

不同月龄青蛤形态性状对活体质量的影响分析

张雷雷, 滕爽爽, 李腾腾, 邵艳卿, 方 军

(浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 中国水产科学研究院 海洋贝类工程技术研究中心, 浙江 温州 325005)

摘要: 随机选取 5 月龄、10 月龄、15 月龄的青蛤(*Cyclina sinensis*)混合家系各 220 枚作为研究对象, 通过测定其壳长(SL)、壳高(SH)、壳宽(SW)和活体质量(W), 并采用相关性、通径和决定系数的统计分析探讨青蛤形态性状对活体质量的影响效力。结果表明: 各性状与活体质量间的相关性均达极显著水平($P<0.01$), 其中 5 月龄、10 月龄和 15 月龄相关系数最大的均为壳高; 通径分析结果显示, 对不同月龄的活体质量的直接影响最大的均是壳高、其次壳宽、最后壳长; 5 月龄和 15 月龄的壳高和壳宽共同决定系数最大, 分别为 0.269 和 0.262, 10 月龄的壳高决定系数最大为 0.338。利用逐步回归的方法分别建立 5 月龄、10 月龄、15 月龄青蛤活体质量的最优回归方程分别是: $W_5 = -0.564 + 0.061SH + 0.051SW$, $R^2 = 0.933$; $W_{10} = -2.585 + 0.040SL + 0.149SH + 0.101SW$, $R^2 = 0.934$; $W_{15} = -7.359 + 0.123SL + 0.210SH + 0.273SW$, $R^2 = 0.957$ 。本研究结果可为青蛤高产新品系阶段选优和良种选育提供基础数据。

关键词: 青蛤(*Cyclina sinensis*); 形态性状; 活体质量; 通径分析

中图分类号: S968.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2019)12-0074-07

DOI: 10.11759/hyxx20190624003

青蛤(*Cyclina sinensis*, Gmelin, 1791)隶属双壳纲(Bivalvia)、帘蛤科(Veneridae)、青蛤属(*Cyclina*), 别称铁蛤、黑蛤, 广泛分布于我国南北沿海, 具有适应性广、抗污染能力强等优点, 其食用和经济价值颇高, 是我国重要的经济贝类之一, 在沿海滩涂具有广阔的增养殖前景^[1]。近年来由于人工繁育规模扩大, 养殖滩涂面积缩小, 养殖环境污染等原因, 青蛤生长缓慢、病害频发、存活率和产量均下降。因此, 培育生长快、产量高、抗逆强的青蛤品种逐渐成为增养殖的目标。

目前, 国内贝类良种选育还以其表型性状优劣为主要选育参数之一, 表型性状一般由壳长、壳高和壳宽形态性状和活体质量、肉质量和壳质量性状组成。活体质量作为估算产量的重要性状, 在测量上因较多因素影响容易存在误差, 但形态性状是直观、可直接测量, 且形态性状和质量性状间存在一定关系^[2]。在遗传学专家 Wright^[3]提出通径分析理论的基础上, 对各性状进行通径分析和多元回归分析来确定影响质量性状的方法, 现已普遍运用于生产繁育中。近年来, 国内外学者采用通径分析估量性状参数的研究涉及种类有琴文蛤(*Meretrix lyrata*)^[4]、文蛤(*Meretrix meretrix*)^[5]、厚壳贻贝(*Mytilus coruscus*)^[6]、珍珠牡蛎

(*Pinctada martensii*)^[7]、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)^[8]、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)^[9]和菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)^[10]等, 这些研究可为遗传育种和资源利用提供基础资料。而目前对青蛤的研究主要集中在遗传分析^[11]、基因^[12-16]、免疫^[17]、形态学^[18]、营养成分^[19]等, 而在数量性状分析上也仅见杨彦鸿等^[20]采集南澳岛野生群体、高玮玮等^[21]采集中国及日本近海野生群体和孙同秋等^[22]采集丹东等野生群体做研究对象进行分析, 但对具有相同遗传背景的不同贝龄的青蛤通径分析尚未见报道。本研究通过分析青蛤 5 月龄、10 月龄和 15 月龄的形态性状与活体质量间的相关性, 确定不同月龄影响活体质量的重要性状, 并建立最优回归方程, 以期为

