

文章编号: 1004 - 7271(2008)06 - 0655 - 06

牙鲆形态性状对体重的影响效果分析

王 凯¹, 刘海金², 刘永新³, 顾宪明³

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院, 北京 100039;

3. 东北农业大学动物科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:跟踪测定 2032 尾牙鲆 5 月龄与 8 月龄的体重、全长、体长、头长、吻长、体高、尾柄长、尾柄高 8 个性状, 采用相关分析和通径分析方法, 剔除了与体长有共线性的全长, 计算了以形态性状为自变量对体重作依变量的相关系数、通径系数和决定系数, 定量地分析了形态特征对体重的影响效果。结果表明, 牙鲆 7 个形态性状与体重的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$); 体长、体高、尾柄高是直接影响体重的重要指标, 头长、吻长、尾柄长对体重直接作用相对较小; 决定系数分析结果与通径系数分析结果变化趋势基本相同; 不同月龄牙鲆多元分析结果有所差异; 最后建立了体长、体高、尾柄高估计体重的多元回归方程, 为牙鲆选择育种提供理论依据。

关键词:牙鲆; 形态性状; 相关系数; 通径分析

中图分类号: S 917 文献标识码: A

Mathematical analysis of effects of morphometric attributions on body weight for *Paralichthys olivaceus*

WANG Kai¹, LIU Hai-jin², LIU Yong-xin³, GU Xian-ming³

(1. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100039, China;

3. College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Haerbin 150030, China)

Abstract: The total length (X_1), body length (X_2), head length (X_3), snout length (X_4), body depth (X_5), caudal peduncle length (X_6), caudal peduncle depth (X_7) and body weight (Y) of 2032 *Paralichthys olivaceus* were measured at the ages of 5 months and 8 months. The correlation coefficients among the attributions were calculated. Total length (X_1) was eliminated from the variable data set because it was co-linear with body length (X_2). The 6 morphometric attributions ($X_2 - X_7$) were used as independent variables and body weight (Y) was used as dependent variable for path analysis. Path coefficients (P_i) and determination coefficients (d_i) were calculated in path analysis. The result showed that all correlation coefficients between each morphometric attributions and the weight achieved very significant difference levels ($P < 0.01$). Body length (X_2), body depth (X_5) and caudal peduncle depth (X_7) which bared strong direct effect were very indicative of determining the body weight, head length (X_3), snout length (X_4) and caudal

收稿日期: 2008-01-28

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAD01A1207); 跨越计划(2006 跨 18); 农业行业专项(nyhyzx07-046)

作者简介: 王 凯(1982-), 男, 山东日照人, 硕士研究生, 专业方向为水产动物健康养殖。E-mail: crazyfish863@163.com

通讯作者: 刘海金, E-mail: liuhaijin2005@126.com

peduncle length (X_6) had relatively slight direct effect and significant indirect effect on the body weight. The diversification of determination coefficients (d_i) is consistent with that of path coefficients (P_i). There was significant difference at different months with mathematical analysis. The multiple regression equation of the body length (X_2), body depth (X_5) and caudal peduncle depth (X_7) to the body weight is obtained to estimate body weight. This paper provides theoretical evidence and perfect measure target for breeding of *Paralichthys olivaceus* in aquaculture.

Key words: *Paralichthys olivaceus*; morphometric attribution; correlation coefficient; path analysis

牙鲮(*Paralichthys olivaceus*)是我国重要海水养殖品种,经过累代养殖、近亲繁殖,种质退化严重,因此需要开展育种工作^[1]。形态性状和体重具有直观性和可度量性,是鱼类遗传育种中进行选择和定向培育的常用指标。体重是决定鱼类生产性能的根本指标,但体重测量限于合适的测量工具,而且现场操作有一定困难,相反形态指标则容易准确度量,因此可以利用它们之间的相互关系,对重点性状加以选择达到选种目的。多元分析应用于鱼类的研究已有很多报道^[2-6],牙鲮属鱼类仅见利用曲线回归分析了单个性状与体重的关系^[7-8]。本研究利用通径分析方法研究牙鲮形态性状与体重之间的内在联系,旨在为牙鲮的选育工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鱼取自2007年中国水产科学研究院北戴河中心试验站,对家系选育的牙鲮进行电子标记;定期测量生长性状。选取2032尾牙鲮5月龄和8月龄的体重、全长、体长、头长、吻长、体高、尾柄长、尾柄高8个性状进行分析。

