

# 两种池养模式下异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*) 生物学表型对体质量影响效果的差异分析\*

陈雨<sup>1</sup> 戎华南<sup>1,2</sup> 刘哲宇<sup>1</sup> 陈汉春<sup>2</sup> 王志铮<sup>1</sup>

(1. 浙江海洋大学水产学院 浙江舟山 316022; 2. 慈溪市水产技术推广中心 浙江慈溪 315300)

**摘要** 水产养殖动物的增重机制既是其生存对策的重要组成部分,也是影响其生长性能和养殖产量的重要内因。异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是我国的重要养殖鱼类,随机选取池塘生态主养模式(M<sub>1</sub>)和池塘生态套养模式(M<sub>2</sub>)下经 7 个月养殖的异育银鲫夏花苗种各 70 尾为研究对象,以全长(X<sub>1</sub>)、体高(X<sub>2</sub>)、体宽(X<sub>3</sub>)、头长(X<sub>4</sub>)、侧线长(X<sub>5</sub>)、尾柄高(X<sub>6</sub>)、腹鳍间距(X<sub>7</sub>)、胸鳍间距(X<sub>8</sub>)为体尺性状,净体质量(NW)、肠质量(W<sub>1</sub>)、肝质量(W<sub>2</sub>)、胃质量(W<sub>3</sub>)、鳃质量(W<sub>4</sub>)、心质量(W<sub>5</sub>)和鳔质量(W<sub>6</sub>)为称量性状,采用多元分析方法分别研究了 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体尺寸性状和称量性状对其体质量(BW)的影响效应。结果表明:(1) 生物学测定结果显示, CV 值大于 10% 的均为质量性状,小于 10% 的均为体尺性状,除 NW、X<sub>1</sub>、X<sub>5</sub> 和 X<sub>6</sub> 均呈 M<sub>1</sub><M<sub>2</sub> (P<0.05), X<sub>4</sub> 和各脏器质量均呈 M<sub>1</sub>>M<sub>2</sub> (P<0.05)外,其余性状间均无显著差异(P>0.05);(2) 相关分析显示,除 W<sub>5</sub> 与 BW 间相关系数均未达到显著水平(P>0.05)外,其余性状与 BW 间的相关系数均达到极显著水平(P<0.01);(3) 经通径分析和复相关分析, M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 被保留体尺性状组合 X<sub>5</sub>-X<sub>1</sub>-X<sub>2</sub> 和 X<sub>2</sub>-X<sub>3</sub>-X<sub>1</sub>-X<sub>5</sub> 的总决定系数和复相关指数均分别为 0.889 和 0.927,称量性状组合 NW-W<sub>2</sub>-W<sub>1</sub>-W<sub>3</sub> 和 NW-W<sub>2</sub> 的总决定系数和复相关指数均分别为 0.992 和 0.971;(4) 经偏回归分析,得到了可用于估算 BW 的 M<sub>1</sub> 最优方程组和 M<sub>2</sub> 最优方程组。研究结果可为我国异育银鲫科学养殖提供有效参考。

**关键词** 养殖模式; 异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*); 体尺性状; 称量性状; 体质量

**中图分类号** Q953; S965 **doi:** 10.11693/hyhz20220100022

鲫 (*Carassius auratus*) 隶属于辐鳍亚纲 (Actinopterygii)、鲤形目 (Cypriniformes)、鲤科 (Cyprinidae), 具较高的食用和药用价值, 系广泛分布于欧亚大陆的淡水经济鱼类。因具食性广、生长快、耐低氧、繁殖力高、抗逆和抗病力强、可常年养殖等特点, 而备受广大淡水养殖从业人员的推崇。据《2020 渔业统计年鉴》(农业农村部渔业渔政管理局等, 2020), 全国 2019 年度鲫养殖产量为 2.755 632×10<sup>6</sup> t, 在我国七大大宗淡水鱼中位列第五。近年来, 随着环保督查力度的不断加大, 构建并推广银鲫适宜的池塘生态养殖模式已日益引起业内学者和主产区渔业

行政主管部门的高度关注和重视。

水产动物的体质量既是评价其阶段生长的重要生物学指标, 也是开展人工选育的重要目标性状。2002 年以来, 最近二十年间国内学者借助通径分析方法开展水产养殖动物形态体尺性状对体质量影响效果的研究一直非常活跃(刘小林等, 2002), 但涉及我国大宗淡水鱼类的研究仅见草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)和鲤鱼(*Cyprinus carpio*) (李玺洋等, 2012; 孙俊龙等, 2015; 周洲等, 2017; 周康奇等, 2020), 至于水产养殖动物称量性状(组织和脏器质量)与体质量间真实关系的研究报道亦仅见中华鳖(牟恩璇等, 2021a)。

\*国家星火计划项目, 2013GA701022 号; 宁波市重大科技攻关项目, 2012C10032 号; 慈溪市农业科技重点项目, CN201901 号。陈雨, 硕士研究生, E-mail: chen\_yuyuer@163.com; 同等贡献第一作者: 戎华南, E-mail: 13706742262@139.com

通信作者: 王志铮, 教授, E-mail: wzz\_1225@163.com

收稿日期: 2022-01-26, 收修改稿日期: 2022-03-14

水产养殖动物的增重机制既是其生存对策的重要组成部分,也是影响其生长性能和养殖产量的重要内因。已有研究表明,水产养殖对象会随养殖模式的改变而选择相应的生存对策,并随着养殖时间的推移,不仅其生长性能和决定体质量的形态体尺性状组合均会产生较明显的改变(杨明秋等, 2014; 袁向阳等, 2016, 2017b; 赵旺等, 2018; 原居林等, 2018),而且其体色、体型、肉质、营养与食用风味等商品性状也均会受到一定程度的影响(王志铮等, 2012, 2013a, 2013b; 袁向阳等, 2017a; 原居林等, 2018; 赵柳兰等, 2021)。因此,运用通径分析方法从体尺性状和称量性状两个维度聚焦决定体质量的核心变量组合,综合剖析体尺性状与称量性状在决定体质量上的相互关联和内在逻辑,进而揭示不同养殖模式下水产养殖动物的体质量增长对策差异,无疑对于进一步优化各养殖模式的养殖工艺与技术参数具有重要现实意义。鉴于此,本研究团队分别以池塘生态主养模式和池塘生态套养模式下经 7 个月养殖的异育银鲫夏花苗种为研究对象,从体尺性状与称量性状两个维度较系统开展了生物学表型对异育银鲫体质量影响效果的定量研究,并以此解析上述 2 种养殖模式下异育银鲫的体质量增重机制差异,以期为指导异育银鲫的科学养殖提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验鱼

