

文章编号: 1000-0615(2017)07-1105-11

DOI: 10.11964/jfc.20161010596

## 褐点石斑鱼不同月龄形态性状的主成分及通径分析

黄建盛, 陈刚\*, 张健东, 王忠良, 刘碧焕, 阮涛

(广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524025)

**摘要:** 为研究褐点石斑鱼不同月龄形态性状的生长规律特征及形态性状对体质量的影响, 采用主成分分析和通径分析方法对3月龄、8月龄和13月龄褐点石斑鱼个体全长( $X_1$ )、体长( $X_2$ )、头长( $X_3$ )、体宽( $X_4$ )、体高( $X_5$ )、尾柄高( $X_6$ )、眼径( $X_7$ )、眼后头长( $X_8$ )和体质量( $Y$ )9个性状进行分析。结果显示, (1)不同月龄褐点石斑鱼各形态性状对体质量的相关系数均达到极显著水平, 不同月龄相同形态性状与体质量的相关性存在差异。(2)各月龄第一主成分均指向褐点石斑鱼的生长发育情况; 第二主成分均指向眼睛发育情况; 但3月龄、8月龄和13月龄第三主成分分别指向尾部发育、体宽发育及体高发育。(3)3月龄阶段, 全长、体高、体宽及尾柄高对体质量的直接通径系数达到显著水平; 8月龄阶段, 全长、体宽、尾柄高及眼后头长对体质量的直接通径系数达到显著水平; 13月龄阶段, 全长、体高、体宽及体长对体质量的直接通径系数达到极显著水平, 并建立了3个月龄组的不同形态性状对体质量最优回归方程。(4)褐点石斑鱼3~13月龄阶段的体长( $L$ )与体质量( $W$ )的关系为 $W=0.0378L^{2.873}$  ( $R^2=0.9596$ ), 说明该阶段生长属于等速生长。研究表明, 在褐点石斑鱼的不同生长阶段, 各形态性状对体质量的影响有所不同, 建议以全长(3~13月龄)作为育种工作的目标性状, 为褐点石斑鱼早期生长发育阶段的选择育种工作和测量指标提供科学依据。

**关键词:** 褐点石斑鱼; 形态性状; 主成分分析; 通径分析; 生长

**中图分类号:** S 965.3

**文献标志码:** A

褐点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*), 属于鲈形目(Perciformes)、鲷科(Serranidae)、石斑鱼属(*Epinephelus*)。具有肉质鲜嫩、营养丰富、适应性强、市场价格高等特点, 近年来由于人工育苗技术和食用鱼养殖技术的日益完善, 褐点石斑鱼养殖规模不断扩大, 产量也随之提高, 成为海南、广东、福建等地海水养殖的重要名优品种之一。近年, 褐点石斑鱼作为母本, 与其他石斑鱼通过杂交育种获得的杂交新品种, 遗传了母本的强抗病力, 养殖前景广阔。因此, 开展褐点石斑鱼的选育有着重要的现实意义。近期, 对褐点石斑鱼的研究主要集中在胚胎及仔稚鱼发育<sup>[1]</sup>、甜菜碱对幼鱼行为的影响<sup>[2]</sup>、副

溶血弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)在脾脏的免疫应答<sup>[3]</sup>、不同蛋白替代鱼粉对生长性能<sup>[4]</sup>及能量收支的影响<sup>[5]</sup>、肌肉营养价值评价<sup>[6]</sup>等方面, 目前, 褐点石斑鱼数量性状关系分析尚未见相关报道。

主成分分析是设法将原来变量重新组合成一组新的互相无关的几个综合变量, 同时根据实际需要从中可以取出几个较少的综合变量尽可能多地反映原来变量的信息统计方法<sup>[7]</sup>, 已广泛应用于水产动物的产地溯源<sup>[8]</sup>、投喂方式<sup>[9]</sup>、肌肉品质<sup>[10]</sup>、形态差异<sup>[11]</sup>、繁殖力<sup>[12]</sup>等领域。该方法也应用到水产动物不同生长阶段选育工作, 如大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)<sup>[13]</sup>、尼罗

收稿日期: 2016-10-25 修回日期: 2017-02-23

资助项目: 广东省科技厅项目(2016B020201009, 2013B090700010); 广东省教育厅高校重点实验室滚动支持项目(2013CXDA019); 广东海洋大学“创新强校工程”项目(GDOU2016050251)

通信作者: 陈刚, E-mail: cheng@gdou.edu.cn

罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[14]</sup>、翘嘴鲈(*Siniperca chuatsi*)<sup>[15]</sup>、许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)<sup>[16]</sup>等。在鱼类遗传育种中,体质量具有直观性和可度量性,是选择育种的最直接目标性状。但在实际育种过程中,体质量现场测定受到鱼体残留海水、肠道内残留饲料等因素干扰较大,导致数据分析出现偏差<sup>[17]</sup>。如果与体质量存在一定相关性的形态性状进行测量,则较为准确快捷<sup>[18]</sup>。因此,有必要通过相关分析、通径分析及多元回归分析确定形态性状对体质量的影响,进而对形态性状的间接选择达到对体质量选择育种的目的。目前,利用主成分和通径分析对不同月龄褐点石斑鱼性状进行分析尚未见报道。本实验选取3、8及13月龄褐点石斑鱼为研究对象,对3个月龄组9个性状进行主成分分析,寻找不同月龄组生长性状的增长规律,获得主要性状指标;利用通径分析确定不同月龄形态性状对体质量的直接作用和间接作用;建立不同月龄组形态性状与体质量的最优多元线性回归方程,并初步分析了体长—体质量的关系。旨在为褐点石斑鱼良种选育提供参考依据,更好地推动石斑鱼养殖业的健康发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

