

硬头鳟幼鱼部分形态性状和体重的关系

杨贵强 徐绍刚 王跃智 杨晓飞 周云

(北京市水产科学研究所 北京 100068)

摘要: 随机选取 116 尾硬头鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 幼鱼, 测量其体长、体高、体厚、头长、眼径和眼间距、体重 7 个性状, 计算各性状间的相关系数, 采用通径分析方法计算以表型形态性状为自变量对体重作因变量的通径系数、决定系数及复相关指数, 对各性状的影响大小进行剖析, 明确影响硬头鳟幼鱼体重的主要外部形态性状, 为硬头鳟选育提供理论依据和理想的测度指标。结果表明, 所测各表型性状与体重之间的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$); 体高对体重的直接影响 (0.363) 最大, 其次分别为体长 (0.291)、体厚 (0.264) 和眼径 (0.111)。所选性状对体重的复相关指数 $R^2 = 0.972$, 表明所选性状是影响体重的主要性状。利用逐步回归分析方法建立以体长、体高、体厚和眼径为自变量估计体重的多元回归方程为: $y = -107.53 + 3.03 X_1 + 20.01 X_3 + 12.63 X_2 + 45.56 X_5$ 。

关键词: 硬头鳟; 形态性状; 体重; 通径分析

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2011)01-16-07

The Relationship between Partial Morphometric and Body Weight of Juvenile Steelhead (*Oncorhynchus mykiss*)

YANG Gui-Qiang XU Shao-Gang WANG Yue-Zhi YANG Xiao-Fei ZHOU Yun

(Beijing Fisheries Research Institute, Beijing 100068, China)

Abstract: To study the effect of morphometric attributes on body weight of the Steelhead *Oncorhynchus mykiss*, morphometric measurement was taken from 116 samples. The attributes used in this study include body length, body height, body depth, head length, eye diameter, eye cross and bodyweight. A correlation coefficient matrix was constructed, in which the body weight was used as the dependent variable and other attributes as independent variables for path analysis. The path coefficients, determination coefficients, and correlation index were calculated, and major morphometric attributes were determined. The results showed that all the correlation coefficient between each independent variable and dependent variable (body weight) were significantly different ($P < 0.01$). The trait with the strongest direct effect on body weight was body height (0.363), then the body length (0.291), body depth (0.264) and eye diameter (0.111). The high value of multiple correlation index R^2 at 0.972 between morphometric attributes and body weight suggests that the selected attributes are practical. The multiple regression equation relating the body weight was established as $y = -107.53 + 3.03 X_1 + 20.01 X_3 + 12.63 X_2 + 45.56 X_5$, where y is body weight, X_1, X_2, X_3, X_5 , is body length, body height, body depth, eye diameter respectively.

Key words: Steelhead; Morphometric attribute; Body weight; Path analysis

基金项目 北京市建设新型科研体制重大专项 (No. Z09090501040903);

第一作者简介 杨贵强, 男, 硕士; 研究方向: 鱼类育种学; E-mail: ygqheb@yahoo.com.cn。

收稿日期: 2010-09-15, 修回日期: 2010-11-03

硬头鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 属鲑形目 (Salmoniformes) 鲑科 (Salmonidae) 大麻哈鱼属。硬头鳟与虹鳟为同一种, 人们习惯上把具有洄游性的称为硬头鳟 (Steelhead), 把陆封型的叫作虹鳟 (Rainbow Trout)。前者生活史的大部分时间在大洋或大湖区 (北美) 度过, 繁殖时溯河产卵; 后者不需要在不同水体间进行长距离洄游, 已作为重要的经济鱼类被引种到很多国家。由于基因工程的贡献和驯化手段的不断完善, 硬头鳟已可以在淡水中完全生长繁殖^[1]。硬头鳟沿体侧侧线无明显的彩虹带, 上半部暗绿色, 下半部银白色, 头背部铁灰色, 身上斑点大而稀疏, 可与虹鳟相区别。硬头鳟具有生长速度快^[2]、抗逆能力强等优良性状, 使处于困境中的中国鲑鳟鱼养殖业显示出了良好的发展前景。硬头鳟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, 体重与形态指标相比不直观。利用多元分析查清表型性状与体重之间的关系以及对体重的直接影响大小, 通过形态性状的选择达到选种目的, 具有重要的现实意义。

