素为壳长,影响缢蛏 (*Sinonovacula constricta*)<sup>[33]</sup>体质量的主要决定因子为壳高,其次为壳宽,影响长牡蛎<sup>[34]</sup>体质量的主要决定因子为壳高性状,影响青蛤 (*Cyclina sinensis*)<sup>[35]</sup>、文蛤 (*Meretrix meretrix*)<sup>[35]</sup>体质量的主要决定因子为壳高、壳宽性状,对1龄、2龄合浦珠母贝<sup>[11]</sup>体质量

起主要作用的壳型性状分别为壳宽和壳高。在海水贝类的相关研究中,壳长、壳高、壳宽等形态性状是影响体质量性状的主要因子,且均已在育种选育生产中应用,而在本研究中,臀角放射肋长与海水贝类壳高性状定义更为符合,且同样作为影响三角帆蚌体质量性状的主要因子之一。综上所述,臀角放射肋长可与壳长、壳宽性状一起作为三角帆蚌选育过程中的主要参考性状。

表6 不同年龄三角帆蚌体尺性状与体质量回归关系的方差分析  
Tab. 6 Variance analysis of regression relationship between body size traits and body mass of *H. cumingii* at different ages

年龄 Age	质量 Mass	项目 Item	SS	df	Ms	F	P
1	Y <sub>1</sub>	回归	9 352.432	3	3 117.477	192.754	0
		残差	420.507	26	16.173		
		统计	9 772.939	29			
	Y <sub>2</sub>	回归	354.121	2	177.061	63.867	0
		残差	74.854	27	2.772		
		统计	428.975	29			
	Y <sub>3</sub>	回归	1 884.089	2	924.044	68.389	0
		残差	263.881	27	9.224		
		统计	2 147.970	29			
2	Y <sub>1</sub>	回归	12 327.178	3	4 109.059	105.535	0
		残差	1 012.323	26	38.936		
		统计	13 339.502	29			
	Y <sub>2</sub>	回归	283.372	2	141.686	47.659	0
		残差	80.268	27	2.973		
		统计	363.640	29			
	Y <sub>3</sub>	回归	4 136.513	2	2 068.256	88.670	0
		残差	629.781	27	23.325		
		统计	4 766.294	29			
3	Y <sub>1</sub>	回归	50 612.041	3	16 870.680	116.404	0
		残差	3768.248	26	144.933		
		统计	54 380.290	29			
	Y <sub>2</sub>	回归	2 141.422	2	1 070.711	84.019	0
		残差	344.081	27	12.744		
		统计	2 485.503	29			
	Y <sub>3</sub>	回归	16 183.961	3	5 394.654	81.824	0
		残差	1 714.182	26	65.930		
		统计	17 898.143	29			

#### 参考文献:

- [1] 刘月英, 张文珍, 王耀先, 等. 我国蚌类新纪录[J]. 动物分类学报, 1979(2): 188.  
LIU Y Y, ZHANG W Z, WANG Y X, et al. New record of Chinese freshwater clams[J]. Zootaxonomic Journal, 1979 (2): 188.

- [2] 白志毅, 汪桂玲, 刘晓军, 等. 中国淡水珍珠种业现状与发展趋势[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(6): 874-881.  
BAI Z Y, WANG G L, LIU X J, et al. The status and development trend of freshwater pearl seed industry in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23

