DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.08.007

不同性别禾花鲤形态性状对体质量的影响

李哲[1]，　杜雪松[2]，　覃俊奇[2]，　陈忠[2]，
李雨[1]，　黄姻[2]，　林勇[2]，　叶华[1]

1. 西南大学 水产学院，重庆 荣昌 402460；2. 广西壮族自治区水产科学研究院，南宁 530021

摘要： 为探究禾花鲤成鱼形态性状对体质量的影响，随机选取 206 尾 20 月龄禾花鲤，测定其体质量(Y)、全长(X_1)、体长(X_2)、躯干长(X_3)、体高(X_4)、体宽(X_5)、头长(X_6)、头高(X_7)、眼间距(X_8)、眼径(X_9)、尾柄高(X_{10})、尾柄长(X_{11})、吻长(X_{12})以及性别，进行相关分析、通径分析、多元回归分析和灰色关联度分析. 结果显示，在雌性(132 尾)和雄性(74 尾)禾花鲤中，所测量的 12 个形态性状与体质量的相关性差异有统计学意义($p<0.01$). 通径分析结果表明，影响雌性禾花鲤体质量的主要形态性状为躯干长、眼间距、体宽、尾柄高和体高，且这 5 个形态性状对体质量的共同决定系数为 0.952；影响雄性禾花鲤体质量的主要形态性状是体高、全长和尾柄高，且这 3 个形态性状对体质量的共同决定系数为 0.959. 表明这些形态性状是影响雌雄禾花鲤体质量的主要形态性状. 运用逐步回归法建立以雌性禾花鲤体质量(Y_1)为自变量的多元回归方程 $Y_1=-1\ 486.184+49.755\ X_3+108.830\ X_8+61.910\ X_5+123.204\ X_{10}+21.350\ X_4$；以雄性体质量($Y_2$)为自变量的多元回归方程 $Y_2=-913.399+71.276\ X_4+17.981\ X_1+84.121\ X_{10}$. 所测量的 12 个形态性状与雌性禾花鲤体质量的灰色关联度范围在 0.765 8～0.835 6 之间，而与雄性禾花鲤体质量的灰色关联度范围在 0.728 4～0.826 7 之间，与通径分析结果并不完全相同. 综合比较得出，在对雌性禾花鲤进行选育的过程中，可以躯干长和眼间距为主要参考指标；在雄性禾花鲤选育的过程中，可以全长为主要参考指标. 该研究可为禾花鲤选育提供理论依据，在禾花鲤成鱼优良个体选育中具有重要意义.

关　键　词： 禾花鲤；体质量；形态性状；通径分析；灰色关联分析

中图分类号： S917.4　　**文献标志码：** A　　开放科学(资源服务)标识码(OSID)：

文 章 编 号： 1673－9868(2022)08－0058－09

Effects of Morphological Traits on Body Mass of Different Sexes of *Cyprinus carpio* var. Quanzhounensis

LI Zhe[1]，　DU Xuesong[2]，　QIN Junqi[2]，　CHEN Zhong[2]，
LI Yu[1]，　HUANG Yin[2]，　LIN Yong[2]，　YE Hua[1]

收稿日期：2021－04－13

基金项目：国家自然科学基金项目(31960730)；广西青年科学基金项目(2020GXNSFBA297146)；广西创新驱动发展专项资金项目(AA17204080-5，AA17204094-5，AA17204095-3).

作者简介：李哲，硕士研究生，主要从事水产动物遗传育种的研究.

通信作者：林勇，研究员.

1. College of Fisheries, Southwest University, Rongchang Chongqing 402460, China;
2. Guangxi Academy of Fishery Sciences, Nanning Guangxi 530021, China

