

4 月龄军曹鱼幼鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析

黄建盛, 郭志雄, 陈刚, 张健东, 蔡润佳, 陆枝

(广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025)

摘要: 为了研究 4 月龄军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼的形态性状对体质量的影响效应。在实验中, 随机选取该月龄幼鱼 115 尾, 先逐一称其体质量(g)和测量其 9 个形态性状[全长(X_1)、体长(X_2)、头长(X_3)、吻长(X_4)、体宽(X_5)、眼间距(X_6)、体高(X_7)、尾柄长(X_8)及眼后头长(X_9 , cm)], 然后统计分析获得性状间的相关性、通径系数和决定系数, 并进一步构建形态性状和体质量的回归方程。结果表明, 本实验中所测的 9 个形态指标, 与体质量间的相关性均达到了极显著水平($P < 0.01$); 在通径系数分析中, 3 个形态性状(X_2 , X_3 和 X_9)对体质量的直接作用达到极显著水平($P < 0.01$), 而它们的直接作用均小于间接作用, 反映多形态性状联合效应成为影响军曹鱼体质量的主要因素。以体质量为因变量(Y), X_2 , X_3 和 X_9 为自变量, 采用逐步线性回归的方法, 建立的回归方程为: $Y = -483.321 + 12.899 X_2 + 36.818 X_3 + 32.666 X_9$ 。该回归方程中总决定系数为 0.919, 认为方程中 X_2 , X_3 和 X_9 这 3 个形态性状是 4 月龄军曹鱼幼鱼体质量的主要影响因素。本研究结果可为军曹鱼人工育种提供理想的测度指标。

关键词: 军曹鱼; 体质量; 形态性状; 通径分析; 多元回归

中图分类号: S965 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2019)08-0072-08

DOI: 10.11759/hyxx20190318001

军曹鱼(*Rachycentron canadum*)为军曹鱼科、军曹鱼属的鱼类, 分布于印度洋北部沿岸、大西洋热带海区及中国沿海等。为外海暖水、肉食性鱼类。近年来, 随着军曹鱼全人工繁殖及规模化育苗关键技术已获得突破, 成功解决了种苗来源问题, 因其肉质细嫩鲜美、生长速度快、经济价值高等优势被认为具有巨大潜力的海水鱼类养殖品种之一。近几年, 国内外科研工作者集中在军曹鱼鱼肉品质影响因素^[1, 2]、免疫反应的转录组分析^[3]、饲料氨基酸水平^[4, 5]、初孵仔鱼卵黄囊利用^[6]、繁殖力^[7]等方面, 而在军曹鱼遗传育种方面则尚未见有报道。为更好推动军曹鱼养殖业健康发展, 进行军曹鱼人工选育刻不容缓。因此, 在现代农业产业技术体系专项支持下, 本课题组开展以快速生长为目标的军曹鱼选育研究。

鱼类选择育种研究中, 形态性状和体质量为主要参考指标^[8]。而实际操作过程中, 一方面由于鱼体带水称重的数据与实际值之间存在较大差异, 不如形态性状的测量准确方便; 另一方面为了选留出具有潜质的个体, 需要体质量的直接选择及形态性状的间接选择相结合。目前, 根据形态性状测量的数据, 采用通径分析的方法进一步剖析形态性状对体质量的影响, 达到辅助选育的目的, 这种方法在大菱鲆

(*Scophthalmus maximus*)^[9]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[10-12]、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)^[13, 14]、半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)^[8, 15]、石斑鱼^[16-18]、卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)^[19, 20]、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[21]等海水鱼主养品种的选育目标性状确定上得到广泛应用, 为其他海水鱼的选育起到重要的借鉴作用。军曹鱼由受精卵孵化至大规格鱼种需要 4 个月培育时间, 此阶段是陆基池塘养殖转向深水网箱养殖的关键时期, 选育出的大规格鱼种将在深水网箱中进行养殖成商品鱼或亲鱼。由于当前对于军曹鱼形态性状与体质量之间关系的研究未见报道, 因此, 对 4 月龄大规格鱼种形态性状与体

收稿日期: 2019-03-18; 修回日期: 2019-07-29

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-47), 广东海洋大学大学生创新创业训练计划项目(CXXL2018131); 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江)(ZJW-2019-06)

