

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20180717.001

刘莹,于超勇,于道德,等.不同生长时期大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)形态性状与体质量的通径分析及曲线拟合研究[J].广西科学院学报,2018,34(3):181-190.

LIU Y, YU C Y, YU D D, et al. Path coefficient analysis and curve estimates for body mass and morphometric traits of *Scophthalmus maximus* at different growth stages[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2018, 34(3): 181-190.

不同生长时期大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)形态性状与体质量的通径分析及曲线拟合研究*

Path Coefficient Analysis and Curve Estimates for Body Mass and Morphometric Traits of *Scophthalmus maximus* at Different Growth Stages

刘莹¹, 于超勇¹, 于道德¹, 宋静静¹, 宋宗诚², 赵文溪¹, 刘洪军¹, 官曙光^{1**}
LIU Ying¹, YU Chaoyong¹, YU Daode¹, SONG Jingjing¹, SONG Zongcheng², ZHAO Wenxi¹, LIU Hongjun¹, GUAN Shuguang¹

(1. 山东省海洋生物研究院, 山东省海水健康养殖工程技术研究中心, 山东省海水养殖病害防治重点实验室, 山东青岛 266104; 2. 威海圣航水产科技有限公司, 山东威海 264200)

(1. Healthy Mariculture Engineering Technology Research Center of Shandong Province, Shandong Province Key Laboratory for Disease Control in Mariculture, Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266104, China; 2. Weihai Shenghang Aquatic Science and Technology Co., LTD, Weihai, Shandong, 264200, China)

摘要:【目的】深入了解不同生长时期大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)形态性状与体质量之间的关系, 确定适于大菱鲂人工选育的主要测量指标。【方法】应用相关性分析、通径分析和多元回归分析方法对大菱鲂6月龄幼鱼及14月龄成鱼全长(TL)、体长(BL)、头长(HL)、体高(BD)、尾柄宽(THH)、体厚(BW)和体质量(BM)7个性状进行分析, 同时通过曲线拟合分析获得形态性状与体质量之间的最佳拟合模型。【结果】不同生长时期, 大菱鲂各形态性状与体质量的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$)。6月龄阶段, 全长(TL)、体高(BD)、体厚(BW)、头长(HL)的直接通径系数达到显著水平($P < 0.05$); 14月龄阶段, 全长(TL)、体厚(BW)、尾柄宽(THH)的直接通径系数达极显著水平($P < 0.01$), 并建立2个生长时期不同性状对体质量的回归方程。6月龄阶段, 进入回归方程的各形态性状与体质量(BM)的最优曲线拟合模型均为线性函数模型; 14月龄阶段, 进入回归方程的各形态性状与体质量(BM)的最优曲线拟合模型均为幂函数模型。【结论】不同时期, 影响大菱鲂体质量的主要形态性状不同, 且各形态性状对大菱鲂体质量的作用效果也不尽相同, 适用的

最优拟合模型也不同。建议将全长(TL)(6~14月龄)作为幼鱼与成鱼阶段的主要育种目标性状, 同时幼鱼阶段辅以体高(BD)、体厚(BW)和头长(HL)作为参考性状, 成鱼阶段辅以体厚(BW)和尾柄宽(THH)为参考性状, 从而有效提高大菱鲂的选育效率, 为大菱鲂选育提供测量指标与理论支持。

关键词:大菱鲂 形态性状 体质量 相关分析 通径分析 模型拟合

中图分类号: Q348; S965.3 文献标志码: A 文章编号: 1002-7378(2018)03-0181-10

收稿日期: 2018-05-09

作者简介: 刘莹(1990-), 女, 研究实习员, 主要从事水产养殖研究。

* 山东省农业良种工程“优质抗病速生鱼类新品种选育”, 山东省现代农业产业体系鱼类创新团队(SDAIT-14-02)和山东省2017年度自然科学基金(ZR2017PC014)资助。

** 通信作者: 官曙光(1963-), 男, 研究员, 主要从事水产养殖研究, E-mail: shuguang63@126.com。

Abstract:【Objective】In order to understand the relationship between body mass and morphometric traits of *Scophthalmus maximus* at different growth stages and determine the main measurement indicators suitable for artificial selection of *Scophthalmus maximus*. **【Methods】**Body mass (BM) and six morphometric traits which consists of total length (TL), body length (BL), head length (HL), body depth (BD), tail handle height (THH) and body width (BW) were measured in 489 individuals of 6 months old and 439 individuals of 14 months old. The correlations coefficient, path coefficient indirect path coefficient and determinant coefficient were calculated by correlation and path analysis. The multivariate regression equations which with the morphological traits as variables and body mass as the dependent variable were established by stepwise regression analysis. The best curve models for 6 months old and 14 months old individuals were selected in six curve-fitting models. **【Results】**The results showed that the correlations coefficient between two different traits were extremely significant ($P < 0.01$). The path coefficients of TL, BD, BW, HL for body mass were significant ($P < 0.05$) at 6 months old, and the path coefficients of TL, BW, THH were extremely significant ($P < 0.01$) at 14 months old. Removed the unimportant traits, the multivariate regression equations were established at two different growth stages. At the age of 6 months, the optimal curve fitting models for each morphological trait and body mass (BM) of the regression equation were linear function models. At the 14-month-old stage, the optimal curve fitting models for each morphological traits and body mass (BM) of the regression equation were all power function models. **【Conclusion】**For juvenile and adult fish in different period, the main morphological traits of *Scophthalmus maximus* were different, and the effects of various morphological traits on the body mass of *Scophthalmus maximus* were also different. The applicable optimal fitting model was also different. It was recommended to use total length (TL) (6—14 months old) as the main breeding target trait in juvenile and adult stages, and the juvenile stage was supplemented by body depth (BD), body width (BW) and head length (HL). For reference traits, the adult fish stage was supplemented by body width (BW) and tail handle height (THH) as reference traits, which could effectively improve the selective breeding efficiency and provide measurement indicators and theoretical support for the selective breeding of *Scophthalmus maximus*.

