

清水江鲤外部形态性状对体质量的影响

周 洲,李建光,王艳艳,孔 杰,曾 圣  
(贵州省农业科学院 水产研究所,贵州 贵阳 550025)

**摘要:** 随机选取 117 尾体长在 260 ~ 350 mm 的野生清水江鲤个体,分别测定其体质量、体长、全长、体高、体厚、头长、尾柄长、尾柄高等 8 个形态学指标,研究清水江鲤外部形态性状对体质量的影响。采用相关分析、通径分析及多元回归分析方法,分别确定了清水江鲤形态性状对体质量的相关系数、通径系数和决定系数,剔除了与体长存在显著性共性的全长指标,构建了显著性形态性状与体质量的多元回归方程。结果表明,清水江鲤形态性状中,体质量的变异系数最大;各形态性状与体质量的相关系数均达到显著水平 ( $P < 0.05$ );体长、体高、体厚、尾柄高、尾柄长等 5 个性状对体质量的通径系数达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ),其中体高的通径系数最大,为 0.582,尾柄长的通径系数最小,为 -0.123;决定分析结果同通径分析结果趋势一致,显著性状对体质量的共同决定系数为 0.911;采用逐步引入-剔除自变量的方法,建立以尾柄高( $X_1$ )、体长( $X_2$ )、体高( $X_3$ )、体厚( $X_4$ )和尾柄长( $X_5$ )估计清水江鲤体质量( $Y$ )的最优回归方程: $Y = -1\,217.894 + 1\,048.363X_1 + 329.480X_2 + 438.304X_3 + 453.326X_4 - 354.932X_5$ ,经检验方程达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。表明体长、体高、体厚、尾柄高、尾柄长是影响清水江鲤体质量的主要性状。

**关键词:** 清水江鲤; 形态性状; 体质量; 相关分析; 通径分析  
**中图分类号:** S93      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004 - 3268(2017)12 - 0134 - 05

Mathematical Analysis of Morphometric Traits Effects on Body Weight for Qingshui River *Cyprinus carpio*

ZHOU Zhou, LI Jianguang, WANG Yanyan, KONG Jie, ZENG Sheng  
(Fisheries Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** A total amount of 117 Qingshui River *Cyprinus carpio* between 260 mm and 350 mm were randomly sampled for measuring body weight and seven morphometric traits, including body length, total length, head length, tail handle length, tail handle height, body depth and body width. The correlation coefficient, path coefficient and decision coefficient of each morphometric trait on body weight were calculated by statistical analysis. In addition, a regression equation using significant morphological traits as variables and body weight as dependent variable was established, while total length was eliminated because of co-linear with body length. The results showed that all the correlation coefficients achieved significant levels ( $P < 0.05$ ), while the morphological stability of body weight was higher than that all morphological traits. The path coefficients of body length, body depth, body width, tail handle length and tail handle height were all at extremely significant level ( $P < 0.01$ ), while the biggest was body depth (path coefficient = 0.582). The results of determinant coefficients analysis was consistent with that path analysis. The high value of total decision coefficient at 0.911 suggested that the main attributes have been selected. The morphometric attributes tail handle height ( $X_1$ ), body length ( $X_2$ ), body depth ( $X_3$ ), body width ( $X_4$ ) and tail handle length ( $X_5$ ) were used to establish the optimum regression ( $P < 0.01$ ) by step by step elimination as  $Y = -1\,217.894 + 1\,048.363X_1 + 329.480X_2 + 438.304X_3 + 453.326X_4 - 354.932X_5$ .

收稿日期:2017-07-10  
基金项目:国家大宗淡水鱼类产业技术体系项目(9CARS-46-49);贵州省科学基金项目(黔科合 LH 字[2014]7696 号)  
作者简介:周 洲(1985-),女,贵州贵阳人,助理研究员,硕士,主要从事鱼类繁殖生理研究。E-mail:zz1126277@163.com

This research suggested that body length, body depth, body width, tail handle length and tail handle height were the key effective factor on body weight of Qingshui River *Cyprinus carpio*.

