

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180909001

http://www.yykxjz.cn/

陈红林, 司周旋, 杜金星, 许细丹, 王军, 王成辉. 四种体色瓯江彩鲤形态性状与体质量的相关性与通径分析. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 110-116

Chen HL, Si ZX, Du JX, Xu XD, Wang J, Wang CH. Correlation and path coefficient analysis of the morphometric traits and body weight for the four color patterns of Oujiang color common carp. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 110-116

四种体色瓯江彩鲤形态性状与体质量的相关性与通径分析*

陈红林 司周旋 杜金星 许细丹 王军 王成辉^①

(上海海洋大学水产与生命学院 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室
水产科学国家级实验教学示范中心 上海水产养殖工程技术研究中心 上海 201306)

摘要 为了解4种体色类型瓯江彩鲤(*Cyprinus carpio* var. *color*) (“大花”-BR、“粉花”-BW、“全红”-WR、“粉玉”-WW)的形态性状与体质量的相关程度, 本研究对12月龄的4种体色瓯江彩鲤的相关形态性状(体长 X_1 、体宽 X_2 、体高 X_3 、头长 X_4 和尾柄高 X_5)与体质量(Y)进行了相关分析、回归分析及通径分析。结果显示, “全红”体色在所测性状的变异系数均为最高, 具有相对较大的选育潜力; 4种体色瓯江彩鲤中各形态性状与体质量的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$), 其中, 以体高与体质量的相关程度最高。应用逐步引入-剔除法分别构建了4种体色瓯江彩鲤形态性状对体质量的回归方程: 即BR为 $Y_1 = -517.069 + 12.628X_1 + 67.916X_2 + 94.885X_3$; BW为 $Y_2 = -525.711 + 38.085X_2 + 68.869X_3 + 72.206X_5$; WR为 $Y_3 = -502.952 + 90.980X_2 + 18.172X_4 + 113.965X_5$; WW为 $Y_4 = -537.119 + 22.932X_1 + 55.113X_2 + 48.203X_5$ 。通过通径分析发现, BR和WR群体的 X_2 对 Y 的直接作用最大(0.387, 0.504), BW群体的 X_3 对 Y 的通径系数最大(0.546), WW群体的 X_1 对 Y 的通径系数最大(0.508)。研究表明, 4种体色瓯江彩鲤的形态特征差异较为明显, 各形态性状对体质量的影响程度存在较大差异。研究结果将为瓯江彩鲤的进一步选育提供有益参考。

关键词 瓯江彩鲤; 体质量; 形态性状; 相关分析; 回归方程; 通径系数
中图分类号 S965 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)05-0110-07

体质量是进行动物遗传改良或育种的主要目标性状, 也是开展种质评估的重要生物学指标。体质量与形态性状均属受多个基因控制的数量遗传性状, 且两者间通常存在密切的关联性(孙建贻等, 1999), 与体质量相比, 形态性状具有表现自显性、测量准确性以及现场操作便利性等方面的优势(王志铮等, 2011), 可采用统计分析方法, 如相关分析、多元回归分析、

通径分析等, 建立形态性状与体质量的关系式, 来探究目标种群中决定体质量的关键形态性状, 通过对形态性状的直接选择来达到对体质量的间接选择目的, 在水产动物遗传改良或良种选育中具有重要的现实意义和指导作用。目前, 该方法已经在鱼类(刘峰等, 2015; 陈红林等, 2016; 边力等, 2018)、贝类(于德良等, 2013; 张嘉丽等, 2014)、甲壳类(张成松等, 2013;

* 国家自然科学基金(31772840)和广西科技重大专项(桂科 AA17204095-7)共同资助 [This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31772840), and Guangxi Science and Technology Major Project (AA17204095-7)]. 陈红林, E-mail: shmilyweight@126.com

