

黑鲟形态性状对体质量影响的相关性分析

肖李霞¹, 汤晓建², 张志伟², 胡振新¹, 秦亚丽², 任忠宏², 张志勇²

¹启东市渔业技术推广站, 江苏 启东

²江苏省海洋水产研究所 江苏省海水鱼类遗传育种重点实验室, 江苏 南通
Email: zhzhwei2005@126.com, 583984965@qq.com, 116451852@qq.com

收稿日期: 2020年12月25日; 录用日期: 2021年1月19日; 发布日期: 2021年1月27日

摘要

随机选取12月龄大小两种不同规格黑鲟各69尾(大规格平均体长16.94 cm、平均体重70.98 g; 小规格平均体长13.14 cm、平均体重39.27 g), 分别测定其体质量(Y)和全长(X₁)、体长(X₂)、头长(X₃)、吻长(X₄)、眼径(X₅)、眼间距(X₆)、眼后头长(X₇)、体高(X₈)、体厚(X₉)、尾柄长(X₁₀)、尾柄高(X₁₁)共11个形态性指标。采用相关分析、通径分析和多元回归分析方法, 分别计算了黑鲟形态性状对体质量的相关系数、通径系数和决定系数。结果表明: 大小不同规格黑鲟体质量和全长、体长、头长、吻长、眼径、眼间距、眼后头长、体高、体厚、尾柄长、尾柄高11个形态性状之间的相关性系数分别为0.292~0.836, 0.132~0.464, 都达到极显著水平(P < 0.01); 通径分析表明, 大规格黑鲟有2个形态性状(全长和体高)对体质量的通径系数达到极显著水平(P < 0.01), 小规格黑鲟仅有眼间距一个形态性状对体质量的通径系数达到极显著水平(P < 0.01); 决定系数分析结果表明, 大规格黑鲟全长和体高的决定系数较大, 其中全长对体质量的决定系数最大(0.476), 体高主要通过全长影响体质量, 小规格黑鲟眼间距的决定系数较大, 其中眼间距对体质量的决定系数最大(0.471)。决定系数分析结果与通径分析结果的变化趋势相一致; 大小不同规格所选形态性状与体质量的相关指数分别为R² = 0.222、R² = 0.736, 说明所选性状是影响体质量的主要性状。应用逐步多元回归分析, 经偏回归系数的显著性检验, 对大规格黑鲟建立以体质量为因变量(Y), 全长(X₁)和体高(X₈)为自变量的多元回归方程: $\lg Y = 156.340 + 7.968 \lg X_1 + 1.738 X_8$, 对小规格黑鲟建立以体质量为因变量(Y), 眼间距(X₆)为自变量的多元回归方程: $\lg Y = 14.041 + 2.343 \lg X_6$ 。经回归预测大小规格估计值与实际值间的差异不显著(P > 0.05), 该方程可用于黑鲟实际生产, 为黑鲟良种选育提供理论依据和测量指标。

关键词

黑鲟, 形态性状, 相关分析, 通径分析, 多元回归方程

Analysis of Effects of Morphometric Traits on Body Weight of *Acanthopagrus schlegelii*

Lixia Xiao¹, Xiaojian Tang², Zhiwei Zhang², Zhenxin Hu¹, Yali Qin², Zhonghong Ren², Zhiyong Zhang²

¹Qidong Fishery Technology Extension Station, Qidong Jiangsu

文章引用: 肖李霞, 汤晓建, 张志伟, 胡振新, 秦亚丽, 任忠宏, 张志勇. 黑鲟形态性状对体质量影响的相关性分析[J]. 农业科学, 2021, 11(1): 35-45. DOI: 10.12677/hjas.2021.111006

²Jiangsu Institute of Marine Fisheries, Key Laboratory on Marine Fisheries Genetic and Breeding of Jiangsu Province, Nantong Jiangsu
Email: zhzhwei2005@126.com, 583984965@qq.com, 116451852@qq.com