本研究所测实验鱼均于 2020 年 12 月捕自慈溪市浒山华乔淡水鱼养殖场,分别为池塘生态主养模式(记为  $M_1$ , 池塘四周密植伞型花科多年生挺水植物铜钱草 *Hydrocotyle vulgaris*; 异育银鲫夏花放养时间 2020 年 5 月 7 日,放养密度  $1.5 \times 10^5$  ind./hm<sup>2</sup>; 鳙放养时间 2020 年 5 月 28 日,规格 300 ind./kg,密度  $3.0 \times 10^4$  ind./hm<sup>2</sup>)和池塘生态套养模式(记为  $M_2$ , 凡纳滨对虾苗放养时间 2020 年 5 月 10 日,放养密度  $6.0 \times 10^5$  ind./hm<sup>2</sup>; 鳙放养规格 300 ind./kg,异育银鲫夏花和鳙放养时间均为 2020 年 5 月 19 日,放养密度分别为  $6.0 \times 10^3$  ind./hm<sup>2</sup> 和  $3.0 \times 10^3$  ind./hm<sup>2</sup>)下经 7 个月常规养殖的异育银鲫夏花苗种。实验鱼运至慈溪市水产推广研究中心实验基地经停食驯养 1 d 后,选取其中体形完整、鳞片齐全、无病无伤、反应灵敏的健壮个体备测。

### 1.2 生物学测定

随机选取  $M_1$  和  $M_2$  养殖模式实验鱼各 70 尾,逐一编号后按性状属性分别用 HZ1002A 型电子天平(精度 0.01g,慈溪红钻衡器设备有限公司出品)和电子数

显游标卡尺(精度 0.01 mm,桂林广陆数字测控股份有限公司出品)进行生物学测定。具体步骤为:(1)冰水低温麻醉并用纱布抹除体表水分后,逐尾测定体质量(BW)、全长( $X_1$ )、体高( $X_2$ )、体宽( $X_3$ )、头长( $X_4$ ,吻端至鳃盖骨后缘的最大水平距离)、侧线长( $X_5$ ,侧线前后端的水平距离)、尾柄高( $X_6$ ,尾柄部背腹间的最小垂直距离)、腹鳍间距( $X_7$ ,左右腹鳍间的最小水平距离)和胸鳍间距( $X_8$ ,左右胸鳍间的最小水平距离),上述体尺性状的具体测量部位如图 1;(2)按常规解剖方法,摘取肠、肝、胃、鳃、心、鳔并剥离附于其上的脂肪和结缔组织,用吸水纸吸除各脏器表面血液、擦净解剖后实验鱼体表和内腔后,逐尾称量肠质量( $W_1$ )、肝质量( $W_2$ )、胃质量( $W_3$ )、鳃质量( $W_4$ )、心质量( $W_5$ )、鳔质量( $W_6$ )和净体质量(NW,去除鳃和内脏后的体质量)。

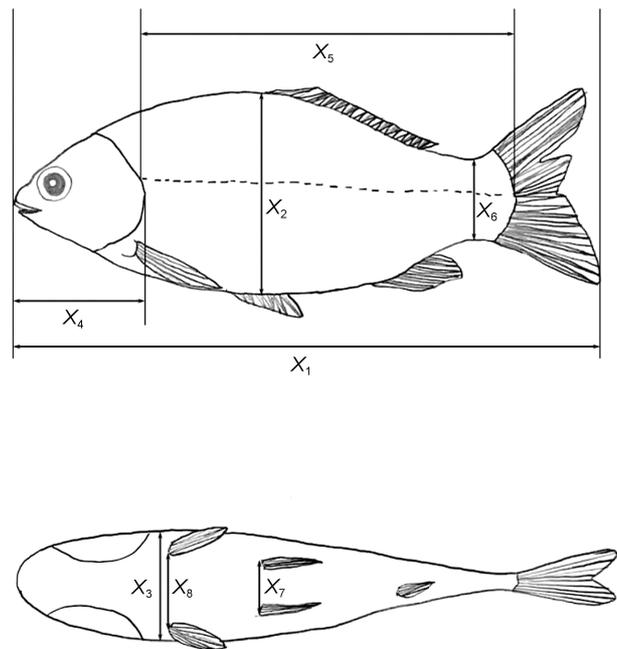


图 1 实验鱼体尺性状的测量部位

Fig. 1 The measurements of the body size traits of *C. auratus gibelio*

注:  $X_1$  表示全长;  $X_2$  表示体高;  $X_3$  表示体宽;  $X_4$  表示头长;  $X_5$  表示侧线长;  $X_6$  表示尾柄高;  $X_7$  表示腹鳍间距;  $X_8$  表示胸鳍间距

### 1.3 数据处理

整理测定数据,计算各项生物学性状的均值(M)、标准差(SD)和变异系数(CV%),并比较各脏器系数的组间差异显著性( $P < 0.05$  表示差异显著);参照牟恩璇等(2021a, 2021b)的方法,运用 SPSS23.0 软件,依次开展体尺性状间、称量性状间以及各性状与体质

量间的简单相关性分析, 体尺性状和称量性状对体质量的通径分析、复相关分析和偏回归分析, 由此确定影响体质量的关键体尺性状组合和称量性状组合, 并对所建用于估算体质量的多元线性回归方程进行拟合度检验。

## 2 结果

### 2.1 参数统计

由表 1 可见, 本研究所涉实验鱼生物学表型间的异同主要表现为: (1) 从称量性状看, 除 BW 无显著差异( $P>0.05$ ), NW 呈  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ )外, 其余性状间均呈  $M_1>M_2$  ( $P<0.05$ ); (2) 从体尺性状看, 除  $X_1$ 、 $X_3$