相关分析和多元回归分析已广泛应用于畜牧业选育目标性状的确定^[3-5]。在水产动物上, 特别是虾^[6]、蟹^[7]、贝^[8]、鱼类^[9-20]亦已有不少报道。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。通径分析是对相关分析及回归分析的发展和丰富, 具有能区分自变量对因变量的直接作用和间接作用的优点, 并能比较多个自变量对因变量作用大小及相对重要性。刘小林等^[6,8]对栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 壳尺寸性状对活体重的影响以及凡纳对虾 (*Penaeus vannamei*) 形态性状对体重的影响进行了研究; 耿绪云等^[7]对中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 1 龄幼蟹外部形态性状对体重的影响效果分析; 王新安等^[16]对大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼形态性状对体重的影响效果分析; 佟雪红对建鲤 (*Cyprinus carpio* var.) 自交及与黄河鲤 (*Cyprinus carpio haematopterus*) 正反杂交的子代进行了通径分析^[20]。这些研究都采用了相关

分析、通径分析和多元回归分析的方法, 在用回归分析估计目标性状的同时, 区分了自变量对因变量的直接作用和间接影响的大小, 确定了影响目标性状的主要外部形态性状。但有关硬头鳟幼鱼阶段的相关研究尚未见报道, 本研究拟采用表型相关分析、通径分析和多元回归分析确定影响硬头鳟幼鱼体重的主要形态性状及其直接与间接的影响效果, 建立估计体重的最优回归方程, 旨在为硬头鳟选育工作的进一步开展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料 2010 年 4 月从北京市水产科学研究所延庆玉渡山冷水鱼基地自繁殖的硬头鳟 F1 中随机选取 16 月龄的幼鱼 116 尾 (84.16 ~ 195.82 mm), 待测鱼健康无病, 身体完整无残缺, 在水中游动正常。上述试验鱼的培育水温 4 ~ 12℃。

1.2 测量方法 用苯氧乙醇 (0.5 ml/L) 使鱼体麻醉, 然后进行体重和形态性状的测定。用滤纸吸干鱼体表面水分, 然后用电子天平称量体重, 精确到 0.01 g; 依据测量标准^[21]用游标卡尺测定体长、体高、体厚、头长、眼径和眼间距共 6 个形态学指标 (精确到 0.02 mm)。

1.3 分析方法 使用 SPSS 16.0 软件对各性状测定结果进行统计整理, 计算平均数、标准差和变异系数, 获得各性状表型参数统计量, 然后进行表型相关分析。在表型相关分析基础上, 根据通径系数原理建立通径系数正规方程组, 解方程组得到各形态性状对体重的通径系数, 剖析各性状分别对体重的直接影响和间接影响, 进而求得决定系数^[22-24]。通过偏回归系数检验剔除不显著的性状, 取偏回归系数显著的形态性状分别对体重建立多元回归方程, 并对方程进行拟合度检验。相关系数 (r_{xy}) 的计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

式中, r_{xy} 为自变量的相关系数, x_i, y_i 均为样本性状表型值, \bar{x}, \bar{y} 均为性状均值, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

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

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: $d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j$, 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。

某个性状对体重总的决定系数方程为: $R_i^2 = 2P_i r_{iy} \times P_i^2$, P_i 为某个性状对体重的通径系数, r_{iy} 为某个性状与体重的相关系数。

多元线性回归方程模型: $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$, 式中, β_0 为常数项, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 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。

2 结果与分析

2.1 各形态性状的表型参数 体重和各形态性状表型参数测量结果见表 1。从表 1 可以看出, 硬头鱧体重变异系数最大, 能达到 47.94%, 然后依次是体高、体厚、体长、眼间距、头长、眼径, 说明体重具有较大的选择潜力。

表 1 所测性状的表型统计量 ($n = 116$)

Table 1 The measurement of traits

性状 Traits	平均值 Means	标准差 (SD) Standard deviation	变异系数 (%) C * V
体重 BW	57.34	27.490 1	47.94
体长 BL	15.27	2.638 3	17.27
体高 BH	3.92	0.790 8	20.17
体厚 BD	1.95	0.363 2	18.64
头长 HL	3.07	0.452 8	14.76
眼径 ED	0.66	0.067 1	10.16
眼间距 EC	1.42	0.241 6	17.07

BW: Body weight; BL: Body length; BH: Body height; BD: Body depth; HL: Head length; ED: Eye diameter; EC: Eye cross; 下表相同。The abbreviation here would also be used in the following tables.

