

## 不同月龄长丰鲢形态性状对体质量的影响

吴新燕<sup>1,2</sup>, 梁宏伟<sup>1</sup>, 罗相忠<sup>1</sup>, 沙航<sup>1</sup>, 邹桂伟<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北武汉 430223; 2. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏无锡 214081)

**摘要:** 为研究长丰鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 形态特征对生长发育的影响, 文章采用主成分分析和通径分析对其常规形态和框架结构进行了研究。结果表明, 不同月龄长丰鲢各形态性状与体质量均呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ); 不同阶段体质量与形态性状的相关性有所不同。主成分分析结果显示 6 和 12 月龄表现为鱼体整体结构的协同生长发育, 而 36 月龄主要是躯干部的增长。通径分析结果显示 3 个月龄中鳃盖背侧后缘至鳃盖腹侧后缘 ( $x_8$ )、全长 ( $x_{11}$ ) 和体高 ( $x_{13}$ ) 与体质量的通径系数均达到显著水平 ( $P < 0.05$ ), 这 3 个性状在各阶段均对体质量有显著影响; 同时建立了 3 个月龄组不同形态性状对体质量的最优回归方程。不同阶段各形态性状对体质量的影响有所不同, 建议早期生长阶段将全长、体长和体高作为长丰鲢的主要选育目标, 而成鱼阶段除了考虑全长, 还需要重视鱼体宽度对体质量的影响。

**关键词:** 长丰鲢; 形态性状; 体质量; 主成分分析; 通径分析

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



## Effects of morphological traits on body mass of Changfeng silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) at different ages

WU Xinyan<sup>1,2</sup>, LIANG Hongwei<sup>1</sup>, LUO Xiangzhong<sup>1</sup>, SHA Hang<sup>1</sup>, ZOU Guiwei<sup>1</sup>

(1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

2. Wuxi Fishery College, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, China)

**Abstract:** To study the influence of morphological characteristics of Changfeng silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) on its growth, we applied the principal component analysis and path analysis methods to analyze the conventional morphological measurements and truss network. The results show that the correlation coefficients between the morphological traits and body mass were extremely significant at different ages ( $P < 0.01$ ). Besides, the correlation coefficients between them were also different at different stages. Principal component analysis revealed that 6- and 12-month old *H. molitrix* showed a synergistic growth, as well as development of the overall structure, but it was mainly the growth of the trunk at 36-month age. Path analysis shows that the path coefficients of three morphological traits ( $x_8, x_{11}, x_{13}$ ) for the body mass were significant at three stages ( $P < 0.05$ ), and these traits had significant impacts on the body mass at all stages. The optimal regression equations of morphological traits to body mass were established for the three groups. The effects of morphological traits on the body mass were distinct at different stages. The results suggest that the total length, body length and body height should be selected as the breeding targets for *H. molitrix* at early growth stage. However, the target trait for selective breeding of adult fish should mainly be total length, and the synergistic breeding of fish body width should be emphasized.

收稿日期: 2020-12-30; 修回日期: 2021-02-09

资助项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-45-01); 国家淡水水产种质资源库 (FGRC18537)

作者简介: 吴新燕 (1997—), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类遗传育种。E-mail: 1466846351@qq.com

通信作者: 邹桂伟 (1963—), 男, 研究员, 从事鱼类遗传育种研究。E-mail: zougw@yfi.ac.cn

**Key words:** *Hypophthalmichthys molitrix*; Morphometric traits; Body mass; Principal component analysis; Path analysis

长丰鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 是中国水产科学研究院长江水产研究所选育的鲢新品种<sup>[1]</sup>, 其综合运用了人工雌核发育、群体选育和分子标记辅助育种等技术, 具有遗传性状稳定、生长快、产量高、耐低氧、成活率高等优点, 适合在全国范围内的淡水可控水体中养殖。到目前为止长丰鲢已在全国 20 多个省(市、区)开展了推广养殖, 取得了显著的经济、生态和社会效益, 为广大鲢养殖企业(户)的增产、增收作出了较大贡献<sup>[2]</sup>。

表型特征信息的采集是对水产养殖动物进行良种选育的前提<sup>[3]</sup>, 通过对与体质量相关的主要形态性状进行测量, 可避免残留水分、饲料等影响, 更为准确、快捷<sup>[4-5]</sup>。鱼类各表型性状间相互关系复杂, 准确筛选出与体质量密切相关的指标, 是开展选育工作的基础。因此, 可通过形态性状来估算体质量, 进而达到辅助选种的目的<sup>[6-7]</sup>。目前, 这些分析方法已在鱼类形态相关性研究中广泛应用<sup>[8-9]</sup>。方伟等<sup>[10]</sup>通过对黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacores*) 进行相关分析和通径分析, 找到了影响体质量的主要形态性状, 为其选育工作的深入研究提供了理论基础; 黄建盛等<sup>[11]</sup>采用通径分析方法剖析军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 幼鱼形态性状对体质量的影响效果, 为其选择育种提供了理想的测量指标, 达到辅助育种的目的; 吴水清等<sup>[5]</sup>综合运用相关分析、主成分分析和通径分析等方法, 对不同月龄云石斑鱼 (*Epinephelus moara*♀×*E. lanceolatus*♂) 各表型性状开展相关性研究, 探究其不同阶段的生长变化规律。

