

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.05.009

基于通径分析和灰色关联分析岩原鲤 形态特征与体质量的关系

闫卉果¹, 董智玲¹, 李雨¹, 马婷婷¹,
罗辉^{1,2}, 叶华^{1,2}, 何文平^{1,2}

1. 西南大学 水产学院, 重庆 400715; 2. 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715

摘要: 分析 120 尾 20 月龄岩原鲤 *Procypris rabaudi* 共 11 个形态特征的相关性及其与体质量的关系。所有特征对的相关系数都呈显著正相关, 从 0.394 到 0.981。通径分析表明, 有 3 个特征体长(X_2)、体高(X_3)、体宽(X_4)能直接极显著影响体质量(Y); 有 2 个特征全长(X_1)和尾柄高(X_{10})能直接显著影响体质量(Y)。最佳的线性回归方程为: $Y = -93.112 + 2.094 X_1 + 4.063 X_2 + 7.623 X_3 + 4.974 X_4 + 7.260 X_{10}$ 。该研究首次采用灰色关联分析方法探究了岩原鲤形态特征与体质量的关系, 其灰色关联系数平均值在 0.699~0.897 之间, 体长(X_2)与体质量(Y)的灰色关联度最高。综合通径分析和灰色关联分析结果, 在进行岩原鲤选育时应以体长(X_2)为主要, 全长(X_1)、体高(X_3)为辅进行选育。

关键词: 岩原鲤; 形态特征; 体质量; 通径分析; 灰色关联分析

中图分类号: Q959.46⁺8 **文献标志码:** A

文章编号: 1673-9868(2022)05-0074-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Relationship Between Morphological Traits and Body Weight of *Procypris rabaudi* by Path Analysis and Grey Correlation Analysis

YAN Huiguo¹, DONG Zhiling¹, LI Yu¹, MA Tingting¹,
LUO Hui^{1,2}, YE Hua^{1,2}, HE Wenping^{1,2}

1. College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development (Ministry of Education), Chongqing 400715, China

Abstract: This study analyzed the correlations among 11 growth related traits of the 20-month-old *Procypris rabaudi* and their effects on body weight. The correlation coefficients of all trait pairs were significantly high, ranging from 0.394 to 0.981. Among 11 X-Y pairs, the correlation coefficient between traits X_2 and

收稿日期: 2021-07-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(32071651); 重庆市自然科学基金项目(cstc2020jcyj-msxmX0438); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(XDJK2019C025)。

作者简介: 闫卉果, 硕士研究生, 主要从事鱼类遗传育种研究。

通信作者: 何文平, 副教授。

Y was the highest, whereas that between X_7 and Y was the lowest. Path analysis indicated that traits X_2 , X_3 and X_4 directly highly significantly affected the body weight (Y), with path coefficients of 0.358, 0.243 and 0.101, respectively. Traits X_1 and X_{10} directly significantly affected the body weight (Y), with the path coefficients of 0.224 and 0.099, respectively. The determination coefficient (di) of traits X_1 , X_2 , X_3 , X_4 and X_{10} was 0.961, indicating that the 5 traits were the key factors affecting body weight. Finally, a best-fit linear regression equation was constructed as $Y = -93.112 + 2.094X_1 + 4.063X_2 + 7.623X_3 + 4.974X_4 + 7.260X_{10}$. We used grey correlation analysis method to explore the relationship between morphological traits and body weight of *P. rabaudi* for the first time. The average grey correlation coefficients of morphological traits to Y were between 0.699 and 0.897, and the grey correlation degree between body length (X_2) and body weight (Y) was the highest. The comprehensive comparison showed that X_2 should be used as the main selective trait, X_1 and X_3 should be used as assisted selective traits in the breeding of *P. rabaudi*.