和  $X_6$  均呈  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ ),  $X_4$  呈  $M_1>M_2$  ( $P<0.05$ )外, 其余性状间均无显著差异( $P>0.05$ ); (3)  $M_1$  和  $M_2$  称量性状的 CV 值均大于 10%, 其排序分别为  $W_5>W_3>W_4>W_6>W_1>W_2>NW$  和  $W_2>W_6>W_1>W_3>W_4>W_5>NW$ , 体尺性状 CV 值均小于 10%, 其排序分别呈  $X_3>X_8>X_7>X_6>X_2>X_4>X_5>X_1$  和  $X_3>X_7>X_4>X_2>X_6>X_8>X_5>X_1$ 。综上所述表明,  $M_1$  实验鱼更注重脏器质量的积累和头部的延长, 而  $M_2$  实验鱼则更注重净体质量的积累、全长与测线长的增长以及尾柄部的增高, 尽管养殖模式可影响称量性状和体尺性状测定值离散程度的组内排序, 却改变不了称量性状较体尺性状更具可塑性及两者可塑性均分别以 NW 和  $X_1$  为最小的共性。

表 1 生物学表型的统计量描述  
Tab.1 Description in statistics of biological phenotypes

性状类别	测定性状	代码	M±SE		CV/%	
			$M_1$	$M_2$	$M_1$	$M_2$
称量性状/g	体质量	BW	39.91±4.28 <sup>a</sup>	39.01±5.21 <sup>a</sup>	10.72	13.36
	净体质量	NW	30.37±3.42 <sup>a</sup>	32.22±4.16 <sup>b</sup>	11.26	12.91
	肠质量	$W_1$	0.61±0.10 <sup>a</sup>	0.38±0.11 <sup>b</sup>	16.39	28.95
	肝质量	$W_2$	3.69±0.56 <sup>a</sup>	1.78±0.85 <sup>b</sup>	15.18	47.75
	胃质量	$W_3$	0.22±0.05 <sup>a</sup>	0.14±0.04 <sup>b</sup>	22.73	28.57
	鳃质量	$W_4$	1.34±0.28 <sup>a</sup>	1.05±0.18 <sup>b</sup>	20.90	17.14
	心质量	$W_5$	0.08±0.03 <sup>a</sup>	0.06±0.01 <sup>b</sup>	37.50	16.67
	鳔质量	$W_6$	0.23±0.04 <sup>a</sup>	0.20±0.06 <sup>b</sup>	17.39	30.00
体尺性状/mm	全长	$X_1$	127.20±4.51 <sup>a</sup>	134.81±6.53 <sup>b</sup>	3.55	4.84
	体高	$X_2$	38.45±2.37 <sup>a</sup>	37.51±2.57 <sup>a</sup>	6.16	6.85
	体宽	$X_3$	19.14±1.58 <sup>a</sup>	18.94±1.76 <sup>a</sup>	8.25	9.29
	头长	$X_4$	30.17±1.52 <sup>a</sup>	29.51±2.05 <sup>b</sup>	5.04	6.95
	侧线长	$X_5$	82.69±3.18 <sup>a</sup>	87.65±4.46 <sup>b</sup>	3.85	5.09
	尾柄高	$X_6$	14.68±0.94 <sup>a</sup>	15.46±1.05 <sup>b</sup>	6.40	6.79
	腹鳍间内侧间距	$X_7$	8.05±0.62 <sup>a</sup>	8.35±0.59 <sup>a</sup>	7.70	7.07
	胸鳍间内侧间距	$X_8$	15.26±1.18 <sup>a</sup>	15.83±1.02 <sup>a</sup>	7.73	6.44

注: 上标不同字母表示组间存在显著差异( $P<0.05$ )。下同

### 2.2 相关分析

由表 2、表 3 可见, 本研究所涉实验群体生物学表型与 BW 间的相关性异同主要表现为: (1) 从称量性状看,  $M_1$  和  $M_2$  实验群体除  $W_5$  与 BW 间的相关系数值均未达到显著水平( $P>0.05$ )外, 其余性状均达到极显著水平( $P<0.01$ ), 两者与 BW 间的相关系数值排序分别为  $NW>W_6>W_4>W_2>W_1>W_3>W_5$  和  $NW>W_4>W_6>W_2>W_1>W_3>W_5$ ; (2) 从体尺性状看,  $M_1$  和  $M_2$  实验群体各测定性状与 BW 间的相关系数均达到极显著水平( $P<0.01$ ), 两者与 BW 间的相关系数值排序分别呈  $X_5>X_1>X_2>X_4>X_7>X_6>X_3>X_8$  和  $X_2>X_3>X_1>X_6>X_5>X_8>$

$X_4>X_7$ 。综上所述可知, 体尺性状与 BW 间相关系数的组内排序受养殖模式的影响程度明显大于称量性状, 其中  $M_1$  和  $M_2$  实验群体称量性状中与 BW 间相关系数数值最大的均为 NW, 最小的均为  $W_5$ 。

### 2.3 通径分析

由表 4、表 5 可见, 本研究所涉实验群体间被保留性状组合的异同主要表现为: (1) 从称量性状看,  $M_1$  和  $M_2$  被保留的性状组合分别为  $NW-W_2-W_1-W_3$  和  $NW-W_2$ , 直接作用最大的均为 NW, 间接作用最大的则分别为  $W_3$  和  $W_2$ , 其中直接作用大于间接作用的性状均仅为 NW; (2) 从体尺性状看,  $M_1$  和  $M_2$  被保留的

表 2 称量性状与体质量间相关系数  
Tab.2 Correlation coefficient between quality traits and body weight

养殖模式	性状代码	BW	NW	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>
M <sub>1</sub>	NW	0.986**	1					
	W <sub>1</sub>	0.504**	0.457**	1				
	W <sub>2</sub>	0.583**	0.481**	0.244*	1			
	W <sub>3</sub>	0.500**	0.448**	0.332**	0.334**	1		
	W <sub>4</sub>	0.587**	0.559**	0.479**	0.299*	0.444**	1	
	W <sub>5</sub>	0.034	0.046	0.055	-0.131	0.138	0.068	1
	W <sub>6</sub>	0.627**	0.595**	0.417**	0.406**	0.405**	0.471**	0.041
M <sub>2</sub>	NW	0.947**	1					
	W <sub>1</sub>	0.407**	0.249*	1				
	W <sub>2</sub>	0.510**	0.262*	0.596**	1			
	W <sub>3</sub>	0.390**	0.311**	0.422**	0.433**	1		
	W <sub>4</sub>	0.694**	0.726**	0.334**	0.183	0.290*	1	
	W <sub>5</sub>	0.047	0.093	-0.072	-0.096	-0.054	0.056	1
	W <sub>6</sub>	0.512**	0.451**	0.449**	0.390**	0.266*	0.450**	-0.087

注:  $r_{(0.05,68)}=0.235$ ,  $r_{(0.01,68)}=0.306$ ; 上标\*和\*\*分别表示性状间的相关系数达到显著水平( $P<0.05$ )和极显著水平( $P<0.01$ )。下同

表 3 体尺性状与体质量间的相关系数  
Tab.3 Correlation coefficients between body size traits and body weight

养殖模式	性状代码	BW	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
M <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	0.857**	1						
	X <sub>2</sub>	0.670**	0.613**	1					
	X <sub>3</sub>	0.567**	0.589**	0.610**	1				
	X <sub>4</sub>	0.655**	0.673**	0.464**	0.370**	1			
	X <sub>5</sub>	0.867**	0.726**	0.468**	0.379**	0.615**	1		
	X <sub>6</sub>	0.581**	0.566**	0.499**	0.585**	0.381**	0.487**	1	
	X <sub>7</sub>	0.624**	0.601**	0.562**	0.428**	0.452**	0.469**	0.472**	1
	X <sub>8</sub>	0.526**	0.469**	0.423**	0.416**	0.464**	0.480**	0.326**	0.459**
M <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	0.770**	1						
	X <sub>2</sub>	0.849**	0.521**	1					
	X <sub>3</sub>	0.778**	0.416**	0.707**	1				
	X <sub>4</sub>	0.613**	0.555**	0.550**	0.542**	1			
	X <sub>5</sub>	0.714**	0.848**	0.454**	0.358**	0.351**	1		
	X <sub>6</sub>	0.733**	0.656**	0.580**	0.550**	0.515**	0.590**	1	
	X <sub>7</sub>	0.514**	0.465**	0.395**	0.370**	0.196	0.424**	0.417**	1
	X <sub>8</sub>	0.645**	0.522**	0.594**	0.557**	0.424**	0.383**	0.431**	0.560**

表 4 称量性状对体质量的通径分析  
Tab.4 Path analysis of quality traits on body weight

养殖模式	性状代码	相关系数	直接作用	间接作用					共线性统计	
				∑	NW	W <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	容差	VIF
M <sub>1</sub>	NW	0.986	0.876	0.110		0.064	0.026	0.02	0.599	1.670
	W <sub>2</sub>	0.583	0.134	0.450	0.421		0.014	0.015	0.751	1.331
	W <sub>1</sub>	0.504	0.056	0.448	0.4	0.033		0.015	0.771	1.297
	W <sub>3</sub>	0.500	0.044	0.457	0.393	0.045	0.019		0.762	1.313
M <sub>2</sub>	NW	0.947	0.874	0.074		0.074			0.932	1.073
	W <sub>2</sub>	0.510	0.281	0.229	0.229				0.932	1.073

表 5 体尺性状对体质量的通径分析  
Tab.5 Path analysis of body size traits on body weight

养殖模式	性状代码	相关系数	直接作用	间接作用					共线性诊断		
				$\Sigma$	$X_5$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	容差	VIF	
M <sub>1</sub>	$X_5$	0.867	0.507	0.359		0.259	0.100			0.472	2.119
	$X_1$	0.857	0.357	0.499	0.368		0.131			0.377	2.652
	$X_2$	0.670	0.213	0.457	0.238	0.219				0.623	1.606
M <sub>2</sub>	$X_2$	0.849	0.399	0.451	0.088	0.140		0.223		0.437	2.287
	$X_3$	0.778	0.315	0.462	0.069	0.111	0.282			0.256	3.901
	$X_1$	0.770	0.268	0.503	0.164		0.208	0.131		0.497	2.013
	$X_5$	0.714	0.193	0.521		0.227	0.181	0.113		0.280	3.573

性状组合分别为  $X_5$ - $X_1$ - $X_2$  和  $X_2$ - $X_3$ - $X_1$ - $X_5$ , 直接作用最大的分别为  $X_5$  和  $X_2$ , 间接作用最大的分别为  $X_2$  和  $X_5$ , 其中直接作用大于间接作用的性状分别仅为  $X_5$  和  $X_2$ ; (3) 共线性诊断显示, M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 被保留的称量性状组合和体尺性状组合的方差膨胀因子均远低于经验值 (VIF<10)。综上可知,  $X_2$  和  $X_5$  分别为体尺性状中影响 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体 BW 的关键核心变量, NW 为称量性状中影响 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体 BW 的公共关键核心变量, 其他被保留性状则为影响 BW 的相对重要变量。

#### 2.4 决定程度分析与复相关分析

由表 6 和表 7 可见, M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体单一称量性状和单一体尺性状对 BW 的决定系数分别为  $NW>W_2>W_1>W_3$ ,  $NW>W_2$  和  $X_5>X_1>X_2$ ,  $X_2>X_1>X_3>X_5$ ; 经计算, M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 被保留称量性状组合对 BW 的总决定系数分别为 0.992 和 0.971, 体尺性状组合对 BW 的总决定系数分别为 0.889 和 0.927。复相关分析显示(表 8), M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 被保留性状组合与 BW 的复相关系数均达到极显著水平 ( $P<0.01$ ), 所示复相关指数均分别与其相对应性状组合的总决定系数完全相同。无疑, 上述结果进一步印证了表 4 和表 5 所示  $X_2$  和  $X_5$  分别为体尺性状中影响 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体 BW 的关键核心变量, NW 为称量性状中影响 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体 BW 的公共关键核心变量, 以及其他被保留性状为影响 BW 相对重要变量的可靠性。

表 6 称量性状对体质量的决定系数  
Tab.6 Determination coefficients of quality traits on body weight

性状代码	M1				M2	
	NW	$W_2$	$W_1$	$W_3$	NW	$W_2$
NW	0.768	0.113	0.045	0.034	0.764	0.129
$W_2$		0.018	0.004	0.004		0.079
$W_1$			0.003	0.002		
$W_3$				0.002		

表 7 体尺性状对体质量的决定系数

Tab.7 Determination coefficients of body size traits on body weight

性状代码	M <sub>1</sub>			M <sub>2</sub>			
	$X_5$	$X_1$	$X_2$	$X_5$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
$X_5$	0.257	0.263	0.101	0.037	0.088	0.070	0.044
$X_1$		0.128	0.093		0.072	0.111	0.070
$X_2$			0.046			0.159	0.178
$X_3$							0.099

表 8 称量性状和体尺性状对体质量的复相关系数  
Tab.8 Multiple correlation coefficients of quality traits and body size traits on body weight

性状类别	养殖模式	回归自由度 (df)	剩余自由度 (Rdf)	复相关系数 (MCC)	复相关指数 (MCE)	校正后复相关指数 (CMCE)	标准误差 (SD)
称量性状	M <sub>1</sub>	4	65	0.996	0.992	0.991	0.398
	M <sub>2</sub>	2	67	0.986	0.971	0.970	0.902
尺寸性状	M <sub>1</sub>	3	66	0.943	0.889	0.884	1.469
	M <sub>2</sub>	4	65	0.963	0.927	0.923	1.456

注:  $r_{0.01(2, 67)}=0.393$ ;  $r_{0.01(3, 66)}=0.424$ ;  $r_{0.01(4, 65)}=0.427$

#### 2.5 多元线性回归方程的建立

由表 9 可见, M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体被保留称量性状组合与 BW 间的多元线性回归方程分别为  $Y_{(M1)}=1.096NW+1.025W_2+2.433W_1+3.504W_3+0.507$  和  $Y_{(M2)}=1.096NW+1.287W_2+1.044$ ; 被保留体尺性状组合与 BW 间的多元线性回归方程分别为  $Y_{(L1)}=0.683X_5+0.338X_1+0.385X_2-74.431$  和  $Y_{(L2)}=0.809X_2+0.214X_1+0.931X_3+0.225X_5-57.512$ 。方差分析结果表明, 所建立的回归方程的回归关系也均达到极显著水平 ( $P<0.01$ ) (表 10)。经回归预测, 估计值和实际测量值之间无显著差异 ( $P>0.05$ ), 表明所建方程能精确反映 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 实验群体体尺性状和称量性状与其 BW 之间的真实关系。

表 9 生物学性状对体质量的偏回归分析  
Tab.9 Partial regression analysis of biological traits on body weight

性状类别	养殖模式	因变量	代号	自变量	代码	偏回归系数±标准误	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
称量性状	M <sub>1</sub>	BW	Y <sub>(W1)</sub>	回归截距	C	0.567±0.459	1.236	0.221
				净体质量	NW	1.096±0.018	60.895	0.000
				肝质量	W <sub>2</sub>	1.025±0.099	10.407	0.000
				肠质量	W <sub>1</sub>	2.433±0.548	4.437	0.000
				胃质量	W <sub>3</sub>	3.504±1.017	3.444	0.001
	M <sub>2</sub>	BW	Y <sub>(W2)</sub>	回归截距	C	1.044±0.843	1.239	0.220
				净体质量	NW	1.096±0.027	40.789	0.000
				肝质量	W <sub>2</sub>	1.287±0.098	13.128	0.000
				侧线长	X <sub>5</sub>	0.683±0.08	8.491	0.000
				全长	X <sub>1</sub>	0.338±0.063	5.343	0.000
体尺性状	M <sub>1</sub>	BW	Y <sub>(L1)</sub>	回归截距	C	-74.431±5.16	-14.425	0.000
				侧线长	X <sub>5</sub>	0.683±0.08	8.491	0.000
				全长	X <sub>1</sub>	0.338±0.063	5.343	0.000
				体高	X <sub>2</sub>	0.385±0.094	4.100	0.000
				体宽	X <sub>3</sub>	0.931±0.14	6.649	0.000
	M <sub>2</sub>	BW	Y <sub>(L2)</sub>	回归截距	C	-57.512±3.745	-15.359	0.000
				体高	X <sub>2</sub>	0.809±0.102	7.895	0.000
				全长	X <sub>1</sub>	0.214±0.053	4.063	0.000
				侧线长	X <sub>5</sub>	0.225±0.074	3.053	0.003
				体宽	X <sub>3</sub>	0.931±0.14	6.649	0.000

表 10 生物学性状与体质量的多元回归方差分析  
Tab.10 Multiple regression analysis of variance of biological traits and body weight

形状类别	养殖模式	统计指标	平方和 SS	自由度 <i>df</i>	均方 MS	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
称量性状	M <sub>1</sub>	回归	1 269.070	4	317.268	2 000.180	0.000
		残差	10.310	65	0.159		
		总计	1 279.381	69			
	M <sub>2</sub>	回归	1 846.584	2	923.292	1 135.919	0.000
		残差	54.459	67	0.813		
		总计	1 901.043	69			
尺寸性状	M <sub>1</sub>	回归	1 137.040	3	379.013	175.740	0.000
		残差	142.340	66	2.157		
		总计	1 279.381	69			
	M <sub>2</sub>	回归	1 763.215	4	440.804	207.884	0.000
		残差	137.828	65	2.120		
		总计	1 901.043	69			

注:  $F_{0.01(3,66)}=4.10$ ;  $F_{0.01(4,65)}=3.62$ ;  $F_{0.01(4,65)}=3.62$ ;  $F_{0.01(2,67)}=4.95$

### 3 讨论

#### 3.1 M<sub>1</sub> 与 M<sub>2</sub> 实验群体间基于决定 BW 关键性状组合的生存对策差异分析

由表 6、表 7 和表 8 可见, NW-W<sub>2</sub>-W<sub>1</sub>-W<sub>3</sub>-X<sub>5</sub>-X<sub>1</sub>-X<sub>2</sub> 对 M<sub>1</sub> 实验群体 BW 的总决定系数和复相关指数均分别为 0.992 和 0.889, X<sub>2</sub>-X<sub>3</sub>-X<sub>1</sub>-X<sub>5</sub>、NW-W<sub>2</sub> 对 M<sub>2</sub> 实验群体 BW 的总决定系数和复相关指数均分别为 0.971 和 0.927, 均大于影响因变量的主要自变量组合已被

找到的阈值 0.85 (刘小林等, 2002), 表明上述性状组合均为决定 M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 实验群体 BW 的关键性状组合。

Wagner 等(2001)认为同一物种的不同群体为长期适应不同的生活环境而形成了各自特有包括生长、发育、繁殖以及对环境因子的适应力等的生物学特性。刘建康(1999)也指出生物会基于其所处生境的变动性、可预测性和不确定性程度而在 *r-K* 连续谱系上作出相应的生存抉择。据报道, 适量种植铜钱草等水生植物不仅可显著改善水体环境并保持其相对稳定

性(Pokorny *et al.*, 1990; 周遗品等, 2011), 而且还可显著提高池内水产养殖动物的存活率、生长效率并改善其养殖品质(刘鑫等, 2003; 徐增洪等, 2016)。无疑, 本研究所涉  $M_1$  实验群体较  $M_2$  实验群体具更为优越而稳定的生存环境, 且这种差异随养殖时长的推移变得愈加显著的情形, 势必会导致  $M_1$  与  $M_2$  实验群体在生存对策出现较明显的分化。

由表 4 可见, 称量性状中决定  $M_1$ 、 $M_2$  实验群体 BW 的关键核心变量均为 NW, 结合表 1 所示 BW、NW 分别呈  $M_1 \approx M_2$  ( $P > 0.05$ ) 和  $M_1 < M_2$  ( $P < 0.05$ ) 的结果, 表明上述两实验群体均处于以 NW 积累为主的 BW 增长阶段, 但  $M_2$  实验群体的 NW 增速更为显著 ( $P < 0.05$ )。一般而言, 水生生物个体的生长总是由以长长为主逐渐向以长粗为主转变, 故与体重增长最为密切的变量往往首先是体长性状(王志铮等, 2011)。由表 5 可见, 体尺性状中决定  $M_1$ 、 $M_2$  实验群体 BW 的关键核心变量分别为  $X_5$  和  $X_2$ , 表明  $M_1$  实验群体尚处以体长轴增长为主导的 BW 增长阶段, 而  $M_2$  实验群体则已转为以体纵轴增长为主导的 BW 增长阶段。综上, 可预判  $M_1$  实验群体通过进一步延长体长轴和延缓 NW 积累而表露出增强脏器功能并朝个体大型化方向发展的态势, 而  $M_2$  实验群体则已转为通过增加体高和加速 NW 积累而表露出快速储备能量并朝个体小型化方向发展的态势, 即本研究所涉  $M_2$  较  $M_1$  实验群体的生存对策在  $r$ - $K$  连续谱系上已表露明显朝  $r$  选择偏移的倾向。

### 3.2 $M_1$ 与 $M_2$ 实验群体间基于称量性状的 BW 增长对策差异分析

动物的组织和脏器按其生理代谢功能可分为活性和惰性两部分。就本研究所涉称量性状而言, 除 NW 属惰性部分外, 其余称量性状均属活性部分。无疑, 本研究所涉  $M_1$  与  $M_2$  实验群体 NW 为称量性状中影响两实验群体 BW 的公共核心关键变量的结果(表 4), 既与“器官代谢活性假说”所述动物组织和脏器质量与体质量间呈异速生长, 活性部分和惰性部分与体质量间的比例随个体生长分别呈下降和上升趋势的判断相符(Itazawa *et al.*, 1983; Oikawa *et al.*, 1992), 也与牟恩璇等(2021a)所述动物体质量的增长既依赖活性脏器代谢能耗的持续增加, 更表露为惰性部位对代谢产物的不断积累的观点相吻。

就本研究所涉实验群体所处环境严峻度而言, 因缺乏水草对养殖环境的调控,  $M_2$  实验群体的抗逆压力明显大于  $M_1$ 。故本研究所涉实验群体的活性脏

器质量均呈  $M_1 > M_2$  ( $P < 0.05$ ) 结果(表 1), 既反映了  $M_2$  实验群体因机体代谢能耗明显大于  $M_1$  致使活性脏器质量增速明显受抑的客观事实, 也映射了  $M_2$  实验群体为增强体质通过加速 NW 积累以响应高严峻度生存环境的适应对策, 更揭示了  $M_2$  实验群体为促进 NW 积累通过显著抑制活性脏器质量增速以补偿机体代谢能耗的增重对策。“器官代谢活性假说”认为, 活性脏器的脏器系数与其代谢水平呈正相关(Itazawa *et al.*, 1983; Oikawa *et al.*, 1992)。马细兰等(2009)也指出, 胃、肝、肠作为动物重要的消化器官, 是各种营养物质消化吸收与代谢的主要场所, 其发达程度直接影响动物的生长速度。故, 决定  $M_1$ 、 $M_2$  实验群体 BW 的关键称量性状组合中均包含  $W_2$  的原因, 应与表 1 所示两实验群体的消化脏器质量均呈  $W_2 > W_1 > W_3$  ( $P < 0.05$ ) 的结果密切相关, 即肝脏是异育银鲫最大的消化器官。至于,  $W_1$ 、 $W_3$  未被选入决定  $M_2$  实验群体 BW 关键性状组合的原因, 可能与肠、胃质量远小于肝脏且为补偿机体代谢能耗致使其增速明显受抑, 从而导致  $W_1$ 、 $W_3$  未能真实反映其消化代谢水平有关。

### 3.3 $M_1$ 和 $M_2$ 实验群体基于体尺性状的 BW 增长对策差异

$M_1$  实验群体的养殖密度为  $M_2$  的 25 倍, 故致其种内食物竞争压力远高于  $M_2$ 。无疑, 如何切实提高种内食物竞争能力是  $M_1$  实验群体 BW 增长必须面对的生存抉择。梁旭方(1998)指出, 鱼类的测线感受系统具识别和定位猎物的作用。故,  $X_3$  取代  $X_1$  成为决定  $M_1$  实验群体 BW 的关键核心变量的原因, 应与  $M_1$  实验群体通过提高摄食灵敏度和成功率以提升种内食物竞争能力密切相关。

