

田子楷,文衍红,罗福广,等.梨形环棱螺壳形性状与出肉率的相关性研究[J].华中农业大学学报,2025,44(5):118-125.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.05.012

梨形环棱螺壳形性状与出肉率的相关性研究

田子楷^{1,2},文衍红³,罗福广³,肖雄⁴,周小云¹

1.华中农业大学水产学院/农业农村部淡水生物繁育重点实验室,武汉430070;2.湖北省水产技术推广总站,武汉430070;3.柳州市渔业技术推广站,柳州545006;4.潜江市螺谷啞水产养殖专业合作社,潜江433100

摘要 为筛选与梨形环棱螺(*Bellamya purificata*)出肉率密切相关的壳形性状,随机选取大(5 g以上)、中(3~5 g)、小(1~3 g)3种规格的个体各180只,称质量后测量壳高(X_1)、体螺层高(X_2)、螺旋部高(X_3)、壳宽(X_4)和壳口高(X_5),解剖取腹足肌称质量(即净肉质量)计算出肉率(Y),采用相关性分析、通径分析和逐步回归分析筛选影响梨形环棱螺出肉率的主要壳形性状,并建立多元回归方程。结果显示:3种规格环棱螺的出肉率与各壳形性状均呈显著相关($P<0.01$),其中,壳宽与出肉率的相关性最大,大、中、小规格的相关系数分别达0.812、0.811和0.850;通径分析发现,壳宽、壳高、体螺层高和螺旋部高对出肉率的影响均较大,但壳宽对出肉率的直接影响最大,3种规格的通径系数分别为0.534、0.705和0.850;逐步回归分析拟合出大、中、小个体的壳形性状(X_i)与出肉率(Y)的回归方程分别为 $Y=-0.275+0.013X_4+0.010X_2-0.003X_3$, $Y=-0.112+0.014X_4-0.003X_1+0.005X_2$ 和 $Y=-0.078+0.019X_4$ 。以上研究结果表明,壳宽是与梨形环棱螺出肉率最密切相关的壳形性状,因此,可作为出肉率遗传改良的间接选择性状。

关键词 梨形环棱螺;出肉率;壳形性状;性状选育

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)05-0118-08

梨形环棱螺(*Bellamya purificata*)、铜锈环棱螺(*B. aeruginosa*)和角形环棱螺(*B. angulana*)是我国主要的大中型淡水环棱螺类,俗称“螺蛳”,以螺蛳肉为核心原材料的“柳州螺蛳粉”是广西著名特色小吃,深受国内外消费者的青睐^[1]。近年来,广西大力推进“柳州螺蛳粉”全产业链发展,拟建成一个上下游产业齐全、产值超千亿元级的大产业,这使得环棱螺的市场需求量急速增加,传统的野生捕捞已无法满足巨大的市场需求。为促进产业经济的广泛提升和本地化进程,自2017年起,广西(尤其是柳州)开始大力发展螺蛳规模化养殖,以满足螺蛳粉产业发展的需要^[2]。

在规模化种养产业中,产量的提升和质量的改进在很大程度上依赖于品种的改良。然而,环棱螺养殖属于新兴产业,目前人工养殖所用种源主要依靠捕捞野生种群自繁自育,由于缺乏系统的选育,出现个体小型化、长成慢、出肉率低等经济性性状衰退现象。因此,培育优异新品种成为当前维持环棱螺养

殖产业可持续发展的关键。对于有壳类水生动物,与体质量相比,出肉率能更准确地衡量养殖品种的品质^[3],然而,在实际操作中,为了准确测定个体出肉率,通常需要杀死所测对象,这可能会导致高出肉率个体无法用作下一代亲本^[4]。鉴于此,研究人员尝试寻找与出肉率密切相关的表型性状作为替代参数,为出肉率性状的遗传改良提供参考指标。比如,孙振兴等^[5]发现,扁玉螺的壳宽能有效反映软体质量;安丽等^[3]发现,第一腹节宽是影响克氏原螯虾出肉率的主要性状,而体长和头胸甲是影响红螯螯虾出肉率的主要性状;Hung等^[6]基于表型性状预测罗氏沼虾产肉率的决定系数(R^2)达0.99;张倩等^[7]发现凡纳滨对虾的体长和第3腹节长与其净肉质量和出肉率密切相关,可作为选育工作的参考指标。以上报道为探究环棱螺壳形性状与出肉率之间的关系提供了重要的参考。

与其他环棱螺相比,梨形环棱螺具有个体大、生长快、鲜味氨基酸含量高等特点,是最适宜推广的养

收稿日期:2025-05-06

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFD2400700);广西重点研发计划项目(桂科农AB2506910042)

