

文章编号: 1674-5566(2015)03-0341-09

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

孙俊龙¹, 沈玉帮¹, 傅建军¹, 于鸿燕¹, 张猛¹, 李家乐^{1,2}

(1. 上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 上海市高校水产养殖学 E-研究院, 上海 201306)

摘要: 研究旨在分析草鱼一龄前不同月龄形态性状对体重的影响效果, 对草鱼 2 月龄, 4 月龄, 6 月龄, 12 月龄的主要形态性状进行连续测量。采用相关分析、通径分析和多元回归计算各性状与体重的相关系数、通径系数和决定系数。相关分析结果显示草鱼各月龄形态性状均与体重呈极显著相关 ($P < 0.01$), 通径分析结果显示 2 月龄体高对体重直接作用最大, 体宽对体重的间接作用最大; 4 月龄体长对体重直接影响最大, 体宽对体重的间接作用最大; 6 月龄体高对体重直接作用最大, 体宽对体重的间接作用最大; 12 月龄体长对体重直接作用最大, 体宽对体重的间接作用最大; 决定程度分析结果与通径分析结果一致。偏回归系数显著性检验表明体长、体高和体宽均可引入回归方程, 各月龄建立以体重为因变量, 体长、体高和体宽为自变量的回归方程。研究表明草鱼不同生长阶段影响体重的主要性状有所不同, 2 月龄和 6 月龄对体重影响最大的性状为体高, 4 月龄和 12 月龄对体重影响最大的性状为体长, 4 月龄和 12 月龄的调整决定系数 R^2 大于 0.85, 表明 4 月龄和 12 月龄影响体重的主要性状是体长, 为草鱼不同生长阶段选育提供基础资料。

研究亮点: 在鱼类生长某一特定期形态性状对体重的影响已有许多报道, 对草鱼连续生长状态形态性状对体重的影响效果未见报道, 本研究首次对草鱼一龄前不同生长时期形态性状对体重的影响效果进行了分析。通过相关性分析、通径分析和回归分析, 得出草鱼不同生长时期影响体重的主要性状, 为草鱼良种选育提供了基础资料。

关键词: 草鱼; 选育; 形态性状; 相关分析; 通径分析

中图分类号: S 917

文献标志码: A

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 属鲤形目 (Cypriniformes)、雅罗鱼亚科 (Leuciscinae)、草鱼属 (*Ctenopharyngodon*), 是我国主要的淡水养殖鱼类之一。草鱼经过几十年的养殖, 目前产量在世界淡水养殖鱼类中排名第一^[1]。对草鱼进行良种选育是维持产业可持续发展的重要途径。在鱼类的选育过程中, 体重是最直接的选育性状之一^[2]。但研究发现鱼类体重的遗传力较低^[3-4], 如大菱鲆体重的遗传力为 0.22 ± 0.09 ^[5], 大口黑鲈 4 月龄体重遗传力为 0.29 ± 0.08 ^[6]。并且由于基因的连锁性和多效性, 通过直接选育很难获得预期的选育效果。而体重往往与形态性状之

间存在着一定的相关关系, 可以利用形态性状与体重的相关关系为水生动物间接选育提供便利。如马氏珠母贝 (*Pinctada martensi*) 第 5、9、11、13 月龄体重对各形态性状做回归分析表明, 各回归系数均大于 0.80 且表现为极显著水平, 即可以通过对壳高、壳重的选择达到对珍珠贝体重选择的目的^[7]; 生物体各性状间表现为不同程度的相关性, 性状间的相关程度是制定育种目标的重要参数。通过对体重具有明显相关关系的形态性状进行间接选育对提高选育效果具有重要意义^[4]。在选育过程中运用统计学方法对形态性状与体重之间进行相关分析、通径分析和多元回

收稿日期: 2014-10-25 修回日期: 2015-03-25

基金项目: 现代农业产业技术体系建设项目 (CARS-46-04); 国家科技支撑计划项目 (2012BAD26B02); 上海市重点学科建设项目 (Y1101); 上海市种业项目 (2012NY10)

作者简介: 孙俊龙 (1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物种质资源与种苗工程。E-mail: 1748460528@qq.com

通信作者: 李家乐, E-mail: jlli2009@126.com

归分析,找出影响体重的主要形态性状,从而利用形态性状达到间接选育的目的,对鱼类育种具有重要的现实意义^[8]。利用统计学方法研究鱼类形态性状与体重关系的报道已有很多^[9-15],李玺洋等^[16]首次对二龄草鱼的研究中表明体宽对体重的直接影响最大,是影响体重的最主要因素。由于决定选育性状的基因表达具有时空效应^[17],已有的报道大多为鱼类某一特定生长时期如食性转变期、变态发育时期或选定某月龄进行形态性状对体重的影响分析,但对草鱼连续生长过程中形态性状对体重影响的分析未见报道。