异育银鲫与凡纳滨对虾同属杂食性底栖种类。就 BW 增长而言,  $M_2$  实验群体与同池高密度养殖的凡纳滨对虾势必在食物和栖境争夺上均存在较激烈的种间竞争。由此, 表 1 所示  $M_2$  实验群体  $X_4$ 、 $W_4$  和  $W_6$  均显著小于  $M_1$  ( $P < 0.05$ ) 的结果, 也印证  $M_2$  实验群体通过显著降低呼吸与运动强度以更专注于持续占据池底食场生境的生态适应性。故,  $X_3$  被增选进入决定  $M_2$  实验群体 BW 关键性状组合的原因, 应与  $M_2$  实验群体通过增大鱼体三维几何空间以更利于挤占食场生境有关。至于,  $X_1$ 、 $X_2$  和  $X_5$  对  $M_1$  和  $M_2$  实验群体 BW 的通路系数排序上互为倒序的原因, 既反映了  $M_1$  和  $M_2$  实验群体的生存对策在  $r$ - $K$  连续谱系上已出现显著偏离的客观事实, 也揭示了  $M_1$  实验群体更注

重种内食物竞争而  $M_2$  实验群体则更关注于种间食物和栖境竞争的体质量增长对策。

#### 4 结论

(1)  $M_1$  实验群体更注重脏器质量的积累和头部的延长, 以利增强机体功能朝个体大型化方向发展的趋势, 而  $M_2$  实验群体则更注重净体质量的积累、全长和测线长的增长以及尾柄部的增高, 以利快速储备能量并朝个体小型化方向发展的趋势; 尽管养殖模式可影响称量性状和体尺性状 CV 值的组内排序, 却改变不了称量性状较体尺性状更具可塑性, 以及两者可塑性均分别以 NW 和  $X_1$  为最小的共性。

(2)  $M_1$  和  $M_2$  实验群体除  $W_5$  与 BW 间的相关系数均未达到显著水平 ( $P>0.05$ ) 外, 其余性状均达到极显著水平 ( $P<0.01$ ); 体尺性状与 BW 间相关系数的组内排序受养殖模式的影响程度明显大于称量性状, 其中  $M_1$  和  $M_2$  实验群体称量性状中与 BW 间相关系数值最大的均为 NW, 最小的均为  $W_5$ 。

(3) 影响  $M_1$ 、 $M_2$  实验群体 BW 的关键称量性状均为 NW, 关键体尺性状分别为  $X_2$  和  $X_5$ ; 决定  $M_1$ 、 $M_2$  的称量性状组合分别为 NW- $W_2$ - $W_1$ - $W_3$  和 NW- $W_2$ , 体尺性状组合分别为  $X_5$ - $X_1$ - $X_2$  和  $X_2$ - $X_3$ - $X_1$ - $X_5$ 。可用于估算  $M_1$ 、 $M_2$  实验群体 BW 的最优多元线性回归方程组分别为  $Y_{(L1)}=0.683X_5+0.338X_1+0.385X_2-74.431$ 、 $Y_{(W1)}=1.096NW+1.025W_2+2.433W_1+3.504W_3+0.507$  和  $Y_{(L2)}=0.809X_2+0.214X_1+0.931X_3+0.225X_5-57.512$ 、 $Y_{(W2)}=1.096NW+1.287W_2+1.044$ 。

(4)  $M_2$  实验群体为响应高严峻度生存环境更关注种间食物和栖境竞争, 在称量性状上采取了通过显著抑制活性脏器质量增速以补偿机体代谢能耗, 以及加速促进 NW 积累以增强体质并提高抗逆能力的体质量增重对策, 在体尺性状上采取了通过加速增大鱼体三维几何空间以利驱逐池底层与其共同竞争食物和栖息空间的凡纳滨对虾的体质量增重对策, 其生存对策在  $r$ - $K$  连续谱系上较更侧重于种内食物竞争的  $M_1$  实验群体已明显表露出朝  $r$  选择偏移的倾向。

#### 参 考 文 献

马细兰, 张勇, 周立斌, 等, 2009. 脊椎动物雌雄生长差异的研究进展[J]. 动物学杂志, 44(2): 141-146.  
 王志铮, 付英杰, 杨磊, 等, 2013a. 三种养殖模式下日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 养成成品体色和肌肉品质的差异[J]. 海洋与湖沼, 44(4): 1042-1049.  
 王志铮, 杨磊, 朱卫东, 2012. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成

