

不同月龄哲罗鲑主要形态性状 与体重的关系

杨贵强

北京市水产科学研究所暨国家淡水渔业工程技术研究中心 北京 100068

摘要: 为确定影响哲罗鲑 (*Hucho taimen*) 体重的主要形态性状, 随机选取 5 个生长阶段共计 710 尾哲罗鲑为实验对象 (3 月龄 240 尾、6 月龄 180 尾、12 月龄 110 尾、18 月龄 90 尾、36 月龄 90 尾), 测量其体重 (y)、体长 (x_1)、体宽 (x_2)、体高 (x_3)、头长 (x_4)、眼径 (x_5)、尾鳍长 (x_6)、尾鳍高 (x_7)、尾柄高 (x_8) 9 个性状。通过相关分析、通径分析和回归分析, 计算相关系数、通径系数和决定系数, 获得相关回归方程, 对不同月龄间的形态性状对体重的影响程度进行了比较分析。结果表明, 3 月龄、6 月龄、18 月龄和 36 月龄个体体长对体重的直接作用较大, 12 月龄个体则是体宽对体重的影响较大。利用逐步回归分析方法, 以体重为依变量 (y), 形态性状为自变量 ($x_1 \sim x_8$), 建立了哲罗鲑不同月龄最优多元线性回归方程分别为: $y_3 = -14.911 + 1.561 x_1 + 3.448 x_2 + 5.232 x_3$; $y_6 = -70.321 + 5.192 x_1 + 0.962 x_2 + 0.473 x_3$; $y_{12} = -217.446 + 7.129 x_1 + 23.147 x_2 + 44.055 x_3$; $y_{18} = -891.041 + 20.234 x_1 + 65.786 x_2 + 53.266 x_3$; $y_{36} = -5748.099 + 88.187 x_1 + 301.984 x_2 + 66.702 x_7$ 。该研究结果为哲罗鲑选择育种的具应用提供了重要参考依据。

关键词: 哲罗鲑; 形态性状; 体重; 月龄

中图分类号: S91 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 05-876-11

The Relationship between Main Morphometric and Body Weight of Taimen (*Hucho taimen*) at the Different Months

YANG Gui-Qiang

Beijing Fisheries Research Institute—National Engineering Technology Research Center for Freshwater Fisheries, Beijing 100068, China

Abstract: In order to study the effects of main morphological traits on body weight in Taimen (*Hucho taimen*), a total of 710 individuals (240 individuals of 3 month old, 180 individuals of 6 month old, 110 individuals of 12 month old, 90 individuals of 18 month old, 90 individuals of 36 month old) were randomly sampled for measuring the metric traits, including the body weight y , body length x_1 , body height x_2 , body depth x_3 , head length x_4 , eye diameter x_5 , caudal fin length x_6 , caudal fin height x_7 , caudal peduncle height x_8 . In order to study the effects of metric traits on body weight, the correlation analysis, path analysis and

基金项目 科技部专项 (No. 2012BAD25B03), 北京市农科院青年基金项目 (No. QNJJ201433);

第一作者介绍 杨贵强, 男, 工程师; 研究方向: 鲑鳟鱼类研究; E-mail: ygqbj2013@163.com。

收稿日期: 2015-11-23, 修回日期: 2016-03-29 DOI: 10.13859/j.cjz.201605018

determination coefficients were calculated and multivariate regression equations were obtained. The results showed that the variation coefficient of bodyweight in different months old Taimen was the greatest, which could be achieved 25.52%, 17.92%, 24.99%, 18.45%, 13.03%, respectively (Table 1). The correlation coefficients between morphological traits and body weight were range from 0.017 to 0.963 (Table 2). The normality test results indicated that the 5 groups of samples data were considered as belonging to Gauss distribution by Shapiro-Wilk test and non-obvious discrimination by ANOVA ($P > 0.05$) (Table 3). As shown in Table 4, body length was the most important trait affected the body weight of 3, 6, 18 and 36 months old Taimen, and the body width was the most important trait affected the body weight of 12 months old Taimen. The results of determinant coefficients were consistent with that of path analysis (Table 5). The multiple regression equations were established as $y_3 = -14.911 + 1.561 x_1 + 3.448 x_2 + 5.232 x_3$ in 3-month-old Taimen, $y_6 = -70.321 + 5.192 x_1 + 0.962 x_2 + 0.473 x_3$ in 6-month-old Taimen, $y_{12} = -217.446 + 7.129 x_1 + 23.147 x_2 + 44.055 x_3$ in 12-month-old taimen, $y_{18} = -891.041 + 20.234 x_1 + 65.786 x_2 + 53.266 x_3$ in 18-month-old Taimen, $y_{36} = -5748.099 + 88.187 x_1 + 301.984 x_2 + 66.702 x_7$ in 36-month-old Taimen, respectively. Above conclusions could provide important references and foundations for the selective breeding of taimen.