收稿日期: 2019-06-24; 修回日期: 2019-08-31

基金项目: 温州市科技项目(Z20160015); 国家水产种质资源共享服务平台(2018DKA30470); 浙江省科技计划项目(2018F10015)

[Foundation: Wenzhou Science and Technology Program, No. Z20160015; National Infrastructure Fishery Germplasm Resource of China, No. 2018DK30470; The Special Program for the Scientific Research Institute of Zhejiang Province, No. 2018F10015]

作者简介: 张雷雷(1994-), 女, 浙江温州人, 研究实习生, 主要从事贝类遗传育种研究, 电话: 0577-88210966, E-mail: 861368032@qq.com; 邵艳卿, 通信作者, 高级工程师, 主要从事贝类遗传育种研究, E-mail: amshao@126.com; 方军, 通信作者, 高级工程师, 主要从事贝类繁育研究, E-mail: hyj1206@126.com

青蛤群体和家系选育提供关键性状选择信息。

1 材料与方法

1.1 样品来源

实验青蛤采自 2016 年 6 月建立的混合家系, 培育至 5 月龄后移入浙江省海洋水产养殖研究所清江基地围塘进行中间培育和后期养成, 并在 5 月龄、10 月龄和 15 月龄段随机各取 220 枚样品。

1.2 各性状测定

将青蛤样品除泥阴干, 用电子数显游标卡尺测量壳长(SL)、壳高(SH)和壳宽(SW)(精确到 0.01 mm), 使用电子天平测定活体质量(W)(精确到 0.01g), 计算表型参数的平均值和变异系数。

1.3 数据分析方法

采用 IMB SPSS20 软件对数据进行 Pearson 相关分析后, 采用通径分析和决定分析公式计算各形态性状与活体质量的关系, 利用多元回归分析建立对偏回归系数显著的形态性状估算活体质量的最优回归方程。

(1) 各性状通径分析计算如下:

$$r_{xy} = P_{y \cdot x_i} + \sum P_{x_i x_j} \cdot P_{x_i x_j} = r_{ij} \times P_{jy} \quad (i \neq j),$$

式中, r_{xy} 为自变量 x 对活体质量 y 相关系数, $P_{y \cdot x_i}$ 为 x 与 y 的直接通径系数, P_{jy} 为自变量 j 和活体质量 y 通径系数。

(2) 各性状的参数决定系数计算如下:

$$\text{单参数决定系数}(d_i): d_i = P_i^2,$$

式中, P_i 为自变量性状对活体质量的通径系数。

$$\text{多参数决定系数}(d_{ij}): d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j,$$

式中, r_{ij} 为自变量 i 和 j 间的相关系数, P 为自变量性状对活体质量的通径系数。

(3) 线性回归方程:

$$y = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_i \quad (P < 0.01),$$

式中, 以活体质量 W 为因变量 y , c_0 为常数项, $c_1 \dots c_n$ 为偏回归系数, $x_1 \dots x_i$ 为偏回归系数所对应的自变量。

2 结果

2.1 各性状测定分析

不同月龄青蛤表型性状测定结果如表 1 所示。由变异系数可知, 3 个不同月龄青蛤活体质量的变异

系数均是各形态性状的 3~3.5 倍, 说明活体质量较形态性状更有选择潜力; 其中活体质量变异系数最大为 5 月龄(57.8%), 其次为 10 月龄(40.4%)和 15 月龄(33.4%)。

表 1 不同月龄青蛤各性状的统计结果

Tab. 1 Statistics for the phenotypic parameters of various traits of *C. sinensis* in different months