[Foundation: China Agriculture Research System (CARS-47); Guangdong Ocean University Undergraduate Innovation and Entrepreneurship Training Programs (CXXL2018131); Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhanjiang)(ZJW-2019-06)]

作者简介: 黄建盛(1981-), 男, 广东省湛江市人, 副教授, 博士, 主要从事海水鱼类生理生态学研究, 电话: 0759-2382462, E-mail: huangjs@gdou.edu.cn; 通讯作者: 陈刚, 男, 教授, 主要从事鱼类种子工程及养殖生理生态学研究。E-mail: cheng@gdou.edu.cn

质量之间的关系进行研究具有重要意义。本研究先进行各个形态性状与体质量的相关分析,再筛选出影响体质量的主要形态性状及其作用大小的通径分析,并进一步建立多元回归方程,为军曹鱼人工选择育种提供理想的测度指标。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用人工养殖军曹鱼亲鱼为广东海洋大学水产学院鱼类种子工程与养殖团队繁育群体。亲鱼于2017年11月从湛江徐闻军曹鱼深水网箱养殖基地收购3龄、9 kg以上,鱼体无病无伤、健壮个体作为繁育群体。将亲鱼移入广东海洋大学东海岛海洋生物研究基地室内水泥池进行培育。长方形去内角亲鱼池,面积12 m²,水深1.7 m,培育密度1.5条/m²,采取每天微流水和换水200%措施保持水质清新,换水时刷洗池底和池壁。温度控制在26~30℃,盐度28~31,光照强度1500~2000 lx, pH 7.8~8.1,溶解氧5.2~6.1 mg/L。每天上、下午各投喂冰鲜小杂鱼1次,依据亲鱼体质量的5%~8%进行投喂,并于投喂后0.5 h将沉于池底的残饵捞出。每隔3 d,在饵料中加入营养强化剂(维生素E及卵磷脂)进行亲鱼强化培育。

2018年3月,通过注射激素诱导亲鱼成熟(1尾雄鱼和3尾雌鱼),采用干法授精技术获得军曹鱼受精卵。将受精卵移入自制的孵化袋(约容积12 m³)进行孵化,经过约24 h孵化出膜。再经过约70 h培育,仔鱼开口摄食。接着在室外圆形水泥池(约容积1000 m³)进行人工育苗。种苗培育过程以轮虫(*Rotifera*)、桡足类(*Copepod*)、卤虫(*Artemia*)及配合饲料为饵料系列,各种饵料及其投喂量根据天气情况、摄食情

况、池内饵料的多寡及生长发育情况等因素交叉投喂、酌情调整投喂量。育苗期间水质调控主要采用光合细菌、芽孢杆菌(*Bacillus*)等生物制剂和定期补充新鲜海水等措施进行。

1.2 数据测量

待鱼苗生长至4月龄时,随机取样115尾,用丁香酚(100 mg/L)深度麻醉,先用干纱布擦干鱼体表面积,再用滤纸充分吸干水分,然后根据GB18654.3-2008养殖鱼类种质检验第3部分^[22]说明,用数显游标卡尺(宝工实业股份有限公司,宝工PD-151)逐尾测量鱼体9个形态性状[全长(X_1)、体长(X_2)、头长(X_3)、吻长(X_4)、体宽(X_5)、眼间距(X_6)、体高(X_7)、尾柄长(X_8)及眼后头长(X_9),精确至0.01 cm],用电子天平(英衡实验室电子天平秤生产,YH-A 6002)测定体质量(Y)(精确至0.01 g)。测量前停饲1 d。

1.3 数据分析

参考杜家菊等^[23]的方法,对体质量进行正态性检验,运行SPSS19.0软件“Analyze-Descriptive Statistics-Explore”命令,可获得正态性检验结果。若体质量服从正态分布的话,再运行SPSS19.0软件中“Analyze-Regression-Linear”这个程序,其结果可获得用于相关性、通径分析及显著性检验等信息。

2 结果与分析

2.1 体质量数据的正态分布检验

对体质量进行Shapiro-Wilk Test和Kolmogorov-Smirnov Test正态分布检验,结果见表1。检验结果显著水平均大于0.05,服从正态分布,可进行回归分析。