本研究对草鱼 2 月龄、4 月龄、6 月龄、12 月龄阶段进行连续测量,并对不同月龄的体长、体高和体宽 3 个主要形态性状与体重进行相关分析、通径分析和回归分析。计算一龄前草鱼不同月龄主要形态性状与体重的相关系数和通径系数,并建立各月龄多元回归方程,旨在找出一龄草鱼不同生长阶段影响体重的主要形态性状,为草鱼一龄前不同生长阶段的选育研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2013 年 5 月,在苏州市吴江水产养殖有限公司国家级四大家鱼良种场利用长江水系同一批的 47 尾草鱼进行繁殖、孵化,获得草鱼苗种。在夏花塘培育 1 个月,将 20 000 尾草鱼夏花转运至上海海洋大学水产养殖工程技术中心养殖基地,饲养在同一池塘(2 000 m²),每日早晚各投喂饲料一次。分别于 2013 年 7 月、9 月、11 月和 2014 年 5 月对实验鱼进行随机抽取测量生长数据,其中 2 月龄草鱼 481 尾,4 月龄草鱼 619 尾,6 月龄草鱼 490 尾,12 月龄草鱼 451 尾。在实验鱼培育过程中为避免养殖环境和人为误差等因素对实验的影响,亲鱼的催产、孵化和鱼苗放养等都同时进行,实验鱼养殖与实际生产养殖条件相同。测量后的草鱼放入其他池塘继续饲养。

1.2 性状测量

对从实验鱼群体中随机选取的 2 月龄、4 月龄、6 月龄、12 月龄草鱼进行体重(y),体长(x_1),体高(x_2),体宽(x_3)4 个性状的测量。体重用电子天平进行称量(精确度为 0.1 g),称量体重前用干毛巾将体表水分擦干,将草鱼头部遮盖防止测量时跳动。体长、体高、体宽用游标卡尺进行测量,精确度为 0.02 mm。

1.3 数据分析

各形态性状测定数据均利用 SPSS 19.0 进行分析。对形态性状进行统计描述、相关分析和通径分析。计算变异系数、相关系数、决定系数等,以体重为因变量建立多元回归方程。对体重数据进行非参数检验,K-S 检验结果均大于 0.05,符合正态分布可以进行统计分析。线性关系显著性检验运用公式^[16]: ① $P_{0.e} = \sqrt{1 - \tilde{S}\tilde{S}_R}$ ② $F =$

$\frac{\tilde{S}\tilde{S}_R/m}{\tilde{S}\tilde{S}_r/(n-m-1)}$ 决定系数公式^[18],单个性状: ③

$d_i = P_i^2$ (P_i 为单个性状对体重的通径系数),两两性状: ④ $d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$ (r_{ij} 为两性状之间的相关系数, P_i 、 P_j 分别为两性状对体重的通径系数)。

2 结果

2.1 不同月龄草鱼生长性状

如表 1 所示,各月龄体重的变异系数均大于其他形态性状,其他各性状相对于体重的离散程度较低且平稳,随着月龄增加体长的变异系数在逐渐变大。从 4 月龄开始体高的变异系数逐渐超过体长,次于体重和体宽。如图 1 所示,体重和体长的增长具有相似的趋势呈现明显增长,而其他性状的增长不明显。其中 6 月龄到 12 月龄的体重的增长率最低为 7.9%,4 月龄到 6 月龄体重的增长率为 100.1%,2 月龄到 4 月龄体重的增长率最高为 224.9%,其他性状的增长率较体重低。

表 1 不同月龄草鱼 4 个性状的表型统计
Tab.1 Prototype parameters of 4 traits for grass carp at different growth stages

性状 traits	2 月龄 2-month-old stage			4 月龄 4-month-old stage			6 月龄 6-month-old stage			12 月龄 12-month-old stage		
	平均数 mean	标准差 SD	变异系数 CV	平均数 mean	标准差 SD	变异系数 CV	平均数 mean	标准差 SD	变异系数 CV	平均数 mean	标准差 SD	变异系数 CV
	体长/cm body length	5.97	0.40	0.07	8.83	0.78	0.09	11.18	0.91	0.08	11.84	0.90
体高/cm body height	1.51	0.11	0.07	2.06	0.32	0.16	2.63	0.22	0.08	2.63	0.25	0.10
体宽/cm body width	0.92	0.09	0.10	1.35	0.15	0.11	1.62	0.15	0.09	1.70	0.19	0.11
体重/g body weight	4.25	0.68	0.16	13.81	3.63	0.26	27.64	6.06	0.22	29.83	5.73	0.19