Key words: *Procypris rabaudi*; morphological traits; body weight; path analysis; grey correlation analysis

岩原鲤 *Procypris rabaudi* 俗称黑鲤鱼或岩鲤,隶属于鲤形目 Cypriniformes、鲤科 Cyprinidae、原鲤属 *Procypris*, 主要分布在我国长江上游和金沙江中下游。岩原鲤属于中国特有物种^[1], 其肉质细嫩鲜美、含肉率高、肌间刺少,是人们喜爱的名优经济鱼类^[2]。研究表明,由于过度捕捞和水域环境的污染,岩原鲤的野生资源量日益减少;且人工养殖规模有限、生长速度缓慢等原因导致岩原鲤无法满足市场需要^[3]。岩原鲤野生种群在2021年被《国家重点保护野生动物名录》列为二级保护动物,是我国重要的水产种质资源和遗传物种基因库,为满足岩原鲤市场化开发、种群保护,推动其产业的可持续发展,良种选育迫在眉睫。

选择性育种对改善养殖动物的重要经济性状具有积极的推动作用,在鱼类选择性育种中通常将体质量作为定向选育的目标特征,直接反映鱼类的生产性能^[4-5]。然而,体质量很容易受到基因连锁、多效性、体表残留水分和肠道饲料残留的影响^[6-7],在实际育种过程中只以体质量为选育目标难以获得可靠的结果,故利用鱼类体质量与形态特征的数量关系,把重点特征纳入选择指数,对鱼类优良品种的选育具有重要的现实意义^[8-11]。目前,在鱼类^[12-14]、虾类^[15-17]、蟹类^[18-19]及贝类^[20-21]等水生经济动物中,形态特征与体质量的关系已被广泛研究。更多的是采用统计学方法来估计重要经济特征之间的关系,如相关分析、通径分析和回归分析。灰色关联分析法是一种衡量各因素之间关联度的方法,分析方法简单易行、准确客观且所需样本小^[22-23],在作物育种中被广泛应用^[24-25],同时也应用在牙鲈^[26] *Paralichthys olivaceus*、卵形鲳鲹^[22] *Trachinotus ovatus*、小黄鱼^[23] *Larimichthys polyactis* 和点篮子鱼^[27] *Siganus guttatus* 等水产动物中,但采用灰色关联分析方法探究岩原鲤形态特征与体质量关系的文献还未见报道。

目前,多元分析在鱼类选育中的研究多以成鱼为主,在鱼类不同生长时期,形态特征指标的选择存在差异。不同生长阶段形态特征对体质量的影响存在差异。在岩原鲤中仅报道了6月龄形态性状对体质量的影响^[3],其他生长阶段尚未探究。

20月龄岩原鲤是筛选分池养成的重要时期,在筛选时首选生长速度快且形态正常的鱼。因此,本研究通过测定120尾20月龄岩原鲤体质量和11个外部形态特征,利用灰色关联通径分析探究岩原鲤形态特征与体质量的关系,并综合两种分析方法的结果,确定影响岩原鲤体质量的主要形态特征,以期基于岩原鲤生长特征选育实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2020年12月在四川省农业科学院水产研究所宜宾基地进行,试验鱼为基地同批次人工繁殖的20月龄岩原鲤,随机选取120尾饲养条件一致的岩原鲤作为试验群体。

1.2 岩原鲤数据采集

用 100 mg/L 的间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐麻醉试验鱼, 用滤纸和干毛巾吸干表面水分后, 使用电子天平称量体质量(Y), 精确到 0.01 g. 用量鱼板、量规和游标卡尺测量 11 个与生长相关的特征, 包括全长(X_1)、体长(X_2)、体高(X_3)、体宽(X_4)、头长(X_5)、眼后头长(X_6)、眼径(X_7)、吻长(X_8)、尾柄长(X_9)、尾柄高(X_{10})和躯干长(X_{11}), 精确到 0.1 cm.

1.3 数据处理

使用 Excel 2016 初步统计各形态特征测定数据, 相关分析采用 SPSS 26.0 软件. 参照杜家菊等^[28]的研究方法进行通径分析, 依据相关分析结果和通径系数计算决定系数^[29-30]. 采用逐步多元回归分析, 构造一个最佳拟合的线性回归方程. 灰色关联分析参考刘永新等^[26]的研究方法.

2 结果与分析

2.1 生长相关特征的描述性统计

表 1 中列出了 12 个生长相关特征的平均值、标准差和变化系数. 体质量(Y)的变异系数最大($CV=30.66\%$), 而眼径(X_7)的变异系数最小($CV=4.79\%$). 体质量(Y)的标准偏差最大($SD=14.192$), 而眼径(X_7)的标准偏差最小($SD=0.047$).