褐点石斑鱼亲本来自广东海洋大学水产学院和海南省俊泓实业有限公司共同选育的群体。母本来自2010年繁育的第3代群体,父本来自2007年繁育的第2代群体。实验使用的褐点石斑鱼样本是多亲本后代混合养殖群体。2015年6月获得多亲本褐点石斑鱼自然产卵的受精卵,采用双层尼龙袋充纯氧低温密封经过8 h运输至广东海洋大学东海岛海洋生物研究基地,在室外高位池进行人工育苗。经过30 d室外高位池培育,之后将幼鱼移入室内水泥池进行人工配合饲料驯化与饲养。待个体生长至3、8和13月龄随机取样。饲养期间不同月龄保持养殖管理条件一致。

### 1.2 数据采集

采样前停喂1 d,测量时用丁香酚(质量浓度为100 mg/L)进行麻醉,然后用游标卡尺测量全长( $X_1$ )、体长( $X_2$ )、头长( $X_3$ )、体宽( $X_4$ )、体高( $X_5$ )、尾柄高( $X_6$ )、眼径( $X_7$ )及眼后头长( $X_8$ )共8个形态性状(cm,精确到小数点后面2位),使用电

子天平测定体质量( $Y$ )(g,精确到小数点后面2位)。

### 1.3 统计分析

**各性状表型参数统计** 各形态性状测定结果经统计整理,利用Excel 2010分别计算各月龄的平均值、标准差及变异系数。

**主成分分析** 实验数据用软件SPSS 19.0进行处理,具体的分析方法详见参考文献<sup>[19]</sup>。结果得到全长、体长、头长、体宽、体高、尾柄高、眼径、眼后头长及体质量9个测试指标中的相关矩阵的特征值、累积贡献率及特征向量。为了保留原多维空间的信息量并简化计算,选择 $k$ 个较大特征值,按累积贡献率大于85%的原则提取主成分,并分别计算各月龄的主成分。

**通径分析** 利用SPSS 19.0数据分析软件,采用逐步引入—剔除法(Stepwise)对各表型性状的基础数据进行Pearson相关分析和形态性状对体质量的通径分析,并建立形态性状估计体质量的最优多元回归方程。具体参考杜家菊等<sup>[20]</sup>的研究方法,根据通径分析,剖析各形态性状对体质量的直接作用和间接作用。依据相关分析和通径系数计算单个性状对体质量的决定系数和两个性状对体质量的共同决定系数。相关的计算公式详见王新安等<sup>[21]</sup>的研究方法。对于数据对比结果,当 $P < 0.05$ 时为差异显著, $P < 0.01$ 时为差异极显著。

**体长—体质量关系** 本实验测量3、8和13月龄褐点石斑鱼共计350尾,分析其体长—体质量关系。鱼类体长—体质量关系的公式为 $W = aL^b$ ,其中 $W$ 为体质量, $L$ 为体长, $a$ 为常数, $b$ 为指数。通过Excel 2010进行曲线拟合, $b = 3$ 或接近3,认为鱼类等速生长, $b > 3$ 认为鱼类异速生长<sup>[22]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 褐点石斑鱼不同月龄形态性状及其相关性

褐点石斑鱼3、8和13月龄体质量的变异系数均最大,分别为20.66%、14.96%、18.73%,说明体质量具有较大的选择潜力(表1)。变异系数最小分别为全长、体高及眼径。除体质量外,3个月龄组的形态性状变异系数的范围为7.27%~14.37%、6.67%~13.85%、8.01%~14.46%。另外,所测体质量性状数据经Kolmogorov-Smirnov正态

表 1 不同月龄褐点石斑鱼体质量与形态性状的描述性统计

Tab. 1 Descriptive statistics for the body mass and morphometric traits of *E. fuscoguttatus* at different ages

性状 trait	3月龄 3 months		8月龄 8 months		13月龄 13 months	
	mean±SD	CV/%	mean±SD	CV/%	mean±SD	CV/%
Y/g	23.43±4.84	20.66	90.55±13.55	14.96	308.15±57.72	18.73
X <sub>1</sub> /cm	11.72±0.90	7.68	16.98±1.50	8.82	27.30±2.67	9.79
X <sub>2</sub> /cm	9.82±0.71	7.27	14.17±1.69	11.90	23.28±2.33	10.01
X <sub>3</sub> /cm	3.60±0.27	7.56	5.37±0.65	12.16	7.77±0.62	8.04
X <sub>4</sub> /cm	1.43±0.21	14.37	2.83±0.38	13.49	5.30±0.74	13.99
X <sub>5</sub> /cm	2.96±0.33	11.15	4.77±0.32	6.67	7.27±0.76	10.52
X <sub>6</sub> /cm	1.22±0.18	15.08	1.91±0.16	8.56	2.57±0.25	9.68
X <sub>7</sub> /cm	0.60±0.06	9.32	0.92±0.12	13.47	1.15±0.09	8.01
X <sub>8</sub> /cm	2.28±0.24	10.63	0.09±0.01	13.85	5.30±0.77	14.46

性检验的显著水平 $P>0.05$ , 说明服从正态分布, 可进行后续的多元回归分析。

由相关系数矩阵(表2)可知, 3月龄阶段, 眼径( $X_7$ )与头长( $X_3$ )、眼后头长( $X_8$ )与体宽( $X_4$ )、眼径( $X_7$ )与尾柄高( $X_6$ )之间的相关系数不显著, 其余的性状之间达到不同程度的显著正相关; 8月龄阶段, 各性状之间的相关系数全部达到极显著正相关( $P<0.01$ ); 13月龄阶段, 各性状之间的相关系数呈不同程度的显著正相关。不同月龄的体质量与所测性状的相关系数均达到极显著水平( $P<0.01$ ), 其中体质量与全长的相关性均最大, 分别为0.933、0.960、0.922, 与体长、体高的相关性次之。3、8月龄组体质量与眼后头长的相关系数均最小, 13月龄组体质量与眼径的相关系数最小。

