

转大麻哈鱼生长激素基因鲤表型性状与体质量的相关性及通径分析*

刘春雷^{1,2} 常玉梅¹ 梁利群^{1**} 徐丽华^{1,2} 刘金亮^{1,2} 池炳杰³ 吴学工¹

(¹ 中国水产科学院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150070; ² 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 200090; ³ 河北联合大学建筑工程学院, 河北唐山 063009)

摘要 随机选取二龄转大麻哈鱼生长激素基因鲤和对照鲤各 30 尾, 运用相关分析和通径分析的方法研究全长、体长、体高、尾柄高、尾柄长、头长、吻长、眼径、眼间距、体厚 10 个表型性状对体质量的影响程度, 以此确定影响二龄转基因鲤和对照鲤体质量的主要表型参数. 相关分析结果表明: 转基因鲤和对照鲤的大部分表型性状与体质量间的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$). 通径分析结果显示: 体长和体高可以作为预测转基因鲤体质量的主要表型参数, 转基因鲤体长对体质量的通径系数为 0.572, 体高对体质量的通径系数为 0.415, 体长和体高直接决定体质量; 而体厚和头长可以作为预测对照鲤体质量的主要表型参数, 对照鲤体厚对体质量的通径系数为 0.610, 头长对体质量的通径系数为 0.377, 体厚和头长对体质量具有决定作用.

关键词 转基因鲤 体质量 表型性状 相关分析 通径分析

文章编号 1001-9332(2011)07-1893-07 **中图分类号** S965.1 **文献标识码** A

Correlation and path analyses of phenotypic traits and body mass of transgenic carp with growth hormone gene of salmon. LIU Chun-lei^{1,2}, CHANG Yu-mei¹, LIANG Li-qun¹, XU Li-hua^{1,2}, LIU Jin-liang^{1,2}, CHI Bing-jie³, WU Xue-gong¹ (¹ Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China; ² College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China; ³ College of Civil and Architectural Engineering, Hebei United University, Tangshan 063009, Hebei, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(7): 1893-1899.

Abstract: Thirty 2-year old transgenic carp individuals with growth hormone gene of salmon were randomly selected to study the affecting degree of their phenotypic traits on their body mass by the methods of correlation and path analyses, with 30 individuals of non-transgenic carp as the control, aimed to ascertain the main phenotypic parameters affecting the body mass of the transgenic and non-transgenic carps. The test phenotypic traits were total length, body length, body height, least height of caudal peduncle, length of caudal peduncle, length of head, snout length, eyes horizontal diameter, inter-orbital distance, and body depth. Correlation analysis showed that for both of the transgenic and non-transgenic carps, most of the test phenotypic parameters were significantly correlated to body mass ($P < 0.01$). Path analysis indicated that for transgenic carp, its body length and body height were the main predictable factors affecting body mass, with the path coefficient being 0.572 and 0.415, respectively, while for non-transgenic carp, its body depth and tail length were the main predictable factors affecting body mass, with the path coefficient being 0.610 and 0.377, respectively.

Key words: transgenic carp; body mass; phenotypic trait; correlation analysis; path analysis.

在动物育种中, 体质量性状是选育最直接的目的

性状, 也是生产性能的直接反映. 已有多篇文献报道, 利用多元分析^[1]和通径分析^[2]可以阐明表型性状与体质量之间的关系, 并通过表型性状的选择达到选育的目的. 多元分析主要包括多元回归和多元

* 国家高技术研究发展计划项目(2007AA10Z186)资助.

** 通讯作者. E-mail: lqliang@fishbreeding.org

2010-12-12 收稿, 2011-04-12 接受.

相关,多元回归指研究一个变量对其他两个或两个以上变量的线性关系;多元相关分为复相关和偏相关,复相关指一个变量与其他变量之间的线性相关,偏相关指在众多变量不变的条件下,研究两个变量之间的线性相关. 通径分析则是将自变量与因变量的单相关系数加以分解,分解出自变量对因变量的直接影响力和间接影响力.