表 1 岩原鲤形态特征及体质量的数据分析

特征	均值	标准偏差	变异系数/%	特征	均值	标准偏差	变异系数/%
Y	46.292	14.192	30.66	X_6	1.268	0.128	10.08
X_1	16.195	1.518	9.37	X_7	0.978	0.047	4.79
X_2	13.354	1.252	9.37	X_8	1.233	0.121	9.78
X_3	3.925	0.452	11.52	X_9	2.753	0.300	10.90
X_4	1.858	0.289	15.57	X_{10}	1.663	0.193	11.61
X_5	3.477	0.273	7.87	X_{11}	6.364	0.653	10.27

2.2 生长相关特征之间的相关系数

本文通过相关性估计了 12 个生长相关特征之间的关系(表 2), 在所有 66 个特征对中都检测到显著的正相关($p<0.01$). 相关系数(r)的范围从 0.394(X_4 和 X_7)到 0.981(X_1 和 X_2)不等. 体质量(Y)与其他 11 个形态特征之间观察到显著正相关($p<0.01$), r 值从 0.589(Y 和 X_7 之间)至 0.970 不等(Y 和 X_2).

表 2 岩原鲤形态特征与体质量间的相关分析

特征	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
Y	1	0.965**	0.970**	0.946**	0.795**	0.890**	0.839**	0.589**	0.884**	0.818**	0.885**	0.906**
X_1		1	0.981**	0.922**	0.788**	0.896**	0.854**	0.597**	0.886**	0.826**	0.874**	0.926**
X_2			1	0.930**	0.786**	0.893**	0.844**	0.594**	0.891**	0.846**	0.873**	0.915**
X_3				1	0.736**	0.886**	0.842**	0.639**	0.869**	0.801**	0.904**	0.851**
X_4					1	0.692**	0.645**	0.394**	0.722**	0.605**	0.578**	0.821**
X_5						1	0.940**	0.734**	0.951**	0.776**	0.842**	0.860**
X_6							1	0.595**	0.846**	0.703**	0.804**	0.811**
X_7								1	0.611**	0.562**	0.630**	0.557**
X_8									1	0.773**	0.806**	0.868**
X_9										1	0.740**	0.784**
X_{10}											1	0.780**
X_{11}												1

注: * * 表示相关性极显著($p<0.01$).

2.3 形态特征对体质量的通径分析

由表 3 可知, 在 11 个形态学生长相关的特征中, 有 3 个(X_2, X_3 和 X_4) 直接对体质量有极显著影响 ($p<0.01$), 有 2 个(X_1 和 X_{10}) 直接对体质量有显著影响 ($p<0.05$). 特征 X_2 对体质量有最大的直接影响 ($P_i=0.358$).

表 3 岩原鲤形态特征对体质量的通径分析

特征	相关系数	直接作用	间接作用					
			Σ	X_1	X_2	X_3	X_4	X_{10}
X_1	0.965**	0.224*	0.741		0.351	0.224	0.080	0.087
X_2	0.970**	0.358**	0.612	0.220		0.226	0.079	0.086
X_3	0.946**	0.243**	0.703	0.207	0.333		0.074	0.089
X_4	0.795**	0.101**	0.694	0.177	0.281	0.179		0.057
X_{10}	0.885**	0.099*	0.786	0.196	0.313	0.220	0.058	

注: ** 表示极显著($p<0.01$), * 表示显著($p<0.05$).

2.4 全长、体长、体高、体宽、尾柄高对体质量的决定程度分析

形态特征对体质量的决定系数见表 4. X_2 的单独决定系数最大(0.128), X_2 和 X_3 的共同决定系数最大(0.162). 形态特征与体质量的总决定系数为 0.961. 由此可见, 经通径分析筛选的 5 个特征都是影响体质量的关键因素.

表 4 养殖岩原鲤全长、体长、体高、体宽、尾柄高对体质量的决定系数

特征	X_1	X_2	X_3	X_4	X_{10}
X_1	<u>0.050</u>	0.157	0.100	0.036	0.039
X_2		<u>0.128</u>	0.162	0.057	0.062
X_3			<u>0.059</u>	0.036	0.043
X_4				<u>0.010</u>	0.012
X_{10}					<u>0.010</u>

注: 加粗黑线的数字表示单一特征对体质量的决定系数.

