

3 月龄牙鲆形态性状对体质量的通径分析

严福升 王志刚 刘旭东 刘志鹏 张全启*

(中国海洋大学海洋生命学院 海洋生物遗传育种教育部重点实验室, 青岛 266003)

摘 要 随机选取 3 月龄牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 100 尾, 分别测量全长(X_1)、体长(X_2)、头长(X_3)、体厚(X_4)和体高(X_5)共 5 个形态学指标和体质量(Y)。通过 SAS 软件进行相关性分析和回归分析, 分别计算以形态性状为自变量对体质量的通径系数和决定系数, 进而对各性状对体质量的影响进行剖分。明确影响 3 月龄牙鲆体质量的主要形态性状, 为牙鲆选育提供数据支持和理想的测度指标。结果表明, 各形态性状间及与体质量的相关系数均达到极显著($P < 0.01$)。体长、体厚和体高对体质量的通径系数均达到极显著的水平($P < 0.01$); 所选形态性状对体质量的决定系数 $R^2 = 0.945$, 表明所选形态性状是影响 3 月龄牙鲆体质量的主要性状。通过对各形态性状偏回归系数的显著性检验, 剔除不显著的性状自变量后, 建立最优的多元回归方程: $Y = -4.988 + 0.763X_2 + 2.997X_4 + 1.089X_5$, 各偏回归系数均达到极显著水平($P < 0.01$)。

关键词 牙鲆 形态性状 相关分析 通径分析 多元回归方程

中图分类号 Q959.486; S968.1

文献标识码 A

文章编号 1000-7075(2010)02-0045-06

Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for 3-month aged *Paralichthys olivaceus*

YAN Fu-sheng WANG Zhi-gang LIU Xu-dong

LIU Zhi-peng ZHANG Quan-qi*

(College of Marine Life Science, Ocean University of China, Key Laboratory of Marine Genetics and Breeding, Ministry of Education, Qingdao 266003)

ABSTRACT One hundred 3-month aged *Paralichthys olivaceus* were randomly sampled for measuring five morphometric traits including full length (X_1), body length (X_2), head length (X_3), body thickness (X_4), body height (X_5) and body weight (Y). Through path analysis and multiple linear regression with SAS 8.2 software, this study estimated the path coefficients and determination coefficients of each morphometric trait to body weight and dissected effect of each morphometric trait on body weight as direct effect and indirect effect. This study also confirmed the main morphometric traits influencing the body weight of 3-month aged *P. olivaceus* and provided data support and optimal measuring indexes for selective breeding of *P. olivaceus*. The results showed that the correlation coefficients between all morphometric traits and body

国家高技术研究发展计划(2006AA10A404)和山东省良种工程重大课题共同资助

* 通讯作者。E-mail: qzhang@ouc.edu.cn, Tel: (0532)82031931

收稿日期: 2009-03-20; 接受日期: 2009-04-08

作者简介: 严福升(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事鱼类遗传育种研究。E-mail: yania332200@hotmail.com, Tel: (0532)82031832

weight were extremely significant ($P < 0.01$). The path coefficients of body length, body thickness and body width of 3-month aged *P. olivaceus* to body weight were all extremely significant ($P < 0.01$). The total determination coefficient (R^2) of all selected morphometric traits to body weight was 0.945, indicating that the morphometric traits included in this study were major factors influencing body weight. The insignificant morphometric traits were excluded through coefficient test of partial regression, and then the optimal multiple linear regression equation was established as $Y = -4.988 + 0.763X_2 + 2.997X_4 + 1.089X_5$, for which all included partial regression coefficients were extremely significant ($P < 0.01$).

KEY WORDS *Paralichthys olivaceus* Morphometric traits Correlation analysis
Path analysis Multiple regression equation

牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 是一种重要的海水养殖经济鱼类,近年来养殖业发展迅速,成为我国海水鱼类养殖的主要种类之一。但是,目前养殖的苗种,都是野生亲本或采用未经系统选育的养殖个体作亲本人工繁殖,苗种质量差,养殖效率较低。为了提高养殖效率,必须对养殖群体进行系统有效的选择育种。对其进行选择育种过程中,体重是最直接的育种目标性状。由于体重的现场测量容易受海水的影响,误差较大且需要等待,而形态指标则容易准确度量。因此,利用通径分析和多元回归分析,明确影响体重的主要形态性状,进而通过对形态性状的间接选择达到辅助选种的目的,具有重要的实际意义。