Received: Dec. 25th, 2020; accepted: Jan. 19th, 2021; published: Jan. 27th, 2021

Abstract

Two groups of 69 black porgies (large group with average body length 16.94 cm and body weight 70.98 g; small group with average body length 13.14 cm and body weight 39.27 g) were selected randomly and measured, which were at the same age (12-month old) but in different sizes. Eleven morphological characteristics were measured, including body weight (Y) and full-length (X_1), body length (X_2), head length (X_3), snout length (X_4), eye diameter (X_5), interorbital distance (X_6), the head length behind two eyes (X_7), body height (X_8), body thickness (X_9), the length of caudal peduncle (X_{10}) and the height of caudal peduncle (X_{11}). By ways of correlation analysis, path analysis and multivariate regression analysis, those parameters were calculated including the correlation coefficient, path coefficient, and coefficient of determination of body weight (Y) and morphological characters of these black porgies respectively. The results show that the correlation coefficients between body weight and the eleven morphological characters above are 0.292~0.836 and 0.132~0.464 respectively among these two different size black porgies, all of which show significant difference ($P < 0.01$). According to the results of the path analysis, as for these bigger-size black porgies, the path coefficient of body weight (Y) and two morphological indicators, full-length (X_1) and body height (X_8), reaches the most significant point ($P < 0.01$). As for these smaller-size group, only the path coefficient of body weight (Y) and interorbital distance (X_6) reaches the most significant point ($P < 0.01$). According to the results of the correlation analysis, the coefficient of determination of body weight (Y) and full-length (X_1) and the coefficient of determination of body weight (Y) and body height (X_8) are higher, of which the coefficient of body weight (Y) and full-length (X_1) is the highest (0.476). In addition, the body weight (Y) is mainly influenced by body height (X_8) through full-length (X_1). The coefficient of determination of body weight (Y) and interorbital distance (X_6) among smaller ones is higher, and that of body weight (Y) and interorbital distance (X_6) is the highest (0.471). The analysis of coefficient of determination is consistent with that of the path coefficient. For these different-size black porgies, the coefficient of determination of body weight (Y) and morphological indicators are $R^2 = 0.222$ and $R^2 = 0.736$ respectively, which indicates that the morphological characteristics we choose are the main characters that affect the body weight (Y) of black porgies. By step-by-step multiple regression analysis, partial regression coefficient and the establishment of main multivariate regression equation are $\lg Y = 156.340 + 7.968 \lg X_1 + 1.738 X_8$ (the dependent variable is body weight (Y), the independent variables are full-length (X_1) and body height (X_8)), as well as the establishment of subordinate multivariate regression equation is $\lg Y = 14.041 + 2.343 \lg X_6$ (the dependent variable is body weight (Y), the independent variable is interorbital distance (X_6)). There are a few differences between the estimate of the regression prediction and the experimental data ($P > 0.05$). We can draw a conclusion that the equation can be used to provide theoretical basis and measurement index for the selection and production of black porgies.

Keywords

Black Bream, Morphological Traits, Correlation Analysis, Path Analysis, Multiple Regression Equation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)属于鲈形目(Perciformes), 鲷科(Sparidae), 黑鲷属, 俗称海鲫、黑加吉、乌颊、黑立、铜盆鱼等。广泛分布于北太平洋西部, 日本, 韩国, 中国大陆及台湾等地之沿岸, 港湾及河口, 属内湾性鱼类[1]。中国沿海均有分布, 其中以黄、渤海产量较多, 主要渔场在山东沿海, 常与其他鱼类混杂一起被捕获, 渔期在春、秋两季。黑鲷为高级海水经济鱼类, 对环境适应能力较强, 温度、盐度适应范围广, 为广温广盐性品种。早在 1959 年, 黄海水产研究所和中科院海洋研究所在山东省日照市利用海区性腺成熟的黑鲷进行人工授精, 孵化试验取得初步成功。1960 年中科院海洋研究所以黑鲷天然授精卵为材料在室内进行孵化育苗试验, 对黑鲷卵子以及仔、稚、幼鱼的形态进行了观察。江苏省海洋研究所在 1984 年突破了黑鲷全人工繁殖技术, 育苗及养成技术上均取得较大的进展[2]。

通径系数分析法是一种探索系统因果关系的统计方法, 现已广泛应用于对遗传力、遗传相关、近交系数、亲缘系数、确定综合选择指数、复合育种值、剖分性状间的相关系数等方面的研究。通过对生长性状间相关关系的研究, 对形态性状间的关系进行定量, 可以提高育种效率。目前, 已在大黄鱼(*Larimichthys crocea*) [3] [4]、斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*) [5]、条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*) [6]、石斑鱼(*Epinephelus* sp.) [7] [8]、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*) [9]、淡水黑鲷(*Hephaestus fuliginosus*) [10]、不同性别虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) [11]、中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*) [12]、日本囊对虾(*Austropotamobius pallipes*) [13]、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*) [14]等水产动物上得到有效应用, 但尚未见黑鲷在这方面研究的相关报道。本研究测定了大小不同规格的 12 月龄黑鲷各 69 条的表型数据, 分析全长、体长、头长等形态性状对体质量的直接及间接影响, 旨在揭示不同性状之间的相互关系, 为黑鲷的品种培育提供基础数据。

2. 材料与方法

2.1. 材料

参照杨丽东等[10]对淡水黑鲷的研究, 2017 年 4 月 5 日~4 月 7 日在江苏省海水增养殖技术及种苗中心采集大、小不同规格黑鲷样本各 69 尾, 对其数量性状进行测量, 全长(X_1)、体长(X_2)测量用直尺(精确至 0.1 cm)测量, 头长(X_3)、吻长(X_4)、眼径(X_5)、眼间距(X_6)、眼后头长(X_7)、体高(X_8)、体厚(X_9)、尾柄长(X_{10})、尾柄高(X_{11})用电子游标卡尺(精确至 0.01 cm)测量, 体质量(Y)测量用电子天平(精度为 0.1 g)进行测量。