2.5 岩原鲤形态特征与体质量多元回归方程的建立

方差分析结果显示(表 5), 回归关系极显著($F=571.656, p<0.01$). 通过以下步骤来估计体质量和其他形态特征之间的回归关系: 首先测试不同特征的部分回归系数的显著性, 然后逐步去除非显著的形态特征. 结果表明, 体质量与 3 个特征(X_2, X_3 和 X_4) 有极显著的回归关系 ($p<0.01$); 与 2 个特征 (X_1 和 X_{10}) 有显著的回归关系 ($p<0.05$). 本文构造了一个最佳拟合的线性多元回归方程, 计算公式为: $Y=-93.112+2.094X_1+4.063X_2+7.623X_3+4.974X_4+7.260X_{10}$. 回归分析结果显示(表 6), 系数检验显著 ($p<0.05$), 说明自变量能有效预测因变量的变化, 即该方程可用于岩原鲤的选择育种.

表 5 多元回归方程的方差分析

指数	平方和	自由度	均方	F 检验	显著性
回归	23 242.518	5	4 648.504	571.656	0
残差	927.008	114	8.132		
总计	24 169.526	119			

表 6 养殖岩原鲤形态特征非标准化系数显著性检验

指数	非标准化系数		标准系数	<i>t</i> 检验	显著性 <i>p</i>
	回归系数	标准误差			
特征	−93.112	3.104		29.999	0.000
X_1	2.094	0.916	0.224	2.286	0.024
X_2	4.063	1.136	0.358	3.575	0.001
X_3	7.623	1.887	0.243	4.039	0.000
X_4	4.974	1.655	0.101	3.006	0.003
X_{10}	7.260	3.656	0.099	1.985	0.049

注：* * 表示极显著($p<0.01$)，* 表示显著($p<0.05$)。

2.6 岩原鲤形态特征与体质量的灰色关联分析

以体质量和形态特征分别为参考序列和比较序列，所得灰色关联系数见表 7，灰色关联度见表 8。由表 8 可知，体长(X_2)与体质量关联度最高(0.897)，其次是全长(X_1)、体高(X_3)、躯干长(X_{11})、吻长(X_8)、头长(X_5)、尾柄高(X_{10})、眼后头长(X_6)、尾柄长(X_9)、体宽(X_4)、眼径(X_7)。

表 7 岩原鲤形态特征与体质量的灰色关联系数

指数	特征										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
最大值	0.997	0.999	1.000	0.988	0.999	0.998	1.000	0.997	0.995	0.996	0.998
最小值	0.594	0.548	0.520	0.478	0.496	0.333	0.408	0.530	0.476	0.466	0.529
均值	0.883	0.897	0.866	0.745	0.805	0.795	0.699	0.817	0.773	0.795	0.824
标准差	0.080	0.076	0.096	0.122	0.107	0.124	0.160	0.125	0.129	0.104	0.111

表 8 岩原鲤形态特征与体质量的灰色关联度

指数	特征										
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
关联度	0.883	0.897	0.866	0.745	0.805	0.795	0.699	0.817	0.773	0.795	0.824
关联序	2	1	3	10	6	8	11	5	9	7	4

3 讨论

3.1 影响岩原鲤体质量的主要形态特征

估计生长相关性状之间的关系是定量遗传学和选择性育种的一个重要问题。本研究分析了岩原鲤 12 个生长相关特征之间的相关性，结果表明这些特征变化丰富，在测量的形态特征中体质量变异系数最大，为 30.66%，其他特征变异系数在 4.79%~15.57%之间，与花鲈^[31]*Lateolabrax maculatus*、斜带石斑鱼^[32]*Epinephelus coioides*、卵形鲳鲹^[33]*Trachinotus ovatus* 和黄鳍金枪鱼^[34]*Thunnus albacores* 等研究结果相近。耿绪云等^[8]认为鱼类育种潜力会随体质量变异系数升高而增大，说明 20 月龄岩原鲤的选育潜力较大，可通过选择育种进行良种选育。在本研究中，观察到所有 12 个生长相关特征均呈显著正相关($p<0.01$)，意味着在岩原鲤育种过程中，通过选择另一个或多个特征来选择一个靶向性状可行。

相关分析结果表明，岩原鲤全长、体长和体高等 11 个形态特征与体质量极显著相关($p<0.01$)，但并非所有形态特征都是影响体质量的主要形态特征。由于相关分析得到的相关系数只能反映变量之间的综合关系，不能真实反映变量之间的因果关系，因此本文利用通径分析来弥补相关分析的不足，将自变量和因变量的总相关系数分为直接效应和间接效应^[3]，可以准确分析与体质量相关的形态特征。通径分析结果表明，在本研究的 11 个形态学特征中，有 3 个(体长、体高和体宽)对体质量有极显著的直接影响($p<0.01$)，