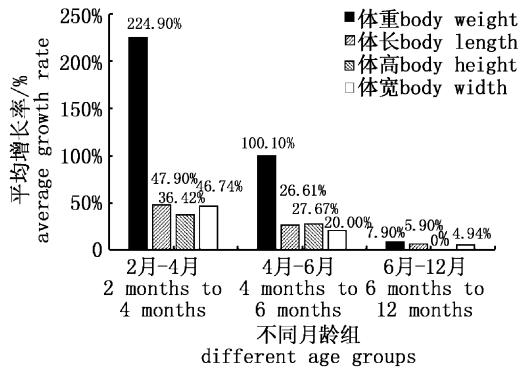


图 1 不同月龄性状平均增长率
Fig.1 The average growth rate of traits at different month age

2.2 形态性状相关分析

草鱼不同月龄形态性状与体重的相关

系数分析结果见表 2。各月龄群体各性状之间相关性均达到了极显著水平 ($P < 0.01$)。其中各性状与体重之间的相关系数在 2 月龄时是体高 > 体长 > 体宽,且 2 月龄的体长、体高、体宽与体重的相关系数均为各月龄观测性状中最小的,分别为 0.631、0.626、0.531;在 4 月龄时体长与体重的相关系数最大为 0.970,体宽与体重的相关系数次之为 0.888,体高与体重的相关系数最小为 0.520;6 月龄时体高与体重的相关系数最大为 0.855,体长与体重的相关系数最小为 0.784;12 月龄各性状与体重之间的相关系数则是体长 > 体高 > 体宽,分别为 0.928、0.827、0.820。在草鱼生长的不同时期各形态性状与体重均呈极显著相关。

表 2 不同月龄草鱼各性状间的相关系数
Tab.2 The correlation coefficients among the traits for grass carp at different growth stages

性状 traits	2 月龄 2-month-old			4 月龄 4-month-old			6 月龄 6-month-old			12 月龄 12-month-old		
	体长 body length	体高 body height	体宽 body width	体长 body length	体高 body height	体宽 body width	体长 body length	体高 body height	体宽 body width	体长 body length	体高 body height	体宽 body width
	体长 body length	1			1			1			1	
体高 body height	0.462**	1		0.496**	1		0.721**	1		0.800**	1	
体宽 body width	0.418**	0.399**	1	0.870**	0.495**	1	0.670**	0.802**	1	0.823**	0.813**	1
体重 bodyweight	0.613**	0.626**	0.531**	0.970**	0.520**	0.888**	0.784**	0.855**	0.797**	0.928**	0.827**	0.820**

注:**表示差异极显著, $P < 0.01$ 。以下注释同此。
Note:** means extremely significant difference, $P < 0.01$. The same as the following.

2.3 线性关系显著性检验

F 检验计算结果见表 3,各月龄形态性状与体重的线性关系显著性检验值均呈极显著,说明

体重与体长、体高和体宽之间存在极显著的线性关系,可以进行各性状对体重的通径分析。

表 3 各月龄回归方程 F 检验统计量Tab. 3 F -test on regression equations

统计量 statistics	2 月龄 2-month-old	4 月龄 4-month-old	6 月龄 6-month-old	12 月龄 12-month-old
\bar{SS}_R	0.567	0.950	0.807	0.881
\bar{SS}_r	0.433	0.050	0.193	0.119
df_R	3	3	3	3
df_r	477	615	486	447
F	208.20**	3895**	667.38**	1103.10**
$P_{0.e}$	0.658	0.224	0.439	0.345

2.4 各月龄形态性状对体重的通径分析

如表 4 所示各月龄草鱼体长、体高和体宽对体重的直接作用(通径系数)均为极显著($P < 0.01$),2 月龄时各性状对体重的直接作用由大到小的顺序为体高 > 体长 > 体宽,各性状对体重的间接作用由大到小的顺序为体宽 > 体长 > 体高;

4 月龄时体长对体重的直接作用最大为 0.805,体高对体重的直接作用最小为 0.038,体宽对体重的间接作用最大为 0.719。而 6 月龄时体高对体重的直接作用最大为 0.449,体长次之。12 月龄各性状对体重的直接作用由大到小的顺序为体长 > 体高 > 体宽,体长的直接作用为 0.702;在各月龄中体宽对体重的直接作用最小,间接作用最大。表明在 2 月龄时对体重影响最大的性状为体高;4 月龄时对体重直接影响最大的性状为体长,体高对体重的直接影响很小;6 月龄以后体高对体重的影响效果在逐渐减小,而体长对体重的直接影响在逐渐变大;12 月龄时体长对体重的影响作用最大。在不同的生长阶段影响体重的形态性状是不同的,主要以体长和体高对体重的直接作用最大,体宽主要以间接作用影响体重。