月龄	性状	平均值±标准差/mm	变异系数/%
5	壳长 SL	9.013±1.590	0.176
	壳高 SH	8.794±1.518	0.174
	壳宽 SW	5.539±0.966	0.173
	活体质量 W	0.252±0.146	0.578
10	壳长 SL	15.660±2.074	0.132
	壳高 SH	15.695±2.104	0.134
	壳宽 SW	9.587±1.320	0.138
	活体质量 W	1.335±0.539	0.404
15	壳长 SL	21.645±2.379	0.110
	壳高 SH	22.032±2.392	0.109
	壳宽 SW	13.653±1.441	0.106
	活体质量 W	3.641±1.215	0.334

2.2 相关系数分析

不同月龄的青蛤各性状相关系数结果如表 2 所示。从表中可以看出, 3 个不同月龄的青蛤性状间的

表 2 不同月龄青蛤数量性状的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between the quantitative characters of *C. sinensis* in different months

月龄	参数	壳长/ mm	壳高/ mm	壳宽/ mm	活体质量/ mg
5	壳长 SL	1	0.994**	0.973**	0.961**
	壳高 SH		1	0.976**	0.963**
	壳宽 SW			1	0.956**
	活体质量 W				1
10	壳长 SL	1	0.964**	0.923**	0.940**
	壳高 SH		1	0.952**	0.962**
	壳宽 SW			1	0.940**
	活体质量 W				1
15	壳长 SL	1	0.975**	0.944**	0.963**
	壳高 SH		1	0.950**	0.970**
	壳宽 SW			1	0.958**
	活体质量 W				1

注: **表示与体质量相关性达到极显著水平($P < 0.01$)

相关系数均呈极显著正相关($P<0.01$)。5 月龄和 15 月龄均活体质量与壳高的相关系数最大,与壳长次之,与壳宽最小,而 10 月龄活体质量与壳高的相关系数最大,其次是与壳长(同壳宽)。从 5 月龄,10 月龄,15 月龄青蛤家系的壳长、壳高和壳宽三维散点图(图 1)可以看出,3 个月龄的形态性状间成正态相关,且线性拟合度高。

2.3 通径分析

使用通径分析理论对各性状的相关系数进行分

解直接和间接作用^[9]。分析结果如表 3 所示,在直接作用上,5 月龄、10 月龄和 15 月龄影响活体质量最大的均为壳高(0.429、0.581、0.419 mm),其次为壳宽(0.321、0.246、0.329 mm)。在间接作用上,5 月龄影响活体质量最大的均为壳高通过壳宽,其次为壳宽通过壳高作用,而 10 月龄和 15 月龄影响活体质量最大均为壳高通过壳长间接影响活体质量,其次为壳高通过壳宽的间接作用,再次为壳宽通过壳高间接影响活体质量。

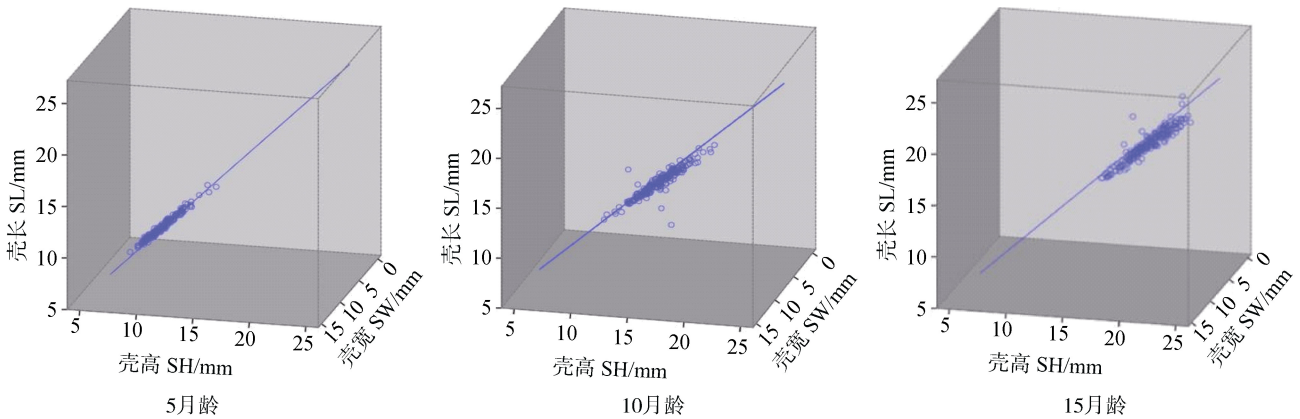


图 1 不同月龄青蛤各形态性状的相关关系

Fig. 1 Correlation analysis of the morphological characters of *C. sinensis* in different months