2.2 各形态性状与体重间的相关系数及体重样本的正态性检验 硬头鱧形态性状和体重两两之间的相关系数 (person 相关系数) 见表 2。由表 2 可知, 形态性状与体重之间的 person 相关系数均达到了极显著水平 ($P < 0.01$)。相关系数依次为体长、体高、体厚、眼间距、头长、眼径, 这表明所选指标进行相关分析具有重要的实际意义。由表 3 可知, 试验中所抽取样本的体重正态分布检验结果 $P = 0.145 > 0.05$, 所以认为样本来自正态分布总体; 由表 3 中 Normal Parameters 右上角角标可知, 因变量体重 BW 服从正态分布, 即体重 BW 是正态变量可以进行回归分析。

表 2 性状间的相关系数

Table 2 The correlation coefficient between the traits

性状 Traits	体重 BW	体长 BL	体高 BH	体厚 BD	头长 HL	眼径 ED	眼间距 EC
体重 BW	1.000 0						
体长 BL	0.956 1 **	1.000 0					
体高 BH	0.954 5 **	0.967 5 **	1.000 0				
体厚 BD	0.935 9 **	0.929 2 **	0.925 4 **	1.000 0			
头长 HL	0.897 9 **	0.916 3 **	0.906 8 **	0.872 7 **	1.000 0		
眼径 ED	0.657 2 **	0.612 8 **	0.586 0 **	0.586 0 **	0.632 5 **	1.000 0	
眼间距 EC	0.919 1 **	0.934 4 **	0.913 2 **	0.903 1 **	0.885 5 **	0.703 6 **	1.000 0

**表示差异极显著 ($P < 0.01$)。 **Very significant difference ($P < 0.01$)。

2.3 各形态性状对体重影响的通径系数 在表型相关基础上, 根据通径分析原理, 通过统计

软件 SPSS 16.0 得到各形态性状对体重的通径系数, 经显著性检验, 保留达到极显著水平的

表 3 体重样本的正态性检验结果 ($n = 116$)
Table 3 The normal test distribution of weight

正态参数 ^a Normal parameters	平均值 Mean 标准差 Standard deviation	57.341 27.490
最大差异 Most extreme differences	绝对值 Absolute	0.106
	正极差 Positive	0.106
	负极差 Negative	-0.077
柯尔莫哥诺夫-斯米尔诺夫检验统计量的 Z 值 Kolmogorov-Smirnov Z		1.145
近似双尾 P 值 Asymp. Sig. (2-tailed)		0.145

a: 检验结果呈正态性分布。a: Test distribution is normal.

体长、体高、体厚和眼径 4 个变量,其通径系数依次为 0.290 9、0.363 2、0.264 3 和 0.111 2。通径系数能反应自变量对因变量的直接影响的大小,由表 4 可知硬头鲮幼鱼形态性状中体高对

表 4 硬头鲮 4 个形态性状对体重的影响

Table 4 The effects of four morphometric traits on weight of steelhead

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficients	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect				
			合计 In total	体长 BL X_1	体厚 BD X_3	体高 BH X_2	眼径 ED X_5
体长 BL X_1	0.956 1	0.290 9	0.665 2		0.245 6	0.351 4	0.068 1
体厚 BD X_3	0.935 9	0.264 3	0.671 6	0.270 3		0.336 1	0.065 2
体高 BH X_2	0.954 5	0.363 2	0.591 2	0.281 5	0.244 6		0.065 2
眼径 ED X_5	0.657 2	0.111 2	0.546 0	0.178 3	0.154 9	0.212 9	

2.5 4 个形态性状对体重的决定程度分析

根据单个性状对体重的决定系数和两个性状对体重的共同决定系数,计算出形态性状对体重的决定系数(表 5)。位于对角线上的数据是每个形态性状单独对体重的决定系数,对角线右上方的是两两性状协同作用下对体重的决定系数。由表 5 可知,体高、体长、体厚、眼径对硬头鲮体重的决定程度由大到小依次为 13.19%、8.46%、6.99%、1.24%。两两性状对体重的决定程度中,体高和体长对体重影响最高,为 20.45%,体厚和眼径对体重影响最小,为 3.44%。4 个性状共同作用对体重的决定程度为 94.53%。