田子楷, E-mail: 466112329@qq.com

通信作者:周小云, E-mail: zhouxy@mail.hzau.edu.cn

殖品种。目前关于梨形环棱螺的研究主要集中在其水环境净化功能^[8-10]、营养成分^[11-12]、基础生物学^[13-16]、群体遗传多样性^[17]和形态性状与体质量的相关性^[18]等方面。出肉率是有壳类水生动物的重要经济性状,但目前尚未见梨形环棱螺壳形性状与出肉率相关的研究报道。鉴于此,本研究通过对不同规格梨形环棱螺的壳形性状和出肉率进行分析,筛选与出肉率密切相关的壳形性状,并建立壳形性状对出肉率的最优线性回归方程,以期为高出肉率梨形环棱螺新品种的选育提供测度指标。

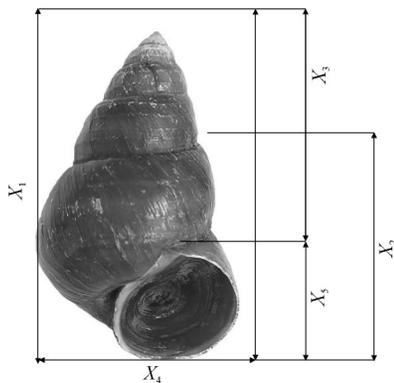
1 材料与方法

1.1 供试材料

本研究所用梨形环棱螺为2022年7—9月购自湖北省潜江市肖螺水产有限公司,根据形态学特征确认物种^[19]后,收集螺壳无破损、厝片完整、活动力强、体质量 ≥ 1 g的个体约1 000只。运回实验室后,清洗去除体表附着的淤泥、藻类等;用吸水纸吸干体表水分,阴干过夜,去除壳内多余水分。随机选取大规格(5 g以上)、中规格(3~5 g)和小规格(1~3 g)的个体各180只,用于后续分析。

1.2 数据测量

用电子天平称量体质量(精确度为0.01 g),用电子数显游标卡尺测量壳高、体螺层高、螺旋部高、壳宽和壳口高(精确度为0.01 mm),各性状的测量参照腹足类形态特征测量标准^[20](图1)进行。然后,解剖分离腹足肌肉,用滤纸吸干水分后称质量,记为净肉质量。



X_1 :壳高 Shell height; X_2 :体螺层高 Body whorl height; X_3 :螺旋部高 Spiral whorl height; X_4 :壳宽 Shell width; X_5 :壳口高 Shell aperture height.

图1 梨形环棱螺的壳形性状的测量标准

Fig. 1 Standard for the measurement of shell morphological trait in *B. purificata*

1.3 数据分析

用Microsoft Excel 2010对测量的数据进行初步的整理统计,得到各性状的表型参数,通过计算各性状的平均值和标准差得到变异系数(coefficient of variation, CV)。用SPSS26.0对3种规格梨形环棱螺的形态性状与出肉率进行相关性分析,计算通径系数和决定系数,用逐步回归法建立以出肉率为因变量、形态性状为自变量的多元回归方程。

出肉率的计算公式为:出肉率=(净肉质量/体质量) $\times 100\%$ 。

相关系数的计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x - \bar{x}) \times (y - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(x - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2]}}$$

直接通径系数的计算公式为:

$$P_i = b_{x_i} \times \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_y}$$

式中, P_i 为通径系数, b 为所测性状的标准化回归系数, σ 为所测性状的标准差。

间接通径系数的计算公式为: $P_{x_i x_j} = r_{ij} \times P_j$ 。 P 为 x_i 通过 x_j 对因变量的间接通径系数, r 为相关系数。

决定系数包括2种:单一性状对出肉率的决定系数为 $d_i = P_i^2$,2个性状对出肉率的共同决定系数为 $d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j$ 。

2 结果与分析

2.1 表型数据的统计性描述

3种规格梨形环棱螺壳形性状和体质量、出肉率等的统计结果如表1所示。在所有性状中,净肉质量的变异系数最大,在大、中、小3种规格中分别达到24.90%、16.99%和35.09%。3种规格の出肉率分别为16.84%、17.05%和17.95%,变异系数分别为15.84%、10.56%和12.53%,表明出肉率在3种规格的个体间均有较大差异,这为高出肉率环棱螺的选育提供了空间。

2.2 壳形性状及其与出肉率等参数的相关性分析

用Kolmogorov-Smirnov方法对3种规格环棱螺の出肉率数据进行正态分布检验,得到的显著性水平 P 值均大于0.05,表明3种规格环棱螺の出肉率数据均符合正态分布,满足回归分析的基本假设。各壳形性状(壳宽、壳高、体螺层高、壳口高、螺旋部高)