Key words: Taimen, *Hucho taimen*; Morphological characters; Body weight; Months

哲罗鲑 (*Hucho taimen*) 属鲑形目鲑科 (Salmonidae) 哲罗鱼属, 是我国生长最快的鲑科鱼类, 其肉鲜美, 是少数几种能长到数百斤的大型淡水经济鱼类之一 (Holcik et al 1988, 王清印等 2005)。目前, 哲罗鲑全人工繁殖和苗种驯化等关键问题已经解决, 其人工养殖规模正在逐步扩大, 哲罗鲑的养殖推广为广大养殖户带来了良好的经济效益 (佟广香等 2011)。人工繁殖亲鱼均来源于野生群体, 由于野生群体数量少 (佟广香等 2009, 匡友谊等 2010), 其繁殖子代未经过选育又用作亲本, 造成了较大程度的近亲交配, 导致种质退化、成活率低等现象 (王俊 2011), 所以哲罗鲑的选择育种这一问题迫在眉睫。哲罗鲑的体重是选育过程中的主要目标性状, 也是生产性能的直接反映, 但在实际工作中, 仅以体重作为唯一选育指标, 导致选种效果不理想 (杨贵强等 2011)。利用多元分析查清单一或两两的表型性状对体重的影响程度大小, 通过形态性状辅助体重达到选种目的, 具有极其重要的现实意义 (佟雪红等 2007)。

通径分析对动物育种工作的重要指导意

义, 在于能够量化多性状间的相互关系及其对目标性状的决定程度。通径分析作为一种育种分析方法, 广泛应用于动物育种的研究工作中 (周洪松等 1994, 易建明等 2002, 贺晓宏等 2004)。在水产动物上, 如虾 (刘小林等 2004)、蟹 (耿绪云等 2007)、贝 (刘小林等 2002, 李淑瑜等 2012)、鱼类 (Myers et al. 2001, Vandeputte et al. 2004, Wang et al. 2006, 佟雪红等 2007, 何小燕 2009, 何小燕等 2009, 杨贵强等 2011) 的研究报道也比较多。但通常以表型相关分析为主, 在揭示自变量和因变量的真实关系时还存在一定的局限性 (何小燕 2009)。佟广香等 (2011) 仅分析了哲罗鲑幼鱼 (平均体重 16.77 g) 形态性状与体重的表型相关性。本实验采用表型相关分析、通径分析和多元回归分析确定影响 3 ~ 36 月龄哲罗鲑体重的主要形态性状及其直接和间接影响效果, 获得不同月龄哲罗鲑体重的最优回归方程, 旨在为哲罗鲑不同生长阶段连续性选种提供更合适的理论指导。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2011~2014年,从北京市水产科学研究所滦平实验基地养殖的5个不同生长阶段哲罗鲑中随机选取实验鱼,并分组。A组:3月龄,240尾,体重5.36~15.88 g;B组:6月龄,180尾,体重29.21~57.82 g;C组:12月龄,110尾,体重122.52~293.47 g;D组:18月龄,90尾,体重352.55~753.78 g;E组:36月龄,90尾,体重2350.62~4351.83 g。其中E组中约70%的鱼在测量后6个月时,即2015年春季已可以繁殖后代。本实验中所选受试鱼覆盖了从鱼苗到临近性成熟的5个阶段,时间上覆盖面较广。其培育水温4~24℃。

1.2 测量方法

用乙二醇苯醚(0.3 ml/L)麻醉实验鱼,以方便进行体重和形态性状的测定。电子天平[OHAUS EP6102C,奥豪斯仪器(上海)有限公司,量程6100 g,精度0.01 g]称量体重。参照测量标准(冯绍信等 1998)用游标卡尺(长量爪型 534-115,日本三丰株式会社,量程750 mm,精度0.02 mm)测定体长、体高、体宽、头长、眼径、尾鳍长、尾鳍高和尾柄高共8个表型形态性状。

1.3 分析方法

在杨贵强等(2011)的分析方法基础上有所改进,测量数据使用SPSS16.0软件统计分析,通过计算平均数、标准差和变异系数,获得体重和表型性状的表型参数统计量,采用不同月龄组内相关法计算表型相关,获得相应的通径系数、决定系数(袁志发等 2001,耿绪云等 2011,杜鹃 2012)和多元回归方程。其中多元线性回归方程模型为 $Y_m = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$,式中, β_0 为常数项, β_1 、 β_2 、 \dots 、 β_k 为偏回归系数, x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_k 为各偏回归系数对应的自变量, m 代表相应的月龄时间3、6、12、18、36月龄, Y_m 为相应月龄的体重。