Key words: *Scophthalmus maximus*, morphometric traits, body mass, correlation analysis, path analysis, model fitting

0 引言

【研究意义】大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*), 隶属于硬骨鱼纲鲽形目鲆科, 为冷、温性底栖海水鱼类, 原产于欧洲大西洋东北部, 具有生长迅速、耐低温、肉质鲜美等特点, 是世界公认的名贵海产品种之一^[1-2]。1992年, 我国首次引进大菱鲆进行人工驯养; 1999年以后, 随着大菱鲆苗种规模化生产技术的突破, 我国的大菱鲆养殖产业得到迅速发展, 大菱鲆逐渐成为我国北方沿海海水养殖的主导品种之一^[3]。然而, 随着大菱鲆产业的发展, 野生亲鱼累代繁殖、近亲交配等问题日益突出, 种质退化严重^[4-5]。为保证大菱鲆产业的可持续健康发展, 开展具有优良性状的大菱鲆新品种(系)选育势在必行。在选育过程中, 体质量是定向培育的常用指标, 也是生产性能的直接反映^[6-7], 但由于水产生物易受基因连锁、环境因素等影响^[8], 体质量的测量

较形态性状测定准确性较低^[5]。因此, 通过分析不同生长时期大菱鲆形态性状与体质量的关系, 明确各性状之间的相关性与作用效果, 实现形态性状对体质量的选择, 具有重要的现实意义。**【前人研究进展】**相关性分析是两变量之间相互作用的综合, 是衡量不同性状之间关联程度的重要方法之一^[9-10]; 通径分析是一种多元统计技术^[11], 可将因变量与自变量的相互作用分解为直接作用和间接作用^[12-13], 是明确不同性状之间关联原因的主要方式之一。近年来, 相关性分析与通径分析已广泛应用于鱼、虾、贝、蟹^[6, 14-19]等水产生物, 王新安等^[5]对3月龄大菱鲆幼鱼9个表型形态性状与体重之间的关系进行分析, 于飞等^[20]采用相关性分析及通径分析方法进行3月龄大菱鲆幼鱼7个测量性状对体重的影响效果分析, 但以上研究均集中在大菱鲆幼鱼阶段, 对于大菱鲆不同生长时期(幼鱼与成鱼阶段)形态性状与体质量之间关系的相关研究尚未报道。**【本研究切入点】**

选择大菱鲂 6 个形态性状,应用相关性分析、通径分析及多元回归方程,衡量 6 月龄(幼鱼)和 14 月龄(成鱼)大菱鲂各性状与体质量的关联程度。【拟解决的关键问题】深层次剖析形态性状对体质量的直接与间接作用,筛选出归入回归方程的形态性状与体质量的最佳曲线拟合模型,为大菱鲂不同生长时期的选育工作提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

实验所使用的大菱鲂样本取自威海圣航水产科技有限公司 2014 年所构建的多亲本后代混养群体。

1.2 方法

待实验个体生长至 6 月龄与 14 月龄时,分别随机取样 489 尾和 439 尾,利用游标卡尺逐尾测量全长(TL)、体长(BL)、头长(HL)、体高(BD)、尾柄宽(THH)、体厚(BW)共 6 个形态性状(精确到 0.01 cm),利用电子天平准确称量大菱鲂体质量(BM)(精确到 0.01 g)。

(1) 基本描述参数统计

利用 SPSS16.0 软件对 6 月龄和 14 月龄大菱鲂的体质量及 6 个形态性状进行描述性统计,包括样本数、最大值、最小值、平均值、标准差及变异系数($C*V$)。其中,变异系数为标准差与平均值的比值。

变异系数($C*V$) = 标准差(SD)/平均值(mean) * 100%。

(2) 相关分析与通径分析

利用 Pearson 相关分析,分别对两个生长阶段的大菱鲂各性状数据进行分析,以 6 月龄、14 月龄大菱鲂 6 个形态性状为自变量,体质量为因变量,应用 SPSS16.0 软件,分别建立两个生长阶段的多元回归方程,通过对回归系数进行标准化获得各自变量对因变量的通径系数。利用自变量之间的相关系数及对因变量的通径系数,计算获得各自变量对因变量的间接通径系数: $P_{X_i X_j} = r_{X_i X_j} \times P_{X_j Y}$, 其中, $P_{X_j Y}$ 为间接通径系数, X_i 、 X_j 为自变量的标志值, Y 为因变量的标志值, $r_{X_i X_j}$ 为形态性状 X_i 和 X_j 之间的相关系数, $P_{X_j Y}$ 为性状 X_j 对 Y 的通径系数。