近年来, 对长丰鲢的研究主要集中于培育及养殖试验<sup>[12-13]</sup>、营养成分分析<sup>[14-15]</sup>等方面, 对其形态性状生长发育规律的研究有待加强, 梁宏伟等<sup>[1]</sup>通过主成分分析和判别分析, 将长丰鲢与普通鲢的表型特征进行了系统性比较, 发现相较于普通鲢, 长丰鲢具有体型高、头长等特点, 但分化程度不高。本实验以 6、12 和 36 月龄长丰鲢为研究对象, 旨在对其不同月龄生长发育的影响因素进行分析, 为长丰鲢优良性状的保持和良种选育提供基础资料。

## 1 材料与与方法

### 1.1 实验材料

长丰鲢的苗种由农业农村部鲢遗传育种中心繁

育, 于湖北石首老河长江四大家鱼原种场养殖。饲养期间不同月龄均保持养殖管理条件一致, 溶解氧质量浓度保持在  $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以上, 饵料为生物肥, 池塘面积约  $0.17 \text{ hm}^2$ , 为充分利用其增长潜力, 养殖密度于每年春季投放时调整。于 6、12 和 36 月龄随机取样, 其中 6 月龄 121 尾, 12 月龄 99 尾, 36 月龄 158 尾。

### 1.2 表型性状测量

将直尺与实验鱼置于同一视野下, 对每条鱼进行正反面拍照, 采用 ImageJ 1.52 图像处理软件进行形态学测量。选用 6 个解剖学坐标点构建框架结构, 它们之间的距离 1—2 记为  $x_1$ 、1—3 记为  $x_2$ 、2—4 记为  $x_3$ 、3—4 记为  $x_4$ 、3—5 记为  $x_5$ 、4—6 记为  $x_6$ 、5—6 记为  $x_7$ 、1—4 记为  $x_8$ , 共 8 个可数性状 (图 1); 同时采集头长 (HL)、眼径长 (ED)、全长 (TL)、体长 (BL)、体高 (BH)、躯干长 (TL)、尾柄长 (CPL)、尾柄高 (CPH) 8 个常规测量指标, 分别记为  $x_9$ 、 $x_{10}$ 、 $x_{11}$ 、 $x_{12}$ 、 $x_{13}$ 、 $x_{14}$ 、 $x_{15}$ 、 $x_{16}$ ; 共计 16 个可量性状 (表 1)。体质量 (BW) 使用电子天平测定。

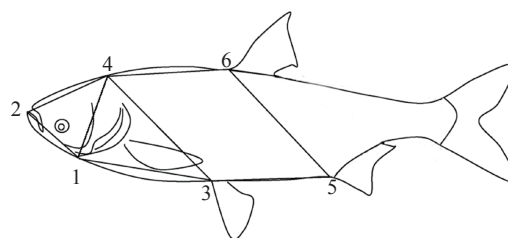


图1 框架结构测量示意图

1. 头部腹侧末端; 2. 吻端; 3. 腹鳍起点; 4. 头部背侧末端;  
5. 臀鳍起点; 6. 背鳍起点

Figure 1 Schematic diagram of truss network measurements of *H. molitrix*

1. Ventral terminal of head; 2. Tip of snout; 3. Origin of pelvic fin;  
4. Terminal of head back; 5. Origin of anal fin; 6. Origin of dorsal fin

### 1.3 数据处理与分析

使用 Excel 2010 软件对数据进行统计整理。采用 SPSS 20.0 软件计算各月龄平均值、标准差及变异系数, 并对数据进行相关分析、主成分分析和通径分析; 剖析 16 个性状间的相关系数, 计算其特征值、累积贡献率及特征向量; 分析各形态性状对体质量的直接和间接作用, 并建立各月龄的最优多元回归方程。

表1 表型数据测量表

Table 1 Phenotypic data measurements of *H. molitrix*

性状 Trait	性状 Trait
$x_1$ 吻端至鳃盖腹侧后缘 (1—2)	$x_9$ 头长 (HL)
$x_2$ 鳃盖腹侧后缘至腹鳍起点 (1—3)	$x_{10}$ 眼径 (ED)
$x_3$ 吻端至鳃盖背侧后缘 (2—4)	$x_{11}$ 全长 (TL)
$x_4$ 鳃盖后上缘至腹鳍起点 (3—4)	$x_{12}$ 体长 (BL)
$x_5$ 腹鳍起点至臀鳍起点 (3—5)	$x_{13}$ 体高 (BH)
$x_6$ 鳃盖背侧后缘至背鳍起点 (4—6)	$x_{14}$ 躯干长 (TL)
$x_7$ 背鳍起点至腹鳍起点 (5—6)	$x_{15}$ 尾柄长 (CPL)
$x_8$ 鳃盖背侧后缘至鳃盖腹侧后缘 (1—4)	$x_{16}$ 尾柄高 (CPH)