相关系数($r_{x_{ij}}$)的计算公式为: $r_{x_{ij}} = P_i + \sum r_{ij} \cdot P_j$,式中, P_i 、 P_j 为某两个性状分别对体重的通径系数, r_{ij} 为某两个性状间的相关系数。

通径系数(P_i)的计算公式为: $P_i = b_{xi} \cdot \sigma_{xi} / \sigma_y$,式中, b_{xi} 为自变量的回归系数, σ_{xi} 为自变量的标准差, σ_y 为依变量的标准差。

单个性状对体重的决定系数方程为: $d_j = P_j^2$, P_j 为某个性状对体重的通径系数。

两个性状对体重的共同决定系数方程为: $d_{ij} = 2r_{ij} \cdot P_i \cdot P_j$, r_{ij} 为某两个性状间的相关系数, P_i 、 P_j 为某两个性状分别对体重的通径系数。

变异系数(coefficient of variation, CV)是标准差与其平均数的比。一般来说,变量值平均水平高,其离散程度的测度值越大,反之越小。表型相关系数(phenotypic correlation)是用两个性状表型值求得的相关系数,它反映的是性状表现型之间的关系。通径系数(path coefficient)是用来表示相关变量因果关系的统计量,是标准化的偏回归系数,也称作通径权重;通径系数是一个不带单位的相对数,可以用它来估计自变量对依变量直接影响效应的大小,比较其相对重要性;通径系数一般用最小二乘法或极大似然估计法来估计。通径系数的平方称为决定系数(determination coefficient),表示自变量或误差能够解释依变量总变异的程度。复相关系数(multiple correlation coefficient)是测量一个变量与其他多个变量之间线性相关程度的指标,复相关系数越大,表明要素或变量之间的线性相关程度越密切。复相关指数 R^2 是各自变量对依变量的单独决定系数及两两共同决定系数的总合 $\sum d$,许多研究学者认为,当 $R^2 \geq 0.85$ 时,就说明已经找到影响依变量的主要自变量(袁志发等 2001,明道绪 2006,耿绪云等 2007)。

2 结果

2.1 表型参数

不同月龄哲罗鲑的体重和各形态性状表型参数中体重的变异系数最大(表1)。

2.2 体重与各形态性状间的相关系数及体重样本的正态性检验

表 1 所测性状的表型统计量
Table 1 The apparent statistics of various characters

	月龄 Month					
	3 (n = 240)	6 (n = 180)	12 (n = 110)	18 (n = 90)	36 (n = 90)	
	平均值 ± 标准差 Means ± SD	变异系数 CV Coefficient of Variation	平均值 ± 标准差 Means ± SD	变异系数 CV Coefficient of Variation	平均值 ± 标准差 Means ± SD	变异系数 CV Coefficient of Variation
体重 (g) y Body weight	9.80 ± 2.50	25.52	207.41 ± 51.83	24.99	511.67 ± 94.4	18.45
体长 (cm) x ₁ Body length	9.29 ± 0.95	10.23	24.33 ± 2.53	10.42	38.6 ± 2.38	6.17
体高 (cm) x ₂ Body height	1.49 ± 0.16	10.86	4.67 ± 0.56	12.03	6.63 ± 0.49	7.43
体宽 (cm) x ₃ Body width	0.97 ± 0.08	7.95	3.25 ± 0.52	16	3.48 ± 0.38	10.80
头长 (cm) x ₄ Head length	2.67 ± 0.27	9.97	5.41 ± 0.78	14.43	10.17 ± 0.90	8.88
眼径 (cm) x ₅ Eye diameter	0.6 ± 0.04	6.97	0.83 ± 0.13	15.18	1.34 ± 0.19	13.82
尾鳍长 (cm) x ₆ Caudal fin length	1.17 ± 0.15	12.99	1.74 ± 0.23	13	2.35 ± 0.22	9.19
尾鳍高 (cm) x ₇ Caudal fin height	1.88 ± 0.24	12.56	4.16 ± 0.64	10.42	5.74 ± 0.60	10.50
尾柄高 (cm) x ₈ Caudal peduncle height	0.70 ± 0.07	10.10	1.88 ± 0.24	12.03	2.65 ± 0.16	5.99
					3254.6 ± 424.04	13.03
					66.68 ± 2.82	4.22
					12.21 ± 0.95	7.77
					8.27 ± 0.52	6.35
					12.12 ± 1.20	9.94
					1.34 ± 0.12	9.29
					3.96 ± 0.49	12.50
					9.38 ± 1.09	11.65
					4.62 ± 0.30	6.51