有2个(全长和尾柄高)对体质量有显著的直接影响($p < 0.05$). 其中,体长(X_2)对岩原鲤体质量的直接影响最大;尾柄高(X_{10})对体质量的直接影响最小;从两两作用来看,其他形态特征通过体长对体质量的影响最大. 刘峰等^[35]对小黄鱼 *Pseudosciaena polyactis* 及杨月静等^[36]对齐口裂腹鱼 *Schizothorax prenanti* 的研究结果也表明,体长对体质量的直接影响最大.

在相关分析基础上进行通径分析和决定系数分析时,当各自变量对因变量的单独决定系数与及两两共同决定系数之和大于或等于0.85时,表明影响因变量的主要自变量已纳入研究范围^[37]. 本研究的决定程度分析显示,体长(X_2)对体质量的决定系数最大(0.128),体长(X_2)和体高(X_3)的共同决定系数最大(0.162). 体长(X_2)、体高(X_3)、全长(X_1)、体宽(X_4)和尾柄高(X_{10})的共同决定系数为0.961,说明这些是影响体质量的重要特征. 这一结果与董义超等^[31]对花鲈 *Lateolabrax maculatus*、周康奇等^[38]对广西禾花鲤 *Procypris carpio* 和刘国兴等^[39]对翘嘴鲌 *Siniperca chuatsi* 的研究结果相似,影响体质量的特征集中在鱼体的长度、宽度和高度方面. 研究结果也与较大几何空间有利于鱼体营养物质贮存的经验相符^[40]. 本文还构建了一个最佳拟合的线性多元回归方程,计算公式为: $Y = -93.112 + 2.094 X_1 + 4.063 X_2 + 7.623 X_3 + 4.974 X_4 + 7.260 X_{10}$, 该研究结果可为岩原鲤选择育种提供理论支持和相关测量指标,在其良种选育工作中具有重要意义.

3.2 岩原鲤形态特征与体质量关系的影响因素

曲焕韬等^[3]发现,6月龄岩原鲤的全长、体宽和尾柄高直接影响其体质量(7.53 ± 1.88)g,其中全长对体质量的影响最大. 本研究对岩原鲤首次通过灰色关联分析并结合通径分析显示,体长(X_2)对20月龄岩原鲤体质量影响最大,原因可能是随着鱼体的生长,尾鳍占全长的比例逐渐降低,所以体长对体质量的影响逐渐变大. 在本研究中20月龄岩原鲤体高对体质量的影响较6月龄的大,通常体高增长可使鱼体腹腔体积变大,利于内脏器官生长和营养物质积累. 此外,20月龄岩原鲤体质量变异系数大于6月龄,造成这一差异的原因可能是鱼类在生长中存在异速现象,同种鱼类不同生长时期的特征对体质量的影响不同. 如杨贵强^[41]发现3月、6月、18月和36月龄哲罗鲑体长对体质量的影响最大,而12月龄对体质量影响最大的则是体宽;孙俊龙等^[42]发现6月龄和12月龄草鱼对体质量影响最大的特征分别是体高和体长;牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 在8月龄和14月龄时有3个特征对体质量的通径系数有显著影响,但这3项特征在对应阶段并不完全一致^[6]. 此外,在不同养殖环境中,同种鱼形态特征与体质量之间的关系也存在差异. 李俊伟等^[43]对四指马鲛 *Eleutheronema tetradactylum* 的研究发现,在室内循环水养殖中叉长、体长和头长与体质量的相关程度较大,而在池塘养殖中则是尾柄高和全长. 由此可见,不同遗传背景、养殖环境和生长阶段等因素都会导致影响体质量的主要性状不同. 因此,育种过程要参考发育时期、生长环境和养殖条件进行调整.

在生物进化过程中受基因遗传和环境因子的影响,对于同样体型的鱼来说,影响它们体质量的特征往往相似. 扁平型鱼类,影响牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 体质量的主要形态特征是体高、体厚和体长^[44]. 圆筒型鱼类,影响日本七鳃鳗 *Lampetra japonica* 体质量的主要形态特征是全长、吻长和眼后头长^[45]. 纺锤型鱼类,影响尖吻鲈 *Lates calcarifer* 体质量的主要形态特征是体长和体高^[46]. 在本研究中,影响岩原鲤体质量的主要形态特征包括体长(X_2)、体高(X_3)、全长(X_1)、体宽(X_4)和尾柄高(X_{10}),与以往影响纺锤型鱼体质量的研究相似.