2.2. 数据处理

数据处理主要参照韩慧宗[15]的方法进行, 采用 Excel 软件和 SPSS 22.0 对不同月龄黑鲷的体质量和形态学指标等数据分别进行统计和主成分分析, 得到相关系数、通径系数。再通过逐步回归分析及 F 检验建立回归方程。显著性检验以 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

3. 结果与分析

3.1. 各性状间的表型参数

69 尾小规格黑鲷样本的形态性状数据经过初步整理后, 各性状统计量表明, 尾柄高的变异系数最大(32.59%), 其次是体厚(16.10%), 体质量的变异系数第三(13.84%), 体质量的选择潜力较小, 眼径的变异系数最小(8.34%), 除尾柄高外, 其他性状变异系数比较接近(表 1)。

Table 1. Phenotypic characters of *Acanthopagrus schlegelii* in small group**表 1.** 小规格黑鲷表型性状

	平均值(MN)	标准差(SD)	变异系数(CV)
全长(X ₁)/cm	13.1435	1.3885	10.56%
体长(X ₂)/cm	10.9217	1.2285	11.25%
头长(X ₃)/cm	33.4577	3.1138	9.31%
吻长(X ₄)/cm	10.5210	1.2843	12.21%
眼径(X ₅)/cm	10.0720	0.8396	8.34%
眼间距(X ₆)/cm	10.7690	1.0940	10.16%
眼后头长(X ₇)/cm	14.3462	1.6913	11.79%
体高(X ₈)/cm	40.2826	4.8340	12.00%
体厚(X ₉)/cm	15.5808	2.5092	16.10%
尾柄长(X ₁₀)/cm	20.9543	2.8868	13.78%
尾柄高(X ₁₁)/cm	12.0018	3.9108	32.59%
体质量(Y)/g	39.2714	5.4367	13.84%

69尾大规格黑鲷样本的形态性状数据经过初步整理后,各性状统计量表明,体质量的变异系数最大(23.75%),说明体质量具有较大的选择潜力,头长的变异系数最小(5.82%),除体质量外,其他各性状的变异系数比较接近(表 2)。

Table 2. Phenotypic characters of *Acanthopagrus schlegelii* in big group**表 2.** 大规格黑鲷表型性状

	平均值(MN)	标准差(SD)	变异系数(CV)
全长(X ₁)/cm	16.9377	1.0069	5.94%
体长(X ₂)/cm	14.2420	0.9432	6.62%
头长(X ₃)/cm	41.3486	2.4078	5.82%
吻长(X ₄)/cm	13.7401	1.3367	9.73%
眼径(X ₅)/cm	11.3299	1.1880	10.49%
眼间距(X ₆)/cm	13.0828	1.0524	8.04%
眼后头长(X ₇)/cm	17.9015	1.7476	9.76%
体高(X ₈)/cm	53.1424	3.9549	7.44%
体厚(X ₉)/cm	20.4495	2.0841	10.19%
尾柄长(X ₁₀)/cm	26.2251	2.6725	10.19%
尾柄高(X ₁₁)/cm	14.9201	1.2094	8.11%
体质量(Y)/g	70.9794	16.8549	23.75%

比较不同规格黑鲷样本各性状间的表型参数可发现,不同规格样本之间的相同性状的变异系数差别较大。

3.2. 各性状间的相关分析

对小规格黑鲷各性状进行相关分析,开展显著性检验,结果显示:各性状间的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$) (表 3)。其中, X₂ 和 X₁ 的相关系数最大(0.986), Y 和 X₁₁ 的相关系数最小(0.132); 各形态

性状与体质量的相关系数由大到小依次为 X_6 、 X_2 、 X_1 、 X_9 、 X_3 、 X_7 、 X_8 、 X_4 、 X_{10} 、 X_5 、 X_{11} ，其中 X_6 与 Y 的相关系数最大(0.471)， X_{11} 与 Y 的相关系数最小(0.132)(表 3)。

Table 3. Correlation coefficients between the attributes of *Acanthopagrus schlegelii* in small group