表 2 性状间的相关系数
Table 2 The correlation coefficients between the various characters

月龄 Month	性状 Traits	体重 y Body weight	体长 x_1 Body length	体高 x_2 Body height	体宽 x_3 Body width	头长 x_4 Head length	眼径 x_5 Eye diam-eter	尾鳍长 x_6 Caudal fin length	尾鳍高 x_7 Caudal fin height	尾柄高 x_8 Caudal peduncle height
3	体重 y Body weight	1								
	体长 x_1 Body length	0.82**	1							
	体高 x_2 Body height	0.70**	0.68**	1						
	体宽 x_3 Body width	0.55**	0.49**	0.45**	1					
	头长 x_4 Head length	0.75**	0.86**	0.70**	0.41**	1				
	眼径 x_5 Eye diameter	0.46**	0.45**	0.42**	0.13	0.38**	1			
	尾鳍长 x_6 Caudal fin length	0.48**	0.52**	0.34**	0.31**	0.49**	0.19*	1		
	尾鳍高 x_7 Caudal fin height	0.53**	0.58**	0.40**	0.32**	0.50**	0.27**	0.55**	1	
	尾柄高 x_8 Caudal peduncle height	0.61**	0.68**	0.50**	0.33**	0.59**	0.41**	0.37**	0.40**	1
	6	体重 y Body weight	1							
体长 x_1 Body length		0.94**	1							
体高 x_2 Body height		0.80**	0.69**	1						
体宽 x_3 Body width		0.55**	0.47**	0.41**	1					
头长 x_4 Head length		0.72**	0.79**	0.52**	0.26*	1				
眼径 x_5 Eye diameter		0.33*	0.38**	0.10	0.12	0.42**	1			
尾鳍长 x_6 Caudal fin length		0.31*	0.26*	0.25*	0.42**	0.27*	0.03	1		
尾鳍高 x_7 Caudal fin height		0.44**	0.46**	0.16	0.12	0.39**	0.41**	-0.02	1	
尾柄高 x_8 Caudal peduncle height		0.76**	0.77**	0.53**	0.44**	0.59**	0.41**	0.45**	0.55**	1
12		体重 y Body weight	1							
	体长 x_1 Body length	0.86**	1							
	体高 x_2 Body height	0.86**	0.73**	1						
	体宽 x_3 Body width	0.92**	0.77**	0.83**	1					

续表 2

月龄 Month	性状 Traits	体重 _y Body weight	体长 _{x1} Body length	体高 _{x2} Body height	体宽 _{x3} Body width	头长 _{x4} Head length	眼径 _{x5} Eye diam-eter	尾鳍长 _{x6} Caudal fin length	尾鳍高 _{x7} Caudal fin height	尾柄高 _{x8} Caudal peduncle height
12	头长 _{x4} Head length	0.27	0.26	0.12	0.11	1				
	眼径 _{x5} Eye diameter	0.18	0.24	0.04	0.04	0.72**	1			
	尾鳍长 _{x6} Caudal fin length	0.62**	0.50**	0.49**	0.60**	0.18	0.2	1		
	尾鳍高 _{x7} Caudal fin height	0.70**	0.79**	0.62**	0.70**	0.42**	0.40*	0.26	1	
	尾柄高 _{x8} Caudal peduncle height	0.90**	0.79**	0.79**	0.88**	0.14	0.12	0.54**	0.67**	1
	体重 _y Body weight	1								
	体长 _{x1} Body length	0.89**	1							
	体高 _{x2} Body height	0.87**	0.74**	1						
	体宽 _{x3} Body width	0.76**	0.60**	0.69**	1					
	头长 _{x4} Head length	0.73**	0.79**	0.62**	0.43*	1				
18	眼径 _{x5} Eye diameter	0.29	0.23	0.40*	0.21	0.26	1			
	尾鳍长 _{x6} Caudal fin length	0.35*	0.21	0.23	0.29	0.11	0.08	1		
	尾鳍高 _{x7} Caudal fin height	0.23	0.28	0.24	0.44**	0.05	0.04	0.11	1	
	尾柄高 _{x8} Caudal peduncle height	0.36*	0.34*	0.54**	0.39*	0.35*	0.07	0.09	0.38*	1
	体重 _y Body weight	1								
	体长 _{x1} Body length	0.84**	1							
	体高 _{x2} Body height	0.51**	0.49**	1						
	体宽 _{x3} Body width	0.71**	0.57**	0.21	1					
	头长 _{x4} Head length	0.44**	0.51**	0.49**	0.13	1				
	眼径 _{x5} Eye diameter	0.03	0.14	0.36**	0.09	0.39**	1			
36	尾鳍长 _{x6} Caudal fin length	0.02	0.18	0.07	0.01	0.10	0.09	1		
	尾鳍高 _{x7} Caudal fin height	0.30*	0.20	0.46**	0.01	0.09	0.28*	0.21	1	
	尾柄高 _{x8} Caudal peduncle height	0.42**	0.46**	0.69**	0.22	0.23	0.294*	0.09	0.52**	1
	体重 _y Body weight	1								

