

DOI: 10.12264/JFSC2022-0291

池塘中间培育不同月龄文蛤数量性状的通径分析

李昂^{1,2,3}, 李加琦^{2,3}, 刘鲁雷^{2,3}, 薛素燕^{2,3}, 张秀梅¹, 毛玉泽^{2,3}

1. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266071

摘要: 为探究池塘中间培育不同月龄文蛤(*Meretrix meretrix*)的生长特性, 测定了 10、15、20 月龄文蛤的壳长(SL)、壳宽(SW)、壳高(SH)和活体重量(BW)等参数, 运用相关分析、通径分析和多元回归分析等方法, 探讨了形态性状对活体重量的作用效果。结果显示, 10、15 月龄文蛤活体重量相关系数最高的形态性状为壳长(SL), 20 月龄文蛤活体重量相关系数最高的形态性状为壳宽(SW); 通径分析结果显示, 对 10、15 和 20 月龄文蛤活体重量直接影响最大的分别为壳长(SL)、壳高(SH)和壳宽(SW)。各月龄活体重量(BW)与形态性状建立的多元回归方程分别为 $BW_{10} = -2.976 + 0.100SL + 0.140SW + 0.101SH$ ($R^2 = 0.969$); $BW_{15} = -12.176 + 0.085SL + 0.441SW + 0.415SH$ ($R^2 = 0.957$); $BW_{20} = -21.506 + 0.255SL + 1.098SW + 0.152SH$ ($R^2 = 0.920$)。异速生长方程显示不同月龄文蛤具有不同的生长规律, 10 月龄文蛤为正异速生长, 15 月龄文蛤为等速生长, 而 20 月龄文蛤为负异速生长。结果表明, 在池塘中间培育期间, 影响文蛤活体重量的形态性状随文蛤龄期而变化, 10 月龄及 15 月龄对活体重量影响最大的分别为壳长和壳高, 但随着龄期的增加, 壳宽对活体重量的影响程度增加, 是 20 月龄时对活体重量影响最大的数量性状指标, 研究结果可为文蛤中间培育和选育提供理论参考。

关键词: 文蛤; 形态性状; 通径分析; 异速生长

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)12-1750-09

文蛤(*Meretrix meretrix*)隶属于软体动物门(Mollusca), 瓣鳃纲(Lamellibranchia), 帘蛤目(Veneroida), 帘蛤科(Veneroida), 文蛤属^[1], 是我国重要的养殖经济贝类之一。文蛤肉味鲜美, 是优质的蛋白源^[2], 但由于栖息环境遭受破坏、过度捕捞等原因, 文蛤种质和自然资源衰退严重^[3-5]。滩涂贝类池塘中间培育技术近年来受到广泛关注, 该技术通过健康管理措施将贝类稚贝培育到适合底播规格要求, 为浅海和池塘增养殖提供大规格优质健康苗种, 同时提高成活率, 促进其产业的发展^[6-7]。获取高活体重量是水产育种的目标之一, 其通常与可测量性状, 如壳长、壳宽、壳高等密

切相关^[8-11]。由于壳性状易于测量并且获得数据快速准确, 因此研究壳性状与活体重的关系, 对文蛤人工选育和高效养殖具有重要指导意义。在水产动物选育工作中, 相关分析、通径分析和多元回归分析得到了广泛应用, 研究发现影响鱼类体重的形态指标因种而异, 且同种鱼类不同规格、不同月龄间也存在显著差异。例如星康吉鳗(*Conger myriaster*)^[12]体重的主要决定性性状为肛长和头宽等, 而小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)^[13]体重的主要决定性性状为体长、躯干长等。决定圆斑星鲽(*Verasper variegatus*)^[14]和绿鳍马面鲀(*Thamnaconus modestus*)^[15]体重的主要决定性性状

收稿日期: 2022-08-29; 修订日期: 2022-09-20.

基金项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2019YFD0900800); 青岛海洋科学与技术试点国家实验室山东省专项经费项目(2021QNL050103-3, 2022QNL040003-4); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2020TD50).