## 2 结果

### 2.1 各月龄长丰鲢形态性状及其相关性

相较于其他形态性状,不同月龄体质量的变异系数均最大,分别为26.78%、28.63%和7.23%;说明长丰鲢体质量的选育潜力仍然较大。除体质量外,各月龄形态性状变异系数分别介于8.60%~

26.78%、7.68%~28.63%和3.40%~7.23%(表2)。经SPSS单个样本K-S检验,3个月龄长丰鲢的体质量均服从正态分布( $P>0.05$ ),所取样本为随机样本。

各月龄体质量与形态性状的相关性均达到极显著水平(6月龄 $R$ 介于0.58~0.95,  $P<0.01$ ;12月龄 $R$ 介于0.70~0.97,  $P<0.01$ ;36月龄 $R$ 介于0.23~0.71,  $P<0.01$ )。其中6月龄体质量与 $x_{11}$ 、 $x_{12}$ 和 $x_{13}$ 之间的相关系数均较大,分别为0.95、0.95和0.92;12月龄体质量与 $x_8$ (0.97)、 $x_{11}$ (0.97)、 $x_{12}$ (0.97)和 $x_{13}$ (0.96)的相关性均较大;36月龄时与体质量相关性最大的3个指标均是框架数据,分别是 $x_4$ (0.62)、 $x_7$ (0.71)和 $x_8$ (0.61),皆反映了鱼体宽度。

### 2.2 各月龄长丰鲢形态性状的主成分分析

对3个月龄长丰鲢的形态性状进行主成分分析。按特征值大于1的原则,为了便于比较,不同月龄均提取4个主成分(表3和表4)。其中6和12月龄的第一主成分中,特征向量值较大的均有 $x_4$ 、 $x_7$ 、 $x_8$ 、 $x_{11}$ 和 $x_{12}$ 这5个形态性状,分别称为

表2 不同月龄长丰鲢体质量与形态性状的描述性统计

Table 2 Descriptive statistics for body mass and morphometric traits of *H. molitrix* at different ages

性状 Trait	6月龄 6 Months			12月龄 12 Months			36月龄 36 Months		
	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
y/g	19.95	5.34	26.78	48.46	13.88	28.63	1 040.65	75.20	7.23
$x_1$ /cm	2.20	0.25	11.44	3.49	0.34	9.80	9.20	0.60	6.55
$x_2$ /cm	3.01	0.41	13.75	3.78	0.37	9.81	11.46	0.64	5.62
$x_3$ /cm	2.62	0.31	11.68	3.83	0.40	10.34	10.63	0.58	5.42
$x_4$ /cm	3.70	0.45	12.06	4.99	0.49	9.87	14.26	0.55	3.87
$x_5$ /cm	2.48	0.30	12.23	3.15	0.38	12.18	9.35	0.47	5.01
$x_6$ /cm	3.01	0.31	10.23	4.08	0.42	10.41	12.26	0.58	4.72
$x_7$ /cm	3.17	0.41	12.80	4.25	0.50	11.67	12.29	0.46	3.73
$x_8$ /cm	2.52	0.25	10.03	3.41	0.33	9.63	9.77	0.33	3.40
$x_9$ /cm	2.97	0.33	11.22	4.39	0.43	9.71	12.57	0.59	4.69
$x_{10}$ /cm	0.70	0.08	11.10	0.90	0.07	7.68	1.34	0.09	6.82
$x_{11}$ /cm	12.23	1.07	8.73	16.98	1.61	9.47	47.26	1.64	3.46
$x_{12}$ /cm	9.79	0.84	8.60	14.04	1.41	10.02	39.74	1.75	4.40
$x_{13}$ /cm	3.26	0.34	10.51	4.33	0.47	10.94	11.40	0.51	4.48
$x_{14}$ /cm	4.10	0.44	10.66	5.38	0.58	10.71	15.98	0.68	4.25
$x_{15}$ /cm	1.65	0.17	10.09	2.34	0.32	13.58	6.56	0.45	6.82
$x_{16}$ /cm	1.05	0.12	10.98	1.46	0.17	11.64	4.05	0.18	4.33

增长因子、宽度因子; 36 月龄组的第一主成分中, 特征向量值较大的分别有  $x_4$ 、 $x_6$ 、 $x_8$  和  $x_{11}$ , 主要反映躯干部的生长情况, 称为增长因子。第二主成分均有所不同, 6 月龄组为  $x_{15}$ 、 $x_{16}$ , 为尾部因子; 12 月龄为  $x_{10}$ , 为眼径因子; 36 月龄为  $x_{12}$ 、 $x_{13}$ , 主要反映整体的生长发育情况, 称为体