利用相关系数和通径系数计算形态性状对体质量的决定系数,以及两性状与体质量之间的共同决定系数。

$$d_{X_i Y} = P_{X_i Y}^2;$$

$$d_{X_i X_j} = 2r_{X_i X_j} P_{X_i Y} P_{X_j Y},$$

其中, $d_{X_i Y}$ 为性状 X_i 对 Y 的决定系数, $d_{X_i X_j}$ 为性状 X_i 、 X_j 与 Y 间的共同决定系数, $P_{X_i Y}$ 、 $P_{X_j Y}$ 为分别为两性状对因变量 Y 的通径系数。

(3) 最优曲线拟合模型筛选

为研究单个形态性状与体质量的关系,分别以归入 6 月龄、14 月龄大菱鲂多元回归方程的形态性状为自变量,体质量(BM)为因变量绘制散点图,并利用表 1 中的 6 个曲线模型进行拟合,筛选最优拟合模型。

表 1 拟合曲线模型公式

模型 Model	公式 Formula	模型 Model	公式 Formula
线性 Linear	$y = b_0 + b_1 x$	生长 Growth	$y = e(b_0 + \frac{b_1}{x})$
对数 Logarithmic	$y = b_0 + b_1 \ln x$	指数 Exponential	$y = b_0 e^{b_1 x}$
幂函数 Power	$y = b_0 x^{b_1}$	逻辑斯蒂 Logistic	$y = \frac{1}{\frac{1}{u} + b_0(b_1^2)}$

Table 1 Curve model and its formula used for model fitting

2 结果与分析

2.1 表型参数统计

大菱鲂各性状的变异系数在不同月龄阶段均表现出差异,其中 6 月龄体质量的变异系数为 0.319, 14 月龄体质量的变异系数为 0.266,两个生长阶段体质量的变异系数均为最大,说明体质量具有较大的选择潜力(表 2,6 月龄大菱鲂样本数为 489,14 月龄大菱鲂样本数为 439)。6 月龄与 14 月龄时期,变异系数最小均为全长。除体质量外,其他性状的变异系数为 0.083~0.128,0.076~0.168,均相对较小,因此通过形态性状对体质量进行间接选择,可较大程度地提高选择的准确性。

2.2 相关系数

大菱鲂幼鱼及成鱼阶段两个生长时期,不同性状之间相关系数差别较大,且均保持与体质量的高度相关性(表 3)。6 月龄,大菱鲂体质量与形态性状的相关系数由大到小依次为全长(TL) > 体高(BD) > 体长(BL) > 头长(HL) > 体厚(BW) > 尾柄宽(THH);14 月龄为全长(TL) > 体长(BL) > 体厚(BW) > 尾柄宽(THH) > 头长(HL) > 体高(BD)。

2.3 通径分析结果

采用逐步回归(stepwise)的方法构建大菱鲂幼鱼期和成鱼期多元回归方程。随着自变量被逐步引入回归方程(表 4),相关系数 R 与决定系数 R^2 逐步增大;同时,在建立回归方程的过程中也剔除回归系

数不显著的自变量性状,6月龄阶段模型的决定系数为0.933,剩余因子 $e = \sqrt{1 - R^2} = 0.258$;14月龄阶段模型的决定系数为0.938,剩余因子 $e =$

$\sqrt{1 - R^2} = 0.249$,两个生长阶段的剩余因子均较高,表明还有部分因素未被列入回归方程,因此需要对其他体质量影响因素进行深入研究。

表2 6月龄和14月龄大菱鲂体质量和形态性状的描述性统计结果

Table 2 Descriptive statistics for the morphometric traits and body mass of 6 and 14 months old *Scophthalmus maximus*

项目 Item	性状 Trait(6月龄,6 Months)							性状 Trait(14月龄,14 Months)						
	全长 TL (cm)	体长 BL (cm)	头长 HL (cm)	体高 BD (cm)	尾柄宽 THH (cm)	体厚 BW (cm)	体质量 BM (g)	全长 TL (cm)	体长 BL (cm)	头长 HL (cm)	体高 BD (cm)	尾柄宽 THH (cm)	体厚 BW (cm)	体质量 BM (g)
最小值 Min	19.11	15.75	4.52	10.45	1.92	1.70	110	23.03	19.27	6.58	12.67	2.39	1.9	215.8
最大值 Max	28.82	25.07	8.46	17.37	4.08	3.00	568.40	37.84	32.39	12.02	27.08	4.98	3.20	1 243.2
平均值 Mean	22.329	19.071	6.321	12.957	2.631	2.224	254.225	30.372	25.745	8.953	19.622	3.469	2.475	586.878
标准差 SD	1.844	1.743	0.614	1.241	0.337	0.234	81.156	2.302	2.209	0.724	3.295	0.411	0.308	156.156
变异系数 C*V	0.083	0.091	0.097	0.096	0.128	0.105	0.319	0.076	0.086	0.081	0.168	0.118	0.124	0.266

表3 6月龄和14月龄大菱鲂各性状间的相关系数

Table 3 Phenotypic correlations between the studied traits of *Scophthalmus maximus* at 6 months and 14 months