表1 不同规格梨形环棱螺出肉率和壳形性状的统计结果

Table 1 Statistical results of meat yield and shell morphological traits of *B. purificata* of different sizes

参数 Parameter	大规格(≥5 g) Large size		中规格(3~5 g) Medium size		小规格(1~3 g) Small size	
	平均值±标准差 Mean±SD	变异系数/% Coefficient of variation	平均值±标准差 Mean±SD	变异系数/% Coefficient of variation	平均值±标准差 Mean±SD	变异系数/% Coefficient of variation
X ₁	34.18±1.53	4.49	30.11±1.87	6.21	21.15±2.15	10.17
X ₂	23.74±1.17	4.94	21.11±1.12	5.31	15.34±1.36	8.89
X ₃	20.36±1.07	5.26	17.89±1.36	7.60	11.06±1.65	14.90
X ₄	21.33±1.21	5.67	18.86±0.92	4.88	14.28±1.02	7.17
X ₅	15.84±0.84	5.28	13.92±0.79	5.68	10.28±0.84	8.18
BW	6.24±0.72	11.54	4.23±0.45	10.60	1.84±0.46	25.14
NW	1.06±0.26	24.90	0.72±0.12	16.99	0.34±0.12	35.09
Y	16.84±2.67	15.84	17.05±1.80	10.56	17.95±2.25	12.52

注: X₁:壳高, mm; X₂:体螺层高, mm; X₃:螺旋部高, mm; X₄:壳宽, mm; X₅:壳口高, mm; BW:体质量, g; NW:净肉质量, g; Y:出肉率, %。下同。Note: X₁:Shell height, mm; X₂:Body whorl height, mm; X₃:Spiral whorl height, mm; X₄:Shell width, mm; X₅: Shell aperture height, mm; BW:Body weight, g; NW:Net meat weight, g; Y: Fillet yield, %. The same as below.

之间及其与体质量、净肉质量、出肉率的相关性分析结果如表2所示,各性状间的相关性均达到极显著水平(P<0.01)。在不同规格个体中,壳形性状与出肉率的相关度排序存在差异,大规格个体为:壳宽>体螺层高>壳高>壳口高>螺旋部高;中规格个体为:壳宽>体螺层高>壳口高>壳高>螺旋部高;小规格个体为:壳宽>体螺层高>壳口高>壳高>螺旋部高。

表2 不同规格梨形环棱螺各性状间的相关性分析结果

Table 2 Results of correlation analysis between parameters in different sizes of *B. purificata*

规格 Size	参数 Parameter	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	BW	NW	Y
大规格 Large size (≥5 g)	X ₁	1	0.750**	0.752**	0.779**	0.621**	0.791**	0.797**	0.671**
	X ₂		1	0.499**	0.764**	0.658**	0.675**	0.833**	0.792**
	X ₃			1	0.489**	0.298**	0.613**	0.512**	0.351**
	X ₄				1	0.737**	0.693**	0.840**	0.812**
	X ₅					1	0.550**	0.679**	0.654**
	BW						1	0.840**	0.594**
	NW							1	0.932**
中规格 Medium size (3~5 g)	X ₁	1	0.591**	0.715**	0.560**	0.485**	0.652**	0.569**	0.291**
	X ₂		1	0.547**	0.849**	0.776**	0.651**	0.830**	0.743**
	X ₃			1	0.511**	0.445**	0.600**	0.513**	0.279**
	X ₄				1	0.777**	0.658**	0.865**	0.811**
	X ₅					1	0.655**	0.792**	0.685**
	BW						1	0.851**	0.434**
	NW							1	0.840**
小规格 Small size (1~3 g)	X ₁	1	0.909**	0.951**	0.858**	0.839**	0.913**	0.911**	0.765**
	X ₂		1	0.827**	0.916**	0.892**	0.903**	0.927**	0.822**
	X ₃			1	0.765**	0.747**	0.862**	0.849**	0.695**
	X ₄				1	0.804**	0.835**	0.885**	0.850**
	X ₅					1	0.865**	0.840**	0.648**
	BW						1	0.966**	0.713**
	NW							1	0.857**
Y								1	

注:**表示极显著相关(P<0.01)。Note: ** indicate highly significant correlation (P<0.01).