表1 体质量正态检验结果

Tab. 1 The results of body weight normalization

体质量(Y)	Kolmogorov-Smirnov Test			Shapiro-Wilk Test		
	统计量	自由度	显著水平	统计量	自由度	显著水平
	0.066	115	0.200	0.987	115	0.319

2.2 各形态性状参数统计与相关性分析

表2列出军曹鱼所测各形态性状及体质量的描述性统计结果。表2结果显示,体质量、吻长和全长为变异系数最大的指标,头长、体宽和体长为变异系数最小的指标。对军曹鱼所测的各形态性状与体质

量进行相关分析,获得了所测形态性状与体质量间的相关性及形态性状相互之间的相关性,结果见表3。由表3可以看出,实验所测的9个形态指标,与体质量间的相关性均达到了极显著水平($P<0.01$)。其中,体长与体质量的相关系数最大(0.919),其次为头长与体质量的相关系数(0.910)。所测的9个形态性状

互相之间的相关性也达到极显著水平($P<0.01$), 相关系数在 0.284~0.855 范围内, 头长与眼间距的相关性最大, 其相关系数为 0.855; 而全长与吻长的相关性最小, 其相关系数仅为 0.284。

表 2 军曹鱼所测各形态性状的表型统计量

Tab. 2 The descriptive statistics of various traits of cobia (*Rachycentron canadum*)

性状	平均值	标准差	变异系数(%)
Y/g	241.55	35.17	14.56
X_1/cm	32.39	3.15	9.73
X_2/cm	27.98	1.23	4.38
X_3/cm	6.91	0.34	4.97
X_4/cm	2.71	0.27	9.88
X_5/cm	4.13	0.20	4.83
X_6/cm	3.24	0.20	6.22
X_7/cm	4.19	0.20	4.71
X_8/cm	3.31	0.24	7.37
X_9/cm	3.35	0.22	6.65

2.3 形态性状与体质量的多元回归分析

形态性状与体质量的回归分析过程中, 相关系数、决定系数、矫正决定系数及估计的标准误的变化情况见表 4。由表 4 可知, 自变量从 1 个增加到 3 个, 回归模型的相关系数从 0.919 逐渐增加至 0.958, 同时估计的标准误也从 13.889 逐渐降低为 10.173, 表明回归模型的准确性不断增加。

回归方程中的自变量的非标准化回归系数及其

显著性检验结果见表 5。表 5 数据显示, 对截距 -483.321 的检验结果为极显著($P<0.01$), 对体长(X_2)、头长(X_3)及眼后头长(X_9)非标准化回归系数的显著性检验均到极显著水平($P<0.01$), 表明所建立的回归方程可靠。进一步采用 F 检验方法对回归方程进行显著性检验, 其结果见表 6。 $F=417.293$, $P=0.000<0.01$, 说明回归方程达到极显著水平, 认为回归方程有统计意义。被引入回归方程中的体长、头长和眼后头长对体质量的总决定系数为 0.919(表 4), 说明方程中的 3 个形态性状对体质量有较大的决定作用。由此建立以体长、头长和眼后头长估计军曹鱼体质量(Y)的多元回归方程可表述为: $Y=-483.321+12.899 X_2+36.818 X_3+32.666 X_9$ 。

2.4 形态性状对体质量的通径分析

对建立的回归方程中 3 个形态性状(体长、头长、眼后头长)对体质量的通径系数和间接通径系数结果见表 7。由表 7 可知, 体长、头长、眼后头长对体质量的直接作用存在差异, 依次为: 体长>头长>眼后头长。体长、头长、眼后头长直接作用均小于其通过其他形态性状的间接作用, 说明多个形态性状共同影响军曹鱼体质量。通过分析各个间接作用发现, 头长通过体长对体质量的间接作用较大, 其间接通径系数为 0.381; 眼后头长通过体长对体质量的间接作用较大, 其间接通径系数为 0.360。方程中所保留的体长、头长和眼后头长对体质量的方差膨胀因子介于 3.4~4.5 之间, 低于经验值($VIF=10$), 表明回归模型的建立不存在共线性的影响, 分析结果是可靠的。

表 3 军曹鱼所测形态性状相互间表型相关性分析及显著性检验

Tab. 3 Correlation analyses and significance test of morphological traits measured by cobia (*Rachycentron canadum*)