表 4 各月龄形态性状对体重的通径分析

Tab. 4 Path analyses of the effects of phenotype traits on body weight for grass carp at different growth stages

年龄 stage	性状 traits	相关系数 correlations coefficients	直接作用 direct effects	间接作用 indirect effects			总和 Σ
				体长 body length	体高 body height	体宽 body width	
2 月龄 2-month-old	体长 body length	0.613**	0.341**		0.171 86	0.100 56	0.272 42
	体高 body height	0.626**	0.372**	0.157 54		0.095 76	0.253 30
	体宽 body width	0.531**	0.240**	0.142 53	0.148 43		0.290 96
4 月龄 4-month-old	体长 body length	0.970**	0.805**		0.188 48	0.146 16	0.334 64
	体高 body height	0.520**	0.038**	0.399 28		0.083 16	0.482 44
	体宽 body width	0.888**	0.168**	0.700 35	0.018 81		0.719 16
6 月龄 6-month-old	体长 body length	0.784**	0.305**		0.32373	0.156 11	0.479 84
	体高 body height	0.855**	0.449**	0.219 60		0.186 87	0.406 47
	体宽 body width	0.797**	0.233**	0.204 35	0.360 01		0.564 36
12 月龄 12-month-old	体长 body length	0.928**	0.702**		0.161 60	0.063 37	0.224 97
	体高 body height	0.827**	0.202**	0.561 60		0.062 60	0.624 20
	体宽 body width	0.820**	0.077**	0.577 75	0.164 23		0.741 98

2.5 各形态性状对体重的决定程度

由表 5 可知,位于各月龄对角线上的数据是单个形态性状对体重的决定系数,非对角线数据为两性状对体重的共同决定系数。2 月龄时各性状对体重的单独决定系数和两性状对体重的共同决定系数都很小,体高对体重的单独决定系数最大也只有 0.138;4 月龄时体长对体重的单独决定系数最大为 0.648,对体重的决定作用最大,体高对体重的单独决定系数最小仅为 0.001;6 月龄时体长的单独决定系数变小为 0.093,体高的单独决定系数变大为 0.201;12 月龄时体长的单

独决定系数变大为 0.493,而体高的单独影响仅为 0.041;在各月龄中体长和体高的共同决定系数都比较大,分别为 0.117、0.030、0.197 和 0.227;在 12 月龄时体长和体宽对体重的共同决定系数最大为 0.889;在 4 月龄以后各性状对体重的决定作用发生了变化,在 6 月龄、12 月龄时体高对体重的单独决定系数在逐渐减小。在 12 月龄时,体长和体宽对体重的共同决定系数最大为 0.889。决定程度分析结果与通径分析结果的变化趋势一致。

表 5 各月龄形态性状对体重的决定系数
 Tab. 5 The determinant coefficients of the morphometric traits on the body weight for grass carp at different growth stages

决定系数 determinant coefficients	2 月龄 2-month-old			4 月龄 4-month-old			6 月龄 6-month-old			12 月龄 12-month-old		
	体长 body length	体高 body height	体宽 body width	体长 body length	体高 body height	体宽 body width	体长 body length	体高 body height	体宽 body width	体长 body length	体高 body height	体宽 body width
体长 body length	0.116	0.117	0.068	0.648	0.030	0.235	0.093	0.197	0.095	0.493	0.227	0.889
体高 body height		0.138	0.071		0.001	0.006		0.201	0.168		0.041	0.025
体宽 body width			0.058			0.028			0.054			0.006

2.6 线性多元回归方程的建立

根据多元回归分析原理,只有形态性状与体重之间的相关关系达到显著或极显著才可以进行多元回归分析。偏回归系数显著性检验如表 6。

各月龄草鱼 3 个形态性状的偏回归系数显著性检验均为极显著 ($P < 0.01$),各性状均可以被引入回归方程。表 7 表明将各月龄形态性状作为自变量逐步引入各自的回归方程,回归方程的相关系数 R 和决定系数 R^2 均在逐渐增大,说