性状 Trait	6月龄 6 Months						14月龄 14 Months					
	体质量 BM	全长 TL	体长 BL	头长 HL	体高 BD	尾柄宽 THH	体质量 BM	全长 TL	体长 BL	头长 HL	体高 BD	尾柄宽 THH
全长 TL	0.947**						0.915**					
体长 BL	0.873**	0.929**					0.868**	0.925**				
头长 HL	0.802**	0.811**	0.811**				0.766**	0.814**	0.766**			
体高 BD	0.924**	0.913**	0.889**	0.801**			0.615**	0.601**	0.727**	0.553**		
尾柄宽 THH	0.757**	0.777**	0.863**	0.695**	0.807**		0.767**	0.762**	0.795**	0.654**	0.751**	
体厚 BW	0.780**	0.718**	0.553**	0.576**	0.706**	0.478**	0.839**	0.789**	0.752**	0.681**	0.554**	0.668**

注:**表示极显著相关($P < 0.01$)

Note:** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$)

表4 模型概述

Table 4 Model summary

生长阶段 Growth stages	模型 Model	相关系数 Correlation coefficients R	决定系数 Determination coefficients R ²	校正决定系数 Adjusted coefficient of determination R ²
6月龄 6 Months	第1步 The first step	0.947 ^a	0.897	0.897
	第2步 The second step	0.958 ^b	0.918	0.917
	第3步 The third step	0.965 ^{5c}	0.932	0.932
	第4步 The fourth step	0.966 ^d	0.933	0.933
14月龄 14 Months	第1步 The first step	0.915 ^a	0.837	0.837
	第2步 The second step	0.935 ^e	0.874	0.873
	第3步 The third step	0.938 ^f	0.880	0.879

注:a:预测变量为常数、全长;b:预测变量为常数、全长、体高;c:预测变量为常数、全长、体高、体厚;d:预测变量为常数、全长、体高、体厚、头长;e:预测变量为常数、全长、体厚;f:预测变量为常量、全长、体厚、尾柄宽

Note:a: predictor variable: constant, TL; b: predictor variable: constant, TL, BD; c: predictor variable: constant, TL, BD, BW; d: predictor variable: constant, TL, BD, BW, HL; e: predictor variable: constant, TL, BW; f: predictor variable: constant, TL, BW, THH

如表5所示,大菱鲂6月龄阶段,回归方程中全长(TL)、体高(BD)、体厚(BW)3个自变量的回归系数检验均为极显著($P < 0.01$),头长(HL)的回归系数检验为显著($P < 0.05$),即截距与4个变量的非标准化回归系数与0之间存在显著性差异,可认为多元线性回归方程成立,6月龄阶段多元回归方程为 $BM = -676.754 + 22.915TL + 18.296BD + 62.194BW + 6.951HL$;同理,14月龄阶段,回归方程中包含3个自变量,分别为全长(TL)、体厚(BW)和尾柄宽(THH),3个自变量的回归系数检验均为极显著($P < 0.01$),可认为多元线性回归方程成立,14月龄阶段多元回归方程为 $BM = -1161.655 + 40.383TL + 147.25BW + 45.413THH$ 。经回归预测,以上2个多元线性回归方程计算所得的估计值与观测值差异不显著($P > 0.05$),说明2个多元线性回归方程具有统计学意义,可用于估算个体的体质量。

通径系数为变量标准化后的回归系数,既标准化回归系数,也称作直接通径系数。利用自变量之

间的相关系数及对因变量的通径系数可获得各自变量的间接通径系数(表6)。6月龄生长时期,大菱鲂个体的全长(TL)、体高(BD)、体厚(BW)和头长(HL)对体质量(BM)的通径系数分别为0.521, 0.280, 0.179和0.053;14月龄生长阶段,大菱鲂个体的全长(TL)、体厚(BW)和尾柄宽(THH)对体质量(BM)的通径系数分别为0.595, 0.290和0.120;

表5 6月龄和14月龄大菱鲂回归系数输出结果

Table 5 The calculation regression coefficient of *Scophthalmus maximus* at 6 months and 14 months

生长阶段 Growth stages	变量 Variable	非标准化回归系数 Unstandardized coefficient		标准化回归系数 Standardized coefficient	t 统计量 t-stat	P
		系数 B	标准误 SE			
6月龄 6 Months	常数 Constant	-676.754	11.837		-57.174	0.000**
	全长 TL	22.915	1.390	0.521	16.488	0.000**
	体高 BD	18.296	1.985	0.280	9.215	0.000**
	体厚 BW	62.194	5.993	0.179	10.379	0.000**
	头长 HL	6.951	2.751	0.053	2.527	0.012*
14月龄 14 Months	常数 Constant	-1161.655	36.088		-32.189	0.000**
	全长 TL	40.383	2.137	0.595	18.894	0.000**
	体厚 BW	147.250	13.927	0.290	10.573	0.000**
	尾柄宽 THH	45.413	9.888	0.120	4.596	0.000**

注: **表示极显著相关($P < 0.01$), *表示显著相关($P < 0.05$)

Note: ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$), * indicates significant correlation ($P < 0.05$)

表6 形态性状对体质量的直接及通径系数

Table 6 Direct and indirect path coefficients of morphological trait to body weight

生长阶段 Growth stages	性状 Trait	相关系数 Correlation coefficients	直接通径系数 Direct path coefficients	间接通径系数 Indirect path coefficients						
				总和 Total	全长 TL	体高 BD	体厚 BW	头长 HL	体厚 BW	尾柄宽 THH
6月龄 6 Months	全长 TL	0.947	0.521**	0.428	—	0.256	0.129	0.043		
	体高 BD	0.924	0.280**	0.644	0.476	—	0.126	0.042		
	体厚 BW	0.780	0.179**	0.603	0.374	0.198	—	0.031		
	头长 HL	0.802	0.053*	0.750	0.423	0.224	0.103	—		
14月龄 14 Months	全长 TL	0.915	0.595**	0.320	—				0.229	0.091
	体厚 BW	0.839	0.290**	0.549	0.469				—	0.080
	尾柄宽 THH	0.767	0.120**	0.647	0.453				0.194	—