通径分析和多元回归分析已被应用于多种海洋经济养殖物种的形态性状对体重性状的影响研究。刘小林等(2002、2004)采用相关性分析、通径分析和多元回归分析的方法,分别对栉孔扇贝 *Chlamys farreri* 壳尺寸性状对体质量的影响效果和凡纳对虾 *Litopenaeus vannamei* 各形态性状对体质量的影响效果进行了研究,将各形态性状与体质量的相关系数剖分为相应性状对体质量的直接作用和间接作用,并找到了影响体质量的重点形态性状,为选种提供了理论依据和理想的测度指标。董世瑞等(2007)对中国对虾 *Fenneropenaeus chinensis* 形态性状对体重影响进行了通径分析并通过回归方法,建立以形态性状为自变量对体重依变量的多元线性最优回归方程,明确影响目标性状体重的主要形态性状,为中国对虾通过形态性状辅助选择育种提供依据。常亚青等(2008)对1龄虾夷扇贝 *Patinopecten yessoensis* 形态性状对重量性状的影响效果分析,区分了影响重量性状的主要因素和次要因素并建立多元回归方程,为虾夷扇贝遗传育种提供一定的理论依据。刘志刚等(2007)和邓岳文等(2008)利用相关分析和通径分析的方法,分别研究了马氏珠母贝 *Pinctada maxima* 的形态性状对体重的影响,为选种提供科学依据。高保全等(2008)采用相关分析、通径分析和多元回归分析的方法定量估计了三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* 各形态性状对体重的影响效果并建立主要形态性状对体重的多元回归方程,为三疣梭子蟹育种提供理论依据。在海产鱼类方面,Deboski等(1999)分析了大西洋鲑鱼 *Salmo salar* 的体长、体重、体高间的相关性及形态性状与体脂肪含量的相关性,并通过多元回归分析,实现以形态性状为自变量对体脂肪含量的估计。张庆文等(2008)研究了大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 的体重、体长和全长在不同发育阶段的相关性,并运用逐步回归的方法建立了以体重为依变量,以体长和全长为自变量的多元回归方程。王新安等(2008)研究了大菱鲆幼鱼表型形态性状与体重之间的关系,并采用逐步回归的方法建立了以全长、体高、体厚为自变量估计体重的多元回归方程,明确影响大菱鲆3月龄幼鱼体重的主要外部形态性状,为大菱鲆选育提供理论依据和理想的测度指标。

本研究利用相关分析和通径分析,区分了影响牙鲆体质量的主要形态性状及直接作用和间接作用的大小,并通过对偏回归系数的显著性检验,建立了3月龄牙鲆形态性状与体质量间的最优多元线性回归方程,以期为牙鲆选育提供基础数据和理想的测度指标。

1 材料和方法

1.1 实验材料

2007年7月从山东烟台海阳黄海水产有限公司所建的牙鲆家系中随机选取3月龄牙鲆个体100尾,建系所用的亲本群体为从山东半岛各地收集的3~5年的健康野生牙鲆。测量体质量(Y)和全长(X_1)、体长(X_2)、头长(X_3)、体厚(X_4)和体高(X_5)等5个形态学指标。

1.2 测量方法

形态学指标用游标卡尺测量,均精确到0.01mm。形态学参数测量参照李思忠等(1995)鲽形目鱼类的标准。体质量用电子天平测量,精确到0.01g。

1.3 分析方法

各性状表型值测定结果经初步统计整理,利用SAS 8.2软件对各性状间进行相关性分析和以形态性状为自变量对体质量的多元回归分析,方法见任红松等(2003)。多元回归分析得到的各自变量的标准化的偏回归系数,即为相应形态性状对体质量的通径系数,结合各形态性状间的相关系数,进而求得单性状的决定系数和两两性状间的共同决定系数。通过对各形态性状偏回归系数的显著性检验,剔除检验不显著的形态性状自变量,取偏回归系数检验显著的自变量以建立理想的多元回归方程,并对方程进行拟合度检验。

相关系数、通径系数和决定系数的计算公式见董世瑞等(2007)对中国对虾形态性状对体重影响效果的研究。多元线性回归方程模型: $y_p = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{jp} + \epsilon_p$, $p = 1, 2, \dots, n$

式中, y_p 为在随机误差为 ϵ_p 时的因变量值, α 为常数项, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 为偏回归系数, $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$ 是相互独立且服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ 的随机变量。