表 3 不同月龄青蛤形态性状对活体质量影响的通径分析

Tab. 3 Path analysis of the morphological traits to body weight of *C. sinensis* in different months

月龄	性状	相关系数 r_{ij}	直接关系 P_i	间接关系 $r_{ij}P_j$			
				Σ	壳长/mm	壳高/mm	壳宽/mm
5	壳高 SH	0.963**	0.429**	0.534	0.221	—	0.313
	壳宽 SW	0.956**	0.321**	0.635	0.216	0.419	—
10	壳长 SL	0.940**	0.153*	0.787	—	0.56	0.227
	壳高 SH	0.962**	0.581**	0.381	0.147	—	0.234
	壳宽 SW	0.940**	0.246**	0.694	0.141	0.553	—
15	壳长 SL	0.963**	0.244**	0.719	—	0.409	0.311
	壳高 SH	0.970**	0.419**	0.406	0.238	—	0.313
	壳宽 SW	0.958**	0.329**	0.629	0.23	0.398	—

注: *表示与体质量相关性达到显著水平($P<0.05$); **表示与体质量相关性达到极显著水平($P<0.01$)

2.4 决定系数分析

决定系数表示各自变量对因变量的决定程度,各自变量作用由其来决定。以活体质量为因变量,其他三者为自变量,根据决定系数公式计算出 3 个不同月龄的各性状对活体质量的决定系数。结果如图 2 所示,从单参数决定系数而言,5 月龄、10 月龄和 15 月龄均是壳高对活体质量的决定系数最大,分别为

0.184、0.338 和 0.176; 从多参数决定系数而言,5 月龄、10 月龄和 15 月龄均是壳高和壳宽共同决定活体质量的决定系数最大,分别为 0.269、0.269 和 0.262。由此可见,5 月龄和 15 月龄的壳高和壳宽共同决定程度最大且相对稳定的保持在 26%左右,而 10 月龄则壳高的决定程度最大为 33.8%,明显大于壳高和壳宽的共同决定系数 26.9%。

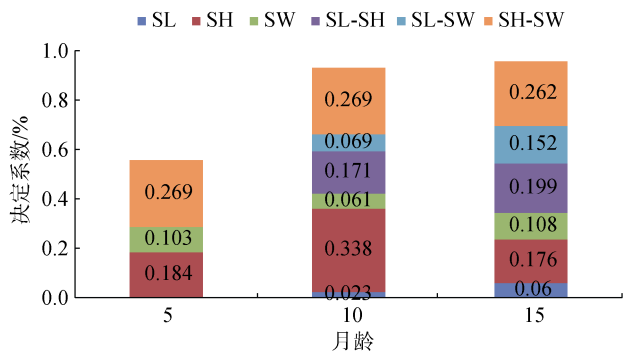


图 2 不同月龄青蛤的决定系数

Fig. 2 Coefficient of determination of *C. sinensis* in different months

注: SL、SH、SW 表示单一变量对因变量的决定系数; SL-SH、SL-SW、SH-SW 为两个自变量对因变量的决定系数。

2.5 最优回归方程的建立

各性状偏回归系数的显著性检验如表 4 所示。除 5 月龄青蛤壳长的偏回归系数不显著($P>0.05$)外,其余 5 月龄、10 月龄和 15 月龄的青蛤各数量性状间的回归关系均达到显著水平($P<0.05$)。通过逐步法剔除不显著性状后,建立不同月龄的形态性状估算活体重的最优回归方程如下:

5 月龄: $W_5 = -0.564 + 0.061SH + 0.051SW$, $R^2 = 0.933$;
10 月龄: $W_{10} = -2.585 + 0.040SL + 0.149SH + 0.101SW$,

$R^2 = 0.934$;
15 月龄: $W_{15} = -7.359 + 0.123SL + 0.210SH + 0.273SW$,
 $R^2 = 0.957$ 。

表 4 不同月龄青蛤数量性状的偏回归系数检验
Tab. 4 Test of partial regression coefficient of the quantitative characters of *C. sinensis* in different months

月龄	参数	偏回归系数 B	标准差 SD	T 值	P 值
5	常数	-0.564	0.015	-37.269	0.000
	壳高 SH	0.061	0.008	7.846	0.010
	壳宽 SW	0.051	0.012	4.199	0.000
10	常数	-2.585	0.072	-35.681	0.000
	壳长 SL	0.04	0.017	2.309	0.022
	壳高 SH	0.149	0.021	7.014	0.000
	壳宽 SW	0.101	0.023	4.296	0.000
15	常数	-7.359	0.162	-45.553	0.000
	壳长 SL	0.123	0.033	3.737	0.000
	壳高 SH	0.21	0.035	6.059	0.000
	壳宽 SW	0.273	0.039	7.001	0.000

回归方程方差分析结果如表 5。从中可以看出,5 月龄、10 月龄和 15 月龄的阶段方程回归关系均达到极显著水平($P<0.01$),表明不同月龄的自变量和因变量间存在较强的相关性,适合进行方差分析。

表 5 不同月龄青蛤形态性状对活体重回归的方差分析表

月龄	项目	平方 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	P 值
5	回归	4.33	3	1.443	1003.262	0.000
	残差	0.311	216	0.001		
	总计	4.641	219			
10	回归	59.439	3	19.813	1010.784	0.000
	残差	4.234	216	0.02		
	总计	63.673	219			
15	回归	300.251	3	100.084	1597.742	0.000
	残差	13.53	216	0.063		
	总计	313.782	219			

3 讨论

本研究中,5 月和 15 月龄影响青蛤活体质量的主要性状均为壳高和壳宽;10 月龄影响活体质量的则为壳高,表明在相同的养殖环境和遗传背景下,影响不同月龄的活体质量的主要性状不同,这与李莉等^[25]发现 1 龄的毛蚶(*Scapharca subcrenata*)以壳长

为主要影响性状,2 龄为壳长和壳宽,3 龄为壳宽;刘文广等^[26]发现 6 月龄华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)影响湿质量的主要性状为壳高,而 18 月龄则为壳长的结果相似。可见,生物形态随着生长不断发生变化,导致影响活体质量的性状发生改变,不同月龄具有不同的主要性状。

杨彦鸿等^[20]以南澳岛青蛤的野生群体为研究对

象,发现影响活体质量首要性状是壳长,壳高起协助作用;高玮玮等^[21]对中国及日本近海的 245 个 1 龄青蛤进行数量分析,结果表明对青蛤软体部质量影响最大是壳高;孙同秋等^[22]以丹东采集的 3 龄青蛤野生群体分析,也发现壳高是影响活体质量的首要因素;本研究的结果与以上研究不完全相同。可见,遗传背景、生长环境和生长阶段等不同,导致影响活体质量的重要性状不同。因此,育种过程中亲贝选择的依据要参考生长环境、养殖条件进行调整。