注: **表示极显著相关($P < 0.01$), *表示显著相关($P < 0.05$)

Note: ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$), * indicates significant correlation ($P < 0.05$)

在两个不同的生长阶段,全长(TL)对体质量(BM)的间接通径系数均为最小,分别为0.428和0.320,且均小于直接通径系数,即全长(TL)对体质量(BM)的直接作用大于其通过其他性状对体质量的间接作用;而其他主要形态性状对体质量(BM)的直接通径系数相对较小,均小于间接通径系数,即间接作用大于直接作用,且均主要通过全长(TL)间接影响体质量。其中,6月龄时期,体高通过全长对体质量的间接作用最大(0.476);14月龄时期,体厚

在两个生长阶段中,鱼体全长(TL)对体质量(BM)的通径系数均为最大,即直接作用效果最强。6月龄及14月龄生长阶段,各主要形态性状对体质量的直接通径系数与间接通径系数均不同,由此可得出,形态性状对体质量的影响随大菱鲂的生长不断发生变化。

通过全长对体质量的间接作用最大(0.469)。结合性状之间的相关分析可知,与全长相关性越高的形态性状,全长通过该性状对体质量的间接作用越大。

2.4 形态性状对体质量的决定程度

比较发现,不同生长时期几个主要形态性状对体质量的单独决定系数差别较大(表7),其中,全长的决定系数最大,分别为0.271和0.354,各形态性状对体质量决定程度最小的分别为头长(0.03)和尾柄宽(0.014)。在两个性状共同决定系数中,6月龄

时期,全长通过体高对体质量的间接决定程度最大(0.266),14月龄时期,全长通过体厚对体质量的间接决定程度最大(0.173),以上结果与通径分析结果一致。

表7 不同生长时期大菱鲂形态性状对体质量的决定系数

Table 7 The determination coefficients of morphological traits on the body mass of *Scophthalmus maximus* at different growth stages

生长阶段 Growth stages	性状 Trait	全长 TL	体高 BD	体厚 BW	头长 HL	尾柄宽 THH
6月龄 6 Months	全长 TL	0.271	—	—	—	—
	体高 BD	0.266	0.078	—	—	—
	体厚 BW	0.134	0.071	0.032	—	—
	头长 HL	0.045	0.024	0.011	0.003	—
14月龄 14 Months	全长 TL	0.354	—	—	—	—
	体厚 BW	0.173	—	0.084	—	—
	尾柄宽 THH	0.109	—	0.046	—	0.014

表8 6月龄大菱鲂形态性状与体质量曲线模型拟合结果

Table 8 Models curve estimation results of *Scophthalmus maximus* at 6 months

回归 Regression	模型 Model	模型汇总 Model summary		参数估计 Parameter estimate		
		决定系数 Determination coefficients R^2	F 统计量 F -stat	P	常数 Constsnt	系数 Coefficient b_1
全长-体质量 TL-BM	线性 Linear	0.897	4 245.379	0.000 **	-676.526	41.684
	对数 Logarithmic	0.882	3 642.758	0.000 **	-2 735.519	963.608
	幂函数 Power	0.857	2 913.854	0.000 **	0.008	3.324
	生长 Growth	0.855	2 861.639	0.000 **	2.316	0.142
	指数 Exponential	0.855	2 861.639	0.000 **	10.132	0.142
	逻辑斯蒂 Logistic	0.855	2 861.639	0.000 **	0.097	0.867
体高-体质量 BD-BM	线性 Linear	0.853	2 824.213	0.000 **	-528.115	60.381
	对数 Logarithmic	0.831	2 402.447	0.000 **	-1 787.720	798.495
	幂函数 Power	0.845	2 661.225	0.000 **	0.181	2.818
	生长 Growth	0.849	2 729.168	0.000 **	2.764	0.211
	指数 Exponential	0.849	2 729.168	0.000 **	15.863	0.211
	逻辑斯蒂 Logistic	0.849	2 729.168	0.000 **	0.063	0.810
体厚-体质量 BW-BM	线性 Linear	0.609	759.085	0.000 **	-350.418	271.871
	对数 Logarithmic	0.585	687.547	0.000 **	-227.697	606.944
	幂函数 Power	0.595	714.349	0.000 **	44.489	2.141
	生长 Growth	0.606	747.611	0.000 **	3.385	0.949
	指数 Exponential	0.606	747.611	0.000 **	29.527	0.949
	逻辑斯蒂 Logistic	0.606	747.611	0.000 **	0.034	0.387
头长-体质量 HL-BM	线性 Linear	0.643	877.136	0.000 **	-415.564	105.955
	对数 Logarithmic	0.612	767.508	0.000 **	-975.800	668.715
	幂函数 Power	0.598	723.588	0.000 **	3.455	2.314
	生长 Growth	0.616	779.857	0.000 **	3.201	0.363
	指数 Exponential	0.616	779.857	0.000 **	24.569	0.363
	逻辑斯蒂 Logistic	0.616	779.857	0.000 **	0.041	0.696