Abstract: To explore the effects of morphological traits on the body mass of rice flower carp (*Cyprinus carpio* var. Quanzhounensis), 206 20-month-old samples were randomly selected. A total of 13 morphological traits including body mass, total length and standard length of the body, body height, body width, head length, head height, head width, eye spacing, cauda peduncle length, caudal peduncle depth, eye diameter and trunk length were measured and analyzed using correlation analysis, path analysis, multiple regression analysis and gray correlation analysis. The results showed in both females (132) and males (64), the correlations between the 12 morphological traits and body weight of rice flower carp were extremely significant ($p<0.01$). The results of path analysis showed that the main morphological traits affecting the body weight of female rice flower carp were trunk length, eye spacing, body width, caudal peduncle depth and body height. and the co-determination coefficient of these five morphological traits on body weight was 0.952. The main morphological traits affecting the body weight of male rice flower carp were body height, total length and caudal peduncle depth, and the co-determination coefficient of these three morphological traits on body weight was 0.959. The results showed that these morphological traits were the main morphological traits affecting the body weight of male and female rice flower carp. Using stepwise regression method, a multivariate regression equation with the female body weight (Y_1) as the independent variable was established as: $Y_1=-1\ 486.18+49.755\ X_3+108.830\ X_8+61.91\ X_5+123.204\ X_{10}+21.35\ X_4$. The multiple regression equation with male body weight (Y_2) as independent variable was as follows: $Y_2=-913.399+71.276\ X_4+17.981\ X_1+84.121\ X_{10}$. The grey correlations between the 12 morphological traits and the body weight of female were 0.765 8−0.835 6, and the grey correlations between the 12 morphological traits and the body weight of male were 0.728 4−0.826 7, which are not identical with the results of path analysis. It is concluded that the main reference criteria for breeding process of female rice flower carp are trunk length and eye spacing, and the main reference criteria for breeding process of male rice flower carp are full length. The results of this study provided a theoretical basis for the breeding of rice flower carp with growth-related traits and are of great significance for the breeding of elite individuals of adult rice flower carp.

Key words: rice flower carp (*Cyprinus carpio* var. Quanzhounensis); body mass; morphological traits; path analysis; grey correlation

禾花鲤(*Cyprinus carpio* var. Quanzhounensis)又名禾花鱼，原产于广西壮族自治区桂林市，因经稻田长期放养驯化，食水稻禾花而得名，分类上隶属于鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)鲤属(*Cyprinus*)，是历史悠久的稻田生态养殖品种之一[1-3]. 与其他鲤鱼养殖品种相比，禾花鲤体型更为粗短、全身深紫色呈半透明状，具有鳞细皮薄无细刺、肉嫩清香、无泥腥味等特点，集美食与观赏性于一体，其中以广西壮族自治区桂林市全州县稻田养殖的禾花鲤品质最为出名，曾在清朝被列为贡品[4-5]. 据统计，广西壮族自治区桂林市全州县 2015 年早、中、晚 3 季水稻养殖禾花鲤 2.67 万 hm^2 左右，平均产量 300 kg/hm^2，年产量约 8 000 t(占全县水产品产量的 50%)，年产值约 3.2 亿元，纯利润约 2.1 亿元，人均增收 240 元，社会经济效益显著[6]. 但随着禾花鲤养殖规模的扩大，禾花鲤种群养殖性能的缺陷表现越来越明显，主要表现在生长速度慢、个体差异大、上市规格不齐整等方面. 因此，为促进禾花鲤产业的可持续发展，迫切需要对其进行良种选育.

开展鱼类形态性状与体质量的关系研究，对鱼类优良品种的选育具有重要的指导意义[7]. 运用通径分析法开展动物形态性状和体质量关系的研究是动物育种中常用的方法，目前已在小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)[8]、日月贝(*Amusium pleuronectes*)[9]、尖紫蛤(*Soletellina acuta*)[10]、大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)[11]中开展了大量的研究，而具有所需样本量小、方法简便、信息量大的灰色关联分析法也同样广泛应用于分析水产动物形态性状和体质量的关系上[12-14].

已有学者对禾花鲤幼鱼形态性状对体质量的影响做了相关研究[15]，但在生产过程中仍然缺少可用于亲本选育的参考数据，为丰富禾花鲤选育数据，进行高效良种选育，必须对禾花鲤成鱼进行形态性状与体质量的关系研究. 本研究拟通过测量206尾禾花鲤(132尾雌性、74尾雄性)的体质量和12个形态性状，采用通径分析和灰色关联分析的方法，研究影响不同性别禾花鲤成鱼体质量的主要形态性状，为禾花鲤良种选育提供更多的参考资料.

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鱼亲本源自广西壮族自治区桂林市全州县，随机挑选120对稻田养殖的禾花鲤，引种至广西农业良种海南南繁育种基地随机交配构建实验群体，随机选取206尾同一批繁殖且生长环境相同的禾花鲤(年龄为20个月)为实验鱼.

1.2 禾花鲤体质量和形态性状的测量方法

测量前使用60 μg/L的丁香酚将实验鱼麻醉[16]，并用滤纸和干毛巾吸干鱼的体表水分，用电子天平称量实验鱼体质量(Y)，精确到0.1 g，参照鱼类学中鱼类外部形态性状的定义进行测量[17]. 用直尺测量实验鱼全长(X_1)、体长(X_2)；采用直尺和分规测量躯干长(X_3)、体高(X_4)、体宽(X_5)、头长(X_6)、头高(X_7)、眼间距(X_8)、眼径(X_9)、尾柄高(X_{10})、尾柄长(X_{11})和吻长(X_{12})，精确到0.1 cm. 根据程金明[18]描述的方法鉴定禾花鲤性别，记录所有测量数据.

1.3 数据处理

使用Excel 2016对所测数据进行初步整理，计算禾花鲤各形态性状的平均值、标准差以及变异系数；运用SPSS 20.0对禾花鲤的形态性状间进行相关分析；参照安丽等[19]的研究方法，计算通径系数和决定系数，并运用多元回归分析对与体质量显著相关的形态性状建立最优回归方程，使用DPS软件计算禾花鲤形态性状与体质量的灰色关联度.

2 结果

2.1 禾花鲤形态性状的统计分析

经Excel 2016分别计算雌性和雄性禾花鲤的形态性状及体质量的均值、标准偏差和变异系数，SPSS 20.0计算不同性别禾花鲤形态性状与体质量的差异显著性(表1). 结果表明，在132尾雌性禾花鲤中，变异系数最高的是体质量(49.247%)，变异系数最低的是眼径(10.967%)，除体质量和眼径外，雌性禾花鲤全长、体长等11个形态性状的变异系数变化不大(14.746%～17.856%)；在74尾雄性禾花鲤群体中，变异系数最高的也是体质量(33.759%)，变异系数最低的也是眼径(7.820%)，除体质量和眼径外，雄性禾花鲤全长、体长等11个形态性状的变异系数也表现出较小的变化(10.626%～15.878%). 值得注意的是，除尾柄高和尾柄长外，所测量的形态性状与体质量在不同性别禾花鲤间差异有统计学意义($p<0.01$).

表 1　不同性别禾花鲤形态性状及体质量的数据分析

性状	雌性			雄性			差异显著性
	均值	标准偏差	变异系数/%	均值	标准偏差	变异系数/%	
Y	694.345	341.941	49.247	506.014	170.827	33.759	0.000**
X_1	33.193	4.895	14.746	31.167	3.521	11.298	0.005**
X_2	25.004	3.935	15.736	23.328	2.794	11.976	0.004**
X_3	14.125	2.177	15.412	13.009	1.665	12.796	0.001**
X_4	9.074	1.542	16.989	8.356	1.060	12.683	0.001**
X_5	6.578	1.112	16.909	5.539	0.834	15.051	0.000**
X_6	6.881	1.108	16.096	6.114	0.671	10.978	0.000**
X_7	6.103	0.974	15.956	5.562	0.707	12.719	0.000**
X_8	4.384	0.659	15.025	3.880	0.412	10.626	0.000**
X_9	1.446	0.159	10.967	1.366	0.107	7.820	0.000**
X_{10}	3.244	0.541	16.675	3.131	0.404	12.895	0.201
X_{11}	3.127	0.558	17.856	3.136	0.498	15.878	0.671
X_{12}	2.733	0.475	17.386	2.380	0.302	12.679	0.000**

注：Y 为体质量，X_1 为全长，X_2 为体长，X_3 为躯干长，X_4 为体高，X_5 为体宽，X_6 为头长，X_7 为头高，X_8 为眼间距，X_9 为眼径，X_{10} 为尾柄高，X_{11} 为尾柄长，X_{12} 为吻长；** 表示 $p<0.01$，差异有统计学意义.

2.2　禾花鲤形态性状及体质量的相关性分析

相关性分析结果表明(表 2)，在雌性和雄性禾花鲤中，所测量的全长、体长、躯干长等 12 个外部形态性状与禾花鲤体质量的相关性均有统计学意义($p<0.01$). 在雌性禾花鲤中，与体质量相关系数最高的形态性状是躯干长(0.958)，相关系数最低的形态性状是尾柄长(0.748)；在雄性禾花鲤中，与体质量相关系数最高的形态性状是体高(0.952)，相关系数最低的形态性状是尾柄长(0.670).

表 2　不同性别禾花鲤形态性状与体质量的相关性

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
Y	1.000	0.948**	0.952**	0.958**	0.904**	0.900**	0.940**	0.930**	0.950**	0.817**	0.929**	0.748**	0.907**
X_1	0.945**	1.000	0.991**	0.972**	0.874**	0.828**	0.960**	0.951**	0.959**	0.841**	0.949**	0.808**	0.927**
X_2	0.945**	0.993**	1.000	0.981**	0.877**	0.837**	0.958**	0.952**	0.960**	0.843**	0.942**	0.810**	0.927**
X_3	0.917**	0.925**	0.933**	1.000	0.892**	0.879**	0.942**	0.936**	0.950**	0.835**	0.921**	0.782**	0.909**
X_4	0.952**	0.885**	0.888**	0.877**	1.000	0.859**	0.889**	0.862**	0.878**	0.779**	0.860**	0.742**	0.864**
X_5	0.821**	0.764**	0.763**	0.770**	0.826**	1.000	0.850**	0.844**	0.859**	0.745**	0.808**	0.685**	0.790**
X_6	0.912**	0.931**	0.931**	0.883**	0.902**	0.778**	1.000	0.939**	0.956**	0.840**	0.930**	0.779**	0.926**
X_7	0.933**	0.920**	0.917**	0.883**	0.921**	0.773**	0.924**	1.000	0.957**	0.837**	0.944**	0.760**	0.913**
X_8	0.917**	0.928**	0.920**	0.877**	0.882**	0.752**	0.933**	0.902**	1.000	0.852**	0.937**	0.767**	0.918**
X_9	0.700**	0.728**	0.736**	0.643**	0.706**	0.566**	0.748**	0.731**	0.747**	1.000	0.799**	0.697**	0.802**
X_{10}	0.944**	0.919**	0.915**	0.887**	0.915**	0.750**	0.904**	0.909**	0.924**	0.689**	1.000	0.784**	0.896**
X_{11}	0.670**	0.724**	0.724**	0.645**	0.650**	0.578**	0.702**	0.629**	0.645**	0.440**	0.610**	1.000	0.767**
X_{12}	0.844**	0.837**	0.834**	0.809**	0.814**	0.735**	0.857**	0.816**	0.818**	0.590**	0.818**	0.590**	1.000

注：Y 为体质量，X_1 为全长，X_2 为体长，X_3 为躯干长，X_4 为体高，X_5 为体宽，X_6 为头长，X_7 为头高，X_8 为眼间距，X_9 为眼径，X_{10} 为尾柄高，X_{11} 为尾柄长，X_{12} 为吻长；** 表示 $p<0.01$，差异有统计学意义；对角线往上是雌性，对角线往下是雄性.

2.3 形态性状对体质量的通径分析

通径分析表明(表3),雌性禾花鲤形态性状对体质量的直接作用有统计学意义的分别为躯干长、眼间距、体宽、尾柄高和体高等5个形态性状.雌性禾花鲤躯干长、眼间距、体宽和尾柄高对体质量的直接作用均有统计学意义($p<0.01$),体高对体质量的直接作用也有统计学意义($p<0.05$).其中,躯干长对体质量的直接作用最大,达到0.317.此外,雌性禾花鲤躯干长、眼间距、体宽、尾柄高和体高等5个形态性状对体质量的直接作用均小于间接作用.

雄性禾花鲤形态性状对体质量的直接作用有统计学意义的分别是体高、全长和尾柄高($p<0.01$)(表4).此外,雄性禾花鲤的体高对体质量的直接作用最大(0.442),尾柄高对体质量的直接作用最小(0.199).雄性禾花鲤体高、全长和尾柄高等3个形态性状对体质量的直接作用也小于通过其他性状对体质量的间接作用.

表3 雌性禾花鲤形态性状对体质量的通径分析

性状	相关系数	直接作用	间接作用					
			$\sum$	X_3	X_8	X_5	X_{10}	X_4
X_3	0.958**	0.317**	0.641		0.200	0.177	0.180	0.086
X_8	0.950**	0.210**	0.740	0.301		0.168	0.183	0.084
X_5	0.900**	0.201**	0.699	0.279	0.180		0.158	0.082
X_{10}	0.929**	0.195**	0.734	0.292	0.197	0.162		0.083
X_4	0.904**	0.096*	0.808	0.283	0.184	0.173	0.168	

注:X_3为躯干长,X_4为体高,X_5为体宽,X_8为眼间距,X_{10}为尾柄高;* 表示 $p<0.05$,** 表示 $p<0.01$,差异有统计学意义.

表4 雄性禾花鲤形态性状对体质量的通径分析

性状	相关系数	直接作用	间接作用			
			$\sum$	X_4	X_1	X_{10}
X_4	0.952**	0.442**	0.510		0.328	0.182
X_1	0.945**	0.371**	0.574	0.391		0.183
X_{10}	0.944**	0.199**	0.745	0.404	0.341	

注:X_1为全长,X_4为体高,X_{10}为尾柄高;** 表示 $p<0.01$,差异有统计学意义.

2.4 禾花鲤所选性状对体质量的决定系数分析

雌性禾花鲤躯干长、眼间距、体宽、尾柄高和体高等5个形态性状对体质量的单独决定系数依次为0.100,0.044,0.040,0.038,0.009.眼间距和躯干长对体质量的共同决定系数最高,为0.063,而体高与体宽和尾柄高对体质量的共同决定系数最低,为0.016(表5).单独决定系数和两两性状的共同决定系数的总决定系数为0.952,剩余因子为0.219.

雄性禾花鲤体高、全长和尾柄高等3个形态性状对体质量的单独决定系数依次为0.195,0.138,0.040.全长和体高对体质量的共同决定系数最高,为0.145,全长和尾柄高对体质量的共同决定系数最低,为0.068(表6).单独决定系数和两两性状的共同决定系数的总决定系数为0.959,剩余因子为0.202.

表5 雌性禾花鲤躯干长、眼间距、体宽、尾柄高和体高对体质量的决定系数

性状	X_3	X_8	X_5	X_{10}	X_4
X_3	0.100	0.063	0.056	0.057	0.027
X_8		0.044	0.035	0.038	0.018
X_5			0.040	0.032	0.016
X_{10}				0.038	0.016
X_4					0.009

注:X_3为躯干长,X_4为体高,X_5为体宽,X_8为眼间距,X_{10}为尾柄高.

表 6　雄性禾花鲤体高、全长和尾柄高对体质量的决定系数

性状	X_4	X_1	X_{10}
X_4	0.195	0.145	0.080
X_1		0.138	0.068
X_{10}			0.040

注：X_1 为全长，X_4 为体高，X_{10} 为尾柄高.

2.5　禾花鲤形态性状与体质量多元回归方程的建立

对雌性禾花鲤多元回归方程进行方差分析(表 7)，结果表明，回归关系有统计学意义($F=500.215$，$p<0.01$)；雄性禾花鲤多元回归方程的方差分析表明，回归关系也有统计学意义($F=545.898$，$p<0.01$)．对雌性禾花鲤形态性状对体质量的偏回归系数显著性检验结果显示(表 8)，躯干长、眼间距、体宽和尾柄高对体质量的影响有统计学意义($p<0.01$)，体高对体质量的影响也有统计学意义($p<0.05$)；雄性禾花鲤形态性状对体质量的偏回归系数检验结果显示，体高、全长和尾柄高对体质量的影响有统计学意义($p<0.01$)．

最终在雌性禾花鲤中建立了以体质量(Y_1)为依变量，躯干长(X_3)、眼间距(X_8)、体宽(X_5)、尾柄高(X_{10})和体高(X_4)为自变量的多元回归方程：$Y_1=-1\ 486.184+49.755\ X_3+108.830\ X_8+61.910\ X_5+123.204\ X_{10}+21.350\ X_4$．

在雄性禾花鲤中建立了以体质量(Y_2)为依变量，体高(X_4)、全长(X_1)和尾柄高(X_{10})为自变量的多元回归方程：$Y_2=-913.399+71.276\ X_4+17.981\ X_1+84.121\ X_{10}$．

表 7　多元回归方程的方差分析

性别	项目	平方和	自由度	均方	F 检验	显著性
雌性	回归	14 582 360.103	5	2 916 472.021	500.215	0.000**
	残差	734 635.464	126	5 830.440		
	总计	15 316 995.566	131			
雄性	回归	2 042 961.164	3	680 987.055	545.898	0.000**
	残差	87 322.322	70	1 247.462		
	总计	2 130 283.486	73			

注：** 表示 $p<0.01$，差异有统计学意义.

表 8　禾花鲤形态性状非标准化系数显著性检验

性别	变量	非标准化系数		标准系数	t 值	显著性
		B 值	标准误差			
雌性	常量	−1 486.184	45.414		−32.725	0.000**
	X_3	49.755	11.456	0.317	4.343	0.000**
	X_8	108.830	38.289	0.210	2.842	0.005**
	X_5	61.910	13.660	0.201	4.532	0.000**
	X_{10}	123.204	37.603	0.195	3.276	0.001**
	X_4	21.350	10.528	0.096	2.028	0.045*
雄性	常量	−913.399	37.168		−24.575	0.000**
	X_4	71.276	10.079	0.442	7.072	0.000**
	X_1	17.981	3.098	0.371	5.804	0.000**
	X_{10}	84.121	31.188	0.199	2.697	0.009**

注：X_1 为全长，X_3 为躯干长，X_4 为体高，X_5 为体宽，X_8 为眼间距，X_{10} 为尾柄高；* 表示 $p<0.05$，** 表示 $p<0.01$，差异有统计学意义.

2.6 不同性别禾花鲤形态性状与体质量的灰色关联分析

运用DPS软件对不同性别禾花鲤的形态性状与体质量进行灰色关联分析. 所测量的12个形态性状与雌性禾花鲤体质量的灰色关联度范围在0.765 8～0.835 6之间，而与雄性禾花鲤体质量的灰色关联度范围在0.728 4～0.826 7之间(表9). 在雌性和雄性禾花鲤中，头高是与体质量关联度最高的形态性状，吻长是与体质量关联度最低的形态性状.

表9 禾花鲤形态性状与体质量的灰色关联度

性别	性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
雌性	关联度	0.828 4	0.833 5	0.833 1	0.818	0.813 5	0.768 2	0.835 6	0.830 2	0.831	0.775	0.825 1	0.765 8
	关联序	6	2	3	8	9	11	1	5	4	10	7	12
雄性	关联度	0.812 3	0.789 7	0.794 1	0.789 9	0.810 3	0.799 5	0.826 7	0.785 8	0.817 4	0.731 7	0.795 8	0.728 4
	关联序	3	9	7	8	4	5	1	10	2	11	6	12

注：X_1为全长，X_2为体长，X_3为躯干长，X_4为体高，X_5为体宽，X_6为头长，X_7为头高，X_8为眼间距，X_9为眼径，X_{10}为尾柄高，X_{11}为尾柄长，X_{12}为吻长.

3 讨论

3.1 不同性别禾花鲤的差异

许多鱼类在生长发育过程中会因为性别的不同而存在显著的差异，这种差异主要包括形态差异和生长差异两部分[20]. 生长差异是指在生长周期相同的鱼类中，一种性别的个体比另一种性别的个体生长速度快[20]. 在本研究中，所测量雌鱼的体质量表现出显著大于雄性的现象($p<0.05$)，表明不同性别的禾花鲤可能存在生长差异，且表现出与半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)[21]、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)[22]、金钱鱼(*Scatophagus argus*)[23]等鱼类一致的雌性生长速度大于雄性的现象. 数据还表明，雌性禾花鲤的平均体质量比雄性禾花鲤高37.22%，在测量体质量时我们还发现，极大的个体中全是雌性，这表明禾花鲤不同性别的生长差异十分显著. 同时，这一结果也表明在禾花鲤养殖中，有意识的挑选雌鱼养殖，能在一定程度上缩短上市的时间，获取更高的养殖收益，有利于推广. 此外，在本研究中，除尾柄高和尾柄长外，所测量的形态性状均显示出雌性显著高于雄性的现象($p<0.01$)，这与刘峰等[24]对不同性别小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)的研究类似，在他们的研究中，小黄鱼的全长未表现出明显的差异性，而尾柄长和尾柄高表现出了明显的差异性，这可能是因为雌雄之间的形态差异存在物种特异性.

3.2 影响不同性别禾花鲤体质量的形态性状

相关性分析可以反映变量间的综合关系，在评价和预测目标性状的遗传参数估计值时发挥着重要作用[25]. 在本研究中，不同性别禾花鲤的形态性状与体质量的相关系数均有统计学意义($p<0.01$)，这一结果与对长吻鮠(*Leiocassis longirostris*)[7]、禾花鲤幼鱼(*Cyprinus carpio*)[15]、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)[26]等的研究一致. 但曲焕韬等[27]认为相关性分析并不能完全反映变量间的真实关系，结果具有一定的片面性. 在本研究中，所测量的12个形态性状与雌性禾花鲤体质量相关系数较大的前5个性状分别是躯干长(0.958)、体长(0.952)、眼间距(0.950)、全长(0.948)和头长(0.940). 但通径分析结果显示，影响雌性禾花鲤体质量的主要形态性状是躯干长、眼间距、体宽、尾柄高和体高，虽和相关性分析结果类似，但在相关性分析中与体质量相关系数较高的体长并不是显著影响体质量的形态性状，而显著影响体质量的体宽、尾柄高和体高3个性状与体质量的相关系数却并不高. 杨月静等[28]对齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)的研究表明，体长、体高、头长、尾柄高和头宽与体质量的相关系数最高，但相关系数较低的吻长和尾柄长却显著影响了齐口裂腹鱼的体质量. 这也证实了相关性分析在判定形态性状与体质量的关系时存在片面性，因此还需要进行进一步的分析.

研究表明，通径分析能够解释各个自变量对因变量的相对重要性，比相关分析更准确，但在表型相关分析的基础上进行通径分析和决定系数分析时，只有当回归分析中的 $R^2 \geqslant 0.85$，才能表明已经找到了影响依变量的主要自变量[29-30]. 在本研究中，雌性禾花鲤躯干长、眼间距、体宽、尾柄高和体高对体质量的共同决定系数为 0.952，说明通过通径分析筛选的 5 个形态性状是影响雌性禾花鲤体质量的主要形态性状. 这一结果与齐口裂腹鱼[28]、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)[31]和哲罗鲑(*Hucho taimen*)[32]等的研究结果相似，影响体质量的形态性状集中在鱼体的长度、高度和宽度方面. 雄性禾花鲤中，体高、全长和尾柄高对体质量的共同决定系数为 0.959，同样表明通过通径分析筛选得到的 3 个性状是影响雄性禾花鲤体质量的主要形态性状. 周康奇等[15]对体质量为 50 g 左右的禾花鲤幼鱼的研究表明，影响体质量的主要形态性状是全长、体长、体高和头长，与本文对 20 月龄禾花鲤研究结果有一定的差距. 这或许表明，在不同的生长阶段，影响鱼类体质量的主要形态性状也会发生较大的改变. 刘莹等[33]对 6 月龄和 14 月龄大菱鲆的研究也表明，随着生长阶段的变化，影响鱼类体质量的主要形态性状会发生较大的改变. 在云龙斑(*Yunlong grouper*)[34]、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)[26]的研究中也出现类似的结果. 因此，在借助外部形态性状更加准确地评估鱼类生产性能时，应根据研究目的的不同合理挑选评估参数.

3.3　分析方法的选择

运用相关分析、回归分析和通径分析研究形态性状对体质量的影响时，对样本量要求较高，一般而言，样本量通常是自变量的 15 倍以上[24]. 这就导致了在研究样本量较少的实验对象时，分析结果不尽准确. 在本次研究中，将 206 尾禾花鲤分为雌性 132 尾，雄性 74 尾，样本量小于自变量的 15 倍(160 尾)，故本研究在使用相关分析、回归分析和通径分析的基础上，使用灰色关联度分析对不同性别的禾花鲤形态性状与体质量的关系进行了分析. 通径分析结果表明，影响雌性禾花鲤体质量的主要形态性状是躯干长、眼间距、体宽、尾柄高和体高，与灰色关联分析结果不尽相同，但两种分析方法都表明躯干长和眼间距对体质量的影响较大. 而对于雄性禾花鲤而言，在通径分析中，影响雄性禾花鲤体质量的主要形态性状是体高、全长和尾柄高. 灰色关联分析显示，与雄性禾花鲤体质量关联度较高的性状是头高、眼径、全长和头长等. 故在对雌性禾花鲤进行选育的过程中，可以躯干长和眼间距为主要参考指标；在雄性禾花鲤选育的过程中，可以全长为主要参考指标.

参考文献：

[1] 广西壮族自治区水产研究所，中国科学院动物研究所. 广西淡水鱼类志 [M]. 2 版. 南宁：广西人民出版社，2006.

[2] 王宇锋. 禾花鲤(清廷贡鲤) [J]. 河南水产，2004(4)：12.

[3] 杨四秀，蒋艾青. 禾花鲤含肉率与肌肉营养成分分析 [J]. 水生态学杂志，2009，30(2)：154-157.

[4] 邓小红，梁静真，黎姗梅，等. 禾花鲤致病性嗜水气单胞菌的分离鉴定、耐药性及毒力基因检测 [J]. 西南农业学报，2017，30(4)：952-956.

[5] 龙苏，梁静真，韩书煜，等. 禾花鲤致病性铜绿假单胞菌的分离鉴定及药敏试验 [J]. 西南农业学报，2016，29(4)：988-992.

[6] 袁琳. 桂北稻田渔业风生水起 [N/OL]. (2015-12-04). https：//www. ddgx. cn/show/4386. html.

[7] 李哲，敬庭森，李雨，等. 长吻鮠形态性状对体质量的影响 [J]. 渔业科学进展，2021，42(4)：98-105.

[8] 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.