3.3 不同分析方法的比较

通径分析是研究动物形态特征和体质量关系最常用的方法之一. 灰色关联分析适用于小样本数据,同时也能较好地分析特征间影响程度^[23]. 本研究采用通径分析和灰色关联分析方法,研究了岩原鲤形态特征与体质量的关系,通径分析保留了体长(X_2)、体高(X_3)、全长(X_1)、体宽(X_4)和尾柄高(X_{10})这5个形态特征,采用灰色关联分析法得出与体质量关联度较高的5个形态特征有体长(X_2)、全长(X_1)、体高(X_3)、躯干长(X_{11})和吻长(X_8). 不同分析方法对数据的要求及原理不同,得出的结果并不完全一致. 尽管两种方法得到的形态特征对体质量的影响顺序不完全相同,但两种方法的结果都含有体长(X_2)、全长(X_1)、

体高(X_3)这 3 个特征,且对体质量影响最大的特征均为体长.因此,在实际选育工作中,应根据不同目的考虑多种因子的影响,选择合适的统计方法,或采用多种方法进行比较,从而分析确定影响目标特征的关键因素^[26-27].

综合两种分析方法,在对 20 月龄岩原鲤以体质量为主进行选育时,应以体长(X_2)为主要选择特征,全长(X_1)、体高(X_3)为辅助选择特征进行选育.本研究将有助于进一步研究生长相关性状之间的关系,以及对岩原鲤和其他纺锤型鱼类的选择育种.

参考文献:

- [1] 蔡焰值,蔡烨强,何长仁,等.岩原鲤的生物学初步研究[J].水利渔业,2003,24(4):17-19,21.
- [2] 苏旭涛,黄颖颖,何斌,等.岩原鲤不同养殖模式效益的比较[J].四川农业科技,2017(5):47-49.
- [3] 曲焕韬,杨元金,鲁雪报,等.岩原鲤形态性状与体质量的相关性及通径分析[J].水产科学,2018,37(6):769-774.
- [4] 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.
- [5] 王新安,马爱军,庄志猛,等.红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)形态性状对体重的影响效果[J].海洋与湖沼,2013,44(1):135-140.
- [6] 陈红林,田永胜,刘峰,等.不同时期牙鲆形态性状对体重影响的通径分析及曲线拟合研究[J].中国水产科学,2016,23(1):64-76.
- [7] 韩慧宗,姜海滨,王斐,等.许氏平鲈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.
- [8] 耿绪云,马维林,李相普,等.梭鱼(*Lizahaematocheila*)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.
- [9] 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.
- [10] 杨慧赞,文露婷,林勇,等.全雌吉高罗非鱼家系选育及其生长性能分析[J].南方农业学报,2020,51(4):945-952.
- [11] 王海山,叶乐,胡清雨,等.眼斑双锯鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析[J].南方农业学报,2021,52(1):221-227.
- [12] 肖炜,李大宇,邹芝英,等.埃及品系尼罗罗非鱼不同生长阶段形态性状与体重的相关性[J].淡水渔业,2014,44(2):14-19,42.
- [13] 杨璞,穆祥兆,梁拥军,等.长尾琉金金鱼形态性状的相关与通径分析[J].淡水渔业,2011,41(1):83-86.
- [14] 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.
- [15] 张敏莹,刘凯,段金荣,等.太湖秀丽白虾形态性状对体重影响的通径分析[J].中国农学通报,2010,26(21):417-421.
- [16] CAMPOS-MONTES G R, MONTALDO H H, MARTÍNEZ-ORTEGA A, et al. Genetic Parameters for Growth and Survival Traits in Pacific White Shrimp *Penaeus* (*Litopenaeus*) *Vannamei* from a Nucleus Population Undergoing a Two-Stage Selection Program[J]. Aquaculture International, 2013, 21(2): 299-310.
- [17] 刘红,郝敏,孔丹丹,等.不同种群凡纳滨对虾形态性状对体质量的影响[J].水产科学,2016,35(5):466-472.
- [18] MA H Y, MA C Y, MA L B, et al. Correlation of Growth-Related Traits and Their Effects on Body Weight of the Mud Crab (*Scylla Paramamosain*) [J]. Genetics and Molecular Research, 2013, 12(4): 4127-4136.
- [19] 王春琳,吴丹华,崔朝霞,等.三疣梭子蟹选育群 F_2S 表型性状对体质量影响的效果分析[J].海洋科学,2013,37(7):100-108.
- [20] 张根芳,张文府,罗雨,等.不同月龄三角帆蚌形态性状及体重的主成分与判别分析[J].淡水渔业,2018,48(6):101-107.
- [21] YOU W W, KE C H, LUO X, et al. Genetic Correlations to Morphological Traits of Small Abalone *Haliotis Diversicolor* [J]. Journal of Shellfish Research, 2010, 29(3): 683-686.
- [22] 黄小林,张殿昌,林黑着,等.池塘养殖卵形鲳鲹早期形态性状与体质量的灰色关联分析[J].南方农业学报,2018,49(5):1016-1022.