董志国等^[23]指出单个性状与活体质量的相关系数往往表示该性状对活体质量的直接和间接影响的总和,单靠相关性分析不能确定其对活体质量的重要性,不仅要分析性状对活体质量的直接影响,还要分析此性状通过其他性状的间接影响。只有进行综合分析,才能提高研究结果的可信率。在本研究中,通过不同月龄形态性状对活体质量的相关系数分析,得到 5 月龄和 15 月龄影响活体质量相关系数最大均为壳高,其次壳长,最小壳宽;而影响 10 月龄活体质量的相关系数最大为壳高,其次为活体质量与壳长=活体质量与壳宽。但通径分析中剔除 5 月龄不显著性状(壳长),10 月龄和 15 月龄均是壳高和壳宽的直间接作用大于壳长,且决定系数分析上 5 月龄和 15 月龄是壳高和壳宽的共同决定因子最大,10 月龄则是单参数壳高的决定因子最大。刘小林等^[24]认为基于相关分析进行通径和决定系数分析时,只有当相关指数和单参数决定系数和多参数共同决定系数总和大于或等于 0.85(即为 85%)时,才表示影响因变量的自变量已找到。本文通过对不同月龄青蛤形态性状对活体质量的相关系数分析及决定系数分析,得到 5 月龄、10 月龄和 15 月龄各性状对活体质量的决定系数总和(0.933、0.934、0.957)与其对应的相关指数 R^2 (0.932、0.933、0.956)相近,且都大于 0.85,说明影响青蛤活体质量的形态性状已被分析。

本研究结果得出,5 月龄为移塘放苗期,应以壳高和壳宽为主要选择性状,10 月龄正值每年 6~7 月份的繁殖高峰期,作为候选亲贝主要以壳高为选择性状,15 月龄考虑家系养成密度可能影响个体大小,并以生长快为选育目标,个体选择应以壳高和壳宽为主要性状。此结果可为青蛤混合家系阶段选择和良种选育提供参考。

参考文献:

[1] 刘志新,赵莎莎,闫海强,等.青蛤的养殖与药用价

值研究进展[J].安徽农业科学,2014,42(14):4365-4366,4379.

Liu Zhixin, Zhao Shasha, Yan Haiqiang, et al. Advances in researches on breeding and medical value of *Cyclina sinensis*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(14): 4365-4366, 4379.

[2] 边力,刘长琳,陈四清,等.不同生长期圆斑星螺形态性状对体重影响的通径分析[J].中国水产科学,2017,24(6):1168-1175.

Bian Li, Liu Changlin, Chen Siqing, et al. Path analysis of effects of morphometric traits on body weight in spotted halibut *Verasper variegatus* at different growth stages[J]. Journal of Fishery Science of China, 2017, 24(6): 1168-1175.

[3] Wright S. Evolution and the genetics of population III[A]. Experimental results and evolutionary deductions[C]. University of Chicago Press, Chicago, 1977: 456-461.

[4] 刘博,滕爽爽,邵艳卿,等.琴文蛤形态性状对体量的影响效果分析[J].海洋科学,2011,35(10):91-95.

Liu Bo, Teng Shuangshuang, Shao Yanqing, et al. Mathematical analysis of the correlations between the morphometric attributes and body weight *Meretrix lyrata*[J]. Marine Sciences, 2011, 35(10): 91-95.

[5] 方军,肖国强,张炯明,等.两种壳色文蛤壳形态性状对活体质量的影响[J].大连海洋大学学报,2017,32(3):311-315.

Fang Jun, Xiao Guoqiang, Zhang Jiongming, et al. Effect of morphological traits on live body weight in clam *Meretrix meretrix* with two kind color shells[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(3): 311-315.

[6] 陆雅凤,赵晟,徐梅英,等.东极厚壳贻贝养殖群体表型性状的相关与通径分析[J].安徽农业科学,2015,43(3):147-150.

Lu Yafeng, Zhao Sheng, Xu Meiyang, et al. Correlation analysis and path analysis on the morphological traits of *Mytilus coruscus* population in Dongji culture region[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(3): 147-150.

[7] Deng Yuewen, Du Xiaodong, Wang Qingheng, 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.

[8] 薛宝宝,李浩,牛东红,等.不同月龄缢蛏新品种数量性状的相关与通径分析[J].水产学报,2018,42(6):941-949.

Xue Baobao, Li Hao, Niu Donghong, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of new variety of *sinonovacula constricta* at different months of age[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(6): 941-949.