多元分析在水产养殖的方案优化和生产量的估计方面已得到广泛应用. Kora 等^[3]利用多元相关分析进行了真鲷(*Pagrus major*)养殖鱼类标准体长、体质量对脂肪含量的估计; Debowski 等^[4]利用多元回归方法进行了大西洋鲑(*Salmon salar*)体长、体质量、体高形态学特征估计脂肪含量的研究;王波等^[5]利用此方法开展了美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)形态和生长的研究. 这些研究涉及多个变量,多是利用回归分析方法估计目标性状,但没有区分自变量对因变量的直接作用和间接影响. 还有研究者利用多元回归分析和通径分析研究大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[6]、中国对虾(*Penaeus chinensis*)^[7]、凡纳对虾(*Penaeus vannamei*)^[8]、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)一龄幼蟹^[9]形态性状对体质量影响,栉孔扇贝(*Chiamys farreri*)贝壳尺寸性状对活体质量^[10]的影响效果. 上述研究都采用了相关分析、通径分析和多元回归分析相结合的方法,在用多元分析估计目标性状的同时,区分了自变量对因变量的直接作用和间接影响的大小,确定了影响目标性状的主要外部形态性状. 本研究旨在通过对转大麻哈鱼生长激素基因鲤(*Cyprinus carpio*)(以下简称转基因鲤)^[11]和对照鲤的表型性状进行相关分析和通径分析,以检测体高、体长、体厚等10个表型性状是否可以作为预测转基因鲤和对照鲤体质量的参数,为今后转基因鲤的选育提供更直观、准确的测量指标.

1 材料与方法

1.1 供试鱼来源及主要表型性状测定

2010年5月19日在黑龙江水产研究所松浦试验场,随机选取本试验所需的饲养在同一池塘中的二龄(2008年4月21日—2010年5月18日)转基因鲤和对照鲤各30尾. 鱼体经麻醉后,采用游标卡尺测量体高(X_1)、全长(X_2)、体长(X_3)、尾柄高(X_4)、尾柄长(X_5)、头长(X_6)、吻长(X_7)、眼径(X_8)、眼间距(X_9)和体厚(X_{10})10个表型性状,精确度为0.01 cm. 体质量(Y)用电子天平称量,精确

度为0.01 g.

1.2 数据处理及分析

1.2.1 表型性状和体质量的基本量统计 转基因鲤和对照鲤各性状测量数据经统计,分别计算平均数(\bar{X})、标准差(S)和变异系数(CV),获得各性状表型参数统计量.

1.2.2 相关分析和相关系数 相关分析是研究两个变量间线性关系的程度^[12]. 相关系数是描述这种线性关系程度和方向的统计量,用 r 表示.

相关系数的计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{SP_{xy}}{\sqrt{SS_x SS_y}} \quad (1)$$

式中: r_{xy} 为表型性状对体质量的相关系数; SP_{xy} 为表型性状与体质量的离均差的乘积和; SS_x 为表型性状的离均差平方和; SS_y 为体质量的离均差平方和.

1.2.3 通径分析和决定系数 通径分析是通径系数分析的简称. 通径系数是变量标准化后的偏回归系数,用 P_{xy} 表示(简写为 P_i),可用来表示相关变量因果关系的统计量^[13-18]. 依据相关分析结果和通径系数计算决定系数,决定系数分为单个性状对体质量的决定系数 d_{xy} (简写为 d_i)和两个性状(x_i 和 x_j)对体质量的共同决定系数 $d_{x_i x_j}$ (简写为 d_{ij}).

通径系数计算公式:

$$P_i = b_i \frac{S_i}{S_0} \quad (2)$$

单个性状对体质量的决定系数:

$$d_i = P_i^2 \quad (3)$$

两个性状对体质量的共同决定系数:

$$d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j \quad (4)$$

式中: P_i 为通径系数; b_i 为表型性状的偏回归系数; S_i 为第 i 个表型性状的标准差; S_0 为体质量 y 的标准差; d_i 为第 i 个性状的决定系数; d_{ij} 为两个性状对体质量的决定系数; r_{ij} 为两表型性状之间的相关系数; P_i 为第 i 个性状的通径系数; P_j 为第 j 个性状的通径系数.