格个体为：壳宽>体螺层高>壳高>螺旋部高>壳口高。值得注意的是，在所有规格中，壳宽均与出肉率相关性最强，相关系数分别达 0.812、0.811 和 0.850。此外，壳宽不仅是出肉率的关键预测因子，还与净肉质量和体质量极显著相关($P<0.01$)。进一步分析发现，壳宽是反映净肉质量的核心指标，而壳高则是反映体质量的主要指标。

2.3 壳形性状对出肉率的通径分析

根据相关性分析结果，对壳形性状和出肉率进行通径分析，结果如表 3 所示。在大规格个体中，对出肉率起主要作用的壳形性状顺序依次为壳宽、体

螺层高和螺旋部高；在中规格个体中，对出肉率起主要作用的顺序依次为壳宽、壳高和体螺层高；在小规格个体中，仅壳宽对出肉率起主要作用。在大、中、小 3 种规格个体中，壳宽均对出肉率的直接影响作用最大，通径系数分别为 0.534、0.705 和 0.850。从间接作用来看，除大规格个体的螺旋部高对出肉率的直接作用大于间接作用外，其他发挥主要作用的性状对出肉率的直接作用均小于间接作用。值得注意的是，大规格的壳高和中规格的螺旋部高与出肉率呈负相关，通径系数值分别为-0.291 和-0.136。

表 3 不同规格梨形环棱螺壳形性状对出肉率的通径分析结果

Table 3 Path analysis results of shell morphological traits to meat yield in different sizes of *B. purificata*

规格 Size	性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect				合计 Total
				X_4	X_1	X_2	X_3	
大规格 Large size (≥ 5 g)	X_4	0.812	0.534			0.408	0.261	0.669
	X_2	0.792	0.452	0.345			0.226	0.571
	X_3	0.351	-0.136	-0.067		-0.068		-0.135
中规格 Medium size (3~5 g)	X_4	0.811	0.705		0.395	0.599		0.994
	X_1	0.291	-0.291	-0.163		-0.172		-0.335
	X_2	0.743	0.317	0.269	0.187			0.456
小规格 Small size (1~3 g)	X_4	0.850	0.850					

2.4 壳形性状对出肉率的决定系数

各壳形性状对出肉率的决定系数如表 4 所示，在大规格个体中，对出肉率起决定作用的顺序依次为壳宽、体螺层高和螺旋部高，总决定系数为 0.744；在中规格个体中，对出肉率起决定作用的顺序依次为

壳宽、壳高和体螺层高，总决定系数为 0.722；在小规格个体中，仅有壳宽对出肉率有决定作用，系数为 0.722。综上，在所有规格的个体中，壳宽对出肉率的决定作用均最大，是反映出肉率的关键壳形性状(图 2)。

表 4 不同规格梨形环棱螺壳形性状对出肉率的决定系数

Table 4 Determinant coefficients of shell morphological traits to meat yield in *B. purificata*

规格 Size	性状 Traits	X_4	X_1	X_2	X_3	Σ
大规格 Large size (≥ 5 g)	X_4	0.285		0.369	-0.071	0.744
	X_2			0.204	-0.061	
	X_3				0.018	
中规格 Medium size (3~5 g)	X_4	0.497	-0.230	0.379		0.722
	X_1		0.085	-0.109		
	X_2			0.100		
小规格 Small size (1~3 g)	X_4	0.722				0.722