[9] 邓正华，陈明强，李有宁，等. 5 个地区长肋日月贝形态性状对主要经济性状的相关性和通径分析 [J]. 中国渔业质量与标准，2018，8(2)：17-28.

[10] 陈亭君，何旭盟，申玉春，等. 20 月龄尖紫蛤壳形态性状对体质量的影响 [J]. 广东海洋大学学报，2019，39(6)：23-29.

[11] 李培伦，刘伟，王继隆，等. 大麻哈鱼放流期形态性状对体质量的影响分析 [J]. 水产学杂志，2018，31(2)：6-11.

[12] 黄小林，张殿昌，林黑着，等. 池塘养殖卵形鲳鲹早期形态性状与体质量的灰色关联分析[J]. 南方农业学报，2018，49(5)：1016-1022.

[13] 谭才钢，刘宝锁，张东玲，等. 合浦珠母贝主要形态性状与体质量的灰色关联分析[J]. 南方水产科学，2015，11(2)：35-40.

[14] 黄小林，张栋国，林黑着，等. 网箱养殖点篮子鱼形态性状与体质量灰色关联分析[J]. 水产科学，2019，38(1)：61-66.

[15] 周康奇，潘贤辉，林勇，等. 广西禾花鲤形态性状与体质量的关系分析[J]. 河南农业科学，2020，49(9)：159-165.

[16] 耿绪云，马维林，李相普，等. 梭鱼(*Liza haematocheila*)外部形态性状对体重影响效果分析[J]. 海洋与湖沼，2011，42(4)：530-537.

[17] 谢从新. 鱼类学[M]. 北京：中国农业出版社，2010.

[18] 程金明. 鲤鱼人工繁殖技术[J]. 现代农业科技，2011(16)：293，303.

[19] 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.

[20] 王新安，马爱军，黄智慧，等. 大菱鲆选育家系雌、雄群体的生长发育差异[J]. 水产学报，2014，38(4)：464-469.

[21] JI X S，CHEN S L，JIANG Y L，et al. Growth Differences and Differential Expression Analysis of Pituitary Adenylate Cyclase Activating Polypeptide (PACAP) and Growth Hormone-Releasing Hormone (GHRH) between the Sexes in Half-Smooth Tongue Sole Cynoglossus Semilaevis[J]. General and Comparative Endocrinology，2011，170(1)：99-109.

[22] 谌微，王盼盼，肖世俊，等. 大黄鱼形态指标体系及雌雄差异分析[J]. 集美大学学报(自然科学版)，2014，19(6)：401-408.

[23] 吴波，张敏智，邓思平，等. 金钱鱼雌雄个体的形态差异分析[J]. 上海海洋大学学报，2014，23(1)：64-69.

[24] 刘峰，楼宝，陈睿毅，等. 小黄鱼形态性状与体质量的灰色关联分析[J]. 上海海洋大学学报，2017，26(1)：131-137.

[25] WANG C H，LI S F，XIANG S P，et al. Genetic Parameter Estimates for Growth-Related Traits in Oujiang Color Common Carp (Cyprinus Carpio Var. Color)[J]. Aquaculture，2006，259(1-4)：103-107.

[26] 李莉，王雪，菅玉霞，等. 不同月龄大泷六线鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 上海海洋大学学报，2019，28(1)：58-66.

[27] 曲焕韬，杨元金，鲁雪报，等. 岩原鲤形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 水产科学，2018，37(6)：769-774.

[28] 杨月静，向梦斌，刘庭，等. 13月龄养殖齐口裂腹鱼形态性状与体质量的关系[J]. 河南农业科学，2019，48(6)：139-144.

[29] 李玉虎，张志怀，宋芹芹，等. 凡纳滨对虾新品系体形性状对其体质量的影响[J]. 热带生物学报，2014，5(4)：307-311.

[30] 明道绪. 生物统计附试验设计[M]. 3版. 北京：中国农业出版社，2002.

[31] 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[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版)，2018，48(2)：38-48.

[32] 佟广香，匡友谊，许凌雪，等. 哲罗鲑形态性状与体重的相关性分析[J]. 水产学杂志，2011，24(2)：31-36.

[33] 刘莹，于超勇，于道德，等. 不同生长时期大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)形态性状与体质量的通径分析及曲线拟合研究[J]. 广西科学院学报，2018，34(3)：181-190.

[34] 何晓旭，贾磊，陈春秀，等. 不同月龄云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交后代形态性状的分析[J]. 经济动物学报，2019，23(3)：128-133.

责任编辑 周仁惠