- (6): 874-881.
- [3] 李家乐,王德芬,白志毅,等. 中国淡水珍珠养殖产业发展报告[J]. 中国水产, 2019(3): 23-29.  
LI J L, WANG D F, BAI Z Y, et al. Report on the development of freshwater pearl culture industry in China [J]. China Fisheries, 2019(3): 23-29.
- [4] MCLAREN A, KASEJA K, MCLEAN K A, et al. Genetic analyses of novel traits derived from CT scanning for implementation in terminal sire sheep breeding programmes [J]. Livestock Science, 2021, 250: 104555.
- [5] BALLA S A, WALKER K F. Shape variation in the Australian freshwater mussel *Alathyria jacksoni* Iredale (Bivalvia, Hyriidae)[J]. Hydrobiologia, 1991, 220(2): 89-98.
- [6] CAILL-MILLY N, BRU N, MAHÉ K, et al. Shell shape analysis and spatial allometry patterns of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in a mesotidal coastal lagoon [J]. Journal of Marine Sciences, 2012, 2012: 281206.
- [7] KITADA S, FUJIKAKE C, ASAKURA Y, et al. Molecular and morphological evidence of hybridization between native *Ruditapes philippinarum* and the introduced *Ruditapes* form in Japan[J]. Conservation Genetics, 2013, 14(3): 717-733.
- [8] BELLO O B, ABDULMALIQ S Y, AFOLABI M S, et al. Correlation and path coefficient analysis of yield and agronomic characters among open pollinated maize varieties and their F<sub>1</sub> hybrids in a diallel cross [J]. Journal of Biotechnology, 2010, 9(18): 2633-2639.
- [9] KHALIL M H, SHEBL M K, KOSBA M A, et al. Estimate the contribution of incubation parameters influence egg hatchability using multiple linear regression analysis [J]. Veterinary World, 2016, 9(8): 806-810.
- [10] AKTER A, HASAN M J, LATIF M A, et al. Genetic variability, heritability, correlation and path coefficient studies for yield and yield components of some promising rice hybrids[J]. Rice Journal, 2020, 23(2): 27-34.
- [11] 陈健,白丽蓉,罗会,等. 2种贝龄合浦珠母贝数量性状的相关与通径分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(10): 2557-2564.  
CHEN J, BAI L R, LUO H, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of pearl oyster *Pinctada fucata* at two different ages [J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(10): 2557-2564.
- [12] 褚洪永,张建柏,张秀梅,等. 长牡蛎二倍体与三倍体壳型性状对体质量的影响分析[J]. 海洋科学, 2022, 46(8): 57-64.  
CHU H Y, ZHANG J B, ZHANG X M, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of diploid and triploid *Crassostrea gigas* [J]. Marine Sciences, 2022, 46(8): 57-64.
- [13] 于笛,陈微,滕炜鸣,等. 麦哲伦扇贝形态性状与体质量相关性通径分析[J]. 水产科学, 2023, 42(3): 496-501.  
YU D, CHEN W, TENG W M, et al. Correlation and path analysis between morphological traits and body weight of *Scallop Placopecten magellanicus* [J]. Fisheries Science, 2023, 42(3): 496-501.
- [14] 张根芳,张文府,方爱萍,等. 橄榄蛸蚌赣江群体数量性状的通径分析[J]. 水产科学, 2020, 39(2): 271-276.  
ZHANG G F, ZHANG W F, FANG A P, et al. Path analysis of quantitative traits of shellfish *Solenia oleivora* population in Ganjiang River [J]. Fisheries Science, 2020, 39(2): 271-276.
- [15] 魏海军,邓正华,陈明强,等. 棕带仙女蛤数量性状的相关与通径分析[J]. 南方水产科学, 2019, 15(6): 34-40.  
WEI H J, DENG Z H, CHEN M Q, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of clam (*Callista erycina*) [J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(6): 34-40.
- [16] 林先鑫,邓正华,陈明强,等. 两种贝龄企鹅珍珠贝形态性状对湿重的通径分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(9): 2088-2094.  
LIN X X, DENG Z H, CHEN M Q, et al. Path analysis of morphological traits to wet weight of *Pteria penguin* at different ages [J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(9): 2088-2094.
- [17] 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[J]. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2545-2550.  
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* [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(12): 2545-2550.
- [18] 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[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(6): 755-759.  
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* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2018, 33(6): 755-759.
- [19] 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. Using SPSS linear regression to achieve path analysis method [J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6.
- [20] 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 in wild population of pearl oyster *Pinctada margaritifera* [J]. Fisheries Science, 2015, 34(9): 560-564.