2.5 壳形性状对出肉率的回归分析

分别将 3 种规格个体的壳形性状作为自变量，出肉率作为因变量，采用逐步回归法剔除不显著的自变量($P>0.05$)，建立的最优多元回归方程如下：

$$\text{大规格: } Y = -0.275 + 0.013X_4 + 0.010X_2 - 0.003X_3$$

$$\text{中规格: } Y = -0.112 + 0.014X_4 - 0.003X_1 + 0.005X_2$$

$$\text{小规格: } Y = -0.078 + 0.019X_4$$

式中，各性状的非标准化回归系数和回归常数均达到显著水平($P<0.05$) (表 5)，表明各壳形性状

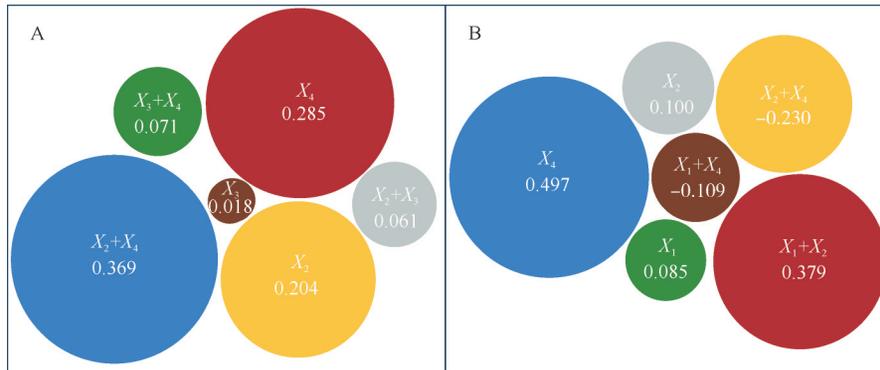


图2 大(A)、中(B)规格梨形环棱螺壳形性状对出肉率的决定水平

Fig.2 Determinant level of shell morphometric traits to meat yield in large (A) and medium (B) size of *B. purificata* 与出肉率均呈显著线性关系。对建立的回归方程进行均达到极显著水平($P < 0.01$) (表6),表明建立的行显著性检验,方差齐性检验结果显示,3个回归方程成立。

表5 非标准化回归系数和回归常数的显著性检验

Table 5 Significance test of unstandardized coefficient and regression constant

规格 Size	变量 Variable	非标准化系数 Unstandardized coefficient		标准化系数 Standardized coefficient	t	P
		系数 Coefficient	标准误 SE			
大规格 Large size (≥5 g)	常量 Constant	-0.275	0.036		-7.686	0.000
	X ₄	0.013	0.002	0.534	5.827	0.000
	X ₂	0.010	0.002	0.452	4.899	0.005
	X ₃	-0.003	0.002	-0.136	-1.993	0.049
中规格 Medium size (3~5 g)	常量 Constant	-0.112	0.023		-4.842	0.000
	X ₄	0.014	0.002	0.705	6.102	0.000
	X ₁	-0.003	0.001	-0.291	-3.838	0.000
小规格 Small size (1~3 g)	常量 Constant	-0.078	0.019		-4.638	0.000
	X ₄	0.019	0.001	0.850	14.245	0.000

表6 多元回归方程的方差分析

Table 6 Analysis of variance of the multiple regression equations

规格 Size	指数 Index	方差和 Sum of square	自由度 df	均方 Mean square	F	P
大规格 Large size (≥5 g)	回归 Regression	0.042	3	0.014	73.547	0.000
	残差 Residual	0.014	76	0.000		
	总计 Total	0.056	79			
中规格 Medium size (3~5 g)	回归 Regression	0.018	3	0.006	65.717	0.000
	残差 Residual	0.007	76	0.000		
	总计 Total	0.026	79			
小规格 Small size (1~3 g)	回归 Regression	0.029	1	0.029	202.908	0.000
	残差 Residual	0.011	78	0.000		
	总计 Total	0.040	79			

3 讨论

出肉率是衡量螺、贝等有壳类水产动物的品质、加工性能和食品利用价值的关键指标之一,也是主要选育性状之一。但在育种操作中,必须杀死受试个体才能准确测定其出肉率,这会导致高出肉率个

体无法用作后续的育种亲本^[4]。因此,寻找与出肉率密切相关的、可直接测量的壳形性状作为出肉率性状的间接选择指标,在螺、贝等的出肉率性状遗传改良育种操作中尤为重要。目前,国内外已有许多学者对水产动物的出肉率进行了研究报道,证明表型

性状与出肉率存在一定的相关性^[6, 21],即在无法直接获得出肉率的情况下,可通过测量生物的表型性状间接地评估其出肉率情况^[3]。通常认为,变异系数越大的性状,选择潜力越大^[22]。本研究中,大、中、小3种规格梨形环棱螺的净肉质量和出肉率的变异系数均较大,远高于其他5个壳形性状,说明规格相近的个体间存在较大的差异,因此有较大的选择空间,这是进行梨形环棱螺选择育种的前提条件^[23]。

相关性分析是研究多变量之间相互关系的重要分析方法,有利于筛选关键变量、排除无关变量^[24]。本研究发现,梨形环棱螺的各壳形性状与净肉质量、出肉率的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$),其中,壳宽与出肉率的相关性在3种规格的个体中均最高,说明壳宽是影响梨形环棱螺出肉率的关键壳形指标,这与孙振兴等^[5]在扁玉螺(*Neverita didyma*)中的研究结果一致。梨形环棱螺和扁玉螺的体螺层都非常膨大,是腹足肌的主要载体,而壳宽反映了体螺层的膨胀程度,该结果符合其外部形态特征。但韩森荣等^[25]发现,与皮氏蛾螺(*Volutharpa ampullacea* Perryi)软体部质量相关系数最大的是体螺层高,出现这种差异的原因可能是皮氏蛾螺的贝壳呈卵圆形,与梨形环棱螺和扁玉螺的陀螺形螺壳有较大的差别。此外,金武等^[18]发现,梨形环棱螺的壳高对体质量的相关系数和直接作用最大,是影响体质量的最主要因素。通常情况下,水产动物的体质量与出肉率有极强的相关性,是最直接、也最常用的评估水产动物出肉率的指标。然而,在本研究中,我们分析环棱螺各性状(壳形参数、净肉质量和体质量)与出肉率的相关性发现,与其他性状相比,体质量与出肉率的相关性并不高(表2),推测其原因,可能是由于环棱螺的螺壳占总体质量的比例较大(75%以上),而随着螺龄的增加,个体生长速度逐步减缓,但螺壳增厚积累持续增多,使得体质量与出肉率的相关性降低,这可能是导致与出肉率相关性最强的壳形性状(壳宽)和与体质量相关性最强的壳形性状(壳高)出现差异的主要原因。