明引入的自变量对体重的作用在增加。其中 2 月龄各形态性状对体重的调整决定系数最小, $R^2 = 0.567$,4 月龄各形态性状对体重的调整决定系数最大, $R^2 = 0.950$,6 月龄、12 月龄各形态性状对体重的修正决定系数分别为 0.807、0.881。相关指数 R^2 表示利用回归方程进行预测的可靠程度,4 月龄、12 月龄均大于 0.85。相关指数大于或等于 0.85 时表明已找到影响因变量的主要自变量^[19]。

表 6 偏回归系数显著性检验
 Tab. 6 Coefficient test of partial regression

年龄 stage	性状 traits	偏回归系数 regression coefficient	t 值 t value	显著性 significant
2 月龄 2-month-old	常数 constant	-4.357	-12.508	0.000 **
	体长 body length	0.585	9.637	0.000 **
	体高 body height	2.285	10.617	0.000 **
	体宽 body width	1.796	7.023	0.000 **
4 月龄 4-month-old	常数 constant	-25.854	-68.936	0.000 **
	体长 body length	3.754	43.712	0.000 **
	体高 body height	0.435	3.636	0.000 **
	体宽 body width	4.181	9.132	0.000 **
6 月龄 6-month-old	常数 constant	-42.832	-27.095	0.000 **
	体长 body length	2.025	10.360	0.000 **
	体高 body height	12.196	12.298	0.000 **
	体宽 body width	9.716	6.838	0.000 **
12 月龄 12-month-old	常数 constant	-39.347	-30.997	0.000 **
	体长 body length	4.491	22.527	0.000 **
	体高 body height	4.550	6.654	0.000 **
	体宽 body width	2.381	2.402	0.000 **

表 7 各月龄模型概述结果

Tab. 7 Model summary among the traits for grass carp at different growth stages

model	2 月龄 2-month-old stage			4 月龄 4-month-old stage			6 月龄 6-month-old stage			12 月龄 12-month-old stage		
	R	R ²	Adjusted R ²	R	R ²	Adjusted R ²	R	R ²	Adjusted R ²	R	R ²	Adjusted R ²
1	0.626 ^a	0.391	0.390	0.970 ^a	0.942	0.942	0.855 ^a	0.731	0.731	0.928 ^a	0.861	0.860
2	0.725 ^b	0.525	0.523	0.974 ^b	0.949	0.949	0.889 ^b	0.790	0.789	0.938 ^b	0.880	0.880
3	0.755 ^c	0.569	0.567	0.975 ^c	0.951	0.950	0.899 ^c	0.808	0.807	0.939 ^c	0.882	0.881

注: a. 自变量: (常数), 体高; b. 自变量: (常数), 体高, 体长; c. 自变量: (常数), 体高, 体长, 体宽。

Note: a. Predictors: (constant), body height; b. Predictors: (constant), body height, body length; c. Predictors: (constant), body height, body length, body width.

分别以各月龄体重(y)为因变量, 体长(x_1)、体高(x_2)和体宽(x_3)为自变量建立各月龄的多元回归方程分别为:

2 月龄: $y = -4.357 + 0.585x_1 + 2.285x_2 + 1.796x_3$, 调整决定系数为 0.567;

4 月龄: $y = -25.854 + 3.754x_1 + 0.435x_2 + 4.181x_3$, 调整决定系数为 0.950;

6 月龄: $y = -42.832 + 2.025x_1 + 12.196x_2 + 9.716x_3$, 调整决定系数为 0.807;

12 月龄: $y = -39.347 + 4.491x_1 + 4.550x_2 + 2.381x_3$, 调整决定系数为 0.881;

3 讨论

3.1 不同鱼类形态性状对体重的影响

增加体重是鱼类遗传改良的目标之一, 然而当体重遗传力较低时^[3-4], 直接进行遗传改良较难取得预期效果, 若能通过其他相关性较高的目标性状加以间接选择, 则能达到更好的选育效果。在大菱鲃快生长品系的选育中全长、体长、体重都可以作为选育的指标进行选育^[20], 李思发等^[3]研究表明红鲤的体重主要受全长、体长等主要长度性状决定; 佟雪红等^[12]研究发现建鲤和黄河鲤的杂交后代体长和体高在影响体重的增长方面具有决定作用; 王明华等^[21]通过直接作用与间接作用的分析, 明确黄颡鱼全长、体长与头长是影响体重的主要自变量, 其中体长的作用最大; 佟广香等^[22]在哲罗鲑形态性状对体重相关性分析中, 得出全长对体重的决定作用最大, 主要通过直接作用影响体重; 但是王雪辉等^[23]对南海北部的主要经济鱼类体长和体重关系的研究发现体长并不能准确反映鱼类生长状况, 同时何小燕等^[24]分析得出大口黑鲈体宽对体重的直接影响最大。说明不同鱼类影响体重的形态性状是不同的, 在研究形态性状对体重的影响效果时