表 3. 小规格黑鲷各性状间的关系

	全长 (X_1)	体长 (X_2)	头长 (X_3)	吻长 (X_4)	眼径 (X_5)	眼间距 (X_6)	眼后头长 (X_7)	体高 (X_8)	体厚 (X_9)	尾柄长 (X_{10})	尾柄高 (X_{11})	体质量 (Y)
全长(X_1)	1.000	0.986**	0.926**	0.659**	0.727**	0.812**	0.856**	0.939**	0.889**	0.817**	0.416**	0.454**
体长(X_2)		1.000	0.917**	0.654**	0.710**	0.800**	0.848**	0.937**	0.882**	0.833**	0.407**	0.464**
头长(X_3)			1.000	0.718**	0.762**	0.762**	0.839**	0.874**	0.842**	0.700**	0.385**	0.426**
吻长(X_4)				1.000	0.583**	0.545**	0.511**	0.629**	0.599**	0.535**	0.217**	0.343**
眼径(X_5)					1.000	0.506**	0.638**	0.725**	0.673**	0.537**	0.258**	0.281**
眼间距(X_6)						1.000	0.750**	0.810**	0.787**	0.66**	0.415**	0.471**
眼后头长(X_7)							1.000	0.824**	0.751**	0.677**	0.306**	0.393**
体高(X_8)								1.000	0.888**	0.784**	0.472**	0.363**
体厚(X_9)									1.000	0.641**	0.463**	0.430**
尾柄长(X_{10})										1.000	0.317**	0.340**
尾柄高(X_{11})											1.000	0.132**
体质量(Y)												1.000

注: **表示相关性极显著($P < 0.01$)。

对大规格黑鲷各性状进行相关分析，开展显著性检验，结果显示：各性状间相关性均达到极显著水平($P < 0.01$)(表 4)。其中， X_2 和 X_1 的相关系数最大(0.947)， X_{10} 和 X_7 的相关系数最小(0.154)；与体质量的相关系数由大到小依次为 X_1 、 X_8 、 X_2 、 X_3 、 X_{11} 、 X_4 、 X_9 、 X_{10} 、 X_6 、 X_7 、 X_5 ，其中 X_1 与 Y 的相关系数最大(0.836)， X_5 与 Y 的相关系数最小(0.292)(表 4)。

Table 4. Correlation coefficients between the attributes of *Acanthopagrus schlegelii* in big group

表 4. 大规格黑鲷各性状间的关系

	全长 (X_1)	体长 (X_2)	头长 (X_3)	吻长 (X_4)	眼径 (X_5)	眼间距 (X_6)	眼后头 长(X_7)	体高 (X_8)	体厚 (X_9)	尾柄长 (X_{10})	尾柄高 (X_{11})	体质量 (Y)
全长(X_1)	1.000	0.947**	0.837**	0.791**	0.297**	0.628**	0.461**	0.883**	0.604**	0.661**	0.779**	0.836**
体长(X_2)		1.000	0.821**	0.756**	0.267**	0.623**	0.450**	0.845**	0.563**	0.651**	0.753**	0.814**
头长(X_3)			1.000	0.777**	0.396**	0.541**	0.667**	0.814**	0.507**	0.408**	0.705**	0.742**
吻长(X_4)				1.000	0.327**	0.568**	0.411**	0.711**	0.471**	0.465**	0.553**	0.669**
眼径(X_5)					1.000	0.209**	0.155**	0.329**	0.246**	0.286**	0.256**	0.292**
眼间距(X_6)						1.000	0.297**	0.565**	0.392**	0.498**	0.508**	0.593**
眼后头长(X_7)							1.000	0.522**	0.440**	0.154**	0.503**	0.484**
体高(X_8)								1.000	0.613**	0.510**	0.701**	0.828**
体厚(X_9)									1.000	0.408**	0.550**	0.603**
尾柄长(X_{10})										1.000	0.498**	0.601**
尾柄高(X_{11})											1.000	0.696**
体质量(Y)												1.000

注: **表示相关性极显著($P < 0.01$)。

3.3. 各形态性状对体质量通径系数及相关系数剖分

相关系数仅表明两个性状的密切程度,而通径分析则可以确定自变量与因变量的线性的关系。本研究计算了大小不同规格黑鲷各形态性状对体质量的通径系数。经显著性检验,小规格黑鲷眼间距的通径系数最大(0.471),眼间距对体质量的通径系数达到了极显著水平($P < 0.01$), (表 5)。大规格黑鲷全长、体高对体质量的通径系数达到了极显著水平($P < 0.01$),全长的通径系数最大(0.476) (表 6)。

相关系数可以剖分为直接作用(通径系数)和间接作用两部分。小规格黑鲷眼间距对体质量的直接作用(0.471)大于间接作用(0.396),除眼间距外,其他各形态性状对体质量的直接作用均小于间接作用。对体质量直接作用最大的是眼间距,对体质量间接作用最大的是体高(0.459),其次是体厚(0.435),且体长和体厚对体质量的直接影响均为负向作用(表 5)。

Table 5. Effects of every morphometric attributes on body weight of *Acanthopagrus schlegelii* in small group
表 5. 小规格黑鲷各性状对体质量的影响