型因子。第三主成分中, 6 月龄特征值最大的是  $x_{10}$ , 为眼径因子; 12 月龄特征值最大的是  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  和  $x_{10}$ , 为头部因子; 36 月龄特征值最大的是  $x_{13}$ 、 $x_{15}$ , 为尾部因子。6 和 36 月龄的第四主成分皆反映头部发育情况; 而 12 月龄以尾部生长为主。

表3 不同月龄长丰鲢形态性状的特征值和累计贡献率

Table 3 Eigenvalue and cumulative contribution rate of *H. molitrix* morphological traits at different ages

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue			累计贡献率 Cumulative contribution rate/%		
	6月龄	12月龄	36月龄	6月龄	12月龄	36月龄
	6 Months	12 Months	36 Months	6 Months	12 Months	36 Months
1	10.805	14.063	6.498	67.531	87.894	40.612
2	1.517	0.541	2.065	77.012	91.276	53.518
3	0.844	0.417	1.374	82.286	93.880	62.103
4	0.652	0.242	1.338	86.363	95.391	70.465

表4 不同月龄入选的主成分特征向量

Table 4 Principal component eigenvector of *H. molitrix* at different ages

月龄 Month age	6				12				36			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
主成分 Principal component												
$x_1$	0.727	-0.290	-0.021	0.528	0.868	0.122	-0.431	-0.095	0.552	-0.486	0.209	0.420
$x_2$	0.790	-0.247	0.188	-0.360	0.917	-0.117	0.236	-0.106	0.502	0.288	-0.160	-0.647
$x_3$	0.831	-0.319	0.016	0.227	0.936	0.086	-0.184	-0.126	0.570	-0.377	0.354	-0.194
$x_4$	0.903	-0.208	0.113	-0.177	0.972	-0.077	0.088	-0.047	0.860	-0.035	-0.036	-0.148
$x_5$	0.828	-0.205	0.159	0.031	0.939	-0.154	-0.008	0.088	0.649	0.196	-0.328	0.090
$x_6$	0.847	-0.243	0.269	0.087	0.944	-0.081	0.086	-0.007	0.790	-0.153	-0.200	0.049
$x_7$	0.867	-0.154	0.122	-0.277	0.979	-0.080	0.080	-0.025	0.747	0.266	-0.089	-0.272
$x_8$	0.910	0.010	-0.313	-0.048	0.970	0.029	-0.001	-0.013	0.808	-0.047	0.245	-0.086
$x_9$	0.853	-0.374	0.074	0.024	0.956	0.075	-0.147	-0.156	0.626	-0.508	0.399	-0.137
$x_{10}$	0.703	-0.098	-0.622	0.033	0.716	0.656	0.225	0.048	0.536	-0.057	0.186	0.398
$x_{11}$	0.865	0.420	-0.002	0.020	0.983	-0.016	0.007	0.035	0.853	-0.044	-0.091	0.160
$x_{12}$	0.865	0.431	0.027	0.052	0.994	-0.028	-0.009	-0.015	0.273	0.718	0.433	0.298
$x_{13}$	0.839	0.360	-0.033	-0.004	0.975	-0.058	0.094	-0.046	0.137	0.758	0.492	0.091
$x_{14}$	0.873	0.056	-0.319	-0.144	0.963	-0.130	0.064	0.062	0.726	0.333	-0.332	0.125
$x_{15}$	0.643	0.517	0.292	0.208	0.886	0.014	-0.170	0.400	0.354	0.030	-0.468	0.496
$x_{16}$	0.754	0.436	0.055	-0.072	0.965	-0.064	0.075	0.031	0.685	0.051	-0.024	-0.173

2.3 各月龄长丰鲢形态性状的通径分析

除 36 月龄组的  $x_7$ 、 $x_{13}$  对体质量的直接作用大于间接作用, 其余月龄各形态性状对体质量的直接作用均小于间接作用, 为多个性状共同影响体质量

(表 5); 且  $x_8$ 、 $x_{11}$  和  $x_{13}$  这 3 个性状在各阶段均对体质量呈显著影响 ( $P < 0.05$ )。6 月龄中,  $x_{11}$ 、 $x_{12}$  和  $x_{13}$  对体质量的直接作用较大,  $x_8$  和  $x_{15}$  主要通过其对体质量产生间接影响。12 月龄时,  $x_{11}$ 、

$x_{13}$ 、 $x_{16}$ 与体质量的相关系数和直接作用均较大,其余形态性状主要通过这3个性状间接地作用于体质量。在36月龄, $x_7$ 与体质量的相关系数和直接作用均较大,其余形态性状主要通过其间接作用于体质量; $x_{13}$ 与体质量相关系数较小,其他性状通