## 2.2 褐点石斑鱼不同月龄形态性状的主成分分析

3、8和13月龄组褐点石斑鱼9个形态性状参数相关矩阵的特征值及累计贡献率见表3。根据选择 $k$ 个较大特征值来满足主成分的累计贡献率大于85%的要求, 8、13月龄提取3个主成分, 累计贡献率分别达到87.511%、86.359%; 3月龄提取4个主成分, 累计贡献率达到85.573%, 当提取3个主成分时能达到77.282%, 为了便于比较, 表4仅列举3个主成分。

褐点石斑鱼不同月龄入选的主成分特征向量见表4。3、8和13月龄组性状的第一主成分中特征向量值较大的均为体质量、全长、体长,

而且由相关系数可知, 三者相关程度较高, 称为增重、增长因子, 主要体现在生长发育情况。3、8和13月龄组性状的第二主成分中特征值较大的为眼径, 称为眼径因子, 反映眼睛发育情况; 第三主成分均有所不同, 3月龄组为尾柄高, 称为尾柄高因子; 8月龄组为体宽, 称为体宽因子; 13月龄组为体高, 称为体高因子。

## 2.3 褐点石斑鱼不同月龄形态性状对体质量的通径分析及决定程度分析

根据通径分析原理, 利用SPSS软件分析获得了褐点石斑鱼不同月龄所测形态性状对体质量的通径系数, 表5列出了经逐步法保留的达到显著水平的性状及直接与间接通径系数。由表5可知, 3、8和13月龄组的全长( $X_1$ )对体质量的直接作用均大于间接作用。3月龄的体高( $X_5$ )、体宽( $X_4$ )及尾柄高( $X_6$ )的间接作用均远大于直接作用; 8月龄的体宽( $X_4$ )、尾柄高( $X_6$ )及眼后头长( $X_8$ )的间接作用均远大于直接作用; 13月龄的体高( $X_5$ )、体宽( $X_4$ )及体长( $X_2$ )的间接作用均远大于直接作用, 这些性状主要是通过全长间接地作用于体质量。

根据形态性状对体质量的决定系数和2个性状对体质量的共同决定系数计算出形态性状对体质量的决定系数(表6)。3、8和13月龄组4个形态性状对体质量总的决定系数之和分别为0.906、0.957和0.901, 这说明不同月龄保留的4个形态性状是影响体质量的主要性状, 其他形态性状对体质量的影响较小。3、8和13月龄组对体质量决

表 2 不同月龄褐点石斑鱼各性状的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficient between the traits of *E. fuscoguttatus* at different ages

月龄 months	性状 traits	Y	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
3月龄 3 months	Y	1.000								
	$X_1$	0.933**	1.000							
	$X_2$	0.869**	0.933**	1.000						
	$X_3$	0.602**	0.610**	0.593**	1.000					
	$X_4$	0.578**	0.494**	0.438**	0.254**	1.000				
	$X_5$	0.672**	0.571**	0.571**	0.388**	0.505**	1.000			
	$X_6$	0.558**	0.528**	0.484**	0.273**	0.179*	0.391**	1.000		
	$X_7$	0.356**	0.332**	0.219**	0.092	0.277**	0.196*	0.076	1.000	
	$X_8$	0.295**	0.298**	0.365**	0.590**	0.058	0.227**	0.227**	0.296**	1.000
8月龄 8 months	Y	1.000								
	$X_1$	0.960**	1.000							
	$X_2$	0.935**	0.959**	1.000						
	$X_3$	0.617**	0.607**	0.582**	1.000					
	$X_4$	0.703**	0.587**	0.577**	0.446**	1.000				
	$X_5$	0.808**	0.785**	0.773**	0.713**	0.627**	1.000			
	$X_6$	0.688**	0.624**	0.620**	0.670**	0.568**	0.699**	1.000		
	$X_7$	0.587**	0.566**	0.580**	0.559**	0.397**	0.502**	0.399**	1.000	
	$X_8$	0.564**	0.533**	0.544**	0.551**	0.386**	0.502**	0.388**	0.974**	1.000
13月龄 13 months	Y	1.000								
	$X_1$	0.922**	1.000							
	$X_2$	0.884**	0.927**	1.000						
	$X_3$	0.643**	0.595**	0.577**	1.000					
	$X_4$	0.769**	0.903**	0.873**	0.527**	1.000				
	$X_5$	0.843**	0.812**	0.789**	0.687**	0.715**	1.000			
	$X_6$	0.573**	0.594**	0.510**	0.684**	0.502**	0.696**	1.000		
	$X_7$	0.263**	0.242**	0.262**	0.442**	0.208*	0.297**	0.319**	1.000	
	$X_8$	0.425**	0.372**	0.389**	0.712**	0.362**	0.547**	0.432**	0.209*	1.000

注: \*\*表示相关性极显著( $P<0.01$ ), \*表示相关性显著( $P<0.05$ ), 下同

Notes: \*\* denotes extremely significant correlation ( $P<0.01$ ), \* denotes significant correlation ( $P<0.05$ ), the same below

定系数最大的形态性状均为全长, 决定系数分别为0.551、0.602和0.706。在共同决定系数中, 3月龄组全长( $X_1$ )与体宽( $X_4$ )协同对体质量的间接决定作用最大(0.115); 8月龄组全长( $X_1$ )与体宽( $X_4$ )协同对体质量的间接决定作用最大(0.167); 13月龄组全长( $X_1$ )与体长( $X_2$ )协同对体质量的间接作用最大(0.372)。