* 表示同月龄不同性状间差异显著 ($P < 0.05$) ; ** 表示同月龄不同性状间差异极显著 ($P < 0.01$) 。

* Show significant difference during different characters at the same month ($P < 0.05$); ** Show significant difference during different characters at the same month ($P < 0.01$).

不同月龄哲罗鲑体重和各形态性状两两之间的相关系数 (person 相关系数) 见表 2。不同月龄哲罗鲑各形态性状与体重之间的相关系数绝大部分均达到了极显著水平 ($P < 0.01$) 或显著水平 ($P < 0.05$), 因此, 所选指标可以进行相关分析。本实验中所抽取 5 个样本体重的夏皮罗-威尔克检验显著性 (Shapiro-Wilk significant) 均大于 0.05, 因此, 这 5 个样本均来自正态分布总体 (表 3), 体重是正态变量, 可以进行回归分析。

2.3 各形态性状对体重影响的通径系数

各月龄哲罗鲑形态性状对体重的通径系数 (即直接作用) 通过 SPSS 16.0 进行统计分析获得 (表 4)。3、6、18 月龄哲罗鲑依次保留了达到极显著水平的体长、体高和体宽 3 个变量; 12 月龄哲罗鲑依次保留了达到极显著水平的体宽、体长和体高 3 个变量, 36 月龄哲罗鲑依次保留了达到极显著水平的体长、体宽和尾鳍高 3 个变量。通径系数能反应自变量对依变量的直接影响大小, 由表 4 可知, 3、6、18、36 月龄哲罗鲑形态性状中均是体长对体重的直接影响最大; 12 月龄哲罗鲑形态性状中体宽对体重的直接影响最大。

2.4 各形态性状与体重相关系数的剖分

不同月龄哲罗鲑各形态性状对体重的作用程度不同 (表 4)。3 月龄、6 月龄和 18 月龄哲罗鲑的体重主要决定于体长的直接作用和体高与体宽的间接作用, 其各形态性状的通径系数

依次均为体长、体高、体宽。12 月龄哲罗鲑的体重主要决定于体长、体高、体宽的间接作用, 其各形态性状的通径系数依次为体宽、体长、体高。36 月龄哲罗鲑的体重主要决定于体长、体宽、尾鳍高的直接作用, 其各形态性状的通径系数依次为体长、体宽、尾鳍高。

2.5 影响体重的主要形态性状

单性状对体重的决定程度: 影响 3、6、18 月龄哲罗鲑体重的主要性状均依次为体长、体高、体宽; 影响 12 月龄哲罗鲑体重的主要性状均依次为体宽、体高、体长; 影响 36 月龄哲罗鲑体重的主要性状均依次为体长、体宽、尾鳍高 (表 5)。两两性状对体重的决定程度: 体长和体高对 3、6、18 月龄哲罗鲑体重的影响程度最高; 体宽和体长对 12、36 月龄哲罗鲑体重的影响程度最高。

2.6 多元回归方程的建立及其回归分析

将获得的数据导入 SPSS16.0, 逐步剔除对体重影响不显著的形态性状, 最后得到表型形态性状影响不同月龄哲罗鲑体重的最优回归方程分别为: $y_3 = -14.911 + 1.561 x_1 + 3.448 x_2 + 5.232 x_3$; $y_6 = -70.321 + 5.192 x_1 + 0.962 x_2 + 0.473 x_3$; $y_{12} = -217.446 + 7.129 x_1 + 23.147 x_2 + 44.055 x_3$; $y_{18} = -891.041 + 20.234 x_1 + 65.786 x_2 + 53.266 x_3$; $y_{36} = -5748.099 + 88.187 x_1 + 301.984 x_2 + 66.702 x_3$, 式中, y_3 、 y_6 、 y_{12} 、 y_{18} 和 y_{36} 分别为 3、6、12、18、36 月龄体重 (g), x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_7 分别为体长 (cm)、体高 (cm)、