作者简介: 李昂(1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向为滩涂贝类增养殖. E-mail: Liang19990217@163.com

通信作者: 毛玉泽, 男, 研究员, 研究方向为海水健康养殖理论与技术. E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn

随着月龄和规格的变化而显著改变。在贝类中, 虽然均为双壳贝类, 但是决定缢蛏(*Sinonovacula constricta*)^[16]、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)^[17]及虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)^[18]体重的主要性状存在显著差异。近年来文蛤池塘中间培育发展迅速, 培育出的大规格优质苗种支撑了贝类底播增殖产业的健康发展。然而, 关于池塘中间培育不同月龄文蛤这方面的研究目前尚未见报道。

异速生长机制普遍存在于生物生长模式中^[19-20], 通过对水生生物性状-活体重量关系的研究, 可以了解水生生物的生长变化和生长模式^[21], 对揭示生物早期生长发育信息具有重要意义。本研究对不同月龄文蛤的形态性状和活体重量进行相关分析和通径分析, 利用逐步回归方法建立了不同月龄文蛤的壳性状对活体重量的多元回归方程, 确定了不同月龄文蛤的壳性状和活体重量的相互关系, 并探讨了池塘中间培育条件下文蛤的生长规律, 以期文蛤的良种选育及苗种中间培育提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

实验所用文蛤取自山东得和水产养殖有限公司池塘中间培育养殖的文蛤, 分 3 批次采集了不同月龄的文蛤群体, 分别随机抽取了 100 枚、90 枚和 55 枚, 暂养 1 d 后测量。

1.2 形态性状和活体重量测定

清洗文蛤表面, 用滤纸吸干表面水分, 用数显卡尺(精度为 0.01 mm)分别测量文蛤的壳长(shell length, SL)、壳宽(shell width, SW)、壳高(shell height, SH), 具体测量位点见图 1。用电子天平(精度 0.01 g)称量活体重量(body weight, BW)。

1.3 数据处理与分析

通过 R3.6.2 及 SPSS17 软件对所得数据进行处理, 得到各数据的平均值(mean)、标准差(standard deviation, SD)和变异系数(coefficient of variation, CV)。根据 Huo 等^[22]的方法, 对各形态性状进行相关分析和通径分析, 并采用逐步回归的方法, 对活体重量建立回归方程, 设置显著性水平, $P < 0.05$ 为显著水平, $P < 0.01$ 为极显著水平。并建

立壳长与活体重量的异速生长方程。

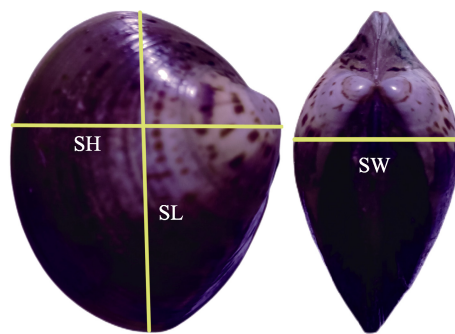


图 1 文蛤壳形态性状测量位点

SL: 壳长; SW: 壳宽; SH: 壳高.

Fig. 1 Landmark points of morphological measurement in *Meretrix meretrix*

SL: shell length; SW: shell width; SH: shell height.

决定系数计算公式:

$$d_i = P_i^2; d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j \quad (1)$$

式中, d_i 为 i 性状对活体重量的决定系数; d_{ij} 为 i 性状和 j 性状对活体重量的共同决定系数; P_i 、 P_j 分别为 i 性状、 j 性状对活体重量的通径系数; r_{ij} 为 i 性状与 j 性状的相关系数。

多元线性回归方程:

$$y = \beta_0 + \beta_1 S_1 + \beta_2 S_2 + \cdots + \beta_k S_k \quad (2)$$

式中, β_0 为常数项; β_1 、 β_2 、 $\cdots$ 、 β_k 为偏回归系数; S_1 、 S_2 、 $\cdots$ 、 S_k 为偏回归系数对应的自变量。

异速生长方程:

$$W = a \times L^b \quad (3)$$

式中, W 为活体重量; a 为常数; L 为壳长; b 为生长参数。若 $b < 3$, 表现为慢速增长(负异速生长); 若 $b = 3$, 表现为等速增长; 若 $b > 3$, 表现为快速增长(正异速增长)^[23]。本研究以文蛤不同月龄为节点划分生长曲线, 对生长系数 b 是否等于 3 进行 t 检验, 若通过显著性检验, 为异速生长, 否则为等速生长; 同时对不同生长阶段生长系数 b_1 、 b_2 进行 t 检验, 如存在差异($P < 0.05$), 则在此阶段内存在生长拐点^[24]。

2 结果与分析

2.1 不同月龄文蛤各性状的描述性统计量

不同月龄文蛤各性状的描述性统计量如表 1 所示。3 种不同月龄的文蛤的活体重量平均值分别为 (1.42 ± 0.43) g、 (6.84 ± 1.72) g 和 (12.76 ± 2.71) g。

表 1 不同月龄文蛤各性状的描述性统计量

Tab. 1 The parameter statistics of various traits of *Meretrix meretrix* of different month ages