2 结果与分析

2.1 所测性状的表型参数

各生长相关性状表型参数的统计结果见表1。从表1可以看出,各形态性状表型值的变异系数比较接近,体质量的变异系数明显较各形态性状表型值的变异系数大。

表1 所测各生长相关性状的表型参数($n=100$)
Table 1 Phenotypic parameters of different growth-related traits($n=100$)

指标 Index	体质量(g) Body weight	全长(mm) Full length	体长(mm) Body length	头长(mm) Head length	体厚(mm) Body thickness	体高(mm) Body height
平均值 Mean	2.985	71.606	59.903	18.521	3.060	22.835
标准差 SD	1.023	8.811	7.461	2.212	0.431	3.010
变异系数 CV(%)	34.3	12.3	12.5	11.9	14.1	13.2

2.2 所测性状间的相关系数

3月龄牙鲆各生长相关性状间的相关系数分析结果见表2。各性状间的相关系数均达到极显著的水平($P < 0.01$),且均为正相关。其中,体长与全长的相关系数最大,头长和体厚的相关系数最小。在各形态性状与体质量的相关系数中,体长与体质量的相关系数最大,体厚与体质量的相关系数最小。

表 2 生长相关性状间的表型相关系数

Table 2 Phenotype correlation coefficient between different growth-related traits

性状 Trait	体质量 Body weight	全长 Full length	体长 Body length	头长 Head length	体厚 Body thickness	体高 Body height
体质量 Body weight		0.961**	0.963**	0.846**	0.823**	0.944**
全长 Full length			0.986**	0.879**	0.816**	0.945**
体长 Body length				0.890**	0.812**	0.947**
头长 Head length					0.735**	0.849**
体厚 Body thickness						0.764**
体高 Body height						

注:**表示差异极显著($P < 0.01$)

2.3 各形态性状对体质量的通径系数及相关系数的剖分

表 3 各形态性状对体质量影响的通径分析(王庆恒等 2009)

Table 3 Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect					
			Σ	全长 Full length	体长 Body length	头长 Head length	体厚 Body thickness	体高 Body height
全长 Full length	0.961**	0.219	0.742		0.422	-0.061	0.097	0.284
体长 Body length	0.963**	0.428**	0.535	0.216		-0.062	0.096	0.284
头长 Head length	0.846**	-0.069	0.916	0.193	0.380		0.087	0.255
体厚 Body thickness	0.823**	0.119**	0.704	0.179	0.347	-0.051		0.229
体高 Body height	0.944**	0.300**	0.644	0.207	0.405	-0.059	0.091	

注:**表示相关性极显著($P < 0.01$)

各形态性状对体质量的通径系数及相关系数的剖分见表 3。由表 3 可知,体长、体厚和体高对体质量的通径系数均达到极显著水平($P < 0.01$),全长和头长的通径系数未达到显著水平($P > 0.05$)。在这些形态性状中,体长的通径系数($P_2 = 0.428$)最大;其次为体高($P_5 = 0.300$),全长($P_1 = 0.219$),体厚($P_4 = 0.119$);头长对体质量的通径系数($P_3 = -0.069$)为负值,说明头长对 3 月龄牙鲈体质量的直接影响为负向作用。

根据相关系数的组成效应,可将形态性状与体质量的相关系数(r_{iy})剖分为各性状的直接作用(通径系数, P_i)和各性状通过其他性状的间接作用($\sum r_{ij}P_j$)两部分,即 $r_{iy} = P_i + \sum r_{ij}P_j$,结果见表 3(耿绪云等 2007)。

表 3 显示,3 月龄牙鲈的各形态性状对体质量的间接效应均大于直接效应。与体质量相关系数最大的体长,对体质量的直接效应也最大。各形态性状对体质量的间接效应最大的是头长,且头长对体质量的直接影响为负向作用。在各形态性状对体质量的间接影响中,通过体长所产生的间接作用均为最大。

2.4 各形态性状对体质量的决定程度分析

单个形态性状和两两性状间对体质量的决定系数分析结果见表 4。

表 4 各形态性状对体质量的决定系数(王庆恒等 2009)

Table 4 The determinant coefficients of the morphological traits on body weight

性状 Trait	全长 Full length	体长 Body length	头长 Head length	体厚 Body thickness	体高 Body height
全长 Full length	0.048	0.185	-0.027	0.042	0.125
体长 Body length		0.183	-0.053	0.082	0.243
头长 Head length			0.005	-0.012	-0.035
体厚 Body thickness				0.014	0.054
体高 Body height					0.090