表 3 体重样本的正态性检验结果

Table 3 The normal test distribution of weight

月龄 Month	样本量 Number	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	夏皮罗-威尔克统计量 Shapiro-Wilk statistic	夏皮罗-威尔克检验显著性 Shapiro-Wilk significant
3	240	9.80	2.50	0.909	0.137
6	180	42.88	7.69	0.978	0.467
12	110	207.41	41.15	0.962	0.549
18	90	511.67	94.40	0.947	0.139
36	90	3 254.60	424.04	0.966	0.152

表 4 形态性状对体重的影响
Table 4 The effects of the morphometric traits on weight

性状 Traits	相关系数 Correlations	直接作用 (途径系数) Direct-effect (path coefficient)	间接作用 (间接途径系数) Indirect effect (Indirect path coefficient)			间接作用合计 Total of indirect effect
			体长 Body length x_1	体高 Body height x_2	体宽 Body width x_3	
3 月龄 3 months						
体长 Body length x_1	0.824	0.593		0.152	0.079	0.231
体高 Body height x_2	0.699	0.223	0.403		0.073	0.476
体宽 Body width x_3	0.551	0.162	0.289	0.100		0.389
6 月龄 6 months						
体长 Body length x_1	0.938	0.704				0.234
体高 Body height x_2	0.795	0.257	0.489		0.049	0.538
体宽 Body width x_3	0.554	0.118	0.329	0.107		0.436
12 月龄 12 months						
体宽 Body width x_3	0.921	0.442				0.479
体长 Body length x_1	0.875	0.349	0.342		0.184	0.527
体高 Body height x_2	0.875	0.251	0.368	0.256		0.624
18 月龄 18 months						
体长 Body length x_1	0.891	0.510				0.381
体高 Body height x_2	0.868	0.343	0.378		0.146	0.525
体宽 Body width x_3	0.754	0.212	0.304	0.237		0.541
36 月龄 36 months						
体长 Body length x_1	0.835	0.586				0.249
体宽 Body width x_3	0.710	0.374	0.335		0.001	0.336
尾鳍高 Caudal fin height x_7	0.294	0.172	0.120	0.002		0.122

保留性状的次序按照途径系数大小排列，它反映出影响体重的主要性状的先后顺序。

The order of retained traits was arranged in accordance with the value of path coefficient, and reflected the order of the main traits of that affected the body weight.

表 5 形态性状对体重的决定系数

Table 5 The determinant coefficients of the morphometric traits on the weight

月龄 Month	性状 Traits	体长 Body length x_1	体高 Body height x_2	体宽 Body width x_3
3	体长 Body length x_1	0.352	0.068	0.026
	体高 Body height x_2		0.050	0.024
	体宽 Body width x_3			0.026
6	体长 Body length x_1	0.496	0.091	0.013
	体高 Body height x_2		0.066	0.012
	体宽 Body width x_3			0.014
12	体宽 Body width x_3	0.196	0.188	0.105
	体长 Body length x_1		0.121	0.092
	体高 Body height x_2			0.063
18	体长 Body length x_1	0.260	0.175	0.054
	体高 Body height x_2		0.118	0.062
	体宽 Body width x_3			0.045
36	体长 Body length x_1	0.343	0.160	0.026
	体宽 Body width x_3		0.140	0.000
	尾鳍高 Caudal fin height x_7			0.030

保留性状的次序按照通径系数大小排列的，它反映出影响体重的主要性状的先后顺序。

The order of retained traits was arranged in accordance with the value of path coefficient, and reflected the order of the main traits of that affected the body weight.

表 6 形态性状与体重的复相关分析

Table 6 The multiple-correlations between morphometric traits and body weight

月龄 Month	自变量个数 Number of variable	复相关系数 Multiple correlation coefficient R	校正相关系数 Adjusted R square	估计标准偏差 Standard error of the estimate
3	3 (体长、体高、体宽)	0.856	0.726	1.309
	3 (body length, body height, body width)			
6	3 (体长、体高、体宽)	0.964	0.925	2.099
	3 (body length, body height, body width)			
12	3 (体宽、体长、体高)	0.965	0.920	14.652
	3 (body width, body length, body height)			
18	3 (体长、体高、体宽)	0.955	0.902	29.476
	3 (body length, body height, body width)			
36	3 (体长、体宽、尾鳍高)	0.897	0.792	193.435
	3 (body length, body width, caudal fin height)			