品的形质差异[J]. 应用生态学报, 23(5): 1385-1392.  
 王志铮, 吴一挺, 杨磊, 等, 2011. 日本沼虾 (*Macrobrachium nipponensis*) 形态性状对体重的影响效应[J]. 海洋与湖沼, 42(4): 612-618.  
 王志铮, 赵晶, 杨磊, 等, 2013b. 三种养殖模式下日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 养成成品血清生化指标和脏器消化酶、抗氧化酶活力的差异[J]. 海洋与湖沼, 44(2): 403-408.  
 刘小林, 常亚青, 相建海, 等, 2002. 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, 33(6): 673-678.  
 刘建康, 1999. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社: 71-72.  
 刘鑫, 王哲, 张一, 等, 2003. 两种沉水植物对黄颡鱼 (*Pseudobagrus fulvidraco*) 夏花培育水体主要水质因子的影响[J]. 湖泊科学, 15(2): 184-188.  
 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会, 2020. 2020 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社: 25.  
 孙俊龙, 沈玉帮, 傅建军, 等, 2015. 草鱼一龄前不同月龄主要形态性状对体重影响效果的分析[J]. 上海海洋大学学报, 24(3): 341-349.  
 牟恩璇, 申屠琰, 叶文婷, 等, 2021a. 池塘专养模式下中华鳖养成成品组织和脏器质量对体质量的影响效果分析[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 40(6): 498-504.  
 牟恩璇, 申屠琰, 熊玉凤, 等, 2021b. 池塘专养模式下中华鳖养成成品形态性状对体质量和净体质量的影响效应[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 40(1): 22-28, 79.  
 李玺洋, 白俊杰, 樊佳佳, 等, 2012. 二龄草鱼形态性状对体质量影响效果的分析[J]. 上海海洋大学学报, 21(4): 535-541.  
 杨明秋, 刘金叶, 王永波, 等, 2014. 不同养殖模式对驼背鲈生长的影响[J]. 热带生物学报, 5(2): 132-135.  
 周洲, 李建光, 王艳艳, 等, 2017. 清水江鲤外部形态性状对体质量的影响[J]. 河南农业科学, 46(12): 134-138.  
 周康奇, 潘贤辉, 林勇, 等, 2020. 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, 49(9): 159-165.  
 周遗品, 刘雯, 雷泽湘, 等, 2011. 铜钱草对城市生活污水的净化效果[J]. 仲恺农业工程学院学报, 24(2): 9-12.  
 赵旺, 江淼, 陈明强, 等, 2018. 离岸养殖与陆基养殖尖吻鲈形态性状与体质量的相关性研究[J]. 海洋学报, 40(8): 53-62.  
 赵柳兰, 龙亚男, 罗杰, 等, 2021. 池塘和稻田两种养殖模式下建鲤肠道菌群、免疫酶活性及肌肉氨基酸比较分析[J]. 中国水产科学, 28(1): 48-56.  
 袁向阳, 王志铮, 杨程, 等, 2017a. 两种养殖模式下泥鳅养成成品体色、质构及其脏器消化酶、抗氧化酶和 ATP 酶活力的差异[J]. 渔业科学进展, 38(2): 121-127.  
 袁向阳, 李鸿鹏, 杨程, 等, 2016. 泥鳅养成成品形态性状与体质量和净体质量的相互关系[J]. 南方农业学报, 47(7): 1234-1240.  
 袁向阳, 富裕, 杨程, 等, 2017b. 稻田养殖泥鳅形态性状与体质量、净体质量关联分析的研究[J]. 海洋湖沼通报, 39(1): 88-95.  
 原居林, 刘梅, 倪蒙, 等, 2018. 不同养殖模式对大口黑鲈生长性能、形体指标和肌肉营养成分影响研究[J]. 江西农业大学学报, 40(6): 1276-1285.

- 徐增洪, 刘国锋, 水燕, 等, 2016. 人工栽培水草对池塘养殖生态环境和虾蟹生长的影响[J]. 江苏农业科学, 44(6): 328-331.
- 梁旭方, 1998. 鱼类侧线机械感觉猎物识别和定位的研究进展[J]. 动物学杂志, 33(2): 50-53.
- ITAZAWA Y, OIKAWA S, 1983. Metabolic rates in excised tissues of carp [J]. *Experientia*, 39(2): 160-161.
- OIKAWA S, TAKEMORI M, ITAZAWA Y, 1992. Relative growth of organs and parts of a marine teleost, the porgy, *Pagrus major*, with special reference to metabolism-size relationships [J]. *Japanese Journal of Ichthyology*, 39(3): 243-249.
- POKORNY J, KVET J, ONDOK J P, 1990. Functioning of the plant component in densely stocked fishponds [J]. *Bulletin of Ecology*, 21(3): 44-48.
- WAGNER E J, ARNDT R E, BROUGH M, 2001. Comparative tolerance of four stocks of cutthroat trout to extremes in temperature, salinity, and hypoxia [J]. *Western North American Naturalist*, 61(4): 434-444.

## DIFFERENTIAL ANALYSIS ON THE EFFECT OF BIOLOGICAL PHENOTYPES ON BODY WEIGHT OF *CARASSIUS AURATUS GIBELIO* IN TWO POND AQUACULTURE MODES

CHEN Yu<sup>1</sup>, RONG Hua-Nan<sup>1,2</sup>, LIU Zhe-Yu<sup>1</sup>, CHEN Han-Chun<sup>2</sup>, WANG Zhi-Zheng<sup>1</sup>

(1. College of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Cixi Fisheries Technology Promotion Center, Cixi 315300, China)

**Abstract** Seventy allogynogenetic crucian carps were cultured for 7 months in a pond ecological dominant culture mode ( $M_1$ ) and a pond ecological polyculture mode ( $M_2$ ), and then randomly selected for the research. The total length ( $X_1$ ), body height ( $X_2$ ), body width ( $X_3$ ), head length ( $X_4$ ), lateral line length ( $X_5$ ), tail handle height ( $X_6$ ), ventral fin spacing ( $X_7$ ), and pectoral fin spacing ( $X_8$ ) were used as dimensional traits, while the net body mass (NW), intestinal mass ( $W_1$ ), liver mass ( $W_2$ ), stomach mass ( $W_3$ ), gill mass ( $W_4$ ), heart mass ( $W_5$ ) and swim bladder mass ( $W_6$ ) were used as weighing characters. And the multivariate analysis method was used to study the effects of weighing and size traits on body mass (BW) of gibel carp in the two breeding modes. Results show the following. (1) The CV (coefficient of variation) values greater than 10% were from weighing traits, and those less than 10% from body size traits. There was no significant difference traits ( $P>0.05$ ) except for NW,  $X_1$ ,  $X_5$  and  $X_6$  whose  $M_1<M_2$  ( $P<0.05$ ), and  $X_4$  and organ mass whose  $M_1>M_2$  ( $P<0.05$ ). (2) The correlation coefficients between other traits and BW reached a very significant level ( $P<0.01$ ) indicated in the correlation analysis except for that between  $W_5$  and BW being at a significant level ( $P>0.05$ ). (3) The total determination coefficient and multiple correlation index of the retained body size character combinations  $M_1$  ( $X_5$ - $X_1$ - $X_2$ ) and  $M_2$  ( $X_2$ - $X_3$ - $X_1$ - $X_5$ ) were 0.889 and 0.927; and the weighing character combinations  $M_1$  (NW- $W_2$ - $W_1$ - $W_3$ ) and  $M_2$  (NW- $W_2$ ) were 0.992 and 0.971, respectively, as revealed in the path analysis and multiple correlation analysis. (4) The optimal equations can be used to estimate BW of the  $M_1$  and the  $M_2$  optimal equations according to partial regression analysis.

**Key words** culture mode; *Carassius auratus gibelio*; body size traits; weighing traits; body mass