- [23] 刘峰,楼宝,陈睿毅,等. 小黄鱼形态性状与体质量的灰色关联分析[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(1): 131-137.
- [24] 杨涛,周琴,姜东,等. 灰色关联分析法在不同小麦品种饼干品质评价中的应用[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(4): 464-472.
- [25] 孙建,周红英,应国勇,等. 早稻茬秋芝麻单株产量相关性状的灰色关联分析及综合评价[J]. 南方农业学报, 2020, 51(1): 56-64.
- [26] 刘永新,刘英杰,周勤,等. 牙鲆主要生长性状与体质量的灰色关联度分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(2): 205-213.
- [27] 黄小林,张栋国,林黑着,等. 网箱养殖点篮子鱼形态性状与体质量灰色关联分析[J]. 水产科学, 2019, 38(1): 61-66.
- [28] 杜家菊,陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- [29] 袁志发,周静芋,郭满才,等. 决策系数——通径分析中的决策指标[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(5): 131-133.
- [30] 李哲,敬庭森,李雨,等. 长吻(鱼危)形态性状对体质量的影响[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 98-105.
- [31] 董义超,盛伟博,于会国,等. 花鲈幼鱼形态性状与体质量影响关系的通径分析[J]. 水产学杂志, 2021, 34(1): 29-34, 39.
- [32] 赵旺,杨蕊,胡静,等. 5月龄斜带石斑鱼形态性状对体质量影响的通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(5): 557-562.
- [33] 程大川,郭华阳,马振华,等. 3月龄卵形鲳鲹形态性状对体质量的影响分析[J]. 海洋渔业, 2016, 38(1): 26-34.
- [34] 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.
- [35] 刘峰,陈琳,楼宝,等. 小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(3): 655-662.
- [36] 杨月静,向梦斌,刘庭,等. 13月龄养殖齐口裂腹鱼形态性状与体质量的关系[J]. 河南农业科学, 2019, 48(6): 139-144.
- [37] 刘小林,常亚青,相建海,等. 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, 2002, 33(6): 673-678.
- [38] 周康奇,潘贤辉,林勇,等. 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, 2020, 49(9): 159-165.
- [39] 刘国兴,孙海峰,郑友,等. 30日龄翘嘴鳊形态性状与体质量之间的关系[J]. 水产养殖, 2019, 40(10): 6-11.
- [40] 姜绪,林香青,马惠,等. 5月龄大口黑鲈形态性状与体重的相关及通径分析[J]. 山东农业科学, 2020, 52(5): 124-129.
- [41] 杨贵强. 不同月龄哲罗鲑主要形态性状与体重的关系[J]. 动物学杂志, 2016, 51(5): 876-886.
- [42] 孙俊龙,沈玉帮,傅建军,等. 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, 2015, 24(3): 341-349.
- [43] 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.
- [44] 严福升,王志刚,刘旭东,等. 3月龄牙鲆形态性状对体质量的通径分析[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 45-50.
- [45] 李军,董彦娇,韩英伦,等. 东北七鳃鳗和日本七鳃鳗成体形态性状对体质量的影响分析[J]. 海洋学报, 2017, 39(4): 61-71.
- [46] GJEDREM T. Genetic Improvement for the Development of Efficient Global Aquaculture: a Personal Opinion Review[J]. Aquaculture, 2012, 344: 12-22.