1.2.4 相关系数剖分 根据相关系数的组成原理,将各形态性状与体质量的相关系数剖分为各性状的直接作用(即通径系数, P_i)和各性状通过其他性状的间接作用两部分(即 $\sum r_{ij} P_j$).

相关系数剖分公式:

$$r_{xy} = P_i + \sum r_{ij} P_j \quad (5)$$

式中: r_{xy} 为表型性状 x_i 对体质量 y 的相关系数; r_{ij}

为两表型性状之间的相关系数; P_i 为第 i 个性状的途径系数; P_j 为第 j 个性状的途径系数。

1.2.5 数据显著性分析 文中所有数据采用 Excel 软件分析, 并利用 SPSS 16.0 软件进行数据的显著性检验 ($\alpha=0.05$)。途径系数 F 检验公式为:

$$F = \frac{P_{o,i}^2/c_{ii}}{\widetilde{ss}_r/(n-m-1)} \quad (df_1 = 1, df_2 = n - m - 1) \quad (6)$$

$$\widetilde{ss}_r = 1 - \widetilde{ss}_R = 1 - R^2$$

$$\widetilde{df}_r = n - m - 1 \quad (7)$$

通过此公式检验途径系数 $p_{o,i}$ ($i = 1, 2, \dots, m$) 是否显著, 其中 c_{ii} 为相关系数矩阵 R 的逆矩阵 R^{-1} 中主对角线上的元素; \widetilde{ss}_R 为回归平方和; \widetilde{ss}_r 为离回归平方和; \widetilde{df}_r 为离回归自由度; n 为样本数; m 为自变量数, 即表型性状数。

2 结果与分析

2.1 表型性状和体质量基本统计量

各表型统计量表明, 转基因鲤测量数据中体质量、体高、尾柄长、吻长、眼径的变异大于其他性状, 其中体质量的变异最大, 变异系数为 0.23; 对照鲤测量数据中体质量、尾柄长、头长、吻长的变异大于其他性状, 其中体质量的变异最大, 变异系数为 0.21 (表 1)。

2.2 表型性状与体质量之间的相关性

对转基因鲤和对照鲤各性状进行表型相关分析, 获得各性状间的表型相关系数 (表 2)。转基因鲤各性状间的表型相关均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 各表型性状与体质量间的相关系数大小依次为: 体高 > 体长 > 尾柄高 > 全长 > 眼间距 > 体厚 > 头长 > 尾柄长 > 吻长 > 眼径; 对照鲤各性状间的表型相关分析表明, 除眼径和吻长外其他性状均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 各表型性状与体质量间的相关系数大小

表 1 转基因鲤和对照鲤表型性状与体质量的统计结果

Table 1 Statistical results of body mass and phenotypic traits of the transgenic carp and the control one

组别 Group		性状 Trait										
		Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
转基因鲤 Transgenic carp	平均值 Average	611.30	11.01	31.44	26.67	4.19	3.93	7.71	2.55	1.14	3.66	5.31
	标准差 SD	143.18	1.13	2.45	2.21	0.39	0.41	0.72	0.27	0.11	0.29	0.43
	变异系数 CV	0.23	0.10	0.08	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10	0.10	0.08	0.08
对照鲤 Control carp	平均值 Average	742.57	10.41	36.59	31.17	4.10	5.28	7.32	1.87	1.19	3.84	5.30
	标准差 SD	159.65	0.88	3.16	2.73	0.34	0.52	0.73	0.38	0.10	0.31	0.45
	变异系数 CV	0.21	0.08	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.20	0.09	0.08	0.08

变异系数 = 标准差/平均值 $CV = SD/average$ 。Y: 体质量 Body mass (g); X₁: 体高 Body height (cm); X₂: 全长 Total length (cm); X₃: 体长 Standard length (cm); X₄: 尾柄高 Caudal peduncle height (cm); X₅: 尾柄长 Caudal peduncle length (cm); X₆: 头长 Head length (cm); X₇: 吻长 Snout length (cm); X₈: 眼径 Eye horizontal diameter (cm); X₉: 眼间距 Eye interorbital distance (cm); X₁₀: 体厚 Body depth (cm)。下同 The same below.