1.2 分析方法

各性状测定结果经初步统计整理,获得各性状表型参数后,用SPSS13.0进行表型相关分析,根据相关矩阵建立正则方程组,用高斯消元法解正则方程组,得到各性状的通径系数。根据相关系数的组成原理,将各形态性状与体重的相关系数剖分为各性状的直接作用(即通径系数)和各性状通过其他性状的间接作用两部分;决定系数分为各性状对体重的直接决定系数和各性状通过其它性状对体重的共同决定系数,某性状对体重的直接决定效应(通径线)和该性状通过其他路径(相关线)对体重的间接决定效应之和为该性状的综合决定系数;最后选用通径系数较高的形态指标建立多元回归方程,并对方程进行拟合度检验。计算公式参照袁志发等^[9]。

$$r_{xy} = P_i + \sum r_{ij}P_j; \quad d_i = R_i^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j < i}}^p R_{ik}^2, \quad R_i^2 = P_i^2, \quad R_{ik}^2 = 2P_i r_{ik} P_k$$

式中, r_{xy} 为 x 与 y 表型相关系数, P_i 为通径系数, $\sum r_{ij}P_j$ 各性状通过其他性状的间接作用, d_i 为综合决定系数, R_i^2 为变量 i 对依变量的直接决定系数, R_{ik}^2 为变量 i 与 k 通过相关对依变量的间接决定系数。

2 结果与分析

2.1 各性状的表型参数

所测性状数据资料经初步整理后的表型参数列于表1。

2.2 性状间的相关系数

牙鲮各形态性状及体重相互之间的表型相关系数列于表2。所列各性状间表型相关呈显著或极显著水平,各形态性状与体重的表型相关系数均达到正的极显著水平($P < 0.01$),5月龄其大小依次为 $r_{5y} > r_{1y} \geq r_{2y} > r_{7y} > r_{3y} > r_{4y} > r_{6y}$,8月龄其大小依次为 $r_{1y} > r_{2y} > r_{5y} > r_{7y} > r_{3y} > r_{6y} > r_{4y}$ 。由于各形

态性状彼此也存在相关,某个形态性状与体重间的相关仅表示该性状对体重总的影 响,其中包含其它变量的间接作用,因而不能仅以与体重的相关程度来确定形态变量的重要性,还要通过通径分析揭示各形态性状对体重的效应机理,进一步找出重要性状,并在实际育种中加以利用^[10]。

表 1 所测各性状的表型统计量

Tab. 1 The apparent parameters of various traits ($n = 2032$)

月龄	性状	体重(g) Y	全长 (cm) X_1	体长 (cm) X_2	头长 (cm) X_3	吻长 (cm) X_4	体高 (cm) X_5	尾柄长 (cm) X_6	尾柄高 (cm) X_7
5	平均数	96.635	20.808	17.678	4.853	1.099	7.602	0.987	1.907
	标准差	24.327	1.602	1.401	0.395	0.113	0.671	0.14	0.188
	变异系数(%)	25.174	7.701	7.924	8.148	10.331	8.824	14.204	9.881
8	平均数	166.9	24.862	21.167	5.47	1.085	9.183	1.227	2.338
	标准差	37.143	1.679	1.49	0.382	0.133	0.699	0.131	0.21
	变异系数(%)	22.25	6.753	7.039	6.989	12.293	7.612	10.702	8.985

表 2 5 月龄(右上角)和 8 月龄(左下角)性状间表型相关系数

Tab. 2 The phenotype correlation coefficients among traits at different growth stages

	体重 Y	全长 X_1	体长 X_2	头长 X_3	吻长 X_4	尾柄长 X_6	体高 X_5	尾柄高 X_7
体重		0.930**	0.930**	0.840**	0.531**	0.512**	0.933**	0.888**
全长	0.940**		0.991**	0.859**	0.556**	0.564**	0.919**	0.889**
体长	0.937**	0.993**		0.869**	0.565**	0.594**	0.924**	0.878**
头长	0.793**	0.804**	0.826**		0.777**	0.436**	0.859**	0.782**
吻长	0.314**	0.294**	0.342**	0.624**		0.276**	0.562**	0.510**
尾柄长	0.529**	0.547**	0.546**	0.312**	-0.052*		0.547**	0.533**
体高	0.913**	0.901**	0.902**	0.840**	0.398**	0.480**		0.906**
尾柄高	0.895**	0.872**	0.864**	0.734**	0.282**	0.472**	0.898**	