2.6 多元回归方程的建立及其回归分析 根据测定资料运用逐步引入-剔除法(Stepwise)进行逐步多元回归分析。按照表型性状对体重的作用的显著程度,依次引入体长、体厚、体高和眼径,建立以体长、体厚、体高、眼径估计硬头鲮

体重的直接影响最大,眼径对体重的直接影响最小。

2.4 各形态性状与体重相关系数的剖分 根据相关系数的组成效应,将形态性状与体重的相关系数(r_{xy})剖分为各性状的直接作用(通径系数, P_i)和各性状通过其他性状的间接作用($\sum r_{ij}P_j$)两部分,即 $r_{xy} = P_i + \sum r_{ij}P_j$,结果见表 4。表 4 显示,硬头鲮各形态性状对体重的间接影响均大于直接影响。硬头鲮各形态性状与体重相关系数依次为体长、体高、体厚、眼径;而与体重的通径系数依次为体高、体长、体厚、眼径,其他性状主要通过体长、体高和体厚 3 个性状对体重间接产生作用。

体重的最优回归方程: $y = -107.53 + 3.03 X_1 + 20.01 X_3 + 12.63 X_2 + 45.56 X_5$, 式中, y 为体重(g), X_1 、 X_3 、 X_2 、 X_5 分别为体长(cm)、体厚(cm)、体高(cm)和眼径(cm)。

表 5 硬头鲮 4 个形态性状对体重的决定系数(%)

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

性状 Traits	体长 BL X_1	体厚 BD X_3	体高 BH X_2	眼径 ED X_5
体长 BL X_1	8.463 1	14.289 8	20.447 9	3.964 5
体厚 BD X_3		6.986 1	17.769 5	3.444 6
体高 BH X_2			13.194 7	4.733 9
眼径 ED X_5				1.236 4

由表 6 可知,4 个自变量对体重的复相关系数为 0.972,校正相关指数为 0.943。误差概率 $P = 0.000 < 0.01$,达到了极显著的水平,说明体重 BW 与自变量体长 X_1 、体厚 X_3 、体高 X_2 、眼径 X_5 之间的相关程度为 97.2%,即这 4 个性状是影响体重的主要形态性状。经多元回归关系的显著性检验和各个标准偏回归系数的

显著性检验(表 7),回归常数和所有的标准偏回归系数均达到极显著水平($P < 0.01$)。方差分析结果(表 8)表明,回归关系达到极显著水平($P < 0.001$)。经回归预测,估计值和实际值差异不显著($P > 0.05$),说明该回归方程可以应用于硬头鳟良种的初期选育工作中。

表 6 硬头鳟形态性状与体重的复相关分析

Table 6 The multiple-correlation coefficients between morphometric traits and body weight of steelhead

自变量个数 Number of variable	复相关系数 R multiple	相关系数 R square	校正相关系数 Adjusted R square	标准偏差 SD
1 个自变量 1 variables	0.956	0.914	0.913	8.091
2 个自变量 2 variables	0.965	0.931	0.929	7.303
3 个自变量 3 variables	0.968	0.938	0.936	6.957
4 个自变量 4 variables	0.972	0.945	0.943	6.544

3 讨论

3.1 通径分析特点和自变量的确定 通径分析是研究自变量对因变量作用方式和程度的多元统计分析方法,具有能区分自变量对因变量的直接作用和间接作用的优点,并能比较多个自变量对因变量作用大小及相对的重要性,比相关系数更能表现出性状间的直接作用和真实关系^[16]。本文研究中,硬头鳟形态各性状与体重间的相关系数均达到极其显著水平($P < 0.01$),但通径分析结果表明,对体重直接影响的仅体长、体高、体厚和眼径达到极其显著水平($P < 0.01$)。可见,仅通过各性状的表型相关分析,不能判定各自变量对因变量的影响大小,有必要对性状进行通径分析,以区分作用大小,从中找出影响硬头鳟体重的主要因素。通径系数表示自变量对因变量的直接影响的大小,随着所选择的变量的个数和性质的不同而不同,考虑的性状越多,分析结果就越可靠,但统计分