[9] 杜美荣,方建光,高亚平,等.不同贝龄栉孔扇贝数量性状的相关性和通径分析[J].水产学报,2017,

- 41(4): 580-587.
Du Meirong, Fang Jianguang, Gao Yaping, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of different-age *Chlamys farreri*[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(4): 580-587.
- [10] Huo Zhongming, Yan Xiwu, Zhao Liqiang, 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.
- [11] 吴琪, 潘鹤婷, 潘宝平, 等. 帘蛤科两种经济贝类种群的 ITS-1 序列遗传多样性分析[J]. 天津师范大学学报, 2007, 27(1): 20-23.
Wu Qi, Pan Heting, Pan Baoping, et al. Analysis of genetic diversity in populations of two commercial species of *Mercenaria mercenaria* and *Cyclina sinensis* (Bivalvia Veneridae) based on ITS-1 sequence[J]. Journal of Tianjin Normal University, 2007, 27(1): 20-23.
- [12] 高玮玮, 潘宝平, 闫春财, 等. 青蛤(*Cyclina sinensis*) TRAF6 基因克隆及其在 Poly I: C 胁迫下的免疫应答[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(5): 1040-1046.
Gao Weiwei, Pan Baoping, Yan Chuncai, et al. Cloning of cstraf6 gene from *Cyclina sinensis* and immune response under poly I: C stimulation[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2016, 47(5): 1040-1046.
- [13] 丁丹, 潘宝平, 王玉梅, 等. 青蛤(*Cyclina sinensis*) AP-1 基因的克隆及在鳃弧菌(*Vibrio anguillarum*)感染下的表达分析[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(1): 192-197.
Ding Dan, Pan Baoping, Wang Yumei, et al. Cloning and expression of AP-1 gene from *Cyclina sinensis* infection by *Vibrio anguillarum*[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2018, 49(1): 192-197.
- [14] 姚玥彤, 王玉梅, 侯梓园, 等. 青蛤 MAPK/p38 基因的克隆及 Poly: Ic 胁迫下的表达分析[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(4): 100-102, 118.
Yao Yuetong, Wang Yumei, Hou Ziyuan, et al. Cloning of MAPK/p38 in *Cyclina sinensis* and its expression under Poly: Ic stresses[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(4): 100-102, 118.
- [15] Dong Pengzhi Ma Guangyin, Chang Lianying et al. The complete mitochondrial genome of *Cyclina sinensis* (Veneroida: Veneridae)[J]. Mitochondrial DNA Part B-resources, 2016, 1: 173-174.
- [16] Ren Yiping Pan Heting, Yang Ying, et al. Molecular cloning, characterization and functional analysis of a heat shock protein 70 gene in *Cyclina sinensis*[J]. Fish and Shellfish Immunology, 2016, 58(11): 663-668.
- [17] Ren Yipeng, Ding Dan, Pan Baoping, et al. The TLR13-MyD88-NF-Kappa B signalling pathway of *Cyclina sinensis* plays vital roles in innate immune responses[J]. Fish and Shellfish Immunology, 2017, 70(11): 720-730.
- [18] 于业绍, 郑小东. 青蛤形态学初步观察[J]. 动物学杂志, 2001, 36(6): 2-6.
Yu Yeshao, Zheng Xiaodong. A Preliminary observation on the morphology of *Cyclina sinensis*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2001, 36(6): 2-6.
- [19] Wang Xinzhi, Wu Hao, Li Na, et al. Rapid determination of free amino acids, nucleosides, and nucleobases in commercial clam species harvested at different seasons in Jiangsu, China, using UFLC-MS/MS[J]. Food Analytical Methods, 2016, 9(6): 1520-1531.
- [20] 杨彦鸿, 李朝霞, 郑怀平, 等. 南澳青蛤(*Cyclina sinensis*)野生群体数量性状间的相关及通径分析[J]. 海洋通报, 2010, 29(5): 550-553.
Yang Yanhong, Li Zhaoxia, Zheng Huaiping, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits for natural population of *Cyclina sinensis* in Nan'ao Island[J]. Marine Sciences Bulletin, 2010, 29(5): 550-553.
- [21] 高玮玮, 袁媛, 潘宝平, 等. 青蛤(*Cyclina sinensis*)贝壳形态性状对软体部重的影响分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 166-169.
Gao Weiwei, Yuan Yuan, Pan Baoping, et al. The relationship between shell morphology and body weight of *Cyclina sinensis*[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2009, 40(2): 66-169.
- [22] 孙同秋, 曾海祥, 郑小东, 等. 丹东青蛤野生群体数量性状的相关分析[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(2): 171-173.
Sun Tongqiu, Zeng Haixiang, Zheng Xiaodong, et al. Correlation analysis of quantitative traits of wild clam *Cyclina sinensis* in coastal Dandong[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(2): 171-173.
- [23] 董志国, 李晓英, 程汉良, 等. 生殖季节青蛤性别与形态相关性分析[J]. 海洋科学, 2011, 35(8): 32-36.
Dong Zhiguo, Li Xiaoying, Cheng Hanliang, et al. Correlation analysis of gender and morphology of *Cyclina sinensis* in the reproductive season[J]. Marine Sciences, 2011, 35(8): 32-36.
- [24] 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 Xiaolin, Wu Changgong, Zhang Zhihui, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(4): 857-862.
- [25] 李莉, 郑永允, 徐科风, 等. 不同贝龄毛蚶壳形态性状对体质量的影响[J]. 海洋科学, 2015, 39(6): 54-58.
Li Li, Zheng Yongyun, Xu Kefeng, et al. The relationship between morphometric traits and body weight of *Scapharca subcrenata* at different ages [J]. Marine Sciences, 2015, 39(6): 54-58.
- [26] 刘文广, 林坚士, 何毛贤. 不同贝龄华贵栉孔扇贝数