性状	相关系数	直接作用	间接影响										
			全长(X ₁)	体长(X ₂)	头长(X ₃)	吻长(X ₄)	眼径(X ₅)	眼间距(X ₆)	眼后头长(X ₇)	体高(X ₈)	体厚(X ₉)	尾柄长(X ₁₀)	尾柄高(X ₁₁)
全长(X ₁)	0.454**	0.139	—	0.162	0.107	0.076	0.040	0.383	0.058	-0.034	0.096	0.036	-0.033
体长(X ₂)	0.464**	0.164	0.137	—	0.106	0.076	0.039	0.037	0.058	-0.034	0.095	0.037	-0.032
头长(X ₃)	0.426**	0.116	0.129	0.150	—	0.083	0.042	0.036	0.057	-0.032	0.091	0.031	-0.030
吻长(X ₄)	0.343**	0.116	0.092	0.107	0.083	—	0.032	0.257	0.035	-0.023	0.065	0.024	-0.017
眼径(X ₅)	0.281**	0.055	0.101	0.116	0.085	0.068	—	0.238	0.043	-0.026	0.073	0.024	-0.020
眼间距(X ₆)	0.471**	0.471**	0.113	0.131	0.088	0.063	0.028	—	0.051	-0.029	0.085	0.029	-0.033
眼后头长(X ₇)	0.393**	0.068	0.119	0.139	0.097	0.059	0.035	0.353	—	-0.030	0.081	0.030	-0.024
体高(X ₈)	0.363**	-0.036	0.131	0.154	0.101	0.073	0.040	0.382	0.056	—	0.096	0.035	-0.037
体厚(X ₉)	0.430**	0.108	0.124	0.145	0.098	0.070	0.037	0.371	0.051	-0.032	—	0.028	-0.037
尾柄长(X ₁₀)	0.340**	0.044	0.114	0.137	0.081	0.062	0.030	0.311	0.046	-0.028	0.069	—	-0.025
尾柄高(X ₁₁)	0.132**	-0.079	0.058	0.067	0.045	0.025	0.014	0.196	0.021	-0.017	0.050	0.014	—

注: **表示相关性极显著($P < 0.01$)。

大规格黑鲷全长对体质量的直接作用(0.476)大于间接作用(0.388);除全长外,大规格黑鲷各形态性状对体质量的直接作用均小于间接作用。对体质量间接作用最大的是体长(0.378),其次是体高(0.357)。在各形态性状对体质量的间接影响中,通过全长所产生的间接作用均为最大(表 6)。

Table 6. Effects of every morphometric attributes on body weight of *Acanthopagrus schlegelii* in big group
表 6. 大规格黑鲷各性状对体质量的影响

性状	相关系数	直接作用	间接影响										
			全长(X ₁)	体长(X ₂)	头长(X ₃)	吻长(X ₄)	眼径(X ₅)	眼间距(X ₆)	眼后头长(X ₇)	体高(X ₈)	体厚(X ₉)	尾柄长(X ₁₀)	尾柄高(X ₁₁)
全长(X ₁)	0.836**	0.476**	—	0.105	0.037	0.006	0.010	0.099	0.054	0.360	0.098	0.137	0.094
体长(X ₂)	0.814**	0.111	0.451	—	0.036	0.005	0.009	0.098	0.053	0.345	0.092	0.135	0.091
头长(X ₃)	0.742**	0.044	0.398	0.091	—	0.005	0.013	0.085	0.079	0.332	0.083	0.084	0.085
吻长(X ₄)	0.669**	0.007	0.377	0.084	0.034	—	0.011	0.090	0.048	0.290	0.077	0.096	0.067
眼径(X ₅)	0.292**	0.033	0.141	0.030	0.017	0.002	—	0.033	0.018	0.134	0.040	0.059	0.031

Continued

眼间距(X ₆)	0.593**	0.158	0.299	0.069	0.024	0.004	0.007	—	0.035	0.231	0.064	0.103	0.061
眼后头长(X ₇)	0.484**	0.118	0.219	0.050	0.029	0.003	0.005	0.047	—	0.213	0.072	0.032	0.061
体高(X ₈)	0.828**	0.408**	0.420	0.094	0.036	0.005	0.011	0.089	0.062	—	0.100	0.106	0.085
体厚(X ₉)	0.603**	0.163	0.288	0.062	0.022	0.003	0.008	0.062	0.052	0.250	—	0.084	0.067
尾柄长(X ₁₀)	0.601**	0.207	0.315	0.072	0.018	0.003	0.009	0.079	0.018	0.208	0.067	—	0.060
尾柄高(X ₁₁)	0.696**	0.121	0.371	0.084	0.031	0.004	0.008	0.080	0.059	0.286	0.090	0.060	—