性状	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
Y	1.000									
X_1	0.412**	1.000								
X_2	0.919**	0.445**	1.000							
X_3	0.910**	0.415**	0.847**	1.000						
X_4	0.833**	0.284**	0.805**	0.845**	1.000					
X_5	0.826**	0.396**	0.796**	0.822**	0.794**	1.000				
X_6	0.837**	0.375**	0.777**	0.855**	0.816**	0.828**	1.000			
X_7	0.782**	0.411**	0.732**	0.762**	0.720**	0.759**	0.813**	1.000		
X_8	0.595**	0.302**	0.563**	0.557**	0.527**	0.573**	0.606**	0.583**	1.000	
X_9	0.862**	0.396**	0.800**	0.821**	0.810**	0.779**	0.804**	0.783**	0.603**	1.000

注: **表示变量之间相关性达到极显著水平($P<0.01$)。

Note: **donates extremely significant correlation ($P<0.01$)

表 4 模型汇总

Tab. 4 The model summary

模型	相关系数	决定系数	矫正决定系数	估计的标准误
1	0.919 ^a	0.845	0.844	13.889
2	0.952 ^b	0.906	0.905	10.866
3	0.958 ^c	0.919	0.916	10.173

注: a. 体长 X_2 ; b. 体长 X_2 , 头长 X_3 ; c. 体长 X_2 , 头长 X_3 , 眼后头长 X_9

表 5 回归系数结果

Tab. 5 The calculation result of regression coefficient

变量	非标准化回归系数	标准误	标准化回归系数	t 统计量	显著性
常数	-483.321	22.766		-21.230	0.000
X_2	12.899	1.560	0.449	8.267	0.000
X_3	36.818	5.842	0.359	6.302	0.000
X_9	32.666	7.973	0.207	4.097	0.000

表 6 多元回归方程的方差分析

Tab. 6 Analysis of variance of multiple regression equations

指数	总平方和	自由度	均方	F 值	显著性
回归	129 558.351	3	43 186.117	417.293	0.000
残差	11 487.516	111	103.491		
总计	141 045.867	114			

表 7 军曹鱼 3 个形态性状对体质量的影响

Tab. 7 Effects of three morphometric traits on body weight of cobia (*Rachycentron canadum*)

性状	相关系数	通径系数	间接通径系数				方差膨胀因子
			Σ	X_2	X_3	X_{10}	
X_2	0.919	0.449	0.470	-	0.304	0.166	4.025
X_3	0.910	0.359	0.551	0.381	-	0.170	4.432
X_9	0.862	0.207	0.655	0.360	0.295	-	3.481

2.5 形态性状对体质量的决定程度

回归方程中所保留的体长、头长和眼后头长对体质量的决定系数结果见表 8。表中结果显示, 体长对体质量的决定作用最大, 其单独决定系数为 0.202; 头长对体质量的作用次之, 其单独决定系数为 0.129;

表 8 军曹鱼 3 个形态性状对体质量的决定系数

Tab. 8 Determination coefficient of three morphometric traits on body weight of cobia (*Rachycentron canadum*)

性状	X_2	X_3	X_{10}
X_2	0.202	0.274	0.149
X_3	-	0.129	0.122
X_9	-	-	0.043
总决定系数		0.919	
剩余项决定系数		0.081	
剩余因子		0.285	

眼后头长对体质量的作用最小, 其单独决定系数为 0.043。头长和体长对体质量的共同决定作用最大, 其系数为 0.274。体长、头长和眼后头长对体质量总决定系数为 0.919, 并计算出剩余因子 $e=0.285$ 。剩余因子值较大, 这反映了还有一些影响军曹鱼体质量较大的因子尚未考虑到。

3 讨论

3.1 军曹鱼形态性状与体质量相关性

在鱼类的选择育种中, 常以体质量为主要指标, 以全长、体长等可量的形态性状为辅助指标^[24]。刘峰等^[24]研究发现, 4.5 月龄小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)与体质量相关性最高的前 4 个形态性状依次为全长、体长、尾柄高和体高; 王新安等^[21]研究表明红鳍东方鲀形态性状中的体周长 1、体高和尾柄