注: * 表示差异显著($P < 0.05$), ** 表示差异极显著($P < 0.01$)

2.3 线性模型拟合与复相关系数

牙鲆体重与其它 7 个形态性状间的线性模型拟合结果见表 3。由表可见该线性模型拟合效果理想,5、8 月龄中复相关系数分别是 0.909、0.915,表明牙鲆 7 个形态性状与体重为线性关系,这种线性关系的存在对通径分析至关重要。

表 3 方差分析表与复相关系数

Tab. 3 ANOVA and multiple correlations

月龄	模型	平方和	自由度	均方差	F 值	复相关系数
5	回归	1 092 786.409	7	156 112.344	2 894.729**	0.909
	残差	109 154.034	2 024	53.930		
	总和	1 201 940.443	2 031			
8	回归	2 564 064.701	7	366 294.957	3 116.365**	0.915
	残差	237 899.306	2 024	117.539		
	总和	2 801 964.007	2 031			

注: * 表示差异显著($P < 0.05$), ** 表示差异极显著($P < 0.01$)

2.4 各形态性状对体重的通径系数及作用分析

根据通径原理,剔除了与体长共线性较强的全长,得到各性状对体重的通径系数(直接作用)列于表 4。经显著性检验,除 8 月龄头长未达到显著水平外,其余均达到显著水平,但 5 月龄吻长和尾柄长,8 月龄吻长通径系数为负值。除 8 月龄体长外,各形态性状对体重的间接作用均大于直接作用,体长对体

重的直接影响最大,体高和尾柄高次之,其他性状主要通过体长、体高和尾柄高对体重间接产生影响。不同月龄分析数值稍有差异。

表4 各形态性状对体重影响的通径分析

Tab.4 Path analysis of the effects of phynotype traits on body weight

月龄	性状	方差膨胀因子	直接作用	间接影响						
				Σ	体长	体高	尾柄高	头长	吻长	尾柄长
5	体长	9.961	0.439**	0.491		0.360	0.131	0.066	-0.031	-0.035
	体高	10.365	0.390**	0.543	0.405		0.135	0.065	-0.031	-0.032
	尾柄高	5.998	0.149**	0.739	0.385	0.353		0.059	-0.028	-0.031
	头长	9.172	0.076**	0.764	0.381	0.335	0.117		-0.043	-0.026
	吻长	2.940	-0.055**	0.586	0.248	0.219	0.076	0.059		-0.016
	尾柄长	1.626	-0.059**	0.571	0.261	0.213	0.079	0.033	-0.015	
8	体长	7.865	0.520**	0.417		0.199	0.200	0.014	-0.009	0.013
	体高	9.384	0.220**	0.692	0.469		0.208	0.014	-0.010	0.012
	尾柄高	5.879	0.232**	0.663	0.449	0.198		0.012	-0.007	0.011
	头长	6.281	0.016	0.776	0.430	0.185	0.170		-0.016	0.008
	吻长	2.012	-0.025**	0.340	0.178	0.088	0.065	0.010		-0.001
	尾柄长	1.615	0.024**	0.505	0.284	0.106	0.109	0.005	0.001	

注: * 表示差异显著($P < 0.05$), ** 表示差异极显著($P < 0.01$)

2.5 各形态性状对体重的决定程度分析

各性状对体重的决定系数见表5。由表5可见体长直接决定效应最大,头长、吻长、尾柄长直接决定效应较小,随着月龄增加,除体长和尾柄高的直接决定效应增大之外,其余均显著下降;直接决定效应较大的,间接决定效应也较大;综合决定系数能把某个形态性状对体重的直接效应(通径线)与该性状通过其它各性状对体重的间接效应(相关线)综合起来考虑,反映性状对体重的综合效应大小的顺序,更容易寻找到决定体重的主要因素。从综合决定系数看,5月龄各形态重要性为:体长 > 体高 > 尾柄高 > 头长 > 吻长 > 尾柄长,8月龄各形态重要性为:体长 > 尾柄高 > 体高 > 头长 > 尾柄长 > 吻长,5月吻长和尾柄长、8月龄吻长由于各形态对体重的间接效应的影响,综合决定系数为负值。