## 2.4 多元回归方程的建立

根据所测各性状数据采用逐步引入—剔除法进行逐步多元回归分析, 按照性状对体质量的作用的显著程度, 3月龄组依次引入全长( $X_1$ )、体高( $X_5$ )、体宽( $X_4$ )及尾柄高( $X_6$ ), 8月龄组依次引入全长( $X_1$ )、体宽( $X_4$ )、尾柄高( $X_6$ )及眼后头长( $X_8$ ), 13月龄组依次引入全长( $X_1$ )、体高( $X_5$ )、体宽

表3 不同月龄褐点石斑鱼形态性状的特征值和累计贡献率

**Tab. 3 Eigenvalue and cumulative contribution rate of *E. fuscoguttatus* morphological traits at different ages**

序号 serial number	不同月龄的特征值 eigenvalue						不同月龄累计贡献率/% cumulative contribution rate					
	3月龄 3 months	8月龄 8 months	13月龄 13 months	3月龄 3 months	8月龄 8 months	13月龄 13 months	3月龄 3 months	8月龄 8 months	13月龄 13 months	3月龄 3 months	8月龄 8 months	13月龄 13 months
1	4.649	6.076	5.777	51.657	67.514	64.188						
2	1.495	1.144	1.185	68.263	80.229	77.354						
3	0.812	0.655	0.810	77.282	87.511	86.359						
4	0.746	0.528	0.521	85.573	93.382	92.153						
5	0.466	0.296	0.260	90.755	96.669	95.041						
6	0.419	0.199	0.208	95.415	98.884	97.352						
7	0.284	0.053	0.121	98.576	99.476	98.696						
8	0.090	0.026	0.084	99.579	99.761	99.634						
9	0.038	0.022	0.033	100.000	100.000	100.000						

表4 不同月龄入选的主成分特征向量

**Tab. 4 The principal component eigenvector of *E. fuscoguttatus* at different ages**

月龄 months	主成分 principal component	特征向量 principal component eigenvector								
		<i>Y</i>	<i>X</i> <sub>1</sub>	<i>X</i> <sub>2</sub>	<i>X</i> <sub>3</sub>	<i>X</i> <sub>4</sub>	<i>X</i> <sub>5</sub>	<i>X</i> <sub>6</sub>	<i>X</i> <sub>7</sub>	<i>X</i> <sub>8</sub>
3月龄 3 months	1	0.958	0.940	0.909	0.704	0.598	0.730	0.596	0.314	0.425
	2	0.114	0.068	-0.039	-0.400	0.364	0.110	-0.086	0.739	-0.786
	3	-0.039	-0.062	-0.046	0.295	0.373	0.041	-0.728	0.096	0.191
8月龄 8 months	1	0.942	0.912	0.905	0.774	0.714	0.876	0.767	0.741	0.723
	2	-0.174	-0.161	-0.138	0.049	-0.262	-0.201	-0.275	0.673	0.655
	3	-0.225	-0.280	-0.297	0.507	-0.050	0.114	0.406	-0.035	-0.008
13月龄 13 months	1	0.927	0.916	0.902	0.804	0.853	0.912	0.739	0.391	0.600
	2	-0.216	-0.319	-0.312	0.453	-0.344	-0.007	0.267	0.544	0.499
	3	0.029	0.071	0.084	-0.127	0.722	-0.073	-0.043	0.058	-0.499

(*X*<sub>4</sub>)及体长(*X*<sub>2</sub>)建立最优回归方程:

$$Y_{3月龄} = -36.774 + 3.992X_1 + 2.295X_5 + 2.759X_4 + 2.186X_6$$

$$Y_{8月龄} = -64.569 + 7.020X_1 + 6.480X_4 + 6.754X_6 + 50.926X_8$$

$$Y_{13月龄} = -302.340 + 18.128X_1 + 17.688X_5 - 28.463X_4 + 5.928X_2$$

3个方程的回归关系均达到极显著水平(3月龄:  $F=301.449$ ,  $P=0.000<0.01$ ; 8月龄:  $F=678.850$ ,  $P=0.000<0.01$ ; 13月龄:  $F=222.357$ ,  $P=0.000<0.01$ ), 经各偏回归系数的显著性检验, 各形态性状对体质量的偏回归系数均达到极显著水平( $P<0.01$ )。回归预测结果显示, 估计值与

实际值差异不显著( $P>0.05$ ), 说明所建立的褐点石斑鱼3个多元回归方程可用于选育实践。

### 2.5 褐点石斑鱼的体长—体质量关系

对350尾3~13月龄褐点石斑鱼的体长和体质量的测定结果进行生长曲线的拟合, 图1显示, 二者呈幂函数正相关, 体长—体质量关系式:  $W=0.0378L^{2.873}$  ( $R^2=0.9596$ )。

## 3 讨论

### 3.1 各形态性状与体质量相关分析

体质量是鱼类选择育种的主要指标, 其次为全长、体长等一些可测量的形态性状<sup>[18]</sup>。本研

表 5 不同月龄褐点石斑鱼性状对体质量的直接与间接途径系数

Tab. 5 Direct and indirect path coefficients of trait to body mass of *E. fuscoguttatus* at different ages

月龄 months	性状 traits	相关系数 correlation coefficient	直接途径系数 direct coefficient	间接途径系数 indirect path coefficient						
				$\Sigma$	$X_1$	$X_2$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_8$
3月龄 3 months	$X_1$	0.933	0.742**	0.439	-	-	0.078	0.067	0.295	-
	$X_4$	0.578	0.157**	0.440	0.367	-	-	0.059	0.015	-
	$X_5$	0.672	0.117**	0.535	0.424	-	0.079	-	0.032	-
	$X_6$	0.558	0.083*	0.466	0.392	-	0.028	0.046	-	-
8月龄 8 months	$X_1$	0.960	0.776**	0.184	-	-	0.107	-	0.051	0.026
	$X_4$	0.703	0.183**	0.521	0.456	-	-	-	0.047	0.019
	$X_6$	0.688	0.082**	0.607	0.484	-	0.104	-	-	0.019
	$X_8$	0.564	0.048*	0.518	0.414	-	0.071	-	0.032	-
13月龄 13 months	$X_1$	0.922	0.840**	0.081	-	0.222	-0.330	0.190	-	-
	$X_5$	0.843	0.234**	0.609	0.682	0.189	-0.262	-	-	-
	$X_4$	0.769	-0.366**	1.134	0.759	0.209	-	0.167	-	-
	$X_2$	0.884	0.239**	0.644	0.779	-	-0.320	0.185	-	-