- [21] 李银康, 钟金香, 鲍虞园, 等. 中国鲎幼螯形态性状与体重的通径分析及异速生长研究[J]. 水产学报, 2023, 47(4): 049110.  
LI Y K, ZHONG J X, BAO Y Y, et al. Path analysis and allometric growth of morphological characters and body mass of juvenile *Tachypleus tridentatus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(4): 049110.
- [22] 李莉, 王雪, 菅玉霞, 等. 不同月龄大沈六线鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(1): 58-66.  
LI L, WANG X, JIAN Y X, et al. Correlation and path analysis between morphological traits and body mass of *Hexagrammos otakii* at different months of age[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(1): 58-66.
- [23] 李哲, 吴劲松, 潘贤辉, 等. 中国圆田螺形态形状对体质量的影响[J]. 河南农业科学, 2022, 51(7): 154-162.  
LI Z, WU J S, PAN X H, et al. Effects of morphological traits on body weight of *Cipangopaludina chinensis* [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(7): 154-162.
- [24] 李哲, 敬庭森, 李雨, 等. 长吻(鱼危)形态性状对体质量的影响[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 98-105.  
LI Z, JING T S, LI Y, et al. Effects of morphological traits on the body mass of *Leiocassis longirostris* [J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(4): 98-105.
- [25] 韩森荣, 李春茂, 李婷婷, 等. 皮氏蛾螺形态性状对体质量与软体部质量的相关性及通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(6): 976-984.  
HAN S R, LI C M, LI T T, et al. Correlation and path analysis on relationship between morphological traits and body mass and soft tissue mass in the whelk *Volutharpa ampullacea Perryi*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(6): 976-984.
- [26] HUO Z M, YAN X W, ZHAO L Q, 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.
- [27] 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[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52(S1): 12-19.  
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* [J]. Periodical of Ocean University of China, 2022, 52(s1): 12-19.
- [28] 邓正华, 陈明强, 李有宁, 等. 3种野生珍珠贝表型性状比较及通径分析[J]. 广东农业科学, 2019, 46(1): 122-132.  
DENG Z H, CHEN M Q, LI Y N, et al. Comparison of phenotypic traits and path analysis of three species of wild pearl oysters [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2019, 46(1): 122-132.
- [29] 于德良, 丁君, 郝振林, 等. 不同养殖群体虾夷扇贝数量性状的相关性与通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(4): 350-354.  
YU D L, DING J, HAO Z L, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits in different cultured populations of yesso scallop *Patinopecten yessoensis* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(4): 350-354.
- [30] 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[J]. 水产科学, 2020, 39(4): 573-578.  
ZOU J, PENG H J, ZHANG S D, et al. Effects of shell phenotypic traits on body weight of clam *Lutraria sieboldii* [J]. Fisheries Science, 2020, 39(4): 573-578.
- [31] 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.
- [32] HUO Z M, WU Y A, GAO Z Y, 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.
- [33] 由学策, 尹东红, 曹淑青, 等. 缢蛭体形性状对活体重和肉重的影响效果分析[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(3): 363-367.  
YOU X C, YIN D H, CAO S Q, et al. Effects of phenotypic characters on body and tissue weights in the clam *Sinonovacula constricta* [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2011, 38(3): 363-367.
- [34] 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 Z Q, LI Q. 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.
- [35] ZHANG A G, WANG L L, YANG X L, 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.

## Correlation and path analysis between anal angle radial rib length and other growth traits of *Hyriopsis cumingii* at different ages

LYU Gaolun<sup>1</sup>, LYU Xuefeng<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>1</sup>, ZHANG Yao<sup>1</sup>, LI Jiale<sup>1,2</sup>, WANG Zheng<sup>3</sup>, BAI Zhiyi<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Collaborative Innovation Center of Aquatic Animal Breeding and Green Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Zhejiang Jinhua Zhexing Pearl Trading Co., Ltd., Jinhua 321001, Zhejiang, China)

**Abstract:** In shellfish culturing and breeding practice, the width of shell growth lines is an important index to measure the growth rate of shellfish, and anal angle radial rib is the part with the widest growth lines. In order to explore the feasibility of taking anal angle radial rib length as a typical growth trait, this research analyzed the correlation between anal angle radial rib length ( $X_1$ ) and other growth traits, such as shell length ( $X_2$ ), shell height ( $X_3$ ), total height ( $X_4$ ), shell width ( $X_5$ ), live body weight ( $Y_1$ ), soft tissue weight ( $Y_2$ ) and shell weight ( $Y_3$ ) of *Hyriopsis cumingii* at different ages and conducted the path analysis of body size traits to body weight traits (live body weight, soft tissue weight and shell weight). The results of correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between anal angle radial rib length and body weight in the first to third instars of *H. cumingii*. The correlation coefficient between shell length and live body weight was the highest in the first and second instars of mussel, while the correlation coefficient between anal angle radiating rib length and live body weight was the highest in the third instar of mussel. In addition, the correlation coefficient between anal angle radiating rib length and live body weight, soft tissue weight and shell weight showed an increasing trend with the increase of age. The data of path analysis and multiple regression analysis displayed that the main factors affecting the live body weight of 1 to 3 year old were anal angle radial rib length, shell length and shell width, the main factors affecting the soft tissue weight of 3 year old were shell length and shell width, the main factors affecting the shell quality of 1 and 2 year old mussel were shell length and shell width, and the main factors affecting the shell quality of the third instar mussel were anal angle radiating rib length, shell length and shell width. In conclusion, anal angle radial rib length, together with shell length and shell width, can be used as a new typical growth trait to represent the growth rate of *H. cumingii*.

**Key words:** *Hyriopsis cumingii*; body size traits; body mass; correlation analysis; path analysis