体宽 (cm)、和尾鳍高 (cm)。

从表 6 中可看出, 3 月龄、6 月龄和 18 月龄哲罗鲑 3 个自变量对体重的复相关系数的误差概率均为 $P < 0.01$, 说明体长、体高和体宽是影响 3 月龄、6 月龄和 18 月龄哲罗鲑体重的主要形态性状。12 月龄和 36 月龄哲罗鲑自变量对体重的复相关系数的误差概率均是 $P < 0.01$, 说明所保留的体宽、体长和体高是影响 12 月龄哲罗鲑体重的主要形态性状, 所保留的体长、体宽和尾鳍高是影响 36 月龄哲罗鲑体重的主要形态性状。经回归预测, 估计值和实际值差异不显著 ($P > 0.05$), 这表明本文获得的回归方程可以应用于 3~36 月龄哲罗鲑选育的实际生产中。

3 讨论

3.1 性状的变化

本实验中 3 月龄、6 月龄、12 月龄、18 月龄、36 月龄哲罗鲑体重的变异系数较高, 这与梭鱼 (*Liza haematocheila*) 的研究结果相一致 (耿绪云等 2011)。耿绪云等 (2011) 认为体重变异系数较高的鱼类, 其生长基因多样性水平较高, 选择育种潜力则较大, 可通过选择育种选育出相应的优良品种。

哲罗鲑各阶段的生长发育表现为外部形态性状的增长和体重的增加。3 月龄、6 月龄、18 月龄和 36 月龄哲罗鲑的体长对体重直接作用较大, 12 月龄哲罗鲑的体宽对体重直接作用较大。在两两性状对体重的决定程度中, 12 月龄和 36 月龄哲罗鲑的体长和体宽对体重的决定系数极显著高于 3 月龄、6 月龄和 18 月龄的决定系数 ($P < 0.01$)。这说明哲罗鲑苗种在生长过程中先侧重纵向生长, 待肌肉、肝等营养物质有一定程度的积累, 再侧重自身的横向生长; 到成鱼阶段时又恢复到纵向生长, 伴随着生长, 待该鱼的性腺发育到一定程度, 再同时兼顾纵向和横向生长。

3.2 影响哲罗鲑体重的主要形态性状的确定

本研究中, 3 月龄、6 月龄和 18 月龄哲罗

鲑的复相关系数表明体长、体高和体宽是影响其体重的主要性状; 12 月龄哲罗鲑的复相关系数表明体宽、体长和体高是影响其体重的主要性状; 36 月龄哲罗鲑的复相关系数表明体长、体宽和尾鳍高是影响其体重的主要性状。由上述分析结果可知, 体长、体宽是影响不同月龄哲罗鲑体重的共同性状。本研究中 12 月龄和 36 月龄哲罗鲑的体宽决定系数显著高于 3 月龄、6 月龄和 18 月龄的的体宽决定系数, 初步分析产生原因分别是营养物质 (尤其是脂肪) 积累和性腺发育的结果。这与不同生长阶段梭鱼 (耿绪云等 2011)、三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) (刘磊等 2009)、牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) (王凯等 2008) 的研究结果基本一致。

3.3 在选择育种中的应用

由于基因连锁和基因多效性的存在, 生物体各个性状间存在着不同程度的相关性 (李思发等 2006)。对鱼类生长性状的选育一般以体长和体重为指标, 很多研究也表明体长、体高等形态性状对体重的增长具有重要的影响, 因此在鱼类生长期性状的选育工作中, 除对体重进行直接选择外, 还应对与体重具有决定作用的形态性状进行间接选择 (佟广香等 2011)。本实验结果与佟广香等 (2011) 和张永泉等 (2013) 的结果基本一致, 与前者相比, 本研究的覆盖面更广, 内容更丰富, 获得了不同月龄哲罗鲑 9 个性状之间的表型相关系数, 总结出体长、体高和体宽是间接选育 3 月龄、6 月龄和 18 月龄哲罗鲑体重的重要指标, 体宽、体长和体高是间接选育 12 月龄哲罗鲑体重的重要指标, 体长、体宽、尾鳍高是间接选育 36 月龄哲罗鲑体重的重要指标。本研究通过对体重的直接选择, 和对与体重存在显著相关的形态性状的间接选择, 在一定程度上改进了哲罗鲑的常规选育方法。这为哲罗鲑初步选育提供了理论依据和理想的测度指标, 可用于指导哲罗鲑良种的选育工作。

在哲罗鲑的良种选育过程中,以体重为主要选育性状,以体长、体高、体宽(或尾鳍高)等性状作为辅助选择性状,并随着月龄的增加而调整辅助选择性状顺序(体长、体高、体宽→体长、体高、体宽→体宽、体长、体高→体长、体高、体宽→体长、体宽、尾鳍高),采用主辅兼顾的多性状选择法,将有效地提高选育效率。