注：表格内“-”表示无数据，下同

Notes: the short line in table represents null, the same below

表 6 不同月龄褐点石斑鱼形态性状对体质量的决定系数

Tab. 6 Determinant coefficient of morphometric attributes on body mass of *E. fuscoguttatus* at different ages

月龄 months	性状 traits	$X_1$	$X_2$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_8$
3月龄 3 months	$X_1$	0.551	-	0.115	0.099	0.065	-
	$X_4$	-	-	0.025	0.019	0.005	-
	$X_5$	-	-	-	0.014	0.008	-
	$X_6$	-	-	-	-	0.007	-
8月龄 8 months	$X_1$	0.602	-	0.167	-	0.079	0.040
	$X_4$	-	-	0.033	-	0.017	0.007
	$X_6$	-	-	-	-	0.007	0.003
	$X_8$	-	-	-	-	-	0.002
13月龄 13 months	$X_1$	0.706	0.372	-0.555	0.319	-	-
	$X_5$	-	0.088	-0.122	0.055	-	-
	$X_4$	-	-0.153	0.134	-	-	-
	$X_2$	-	0.057	-	-	-	-

究分析了3、8和13月龄褐点石斑鱼的形态性状与体质量的相关性。结果显示，所测形态性状与体质量相关性均达到极显著水平( $P < 0.01$ )，全长与体质量的相关性最大，其次为体长和体高，说明这3个形态性状与体质量保持高度相关，通过这3个形态性状对体质量进行间接选择将获得

较好的效果。褐点石斑鱼身体为纺锤形，受全长和体高的共同影响，研究结果与褐点石斑鱼的生物学特性相吻合。有研究资料表明，随着鱼类的生长，形态性状与体质量的相关程度有所不同。如，闽—粤东族大黄鱼(*Larimichthys crocea*)13月龄阶段与体质量相关性最大的性状为



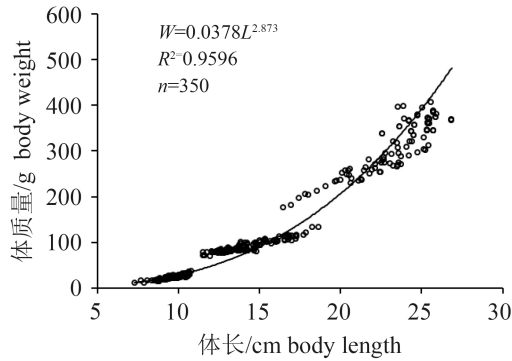


图1 褐点石斑鱼的体长—体质量关系

Fig. 1 The relationship between body length and body weight of *E. fuscoguttatus*

体高, 而20月龄阶段与体质量相关性最大的性状则为体长<sup>[23]</sup>; 黄姑鱼(*Nibea albiflora*)2月龄阶段与体质量相关性最大的性状为躯干长, 18月龄则为体高<sup>[24]</sup>。本实验中, 3、8和13月龄褐点石斑鱼与体质量相关性最大的性状均为全长, 与上述的大黄鱼、黄姑鱼的研究结果不同。分析其原因, 可能与不同鱼的生长特性及生长环境有关。

### 3.2 主成分分析

在用统计分析方法研究鱼类多个形态性状相关性时, 性状个数太多会增加分析问题的复杂性。在鱼类选育过程中, 人们希望性状个数较少而得到较多选育信息。在很多情况下, 变量之间有一定的相关关系, 当两个变量之间有一定相关关系时, 会导致信息出现重叠现象。主成分分析是对于原先提出的所有变量, 将相关紧密的变量删去, 建立尽可能少的新变量, 使得这些新变量两两不相关, 但能尽可能保持原有的信息。唐瞻杨等<sup>[25]</sup>采用主成分分析法研究2~5月龄尼罗罗非鱼形态性状增长规律, 结果显示, 第一主成分均为增重因子, 各月龄第二主成分指向尾柄因子或躯干因子; 窦亚琪等<sup>[15]</sup>采用主成分法对广东清远2~6月龄翘嘴鲈形态性状和体质量进行分析, 结果发现, 各月龄第一主成分始终指向生长发育情况, 2~4月龄第二主成分指向眼睛发育情况, 5和6月龄第二主成分分别指向头部发育和尾部发育情况; 韩慧宗等<sup>[16]</sup>对不同月龄(12、15和18月龄)许氏平鲈形态性状的主成分分析研究得出各月龄许氏平鲈第一主成分均指向增长、增重因子, 而12月龄未提取第二主成分, 15和18月龄分别指向躯干因子、尾柄因子。李镛等<sup>[13]</sup>对4和6月龄大口黑鲈的形态性状分别进

行主成分分析发现均只有第一主成分, 指向体长增长。在本实验中, 褐点石斑鱼3、8和13月龄的第一主成分均指向体质量、全长、体长方面的信息, 说明在褐点石斑鱼生长发育中, 体质量的增重始终是第一位, 这符合褐点石斑鱼的生长发育规律。第二主成分均指向眼径增长, 说明3~13月龄褐点石斑鱼增重的同时, 眼睛开始加快发育。3月龄指向尾柄部生长; 8月龄指向体宽生长; 13月龄指向体高生长。因此, 在褐点石斑鱼(3~13月龄)选育过程中, 应把体质量和全长作为主选性状。通过比较发现, 本研究与上述研究鱼类入选第一主成分形态性状相似。