通径分析是把自变量和因变量的相互关系分解成该自变量对因变量的直接作用和该自变量通过其他自变量对因变量的间接作用^[5]。从本研究结果看,对大、中、小3种规格个体的出肉率而言,壳宽都是最主要的影响因子,对出肉率的直接贡献也最大,这与孙振兴等^[5]在扁玉螺中的研究结果一致。此外,在大、中规格个体中,体螺层高的通径系数略低于壳

宽,但也达到极显著水平($P < 0.01$),表明体螺层高是除壳宽外的另一影响出肉率的重要性状。环棱螺的出肉率由位于其体螺层的腹足肌肉决定,而壳宽值反映了腹足肌肉在螺壳内的横向大小,体螺层高则反映了腹足肌肉在壳内的纵向大小,因此,本研究结果符合梨形环棱螺的形态特征。

本研究采用了逐步回归的分析方法,目的是剔除对出肉率作用不显著的壳形性状,使进入回归方程的壳形性状都达到极显著水平,保证所构建的回归方程的可靠性^[5]。基于此方法得到的壳形性状对出肉率的多元回归方程显示,壳宽是影响所有规格个体出肉率的首要性状。此外,在大、中规格的个体中,体螺层高对其出肉率也有较大的影响。

本研究通过相关分析、通径分析和逐步回归分析,确定壳宽和体螺层高与梨形环棱螺的出肉率密切相关,是影响出肉率的主要性状。因此,在梨形环棱螺的选育过程中,加强对壳宽和体螺层高这2个性状的选择,有利于提高其出肉率。需要指出的是,本研究采集群体中,雄性环棱螺较少(雌雄比约5:1),尤其是大规格(5 g以上)的雄性更少;金武等^[18]也发现,野生梨形环棱螺群体(阳澄湖和太湖)的雌雄比分别为4.04:1.00、4.70:1.00。考虑到群体以雌性为主,本研究仅分析了雌性个体的出肉率与壳形性状的相关性情况,我们将在后续的研究中进一步分析性别对出肉率的影响。

参考文献 References

- [1] 文衍红,覃惠明,黄杰,等.环棱螺相关产品加工业餐饮业市场现状及前景展望[J].中国水产,2018(10): 42-45. WEN Y H, QIN H M, HUANG J, et al. Current situation and prospect of food and beverage market in processing industry of *Bellamyia* related products[J]. China fisheries, 2018(10): 42-45 (in Chinese).
- [2] 邓潜,凌宗富,杜雪松,等.广西田螺设施化繁育试验探讨[J].农业开发与装备,2019(7): 104-105. DENG Q, LING Z F, DU X S, et al. Exploration of experimental breeding of field snails in Guangxi in facilities[J]. Agricultural development and equipments, 2019(7): 104-105 (in Chinese).
- [3] 安丽,孟庆磊,董学飒,等.克氏原螯虾和红螯螯虾出肉率与可量性状的相关性[J].农学报,2012,2(12): 54-56. AN L, MENG Q L, DONG X S, et al. Correlation between meat yield and body measurements in *Procambarus clarkii* and *Cherax quadricarinatus* [J]. Journal of agriculture, 2012, 2 (12): 54-56 (in Chinese with English abstract).
- [4] 柴展,栾生,罗坤,等.基于家系水平的凡纳滨对虾(*Litopen-*