应针对不同的鱼选取不同的形态性状进行实验。

3.2 草鱼一龄前不同月龄主要形态性状对体重的影响

在草鱼一龄前的不同时期体重的增长率存在明显不同, 其中 2 月龄到 4 月龄体重的平均增长率为 224.9%, 4 月龄到 6 月龄体重的平均增长率为 100.1%, 6 月龄到 12 月龄体重的平均增长率为 7.9%, 体长与体重存在相似的增长趋势。2 月龄到 4 月龄的平均增长率最大, 此时水温为 25~30℃, 草鱼摄食活动旺盛因此增长迅速; 6 月龄到 12 月龄的增长率最低可能与温度的变化有关。草鱼的生理习性在水温低于 15℃时, 停止摄食, 6 月龄到 12 月龄这个生长期正处于冬季水温低于 15℃, 抑制草鱼摄食使草鱼生长缓慢, 因此在草鱼养殖过程中应加强草鱼的越冬管理。分析结果表明各形态性状与体重之间均为极显著的相关性($P < 0.01$)。相关分析得出的相关系数仅表明各性状与体重的相关程度, 但不能客观地体现各形态性状对体重的影响程度, 而通径分析可直接比较原因对结果的效应, 根据通径分析结果各月龄形态性状对体重的影响效果不同, 2 月龄和 6 月龄草鱼体高对体重的直接作用最大, 体长次之; 4 月龄和 12 月龄草鱼体长对体重的直接作用最大, 而体高对体重的直接作用最小。决定程度分析与通径分析结果一致, 草鱼不同生长时期形态性状对体重影响效果存在差异, 这与王新安等^[25]和马爱军等^[26]分别对 3 月龄和 6 月龄大菱鲃(*Scophthalmus maximus*)表型性状与体重之间的关系分析结论相似, 影响 3 月龄大菱鲃幼鱼体重的主要形态性状是全长、体高和体厚, 影响 6 月龄大菱鲃的则是全长、体长和体高。草鱼一龄前不同生长时期影响体重的形态性状不同可能与不同时期基因的表达、摄食水平、代谢和环境等相关。

本研究中由各月龄回归方程可见,2月龄的调整决定系数为0.567,6月龄的调整决定系数为0.807,4月龄的调整决定系数为0.950,12月龄的调整决定系数为0.881。当 R^2 大于0.85时表明已找出影响体重的主要形态性状,4月龄、12月龄已找出影响体重的主要性状为体长。2月龄和6月龄对体重影响最大的性状为体高,但由于 R^2 小于0.85,还有其他影响体重的因素没有考虑,应进一步实验确定2月龄和6月龄影响体重的主要性状。

3.3 对一龄前草鱼选育的指导作用

鱼的形态性状对其体重有重要影响,除了通过直接作用引起体重变化外,还可以通过间接作用引起体重变化,利用不同性状间的相关性可为选育工作提供方便^[3]。由于各表型性状的遗传具有相关性,并且基因间的作用是相互交互的,因此对草鱼体重的直接选育是否能够取得较大的遗传改进,不仅仅取决于对体重的直接选择,还需要以某些与体重存在显著相关的形态性状作为间接选择。本研究对草鱼一龄前不同月龄的主要形态性状与体重的影响效果进行分析,旨在进行草鱼的早期选择。早期选择是林木和畜禽选择育种中常用的一种选择方法^[27-28],该方法是在早期进行个体选择淘汰,优点是可以降低生产管理成本,提高育种效率;缺点是如果参考的性状与育种所选择的目标性状相关性差,则会降低选择的准确性,影响选育的进展。因此本研究进行了不同月龄性状之间的相关性的分析,得出了草鱼一龄前不同生长阶段体长、体高和体宽与草鱼体重均有显著相关性的结论,同时根据通路分析找出了不同月龄对体重起决定作用的主要性状。明确了不同生长阶段生长性状间的相关性,对于确定草鱼一龄前合适的测量时间点和育种目标性状具有重要的指导作用^[7]。在实际生产中草鱼养殖需要多次分塘,在草鱼夏花和一龄前进行分塘是十分必要的,通过分塘筛选可以选择生长性状优良的草鱼继续养殖,淘汰生长差的个体,降低随机选留的误差。本研究中已找出4月龄和12月龄草鱼对体重产生影响的主要性状为体长,体宽主要以间接作用影响体重,因此可以利用这两个主要性状进行草鱼的分塘筛选,获得更好的选育效果。

参考文献:

- [1] 沈玉帮,张俊彬,李家乐. 草鱼种质资源研究进展[J]. 中国农学通报, 2011,27(7):369-373.
SHEN Y B, ZHANG J B, LI J L. Advances in studies on genetic resources of grass carp [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011,27(7):369-373.
- [2] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 3-5.
LOU Y D. Fish breeding [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 3-5.
- [3] 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[J]. 水产学报, 2006,30(2):175-180.
LI S F, WANG C H, LIU Z G, et al. Analysis of heterosis and genetic correlation of growth traits in three variants of red common carp [J]. Journal of Fisheries of China, 2006,30(2):175-180.
- [4] 李加纳. 数量遗传学概论[M]. 重庆:西南师范大学出版社,2007:166.
LI J N. Introduction to quantitative genetics [M]. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2007: 166.
- [5] 刘宝锁,张天时,孔杰,等. 大菱鲆生长和耐高温性状的遗传参数估计[J]. 水产学报,2011,35(11):1601-1606.
LIU B S, ZHANG T S, KONG J, et al. Estimation of genetic parameters for growth and upper thermal tolerance traits in turbot *Scophthalmus maximus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2011,35(11):1601-1606.
- [6] 李镛,白俊杰,李胜杰,等. 大口黑鲈生长性状的遗传参数和育种值估计[J]. 中国水产科学,2011,18(4):766-773.
LI R, BAI J J, LI S J, et al. Estimation of parameters and breeding values for growth traits of largemouth bass [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011,18(4):766-773.
- [7] 何毛贤,史兼华,林岳光,等. 马氏珠母贝生长性状的相关分析[J]. 海洋科学,2006,30(11):1-4.
HE M X, SHI J H, LIN Y G, et al. The growth trait correlated responses in pearl oyster *Pinctada martensi* [J]. Marine Sciences, 2006,30(11):1-4.
- [8] 袁美云,刘双凤,韩志忠,等. 3月龄施氏鲟形态性状对体重的影响分析[J]. 中国水产科学,2010,17(3):507-513.
YUAN M Y, LIU S F, HAN Z Z, et al. Mathematical analysis of morphometric attribute effects on body weight for three-month-old *Acipenser schrenckii* Brandt [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010,17(3):507-513.
- [9] 王波,刘世禄,张锡烈,等. 美国红鱼形态和生长参数的研究[J]. 海洋水产研究,2002,23(1):47-53.
WANG B, LIU S L, ZHANG X L, et al. Study on morphological and growth parameter of red drum (*Sciaenops*