### 3.3 通径分析

通径分析能够真实反映各自变量和因变量的关系, 通径系数是变量标准化的偏回归系数, 既可以反映出自变量与因变量的直接作用, 也可以分析出其他自变量对因变量影响的间接作用。该方法对于提高水产经济动物选择育种准确性具有重要的现实意义, 已广泛应用于海产虾蟹类<sup>[26-28]</sup>、贝类<sup>[29-30]</sup>、棘皮动物<sup>[31]</sup>、鱼类<sup>[17-18, 32]</sup>育种实践中, 为影响体质量主要形态性状的确立提供参考价值。在鲈形目养殖经济鱼类中, 形态性状对体质量的影响效果有所不同, 同一鱼类不同生长阶段形态性状对体质量的影响效果也存在差异。周绍峰等<sup>[32]</sup>对6月龄赤点石斑鱼(*E. akaara*)主要形态性状与体质量的相关分析发现, 全长对体质量的直接作用(0.611)最大, 全长与头长共同对体质量起主要决定作用。刘峰等<sup>[18]</sup>对4.5月龄野生小黄鱼(*L. polyactis*)形态性状与体质量的通径分析结果显示, 体长对体质量的直接作用(0.589)最大; 郑昇阳<sup>[24]</sup>对黄姑鱼形态性状对体质量之间的关系进行分析表明, 2月龄对体质量影响最大的性状是全长; 区又君等<sup>[33]</sup>对不同生长时期卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)形态性状对体质量的影响效果发现, 1和4月龄全长对体质量的直接作用最大, 7、10和13月龄则是体高对体质量的影响最大; 刘贤德等<sup>[23]</sup>对大黄鱼形态性状对体质量的关系分析表明, 13月龄体高对体质量的直接影响最大(0.522), 其次为体长。在20月龄, 体高对体质量的直接作用最大(0.394), 其次为体长(0.328)、全长(0.271)。上述研究结果表明, 在鲈形目常见养殖经济鱼类, 全长(或体长)和体高是影响体质量的最主要形态性状。本实验通径分析结果显示, 3、8和

13月龄均为全长直接作用对体质量的影响最大,与上述研究结果相类似。

在回归方程中各形态性状对体质量的单独决定系数及两两共同决定系数总和或复合相关指数大于或等于0.85,说明回归方程中的形态性状是影响体质量的主要因素<sup>[34]</sup>,其他已剔除的形态性状对体质量的影响较小。本实验构建3、8和13月龄组的回归方程,各自形态性状对体质量总决定系数之和分别为0.906、0.957和0.901,均满足以上要求。说明回归方程中所包含的自变量是影响体质量的重要形态性状,可很好的预测体质量。通过逐步引入—剔除法分析,保留3个月龄组显著性形态性状,在此基础上建立了最优回归方程,量化了褐点石斑鱼的不同月龄形态性状对体质量的影响,可用于选育实践。

### 3.4 体长—体质量关系

体长和体质量的相关指标是表征鱼类生长特点的重要指标<sup>[35]</sup>。可用指数方程来表达任何鱼类体长和体质量的关系: $W=aL^b$ 。求出一种鱼的体长和体质量的关系中的 $a$ 和 $b$ 值,则只要根据体长数据,就可以算出相应的体质量。在鱼类养殖中,如果计算出的体质量比实测的大,说明生长不佳,鱼体瘦弱;如果计算出的体质量比实测的小,说明鱼类生长优于正常情况。同一种鱼,生活环境条件不同,发育阶段不同, $a$ 和 $b$ 值都可能不同<sup>[22]</sup>。一般 $b$ 值为2.5~4.0, $b$ 值等于或接近3,认为鱼类处于等速生长<sup>[22]</sup>。本研究得到3~13月龄褐点石斑鱼体长—体质量关系式为 $W=0.0378L^{2.873}$ , $b=2.873$ ,接近3,表明室内水泥池养殖条件下褐点石斑鱼的生长是等速生长,与竇亚琪等<sup>[15]</sup>对翘嘴鳊、王雪辉等<sup>[36]</sup>对黄鳍鲷(*Sparus latus*)的研究结果一致。研究养殖褐点石斑鱼的体长和体质量的关系,为掌握其在养殖期间的生长情况提供参考。

### 参考文献:

- [1] Bai L R, Zhao Z Y. Study on embryonic development, larva, juvenile and young fish of *Epinephelus fuscoguttatus*[J]. Agriculture Science & Technology, 2016, 17(6): 1305-1314, 1354.
- [2] Lim L S, Chor W K, Tuzan A D, et al. Betaine is a feed enhancer for juvenile grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) as determined behaviourally[J]. Journal of Applied Animal Research, 2016, 44(1): 415-418.
- [3] Low C F, Mariana N S, Maha A, et al. Identification of immune response-related genes and signalling pathways in spleen of *Vibrio parahaemolyticus*-infected *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsk.) by next-generation sequencing[J]. Journal of Fish Diseases, 2016, 39(3): 389-394.
- [4] Cho W K, Lim L S, Chong M, et al. Evaluation of tempeh as a potential alternative protein source in the diets for juvenile tiger grouper, *Epinephelus fuscoguttatus*[J]. Malaysian Journal of Science, 2015, 34(1): 58-68.
- [5] 周晖, 陈刚, 纪多亮, 等. 3种蛋白替代鱼粉对褐点石斑鱼生长、体成分及能量收支的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2012, 32(6): 10-16.
- Zhou H, Chen G, Ji D L, et al. The effects of partial replacement of fish meal by three protein sources on growth performance approximate compositions and energy budget of juvenile brown-marbled grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*)[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2012, 32(6): 10-16(in Chinese).
- [6] 谢瑞涛, 杨丽云, 张海涛, 等. 3种人工养殖石斑鱼肌肉的蛋白质营养价值评价[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(16): 151-153.
- Xie R T, Yang L Y, Zhang H T, et al. Protein nutritional value evaluation in three species of cultured groupers' muscle[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(16): 151-153(in Chinese).
- [7] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- He X Q. Multivariate statistical analysis[M]. Beijing: Chinese People's University Press, 2008 (in Chinese).
- [8] 顾得月, 任西杰, 迟长风, 等. 大黄鱼HPLC指纹图谱的建立及其在产地溯源和物种鉴别中的应用[J]. 水产学报, 2016, 40(2): 164-177.
- Gu D Y, Ren X J, Chi C F, et al. HPLC fingerprint of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) and its application to geographical origin traceability and species identification[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(2): 164-177(in Chinese).
- [9] 许德高, 李学梅, 朱永久, 等. 不同投喂方式对鲮形态特征的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(6): 873-881.
- Xu D G, Li X M, Zhu Y J, et al. Morphological variations of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fed by