参 考 文 献

- Holcik J, Hensel K, Nieslanik J. 1988. The Eurasian Huchen Hucho Hucho: Largest Salmon of the World. Hingham (USA): Kluwer Academic Publishers.
- Myers J M, Hershberger W K, Saxton A M, et al. 2001. Estimates of genetic and phenotypic parameters for length and weight of marine net-pen reared Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture Research*, 32(4): 277–285.
- Vandeputte M, Kocour M, Mauger S, et al. 2004. Heritability estimates for growth-related traits using microsatellite parentage assignment in juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 235(1/4): 223–236.
- Wang C H, Li S F, Xiang S P, et al. 2006. Genetic parameter estimates for growth-related traits in Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. color). *Aquaculture*, 259(1/4): 103–107.
- 杜鹃. 2012. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现. *陕西气象*, 129(3): 15–18.
- 耿绪云, 马维林, 李相普, 等. 2011. 梭鱼外部形态性状对体重影响效果分析. *海洋与湖沼*, 42(4): 530–537.
- 耿绪云, 王雪惠, 孙金生, 等. 2007. 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 一龄幼蟹外部形态性状对体重的影响效果分析. *海洋与湖沼*, 38(1): 49–54.
- 何小燕. 2009. 大口黑鲈生长发育分析及微卫星标记的亲权鉴定. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文.
- 何小燕, 刘小林, 白俊杰, 等. 2009. 大口黑鲈形态性状对体重的影响效果分析. *水产学报*, 33(4): 597–603.
- 贺晓宏, 张涛, 张亚妮, 等. 2004. 绒山羊体尺、绒毛性状与经济性状的多元统计分析. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 32(1): 85–89.
- 匡友谊, 佟广香, 徐伟, 等. 2010. 黑龙江流域哲罗鲑的遗传结构分析. *中国水产科学*, 17(6): 1208–1217.
- 李淑瑜, 赖志服, 杜涛, 等. 2012. 九孔鲍主要经济性性状对体质量的影响效果分析. *广东海洋大学学报*, 32(6): 39–44.
- 李思发, 王成辉, 刘志国, 等. 2006. 三种红鲤生长性状的杂种优势与遗传相关分析. *水产学报*, 30(2): 175–180.
- 刘磊, 李健, 高保全, 等. 2009. 三疣梭子蟹不同日龄生长性状相关性及其对体重的影响. *水产学报*, 33(6): 964–971.
- 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对体重的影响效果分析. *海洋与湖沼*, 33(6): 673–678.
- 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 2004. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析. *生态学报*, 24(4): 857–862.
- 明道绪. 2006. 生物统计附实验设计. 北京: 中国农业出版社, 216–217.
- 佟广香, 匡友谊, 许凌雪, 等. 2011. 哲罗鲑形态性状与体重的相关性分析. *水产学杂志*, 24(2): 31–36.
- 佟广香, 匡友谊, 尹家胜. 2009. 野生哲罗鱼种质资源遗传多样性的 AFLP 分析. *中国水产科学*, 16(6): 833–841.
- 佟雪红, 董在杰, 缪为民, 等. 2007. 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. *大连水产学院学报*, 22(3): 159–163.
- 王俊. 2011. 哲罗鲑 (*Hucho taimen*) 生长性状的遗传参数估计及 SSR 分析. 上海: 上海海洋大学硕士学位论文.
- 王凯, 刘海金, 刘永新, 等. 2008. 牙鲆形态性状对体重的影响效果分析. *上海水产大学学报*, 17(6): 655–660.
- 王清印, 徐来宁, 杨宁生. 2005. 中国水产生物种质资源与利用. 北京: 海洋出版社, 64–70.
- 杨贵强, 徐绍刚, 王跃智, 等. 2011. 硬头鲂幼鱼部分形态性状和体重的关系. *动物学杂志*, 46(1): 16–22.
- 易建明, 李树聪, 虞良, 等. 2002. 乳牛产乳量与几项系统因子间的回归关系及其应用. *畜牧兽医学报*, 33(3): 239–242.
- 袁志发, 周敬芋, 郭满才, 等. 2001. 决定系数——通径系数的决策指标. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 29(5): 131–133.
- 张永泉, 尹家胜, 郭文学, 等. 2013. 三龄太门哲罗鱼外部形态性状对体质量影响效果分析. *水产学杂志*, 26(4): 19–22.
- 周洪松, 赵益贤, 刘旭光, 等. 1994. 雏鸡血清蛋白含量与生长性状间相关的通径分析. *畜牧兽医学报*, 25(4): 301–305.