表 2 转基因鲤各表型性状与体质量之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of body mass and phenotypic traits of the transgenic carp

性状 Trait	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Y	1	0.954 **	0.919 **	0.935 **	0.922 **	0.771 **	0.813 **	0.566 **	0.531 **	0.906 **	0.866 **
X ₁		1	0.880 **	0.892 **	0.934 **	0.724 **	0.855 **	0.651 **	0.573 **	0.886 **	0.883 **
X ₂			1	0.986 **	0.900 **	0.814 **	0.854 **	0.640 **	0.580 **	0.875 **	0.772 **
X ₃				1	0.904 **	0.839 **	0.855 **	0.641 **	0.584 **	0.865 **	0.788 **
X ₄					1	0.731 **	0.854 **	0.667 **	0.575 **	0.910 **	0.799 **
X ₅						1	0.649 **	0.485 **	0.288	0.657 **	0.579 **
X ₆							1	0.876 **	0.738 **	0.834 **	0.748 **
X ₇								1	0.612 **	0.669 **	0.563 **
X ₈									1	0.556 **	0.501 **
X ₉										1	0.777 **
X ₁₀											1

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。下同 The same below.

依次为:体厚>眼间距>体长>体高>全长>尾柄高>头长>尾柄长>吻长>眼径。

2.3 表型性状与体质量之间的通径分析

为了进一步揭示各性状间的相关关系,进行各因变量(表型性状)对自变量(体质量)的通径分析。根据通径分析原理,参照庞有志等^[19]的方法,利用表2和表3所列各性状间的表型相关系数统计出转基因鲤和对照鲤表型性状对体质量的通径系数,即表示变量间直接关系的标准化偏回归系数。

转基因鲤表型性状对体质量的通径系数为: $P_1=0.315, P_2=0.058, P_3=0.297, P_4=0.075, P_5=0.060, P_6=-0.118, P_7=-0.110, P_8=0.003, P_9=0.197, P_{10}=0.145$ (P_1 到 P_{10} 分别对应转基因鲤的10个性状 X_1 到 X_{10} ,下同)。对转基因鲤表型性状与体质量多元回归进行显著性检验: $R=0.985, F=60.798, P<0.01$,表明转基因鲤表型性状与体质量间的复相关关系和多元回归关系真实存在,可以进行通径分析。对转基因鲤通径系数进行显著性检验得知: P_1 和 P_9 达到显著水平($P<0.05$),其余均不显著,表明体高和眼间距对体质量的直接作用较大($P_1=0.315$ 和 $P_9=0.197$)。

对照鲤表型性状对体质量的通径系数为: $P_1=0.954, P_2=0.919, P_3=0.935, P_4=0.923, P_5=0.770, P_6=0.813, P_7=0.561, P_8=0.535, P_9=0.906, P_{10}=0.866$ 。对照鲤表型性状与体质量多元回归的显著性检验: $R=0.927, F=11.076, P<0.01$,表明对照鲤表型性状与体质量间的复相关关系和多元回归关系真实存在,可以进行通径分析。对对照鲤通径系数进行显著性检验得知: P_{10} 达到显著水平($P<0.05$),其余均不显著。表明体厚对体质量的直接作用较大($P_{10}=0.866$)。

表3 对照鲤各表型性状与体质量之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of body mass and phenotypic traits of the control carp

性状 Trait	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
Y	1	0.735**	0.729**	0.757**	0.721**	0.558**	0.583**	0.382**	0.049	0.780**	0.873**
X_1		1	0.925**	0.938**	0.930**	0.797**	0.767**	0.586**	0.282	0.563**	0.675**
X_2			1	0.992**	0.920**	0.813**	0.849**	0.647**	0.391*	0.511**	0.616**
X_3				1	0.931**	0.832**	0.848**	0.657**	0.376*	0.548**	0.658**
X_4					1	0.818**	0.759**	0.562**	0.290	0.601**	0.682**
X_5						1	0.658**	0.469**	0.310	0.343*	0.482**
X_6							1	0.889**	0.509**	0.478**	0.371**
X_7								1	0.411*	0.332*	0.182
X_8									1	-0.062	-0.093
X_9										1	0.793**
X_{10}											1