- naeus vannamei*)保种群体出肉率与表型性状的相关性分析[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(6): 63-70. CHAI Z, LUAN S, LUO K, et al. Correlation analysis of fillet yield with phenotypic traits for families from conservation population of *Litopenaeus vannamei* [J]. Progress in fishery sciences, 2015, 36(6): 63-70 (in Chinese with English abstract).
- [5] 孙振兴, 常林瑞, 徐建鹏. 扁玉螺(*Neverita didyma*)表型性状对体重和软体部重的影响效应分析[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(4): 513-518. SUN Z X, CHANG L R, XU J P. Effect of phenotypic morphometric trait on body weight and soft-tissue weight of *Neverita didyma* [J]. Oceanologia et limnologia sinica, 2010, 41(4): 513-518 (in Chinese with English abstract).
- [6] HUNG D, NGUYEN N H. Modeling meat yield based on measurements of body traits in genetically improved giant freshwater prawn (GFP) *Macrobrachium rosenbergii* [J]. Aquaculture international, 2014, 22(2): 619-631.
- [7] 张倩, 王全超, 于洋, 等. 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)形态性状与净肉重和出肉率的关系[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(3): 653-661. ZHANG Q, WANG Q C, YU Y, et al. Correlation of morphometric attributes to net weight and fillet yield of *Litopenaeus vannamei* [J]. Oceanologia et limnologia sinica, 2018, 49(3): 653-661 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈静, 宋光同, 汪翔, 等. 不同密度铜锈环棱螺和梨形环棱螺对水体环境的影响效果[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(23): 11708-11709. CHEN J, SONG G T, WANG X, et al. The efficiency of water purification by different densities of *Bellamyia aeruginosa* and *Bellamyia purificata* [J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2012, 40(23): 11708-11709 (in Chinese with English abstract).
- [9] 赵峰, 谢从新, 张念, 等. 不同密度梨形环棱螺对养殖池塘水质及沉积物氮、磷释放的影响[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(2): 32-38. ZHAO F, XIE C X, ZHANG N, et al. Efficiency of water purification and the nitrogen and phosphorous release of the sediment by different densities of *Bellamyia purificata* [J]. Journal of hydroecology, 2014, 35(2): 32-38 (in Chinese).
- [10] 张明豪, 张奕响, 侯谄然, 等. 梨形环棱螺生命活动对池塘沉积物中氮转化的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2021, 43(2): 82-90. ZHANG M H, ZHANG Y Y, HOU Y R, et al. Effect of the bioturbation derived from snail *Bellamyia purificata* on pond sediment nitrogen forms [J]. Transactions of oceanology and limnology, 2021, 43(2): 82-90 (in Chinese with English abstract).
- [11] 梁琰, 王艳艳, 姚俊杰, 等. 锦江河3种淡水螺的营养成分分析与评价[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(12): 131-133. LIANG L, WANG Y Y, YAO J J, et al. Analysis and evaluation on nutritional composition of three freshwater snails in Jinjiang River [J]. Guizhou agricultural sciences, 2013, 41(12): 131-133 (in Chinese with English abstract).
- [12] 罗辉, 陈李婷, 敬庭森, 等. 田螺科四种螺的肌肉主要营养成分[J]. 水产学报, 2022, 46(11): 2177-2185. LUO H, CHEN L T, JING T S, et al. Muscle nutrition analysis of four snail species of Viviparidae [J]. Journal of fisheries of China, 2022, 46(11): 2177-2185 (in Chinese with English abstract).
- [13] 吴小平, 欧阳珊, 梁彦龄, 等. 三种环棱螺贝壳形态及齿舌的比较研究[J]. 南昌大学学报(理科版), 2000(1): 1-5. WU X P, OUYANG S, LIANG Y L, et al. Comparative studies on shell and radular morphology of *Bellamyia* [J]. Journal of Nanchang University (natural science edition), 2000(1): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- [14] 段晓姣, 谢从新, 吕元蛟, 等. 梨形环棱螺的食性及其在生态沟渠中的净水作用[J]. 渔业现代化, 2013, 40(2): 17-21. DUAN X J, XIE C X, LÜ Y J, et al. Feeding habits of *Bellamyia purificata* and its function in water purification system of ecological ditch [J]. Fishery modernization, 2013, 40(2): 17-21 (in Chinese with English abstract).
- [15] 梁琰, 黄阳. 铜仁锦江河梨形环棱螺的生物学特性研究[J]. 铜仁学院学报, 2015, 17(4): 30-35. LIANG L, HUANG Y. Study on biological characters of *Bellamyia purificata* in Jinjiang River of Tongren [J]. Journal of Tongren University, 2015, 17(4): 30-35 (in Chinese).
- [16] 但小琴, 程果, 文衍红, 等. 三种环棱螺形态学比较研究[J]. 淡水渔业, 2020, 50(3): 50-55. DAN X Q, CHENG G, WEN Y H, et al. Comparative analyses of morphological characters for three species in genus *Bellamyia* [J]. Freshwater fisheries, 2020, 50(3): 50-55 (in Chinese with English abstract).
- [17] 金武, 曹静越, 马骋, 等. 梨形环棱螺11个地理种群遗传多样性和遗传分化[J]. 淡水渔业, 2022, 52(2): 16-21. JIN W, CAO J Y, MA C, et al. Genetic diversity and genetic differentiation analysis of *Bellamyia purificata* in eleven populations based on the microsatellite makers [J]. Freshwater fisheries, 2022, 52(2): 16-21 (in Chinese with English abstract).
- [18] 金武, 马学艳, 闻海波, 等. 梨形环棱螺3个群体形态性状与体质量的相关及通径分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(32): 135-139. JIN W, MA X Y, WEN H B, et al. Correlation and path analysis between morphology traits and body weight of *Bellamyia purificata* from three populations [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2017, 33(32): 135-139 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张玺, 刘月英. 田螺的形态、习性和我国常见的种类[J]. 生物学通报, 1960(2): 49-57. ZHANG X, LIU Y Y. Morphology, habits and common species of Viviparidae in China [J]. Bulletin of biology, 1960(2): 49-57 (in Chinese with English abstract).
- [20] 蔡如星. 浙江动物志, 软体动物[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991: 44-48. CAI R X. Zoology of Zhejiang Province, Mollusks [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1991: 44-48 (in Chinese).
- [21] RUTTEN MJM, BOVENHUIS H, KOMEN H. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Omochromis niloticus* L.) [J]. Aquaculture, 2004(231): 113-122.
- [22] 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 two cultured populations of *Crassostrea gigas* and *Crassostrea angulata* [J]. Marine science bulletin, 2014, 33(1): 106-111 (in Chinese with English abstract).
- [23] 安丽, 刘萍, 李健, 等. “黄海1号”中国明对虾形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 779-786. AN L, LIU P, LI J, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric traits on body weight for *Fenneropenaeus chinensis* named “Yellow Sea No.1”[J]. Journal of fishery sciences of China, 2008, 15(5): 779-786 (in Chinese with English abstract).
- [24] 张文彤, 闫洁. SPSS统计分析基础教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 325-346. ZHANG W T, YAN J. SPSS fundamentals of statistical analysis tutorial [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004: 325-346 (in Chinese).
- [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 *Volu-tharpa ampullacea* Perryi [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2021, 36(6): 976-984 (in Chinese with English abstract).