注: **表示相关性极显著(P < 0.01)。

3.4. 各形态性状对体质量的决定程度分析

眼间距对小规格黑鲟体质量的决定系数最大(0.222), 占比为 22.72%; 其次为体长(0.027), 占 2.76%; 体厚对体质量的决定系数最小(0.001), 占 0.1%。在共同决定系数中, 眼间距和全长的共同决定系数最大(0.106), 占比为 10.85%; 其次是眼间距和体厚的共同决定系数(0.080), 占 8.19%。各性状的单独决定系数和两两共同决定系数总和 $\Sigma d = 0.977$ (表 7)。

Table 7. Determinant coefficient of every morphometric attributes on body weight of *Acanthopagrus schlegelii* in small group

表 7. 小规格黑鲟各形态性状对体质量的决定系数

性状	全长(X ₁)	体长(X ₂)	头长(X ₃)	吻长(X ₄)	眼径(X ₅)	眼间距(X ₆)	眼后头长(X ₇)	体高(X ₈)	体厚(X ₉)	尾柄长(X ₁₀)	尾柄高(X ₁₁)
全长(X ₁)	0.019	0.045	0.030	0.021	0.011	0.106	0.016	-0.009	0.027	0.010	-0.009
体长(X ₂)		0.027	0.035	0.025	0.013	0.012	0.019	-0.011	0.031	0.012	-0.011
头长(X ₃)			0.013	0.019	0.010	0.008	0.013	-0.007	0.021	0.007	-0.007
吻长(X ₄)				0.013	0.007	0.060	0.008	-0.005	0.015	0.005	-0.004
眼径(X ₅)					0.003	0.026	0.005	-0.003	0.008	0.003	-0.002
眼间距(X ₆)						0.222	0.048	-0.028	0.080	0.027	-0.031
眼后头长(X ₇)							0.005	-0.004	0.011	0.004	-0.003
体高(X ₈)								0.001	-0.007	-0.002	0.003
体厚(X ₉)									0.012	0.006	-0.008
尾柄长(X ₁₀)										0.002	-0.002
尾柄高(X ₁₁)											0.006

注: 对角线上的数值是单个性状对体质量的决定系数, 位于对角线右上方的数值是两两性状对体质量的共同决定系数。

全长对大规格黑鲟体质量的决定系数最大(0.227), 占比为 27.48%; 其次为体高(0.166), 占 20.10%; 眼径对体质量的决定系数最小(0.00049), 占不到 0.1%。在共同决定系数中, 全长和体高的共同决定系数最大(0.343), 占比为 41.53%; 其次是全长和尾柄长的共同决定系数(0.130), 占 15.74%。各性状的单独决定系数和两两共同决定系数总和 $\Sigma d = 0.826$ (表 8)。

3.5. 多元回归方程

运用逐步多元线性回归法, 对各形态性状的偏回归系数进行显著性检验, 去除偏回归系数不显著的性状, 保留显著或极显著的性状, 建立最优的多元回归方程。

Table 8. Determinant coefficient of every morphometric attributes on body weight of *Acanthopagrus schlegelii* in big group
表 8. 大规格黑鲷各形态性状对体质量的决定系数

性状	全长 (X ₁)	体长 (X ₂)	头长 (X ₃)	吻长 (X ₄)	眼径 (X ₅)	眼间距 (X ₆)	眼后头长 (X ₇)	体高 (X ₈)	体厚 (X ₉)	尾柄长 (X ₁₀)	尾柄高 (X ₁₁)
全长(X ₁)	0.227	0.100	0.035	0.006	0.010	0.094	0.051	0.343	0.093	0.130	0.089
体长(X ₂)		0.012	0.008	0.001	0.002	0.022	0.012	0.077	0.020	0.030	0.020
头长(X ₃)			0.002	0.000	0.001	0.007	0.007	0.029	0.007	0.007	0.007
吻长(X ₄)				0.000049	0.001	0.006	0.003	0.019	0.005	0.006	0.004
眼径(X ₅)					0.001	0.010	0.006	0.042	0.013	0.019	0.010
眼间距(X ₆)						0.025	0.008	0.055	0.015	0.024	0.014
眼后头长(X ₇)							0.014	0.174	0.059	0.026	0.050
体高(X ₈)								0.166	0.082	0.086	0.069
体厚(X ₉)									0.027	0.027	0.022
尾柄长(X ₁₀)										0.043	0.025
尾柄高(X ₁₁)											0.015

注：对角线上的数值是单个性状对体质量的决定系数，位于对角线右上方的数值是两两性状对体质量的共同决定系数。

小规格黑鲷的多元回归方程为：

$$\lg Y = 14.041 + 2.343 \lg X_6$$

式中：Y 表示体质量(g)，X₆ 为眼间距(表 9)。

Table 9. Significance test of partial regression coefficients of *Acanthopagrus schlegelii* in small group
表 9. 小规格黑鲷偏回归系数显著性检验