- feedstuff[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(6): 873-881(in Chinese).
- [10] 吕帆, 朱文彬, 王兰梅, 等. 福瑞鲤与黄河鲤、建鲤鱼肉品质的比较及影响肉质的主成分分析[J]. 食品科学, 2016, 37(5): 28-34.  
Lü F, Zhu W B, Wang L M, et al. Meat quality comparison of FFRC strain common carp with Huanghe carp and Jian carp and factors influencing their meat quality[J]. Food Science, 2016, 37(5): 28-34(in Chinese).
- [11] 高天翔, 张秀梅, 柳广东, 等. 10个日本绒螯蟹群体与中华绒螯蟹形态的主成分分析[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(4): 273-277.  
Gao T X, Zhang X M, Liu G D, et al. Principal component analysis on the morphology of ten *Eriocheir japonica* populations and *E. sinensis*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2003, 18(4): 273-277(in Chinese).
- [12] 杨严鸥, 李林春, 操玉涛. 中华鲟繁殖力的主成分分析研究[J]. 信阳农业高等专科学校学报, 2000, 10(1): 46-49.  
Yang Y O, Li L C, Cao Y T. The principal components analysis in the study of *Acipenser sinensis* cray fecundity[J]. Journal of Xinyang Agriculture College, 2000, 10(1): 46-49(in Chinese).
- [13] 李镨, 白俊杰, 李胜杰, 等. 大口黑鲈家系早期形态性状的相关和主成分分析[J]. 海洋渔业, 2011, 33(3): 282-288.  
Li R, Bai J J, Li S J, et al. Correlation and principal components analysis of morphological traits of *Micropterus salmoides* family at early age[J]. Marine Fisheries, 2011, 33(3): 282-288(in Chinese).
- [14] 唐瞻杨, 肖俊, 李莉萍, 等. 尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)不同月龄性状的主成分与判别分析[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(2): 288-293.  
Tang Z Y, Xiao J, Li L P, et al. Principal component and discriminant analyses of traits of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different ages[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(2): 288-293(in Chinese).
- [15] 窦亚琪, 梁旭方, 易提林, 等. 翘嘴鳊不同月龄性状的主成分与判别分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(6): 1116-1124.  
Dou Y Q, Liang X F, Yi T L, et al. Principal component and discriminant analyses of traits of *Siniperca chuatsi* at different ages[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(6): 1116-1124(in Chinese).
- [16] 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.  
Han H Z, Jiang H B, Wang F, et al. Principal component and path analysis of morphological traits of selective groups at different month ages of *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(8): 1163-1172(in Chinese).
- [17] 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 H L, Tian Y S, Liu F, 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(in Chinese).
- [18] 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 F, Chen L, Lou B, 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(in Chinese).
- [19] 时立文. SPSS 19.0统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.  
Shi L W. Statistical analysis with SPSS 19.0 - from beginner to mastery [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012(in Chinese).
- [20] 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 J J, Chen Z W. Method of path analysis with SPSS linear regression[J]. Biology Bulletin, 2010, 45(2): 4-6(in Chinese).
- [21] 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 X A, Ma A J, Xu K, et al. Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*[J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(3): 540-545(in Chinese).
- [22] 谢从新. 鱼类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.  
Xie C X. Ichthyology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010(in Chinese).
- [23] 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 X D, Cai M Y, Wang Z Y, *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(in Chinese).
- [24] 郑昇阳. 不同生长阶段黄姑鱼形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版), 2015, 27(4): 413-417.
- Zheng S Y. Correlation analysis of morphometric traits and body weight of *Nibea albiflora* at different growth stages[J]. Journal of Ningde Normal University (Natural Science Edition), 2015, 27(4): 413-417(in Chinese).
- [25] 唐瞻杨, 陈文治, 罗永巨, 等. 尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*)不同月龄数量性状遗传力估计[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(5): 1180-1185.
- Tang Z Y, Chen W Z, Luo Y J, *et al.* Estimating quantitative trait heritability for *Tilapia nilotica* of different months[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(5): 1180-1185(in Chinese).
- [26] 张成松, 李富花, 相建海. 脊尾白虾形态性状对体质量影响的通径分析[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 809-815.
- Zhang C S, Li F H, Xiang J H. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Exopalaemon carinicauda*[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 809-815(in Chinese).
- [27] 平洪领, 李玉全. 逐步线性回归法实现天津厚蟹(*Helice tientsinensis*)表型性状与体重的通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(5): 1353-1357.
- Ping H L, Li Y Q. Path analysis between morphometric traits and body weight on *Helice tientsinensis* by multiple regression[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(5): 1353-1357(in Chinese).
- [28] 孙成波, 邓先余, 李镇泉, 等. 北部湾野生日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)体重和形态性状的关系[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 263-268.
- Sun C B, Deng X Y, Li Z Q, *et al.* Relations of morphometric attributes and body weight for wild *Marsupenaeus japonicus* from Beibu gulf[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(3): 263-268(in Chinese).
- [29] 李建立, 王春德, 李朝霞, 等. 紫扇贝和海湾扇贝杂交家系的生长和通径分析[J]. 海洋科学, 2012, 36(8): 15-20.
- Li J L, Wang C D, Li Z X, *et al.* Growth and path analyses of hybrid families between the Peruvian and bay scallop[J]. Marine Sciences, 2012, 36(8): 15-20(in Chinese).
- [30] 丁君, 许通, 常亚青, 等. 皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)数量性状的相关性与通径分析[J]. 农学报, 2014, 4(12): 82-86.
- Ding J, Xu T, Chang Y Q, *et al.* Correlation and path analysis of quantitative traits of *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Journal of Agriculture, 2014, 4(12): 82-86(in Chinese).
- [31] 冷晓飞, 张艳, 张伟杰, 等. 不同性别马粪海胆壳形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 水产科学, 2016, 35(4): 359-363.
- Leng X F, Zhang Y, Zhang W J, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus*[J]. Fisheries Science, 2016, 35(4): 359-363(in Chinese).
- [32] 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.
- Zhou S F, Huang W Q, Zhou R F, *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(in Chinese).
- [33] 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 Y J, Ji L, Li J E, *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(in Chinese).
- [34] 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]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2014, 33(2): 134-139.
- Qi M, Hou J L, Lou B, *et al.* Effects of morphometric attributes on body weight for one-year-old *Eleutheronema tetradactylum*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 2014, 33(2): 134-139(in Chinese).
- [35] 李建立, 胡芬, 严利平. 东海区银鲳资源合理利用的研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(8): 1420-1429.
- Li J S, Hu F, Yan L P. Study on the rational utilization of