**Key words:** *Cyprinus carpio*; morphometric traits; body weight; correlation analysis; path analysis

中国鲤鱼有多个种群,如黄河鲤、镜鲤、湘江野鲤、兴国红鲤、红鲤等,采用杂交育种的方法将不同种群的鲤鱼进行杂交,成功培育出了高产优质的优势种,取得了巨大的经济效益和社会效益,如德国镜鲤、松浦鲤、岳鲤、万安玻璃红鲤及兴国红鲤等适宜推广的优良养殖品种或杂交种<sup>[14]</sup>。清水江鲤属鲤形目鲤科鲤亚科鲤属<sup>[5]</sup>,在贵州主要分布于清水江、乌江、赤水河等水系。

清水江鲤是贵州黔东南、黔南等地稻田养鲤的主要养殖品种,其适应性强,是一种经济开发价值较高的名优鱼类。近年来,由于人为破坏,清水江野鲤的数量日趋减少,为了更好地保护和提高清水江鲤的特性和纯度,除开展表型形态、体色等方面的人工选育外,运用通径分析等手段选择影响清水江鲤体质量的主要外部形态指标,既可以通过对形态性状的选择达到对体质量的选育,又可以开展清水江鲤同其他鲤鱼种群的比较。明俊超等<sup>[2]</sup>运用单因素方差分析、主成分分析和聚类分析对 6 个不同鲤群体的形态差异进行分析发现,不同鲤群体在体型和头部特征上存在一定差异和分化。刘晓敏等<sup>[6]</sup>运用通径分析明确了影响黄河鲤  $F_1$  代体质量的主要外部形态特征。向燕等<sup>[7]</sup>通过线粒体 *COI* 基因序列差异及遗传多样性研究指出,清水江鲤群体的遗传差异水平较低,个体间有较近的亲缘关系。通过多元分析对清水江鲤的外部形态研究鲜有报道,为此,选取 7 个形态性状,通过相关分析、通径分析确定影响清水江鲤体质量的主要形态性状,并建立主要形态性状与体质量的多元回归方程,从而在形态学上研究清水江鲤的种群特异性,并为进一步开展清水江鲤的人工选择提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试 117 尾清水江野鲤于 2016 年 8—10 月在清水江系中下游锦屏县段捕捞,体长在 260 ~ 350 mm。逐尾用游标卡尺测量其体长、全长、体高、体厚、头长、尾柄长、尾柄高等 7 个形态性状(精确到 0.01 cm)。使用天子天平测量体质量(BWH)(精确到 0.01 g)。

1.2 分析方法

利用 SPSS 16.0 统计软件将所测量的数据进行统计(包括各性状的最大值、最小值、平均数、标准

差及变异系数等)。在表型相关分析的基础上,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,得到各形态性状对清水江鲤体质量的通径系数( $P_i$ )。依据相关系数( $r_{ij}$ )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  $d_i$  和 2 个性状对体质量的共同决定系数  $d_{ij}$ 。各计算公式分别为: $d_i = P_i^2$ ,  $d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$ 。

在通径分析的基础上,选取通径系数达到显著水平的形态性状计算复相关指数,确定影响体质量的主要性状,复相关指数的计算公式: $R^2 = \sum r_{ij}P_i$ 。

应用逐步回归分析方法中的逐步引入-剔除自变量的方法,通过偏回归系数检验剔除不显著的性状,建立主要性状与体质量的多元线性回归方程,并对方程进行拟合度检验<sup>[8]</sup>。

2 结果与分析

2.1 清水江鲤表型性状描述性统计结果

由表 1 可知,在清水江鲤所有性状中,体质量的变异程度是最大的,变异系数为 15.5%,说明体质量具有较大的选择潜力。7 个形态性状中,体高和体厚的变异系数较大,均超过了 10%,其余的形态性状的变异系数相差不大,均小于 10%。