参数 parameter	10 月龄 10 month age		15 月龄 15 month age		20 月龄 20 month age	
	平均值±标准差 mean±SD	变异系数/ % CV	平均值±标准差 mean±SD	变异系数/ % CV	平均值±标准差 mean±SD	变异系数/ % CV
壳长/mm SL	17.35±1.58	9.11	28.80±2.67	9.28	36.74±2.76	7.51
壳宽/mm SW	8.41±0.92	10.94	15.03±1.78	11.81	18.46±1.45	7.83
壳高/mm SH	14.65±1.42	9.67	23.97±2.28	9.52	30.35±2.86	9.43
活体重量/g BW	1.42±0.43	30.19	6.84±1.72	25.15	12.76±2.71	21.23

3 种不同月龄的文蛤中, 活体重量的变异系数均为最大。

2.2 不同月龄文蛤各性状的相关分析

对不同月龄文蛤各性状进行相关分析, 分析结果见表 2。所有性状均表现为极显著相关($P<0.01$), 其中 10 月龄和 15 月龄的文蛤壳长与活体重量的相关性最高, 分别为 0.973、0.925, 而 20 月龄的文蛤壳宽与活体重量的相关性最高, 为 0.938。10 月龄、20 月龄的文蛤所有形态性状之间均高度相关($r>0.7$), 15 月龄的文蛤除壳宽与壳高为中度相关($0.4<r<0.7$), 其余均为高度相关($r>0.7$)。

2.3 形态性状对活体重量的通径分析

不同月龄文蛤各性状对活体重量的通径系数均达到极显著水平($P<0.01$), 无形态性状被剔除(表 3)。10 月龄阶段, 壳长、壳宽、壳高的直接作用均小于间接作用。15 月龄阶段, 壳宽、壳高的直接作用大于间接作用, 只有壳长通过壳宽、壳高间接影响活体重量。20 月龄阶段, 只有壳宽的

直接作用大于间接作用, 壳长、壳高的直接作用均小于间接作用。

表 2 不同月龄文蛤各性状间的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients among the traits of *Meretrix meretrix* of different month ages

月龄/月 month age	参数 parameter	壳长 SL	壳宽 SW	壳高 SH	活体重量 BW
10	壳长 SL	1	0.938**	0.966**	0.973**
	壳宽 SW		1	0.920**	0.954**
	壳高 SH			1	0.966**
	活体重量 BW				1
15	壳长 SL	1	0.745**	0.824**	0.925**
	壳宽 SW		1	0.439**	0.795**
	壳高 SH			1	0.859**
	活体重量 BW				1
20	壳长 SL	1	0.880**	0.836**	0.910**
	壳宽 SW		1	0.767**	0.938**
	壳高 SH			1	0.827**
	活体重量 BW				1

注: **表示极显著相关($P<0.01$)。
Note: ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

表 3 不同月龄文蛤形态性状对活体重量的通径分析

Tab. 3 The path analysis of morphological traits on body weight of *Meretrix meretrix* of different month ages

月龄/月 month age	参数 parameter	相关系数 relative coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect path coefficient		
				Σ	壳长 SL	壳宽 SW
10	壳长 SL	0.973**	0.370**	0.603		0.282
	壳宽 SW	0.954**	0.301**	0.652	0.347	
	壳高 SH	0.966**	0.332**	0.634	0.357	0.277
15	壳长 SL	0.925**	0.132**	0.793		0.339
	壳宽 SW	0.795**	0.455**	0.340	0.098	
	壳高 SH	0.859**	0.551**	0.322	0.122	0.200
20	壳长 SL	0.910**	0.260**	0.650		0.516
	壳宽 SW	0.928**	0.586**	0.352	0.229	
	壳高 SH	0.827**	0.161**	0.666	0.217	0.449

注: **表示极显著相关($P<0.01$)。
Note: ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

2.4 形态性状对活体重量的决定程度分析

根据公式(1)得到各形态性状对活体重量的决定系数(表 4)。其中对角线为单一参数决定系数, 对角线上方为两个参数共同决定系数。10 月龄文蛤壳长对活体重量的单参数决定系数最大, 其次为壳高、壳宽, 壳长与壳高对活体重量的共同决定系数最大; 15 月龄文蛤壳高对活体重量的单参数决定系数最大, 其次为壳宽、壳长, 壳宽与壳高对活体重量的共同决定系数最大; 20 月龄文蛤壳宽对活体重量的单参数决定系数最大, 其次为壳长、壳高, 壳长与壳宽对活体重量的共同决定系数最大。10 月龄、15 月龄和 20 月龄文蛤的总决

表 4 不同月龄文蛤形态性状对活体重量的决定系数
Tab. 4 The determination coefficient of morphological traits on body weight of *Meretrix meretrix* of different month ages