表 7 偏回归系数和回归常数的显著性检验表

Table 7 Test results of partial regression and constant

回归步骤 Regression step	变量 Variables	回归系 Coefficients		标准偏回归系数 Standardized β	T 统计量 T stat	误差概率 P-value
		系数 B	标准误差 Std. error			
第一步 Step 1	回归常数 Constant	-94.805	4.432		-21.392	0.000
	体长 BL X_1	9.962	0.286	0.956	34.835	0.000
第二步 Step 2	回归常数 Constant	-94.665	4.000		-23.666	0.000
	体长 BL X_1	6.593	0.698	0.633	9.439	0.000
	体厚 BD X_3	26.339	5.074	0.348	5.191	0.000
第三步 Step 3	回归常数 Constant	-88.611	4.177		-21.214	0.000
	体长 BL X_1	3.767	1.040	0.361	3.623	0.000
	体厚 BD X_3	21.307	5.038	0.282	4.229	0.000
	体高 BH X_2	11.966	3.382	0.344	3.538	0.001
第四步 Step 4	回归常数 Constant	-107.527	6.198		-17.350	0.000
	体长 BL X_1	3.031	0.996	0.291	3.045	0.003
	体厚 BD X_3	20.006	4.751	0.264	4.211	0.000
	体高 BH X_2	12.628	3.186	0.363	3.964	0.000
	眼径 ED X_5	45.563	11.545	0.111	3.947	0.000

表 8 多元回归方程的方差分析表
Table 8 Analysis of variance of multiple regression equation

自变量个数 Number of variable		方差 SS	自由度 df	均方 MS	F
1 个自变量 1 variables	回归 Regression	79 442. 520	1	79 442. 520	1 213. 455 **
	残差 Residual	7 463. 359	114	65. 468	
	总计 Total	86 905. 879	115		
2 个自变量 2 variables	回归 Regression	80 879. 691	2	40 439. 845	758. 307 **
	残差 Residual	6 026. 188	113	53. 329	
	总计 Total	86 905. 879	115		
3 个自变量 3 variables	回归 Regression	81 485. 458	3	27 161. 819	561. 234 **
	残差 Residual	5 420. 421	112	48. 397	
	总计 Total	86 905. 879	115		
4 个自变量 4 variables	回归 Regression	82 152. 459	4	20 538. 115	479. 598 **
	残差 Residual	4 753. 420	111	42. 824	
	总计 Total	86 905. 879	115		

**表示差异极显著($P < 0.01$)。 **Very significant difference ($P < 0.01$)。

析就越复杂^[16]。由于通径系数是变量标准化的偏回归系数,因此逐步回归获得的最优回归方程的自变量与通径分析保留的自变量一致,本研究中两种分析方法保留的自变量都是体长、体高、体厚和眼径 4 种表型性状。

3.2 影响硬头鲮体重的主要性状的确定 在表型相关分析的基础上进行通径系数分析和决定系数分析,只有当复相关系数或各自变量对因变量的单独决定系数及两两共同决定系数的总合 $\sum d$ (在数值上 $R^2 = \sum d$) 大于或等于 0.85 时,表明影响因变量的主要自变量已经找到^[6]。本研究中, $R^2 = \sum d = 0.945$,说明所保留的硬头鲮的表型性状体长、体厚、体高和眼径是影响体重的重点性状,其他尚未测度的性状和已剔除的性状对体重的影响相对较小。

3.3 鱼类数量性状的选择育种 增加体重是众多鱼类遗传改良的目标之一,然而当体重遗传力较低时^[25-26],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。何小燕等^[27] 研究结果表明,大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 体宽、体长和眼间距与

体重的正相关极显著,是直接或间接影响大口黑鲈体重的主要形态性状。王新安等^[16] 研究发现大菱鲂的体重主要由体长、体高和体厚 3 个长度性状决定。本研究结果表明,体长、体高、体厚和眼径与硬头鲮体重的正相关极显著,是直接或间接影响硬头鲮体重的主要形态性状。类似研究所造成的差异可能是所选形态性状的不同及不同鱼类不同的形态性状对其体重增加的决定程度不同。目前有关各个时期的硬头鲮体长、体高、体厚和眼径等形态性状的遗传力及体重与形态性状两两之间的遗传相关未见报道。对硬头鲮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。本文通过相关分析、通径分析及多元回归分析找出影响硬头鲮幼鱼体重的主要表型性状为体长、体高、体厚和眼径,这为硬头鲮初步选择育种提供了理论依据和理想的测度指标,可用于指导硬头鲮良种的初期选育工作。