注: ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$)

Note: ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$)

2.5 曲线模型拟合结果

以包含在多元回归方程中的形态性状为自变量,体质量(BM)为因变量,利用表1中的曲线模型进行拟合分析(表8,9)。结果显示,各模型的拟合结果均呈现极显著相关($P < 0.01$),其中,6月龄生长阶段,全长(TL)、体高(BD)、体厚(BW)和头长(HL)与体质量(BM)的曲线拟合决定系数和F值均为线性模型最大,即最佳曲线拟合模型均为线性模型,拟合模型分别为 $BM = -676.526 + 41.684TL$, $BM = -528.115 + 60.381BD$, $BM = -350.418 + 271.871BW$, $BM = -415.564 + 105.955HL$ 。14月龄阶段,全长(TL)、体厚(BW)和尾柄宽(THH)与体质量(BM)的曲线拟合决定系数和F值均为幂函数模型最大,即最佳曲线拟合模型均为幂函数模型,拟合模型分别为 $BM = 0.01TL^{3.203}$, $BM = 113.448BW^{1.791}$, $BM = 65.922THH^{1.740}$ 。

表 9 14 月龄大菱鲂形态性状与体质量曲线模型拟合结果

Table 9 Models curve estimation results of *Scophthalmus maximus* at 14 months

回归 Regression	模型 Model	模型汇总 Model summary		参数估计 Parameter estimate		
		决定系数 Determination coefficients R^2	F 统计量 F -stat	P	常数 Constsnt	系数 Coefficient b_1
全长-体质量 TL-BM	线性 Linear	0.837	2 250.578	0.000**	-1 298.710	62.082
	对数 Logarithmic	0.818	1 968.762	0.000**	-5 744.517	1 856.356
	幂函数 Power	0.851	2 501.465	0.000**	0.010	3.203
	生长 Growth	0.850	2 474.026	0.000**	3.127	0.106
	指数 Exponential	0.850	2 474.026	0.000**	22.795	0.106
	逻辑斯蒂 Logistic	0.850	2 474.026	0.000**	0.044	0.900
体厚-体质量 BW-BM	线性 Linear	0.705	1 042.816	0.000**	-467.819	426.150
	对数 Logarithmic	0.693	983.929	0.000**	-342.118	1 034.051
	幂函数 Power	0.726	1 156.116	0.000**	113.448	1.791
	生长 Growth	0.724	1 149.012	0.000**	4.531	0.731
	指数 Exponential	0.724	1 149.012	0.000**	92.860	0.731
	逻辑斯蒂 Logistic	0.724	1 149.012	0.000**	0.011	0.481
尾柄宽-体质量 THH-BM	线性 Linear	0.588	623.236	0.000**	-423.839	291.323
	对数 Logarithmic	0.582	607.286	0.000**	-665.285	1 012.204
	幂函数 Power	0.600	655.543	0.000**	65.922	1.740
	生长 Growth	0.590	628.483	0.000**	4.627	0.494
	指数 Exponential	0.590	628.483	0.000**	102.250	0.494
	逻辑斯蒂 Logistic	0.590	628.483	0.000**	0.010	0.610

注: ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$)

Note: ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$)

3 讨论

3.1 各形态性状与体质量间的相关分析

相关分析,通常指双变量相关分析,主要用于判断两变量间的依存关系及简单相关程度^[21]。陈红林等^[22]对不同生长阶段的牙鲆进行分析时发现,8月龄阶段,与体质量相关系数最大的3个形态性状为腹鳍基部到背鳍终点的直线距离,体宽和腹鳍基部到臀鳍基部的距离;14月龄阶段,为腹鳍基部到背鳍终点的直线距离、腹鳍基部到臀鳍基部的距离和臀鳍起点到臀鳍终点的直线距离。刘贤德等^[23]研究发现13月龄和20月龄大黄鱼形态性状与体质量相关性也因生长阶段的不同存在差异。在本研究中,大菱鲂6月龄时期,与体质量相关系数最大的3

个形态性状为全长、体高和体长;14月龄时期,与体质量相关系数最大的3个形态性状为全长、体长和体厚。以上研究均说明,同鱼种不同阶段其形态性状与体质量的相关性不尽相同,其可能与生长过程中的基因效应变化有关^[24]。本研究中大菱鲂两个生长时期与体质量相关程度最大的形态性状均为全长,这与王新安等^[5]和于飞等^[20]对于3月龄大菱鲂的研究结果一致。

3.2 各形态性状与体质量之间的通径分析及回归分析

相关分析可判断变量之间的相关程度,但无法对关联原因进行具体分析。通径分析作为一种多元分析方法,可用于判断多个自变量对因变量的综合作用关系,即直接作用与间接作用途径,其中直接通