月龄/月 month age	参数 parameter	壳长 SL	壳宽 SW	壳高 SH	总决定系数 total decision coefficient
10	壳长 SL	0.137	0.209	0.238	0.969
	壳宽 SW		0.091	0.184	
	壳高 SH			0.110	
15	壳长 SL	0.017	0.089	0.120	0.957
	壳宽 SW		0.207	0.220	
	壳高 SH			0.304	
20	壳长 SL	0.068	0.268	0.070	0.920
	壳宽 SW		0.343	0.145	
	壳高 SH			0.026	

定系数依次为 0.969、0.957、0.920。以活体重量为目标性状, 挑选 10 月龄文蛤时, 应首要选择壳长, 同时加强对壳高的共同选择; 挑选 15 月龄文蛤时, 应首要选择壳高, 同时加强对壳宽的共同选择; 挑选 20 月龄文蛤时, 应首要选择壳宽, 同时加强对壳长的共同选择。

2.5 形态性状对活体重量回归方程

对壳长、壳宽、壳高拟合散点图, 同时添加活体重量作为大小映射(图 2), 壳形态性状与活体重量间可能存在线性关系。采用逐步加入的方法, 以活体重量为因变量, 各壳形态性状为自变量进行回归分析, 并进行显著性检验, 得到对活体重量具有显著影响的各壳形态性状的偏回归系数(表 5)。建立了不同月龄文蛤形态性状对活体重的最优线性回归方程:

10 月龄: $BW_{10}=-2.976+0.100SL+0.140SW+0.101SH$, $R^2=0.969$

15 月龄: $BW_{15}=-12.176+0.085SL+0.441SW+0.415SH$, $R^2=0.957$

20 月龄: $BW_{20}=-21.506+0.255SL+1.098SW+0.152SH$, $R^2=0.920$

对最优多元线性回归方程进行方差分析(表 6), 结果表明形态性状与活体重量的回归均达到极显著水平($P<0.01$)。小规格的 F 值为 966.575, 中规格的 F 值为 634.743, 大规格的 F 值为 194.244, 均达到显著水平($P<0.05$), 说明方差分析有意义, 可以应用于实际生产。

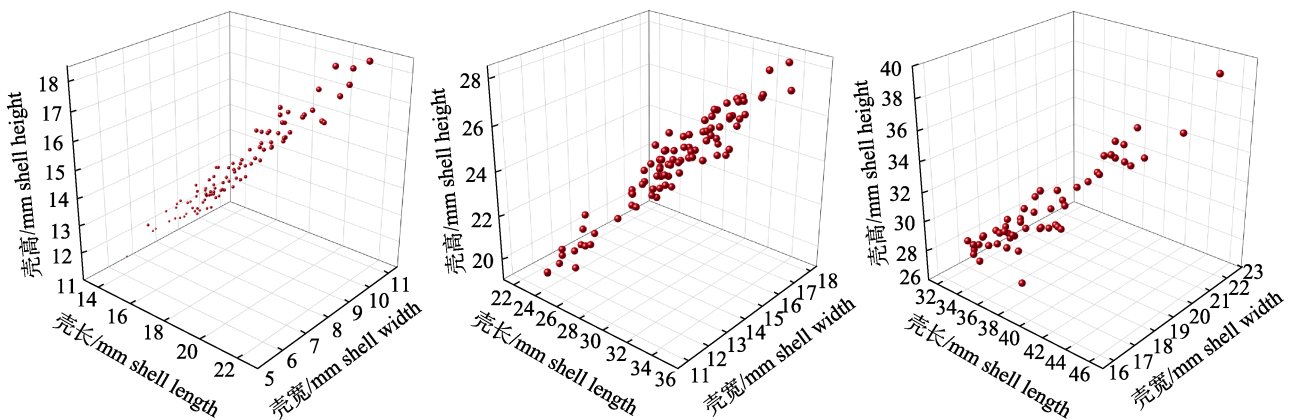


图 2 文蛤形态性状的三维散点图
活体重量作为点的大小映射.

Fig. 2 Three-dimensional scatter plot of morphological characters of *Meretrix meretrix* Body weight as the size mapping of points.

表 5 不同月龄文蛤形态性状的偏回归系数检验

Tab. 5 The test of partial regression coefficient of morphological traits of *Meretrix meretrix* with different month ages

月龄/月 month age	参数 parameter	偏回归系数 partral regression coefficient	标准误差 standard error	<i>t</i>	<i>P</i>
10	常数 constant	-2.976	0.090	-32.941	<0.001
	壳长 SL	0.100	0.022	4.596	<0.001
	壳宽 SW	0.140	0.025	5.633	<0.001
	壳高 SH	0.101	0.022	4.661	<0.001
15	常数 constant	-12.176	0.440	-27.674	<0.001
	壳长 SL	0.085	0.039	2.188	0.031
	壳宽 SW	0.441	0.037	11.991	<0.001
	壳高 SH	0.415	0.034	12.335	<0.001
20	常数 constant	-21.506	1.462	-14.706	<0.001
	壳长 SL	0.255	0.097	2.635	0.011
	壳宽 SW	1.098	0.158	6.946	<0.001
	壳高 SH	0.152	0.069	2.205	0.032

注: *t* 表示检验统计量.
Note: *t* indicates the test statistic.