- Pampus argenteus* resources in the East China Sea region[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(8): 1420-1429(in Chinese).
- [36] 王雪辉, 杜飞雁, 邱永松. 南海北部主要经济鱼类体长与体重关系[J]. 台湾海峡, 2006, 25(2): 262-266.
- Wang X H, Du F Y, Qiu Y S. Length-weight relationships of important commercial fishes in northern South China Sea[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2006, 25(2): 262-266(in Chinese).

## Principal component and path analysis of morphological traits of *Epinephelus fuscoguttatus* at different month ages

HUANG Jiansheng, CHEN Gang\*, ZHAN Jiandong, WANG Zhongliang,  
LIU Bihuan, RUAN Tao

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

**Abstract:** In order to research growth characteristics and the effect of morphological traits on body mass of *Epinephelus fuscoguttatus* at different month ages, data of total length ( $X_1$ ), standard length ( $X_2$ ), head length ( $X_3$ ), body width ( $X_4$ ), body depth ( $X_5$ ), caudal peduncle depth ( $X_6$ ), eye diameter ( $X_7$ ), head length after eye ( $X_8$ ) and body mass ( $Y$ ) were collected at 3 months, 8 months and 13 months of age in this study. The morphological traits were analyzed by principal component and path analysis. The results showed that: (1) the correlation coefficients between all morphological traits at different age phases and body mass were extremely significant. And the correlation coefficients between each trait and body mass differed at different age development stages. (2) The first principal component reflected the growth and development of *E. fuscoguttatus* at different growth phases. The second principal component reflected the development of eye at different month ages. The third principal component was different and reflected the tail development at 3-month-old, body width development at 8-month-old and body height development at 13-month-old. (3) The trait with strongest direct effect on body mass was total length at all the age phases (0.742, 0.776 and 0.840). The path coefficients of four morphometric attributes ( $X_1$ ,  $X_5$ ,  $X_4$ ,  $X_6$ ) for 3-month body mass reached significant difference level. The path coefficients of  $X_1$ ,  $X_4$ ,  $X_6$ , and  $X_8$  for 8-month body mass were also significant. The path coefficients of  $X_1$ ,  $X_5$ ,  $X_4$  and  $X_2$  for 13-month body mass were highly significant. The multivariate regression equation was  $Y_{3\text{-month-old}} = -36.774 + 3.992X_1 + 2.295X_5 + 2.759X_4 + 2.186X_6$ ,  $Y_{8\text{-month-old}} = -64.569 + 7.020X_1 + 6.480X_4 + 6.754X_6 + 50.926X_8$ , and  $Y_{13\text{-month-old}} = -302.340 + 18.128X_1 + 17.688X_5 - 28.463X_4 + 5.928X_2$ . This result suggests that the vital traits that affected body mass at different growth phases were different. (4) The relation equation between standard length and body mass was  $W = 0.0378L^{2.873}$  ( $R^2 = 0.9596$ ) in 3-month to 13-month stages of *E. fuscoguttatus*, which demonstrated the standard length and body mass growth at similar velocity. We proposed that the total length was the target trait for selective breeding of *E. fuscoguttatus* at 3–13 month-old stages. This paper provides theoretical evidence and measure targets for breeding of *E. fuscoguttatus* in the early growth stage in aquaculture.

**Key words:** *Epinephelus fuscoguttatus*; morphological trait; principal component analysis; path analysis; growth

**Corresponding author:** CHEN Gang. E-mail: cheng@gdou.edu.cn

**Funding projects:** Project of Guangdong Provincial Science and Technology Department (2016B020201009, 2013B090700010); Project of Guangdong Provincial Department of Education Key Laboratory of University (2013CXDA019); Project of Enhancing School With Innovation of Guangdong Ocean University (GDOU2016050251)