表 1 清水江鲤各表型性状的测定结果

性状	平均值	标准差	变异系数/%
全长/cm	36.78	2.25	6.1
体长/cm	30.55	1.88	6.2
头长/cm	7.23	0.49	6.8
尾柄长/cm	3.97	0.38	9.6
尾柄高/cm	4.06	0.26	6.4
体高/cm	8.85	0.90	10.2
体厚/cm	5.53	0.62	11.2
体质量/g	712.200	110.483	15.5

2.2 清水江鲤各表型性状间的相关系数

对清水江野鲤的表型性状进行相关分析,获得各性状间的相关系数(表 2)。由表 2 可知,所测各形态性状间的相关系数中,体高与全长、体长之间相关性不显著,体厚与头长、尾柄高相关性不显著,其余各性状的相关系数均达到显著水平( $P < 0.05$ )。体高同体厚、尾柄长的相关系数为负数,表明存在负相关,其余各性状之间为正相关。在表型性状间的相关分析中,不同性状间的相关系数相差较大,其中全长和体长的相关系数最大,为 0.967。本研究选

取的 7 个形态性状与体质量的相关系数最大的为尾柄高(0.810),最小的为体厚(0.143),均达到了显著水平( $P<0.05$ ),相关系数由大到小依次为尾柄高、体长、全长、头长、体高、尾柄长、体厚。

表 2 清水江鲤各表型性状间的相关系数

性状	全长	体长	体厚	体高	头长	尾柄长	尾柄高	体质量
全长	1	0.967 **	0.298 **	0.072	0.658 **	0.590 **	0.531 **	0.786 **
体长		1	0.320 **	0.049	0.612 **	0.602 **	0.557 **	0.793 **
体厚			1	-0.746 **	0.088	0.484 **	0.066	0.143 *
体高				1	0.207 *	-0.268 **	0.426 **	0.419 **
头长					1	0.328 **	0.366 **	0.580 **
尾柄长						1	0.199 *	0.320 **
尾柄高							1	0.810 **
体质量								1

注：\* 表示相关性显著( $P<0.05$ ), \*\* 表示相关性极显著( $P<0.01$ )。

2.3 清水江鲤各形态性状对体质量的通径分析

使用 SPSS 软件进行相关分析,经共线性检测剔除全长。运用通径分析得到各形态性状对体质量的通径系数(表 3),保留通径系数达到极显著水平( $P<0.01$ )的体长、体高、体厚、尾柄高、尾柄长,它们的通径系数依次为 0.560、0.582、0.441、0.246、-0.123。根据通径分析原理将形态性状对体质量的影响分为直接作用和间接作用,不同形态性状对

体质量的直接作用有所差异,体高对体质量的直接作用系数最大,且体高对体质量的间接作用系数为负值,说明体高主要是通过直接作用来影响体质量。尾柄高对体质量的间接作用系数最大,说明尾柄高主要是通过间接作用来影响体质量。尾柄长对体质量的直接作用系数为负值,而间接作用系数为正值,说明尾柄长只能通过另外 4 个性状对体质量起到正向作用。

表 3 清水江鲤显著性状对体质量的直接与间接通径系数

性状	相关系数	直接作用	间接作用					
			Σ	尾柄高	体长	体高	体厚	尾柄长
尾柄高	0.810 **	0.246 **	0.565		0.312	0.248	0.029	-0.024
体长	0.793 **	0.560 **	0.233	0.137		0.029	0.141	-0.074
体高	0.419 **	0.582 **	-0.164	0.105	0.027		-0.329	0.033
体厚	0.143 **	0.441 **	-0.298	0.016	0.179	-0.434		-0.059
尾柄长	0.320 **	-0.123 **	0.443	0.049	0.337	-0.156	0.213	