- ocellatus*) [J]. Marine Fisheries Research, 2002, 23 (1): 47-53.
- [10] DEBOSKI P, DOBOSZ S, ROBAK S, et al. Fat level in body of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L), and sea trout (*Salmo trutta M. trutta* L), and method of estimation from morphometric data [J]. Archives of Polish Fisheries, 1999, 7 (2): 237-243.
- [11] MYERS J M, HERSHBERGER W K, SAXTON A M, et al. Estimates of genetic and phenotypic parameters for length and weight of marine net-pen reared coho salmon (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum) [J]. Aquaculture Research, 2001, 32 (4): 277-285.
- [12] 佟雪红, 董在杰, 缪为民, 等. 建鲤与黄河鲤的杂交优势研究及主要生长性状的通径分析 [J]. 大连水产学院学报, 2007, 22 (3): 159-163.
- TONG X H, DONG Z J, LIAO W M, et al. The heterosis of F_1 hybrids (jian carp \times huanghe carp) and path analysis of main growth traits [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2007, 22 (3): 159-163.
- [13] NEIRA R, LHORENTE J P, ARANEDA C, et al. Studies on carcass quality traits in two populations of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): phenotypic and genetic parameters [J]. Aquaculture, 2004, 241 (1/4): 117-131.
- [14] 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.
- [15] NEIRA R, DÍAZ N F, GALL G A E, et al. Genetic improvement in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). II: Selection response for early spawning date [J]. Aquaculture, 2006, 257 (1/4): 1-8.
- [16] 李玺洋, 白俊杰, 樊佳佳, 等. 二龄草鱼形态性状对体重影响效果的分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21 (4): 535-541.
- LI X Y, BAI J J, FAN J J, et al. The relationship between morphological characters and body weight of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21 (4): 535-541.
- [17] 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重的相关性分析 [J]. 水产学报, 2013, 37 (7): 961-969.
- OU Y J, JI L, LI J E, et al. Correlation analysis of major morphometric traits and body weight of selective group at different month ages of *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37 (7): 961-969.
- [18] 孙苗苗, 陈百尧, 杨其彬, 等. 斑节对虾形态性状对体重影响的分析 [J]. 海洋科学, 2013, 37 (5): 50-54.
- SUN M M, CHEN B R, YANG Q B, et al. Effects of morphological characters on body weight of *Penaeus monodon* [J]. Marine Sciences, 2013, 37 (5): 50-54.
- [19] 明道绪. 生物统计附试验设计 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 216-217.
- MING D X. Biological statistics of test design [J]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 216-217.
- [20] 张庆文, 张天杨, 孔杰, 等. 大菱鲆生长性状在不同生长发育阶段的相关分析 [J]. 海洋水产研究, 2008, 29 (3): 57-61.
- ZHANG Q W, ZHANG T Y, KONG J, et al. Correlation of growth traits of turbot *Scophthalmus maximus* at different developmental stages [J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29 (3): 57-61.
- [21] 王明华, 钟立强, 蔡永祥, 等. 黄颡鱼形态性状对体重的影响效果分析 [J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2014, 33 (1): 41-46.
- WANG M H, ZHONG L Q, CAI Y X, et al. Analysis of effects of morphometric trait on body weight of Yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2014, 33 (1): 41-46.
- [22] 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.
- TONG G X, KUANG Y Y, XU L X, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight in Taimen *Hucho taimen* [J]. Chinese Journal Fisheries, 2011, 24 (2): 31-36.
- [23] 王雪辉, 杜飞雁, 邱永松, 等. 南海北部主要经济鱼类体长与体重关系 [J]. 台湾海峡, 2006, 25 (2): 262-266.
- WANG X H, DU F Y, QIU Y S, et al. Length-weight relationships of important commercial fishes in northern South China Sea [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2006, 25 (2): 262-266.
- [24] 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 [J]. 水产学报, 2009, 33 (4): 597-603.
- HE X Y, LIU X L, BAI J J, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attribute on body weight of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33 (4): 597-603.
- [25] 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.
- WANG X A, MA A J, XU K, et al. Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus maximus* [J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54 (3): 540-545.
- [26] 马爱军, 王新安, 杨志, 等. 大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼生长性状的遗传力及其相关性分析 [J]. 海洋与湖沼, 2008, 39 (5): 499-504.
- MA A J, WANG X A, YANG Z, et al. The growth traits and their heritability of young turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39 (5): 499-504.
- [27] 杨秀艳, 季孔庶. 林木育种中的早期选择 [J]. 世界林业研究, 2004, 17 (2): 6-8.
- YANG X Y, JI K S. Early Selection in Forest Tree Improvement [J]. World Forestry Research, 2004, 17 (2): 6-8.

[28] 杨宁,吴常信,宫桂芳,等. 蛋鸡产蛋量的早期选择的优化研究[J]. 畜牧兽医学报,1993,24(1): 1-6.
YANG N, WU C X, GONG G F, et al. Optimal selection for

egg production with early records in layers [J]. Acta Veterinaria et Zootechnica sinica, 1993, 24(1): 1-6.

The effects of the morphometric traits at different month ages on body weight of *Ctenopharyngodon idellus*

SUN Junlong¹, SHEN Yubang¹, FU Jianjun¹, YU Hongyan¹, ZHANG Meng¹, LI Jiale^{1,2}

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to analyze the relationship between morphological traits and body weight of grass carp at different month ages, we measured morphometric traits at 2-month-old stage, 4-month-old stage, 6-month-old stage, and 12-month-old stage, respectively, in this study. The correlation analysis, path analysis and multiple regression were used to calculate correlation coefficient, path coefficient and the coefficient of determination between morphological traits and body weight. Correlation analysis showed that morphological traits and body weight of each month-old grass carp were significantly correlated ($P < 0.01$). Path analysis showed that at 2-month-old stage and 6-month-old stage, the trait with strongest direct effect on body weight was the body height, but at 4-month-old stage, 12-month-old stage, the trait with strongest direct effect on body weight was the body length, and at every stage the trait with strongest indirect effect on body weight was body width. The result of determinant coefficient analysis was consistent with that of path analysis. Partial regression coefficient significance test three morphological traits are highly significant, and at each stage the multiple regression equation relating the body weight can be established. Studies have shown that at 4-month-old stage and 12-month-old stage adjusted coefficient of determination is greater than 0.85, the major morphometric traits affecting body weight of grass carp at different growth stages have been identified. This study provided the basic data for grass carp at different growth stages of breeding.

Key words: grass carp; selective breeding; morphometric traits; correlation analysis; path analysis