Correlation analysis between shell morphological traits and meat yield rate of *Bellamy purificata*

TIAN Zikai^{1,2}, WEN Yanhong³, LUO Fuguang³, XIAO Xiong⁴, ZHOU Xiaoyun¹

1. Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/ College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Hubei Provincial Fisheries Technology Extension Center, Wuhan 430070, China;

3. Liuzhou Aquaculture Technology Extending Station, Liuzhou 545006, China;

4. Qianjiang Luoguxuantian Aquaculture Cooperative, Qianjiang 433100, China

Abstract To investigate the shell morphological traits closely related to the meat yield rate of *Bellamy purificata*, 180 individuals of varying sizes, large (≥ 5 g), medium (3-5 g), and small (1-3 g) were randomly collected for study. After weighing, the parameters: shell height (X_1), body whorl height (X_2), spiral whorl height (X_3), shell width (X_4) and shell aperture height (X_5) were measured. The abdominal foot muscle was then dissected to determine the net meat weight, and meat yield rate (Y). Then, correlation analysis, path analysis, and stepwise regression analysis were conducted to identify the key shell morphological traits associated with the meat yield rate. Multiple regression equations were established based on the results obtained. The results showed that, the meat yield rates of three sizes of *B. purificata* were significantly correlated with all five shell morphological traits ($P < 0.01$). Among these traits, shell width exhibited the highest correlation with meat yield rate, with correlation coefficients of 0.812, 0.811, and 0.850 for large, medium, and small individuals, respectively. Path analysis results revealed that shell width, shell height, body whorl height, and spiral whorl height were significantly related to meat yield rate. Notably, shell width displayed the highest correlation with meat yield rate, with path coefficients of 0.534, 0.705, and 0.850 for the three size categories. The regression equations for shell morphological traits (X_i) and meat yield (Y) were fitted by stepwise regression analysis as $Y = -0.275 + 0.013X_4 + 0.010X_2 - 0.003X_3$, $Y = -0.112 + 0.014X_4 - 0.003X_1 + 0.005X_2$ and $Y = -0.078 + 0.019X_4$ for large, medium and small size individuals, respectively. The results of this study indicated that shell width is the morphological trait most closely related to meat yield rate, and therefore it can be used as an indirect selection trait for the genetic improvement of meat yield in *B. purificata*.

Keywords *Bellamy purificata*; meat yield rate; shell morphological traits; traits breeding

(责任编辑: 边书京)