2.4 表型性状对体质量的决定程度

根据各性状对体质量的决定系数和两个性状对体质量的共同决定系数公式,计算出转基因鲤和对照鲤各性状及性状间协同对体质量的决定系数。单独性状的决定系数和两两性状共同决定系数的总和等于总的决定系数,转基因鲤各形态性状对体质量总的决定系数为0.970,它等于 R^2 的数值,表明本研究所列性状是影响体质量的主要性状,其他性状对体质量的影响相对较小;对照鲤各形态性状对体质量总的决定系数为0.848,它小于 R^2 的数值,表明本研究除了所列性状还有其他性状或误差也对转基因鲤体质量有影响。由表4可以看出,转基因鲤体高和体长单独的决定系数值分别为0.172和0.327;体高和体长共同作用及体长和眼间距共同作用的决定系数分别为0.423、0.261,其相对决定程度大于其他性状单独决定系数或其他性状间相互作用的决定系数,其中体高和体长共同作用的决定程度最大。由表5可以看出,对照鲤头长和体厚单独性状决定系数分别为0.142和0.372;头长和体厚共同作用、头长和体长共同作用及体厚和体长共同作用的决定系数分别为0.171、0.128和0.161,其相对决定程度大于其他性状单独决定系数或其他性状间相互作用的决定系数。

2.5 表型性状对体质量的相关系数剖分

根据相关系数的组成效应,可将转基因鲤和对照鲤各表型性状(X_i)与体质量(Y)的相关系数剖分为表型性状对体质量的直接作用和某一表型性状通过其他表型性状对体质量的间接作用两部分。由表6可知,体长对转基因鲤的直接作用最大(0.572),其次是体高(0.415),同时它们也相互作为间接因素而对体质量产生较大影响。全长对转基因鲤的间

表 4 转基因鲤的决定系数

Table 4 Determination coefficients of the transgenic carp

性状 Trait	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.172	-0.179	0.423	-0.012	0.019	0.033	-0.098	-0.009	0.194	0.077
X_2		0.061	-0.277	0.007	-0.012	-0.020	0.057	0.005	-0.114	-0.040
X_3			0.327	-0.015	0.030	0.046	-0.133	-0.012	0.261	0.095
X_4				0.000	-0.001	-0.001	0.004	0.000	-0.007	-0.003
X_5					0.001	0.002	-0.005	0.000	0.011	0.004
X_6						0.002	-0.015	-0.001	0.021	0.007
X_7							0.033	0.004	-0.064	-0.021
X_8								0.000	-0.005	-0.002
X_9									0.070	0.043
X_{10}										0.011

表中对角线数值为单一性状对体质量的决定系数, 对角线以上数值则为两性状共同对体质量的决定系数 In the table, the value on the diagonal was the determination coefficient of body mass by single trait, and the value above the diagonal was the determination coefficient of body mass by two traits. 下同 The same below.

表 5 对照鲤的决定系数

Table 5 Determination coefficients of the control carp

性状 Trait	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.000	0.005	0.008	-0.013	0.001	0.013	-0.004	-0.001	0.004	0.018
X_2		0.016	0.051	-0.075	0.005	0.082	-0.025	-0.006	0.021	0.096
X_3			0.040	-0.119	0.008	0.128	-0.040	-0.009	0.035	0.161
X_4				0.102	-0.013	-0.183	0.054	0.011	-0.061	-0.265
X_5					0.001	0.012	-0.003	-0.001	0.003	0.014
X_6						0.142	-0.101	-0.023	0.057	0.171
X_7							0.023	0.008	-0.016	-0.034
X_8								0.004	0.001	0.007
X_9									0.025	0.153
X_{10}										0.372