表 6 多元回归方程方差分析表
Tab. 6 Analysis of variance of multiple regression equation

月龄/月 month age	方差来源 source of variance	自由度 df	平方和 sum of squares	均方 mean square	<i>F</i>	<i>P</i>
10	回归 regression	3	17.649	5.883	966.575	<0.001
	残差 residual	96	0.584	0.006		
	总计 total	99	18.233			
15	回归 regression	3	251.675	83.892	634.743	<0.001
	残差 residual	86	11.366	0.132		
	总计 total	89	263.041			
20	回归 regression	3	364.262	121.421	194.244	<0.001
	残差 residual	51	31.880	0.625		
	总计 total	54	396.142			

2.6 构建异速生长方程

对不同月龄文蛤的壳长分别与活体重量进行幂函数指数回归(图 3), 得到异速生长方程:

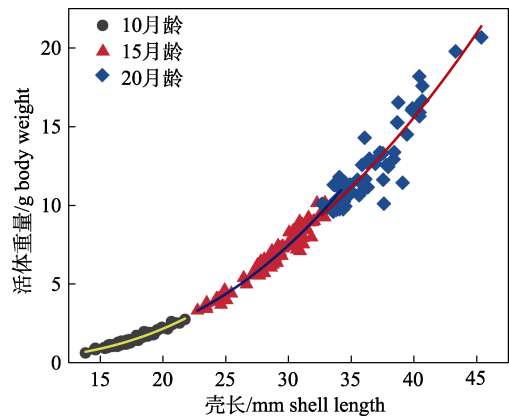


图 3 文蛤壳长随活体重量的变化

Fig. 3 Shell length-body weight of *Meretrix meretrix*

10 月龄: $BW_{10}=1.795\times10^{-4}\times SL^{3.136}$, ($n=100$, $R^2=0.958$)

15 月龄: $BW_{15}=2.978\times10^{-4}\times SL^{2.979}$, ($n=90$, $R^2=0.962$)

20 月龄: $BW_{20}=1.928\times10^{-3}\times SL^{2.437}$, ($n=55$, $R^2=0.813$)

经显著性分析, 均表现为极显著差异($P<0.001$)。10~20 月龄壳长的生长参数 b 值分别为 3.136、2.979 和 2.437, t 检验结果显示 10 月龄文蛤及 20 月龄文蛤具有显著性差异, 15 月龄文蛤不具有显著性差异, 即 10 月龄文蛤表现为快速生长(正异速生长), 活体重量的增长速度大于壳长的增长速度; 15 月龄文蛤表现为等速生长; 而 20 月龄文蛤表现为慢速生长(负异速生长), 活体重量的增长速度小于壳长的增长速度。对 10~20 月龄

文蛤的生长参数进行显著性分析, 结果显示在 10~20 月龄之间存在生长拐点($P<0.05$), 即在 10~15 月龄之间先由快速生长转换为等速生长, 随后又在 15~20 月龄转化为慢速生长。

3 讨论

3.1 不同月龄文蛤形态性状与活体重量的关系

变异系数是衡量多个性状变异程度的统计量, 在水产动物选育中, 认为变异系数较大的性状具有更高的遗传选育潜力, 可作为选育目标性状^[25]。本研究, 不同月龄的文蛤中变异系数最大的均为活体重量, 变异系数分别为 30.19%、25.15%和 21.23%, 表明以活体重量作为选育目标性状最优。在实际选育过程中, 体重作为目标性状易受客观因素干扰, 因此可通过形态性状达到间接选育目的^[26]。