过其对体质量的间接作用均较小,对体质量影响小。结果表明,6和12月龄时影响体质量的主要性状均有 $x_{11}$ 和 $x_{13}$ ;而36月龄 $x_7$ 是体质量的主要影响因子。

表5 不同月龄长丰鲢性状对体质量的直接与间接通径系数  
Table 5 Direct and indirect path coefficients of traits to body mass of *H. molitrix* at different ages

月龄 Month age	性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect										
				$\Sigma$	$x_1$	$x_3$	$x_7$	$x_8$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{15}$	$x_{16}$	
6	$x_8$	0.812	0.105	0.708	-	-	-	-	0.253	0.262	0.236	-0.043	-	
	$x_{11}$	0.950	0.330	0.621	-	-	-	0.081	-	0.333	0.269	-0.062	-	
	$x_{12}$	0.952	0.344	0.608	-	-	-	0.080	0.320	-	0.272	-0.064	-	
	$x_{13}$	0.920	0.312	0.609	-	-	-	0.079	0.284	0.301	-	-0.055	-	
	$x_{15}$	0.668	-0.085	0.753	-	-	-	0.054	0.240	0.257	0.203	-	-	
12	$x_1$	0.843	0.091	0.752	-	-	-	0.160	0.222	-	0.193	-	0.176	
	$x_8$	0.966	0.191	0.774	0.076	-	-	-	0.257	-	0.230	-	0.211	
	$x_{11}$	0.970	0.266	0.704	0.076	-	-	0.184	-	-	0.231	-	0.213	
	$x_{13}$	0.964	0.241	0.722	0.073	-	-	0.183	0.255	-	-	-	0.212	
	$x_{16}$	0.962	0.222	0.739	0.072	-	-	0.181	0.255	-	0.230	-	-	
36	$x_3$	0.269	-0.146	0.416	-	-	0.174	0.139	0.110	-	-0.008	-	-	
	$x_7$	0.708	0.462	0.246	-	-0.055	-	0.133	0.124	-	0.044	-	-	
	$x_8$	0.612	0.253	0.359	-	-0.080	0.242	-	0.171	-	0.026	-	-	
	$x_{11}$	0.592	0.252	0.340	-	-0.064	0.227	0.172	-	-	0.005	-	-	
	$x_{13}$	0.342	0.174	0.168	-	0.007	0.117	0.038	0.007	-	-	-	-	

6月龄时,单独决定系数最大的形态性状为 $x_{12}$ (0.118),12月龄为 $x_{11}$ (0.071),36月龄为 $x_7$ (0.213)(表6)。由共同决定系数知6月龄 $x_{11}$ 和 $x_{12}$ 协同对体质量的间接作用最大(0.22);12月龄 $x_{11}$ 和 $x_{13}$ 对体质量的共同作用最大(0.123);36月龄为 $x_7$ 与 $x_8$ 对体质量的影响最大(0.122)。根据单独决定系数和共同决定系数可计算出形态性状对体质量的总决定系数,其中6和12月龄总决定系数分别为0.958和0.964,说明这2个月龄保留的形态性状是影响体质量的主要性状;而36月龄5个形态性状对体质量总决定系数为0.651,该值较小,反映了这一阶段对体质量有影响的自变量较多。

#### 2.4 多元回归方程的建立

采用逐步回归分析,按照对体质量作用的显著程度,6月龄组依次引入 $x_8$ 、 $x_{11}$ 、 $x_{12}$ 、 $x_{13}$ 及 $x_{15}$ ;12月龄依次引入 $x_1$ 、 $x_8$ 、 $x_{11}$ 、 $x_{13}$ 及 $x_{16}$ ;36月龄

依次引入 $x_3$ 、 $x_7$ 、 $x_8$ 、 $x_{11}$ 及 $x_{13}$ ;分别建立最优回归方程:

$$y_{6\text{月龄}} = -38.524 + 2.181x_{12} + 4.859x_{13} + 1.655x_{11} + 2.207x_8 - 2.724x_{15} \quad (1)$$

$$y_{12\text{月龄}} = -88.042 + 2.298x_{11} + 7.058x_{13} + 8.069x_8 + 18.101x_{16} + 3.71x_1 \quad (2)$$

$$y_{36\text{月龄}} = -1\ 087.057 + 75.841x_7 + 57.312x_8 + 25.63x_{13} + 11.575x_{11} - 19.113x_3 \quad (3)$$

经检验,3个方程的回归关系均达到极显著水平(6月龄 $F=500.519$ , $P<0.01$ ;12月龄 $F=521.581$ , $P<0.01$ ;36月龄 $F=56.825$ , $P<0.01$ ),各形态性状对体质量的偏回归系数均达到显著水平( $P<0.05$ ),且回归预测结果显示,估计值与实际值差异不显著( $P>0.05$ ),说明所建立的3个多元回归方程均能较准确地反映形态性状与体质量之间的关系,可用于选育实践。



表6 不同月龄长丰鲢形态性状对体质量的决定系数  
Table 6 Determinant coefficient of morphometric attributes on body mass of *H. molitrix* at different ages

月龄 Month age	性状 Trait	$x_1$	$x_3$	$x_7$	$x_8$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{15}$	$x_{16}$
6	$x_8$	-	-	-	0.011	-	-	-	-	-
	$x_{11}$	-	-	-	0.053	0.109	-	-	-	-
	$x_{12}$	-	-	-	0.055	0.220	0.118	-	-	-
	$x_{13}$	-	-	-	0.049	0.178	0.188	0.097	-	-
	$x_{15}$	-	-	-	-0.009	-0.041	-0.044	-0.034	0.007	-
12	$x_1$	0.008	-	-	-	-	-	-	-	-
	$x_8$	0.029	-	-	0.036	-	-	-	-	-
	$x_{11}$	0.040	-	-	0.098	0.071	-	-	-	-
	$x_{13}$	0.035	-	-	0.088	0.123	-	0.058	-	-
	$x_{16}$	0.032	-	-	0.081	0.113	-	0.102	-	0.049
36	$x_3$	-	0.021	-	-	-	-	-	-	-
	$x_7$	-	-0.051	0.213	-	-	-	-	-	-
	$x_8$	-	-0.041	0.122	0.064	-	-	-	-	-
	$x_{11}$	-	-0.032	0.115	0.087	0.064	-	-	-	-
	$x_{13}$	-	0.002	0.041	0.013	0.002	-	0.030	-	-

### 3 讨论

#### 3.1 形态性状与体质量的相关性分析

相关性分析可反映自变量与因变量之间的关系, 继而很好地判断多个形态性状和体质量之间的相关程度<sup>[16]</sup>, 已广泛用于眼斑双锯鱼 (*Amphiprion ocellaris*)<sup>[17]</sup>、红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*)<sup>[18]</sup>、黑鲷 (*Sparus macrocephalus*)<sup>[19]</sup> 和四指马鲛 (*Eleutheronema tetradactylum*)<sup>[6]</sup> 等鱼类选育的相关研究中。鱼类不同生长阶段体质量与形态性状的相关性可能有所变化<sup>[20]</sup>。窦亚琪等<sup>[21]</sup> 研究发现, 翘嘴鲌 (*Siniperca chuatsi*) 在 2 和 3 月龄与体质量相关系数最大的性状均为体高, 4 和 5 月龄为全长, 6 月龄则为体长, 同一性状不同阶段与体质量的相关性存在差异; 刘贤德等<sup>[22]</sup> 研究 13 和 20 月龄大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*), 发现不同时期体高与体质量的相关性均最大, 体长次之, 但在 20 月龄, 体高、体长的相关系数相较于早期显著减小, 不同生长时期大黄鱼形态性状对体质量的影响效果不同; 耿绪云等<sup>[23]</sup> 发现梭鱼 (*Liza haematocheila*) 具有异速生长的特点, 需结合发育阶段研究形态性状对体质量的影响。长丰鲢 6 和 12 月龄体质量与  $x_{11}$ 、 $x_{12}$  和  $x_{13}$  之间的相关系数均较大; 但 36 月龄时这 3 个性

状与体质量之间的相关性显著减小, 与其他阶段存在差异; 这一时期与体质量相关性较大的 3 个性状分别是  $x_4$ 、 $x_7$  和  $x_8$ , 均反映鱼体宽度, 推测 36 月龄时体质量的变化和鱼体宽度的生长密切相关。吴水清等<sup>[5]</sup> 研究发现, 云龙石斑鱼在成鱼阶段体高生长迅速, 这一变化可使腹腔体积增大, 利于内脏的生长和脂肪等营养物质的积累; 王新安等<sup>[24]</sup> 对大菱鲂 (*Scophthalmus maximus*) 研究发现, 鱼体较大的几何空间有利于脂肪等营养物质的贮存, 相应体质量也较大。本文研究结果符合鱼类生长发育规律。

#### 3.2 主成分分析

变量过多会增加研究的复杂性, 而主成分分析可以很好地实现“降维”, 已广泛用于水产动物的形态差异分析和选择育种研究中<sup>[25-26]</sup>。不同月龄云龙石斑鱼<sup>[5]</sup>、褐点石斑鱼 (*E. fuscoguttatus*)<sup>[7]</sup>、马苏大麻哈鱼 (*Oncorhynchus masou*)<sup>[27]</sup>、许氏平鲈 (*Sebastes schlegelii*)<sup>[28]</sup> 的第一主成分均为增长、增重因子; 1 月龄梭鲈 (*Saner lucioperca*)<sup>[29]</sup> 第一主成分指向增长因子; 上述研究的第一主成分中均存在增长因子。在本实验中, 长丰鲢 6 和 12 月龄第一主成分均为增长、宽度因子, 而 36 月龄组的第一主成