表 6 转基因鲤的相关系数剖分结果

Table 6 Division result of correlation coefficients of the transgenic carp

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect										
			总和 Total	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.954	0.415	0.541	-	-0.216	0.510	-0.014	0.022	0.040	-0.118	-0.010	0.234	0.093
X_2	0.919	-0.246	1.166	0.365	-	0.564	-0.014	0.025	0.040	-0.116	-0.010	0.231	0.081
X_3	0.935	0.572	0.319	0.325	-0.243	-	-0.014	0.026	0.040	-0.117	-0.011	0.228	0.083
X_4	0.923	-0.015	0.855	0.304	-0.221	0.517	-	0.023	0.040	-0.121	-0.010	0.240	0.084
X_5	0.770	0.031	0.660	0.220	-0.200	0.479	-0.011	-	0.031	-0.088	-0.005	0.174	0.061
X_6	0.813	0.047	0.600	0.188	-0.210	0.490	-0.013	0.020	-	-0.160	-0.013	0.220	0.079
X_7	0.561	-0.183	0.598	0.121	-0.156	0.364	-0.010	0.015	0.041	-	-0.011	0.176	0.059
X_8	0.535	-0.018	0.385	0.070	-0.143	0.336	-0.009	0.009	0.035	-0.113	-	0.147	0.053
X_9	0.906	0.264	0.337	0.062	-0.215	0.495	-0.014	0.020	0.039	-0.122	-0.010	-	0.082
X_{10}	0.866	0.105	0.450	0.055	-0.190	0.451	-0.012	0.018	0.035	-0.102	-0.009	0.205	-

间接作用表示 10 种表型性状两两之间对体质量的作用, 最左边一列的性状在间接作用中起主要作用 The indirect effect indicated that two of the ten phenotypic traits had an effect on body mass, the phenotypic traits in the left column played a leading role. 下同 The same below.

接作用最大(1.166), 其次为尾柄高(0.855), 它们主要是通过吻长来实现对体质量的间接作用. 其他表型主要通过体长对体质量进行间接作用. 由表 7 可知, 体厚对对照鲤的直接作用最大(0.610), 其次为头长(0.377), 同时它们也相互作为间接因素而

对体质量产生较大影响. 尾柄高对对照鲤的间接作用最大(1.039), 其次是体高(0.713), 其中眼径主要通过吻长间接作用于体质量, 眼间距主要是通过体厚间接作用于体质量, 其余各性状则是主要通过头长和体厚间接作用于体质量.

表 7 对照鲤的相关系数剖分结果

Table 7 Division result of correlation coefficients of the control carp

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect										
			总和 Total	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.735	0.022	0.713	-	0.118	0.188	-0.297	0.019	0.289	-0.088	-0.017	0.089	0.412
X_2	0.729	0.128	0.600	0.020	-	0.198	-0.293	0.020	0.320	-0.098	-0.024	0.081	0.376
X_3	0.757	0.200	0.556	0.021	0.127	-	-0.297	0.020	0.320	-0.099	-0.023	0.087	0.401
X_4	0.721	-0.319	1.039	0.020	0.118	0.186	-	0.020	0.286	-0.085	-0.018	0.095	0.416
X_5	0.558	0.024	0.534	0.018	0.104	0.166	-0.261	-	0.248	-0.071	-0.019	0.054	0.294
X_6	0.583	0.377	0.205	0.017	0.109	0.170	-0.242	0.016	-	-0.134	-0.031	0.076	0.226
X_7	0.382	-0.151	0.533	0.013	0.083	0.131	-0.179	0.011	0.335	-	-0.025	0.052	0.111
X_8	0.049	-0.061	0.110	0.006	0.050	0.075	-0.093	0.007	0.192	-0.062	-	-0.010	-0.057
X_9	0.780	0.158	0.621	0.012	0.065	0.110	-0.192	0.008	0.180	-0.050	0.004	-	0.484
X_{10}	0.873	0.610	0.263	0.015	0.079	0.132	-0.218	0.012	0.140	-0.027	0.006	0.125	-