径系数代表自变量对因变量的直接作用效果,间接途径系数代表某个自变量通过其他自变量作用与因变量的间接作用效果。本次研究中,大菱鲂所测6个形态性状与体质量的相关性均为极显著相关($P < 0.01$),但由通径分析可知,6月龄阶段大菱鲂个体只有全长、体高、体厚和头长4个性状对体质量的直接途径系数呈显著性;14月龄生长阶段,只有全长、体厚和尾柄宽3个形态性状对体质量的直接途径系数呈显著性,由此可见,相关性分析不能全面考察变量之间的相互关系^[15],进行通径分析对确定影响大菱鲂体质量的主要形态性状是十分必要的。由通径分析结果可知,6月龄时期,影响大菱鲂体质量的主要性状为全长、体高、体厚和头长;14月龄时期,影响大菱鲂体质量的主要性状为全长、体厚和尾柄宽;韩慧宗等^[8]对不同月龄许氏平鲈进行分析发现,不同月龄影响体质量的主要形态性状不同,其中12月龄为全长、体长、体高、尾柄高,15月龄为全长、体长、头长、体高和尾柄高,18月龄为全长、躯干长、头长、体高和尾柄高;黄建盛等^[25]对褐点石斑鱼进行分析时发现,3月龄,影响体质量的主要形态性状为全长、体宽、体高及尾柄高,8月龄为全长、体宽、尾柄高及眼后头长,13月龄为全长、体高、体宽及体长。以上结果均说明,同种鱼类不同生长时期形态性状对体质量的作用效果不尽相同,因此,分时期分析形态性状与体质量之间的影响可为良种选育提供准确的数据支持。同时,对比两生长时期的通径分析结果发现,全长对体质量的通径系数均为最大,分别为0.428和0.320,这与王新安等^[5]对大菱鲂3月龄幼鱼的研究结果相同,与刘峰等^[14]对12月龄雌性半滑舌鳎的研究结果相似。因此,建议将全长(6~14月龄)作为主要育种工作的目标性状,同时可将体高、体厚和头长作为幼鱼阶段的育种参考性状,体厚和尾柄宽作为成鱼阶段的育种参考性状,用于对大菱鲂体质量进行人工选择。

在多元回归方程分析中,当决定系数 $R^2 \geq 0.85$ 时,表明影响因变量的自变量已经确定,回归方程中的形态性状是影响体质量的主要因素^[26-27]。6月龄与14月龄影响大菱鲂体质量的多元回归方程决定系数分别为0.933和0.880,均符合以上条件,即两时期的多元线性回归方程均可描述形态性状与体质量之间的关系,可用于大菱鲂的人工选育工作中。

3.3 最优曲线拟合模型筛选

曲线拟合是用连续曲线近似地刻画或比拟平面上离散点组所代表的坐标间函数关系的数据处理方

法,该方法可以动态地了解生物的生长过程、预测生长规律,而且还可以指导育种,提高选育结果准确率。6月龄阶段,大菱鲂各主要形态性状与体质量间的最优拟合曲线均为线性;14月龄,大菱鲂各主要形态性状与体质量之间的最优拟合曲线均为幂函数,这一结果与陈红林等^[22]对8月龄与14月龄牙鲆的分析结果相同。不同生长时期,筛选出的最优拟合模型不同,说明大菱鲂的生长模式会随鱼体生长发生变化。两个生长时期,全长与体质量最优曲线拟合模型的决定系数分别为0.897和0.851,均大于0.85^[14],即全长可以很好地诠释体质量的变化。曲线拟合实验结果再次验证相关性与通径分析结果,选择全长作为主要育种的目标性状科学可行。

4 结论

大菱鲂幼鱼与成鱼不同生长时期,影响大菱鲂体质量的主要形态性状会发生变化,且各形态性状对大菱鲂体质量的作用效果不尽相同,适用的最优拟合模型也不同,建议将全长(TL)(6~14月龄)作为幼鱼与成鱼阶段的主要育种目标性状,同时幼鱼阶段辅以体高、体厚和头长作为参考性状,成鱼阶段辅以体厚和尾柄宽为参考性状,从而有效提高大菱鲂的选育效率,为大菱鲂良种选育提供测量指标与理论支持。

参考文献:

- [1] 雷霖霖,刘新富.大菱鲂 *Scophthalmus maximus* L. 引进养殖的初步研究[J]. 现代渔业信息,1995,10(11):1-3.
LEI Q L, LIU X F. An primary study on culture of turbot, *Scophthalmus maximus* L. [J]. Modern Fisheries Information, 1995, 10(11): 1-3.
- [2] 雷霖霖,马爱军,陈超,等.大菱鲂 (*Scophthalmus maximus* L.) 养殖现状与可持续发展[J]. 中国工程科学, 2005, 7(5): 30-34.
LEI Q L, MA A J, CHEN C, et al. The present status and sustainable development of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) culture in China [J]. Engineering Science, 2005, 7(5): 30-34.
- [3] 雷霖霖.大菱鲂的引进和新型养殖产业的发展[J]. 中国渔业经济, 2003(5): 16-16.
LEI Q L. Introducing into reinhardtus hippoglossoides and development of new patten of aquaculture [J]. Chinese Fisheries Economics, 2003(5): 16-16.
- [4] 马爱军,王新安,雷霖霖,等.大菱鲂 (*Scophthalmus maximus*) 四个不同地理群体数量形态特征比较[J].