量性状的通径分析[J]. 南方水产科学, 2012, 8(1): 49-48.
Liu Wenguang, Lin Jianshi, He Maoxian. Path analysis

of quantitative traits of scallop *Chlamys nobilis* at different ages[J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(1): 49-48.

Effects of morphological traits on the body weight of *Cyclina sinensis* in different ages

ZHANG Lei-lei, TENG Shuang-shuang, LI Teng-teng, SHAO Yan-qing, FANG Jun
(Zhejiang Mariculture Research Institute, Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-Resource, Engineering Research Center for Marine Bivalves, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wenzhou 325005, China)

Received: Jun. 24, 2019

Key words: *Cyclina sinensis*; morphological traits; body weight; path analysis

Abstract: This study was conducted to investigate the relationship between the morphological characters and the body weight of *Cyclina sinensis* for the same mixed family using 220 individuals from each group aged 5, 10, and 15 months that were randomly selected to measure the shell length (SL), shell height (SH), shell width (SW), and body weight (W). Correlation analysis, path analysis, and determinant coefficient analysis were conducted to explore the effect of the phenotypic characters on the qualitative traits. Results showed that the correlations between the qualitative characters and body weight reached extremely significant levels ($P < 0.01$). Shell height exhibited the highest correlation coefficient with body weight at three different ages. Results of the path coefficient analysis showed that shell height exhibited the highest path coefficient at three different ages, followed by shell width and shell length. Results of the determinant coefficient analysis revealed that the total coefficients of determinants of shell height and shell width were highest at 5 and 15 months of age (0.269 and 0.262, respectively), and the coefficient of determinants of shell height was highest at 10 months of age (0.338). The multiple regression equations pertaining to the quantitative characters and body weight (W) of *C. sinensis* were established for the three different ages as follows: $W_5 = -0.564 + 0.061SH + 0.051SW$, $R^2 = 0.933$; $W_{10} = -2.585 + 0.040SL + 0.149SH + 0.101SW$, $R^2 = 0.934$; and $W_{15} = -7.359 + 0.123SL + 0.210SH + 0.273SW$, $R^2 = 0.957$. This study provides a theoretical basis for selecting the best new strain and for the selection or breeding of good seeds of *C. sinensis*.

(本文编辑: 康亦兼)