表5 牙鲈形态性状对体重的决定系数

Tab.5 The determinant coefficients of the morphometric traits on the weight of *Paralichthys olivaceus*

决定系数月龄	直接决定效应		间接决定效应		综合决定系数	
	5	8	5	8	5	8
体长	0.1927	0.2702	0.4309	0.4335	0.6236	0.7037
体高	0.1521	0.0485	0.4231	0.3050	0.5752	0.3535
尾柄高	0.0222	0.0536	0.2200	0.3089	0.2422	0.3625
头长	0.0058	0.0003	0.1162	0.0256	0.1220	0.0259
吻长	0.0030	0.0006	-0.0645	-0.0154	-0.0615	-0.0148
尾柄长	0.0035	0.0006	-0.0675	0.0244	-0.0640	0.0250

2.6 多元回归方程的建立

根据通径系数和决定系数分析结果,保留对体重的通径系数较高的体长、体高和尾柄高三个性状,对体重进行回归估计,采用多元回归方法得到估计体重的多元回归方程:

$$5 \text{ 月龄: } Y = -182.354 + 7.418X_2 + 14.885X_5 + 18.194X_7 (R^2 = 0.905);$$

$$8 \text{ 月龄: } Y = -319.726 + 13.486X_2 + 11.155X_5 + 42.254X_7 (R^2 = 0.912).$$

其中, Y 为体重(g), X_2 为体长(cm), X_5 为体高(cm), X_7 为尾柄高(cm)。经多元回归关系显著性检验和各个偏回归系数显著性检验表明,回归关系达到极显著水平($P < 0.01$),各性状对体重的偏回归系

数极显著($P < 0.01$)。经回归预测,估计值与实际值差异不显著($P > 0.05$),说明该方程可以简便可靠地应用于实际工作。

3 讨论

3.1 克服自变量间的多重共线性

一般认为,当方差膨胀因子大于10,即表明线性模型中存在严重的复共线性,而严重的复共线性将导致通径分析丧失可靠性^[9]。将全长加入线性模型中,5、8月龄全长和体长的方差膨胀因子均高于60,显著高于其他形态因子,因此可以删除全长进行分析。不过5月龄体高的方差因子仍然高于10,对分析自变量贡献率带来一定困难。

3.2 影响体重的重点性状的确定

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,只有当相关指数 R^2 大于或等于0.85时,才表明影响依变量的主要自变量已经找到^[9]。本研究中,保留7个形态性状时,5、8月龄的相关指数分别为0.909、0.915。因此有必要对性状进行通径分析,区分作用大小,从中找出影响牙鲆体重的重点性状。通径系数表示自变量对依变量直接作用的大小,达到显著水平的通径系数才说明该自变量是影响依变量的主要因素。本研究表明,形态性状中,5月龄吻长和尾柄长、8月龄吻长与体重表现显著的正相关,但对体重的直接影响为负值;8月龄头长与体重通径分析中表现显著的正相关,但直接影响未达到显著水平,表明这些指标对体重的影响较小。通径分析的决策准则是直接决定系数或综合决定系数。于飞^[11]及刘小林等^[12]以直接决定系数为决策准则分析了栉孔扇贝、凡纳滨对虾等海洋生物各形态性状对体重的重要性,而王辉等^[10]则认为把直接决定效应和间接决定效应结合起来,增加信息量,更能够提高决策的准确性。本文头长、吻长、尾柄长直接决定系数均不超过0.006,显著低于前三个指标,对体重影响贡献率非常低;综合决定系数分析中,5月龄吻长、尾柄长和8月龄吻长的综合决定系数为较低的负值。无论通径系数、直接决定系数还是综合决定系数,分析结果保持一致,说明牙鲆的体长、体高、尾柄高是影响体重的重点性状,尤其体长是影响体重的最重要因素,头长、吻长、尾柄长对体重的直接影响较小,可以排除在回归方程之外。最后选用前3个指标进入回归方程进行拟合度检验,5、8月龄的相关指数为0.905、0.912,与7个性状时变化不大,说明分析结果具有可靠性。于飞^[11]在90日龄大菱鲆相同的7个形态性状对体重影响效果分析中,也发现体长、体高、尾柄高是直接影响体重的指标。因为性状间的遗传相关揭示了由基因多效和连锁造成的遗传关系,它可在上下代间稳定传递,应进一步从遗传相关而不是从表型相关角度研究性状间的关系^[12-13]。