分指向增长因子；6和12月龄时表现为鱼体整体结构的协同生长发育，而36月龄主要是躯干部的增长；这与长丰鲢实际生长情况相符。另外，各月龄第一主成分中入选的因子虽存在差别，但均有全长( $x_{11}$ )，说明长丰鲢生长发育过程中，增长生长始终放在第一位。因此，在6~36月龄长丰鲢选育过程中，全长是一个重要的选择性状<sup>[7]</sup>。

### 3.3 通径分析

为了进一步明确影响体质量的主要形态性状及其影响程度，本文还采用了通径分析<sup>[30-32]</sup>。当形态指标较多，或性状间相互关系复杂，有必要通过这一方法剔除不重要的性状<sup>[6,33]</sup>。该方法可提高选择育种的准确性，已被广泛应用到褐点石斑鱼<sup>[7]</sup>、卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)<sup>[34]</sup>和青蛤(*Cyclina sinensis*)<sup>[35]</sup>等水产经济动物的选育实践中。本研究显示，6和12月龄均有 $x_{11}$ (全长)和 $x_{13}$ (体高)对体质量的直接作用较大，表明长丰鲢早期阶段，全长和体高均是影响体质量的主要性状，且随着月龄的增长，其作用逐渐减小，这一趋势与张进等<sup>[36]</sup>对翘嘴鳊的研究结果一致。而36月龄中， $x_7$ 与体质量的相关系数和直接作用均较大，由于 $x_7$ 反映鱼体宽度，这一时期鱼体宽度的生长对体质量影响较大<sup>[5,24]</sup>，该结论与相关分析的结果相一致。另外，通过逐步引入-剔除法，保留了各月龄显著性的形态性状( $P<0.05$ )，在此基础上构建6、12和36月龄组的最优回归方程。回归方程中，6和12月龄组各形态性状对体质量的总决定系数均远大于0.85，所保留的性状正是影响体质量的主要形态性状<sup>[27]</sup>；而36月龄组5个形态性状对体质量的总决定系数为0.651，该值相较于其他月龄略小，仍有一些影响较大的因素没有得以充分考虑<sup>[37]</sup>；36月龄各性状间的相关系数相对于6和12月龄均较小，且随着月龄的增长，长丰鲢各形态性状间的共线性减小，表明这一阶段代表性的表型性状较少，因此对体质量影响较大的因素可能还包括一些鱼体内部的生物学指标，如肥满度<sup>[38]</sup>、脏体指数<sup>[39]</sup>等，对体质量的影响性状还需进行更加全面综合的分析<sup>[11]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 梁宏伟, 李忠, 罗相忠, 等. 长丰鲢与长江鲢形态差异与判别分析[J]. 水生生物学报, 2015, 39(5): 1059-1064.
- [2] 杨希, 王明涛, 白海锋, 等. 长丰鲢水花苗种在渭北地区培育效果对比分析[J]. 河北渔业, 2017(10): 32-33, 44.
- [3] YAKUBU A, MUHAMMED M M, ARI M M, et al. Correlation and path coefficient analysis of body weight and morphometric traits of two exotic genetic groups of ducks in Nigeria[J]. Bang J Anim Sci, 2015, 44(1): 1-9.
- [4] 吴水清, 郑乐云, 罗辉玉, 等. 杂交石斑鱼(斜带石斑鱼♀×赤点石斑鱼♂)与其亲本形态性状比较研究[J]. 南方水产科学, 2017, 13(5): 47-54.
- [5] 吴水清, 罗辉玉, 张哲, 等. 不同月龄云龙石斑鱼表型性状的主成分与通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(5): 680-687.
- [6] 李俊伟, 区又君, 温久福, 等. 室内循环水和池塘养殖四指马鲛的生长性能及形态性状与体质量的相关性研究[J]. 南方水产科学, 2020, 16(1): 27-35.
- [7] 黄建盛, 陈刚, 张健东, 等. 褐点石斑鱼不同月龄形态性状的主成分及通径分析[J]. 水产学报, 2017, 41(7): 1105-1115.
- [8] LAGO A A, REIS-NETO R V, REZENDE T T, et al. Quantitative analysis of black blotching in a crossbred red tilapia and its effects on performance traits via a path analysis methodology[J]. J Appl Genet, 2019, 60(3/4): 393-400.
- [9] SHI D J. Correlation between main morphological traits and body weight of mandarin fish difference analysis of male and female morphological traits[J]. Fish Sci Aquacult, 2019, 1(1): 1-6.
- [10] 方伟, 周胜杰, 赵旺, 等. 黄鳍金枪鱼5月龄幼鱼形态性状对体质量的相关性及通径分析[J]. 南方水产科学, 2021, 17(1): 52-58.
- [11] 黄建盛, 郭志雄, 陈刚, 等. 4月龄军曹鱼幼鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 海洋科学, 2019, 43(8): 72-79.
- [12] 张优平, 白海锋, 李引娣, 等. 微生物制剂对长丰鲢苗种培育效果的影响研究[J]. 水产养殖, 2020, 41(8): 39-40.
- [13] 杨希, 李涛, 白海锋, 等. 不同投喂模式培育长丰鲢的对比试验[J]. 水产养殖, 2017, 38(8): 13-15.
- [14] 韦玲静, 叶香尘, 梁克, 等. 广西本地鲢鱼和长丰鲢肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 285-290.
- [15] 全书月, 李忠, 梁宏伟, 等. 长丰鲢卵巢发育后期的肝脏、卵巢营养成分及脂肪酸变化[J]. 淡水渔业, 2018, 48(5): 79-85.
- [16] 郭华阳, 陈明强, 王雨, 等. 黄边糙鸟蛤野生群体主要经济性状间的相关性及通径分析[J]. 南方水产科学, 2013, 9(2): 1-8.
- [17] 叶乐, 王海山, 杨超杰, 等. 饥饿对眼斑双锯鱼(*Amphiprion ocellularis*)幼鱼形态性状与体质量相关性的影响[J]. 生态学报, 2021, 41(2): 1-8.
- [18] 苟盼盼, 王秀利, 窦冬雨, 等. 红鳍东方鲀不同家系群体的形态性状差异与相关性分析[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(5): 674-679.
- [19] 王雪, 李莉, 刘元文, 等. 3月龄黑鯛形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(2): 233-238.
- [20] 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.
- [21] 窦亚琪, 梁旭方, 易提林, 等. 翘嘴鳊不同月龄性状的主成分与判别分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(6): 1116-1124.