表 4 对角线上的数值为单个性状对体质量的决定系数,对角线以上为两两性状对体质量的共同决定系数,二者的总和 $\sum d=0.945$,表明影响 3 月龄牙鲈体质量的主要形态性状均已被纳入本研究中。其中,体长的决定系数最大,占 5 个形态性状对体质量总决定系数的 19.34%;体长与体高的共同决定系数最大,占 5 个形态性状对体质量总决定系数的 25.74%。

2.5 多元回归方程的建立

对各形态性状的偏回归系数进行显著性检验,结果如表 5 所示。逐步去除偏回归系数不显著的性状,保留显著的性状,并用其建立多元回归方程。

3 月龄牙鲈家系选育 F_1 代群体的体质量(Y)与形态性状参数的多元回归方程为:

$$Y = -4.988 + 0.763X_2 + 2.997X_4 + 1.089X_5$$

式中, Y 、 X_2 、 X_4 、 X_5 分别为体质量(g)、体长(mm)、体厚(mm)、体高(mm)。上述回归方程的决定系数 $R^2=0.943$ 。方差分析结果(表 6)表明,回归关系达到极显著水平($P<0.001$),估计值与观测值差异不显著。

表 5 偏回归系数显著性检验

Table 5 Coefficient test of partial regression

性状 Trait	截距 Intercept	全长 Full length	体长 Body length	头长 Head length	体厚 Body thickness	体高 Body height
偏回归系数 Partial regression coefficients	-4.943	0.254	0.586	-0.321	2.813	2.83
t 值 t-value	-23.07	1.43	2.68	-1.31	2.81	3.89
显著性 Significance	<0.000 1	0.157 4	0.008 8	0.195 0	0.006 0	0.000 2

表 6 多元回归的方差分析

Table 6 ANOVA of multi-variance regression

指标 Index	自由度 DF	总平方和 Sum of squares	均方 Mean square	F 值 F-value	显著性 Significance
回归模型 Regression model	3	97.574	32.524	525.82	<0.000 1
残差 Residual	96	5.938	0.062		
总计 Total	99	103.512			

3 讨论

3.1 相关分析和通径分析的特点及联系

通径分析可将自变量和因变量之间的相关系数剖分为自变量(形态性状)对因变量(目标性状)的直接作用和间接作用。本研究中,虽然各形态性状与体质量的相关系数均达到极显著的水平且差异较小,但通径分析结果表明,各形态性状对体质量的直接影响差异明显。其中,头长对体质量的直接影响最小而且负向作用,但是它通过体长、体高和全长对体质量产生的间接作用较大,抵消了负向作用,结果表现为与体质量正向相关。可见通过各性状间表型相关系数无法正确判断各形态性状自变量对体质量的影响大小,而通过通径分析可将相关系数剖分为直接影响和间接影响,从而进一步找出影响体质量的主要形态性状。

3.2 影响 3 月龄牙鲈体质量的主要形态性状的确定

根据通径系数和决定系数的分析表明,3 月龄牙鲈的体长、体高和体厚对体质量的直接作用均达到极显著水平,其中体长和体高对体质量的决定程度较大,所以这两个性状可作为该阶段的理想测度选育指标。在表型

相关分析的基础上,进行通径系数分析和决定系数分析时,只有当各自变量对依变量的单独决定系数及两两共同决定系数的总和($\sum d$)或者多元回归模型中的决定系数(R^2)在数值上大于或等于 0.85 时,表明影响依变量的主要自变量已经找到(刘小林等 2002、2004)。本研究中,形态性状对体质量的总决定系数为 0.945,说明影响 3 月龄牙鲆体质量的主要形态性状均已被纳入本研究中。进入回归方程的 3 个形态性状的总决定系数为 0.943,由此可以说明,被剔除的形态性状自变量对体质量的影响较小,体长、体高和体厚是影响 3 月龄牙鲆体质量的主要形态性状。王新安等(2008)研究了 3 月龄大菱鲆幼鱼表型形态性状与体重之间的关系,利用通径分析确定全长、体高和体厚是影响体重的主要形态性状,并指出这与全长较长、体高较高、体厚较厚的个体具有较大的几何空间,有利于脂肪、肝脏等营养物质的积累贮存,相应体重较重的实际生产经验相一致。本研究结论与上述实际生产经验基本一致,但是体长、全长这两个形态性状对体质量的影响在这两个物种中存在明显差异。所以,本研究对影响体质量的主要形态性状的确定具有重要的实际意义,并可以为牙鲆选育提供理论依据和理想的测度指标。马爱军等(2008)对大菱鲆 6 月龄生长性状进行了相关性分析,发现全长、体长和体高是影响体重的主要性状,这说明不同月龄大菱鲆的形态性状对体重的影响存在差异。安丽等(2008)对不同月龄中国对虾形态性状对体质量的影响效果分析表明,不同月龄间影响体质量的主要形态性状存在差异,但同时也存在相同的重点形态性状。何毛贤等(2006)对马氏珠母贝不同生长时期的壳长、壳高、壳宽和活体质量进行了一年多的跟踪测量,通过多元回归分析的方法,表明不同生长时期影响马氏珠母贝活体质量的主要形态性状存在差异。不同月龄的牙鲆间影响体质量的重点性状是否存在差异,有没有固定的重点性状存在等问题都有待于进一步的探讨。