^① 通讯作者: 王成辉, 教授, E-mail: wangch@shou.edu.cn

收稿日期: 2018-09-09, 收修改稿日期: 2018-10-08

董世瑞等, 2007)等水产养殖动物中进行了较广泛的应用。

瓯江彩鲤(*Cyprinus carpio* var. *color*)是鲤的体色变异群体, 至今已有 1200 多年的养殖历史。瓯江彩鲤不仅体色丰富, 在经济鱼类中十分少见, 而且肉质鲜嫩、抗逆性强、生长迅速, 同时, 具备食用、观赏和科研的多重价值。瓯江彩鲤包含 4 种能够稳定遗传的体色类型, 分别为“大花”(BR, 红色底色缀有黑色斑块)、“粉花”(BW, 白色底色缀有黑色斑块)、“全红”(WR, 全身红色)、“粉玉”(WW, 全身粉白色)(Li *et al*, 2001)。前期研究发现, 不同发育阶段的瓯江彩鲤表现出显著的生长差异(Wang *et al*, 2006), 并存在体色-环境互作的现象(Wang *et al*, 2007)。瓯江彩鲤由孵化至性成熟需要 2 年, 而 12 月龄是进行瓯江彩鲤优良亲本选育的重要阶段, 此阶段选育出的预备亲鱼将在接下来的一年中进行育成培育, 因此, 对 12 月龄阶段瓯江彩鲤形态性状与体质量之间的关系进行研究具有重要意义。此外, 生产过程中的瓯江彩鲤养殖于多个池塘, 本研究从 3 个相同饲养条件的池塘中均匀挑选样本鱼进行数据测定, 旨在创造实际生产相似条件, 并消除不同生长环境带来的影响。本研究应用相关分析、回归分析以及通径分析对 4 种体色类型瓯江彩鲤的形态性状与体质量之间的关系进行了解析, 构建了不同体色瓯江彩鲤形态性状与体质量的多元回归方程, 以期对瓯江彩鲤的体色和生长性状的共同选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼及数据测定

实验使用的亲鱼为“龙申 1 号”瓯江彩鲤(品种登记号: GS-01-002-2011), 群体配套系选育后将幼鱼养殖于上海海洋大学水产动物种质试验站。4 种体色的瓯江彩鲤混合养殖于 3 个池塘, 养殖至 12 月龄时, 准确测量全部个体的体质量(Y , 精确到 0.1 g)和相关形态性状(精确到 0.1 cm), 包括体长(X_1)、体宽(X_2)、体高(X_3)、头长(X_4)和尾柄高(X_5)。进行形态性状和体质量的测量, 经计数得知, 4 个体色群体中, “大花”(BR)体色共 407 尾, “粉花”(BW)体色共 323 尾, “全红”(WR)体色共 362 尾, “粉玉”(WW)体色共 264 尾, 所有数据用于后续分析。

1.2 分析方法

使用 SPSS 19.0 软件对上述性状进行统计分析, 包括各性状的平均值、标准差和变异系数以及性状间

的 Pearson 相关系数。采用逐步引入-剔除法, 以形态性状为自变量, 体质量为因变量, 分别建立 4 种体色类型瓯江彩鲤群体的多元回归方程, 具体如下:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_ix_i$$

式中, Y 为因变量, b_0 为截距, x_i 为自变量, b_i 为相应的回归系数。

通过对回归系数进行标准化, 计算出各自变量(形态性状)对因变量(体质量)的通径系数, 公式为:

$$P_{y,x} = b_i \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$$

式中, $P_{y,x}$ 为通径系数, b_i 为自变量的回归系数, σ_x 为自变量的标准差, σ_y 为因变量的标准差。

利用自变量之间的相关系数及其对因变量的通径系数, 计算各个自变量对因变量的间接通径系数, 计算公式为:

$$P_{xx} = r_{ij}P_{j,y} (i \neq j)$$

式中, P_{xx} 为间接通径系数, r_{ij} 为 2 个形态性状间的相关系数, $P_{j,y}$ 为形态性状对体质量通径系数。

2 结果与分析

2.1 性状的变异系数分析

所测 4 种体色瓯江彩鲤的体质量分别为 (256.34±174.40) g (BR)、(254.41±190.03) g (BW)、(264.27±199.44) g (WR)和(252.76±187.98) g (WW), 变异系数为 68.03%~75.47%; 形态性状的变异系数最大的为 X_2 (25.00%~27.69%), 最小为 X_4 (18.18%~20.35%)。在 4 种体色中, WR 的各性状变异系数最大, BR 的最小。