在本研究中, 3 种不同月龄的文蛤, 3 种形态性状对活体重量的直接通径系数均达到极显著水平($P<0.01$), 3 种不同月龄文蛤直接通径系数最高的分别是壳长(0.370)、壳高(0.551)和壳宽(0.586), 表明形态性状在不同时期对文蛤活体重量的影响程度不同。10 月龄的文蛤, 主要影响性状为壳长, 其次为壳高; 15 月龄的文蛤, 主要影响性状为壳高, 其次为壳宽; 20 月龄的文蛤, 主要影响性状为壳宽。方军等^[8]所做的不同壳色的文蛤的通径分析结果显示, 影响黑斑文蛤活体重最大的壳性状为壳高, 其次为壳宽; 而影响红色文蛤活体重最大的是壳长, 其次为壳高。结果表明不同种文蛤的主要选择指标不同, 这可能与贝类从稚贝到幼贝生长发育时的资源分配策略有关。与不同种贝类相比, 也存在部分差异。杜美荣等^[27]、刘小林等^[28]对栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)的通径分析显示, 1 龄时主要影响因子为壳长, 其次为壳高; 2 龄时主要影响因子为壳高, 其次为壳宽。而李莉等^[29]对毛蚶(*Scapharca subcrenata*)的通径分析显示, 1 龄毛蚶主要影响因子为壳长, 2 龄毛蚶主要影响因子为壳长和壳宽, 3 龄时影响毛蚶体重的主要因子为壳宽。这些研究结果说明不同双壳贝类生活习性、发育规律不同, 壳性状对活体重量的影响程度也不同, 因此通径分析结果存在差

异。但对不同贝类的分析均显示, 在不同生长阶段选择不同的形态特征, 可以达到间接选择活体重量的目的。本研究结果显示, 以活体重量为目标性状时, 不同龄期阶段文蛤苗种筛选所依据的形态性状应有所差异, 10 月龄文蛤在选育时应以壳长为主要选择性状, 以壳高为辅助选择性状; 15 月龄文蛤的主要选择性状为壳高, 辅助选择性状为壳宽; 而 20 月龄文蛤则以壳宽为主要选择性状。

3.2 异速生长分析

水生生物的异速生长关系通常用体长-体重函数关系式来表达^[30]。刘勇等^[31]通过研究小黄鱼体长-体重关系推断出小黄鱼产卵群体分布情况, 瞿俊跃等^[32]通过研究东海外海渔场蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)叉长-体重关系发现其在时间及性别上存在显著差异, Lee 等^[33]通过研究 6~12 龄中国鲎(*Tachypleus tridentatus*)头胸部宽-体重关系确定了温度对生长的影响, 探究水生生物体长-体重的关系, 对渔业资源评估和管理有十分重要的意义^[34]。本研究中采用壳长性状作为文蛤生长指标, 活体重量反映文蛤生长情况, 构建幂指数回归方程, 得到生长参数 b 用来评价文蛤的异速生长率^[35]。本研究结果显示, 在池塘中间培育过程中, 温度、盐度等环境条件适宜, 饵料丰富, 天敌少, 10 月龄文蛤为正异速生长, 15 月龄文蛤为等速生长, 20 月龄文蛤为负异速增长, 同时存在生长拐点, 结果和刘世禄等^[36]一致。原因可能是文蛤稚贝把更多能量用于增加体重, 在生长到一定阶段后生长策略转变, 更多能量被用于增加壳长, 以便于保护自身^[24]。异速生长现象充分体现了文蛤早期发育对生长环境的适应能力, 通过探究文蛤早期生活阶段的生长规律, 可为池塘中间培育阶段文蛤的生长监测及遗传育种选择指标提供参考。

致谢: 感谢山东得和水产养殖有限公司为本研究提供实验场所和文蛤样品。

参考文献:

- [1] Zhang A G, Li T W, Su X R, et al. Current status and prospect of *Meretrix meretrix* culture[J]. Fisheries Science, 2005, 24(2): 31-33. [张安国, 李太武, 苏秀榕, 等. 文蛤养殖现状及展望[J]. 水产科学, 2005, 24(2): 31-33.]