- [22] 刘贤德, 蔡明夷, 王志勇, 等. 不同生长期大黄鱼形态性状与体重的相关性分析 [J]. 热带海洋学报, 2010, 29(5): 159-163.
- [23] 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.
- [24] 王新安, 马爱军, 许可, 等. 大菱鲆幼鱼表型形态性状与体重之间的关系 [J]. 动物学报, 2008, 54(3): 540-545.
- [25] 张赛赛, 罗珺, 陈博锦, 等. 不同群体刀鲚形态差异研究 [J]. 淡水渔业, 2020, 50(3): 26-33.
- [26] 何铜, 刘小林, 杨长明, 等. 凡纳滨对虾各月龄性状的主成分与判别分析 [J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2134-2142.
- [27] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 马苏大麻哈鱼不同月龄表型性状的主成分与判别分析 [J]. 水产科学, 2017, 36(6): 707-713.
- [28] 韩慧宗, 姜海滨, 王斐, 等. 许氏平鲷不同月龄选育群体形态性状的主成分与通径分析 [J]. 水产学报, 2016, 40(8): 1163-1172.
- [29] 汪月书, 李彩娟, 许郑超, 等. 梭鲈不同月龄性状的主成分分析与判别分析 [J]. 水产养殖, 2016, 37(4): 16-22.
- [30] ALAKE C O. Traits associated with pod yield, seed Fe, and Zn contents in Okra landraces: a path analysis[J]. Int J Veg Sci, 2019, 26(1): 1-18.
- [31] BOTELHO H A, LAGO A A, COSTA A L, et al. Application of morphometric measures in estimation of body weight and discrimination of *Astyanax lacustris* and *Astyanax fasciatus*[J]. Aquacult Res, 2019, 50(9): 2429-2436.
- [32] IKPEME E V, EKERETTE E E, UDENSI O U, et al. Assessment of morphological variation in wild and cultured populations of tilapia fish (*Oreochromis niloticus*)[J]. J Adv Biol Biotechnol, 2017, 13(2): 1-10.
- [33] 魏海军, 邓正华, 陈明强, 等. 棕带仙女蛤数量性状的相关与通径分析 [J]. 南方水产科学, 2019, 15(6): 34-40.
- [34] 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 [J]. 水产学报, 2013, 37(7): 961-969.
- [35] 张雷雷, 滕爽爽, 李腾腾, 等. 不同月龄青蛤形态性状对活体质量的影响分析 [J]. 海洋科学, 2019, 43(12): 74-80.
- [36] 张进, 梁旭方, 郭小泽, 等. 翘嘴鲻形态性状对体质量的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(5): 100-105.
- [37] 陈健, 郭丹, 翟子钦, 等. 西施舌形态性状与体质量性状的相关性分析 [J]. 南方水产科学, 2021, 17(1): 45-51.
- [38] 耿平, 张魁, 陈作志, 等. 北部湾蓝圆鲹生物学特征及开发状态的年际变化 [J]. 南方水产科学, 2018, 14(6): 1-9.
- [39] 冒树泉, 王秉利, 许鹏. 饥饿不同时间后投喂对许氏平鲷生长及体成分的影响 [J]. 水产学杂志, 2017, 30(1): 26-31.