2.2 形状间相关性分析

4 种体色类型彩鲤内各性状之间的相关性结果见表 2 和表 3。不同体色组合性状间均存在极显著的相关关系($P < 0.01$), 且各形态性状与体质量的相关性大小顺序完全相同, 依次为 $X_3 > X_1 > X_2 > X_5 > X_4$ 。从形态性状之间的相关系数可知, X_3 和 X_1 的相关系数均最高, 说明瓯江彩鲤的 X_1 与 X_3 的关系密切。

2.3 性状回归分析

自变量之间的共线性会影响多元回归模型的准确性, 因此, 在进行模型拟合之前, 需要将 4 种体色彩鲤中各形态性状进行共线性检验, 剔除与其他形态性状存在严重共线性的性状指标。在本实验中, 通过共线性诊断发现, BR 的体高性状、BW 的体长性状、

WR 的体长与体高性状、WW 的体高性状与其他性状存在严重共线性，故予以剔除。以剩余形态性状为自变量，体质量作为因变量，采用逐步引入-剔除法进

行多元回归分析，得出 4 种体色类型的多元回归方程：BR 为 $Y_1 = -517.069 + 12.628X_1 + 67.916X_2 + 94.885X_5$ ；BW 为 $Y_2 = -525.711 + 38.085X_2 + 68.869X_3 + 72.206X_5$ ；WR 为 $Y_3 = -502.952 + 90.980X_2 + 18.172X_4 + 113.965X_5$ ；WW 为 $Y_4 = -537.119 + 22.932X_1 + 55.113X_2 + 48.203X_5$ 。回归方程的标准化回归系数及其显著性检验结果见表 4。

表 1 12 月龄瓯江彩鲤形态性状与体质量的描述性统计结果

Tab.1 The phenotypic statistics of morphologic traits in 12-month-old Oujiang color common carp

性状 Traits	群体 Population	极小值 Min	极大值 Max	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV(%)
Y(g)	BR	54.0	1019.0	256.34±174.40	68.03
	BW	38.0	1050.0	254.41±190.03	74.70
	WR	20.0	1156.0	264.27±199.44	75.47
	WW	36.0	1117.0	252.76±187.98	74.37
X ₁ (cm)	BR	11.7	32.0	19.76±3.80	19.24
	BW	9.8	31.5	19.51±4.07	20.87
	WR	8.4	33.	19.76±4.23	21.39
	WW	9.7	33.	19.55±4.17	21.31
X ₂ (cm)	BR	2.3	8.5	3.97±0.99	25.00
	BW	2.0	7.5	3.98±1.02	25.67
	WR	1.4	8.7	3.99±1.11	27.69
	WW	1.9	7.9	3.94±1.06	26.83
X ₃ (cm)	BR	3.9	11.6	6.38±1.43	22.34
	BW	3.6	11.5	6.35±1.51	23.70
	WR	2.1	12.2	6.42±1.55	24.12
	WW	3.3	11.4	6.33±1.52	24.00
X ₄ (cm)	BR	3.4	9.1	5.54±1.01	18.18
	BW	3.2	8.4	5.51±1.01	18.39
	WR	2.3	9.0	5.55±1.13	20.35
	WW	2.8	9.7	5.50±1.10	19.94
X ₅ (cm)	BR	1.2	4.9	2.68±0.62	23.19
	BW	1.4	5.2	2.65±0.66	25.04
	WR	1.1	5.0	2.66±0.67	25.30
	WW	1.2	4.6	2.58±0.64	24.69

表 2 BR (右上角)和 BW (左下角)瓯江彩鲤所测性状的相关系数

Tab.2 Morphological correlation coefficients of the studied traits between the BR (upper triangle) and BW (lower triangle) color patterns of Oujiang color common carp

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Y	—	0.930**	0.919**	0.954**	0.841**	0.918**
X ₁	0.946**	—	0.894**	0.922**	0.881**	0.915**
X ₂	0.924**	0.925**	—	0.905**	0.798**	0.848**
X ₃	0.959**	0.953**	0.920**	—	0.858**	0.920**
X ₄	0.842**	0.907**	0.826**	0.852**	—	0.841**
X ₅	0.915**	0.914**	0.863**	0.892**	0.843**	—

注：**表示在 0.01 水平显著相关。下同

Note: ** indicates significant correlation at 0.01 level. The same as below

根据回归模型获得的 R 值及决定系数(R²)见表 5，各体色类型的 R 值均在 0.95 以上，决定系数 R²均在 0.9 以上，说明各形态性状对体质量的解释程度达到

表 3 WR (右上角)和 WW (左下角)瓯江彩鲤所测性状的相关系数

Tab.3 Morphological correlation coefficients of the studied traits between the WR (upper triangle) and WW (lower triangle) color patterns of Oujiang color common carp

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Y	—	0.941**	0.929**	0.958**	0.863**	0.916**
X ₁	0.939**	—	0.925**	0.954**	0.928**	0.924**
X ₂	0.914**	0.921**	—	0.936**	0.846**	0.877**
X ₃	0.960**	0.959**	0.938**	—	0.894**	0.930**
X ₄	0.847**	0.898**	0.889**	0.823**	—	0.867**
X ₅	0.871**	0.886**	0.903**	0.829**	0.829**	—

表 4 4 种体色群体偏回归系数显著性检验

Tab.4 Significance test of partial regression of four groups of Oujiang color common carp

体色变量 Body color variable	偏回归系数±SE Unstandardized coefficient±SE	标准化偏回归系数 Standardized coefficients	显著性 Sig.	方差膨胀因子 VIF
BR (常量)	-517.069±13.506		0	
X ₁	12.628±1.903	0.275	0.000	8.844
X ₂	67.916±5.528	0.387	0.000	5.105
X ₅	94.885±9.869	0.338	0.000	6.346
BW (常量)	-525.711±11.133		0.000	
X ₂	38.085±6.567	0.205	0.002	6.916
X ₃	68.869±4.978	0.546	0.000	8.639
X ₅	72.206±8.744	0.252	0.000	5.171
WR (常量)	-502.952±16.240		0.000	
X ₂	90.980±6.405	0.504	0.000	4.980
X ₄	18.172±6.032	0.103	0.003	4.607
X ₅	113.965±11.250	0.385	0.000	5.691
WW (常量)	-537.119±18.317		0.000	
X ₁	22.932±2.714	0.508	0.000	9.674
X ₂	55.113±8.876	0.310	0.000	6.658
X ₅	48.203±12.330	0.164	0.000	4.676

注：因变量：体质量 Note: Dependent variable: Body weight

90%以上, 能够较好地反映自变量与体质量的函数关系, 因此, 构建的回归模型较好, 参考价值较高。此外, 根据公式 $e = \sqrt{1-R^2}$, 计算出各回归方程的剩余因子(0.239~0.311)数值较大, 说明对 4 种体色瓯江彩鲤体质量有影响的性状除了模型中所包含的自变量, 还有一些影响较大的因素没有找到, 有待于增加自变量进一步研究。

表 5 4 种体色类型瓯江彩鲤的性状决定系数

Tab.5 The determinant coefficients of phenotypic traits to body weight of four groups of Oujiang color common carp

体色 Body color	相关系数 R	决定系数 R ²	矫正决定系数 Adjusted R ²	剩余因子 Surplus factor
BR	0.960	0.922	0.921	0.279
BW	0.971	0.943	0.942	0.239
WR	0.954	0.909	0.909	0.302
WW	0.950	0.903	0.902	0.311

表 6 4 种体色瓯江彩鲤形态性状对体质量的通径分析

Tab.6 Path analysis of the effects of phenotypic traits on body weight of four groups of Oujiang color common carp

变量 Variable	相关系数 Correlation coefficient	直接通径系数 Direct coefficient				间接通径系数 Indirect path coefficient						
		Direct coefficient				Indirect path coefficient						
BR					X ₁	X ₂	X ₅	Σ				
	X ₁	0.930**	0.275**	—	0.346	0.309	0.655					
	X ₂	0.919**	0.387**	0.246	—	0.287	0.532					
	X ₅	0.918**	0.338**	0.252	0.328	—	0.580					
BW					X ₂	X ₃	X ₅	Σ				
	X ₂	0.924**	0.205**	—	0.502	0.217	0.720					
	X ₃	0.959**	0.546**	0.189	—	0.225	0.413					
	X ₅	0.915**	0.252**	0.177	0.487	—	0.664					
WR									X ₂	X ₄	X ₅	Σ
	X ₂	0.929**	0.504**	—	0.087	0.338	0.425					
	X ₄	0.863**	0.103**	0.426	—	0.334	0.760					
	X ₅	0.916**	0.385**	0.442	0.089	—	0.531					
WW									X ₃	X ₂	X ₅	
	X ₃	0.941**	0.508**	—	0.286	0.145	0.431					
	X ₂	0.929**	0.310**	0.468	—	0.148	0.616					
	X ₅	0.916**	0.164**	0.450	0.280	—	0.730					

3 讨论

3.1 表型性状与相关分析

在鱼类的选育过程中, 体质量是一个主要的选择指标(李学军等, 2016; 李明云等, 2016)。与其他鱼类不同, 瓯江彩鲤的选育指标除体质量外, 还涉及到体色这一重要性状。此前, 本实验室通过选育获得 5 种稳定体色类型的瓯江彩鲤新品种——“龙申 1 号”(Wang et al, 2006)。本研究对“龙申 1 号”后代中的 4 种体色的瓯江彩鲤研究发现, 瓯江彩鲤 WR 群体的体质量与形态性状的变异系数均为最大。变异系数反应了数据的离散程度, 变异系数越大, 数据越离散, 表示群体内个体间表型差异越大, 说明 WR 群体存在

2.4 通径分析

通径分析可以确定各性状对体质量的直接作用(通径系数)和间接作用(间接通径系数)。通过通径分析(表 6)显示, 相同形态性状对体质量的直接作用和间接作用在不同体色间存在较大差异。在 BR 中, X₂ 对 Y 的直接作用最大(0.387), X₁ 和对 Y 的间接作用最大(0.655); 在 BW 中, X₃ 对 Y 的直接作用最大(0.546), X₂ 对 Y 的间接作用最大(0.720); 在 WR 中, X₂ 对 Y 的直接作用最大(0.504), X₄ 对 Y 的间接作用最大(0.760); 而在 WW 中, 则是 X₃ 对 Y 的直接作用最大(0.508), X₅ 对 Y 的直接作用最大(0.730)。比较发现, 形态性状对 Y 的间接作用的大小顺序与直接作用相反, 除 BW 群体的 X₃、WR 群体的 X₂、WW 群体的 X₁ 表现为对 Y 的直接作用大于间接作用以外, 4 种体色群体中的其他形态性状均表现为对 Y 的间接作用大于直接作用。

较大的遗传变异, 这种遗传变异使“全红”群体具有更大的选育潜力。

不同鱼类与体质量相关的形态性状往往存在较大差异, 如红鲤(*Cyprinus flammans*)(李思发等, 2006)、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)(何小燕等, 2009)和花鲈(*Lateolabrax maculatus*)(胡彦波等, 2018)中与体质量相关系数最大的是体宽, 小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)中与体质量相关程度最大的是全长(刘峰等, 2016), 而吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)中与体质量相关性最大的是体长(Nguyenhong et al, 2010; Trọng et al, 2013)。本研究结果显示, 瓯江彩鲤 4 个群体中, 与体质量相关程度最高的形态性状均为体高, 在之前对不同月龄瓯江彩鲤的研究发现, 20 月

龄的瓯江彩鲤与体质量相关程度最高的形态性状为体高,而在 8 月龄与体质量相关程度最高的形态性状为全长(Wang *et al.*, 2006)。说明瓯江彩鲤的形态性状与体质量的关系在不同生长发育阶段差异较大。

3.2 影响体质量的重点形态性状确定

共线性是构建多元回归方程时经常要面对的问题,多重共线性会导致方程的方差增大,可靠性和稳定性降低,难以解释每个变量的单独影响(Ye *et al.*, 2006)。因此,在构建回归方程前,需要对各自变量进行共线性分析,剔除存在严重共线性的性状。同时,采用逐步引入-剔除法构建回归方程,即逐步引入变量,通过拟合度与显著性变化来决定剔除或保留变量,在一定程度上减少共线性对模型的影响(游士兵等, 2017)。本研究通过共线性分析发现,在瓯江彩鲤的不同体色类型中,头长、体长和体高与其他性状存在较严重的共线性关系,剔除这些形状后,4 个群体纳入回归方程的各形态性状对体质量的方差膨胀因子(Variance inflation factor, VIF)数值均小于经验值(VIF=10),表明所构建的回归模型已无共线性的影响,提高了瓯江彩鲤相关性状分析的可靠性和准确性。

3.3 形态性状对体质量的影响效果

鱼类的形态性状较多,各性状之间的关系也较为复杂,形态性状与体质量的关系也较模糊,采用通径分析法将各性状对体质量的作用关系拆分为直接作用与间接作用,从而更加清晰地描述性状对体质量的作用(Edwards *et al.*, 2007)。黄有辉等(2016)通过分析日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)的形态性状对体质量的通径系数,发现 5 个不同地区的沼虾群体间存在较大差异。区又君等(2013)研究卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)发现,不同月龄阶段对体质量作用最大的形态性状不同。说明形态性状对体质量的影响作用会因地理分布及生长时期的不同而发生变化。

本研究表明,在 12 月龄的 4 种体色瓯江彩鲤群体中,影响体质量的主要形态性状存在较大不同,并且各性状对体质量的主要作用方式(间接作用为主或直接作用为主)及作用强度也有较大差异,说明 4 种体色类型瓯江彩鲤群体已经存在明显的形态差异。为了提高选育的效率,不同体色的群体应选用合适的形态性状作为选育指标,如 BR 和 WW 群体以体长、体宽和尾柄高作为体质量的辅助选育指标, BW 群体以体宽、体高和尾柄高作为体质量的辅助选育指标, WR 群体以体宽、头长和尾柄高作为体质量的辅助选育指标,从而实现体质量的间接选育。

参 考 文 献

- Bian L, Liu G, Zhang QW, *et al.* Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for *Thamnaconus septentrionalis* at different size. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(5): 50–57 [边力, 刘刚, 张庆文, 等. 不同规格绿鳍马面鲈形态性状对体重影响的通径分析. *渔业科学进展*, 2018, 39(5): 50–57]
- Chen HL, Tian YS, Liu F, *et al.* Path analysis and curve estimates of morphometric traits and body weight of *Paralichthys olivaceus* at different growth stages. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(1): 64–76 [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. *中国水产科学*, 2016, 23(1): 64–76]
- Dong SR, Kong J, Wan CK, *et al.* Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Fenneropenaeus chinensis*. *Process in Fishery Sciences*, 2007, 28(3): 15–22 [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. *渔业科学进展*, 2007, 28(3): 15–22]
- Edwards JR, Lambert LS. Methods for integrating moderation and mediation: A general analytical framework using moderated path analysis. *Psychological Methods*, 2007, 12(1): 1–22
- He XY, Liu XL, Bai JJ, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attribute on body weight of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Journal of Fisheries of China*, 2009, 33(4): 597–603 [何小燕, 刘小林, 白俊杰, 等. 大口黑鲈形态性状对体重的影响效果分析. *水产学报*, 2009, 33(4): 597–603]
- Hu YB, Wen HS, Zhang MZ, *et al.* Analysis of effects of morphological traits on body weight of spotted sea bass (*Lateolabrax maculatus*). *Periodical of Ocean University of China*, 2018, 48(2): 38–48 [胡彦波, 温海深, 张美昭, 等. 花鲈形态性状对体质量的影响效果. *中国海洋大学学报*, 2018, 48(2): 38–48]
- Huang YH, Fan B, Li YM, *et al.* Path analysis for the correlations between morphological traits and body weight in five *Macrobrachium nipponense* populations. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(8): 1173–1185 [黄有辉, 范斌, 李一鸣, 等. 日本沼虾五群体形态性状对体质量的通径分析. *水产学报*, 2016, 40(8): 1173–1185]
- Li MY, Miao L, Chen J. Breeding of a new variety of Ayu (*Plecoglossus altivelis*) named “Zheming No. 1” with fast growth and few abnormality characters. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2016, 24(9): 1392–1397 [李明云, 苗亮, 陈炯. 快长、少畸形香鱼新品种“浙闽 1 号”的选育. *农业生物技术学报*, 2016, 24(9): 1392–1397]
- Li SF, Wang CH, Liu ZG, *et al.* Analysis of heterosis and genetic correlation of growth traits in three variants of red common carp. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(2): 175–180 [李思发, 王成辉, 刘志国, 等. 三种红鲤生长性状的杂种优势与遗传相关分析. *水产学报*, 2006, 30(2): 175–180]
- Li SF, Wang CH. Genetic diversity and selective breeding of red

- common carps in China. Naga, the ICLARM Quarterly, 2001, 24(3-4): 56-61
- Li XJ, Hu CC, Wang L, *et al.* Current research progress of fish family selective breeding. Fisheries Science, 2016, 35(1): 81-86 [李学军, 胡灿灿, 王磊, 等. 鱼类家系选育的研究进展. 水产科学, 2016, 35(1): 81-86]
- 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*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(3): 655-662 [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. 海洋与湖沼, 2016, 47(3): 655-662]
- Liu F, Chen SL, Liu XF, *et al.* Correlation and path coefficient analysis for body mass and three morphometric traits in the half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). Acta Oceanologica Sinica, 2015, 37(4): 94-102 [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. 海洋学报, 2015, 37(4): 94-102]
- Nguyenhong N, Raulw P, Khairulr AB, *et al.* Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 2010, 305(1-4): 1-5
- Ou YJ, Ji L, Li JE, *et al.* Correlation analysis of major morphometric traits and body weight of selective group at different month ages of *Trachinotus ovatus*. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(7): 961-969 [区又君, 吉磊, 李加儿, 等. 卵形鲳鲹不同月龄选育群体主要形态性状与体质量的相关性分析. 水产学报, 2013, 37(7): 961-969]
- Sun JY, Zhang DY, Tan DQ, *et al.* Population growth of freshwater shrimp (*Macrobrachium nipponensis*) in Honghu Lake. Journal of Lake Sciences, 1999, 11(2): 149-154 [孙建贻, 张道源, 谭德清, 等. 洪湖日本沼虾种群生长的研究. 湖泊科学, 1999, 11(2): 149-154]
- Trọng TQ, Han AM, Arendonk JAMV, *et al.* Heritability and genotype by environment interaction estimates for harvest weight, growth rate, and shape of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) grown in river cage and VAC in Vietnam. Aquaculture, 2013, 384-387(384): 119-127
- Wang CH, Li SF. Genetic effects and genotype \times environment interactions for growth-related traits in common carp, *Cyprinus carpio* L. Aquaculture, 2007, 272(1-4): 267-272
- Wang CH, Li SG, Xiang SP, *et al.* Genetic parameter estimates for growth-related traits in Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. *color*). Aquaculture, 2006, 259(1-4): 103-107
- Wang ZZ, Wu YT, Yang L, *et al.* Effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of *Macrobrachium nipponensis*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 612-618 [王志铮, 吴一挺, 杨磊, 等. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)形态性状对体重的影响效应. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 612-618]
- Ye A, Hyndman RJ, Li Z. Local linear multivariate regression with variable bandwidth in the presence of heteroscedasticity. Monash Econometrics and Business Statistics Working Papers, 2006
- You SB, Yan Y. Stepwise regression analysis and its application. Statistics and Decision, 2017(14): 31-35 [游士兵, 严研. 逐步回归分析法及其应用. 统计与决策, 2017(14): 31-35]
- Yu DL, Ding J, Hao ZL, *et al.* Correlation and path analysis of quantitative traits in different cultured populations of yesso scallop *Patinopecten yessoensis*. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(4): 1-5 [于德良, 丁君, 郝振林, 等. 不同养殖群体虾夷扇贝数量性状的相关性与通径分析. 大连海洋大学学报, 2013, 28(4): 1-5]
- Zhang CS, Li FH, Xiang JH. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Exopalaemon carinicauda*. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 809-815 [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. 水产学报, 2013, 37(6): 809-815]
- Zhang JL, Wang QH, Deng YW, *et al.* Effects of morphological traits on total weight of clam *Meretrix iamarchii*. Animal Husbandry and Feed Science, 2015, 7(6): 339-363 [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. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 110-113]

(编辑 冯小花)

Correlation and Path Coefficient Analysis of the Morphometric Traits and Body Weight for the Four Color Patterns of Oujiang Color Common Carp

CHEN Honglin, SI Zhouxuan, DU Jinxing, XU Xidan, WANG Jun, WANG Chenghui^①

(Key Laboratory of Freshwater Fisheries Germplasm Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education; Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture; College of Fisheries Science and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract The relationship between five morphological traits [body length (X_1), body width (X_2), body height (X_3), head length (X_4), and caudal peduncle height (X_5)] and the body weight (Y) of 12-month-old Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. *color*), with four different body color patterns [red and black (RB), white and black (WB), whole red (WR), and whole white (WW)] were investigated using correlation analysis, regression analysis, and path analysis. The results showed that the coefficient of variation of all the studied traits was highest in the WR fish, demonstrating that the WR had the greatest potential for selective breeding. For the four different color patterns, the correlation coefficients among the morphological traits and body weight were all extremely significant ($P \leq 0.01$), and the greatest correlation coefficient was found between the body height and body weight. The multiple regression equations obtained with the stepwise regression method for the four body color patterns were listed as $Y_1 = -517.069 + 12.628X_1 + 67.916X_2 + 94.885X_3 + 72.206X_5$ (RB); $Y_2 = -525.711 + 38.085X_2 + 68.869X_3 + 72.206X_5$ (WB); $Y_3 = -502.952 + 90.980X_2 + 18.172X_4 + 113.965X_5$ (WR); $Y_4 = -537.119 + 22.932X_1 + 55.113X_2 + 48.203X_5$ (WW). The path coefficient analysis showed the highest direct effect of body width on the weight in the RB (0.387) and WR (0.504) fishes, and body height on weight in the WB fishes (0.546), and body length on weight in the WW fishes (0.508). The current study indicated that the morphological differences among the four body color patterns of the Oujiang color common carp had different degrees of influence on the morphological traits of body weight. Consequently, this study provides important insights that can be utilized for selective breeding of Oujiang color common carp in the future.

Key words Oujiang color common carp; Body weight; Morphological traits; Correlation analysis; Regression equation; Path coefficient

① Corresponding author: WANG Chenghui, E-mail: wangch@shou.edu.cn