3 讨 论

3.1 通径分析特点

通径系数是变量标准化的偏回归系数,具有相关分析和多元回归分析所不具备的优势.相关系数是两变量间关系的综合体现,它既包括变量间的直接关系,也包括通过其他变量影响的间接关系.但相关分析不能全面考察变量间的相互关系,使结果带有一定的片面性.如文中表 2 和表 3 所示,转基因鲤和对照鲤各性状之间的相关系数大部分差异极显著,但这只是各性状之间关系的综合体现,并没有说明各个性状的具体作用大小.多元回归分析在一定程度上能够消除变量之间的混淆,但由于偏回归系数带有单位,以多元线性回归为例,其公式为: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_mx_m$,式中, b_0 到 b_m 为偏回归系数.本文中 y 为体质量(g); x 为表型性状(cm),偏回归系数的单位是 $g \cdot cm^{-1}$,因此使自变量对因变量的作用不能直接进行比较.通径分析克服了相关分析与回归分析的不足,能够真实反映各自变量和因变量的关系,而且由于通径系数是变量标准化的偏回归系数,从而使自变量对因变量的作用能直接进行比较.同时通径分析还能区分原因对结果的直接作用和间接作用,能全面地反映原因对结果的相对重要性^[19-20].

本文中,转基因鲤和对照鲤各性状与体质量间的相关系数,大部分表型性状均达到极显著水平($P < 0.01$),但通径分析结果表明,对转基因鲤体质量的影响只有体高和眼间距达到显著水平($P < 0.05$),其余性状对体质量的影响则不显著($P > 0.05$);对照鲤中只有体厚对体质量的作用达到显著水平($P < 0.05$),其余性状对体质量的影响均不显

著($P > 0.05$).可见,仅通过各性状的表型相关分析,不能判定各自变量对因变量的影响大小,有必要对性状进行通径分析,以区分作用大小,从中找出影响转基因鲤和对照鲤体质量的主要性状.

3.2 影响转基因鲤和对照鲤体质量的主要性状的确定

在表型相关分析的基础上进行通径分析和相关系数剖分,可以确定影响体质量的主要表型性状.当复相关指数或各自变量对因变量的单独决定系数及两两共同决定系数的总和($\sum d$,在数值上 $R^2 = \sum d$) ≥ 0.85 时,表明影响因变量的主要自变量已经找到^[21].本研究中,转基因鲤的 $R^2 = \sum d = 0.970$,说明所测量的转基因鲤各表型性状是影响体质量的主要性状;对照鲤的 $R^2 = \sum d = 0.848$,说明对照鲤所测量的表型性状也是影响对照鲤体质量的主要因素.通径分析及决定程度分析结果表明转基因鲤体高、体长对体质量的直接影响大于其他表型性状的影响,而且这两个性状共同对体质量的作用也大于其他表型间共同作用.

因此,本研究结果认为,在转基因鲤选育过程中应以体高和体长为主要参数;而对照鲤中体厚和头长对体质量的直接作用大于其他表型的作用,体长、体厚和头长三者共同对体质量的作用大于其他表型相互作用,在对照鲤选育中应以体厚、头长为主要参数.一方面,通过相关分析、通径分析和多元回归分析找出影响转基因鲤和对照鲤体质量的主要表型性状,为其选择性育种提供了理论依据和理想的测度指标,可用于指导野生家系及转基因鱼的选育工作;另一方面,根据鱼类体型分类,体型为纺锤形的鱼类游泳速度一般较快,反之较慢,本研究转基因鲤体型