偏回归分析	常量	全长 (X ₁)	体长 (X ₂)	头长 (X ₃)	吻长 (X ₄)	眼径 (X ₅)	眼间距 (X ₆)	眼后头长 (X ₇)	体高 (X ₈)	体厚 (X ₉)	尾柄长 (X ₁₀)	尾柄高 (X ₁₁)
偏回归系数	14.041	0.210	0.241	0.159	0.122	0.057	2.343	0.091	-0.055	0.155	0.052	-0.077
t 值	2.423	1.138	1.35	0.953	0.948	0.451	4.376	0.555	-0.295	0.885	0.358	-0.644
显著性	0.018	0.259	0.182	0.344	0.347	0.654	0	0.581	0.769	0.38	0.721	0.522

该回归方程的相关指数 $R^2 = 0.736$ ，说明方程拟合度较好(表 10)。方差分析(ANOVA)结果表明(表 11)，回归关系达到极显著水平($P = 0.000 < 0.01$)。

Table 10. Multiple-correlation coefficients between the morphological traits and weight of *Acanthopagrus schlegelii* in small group
表 10. 小规格黑鲷形态性状鱼体质量的复相关分析

复相关系数(R)	相关指数(R ²)	校正决定系数(Adjusted R ²)	标准差(SD)
0.858	0.736	0.728	8.794183

Table 11. ANOVA of multiple regression equation of *Acanthopagrus schlegelii* in small group
表 11. 小规格黑鲷多元回归方程的方差分析

指标	总平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F 值	显著性
回归	446.727	1	446.727	19.147	0.000
残差	1563.221	67	23.332		
总计	2009.948	68			

运用逐步多元线性回归法, 对各形态性状的偏回归系数进行显著性检验, 去除偏回归系数不显著的性状, 保留显著或极显著的性状, 建立最优的多元回归方程。

大规格黑鲷的多元回归方程为:

$$\lg Y = 156.340 + 7.968 \lg X_1 + 1.738 X_8$$

式中: Y 表示体质量(g), X_1 为全长, X_8 为体高(表 12)。

Table 12. Significance test of partial regression coefficients of *Acanthopagrus schlegelii* in big group

表 12. 大规格黑鲷偏回归系数显著性检验

偏回归分析	常量	全长(X_1)	体长(X_2)	头长(X_3)	吻长(X_4)	眼径(X_5)	眼间距(X_6)	眼后头长(X_7)	体高(X_8)	体厚(X_9)	尾柄长(X_{10})	尾柄高(X_{11})
偏回归系数	156.340	7.968	0.178	0.043	0.006	0.018	0.105	0.071	1.738	0.108	0.145	0.099
t 值	8.563	3.528	0.902	0.353	0.059	0.269	1.292	0.962	3.023	1.335	1.710	0.984
显著性	0.000	0.001	0.370	0.726	0.953	0.789	0.201	0.340	0.004	0.186	0.092	0.121

该回归方程的相关指数 $R^2 = 0.222$, 说明方程拟合度较低(表 13)。方差分析(ANOVA)结果表明(表 14), 回归关系达到极显著水平($P = 0.000 < 0.01$)。

Table 13. Multiple-correlation coefficients between the morphological traits and weight of *Acanthopagrus schlegelii* in big group

表 13. 大规格黑鲷形态性状鱼体质量的复相关分析

复相关系数(R)	相关指数(R^2)	校正决定系数(Adjusted R^2)	标准差(SD)
0.471	0.222	0.211	4.830285

Table 14. ANOVA of multiple regression equation of *Acanthopagrus schlegelii* in big group

表 14. 大规格黑鲷多元回归方程的方差分析

指标	总平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F 值	显著性
回归	446.727	1	446.727	19.147	0.000
残差	1563.221	67	23.332		
总计	2009.948	68			

4. 讨论

相关分析、通径分析以及多元线性分析可以明确各变量间的相关性, 在生物育种工作中, 通过分析物种体质量与其他可量性状间的关系, 可以确定选育指标。在本研究中, 大小两种不同规格黑鲷的形态性状与体质量的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$), 但是进一步的通径分析表明, 小规格黑鲷的眼间距对体质量的直接影响达到极显著水平($P < 0.01$), 其他性状对体质量的直接影响都不显著; 大规格黑鲷的全长和体高对体质量的直接影响达到极显著水平($P < 0.01$), 其他性状对体质量的直接影响都不显著。因此, 需要综合运用多元分析方法, 从而进一步找出影响体质量的主要形态性状。本文综合通径分析和多元回归分析, 结果显示, 多元回归分析与通径分析的结果相互吻合, 全长和体高是影响大规格黑鲷体质量的主要性状, 而眼间距则是影响小规格黑鲷体质量的主要性状。

在海水经济鱼类相关研究中, Deboski 等[16]分析了大西洋鲑鱼(*Salmo salar*)的体长、体重、体高间的相关性及形态性状与体脂肪含量的相关性, 并通过多元回归分析, 实现以形态性状为自变量对体脂肪含

量的估计。Harue 等[17]分析了 447 尾 3 月龄至 28 月龄不同阶段真鲷体长、体重和脂肪含量的关系，并建立了体长、体重间的线性回归方程，本文则研究了相同月龄不同规格的黑鲷不同形态性状与体质量的关系，建立了线性回归方程，对不同发育阶段的黑鲷群体选育指标的确定具有重要指导意义。张庆文等[18]研究了不同发育阶段的大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)体重、体长和全长的相关性，并运用逐步回归的方法建立了以体重为依变量，以体长和全长为自变量的多元回归方程，本研究的结果与之相一致。

在本研究中，大、小规格黑鲷各形态性状的 Σd 分别为：0.826 和 0.977，表明所测量的性状中包含了影响体质量的主要性状。经过通径分析，相关分析筛选出影响小规格黑鲷的主要性状是眼间距，影响大规格黑鲷的主要性状是全长和体高，其他剔除的性状对不同规格黑鲷的体质量影响较小。根据实际生产表明眼间距对体质量的鉴定辨识度较低，因此剔除眼间距作为影响体质量的主要性状。

通过本研究，在黑鲷选育过程中，可以选择全长和体高作为主要的选育指标，以实现提高生长速度，达到增重的目标。

基金项目

江苏省农业重大新品种创制项目(PZCZ201744)，江苏省“333 工程”科研资助项目(BRA2020372)，江苏省水产良种保种与亲本更新项目(2020-SJ-006-07)，南通市基础研究计划项目(JC2019056)。

参考文献

- [1] 朱德芬. 黑鲷生物学特性及增养殖概况[J]. 水产养殖, 1996(1): 30-32.
- [2] 朱德芬. 沿海鱼池黑鲷养殖试验[J]. 水产学报, 1993, 17(1): 64-67.
- [3] 黄伟卿, 韩坤煌, 郑昇阳, 等. 36 月龄雌、雄大黄鱼生长性状的相关分析与通径系数[J]. 水产学杂志, 2014, 27(3): 39-43.
- [4] 刘贤德, 蔡明夷, 王志勇, 等. 不同生长时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.
- [5] 白晓慧, 尤宏争, 张韦, 等. 斑石鲷形态性状对体质量影响的通径分析[J]. 经济动物学报, 2015, 19(4): 191-194.
- [6] 黄伟卿, 周瑞发, 谢友亮, 等. 4 月龄条石鲷形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 水产科学, 2015, 34(8): 515-518.
- [7] 周绍峰, 黄伟卿, 周瑞发, 等. 6 月龄赤点石斑鱼主要形态性状与体质量的相关分析[J]. 水产学杂志, 2015, 28(3): 48-51.
- [8] 黄小林, 吕国敏, 刘付永忠, 等. 30 日龄青龙斑形态性状对体质量影响的通径分析[J]. 广东农业科学, 2012(21): 139-143.
- [9] 钟立强, 陈校辉, 王明华, 等. 斑点叉尾鲷形态性状对体质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(5): 230-232.
- [10] 杨丽冬, 黄成, 舒琥, 等. 淡水黑鲷表型形态性状与体重之间的关系[J]. 广东农业科学, 2013(10): 117-120.
- [11] 谷伟, 户国, 徐革锋, 等. 不同性别虹鳟形态性状对体重的影响效果分析[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(3): 108-113.
- [12] 董世瑞, 孔杰, 万初坤, 等. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 15-22.
- [13] Rhodes, C.P. and Holdich, D.M. (1984) Length-Weight Relationship, Muscle Production and Proximate Composition of the Freshwater Crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet). *Aquaculture*, **37**, 107-123. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90068-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90068-1)
- [14] Huo, Z.-M., Yan, X.-W., Zhao, L.-Q., et al. (2010) Effects of Shell Morphological Traits on the Weight Traits of Manila Clam (*Ruditapes philippinarum*). *Acta Ecologica Sinica*, **30**, 251-256. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2010.08.004>
- [15] 韩慧宗, 姜海滨, 王斐, 等. 许氏平鲉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.
- [16] Debowski, P., Dobosz, S., Robak, S., et al. (1999) 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. *Archives of Polish Fisheries*,

- 7, 237-243.
- [17] Harue, K., Mutsuyshi, T., Katsuya, M., *et al.* (2000) Estimation of Body Fat Content from Standard Body Length and Body Weight on Cultured Red Sea Bream. *Fish Science (Tokyo)*, **66**, 365-371.
<https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2000.00056.x>
- [18] 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.