3.3 多元分析在牙鲆性能选育中的应用

多元分析在其它鱼类中已经得到广泛应用。Harue等^[2]利用多元相关分析进行了红海鲤科养殖鱼类不同生长阶段标准体长、体重对体脂肪含量的估计;Debowski等^[3]用多元回归方法对大西洋鲑鱼形态学特征(体长、体重、体高)估计体脂肪含量的研究;Henderson等^[4]根据气候、捕食者、竞争因素与幼龄比目鱼丰度进行了相关分析。但多元分析在牙鲆性能选育中的尚未见报道。在选择育种中,子代往往要经多次筛选和留种,因此研究不同生长阶段各性状间的相关性对于育种具有实际意义。本文对同一批牙鲆5、8月龄分析发现,体长、体高和尾柄高都是显著影响体重的指标,而其它性状均影响较小;不同的是随着月龄增加,体长、尾柄高对体重的直接作用增大,体高、头长对体重直接作用减小,在以后的生长时期是否仍会发生变化,有待进一步研究。

数量性状的生长指标一般有两类:一种以长度度量,另一种以重量度量。本研究用牙鲆的长度性状和重量性状共同探讨牙鲆数量性状的关系,发现以提高牙鲆体重为选育目标,采用形态特征的选育是十分可行的,这在其它海洋生物的研究结果相同^[10,14-18]。在牙鲆育种中,体长、体高、尾柄高是理想的测度选育指标,理清各性状间的关系,将形态性状纳入选择指数中,采用多性状选择指数法选育更容易提高选择效率^[12-13]。

参考文献:

- [1] 连建华. 性别控制技术与选择标记在牙鲆育种中的应用研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2004.
- [2] Harue K, Mutsuyshi T, Katsuya M, *et al.* Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured Red Sea bream[J]. *Fisheries Science(Tokyo)*, 2000, 66(2): 365-371.
- [3] Deboski P, Dobosz S, Robak S, *et al.* 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[J]. *Archives of Polish Fisheries*, 1999, 7(2): 237-243.
- [4] Henderson PA, Seaby R M H. On the factors influencing juvenile flatfish abundance in the lower Severn Estuary, England[J]. *Neth J Sea Res*, 1994, 32(3-4): 321-330.
- [5] Ahmed M, Abbas G. Growth parameters of finfish and shellfish juveniles in the tidal waters of Bhanbhore, Pakistan[J]. *Journal of Zoology*, 2000, 32(1): 21-26.
- [6] 佟雪红, 董在杰, 缪为民, 等. 建鲤与黄河鲤的杂交优势研究及主要生长性状的通径分析[J]. *大连水产学院报*, 2007, 22(3): 159-163.
- [7] 朱鑫华, 吴鹤洲, 成贵书, 等. 牙鲆年龄和生长的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1991, 22(5): 402-411.
- [8] Andrea L C. On the age and growth of flounder *Paralichthys orbignyanus* (Jenyns, 1842) in Bahía Blanca Estuary, Argentina[J]. *Hydrobiologia*, 2005, 537: 81-87.
- [9] 袁志发, 周静芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 145-180.
- [10] 王 辉, 刘志刚, 符世伟. 南海毛蚶形态特征对体重的相关分析热带海洋学报[J]. *热带海洋学报*, 2007, 26(6): 58-61.
- [11] 于 飞. 大菱鲆育种技术及其效果的初步研究[D]. 上海: 上海水产大学硕士论文, 2007.
- [12] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 栉孔扇贝壳尺性状对活体重的影响效果分析[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(6): 673-677.
- [13] Falconer D S, Mackay T F C. *Introduction to quantitative Genetics* (4th ed.) [M]. Addison Wesley Longman Limited, U K, 1996: 223-245.
- [14] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 120-168.
- [15] 刘小林, 吴长功, 相建海, 等. 凡纳滨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.
- [16] 何毛贤, 史兼华, 林岳光, 等. 马氏珠母贝生长性状的相关分析[J]. *海洋科学*, 2006, 30(11): 1-4
- [17] 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.
- [18] 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.