- [2] Zhang A G, Li T W, Su X R, et al. The nutritive contents in various populations of clam *Meretrix meretrix*[J]. Fisheries Science, 2006, 25(2): 79-81. [张安国, 李太武, 苏秀榕, 等. 不同地理种群文蛤的营养成分研究[J]. 水产科学, 2006, 25(2): 79-81.]
- [3] Lin Z H, Shan L Z, Chai X L, et al. Study on the gonad development and reproductive cycle of *Meretrix meretrix* Linnaeus[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(5): 510-514. [林志华, 单乐州, 柴雪良, 等. 文蛤的性腺发育和生殖周期[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 510-514.]
- [4] He C B, Cong L L, Ge L L, et al. AFLP analysis of cultured and wild hard clam (*Meretrix meretrix*) populations[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(2): 215-221. [赫崇波, 丛林林, 葛陇利, 等. 文蛤养殖群体和野生群体遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 215-221.]
- [5] Zheng P. Genetic diversity analysis of three generations of selective breeding of *Meretrix meretrix*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013. [郑培. 文蛤三个选育世代的多样性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.]
- [6] da Costa F, Barreiro B, Ojea J, et al. Effects of stocking density on intermediate culture of the razor clam *Ensis arcuatus* (Pharidae: Bivalvia)[J]. Aquaculture Research, 2015, 46(8): 1858-1865.
- [7] Liu Z G, Liu J Y, Liu F. Effects of tide level, culture density and season on growth and survival of wrinkled clam, *Meretrix lyrata*, juveniles[J]. Marine Sciences, 2011, 35(10): 34-41. [刘志刚, 刘建勇, 刘付少梅. 不同潮位、密度及季节对皱肋文蛤中间培育效果的影响[J]. 海洋科学, 2011, 35(10): 34-41.]
- [8] Fang J, Xiao G Q, Zhang J M, 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): 310-315. [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): 310-315.]
- [9] Dong S R, Kong J, Wan C K, et al. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Marine Fisheries Research, 2007, 28(3): 15-22. [董世瑞, 孔杰, 万初坤, 等. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 15-22.]
- [10] Wang H X, Chai X, Liu B Z. Estimation of genetic parameters for growth traits in cultured clam *Meretrix meretrix* (Bivalvia: Veneridae) using the Bayesian method based on Gibbs sampling[J]. Aquaculture Research, 2011, 42: 240-247.
- [11] Wang Y Z, Deng Z H, Wang Y, et al. Correlation and path analyses of quantitative traits in different shell color F6 lines of pearl oyster (*Pinctada fucata*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(5): 988-997. [王祎哲, 邓正华, 王雨, 等. 合浦珠母贝不同壳色选育系 F6 数量性状的相关性和通径分析[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 988-997.]
- [12] Zhang X M, Cheng S F. Path analysis and growth curve fitting of the morphological traits and body weight of *Conger myriaster*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(10): 1167-1175. [张新明, 程顺峰. 星康吉鳗形态性状与体重的通径分析及生长曲线拟合[J]. 中国水产科学, 2020, 27(10): 1167-1175.]
- [13] Liu F, Chen L, Lou B, et al. Correlation and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(3): 655-662. [刘峰, 陈琳, 楼宝, 等. 小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(3): 655-662.]
- [14] Bian L, Liu C L, Chen S Q, 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 Sciences of China, 2017, 24(6): 1168-1175. [边力, 刘长琳, 陈四清, 等. 不同生长期圆斑星鲽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.]
- [15] Bian L, Liu G, Zhang Q W, et al. Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight of *Thamnaconus septentrionalis* at different sizes[J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(5): 50-57. [边力, 刘刚, 张庆文, 等. 不同规格绿鳍马面鲀形态性状对体重影响的通径分析[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(5): 50-57.]
- [16] Xue B B, Li H, Niu D H, 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. [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.]
- [17] Liang J, Wang J J, Guo Y J, 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. [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.]
- [18] Du M R, Liu Y, Jiang Z J, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits in bottom-cultured yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Fisheries Science, 2015, 34(1): 8-13. [杜美荣, 刘毅, 蒋增杰, 等. 底播虾夷扇贝数量性状的相关性和通径分析[J]. 水产科学, 2015, 34(1): 8-13.]
- [19] Niklas K J. Plant Allometry: the Scaling of Form and Process[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1994.