注：\*\* 表示通径分析达到极显著水平( $P<0.01$ )。

2.4 清水江鲤各形态性状对体质量的决定程度分析

清水江鲤各形态性状对体质量的决定分析见表 4,表 4 对角线以上的数据为单个形态性状对体质量的决定系数,对角线以上的数据为两两形态性状共同对体质量的决定系数。各形态性状对体质量决定系数之和为 0.911。由表 4 可知,体长和体高对体质量的单独决定系数较大,分别为 0.314、0.339,表明对体质量起主要作用的是体长和体高,尾柄长和尾柄高对体质量的决定作用较小,分别为 0.015 和 0.061。两两性状对体质量的协同决定作用中,体

高和体厚对体质量的共同决定作用为 -0.383,说明体高和体厚协同对体质量起到反向的决定作用。

2.5 多元回归方程的建立

采用逐步引入-剔除自变量的方法进行回归分析见表 5 和表 6。建立以体长、体高、体厚、尾柄高和尾柄长估计清水江鲤体质量的最优回归方程:

$$Y = -1\,217.894 + 1\,048.363X_1 + 329.480X_2 + 438.304X_3 + 453.326X_4 - 354.932X_5$$

式中:Y 为体质量, $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  和  $X_5$  分别为尾柄高、体长、体高、体厚和尾柄长。

表 6 的数据显示,对各偏回归系数的显著性检验结果为尾柄高、体长、体高、体厚和尾柄长均达极显著水平( $P<0.01$ ),对截距 -1 217.894 的检验结果为极显著( $P<0.01$ ),可以认为所得的多元线性回归方程成立。采用 F 检验的方法对构建的多元回归方程进行显著性检验,检验结果显示,回归方程达到极显著水平( $F=226.002, P<0.01$ ),说明该回归方程具有统计意义。

表 4 清水江鲤形态性状对体质量的决定系数

性状	尾柄高	体长	体高	体厚	尾柄长	Σ
尾柄高	0.061	0.153	0.122	0.014	-0.012	
体长		0.314	0.032	0.158	0.153	
体高			0.339	-0.383	0.038	0.911
体厚				0.194	-0.007	
尾柄长					0.015	

表 5 多元回归方程的方差分析

指标	总平方和	自由度	均方	F 值	显著性
回归	1 289 313. 363	5	257 862. 673	226. 002	0. 000
残差	126 648. 465	111	1 140. 977		
总计	1 415 961. 828	116			

表 6 多元回归方程偏回归系数和回归常数的显著性检验

项目	非标准化回归系数	标准化回归系数	显著性
常数	-1 217. 894		0. 000
尾柄高	1 048. 363	0. 246	0. 000
体长	329. 480	0. 560	0. 000
体高	438. 304	0. 582	0. 000
体厚	453. 326	0. 441	0. 000
尾柄长	-354. 932	-0. 123	0. 000

3 结论与讨论

3.1 清水江鲤表型性状及性状间的相关分析

在鱼类的表型性状中,体质量是鱼类生长最主要的衡量指标,其次是体长、体高等一些可测量的形态性状。本研究选取了 8 个表型性状,通过平均值、标准差及变异系数等指标对表型性状进行统计,变异系数的差异指出各表型性状选择潜力不同,体质量的变异系数最大,为下一步开展清水江鲤选育工作提供了可行性。

通过对清水江鲤各形态性状与体质量的相关分析得出,所选 7 个形态性状与体质量的相关系数均达到显著水平( $P < 0. 05$ ),说明在对清水江鲤的选育工作中,通过对形态性状的选择可以实现对体质量的间接选择。通过相关系数对比,尾柄高、体长、全长及头长与体质量的相关系数较大,这同刘晓敏等<sup>[6]</sup>关于黄河鲤  $F_1$  代形态性状对体质量的影响研究及王朝溪等<sup>[9]</sup>关于青海湖裸鲤形态性状对体质量影响研究的结果存在一定差异,表明不同的鲤鱼群体间形态性状与体质量的关系存在种群特异性。

3.2 影响清水江鲤体质量的主要形态性状

在表型相关分析的基础上,本研究运用通径分析和多元回归分析进一步分析形态性状对体质量的影响<sup>[10-11]</sup>。结果显示,通径分析和多元回归分析的结果是一致的,影响清水江鲤体质量的主要形态性状为体长、体高、体厚、尾柄高和尾柄长,表明本研究确定的影响清水江鲤体质量的主要形态性状,可以用于指导其良种选育工作。本研究中,各形态性状对体质量总的决定系数为 0. 911,大于 0. 85<sup>[12-13]</sup>,表明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。

薛宝贵等<sup>[14]</sup>研究结果表明,影响黄姑鱼 1 龄幼鱼体质量的 5 个形态性状分别为体长、体高、体厚、

尾柄高和眼间距;刘峰等<sup>[15]</sup>研究发现,影响小黄鱼体质量的 4 个形态性状依次为体长、躯干长、尾柄高及体高;王朝溪等<sup>[9]</sup>研究发现,影响青海湖裸鲤体质量的 3 个形态性状为体长、体高及臀鳍基长;刘晓敏等<sup>[6]</sup>研究发现,影响黄河鲤  $F_1$  代体质量的 2 个形态性状为体长和体高。本研究确定的影响清水江鲤体质量的 5 个形态性状为体长、体高、体厚、尾柄高和尾柄长,多个研究的共同点是体长和体高均为影响体质量的主要形态性状,表明存在影响鱼类体质量的重要形态性状,这进一步验证了当个体具有较大的几何空间,有利于营养物质的积累贮存。多个研究结果的不一致又表明,影响不同群体鱼种的外部形态特征不同。本研究的样本量有限,下一步将研究是否随着测量鱼体数量的增加,影响清水江鲤体质量的形态性状会表现得愈加明显,以及是否在不同的生长阶段影响清水江鲤体质量的外部形态特征有所不同。

3.3 清水江鲤的选育

清水江鲤野生资源逐年减少,导致存在自然水域中的野生资源匮乏,天然苗种的数量急剧减少,清水江鲤种质资源的保护已经迫在眉睫<sup>[16]</sup>。野生亲本的选择是清水江鲤种质资源保护的第一步,在实际工作中,可以将体长、体高、体厚、尾柄高和尾柄长作为野生清水江鲤亲本选育的指标,有效避免随机选择亲本造成的清水江鲤种质退化,可以提高亲本的质量,增强后代的竞争力。近年来,贵州省水产研究所正在野生水域收集清水江鲤,建立清水江鲤野生亲本库,在保护好清水江鲤种质资源的基础上,及时通过行之有效的选育方法来开展人工选择是摆在面前的课题。同时,利用数量遗传手段指导选育也有利于清水江鲤这一土著品种的纯化和保护,本研究结果为开展清水江鲤的人工选育工作提供了基础数据支撑。

参考文献:

[1] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京:中国农业出版社, 2001:40-43.

[2] 明俊超,董在杰,梁政远,等. 6 个不同鲤群体的形态差异分析[J]. 广东海洋大学学报,2009,29(6):1-6.

[3] 于讯. 水科院淡水中心完成“福瑞鲤”选育项目[J]. 现代渔业信息,2011,26(12):42.

[4] 张建森,孙小昇. 建鲤育种研究论文集[M]. 北京:科学出版社,1994:13-20.

[5] 伍铝,金大雄,郭振中,等. 贵州鱼类志[M]. 贵阳:贵州人民出版社,1989:197-198.

[6] 刘晓敏,石英. 黄河鲤  $F_1$  代形态性状对体质量的影响

[J]. 水产科技情报,2015,42(6):324-327.

[7] 向燕,朱岭,胡世然,等. 清水江鲤鱼线粒体 *COI* 基因序列变异及遗传多样性[J]. 贵州农业科学,2013,41(6):17-19.

[8] 安丽,刘萍,李健,等. “黄海 1 号”中国明对虾形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 中国水产科学,2008,15(5):779-786.

[9] 王朝溪,史建全,祁洪芳,等. 青海湖裸鲤形态性状对体质量的影响[J]. 广东海洋大学学报,2015,35(3):1-6.

[10] 袁美云,刘双凤,韩志忠,等. 3 月龄施氏鲟形态性状对体质量的影响分析[J]. 中国水产科学,2010,17(3):507-513.

[11] 赵旺,严俊贤,马振华,等. 3 月龄斜带石斑鱼形态性状对体质量的影响[J]. 河南农业科学,2017,46(8):152-155.

[12] 刘小林,吴长功,张志怀,等. 凡纳白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.

[13] 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.

[14] 薛宝贵,辛俭,楼宝,等. 黄姑鱼一龄幼鱼形态性状对体质量的影响分析[J]. 浙江海洋学院(自然科学版),2011,30(6):492-498.

[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.

[16] 胡世然,杨兴,周承辉,等. 清水江鲤生物学特性及人工驯养技术研究[J]. 农技服务,2014(5):159-161.

(上接第 125 页)

[10] 申红春. 绞股蓝对断奶仔猪抗氧化能力及免疫功能的影响[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2012,30(1):64-66,81.

[11] 尚晓娅,饮传光,曹刚,等. 绞股蓝多糖提取分离、化学结构及生物活性的研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2010,22(3):514-518,540.

[12] 岳文斌,车向荣,臧建军,等. 甘露寡糖对断奶仔猪肠道主要菌群和免疫机能的影响[J]. 山西农业大学学报,2002,22(2):97-101.

[13] 周韶,黄华山,杨在宾,等. 低聚木糖对仔猪生产性能和肠道微生物影响的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2011,42(1):84-88.

[14] 王留,王向国. 大枣多糖对保育猪肠道微生物菌群及肠道组织形态的影响[J]. 养猪,2014(4):7-8.

[15] 曹国文,曾代勤,戴荣国,等. 中草药添加剂对断奶猪肠道菌群与生产性能的影响[J]. 中国兽医科技,2003,33(11):54-58.

[16] 王国强,王秋文,樊春光,等. 复合益生菌发酵豆粕的技术参数优化[J]. 河南农业科学,2016,45(8):140-143.

[17] 韩庆功,宋云义,崔艳红,等. 牛至油对仔猪生产性能、抗体水平及粪便微生物的影响[J]. 河南农业科学,2016,45(7):113-117.

[18] 李连缺,孟志敏,米同国,等. 复合酸对老龄蛋鸡日粮 pH 值和消化道内环境的影响[J]. 河南农业科学,2015,44(8):128-132.

[19] 陈树河,陈秋,常云胜,等. 复合益生菌在水产养殖中的作用机制研究进展[J]. 河南农业科学,2016,45(4):12-18.

[20] 张宏福,徐秀容,卢庆萍,等. 异麦芽低聚糖对早期断奶仔猪肠道主要菌群的影响[J]. 动物营养学报,2001,13(7):47-51.

[21] 许梓荣,胡彩虹. 寡果糖对肥育猪生长性能、肠道菌群和免疫功能的影响[J]. 中国兽医学报,2003,23(1):69-71.

[22] 王芳芳,刁华杰,王志龙,等. 中草药添加剂对断奶仔猪肠道菌群与生长性能的影响[J]. 中国畜牧杂志,2017,53(3):121-127.

[23] 苏家宜,李华伟,黎智华,等. 发酵中药渣对断奶仔猪生产性能和肠黏膜形态结构的影响[J]. 天然产物研究与开发,2016,28(9):1454-1459.

[24] 张文飞,刘苹苹,管武太,等. 饲料中添加卵黄抗体对断奶仔猪生长性能、血清生化指标、肠道形态及肠道微生物菌群的影响[J]. 动物营养学报,2017,29(1):271-279.