高与体质量相关性较高;王凯等^[11]指出 8 月龄牙鲆形态性状中全长、体长及体高与体质量的相关性较高。本研究中,通过分析 4 月龄军曹鱼幼鱼形态性状和体质量的相关性,结果显示,所测 9 个形态性状与体质量的相关系数均达到极显著水平($P<0.01$),与体质量相关系数最大的 3 个形态性状依次为体长、头长、眼后头长。研究结果与小黄鱼^[24]、红鳍东方鲀^[21]、牙鲆^[11]的研究结果存在差异,这可能与不同鱼类对环境适应对策有关。有研究表明,大黄鱼^[14]、白斑红点鲑(*Salvelinus leucomaenis*)^[25]及梭鱼(*Liza haematocheila*)^[26]在不同生长阶段,其形态性状与体质量的相关性也有差异,说明生长阶段对形态性状有影响。本研究仅考虑 4 月龄生长阶段各形态性状对体质量的影响,而不同生长阶段,各形态性状基因效应会随之改变,军曹鱼不同生长时期形态性状与体质量的相关性有待进一步探讨。

3.2 影响军曹鱼体质量的形态性状的确定

相关性分析仅仅反映自变量和因变量之间的相互关系,而不能反映自变量之间的相互关系,导致分析结果出现片面性。因此,进一步采用通径分析和回归分析,其结果表明,回归方程中仅纳入对体质量直接作用到显著水平($P<0.05$)的体长、头长及眼后头长,而其他的形态性状被剔除。而且体长、头长及眼后头长的直接通径系数均小于间接通径系数,表明这 3 个形态性状对体质量直接作用小于通过其他形态性状对体质量的间接作用。可确定体长、头长及眼后头长为影响 4 月龄军曹鱼幼鱼体质量的主要形态性状。为了准确描述体长、头长及眼后头长与体质量之间的真实关系,以体质量为因变量,3 个形态性状为自变量,建立多元回归方程。该回归方程中总决定系数为 0.919,大于 0.85^[27],说明体长、头长及眼后头长确定为体质量的主要影响因素。这与体长、头长及眼后头长数值较大的个体具有较大的几何空间,有利于脂肪、蛋白质等营养物质的积累存储,故相应体质量较重的生产经验相符合。王新安等^[21]研究指出“影响体质量的主要因素是使个体具有较大的几何空间的性状”,这一结论在大菱鲆^[9]、卵形鲳鲹^[20]、红鳍东方鲀^[21]、中华绒螯蟹^[28](*Eriocheir sinensis*)等水生动物的研究报道,本研究与此结论相一致。本研究中,从剩余因子值来看,除了本次测定的形态性状外,还存在着其他影响因素未找到。因此,建立一个更完善的回归模型,需要考虑性状间

的比例关系,如头长/全长,吻长/头长,体高/体长等,这些有待进一步深入研究。

3.3 对军曹鱼选择育种的意义

体质量作为鱼类选育主要的指标之一,如何选择具有潜在优势体质量的个体成为选育的重要环节^[29]。综合根据文献报道^[9, 16, 21]及本研究结果发现,体质量的变异系数最大,其他可量形态性状的变异系数相对较小。为获得较好的选育效果,还应考虑可量形态性状对体质量的影响。本研究中,采用通径分析方法,以体质量为因变量,以与体质量达到显著水平的形态性状为自变量,构建经检验达到极显著水平($P<0.01$)的多元回归方程。可见对 4 月龄军曹鱼而言,形态性状作为自变量对体质量的估计和预测是恰当的。这一方法在大黄鱼^[14]、小黄鱼^[24]、褐点石斑鱼^[16]、卵形鲳鲹^[19]等鲈形目鱼类中均得到证实。在以后军曹鱼的选择育种中,以体质量为主要选育性状,以体长、头长及眼后头长为辅助选择性状,可有效提高选育效果。

参考文献:

- [1] Nguyen M V, Phan L M T. Influences of bleeding conditions on the quality and lipid degradation of cobia (*Rachycentron canadum*) fillets during frozen storage[J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2018, 18(2): 289-300.
- [2] Baldi S C V, Parisi G, Bonelli A, et al. Effects of different stunning/slaughter methods on frozen fillets quality of cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Aquaculture, 2018, 486: 107-113.
- [3] Tran H B, Lee Y H, Guo J J, et al. De novo transcriptome analysis of immune response on cobia (*Rachycentron canadum*) infected with *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida* revealed inhibition of complement components and involvement of MyD88-independent pathway[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2018, 77: 120-130.
- [4] 何远法, 郭勇, 迟淑艳, 等. 低鱼粉饲料中补充蛋氨酸对军曹鱼生长性能、体成分及肌肉氨基酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(2): 624-634.
He Yuanfa, Guo Yong, Chi Shuyan, et al. Effect of methionine supplementation in low fish meal diet on growth performance, body composition and muscle amino acid composition of cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(2): 624-634.
- [5] 王震, 徐玮, 麦康森, 等. 饲料缬氨酸水平对军曹鱼鱼体脂肪含量、血浆生化指标和肝脏脂肪代谢基因表

- 达的影响[J]. 水生生物学报, 2016, 40(4): 744-751.
- Wang Zhen, Xu Wei, Mai Kangshen, et al. The effects of viline level on plasma biochemical indexes, lipid content and gene expression involed in lipid metabolism in cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(4): 744-751.
- [6] Sakthivel M, Jayakumar R, Nazar A K A, et al. Effect of temperature on yolk sac utilisation and growth of newly hatched larvae of cobia *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766)[J]. Indian Journal of Fisheries, 2016, 61(3): 135-139.
- [7] Sajeevan M K, Kurup B M. Fecundity and spawning frequency of Cobia, *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766) from the North West coast of India[J]. Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 2016, 45(8): 933-936.
- [8] 李玉全. 线性回归法实现半滑舌鳎幼鱼表型性状与体重的通径分析[J]. 生物数学学报, 2014, 29(1): 185-191.
- Li Yuquan. Path analysis between morphometric attributes and body weight on juvenile *Cynoglossus semilaevis* by multiple regression[J]. Journa of Biomathematics, 2014, 29(1): 185-191.
- [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.
- Wang Xinan, Ma Aijun, Xu Ke, et al. Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*[J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(3): 540-545.
- [10] 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.
- Chen Honglin, Tian Yongsheng, Liu Feng, et al. Path analysis and curve estimates of morphometric traits and body weight of Paralichthys olivaceus at different growth stages[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 64-76.
- [11] 王凯, 刘海金, 刘永新, 等. 牙鲆形态性状对体重的影响效果分析[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(6): 655-660.
- Wang Kai, Liu Haijin Liu Yongxin, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributions o body weight for *Paralichthys olivaceus*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(6): 655-660.
- [12] 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.
- Liu Yongxin, Liu Yingjie, Zhou Qin, et al. Grey relational analysis between main growth traits and body weightin Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(2): 205-213.
- [13] 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.
- Huang Weiqing, Han Kunhuang, Zheng Shengyang, et al. Analysis of growth traits and path coefficient for 36 month old large yellow croaker, *Larimichthys crocea*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2014, 27(3): 39-43.
- [14] 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, 2011, 29(5): 159-163.
- Liu Xiande, Cai Mingyi, Wang Zhiyong, et al. Correlation analysis of morphometric traits and body weight of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* at different growth stage[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2011, 29(5): 159-163.
- [15] 刘峰, 陈松林, 刘肖峰, 等. 半滑舌鳎 3 个形态性状与体质量的相关及通径分析[J]. 海洋学报, 2015, 37(4): 94-102.
- Liu Feng, Chen Songlin, Liu Xiaofeng, et al. Correlation and path coefficient analysis for body mass and three morphometric traits in the half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*)[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 37(4): 94-102.
- [16] 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.
- Huang Jiansheng, Chen Gang, Zhang Jiandong, et al. Principal component and path analysis of morphological traits of *Epinephelus fuscoguttatus* at different month ages[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(7): 1105-1115.
- [17] 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.
- Zhao Wang, Yang Rui, Hu Jing, et al. Path analysis of morphological traits effects on body weight of five-month-old grouper *Epinephelus coioid*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(5): 557-562.
- [18] 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, (3): 48-51.
- Zhou Shaofeng, Huang Weiqin, Zhou Ruifang, et al. Correlation analysis of main morphological traits with body weight of 6 month old redspotted grouper *Epinephelus akaara*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2015, 28(3): 48-51.
- [19] 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质量的相关性分析[J]. 水产学报, 2013, 37(7): 961-969.
- Ou Youjun, Ji Lei, Li Jiaer, 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.
- [20] 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.
- Cheng Dachuan, Guo Huayang, Ma Zhenhua, et al. Mathematical analysis of morphometric attribute effect on body weight for three-month-old *Trachinotus ovatus*[J]. Marine Fisheries, 2016, 38(1): 26-34.
- [21] 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.
- Wang Xinan, Ma Aijun, Zhuang Zhimeng, et al. Effects of morphometric attributes on body weight of (*Takifugu rubripes* Temminck et schlegel)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(1): 135-140.
- [22] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 18654.3-2008, 养殖鱼类种质检验第3部分: 性状测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- China National Standardization Administration. GB/T 18654.3-2008, Inspection of germplasm for cultured fishes. Part 3: Measurement of characters[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [23] 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.
- Du Jiaju, Chen Zhiwei. Method of path analysis with SPSS linear regression[J]. Biology Bulletin, 2010, 45(2): 4-6.
- [24] 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.
- Liu Feng, Chen Lin, Lou Bao, et al. Correlation and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(3): 655-662.
- [25] 张永泉, 白庆利, 谷伟, 等. 白斑红点鲑(*Salvelinus leucomaenis*)形态性状对体重影响效果[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(3): 116-122.
- Zhang Yongquan, Bai Qingli, Gu Wei, et al. Effects of morphometric attributes on body weight of *Salvelinus leucomaenis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2014, 45(3): 116-122.
- [26] 耿绪云, 马维林, 李相普, 等. 梭鱼(*Liza haematocheila*)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.
- Geng Xuyun, Ma Weilin, Li Xiangpu, et al. Morphometric attributes to body weight for the redlip mullet *Liza haematocheila*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 530-537.
- [27] 齐明, 侯俊利, 楼宝, 等. 一龄四指马鲛形态性状对体重的影响分析[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2014, 33(2): 134-139.
- Qi Ming, Huo Junli, Lou Bao, et al. Effects of morphometric attributes on body weight for one-year-old *Eleutheronema tetradactylum*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2014, 33(2): 134-139.
- [28] 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[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(1): 49-54.
- Geng Xuyun, Wang Xuehui, Sun Jinsheng, et al. Morphometric attributes to body weight for juvenile crab *Eriocheir sinensis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2007, 38(1): 49-54.
- [29] 平洪领, 李玉全. 逐步线性回归法实现天津厚蟹(*Helice tientsinensis*)[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(5): 1353-1357.
- Ping Hongling, Li Yuquan. Path analysis between morphometric traits and body weight on *Helice tientsinensis* by multiple regression[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(5): 1353-1357.

Correlatioin and path coefficient analysis on body weight and morphometric traiths of four-month-old juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)

HUANG Jian-sheng, GUO Zhi-xiong, CHEN Gang, ZHANG Jian-dong, CAI Run-jia, LU Zhi

(Fishery College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Received: Mar., 18, 2019

Key words: *Rachycentron canadum*; body weight; morphological traits ; path analysis; multiple regression

Abstract: The relationship between morphological traits and body weight of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) was analyzed in this study. 115 individuals of 4-months aged cobia were randomly selected and 9 morphological traits (cm) including the total length (X_1), standard length (X_2), head length (X_3), snout length (X_4), body width (X_5), eyes interval (X_6), body depth (X_7), tail handle length (X_8), head length after eyes (X_9), and body weight (Y , g) were measured. The correlation coefficients, path coefficients and decision coefficients were calculated, and then the effects of morphometric traits on body weight was analyzed. The results showed that the correlation coefficients between each morphological trait and body weight achieved highly significant levels ($P < 0.01$). The path coefficients of three morphometric attributes (X_2 , X_3 , X_9) to body weight reached significant difference ($P < 0.01$) level. The direct effects from three morphometric attributes (X_2 , X_3 , X_9) to body weight were less than their indirect effects, indicating that the main influencing factors of body weight were composed of multiple morphological traits. Based on path coefficients, the multiple linear regression model equation on the effects of body weight was established as $Y = -483.321 + 12.899 X_2 + 36.818 X_3 + 32.666 X_9$. The body weight and morphological traits were highly correlated ($R^2 = 0.919$). This paper may provide a theoretical method for the measurement of cobia in selective breeding.

(本文编辑: 谭雪静)