- 海洋与湖沼,2008,39(1):24-29.
- MA A J, WANG X A, LEI Q L, et al. Statistic morphology difference among four Turbot (*Scophthalmus maximus*) populations [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(1): 24-29.
- [5] 王新安, 马爱军, 许可, 等. 大菱鲂幼鱼表型形态性状与体重之间的关系[J]. 动物学报, 2008, 54(3): 540-545.
- WANG X A, MA A J, XU K, et al. Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus maximus* [J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(3): 540-545.
- [6] 张敏莹, 刘凯, 段金荣, 等. 太湖秀丽白虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 417-421.
- ZHANG M Y, LIU K, DUAN J R, et al. Path analysis of effects of morphometric traits on body weight of *Exopalaemon modestus* in Taihu Lake [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(21): 417-421.
- [7] 王新安, 马爱军, 庄志猛, 等. 红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*) 形态性状对体重的影响效果[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(1): 135-140.
- WANG X A, MA A J, ZHUANG Z M, et al. Effects of morphometric attributes on body weight of *Takifugu rubripes* (Temminck et Schlegel) [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(1): 135-140.
- [8] 韩慧宗, 姜海滨, 王斐, 等. 许氏平鲈不同月龄选育群体形态性状的主成分与通径分析[J]. 水产学报, 2016, 40(8): 1163-1172.
- HAN H Z, JIANG H B, WANG F, et al. Principal component and path analysis of morphological traits of selective groups at different month ages of *Sebastes schlegelii* [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(8): 1163-1172.
- [9] EZEKIEL M. Methods of correlation analysis[M]. 2nd ed. New York: Wiley, 1942.
- [10] 张成松, 李富花, 相建海. 脊尾白虾形态性状对体质量影响的通径分析[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 809-815.
- ZHANG C S, LI F H, XIANG J H. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Exopalaemon carinicauda* [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 809-815.
- [11] WRIGHT S. Correlation and causation[J]. Journal of Agricultural Research, 1921, 20(7): 557-585.
- [12] 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. Method of path analysis with SPSS linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6.
- [13] 宋小园, 朱仲元, 刘艳伟, 等. 通径分析在 SPSS 逐步线性回归中的实现[J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 108-113.
- SONG X Y, ZHU Z Y, LIU Y W, et al. Application of path analysis in stepwise linear regression SPSS[J]. Arid Zone Research, 2016, 33(1): 108-113.
- [14] 刘峰, 陈松林, 刘肖峰, 等. 半滑舌鳎 3 个形态性状与体质量的相关及通径分析[J]. 海洋学报, 2015, 37(4): 94-102.
- LIU F, CHEN S L, LIU X F, et al. Correlation and path coefficient analysis for body mass and three morphometric traits in the half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) [J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(4): 94-102.
- [15] 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.
- 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.
- [16] 黄永春, 杨洪磊, 张哲, 等. 对虾选育群体形态性状对体质量的通径分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(11): 11-16.
- HUANG Y C, YANG H L, ZHANG Z, et al. Path analysis of morphometric characteristics on body weight for *Litopenaeus vannamei* breeding population [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(11): 11-16.
- [17] 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 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.
- [18] 张嘉丽, 王庆恒, 邓岳文, 等. 斧文蛤 (*Meretrix lamarchii*) 形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 110-113.
- ZHANG J L, WANG Q H, DENG Y W, et al. Effects of morphological traits on the weight of *Meretrix lamarchii* [J]. Progress in Fishery Science, 2014, 35(6): 110-113.
- [19] 耿绪云, 王雪惠, 孙金生, 等. 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 一龄幼蟹外部形态性状对体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(1): 49-54.

- GENG X Y, WANG X H, SUN J S, et al. Morphometric attributes to body weight for juvenile Crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(1): 49-54.
- [20] 于飞, 张庆文, 孔杰, 等. 大菱鲂测量性状对体重的影响效果分析[J]. *海洋水产研究*, 2008, 29(6): 33-39.
- YU F, ZHANG Q W, KONG J, et al. Analysis of effects of metric traits on body weight of turbot *Scophthalmus maximus* [J]. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29(6): 33-39.
- [21] 李志辉, 罗平. SPSS for Windows 统计分析教程[M]. 第2版. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- LI Z H, LUO P. The Tutorial of statistical analysis of SPSS for windows[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [22] 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.
- 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.
- [23] 刘贤德, 蔡明夷, 王志勇, 等. 不同生长时期大黄鱼形态性状与体重的相关性分析[J]. *热带海洋学报*, 2010, 29(5): 159-163.
- LIU X D, CAI M Y, WANG Z Y, et al. Correlation analysis of morphometric traits and body weight of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* at different growth stage[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2010, 29(5): 159-163.
- [24] 黄小林, 吕国敏, 刘付永忠, 等. 30日龄青龙斑形态性状对体质量影响的通径分析[J]. *广东农业科学*, 2012, (21): 139-143.
- HUANG X L, LV G M, LIU F Y Z, et al. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight for 30-days aged hybrid (*Epinephelus coioides* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, (21): 139-143.
- [25] 黄建盛, 陈刚, 张健东, 等. 褐点石斑鱼不同月龄形态性状的主成分及通径分析[J]. *水产学报*, 2017, 41(7): 1106-1115.
- HUANG J S, CHEN G, ZHANG J D, et al. Principal component and path analysis of morphological traits of *Epinephelus fuscoguttatus* at different month ages [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(7): 1106-1115.
- [26] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 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.
- 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.
- [27] 齐明, 侯俊利, 楼宝, 等. 一龄四指马鲛形态性状对体重的影响分析[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2014, 34(2): 134-139.
- QI M, HOU J L, LOU B, et al. Effects of morphometric attributes on body weight for one-year-old *Eleutheronema tetradactylum* [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2014, 34(2): 134-139.

(责任编辑: 米慧芝)