参 考 文 献

[1] Neal A G J, Edward S R, Doran M M. Diet, feeding rate,

- growth, mortality, and production of juvenile Steelhead in a Lake Michigan Tributary. *North American Journal of Fisheries Management*, 2007, 27: 578 - 592.
- [2] 刘澧津. 硬头蹲 (*Oncorhynchus mykiss*) 苗种养殖试验. *河北渔业*, 2002, 2: 48 - 49.
- [3] 周洪松, 赵益贤, 刘旭光, 等. 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*, 1994, 25 (4): 301 - 305.
- [4] 易建明, 李树聪, 虞良, 等. 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*, 2002, 33 (3): 239 - 242.
- [5] 贺晓宏, 张涛, 张亚妮, 等. 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*, 2004, 32 (1): 85 - 89.
- [6] 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析. *生态学报*, 2004, 24 (4): 857 - 862.
- [7] 耿绪云, 王雪惠, 孙金生, 等. 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*, 2007, 38 (1): 49 - 54.
- [8] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 栉孔扇贝壳尺寸性状对体重的影响效果分析. *海洋与湖沼*, 2002, 33 (6): 673 - 678.
- [9] Deboski P, Dobosz S, Robak S, et al. Fat level in body of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and sea trout (*Salmo trutta* L.), and method of estimation from morphometric data. *Archives of Polish Fisheries*, 1999, 7 (2): 237 - 243.
- [10] Hong K P, Lee K J. Estimation of genetic parameters on metric traits in *Oreochromis niloticus* at 60 days of age. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 1999, 32 (4): 404 - 408.
- [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*). *Aquaculture Research*, 2001, 32 (4): 277 - 285.
- [12] 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. *Aquaculture*, 2004, 241: 117 - 131.
- [13] Vandeputte M, Kocour M, Mauger S, et al. Heritability estimates for growth-related traits using microsatellite parentage assignment in juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 2004, 235: 223 - 236.
- [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). *Aquaculture*, 2006, 259: 103 - 107.
- [15] 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. *大连水产学院学报*, 2007, 22 (3): 159 - 163.
- [16] 王新安, 马爱军, 许可, 等. 大菱鲆幼鱼表形形态性状与体重之间的关系. *动物学报*, 2008, 54 (3): 540 - 545.
- [17] Gall G A E, Bakar Y. Application of mixed-model techniques to fish breed improvement: Analysis of breeding-value selection to increase 98 day body weight in tilapia. *Aquaculture*, 2002, 212: 93 - 113.
- [18] Kause A, Ritola O. Improved salmonid quality through selective breeding. *Global Aquaculture Advocate*, 2003, 6: 2 - 24.
- [19] Neira R, Diaz N F, Gall G A E, et al. Genetic improvement in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). II: Selection response for early spawning date. *Aquaculture*, 2006, 257 (1/4): 1 - 8.
- [20] 佟雪红, 袁新华, 董在杰, 等. 建鲤自交及与黄河鲤正反杂交子代的生长比较和通径分析. *水产学报*, 2008, 32 (2): 182 - 189.
- [21] 孟庆闻, 苏锦祥, 缪学祖. 鱼类分类学. 北京: 中国农业出版社, 1995: 29 - 30.
- [22] 袁志发, 周敬芋, 郭满才, 等. 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*, 2001, 29 (5): 131 - 133.
- [23] 袁志发, 周敬芋. 多元统计分析. 北京: 科学出版社, 2002: 130 - 131.
- [24] 张琪, 丛鹏, 彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现. *农业网络信息*, 2007, 3: 109 - 111.
- [25] 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. *水产学报*, 2006, 30 (2): 175 - 180.
- [26] 李加纳. 数量遗传学概论. 重庆: 西南师范大学出版社, 2007: 166.
- [27] 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. *水产学报*, 2009, 33 (4): 597 - 603.