偏向于侧扁型,对照鲤偏向于梭子型,由此可以看出,转基因鲤的游泳速度可能比对照鲤慢,这与 Li 等^[22]的研究结果一致。

参考文献

- [1] Zhang Q (张勤), Zhang Q-N (张启能). Biostatistics. Beijing: China Agriculture Press, 2002 (in Chinese)
- [2] Tong X-H (佟雪红), Yuan X-H (袁新华), Dong Z-J (董在杰), et al. Growth comparison and path analysis of selfing of Jian carp and reciprocal crosses hybrids between Jian carp and Huanghe carp. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), 2008, **32**(2): 182-198 (in Chinese)
- [3] Kore H, Tsuchimutu M, Miyita K, et al. Estimation of body fat content from standard body length and body weight on culture red sea bream. *Fishers Sciences*, 2000, **66**: 365-371
- [4] Debowski 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. *Archives of Polish Fisheries*, 1999, **7**: 237-243
- [5] Wang B (王波), Liu S-L (刘世禄), Zhang X-L (张锡烈), et al. Study on morphological and growth parameter of red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Marine Fisheries Research* (海洋水产研究), 2002, **23**(1): 47-53 (in Chinese)
- [6] Wang X-A (王新安), Ma A-J (马爱军), Xu K (许可), et al. Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), 2008, **54**(3): 540-545 (in Chinese)
- [7] Dong S-R (董世瑞), Kong J (孔杰), Wan C-S (万初坤), et al. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Fenneropenaeus chinensis*. *Marine Fisheries Research* (海洋水产研究), 2007, **28**(3): 15-22 (in Chinese)
- [8] Liu X-L (刘小林), Hao C-G (昊长功), Zhang Z-H (张志怀), et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei*. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(4): 857-862 (in Chinese)
- [9] Geng X-Y (耿绪云), Wang X-H (王雪惠), Sun J-S (孙金生), et al. Morphometric attributes to body weight for juvenile crab, *Eriocheir sinensis*. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 2007, **38**(1): 49-54 (in Chinese)
- [10] Liu X-L (刘小林), Chang Y-Q (常亚青), Xiang J-H (相建海), et al. Analysis of effects of shell size characters on live weight in Chinese scallop *Chlamys farreri*. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 2002, **33**(6): 673-678 (in Chinese)
- [11] Yan X-C (闫学春), Sun X-W (孙效文), Liang L-Q (梁利群), et al. Study on growth for super transgenic common carp and its progeny. *Chinese Journal of Fisheries* (水产学杂志), 2004, **17**(1): 9-13 (in Chinese)
- [12] Ming D-X (明道绪). Biometry and Experimental Design. Beijing: China Agriculture Press, 2004 (in Chinese)
- [13] Wang K (王凯), Liu H-J (刘海金), Liu Y-X (刘永新), et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributions on body weight for *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Shanghai Fisheries University* (上海水产大学学报), 2008, **17**(6): 655-660 (in Chinese)
- [14] Liu X-D (刘贤德), Cai M-Y (蔡明夷), Wang Z-Y (王志勇), et al. The correlation and path analysis for growth-related traits of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* from Min-Yuedong tribe. *Periodical of Ocean University of China* (中国海洋大学学报), 2008, **38**(6): 916-920 (in Chinese)
- [15] Huang D-H (黄大辉), Peng Y-Z (彭懿紫), Huang T-J (黄天进), et al. Multiple stepwise regression and path analysis of hybrid rice main characters. *Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science* (广西农业生物科学), 2004, **23**(2): 100-103 (in Chinese)
- [16] Sarawgi AK, Rastogi NK, Soni DK. Correlation and path analysis in rice accessions from Madhya Pradesh. *Field Crops Research*, 1997, **52**: 161-167
- [17] Zhao H, Zhang ZB, Shao HB, et al. Genetic correlation and path analysis of transpiration efficiency for wheat flag leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, **64**: 128-134
- [18] Lenzen M. Structural path analysis of ecosystem networks. *Ecological Modelling*, 2006, **200**: 334-342
- [19] Pang Y-Z (庞有志), Zhao S-J (赵淑娟), Yang Y-B (杨又兵), et al. Correlation and regression analysis between body weight and body size of Korea quail. *Journal of Henan Agricultural Sciences* (河南农业科学), 2008(10): 125-129 (in Chinese)
- [20] Wang B (王标), Yu M-K (虞木奎), Sun H-J (孙海菁), et al. Photosynthetic characters of *Quercus acutissima* from different provenances under effects of salt stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(8): 1817-1824 (in Chinese)
- [21] Zhu B (朱波), Qing C-L (青长乐), Mu S-S (牟树森). Bioavailability of exotic zinc and cadmium in purple soil. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(5): 555-558 (in Chinese)
- [22] Li DL, Fu CZ, Hu W, et al. Rapid growth cost in "all-fish" growth hormone gene transgenic carp: Reduced critical swimming speed. *Chinese Science Bulletin*, 2007, **52**: 1501-1506

作者简介 刘春雷,男,1985年生,硕士研究生.主要从事鱼类基因工程育种研究. E-mail: lcl283946181@163.com

责任编辑 肖红