3.3 需进一步研究的问题

至今尚未有学者研究探讨过牙鲆各形态性状对体质量的影响效应。本研究通过对 3 月龄牙鲆的 5 个形态性状的测量,并利用通径分析和多元回归分析的方法探讨了 3 月龄牙鲆各形态性状对体质量的直接作用和间接作用,确定了影响 3 月龄牙鲆体质量的主要性状。本研究所分析的 5 个形态性状对体质量的总决定系数为 0.945,剩余通径系数 $P_{y_e} = 0.235$,仅次于体高对体质量的通径系数($P_5 = 0.300$),这说明所测形态性状对 3 月龄牙鲆体质量的估计还不完全,还有些因素有待于进一步探讨。

参 考 文 献

- 马爱军,王新安,杨志,曲江波,雷霖霖. 2008. 大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 幼鱼生长性状的遗传力及其相关性分析. 海洋与湖沼,39(5):499~504
- 王新安,马爱军,许可,雷霖霖,杨志,曲江波. 2008. 大菱鲆幼鱼表型形态性状与体重之间的关系. 动物学报,54(3):540~545
- 王庆恒,邓岳文,杜晓东,师尚丽. 2009. 翡翠贻贝形态性状对软体部质量的影响. 广东海洋大学学报,4:1~4
- 邓岳文,杜晓东,王庆恒,符韶,黄荣莲. 2008. 马氏珠母贝选群 F1 的表型性状的相关和通径分析. 海洋通报(英文版),10(2):68~73
- 安丽,刘萍,李健,何玉英. 2008. “黄海 1 号”中国明对虾形态性状对体质量的影响效果分析. 中国水产科学,5(5):779~786
- 李思忠,王惠民. 1995. 中国动物志—硬骨鱼纲鲽形目. 北京:科学出版社
- 刘小林,常亚青,相建海,宋坚,丁君. 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析. 海洋与湖沼,33(6):673~678
- 刘小林,吴长功,张志怀,黄皓,李斌,张愚夫,孙成波,相建海. 2004. 凡纳滨对虾形态性状对体重的影响效果分析. 生态学报,24(4):857~862
- 刘志刚,王辉,孙小真,杜晓东,李雷斌. 2007. 马氏珠母贝经济性状对体重决定效应分析. 广东海洋大学学报,27(4):15~20
- 任红松,吕新,曹连莆,袁继勇. 2003. 通径分析的 SAS 实现方法. 通径分析与农业,4:17~19
- 何毛贤,史兼华,林岳光,姜卫国,黄良民. 2006. 马氏珠母贝生长性状的相关分析. 海洋科学,30(11):1~4
- 张庆文,张天杨,孔杰,栾生. 2008. 大菱鲆生长性状在不同生长发育阶段的相关分析. 海洋水产研究,29(3):57~61
- 高保全,刘萍,李健,迟恒,戴芳钰. 2008. 三疣梭子蟹形态性状对体重影响的分析. 海洋水产研究,29(1):44~50
- 耿绪云,王雪惠,孙全生,张印生. 2007. 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 1 龄幼蟹外部形态性状对体重的影响效果分析. 海洋与湖沼,38(1):49~54
- 常亚青,张存善,曹学彬,杨小刚,李云峰. 2008. 1 龄虾夷扇贝形态性状对重量性状的影响效果分析. 大连水产学院学报,23(5):330~334
- 董世瑞,孔杰,万初坤,栾生,张天时,孟宪红,王如才. 2007. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析. 海洋水产研究,28(3):15~22
- Debowski, P., Dobosz, S., Robak, S., and Usydu, Z. 1999. Fat level in body of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* L. and sea trout *Salmo trutta* M. *trutta* L., and method of estimation from morphometric data. Archives of Polish Fisheries, 7(2): 237~243