- [20] Han W X, Fang J Y. Review on the mechanism models of allometric scaling laws: 3/4 vs. 2/3 power[J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(4): 951-960. [韩文轩, 方精云. 幂指数异速生长机制模型综述[J]. 植物生态学报, 2008, 32(4): 951-960.]
- [21] Santos M N, Gaspar M B, Vasconcelos P, et al. Weight-length relationships for 50 selected fish species of the Algarve coast (southern Portugal)[J]. Fisheries Research, 2002, 59(1-2): 289-295.
- [22] 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.
- [23] Hidalgo-De-La-Toba J A, González-Peláez S S, Morales-Bojórquez E, et al. Geoduck *Panopea generosa* growth at its southern distribution limit in north America using a multimodel inference approach[J]. Journal of Shellfish Research, 2015, 34(1): 91-99.
- [24] Cheng D C, Ma Z H, Jiang S G. Allometric growth in larval and juvenile crimson snapper *Lutjanus erythropterus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(1): 206-213. [程大川, 马振华, 江世贵. 红鳍笛鲷仔、稚鱼异速生长[J]. 水生生物学报, 2017, 41(1): 206-213.]
- [25] Li Y H, Chen S A, Cheng Y. Path analysis and growth curve fitting of morphological traits and body weight of *Triplophysa yarkandensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(1): 49-57. [李艳慧, 陈生熬, 程勇. 叶尔羌高原鳅形态性状与体重的通径分析及曲线拟合[J]. 中国水产科学, 2022, 29(1): 49-57.]
- [26] Chen H L, Tian Y S, Liu F, et al. Path analysis and curve estimates of morphometric traits and body weight of *Paralichthys olivaceus* at different growth stages[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 64-76. [陈红林, 田永胜, 刘峰, 等. 不同时期牙鲆形态性状对体重影响的通径分析及曲线拟合研究[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 64-76.]
- [27] Du M R, Fang J G, Gao Y P, 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. [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.]
- [28] Liu X L, Chang Y Q, Xiang J H, 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. [刘小林, 常亚青, 相建海, 宋坚, 丁君. 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.]
- [29] Li L, Zheng Y Y, Xu K F, et al. The relationship between morphometric traits and body weight of *Scapharca subcrenata* at different ages[J]. Marine Sciences, 2015, 39(6): 54-58. [李莉, 郑永允, 徐科凤, 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.]
- [30] Li Z L. Interannual changes in biological characteristics of small yellow croaker *Larimichthys polyactis*, Pacific cod *Gadus macrocephalus* and anglerfish *Lophius litulon* in the Bohai Sea and Yellow Sea[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2011. [李忠炉. 黄渤海小黄鱼、大头鳕和黄鮟鱇种群生物学特征的年际变化[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2011.]
- [31] Liu Y, Cheng J H. Study on the correlation between spatial distributions of the spawning groups and the power b in length-weight relation function of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*)[J]. Haiyang Xuebao, 2014, 36(6): 124-130. [刘勇, 程家骅. 小黄鱼 *Larimichthys polyactis* 体长-体重关系幂指数与产卵群体空间分布相关性研究[J]. 海洋学报(中文版), 2014, 36(6): 124-130.]
- [32] Qu J Y, Fang Z, Chen X J. Monthly and sexual differences in the growth of Japanese Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) based on a linear mixed model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(8): 953-960. [瞿俊跃, 方舟, 陈新军. 基于线性混合模型的蓝点马鲛叉长和体重关系的月间及性别差异[J]. 中国水产科学, 2020, 27(8): 953-960.]
- [33] Lee C N, Morton B. Experimentally derived estimates of growth by juvenile *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* (Xiphosura) from nursery beaches in Hong Kong[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2005, 318(1): 39-49.
- [34] Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2006, 22(4): 241-253.
- [35] González-Peláez S S, Morales-Bojórquez E, Lluch-Cota D B, et al. Modeling geoduck growth: Multimodel inference in *Panopea globosa* from the southwestern Baja California peninsula, Mexico[J]. Journal of Shellfish Research, 2015, 34(1): 101-112.
- [36] Liu S L, Yang A G. Healthy culture techniques of main marine shellfish in China[M]. Beijing: Ocean Press, 2005. [刘世禄, 杨爱国. 中国主要海产贝类健康养殖技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.]

Path analysis of quantitative characters of different-age *Meretrix meretrix* intermediate cultivation in ponds

LI Ang^{1,2,3}, LI Jiaqi^{2,3}, LIU Lulei^{2,3}, XUE Suyan^{2,3}, ZHANG Xiumei¹, MAO Yuze^{2,3}

1. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

3. Marine Ecology and Environmental Science Laboratory, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China

Abstract: To explore the growth characteristics of *Meretrix meretrix* in ponds in various months, the shell length (SL), shell width (SW), shell height (SH), and body weight (BW) of *M. meretrix* at 10, 15, and 20 months of age were measured. The effects of morphological traits on body weight were discussed through correlation, path, and multiple regression analyses. The results showed that the morphological trait with the highest correlation coefficient at 10 and 15 months was SL, and the morphological trait with the highest correlation coefficient of 20 months was SW. Path analysis showed that SL, SH, and SW had the greatest direct impact on the body weight of *M. meretrix* at the age of 10–20 months. The multiple regression equations established by BW and morphological traits were $BW_{10} = -2.976 + 0.100SL + 0.140SW + 0.101SH$ ($R^2 = 0.969$); $BW_{15} = -12.176 + 0.085SL + 0.441SW + 0.415SH$ ($R^2 = 0.957$); and $BW_{20} = -21.506 + 0.255SL + 1.098SW + 0.152SH$ ($R^2 = 0.920$). The allometric growth equation showed that *M. meretrix* followed different growth laws at different ages: positive allometric growth at 10 months, isokinetic growth at 15 months, and negative allometric growth at 20 months. The results showed that the morphological traits affecting the live weight of *M. meretrix* changed significantly with the increase in the age of *M. meretrix*. SL and SH had the greatest impact on BW at 10 and 15 months, respectively. However, with the increase in the age of *M. meretrix*, the influence of SW on BW increased, which was the quantitative trait index that had the greatest impact on the body weight at the age of 20 months. The results could provide a theoretical reference for the breeding of *M. meretrix*.

Key words: *Meretrix meretrix*; morphological character; path analysis; allometric growth

Corresponding author: MAO Yuze. E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn