

文章编号: 1000-0615(2016)08-1163-10

DOI: 10.11964/jfc.20150609924

许氏平鲷不同月龄选育群体形态性状的主成分与通径分析

韩慧宗¹, 姜海滨^{1*}, 王斐¹, 马海涛²,
韩承慧³, 刘相全¹, 杨建敏¹

(1. 山东省海洋资源与环境研究院, 山东省海洋生态修复资源重点实验室, 山东烟台 264006;

2. 中国科学院南海海洋研究所, 广东广州 510301;

3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 为研究许氏平鲷不同月龄选育群体性状的规律特征及形态性状对体质量的影响, 采用相关分析、主成分分析、通径分析和多元回归分析方法对12月龄、15月龄和18月龄许氏平鲷个体的全长、体长、头长、躯干长、体高、尾柄长、尾柄高和体质量8个性状进行分析。结果显示, 各月龄许氏平鲷性状之间均呈现显著的正相关, 其中以全长与体长的相关性最为显著。各月龄许氏平鲷的第一主成分均指向增长、增重因子; 第二主成分有所不同, 12月龄未提取第二主成分, 15月龄和18月龄第二主成分分别指向躯干因子、尾柄因子。12月龄和15月龄许氏平鲷体长和体高对体质量的直接作用均最大(0.340、0.314和0.347、0.324), 18月龄全长对体质量的直接作用最大(0.498), 各性状对体质量决定程度与通径系数变化趋势一致。各月龄的不同形态性状对体质量最优回归方程的建立, 能准确预测体质量的变化。研究表明, 由于许氏平鲷生长阶段的不同, 各性状的生长速率及所选形态性状对体质量的影响均存在一定差异, 建议把体长和体高(12~15月龄)、全长(18月龄)作为育种工作的目标性状, 达到有效提高选育效率的目的, 为许氏平鲷的选育工作提供理论依据和技术参数。

关键词: 许氏平鲷; 选育群体; 形态性状; 主成分分析; 通径分析; 多元回归方程

中图分类号: Q 348; S 965.3

文献标志码: A

许氏平鲷(*Sebastes schlegeli*)隶属鲷形目(Scorpaeniformes)、鲷科(Scorpaenidae)、平鲷属(*Sebastes*), 俗称黑鲷鱼、黑寨鱼、黑石鲈、黑石斑等, 是我国黄、渤海海区常见的近海冷温性底层岩礁鱼类^[1], 具有适温范围广、抗病性强、洄游范围小、肉质鲜美、营养价值高等优点, 深受消费者欢迎, 近年来已成为我国北方沿海网箱养殖、增殖放流和休闲垂钓的重要鱼类之一。由于捕捞过度, 许氏平鲷资源储量严重下降, 无法满足市场的需求, 急需开展人工繁育与选育工作。通过分析不同生长阶段许氏平鲷生

长指标的变化, 明确各性状之间的相关性和紧密程度, 有助于开展许氏平鲷的选育工作。

主成分分析是将众多具有相关性的多个指标转化为几个特定综合指标的一种数学转换方法^[2], 已广泛应用于水产动物形态差异^[3]、生态^[4]、繁殖力^[5]、群体系统分类^[6]等研究领域, 但很少将其应用在水产动物不同生长阶段的选育工作中。李榕等^[7]对4月龄和6月龄大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)家系6个形态性状进行主成分分析, 得出4月龄和6月龄鱼全长对形态性状的贡献率分别为92.29%和86.40%, 可作为大口黑鲈形态性状的选择指标。何铜等^[8]采用主成分分析法对不同生

收稿日期: 2015-06-10 修回日期: 2016-04-27

资助项目: 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-50-Z09); 山东省良种工程项目(2014-2017); 烟台市科技发展计划(2013ZH088); 泰山学者岗位专项

通信作者: 姜海滨, E-mail: haibinjiang326@163.com

长阶段的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)各指标进行分析,结果表明凡纳滨对虾的体质量、体长、体宽和体高等在不同生长阶段的生长速率有差异。王燕飞等^[9]对三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)不同月龄形态性状进行主成分分析,表明各月龄三疣梭子蟹第一、二、三主成分有所不同,包括长度因子、宽度因子和体质量因子,1~3月龄形态性状的增长优先于体质量,4~5月龄体质量增长优先于形态性状。通径分析是一种探索因果关系的多元统计方法,现已广泛用于计算近交系数、遗传相关、确定综合选择指数和剖析性状间相关系数等,很多国内外学者对养殖品种的重要经济性性状进行过通径分析,其中养殖鱼类包括尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[10]、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[11]、卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)^[12]、大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)^[13]、真鲷(*Pagrosomus major*)^[14]、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[15]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[16]等。体质量是选择育种的最直接目标性状,但体质量性状易受基因连锁、基因多效性及环境的影响。基于性状遗传特点,通过相关分析、通径分析和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性状遗传改良的目的。目前,利用主成分分析与通径分析对不同月龄许氏平鲷性状进行分析尚未见报道。

本实验选取许氏平鲷选育群体为研究对象,通过对12月龄、15月龄和18月龄许氏平鲷的8个性状进行主成分分析,揭示许氏平鲷生长性状在3个阶段的生长规律,并获取主要的性状指标;利用相关分析和通径分析探讨形态性状之间相关性,并确定影响体质量的7个形态性状对体质量的直接和间接影响;根据多元回归分析结果,建立不同月龄许氏平鲷形态性状与体质量的最优多元线性回归方程。以期许氏平鲷下一步选育工作提供参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验亲鱼来源于烟台泰华海珍品有限公司经过选育的青岛、烟台、日照、威海4个群体及3个杂交群体,选择活力好、体表无外伤、性腺发育良好的个体作为亲本,2012年10月将一个群

体的10尾雌鱼与另外一个群体的10尾雄鱼放入同一池中自由交尾,2013年5月产仔时把同一群体的所有待产雌鱼放入同一池中产仔,构建许氏平鲷16个杂交群体并进行荧光标记,所有家系个体的培育条件基本一致。分别于2014年5月1日、8月1日和11月1日进行性状测量,每次随机选取512尾个体。

1.2 测量方法

测量前将许氏平鲷用浓度为0.1 g/L MS-222麻醉剂将其麻醉,用电子称(精确到0.01 g)测量体质量,用游标卡尺(精确到0.01 cm)测量7个形态性状指标:全长(FL)、体长(BL)、头长(HL)、躯干长(TL)、体高(BD)、尾柄长(CPL)和尾柄高(CPD)。共记录8个性状表型值。

1.3 统计分析

基本表型参数统计 所有性状测量数据进行初步整理分析,获得各形态性状表型参数,包括表型均值(mean)、标准差(standard deviation, SD)和变异系数(coefficient variation, CV)。

主成分分析 用Jacobi法得到8个形态性状指标相关矩阵的特征值、累计贡献率及特征向量。为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 λ ,使累计贡献率 $\geq 85\%$ 作为

入选的主成分,即 $\Lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i / \sum_{k=1}^n \lambda_i \geq 85\%$ 。

通径分析 分析形态性状间的表型相关、形态性状对体质量的通径系数以及决定系数,分析各性状对体质量的直接作用效应和间接作用效应。

各性状间的相关系数(r_{xy})计算公式:

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

式中, x_i 表示自变量的标志值; y_i 表示因变量的标志值。

通径系数(p_j)计算公式:

$$p_j = b_i \sigma_{x_i} / \sigma_y$$

式中, b_i 为自变量的回归系数; σ_{x_i} 为自变量的标准差; σ_y 为因变量的标准差。

单个性状对体质量的决定系数和2个性状对体质量的 σ_y 共同决定系数方程:

$$d_i = p_j^2; d_{ij} = 2r_{ij} p_i p_j$$

式中, p_j 为某个性状对体质量的通径系数; 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质量的通径系数。

多个自变量对因变量的决定系数:

$$R^2 = \sum p_i^2 + 2b_0 \sum r_{ij}p_i p_j$$

多元回归分析 通过剔除偏回归系数不显著的性状, 建立形态性状与体质量的多元回归方程, 并对方程进行显著性检验。体质量(y)的回归方程采用的线性模型:

$$y = b_0 + b_{1x_1} + b_{2x_2} + \dots + b_{ix_i}$$

式中, y 为因变量, b_0 为常数项, b_i 为对应的偏回归系数, x_i 为自变量。

实验相关数据均利用Microsoft Office Excel 2007和SPSS Statistics 19.0进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 许氏平鲈不同月龄基础表型参数及其相关性

不同月龄许氏平鲈选育群体各性状的表型参数列于表1。18月龄时的体质量均值达到(159.44±37.30) g, 比12月龄许氏平鲈体质量增长了4.4倍。变异系数表示生长离散程度的尺度, 3个月龄组体质量的变异系数均最大, 分别为35.04%、26.82%、23.39%。除体质量外, 3个月龄组的形态性状变异系数的范围为10.58%~15.48%、8.14%~12.34%、8.28%~15.30%, 全长在3个月龄组的变异系数均最小。

许氏平鲈各月龄性状指标间呈不同程度的

正相关, 相关系数达到极显著水平($P<0.01$); 其中以全长与体长的相关性最为显著, 3个月龄组7个形态性状中的全长与体质量的相关性均最大(0.957、0.929、0.896), 其次是体长和体高; 头长与体质量的相关性均最小(0.795、0.681、0.585)。随着月龄的增加, 各个形态性状对体质量的相关系数值逐渐减小(表2)。

2.2 许氏平鲈不同月龄性状的主成分分析

3个月龄组许氏平鲈8个性状参数相关矩阵的特征值及累计贡献率见表3。12月龄许氏平鲈第一主成分的特征值为6.993, 其累计贡献率为87.41%, 由于选择原多维空间的信息量并简化计算, 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, 提取1个主成分便满足入选主成分的条件。同理, 15月龄提取到2个主成分, 累计贡献率达到87.89%; 18月龄提取到3个主成分, 累计贡献率达到90.89%。

3个月龄组许氏平鲈性状的第一主成分中特征向量值较大的均是体长、全长、体质量(表4), 而且由相关分析可知, 三者相关程度较高, 称为增长、增重因子。15月龄的第二主成分中特征值较大的是躯干长, 称为躯干因子; 18月龄的第二主成分中特征值较大的是尾柄高, 称为尾柄因子; 第三主成分中特征值较大的是头长, 称为头长因子。不同月龄许氏平鲈性状特征参数的主成分结果列于表5。

2.3 许氏平鲈形态性状对体质量的通径分析

利用SPSS软件结合通径分析原理计算各形

表 1 不同月龄许氏平鲈8个性状的表型统计量
Tab. 1 The parameters of eight traits of *S. schlegelii* at different ages

$n=512$

性状 traits	12月龄 12 month		15月龄 15 months		18月龄 18 months	
	mean±SD	CV/%	mean±SD	CV/%	mean±SD	CV/%
体质量/g body weight	36.28±12.71	35.04	84.90±22.77	26.82	159.44±37.30	23.39
全长/cm full length	12.91±1.37	10.58	16.59±1.35	8.14	20.62±1.71	8.28
体长/cm body length	10.88±1.20	10.99	13.93±1.18	8.48	17.19±1.54	8.95
头长/cm head length	3.65±0.44	12.00	4.72±0.57	12.15	5.64±0.86	15.30
躯干长/cm trunk length	5.52±0.64	11.66	7.16±0.68	9.53	9.00±0.92	10.23
体高/cm body depth	3.75±0.46	12.25	4.89±0.52	10.57	5.76±0.57	9.83
尾柄长/cm caudal peduncle length	1.71±0.27	15.48	2.13±0.26	12.34	1.99±0.25	12.55
尾柄高/cm caudal peduncle depth	1.16±0.16	13.86	1.60±0.16	9.93	2.55±0.38	15.00

表 2 不同月龄许氏平鲈各性状的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between the traits of *S. schlegeli* at different ages

月龄 months	性状 traits	FL	BL	HL	TL	BD	CPL	CPD
12月龄 12 months	BW	0.957**	0.956**	0.795**	0.892**	0.942**	0.836**	0.906**
	FL		0.984**	0.819**	0.928**	0.931**	0.832**	0.902**
	BL			0.867**	0.929**	0.924**	0.826**	0.895**
	HL				0.660**	0.768**	0.660**	0.724**
	TL					0.854**	0.674**	0.793**
	BD						0.825**	0.893**
	CPL							0.917**
15月龄 15 months	BW	0.929**	0.923**	0.681**	0.759**	0.903**	0.700**	0.847**
	FL		0.975**	0.750**	0.790**	0.858**	0.706**	0.840**
	BL			0.791**	0.798**	0.846**	0.710**	0.836**
	HL				0.317**	0.628**	0.559**	0.644**
	TL					0.697**	0.375**	0.592**
	BD						0.636**	0.818**
	CPL							0.832**
18月龄 18 months	BW	0.896**	0.873**	0.585**	0.670**	0.810**	0.577**	0.697**
	FL		0.957**	0.672**	0.736**	0.758**	0.559**	0.632**
	BL			0.751**	0.736**	0.737**	0.554**	0.626**
	HL				0.168**	0.506**	0.360**	0.416**
	TL					0.556**	0.172**	0.321**
	BD						0.483**	0.561**
	CPL							0.806**

注: **.相关性极显著($P < 0.01$), 下同Notes: **. extremely significant correlation($P < 0.01$), the same below

表 3 不同月龄许氏平鲈形态性状的特征值和累计贡献率

Tab. 3 Eigenvalue and cumulative contribution rate of morphological traits of *S. schlegeli* 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		
	12月龄 12 months	15月龄 15 months	18月龄 18 months	12月龄 12 months	15月龄 15 months	18月龄 18 months
	1	6.993	6.250	5.405	87.41	78.13
2	0.409	0.781	1.091	92.53	87.89	81.20
3	0.358	0.509	0.775	97.00	94.26	90.89
4	0.109	0.237	0.369	98.36	97.22	95.50
5	0.065	0.113	0.195	99.17	98.63	97.94
6	0.047	0.070	0.115	99.75	99.51	99.37
7	0.020	0.036	0.051	100.00	99.95	100.00
8	2.13E-16	0.004	-4.69E-16	100.00	100.00	100.00

表 4 不同月龄许氏平鲈入选的主成分特征向量

Tab. 4 The principal component eigenvector of *S. schlegeli* at different ages

月龄 months	主成分 principal component	特征向量 principal component eigenvector							
		BW	FL	BL	HL	TL	BD	CPL	CPD
12月龄 12 months	1	0.976	0.985	0.988	0.840	0.903	0.956	0.879	0.941
15月龄 15 months	1	0.961	0.974	0.977	0.761	0.759	0.910	0.781	0.911
	2	-0.093	-0.077	-0.058	0.409	-0.624	-0.099	0.411	0.167
18月龄 18 months	1	0.943	0.958	0.959	0.685	0.678	0.835	0.768	0.680
	2	-0.076	-0.161	-0.155	0.098	-0.614	-0.100	0.491	0.631
	3	0.058	-0.050	-0.134	-0.716	0.352	0.036	0.244	0.230

表 5 不同月龄许氏平鲈性状的主成分

Tab. 5 Principal component of traits of *S. schlegeli* at different ages

月龄 months	第一主成分 first principal component	第二主成分 second principal component	第三主成分 third principal component
12月龄 12 months	增长、增重因子	—	—
15月龄 15 months	增长、增重因子	躯干因子	—
18月龄 18 months	增长、增重因子	尾柄因子	头长因子

态性状对体质量的相关通径系数, 表6列出了各月龄许氏平鲈形态性状对体质量达到显著水平的性状及通径系数(直接作用)。12月龄和15月龄体长和体高对体质量的直接作用均最大(0.340、0.314和0.347、0.324), 但均小于通过体长和体高对体质量的间接作用, 18月龄全长对体质量的直接作用最大(0.498), 且大于通过全长对体质量的间接作用。

表7中对角线上为性状单独对体质量的决定系数, 对角线以上为两两性状协同作用下对体质量的间接决定系数。3个月龄对体质量决定系数最大的形态性状分别为体长、体长和全长, 决定系数依次为0.116、0.120和0.248。3个月龄各形态性状对体质量的决定系数最小的依次为尾柄高、头长和躯干长。在共同决定系数中, 12月龄体长通过体高对体质量的间接决定程度最大(0.197), 15月龄全长通过体长对体质量的决定程度最大(0.195), 18月龄全长通过体高对体质量的决定程度最大(0.202)。可知各形态性状对体质量决定程度分析和通径分析变化趋势一致。

2.4 多元回归方程的建立

通过逐步回归的方法剔除部分偏回归系数不显著的性状, 分别获得了12月龄(全长、体

长、体高和尾柄高)、15月龄(全长、体长、头长、体高和尾柄高)和18月龄(全长、躯干长、体高和尾柄高)达到极显著水平的主要形态性状, 经多元回归分析显著性检验, 3个方程的回归关系均达到极显著水平($F=2081.406, P=0.000<0.001$; $F=1069.666, P=0.000<0.001$; $F=812.683, P=0.000<0.001$), 分别建立了最优回归方程:

$$y_{12月龄} = -73.265 + 2.038x_1 + 3.61x_2 + 8.704x_5 + 9.842x_7$$

$$y_{15月龄} = -166.283 + 4.861x_1 + 6.256x_2 - 2.827x_3 + 15.284x_5 + 13.73x_7$$

$$y_{18月龄} = -259.729 + 10.89x_1 + 3.582x_4 + 17.664x_5 + 30.424x_7$$

式中, y 为体质量(g), x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 和 x_7 分别为全长、体长、头长、躯干长、体高和尾柄高。

经各形态性状偏回归系数的显著性检验表明, 偏回归系数均达到极显著水平($P<0.01$)。经回归预测, 以上3个回归方程计算所得的估计值与观测值差异不显著($P>0.05$), 说明本实验建立的许氏平鲈3个多元线性回归方程可以估算个体的体质量。

3 讨论

由许氏平鲈性状的相关性分析可知, 所有

表 6 不同月龄许氏平鲈形态性状对体质量的影响作用

Tab. 6 The effect of three morphological traits on body weight of *S. schlegeli* at different ages

月龄 months	形态性状 morphological traits	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effects	间接作用 indirect effects						
				Σ	FL→Y	TL→Y	BL→Y	HL→Y	BD→Y	CPD→Y
12月龄 12 months	FL	0.957**	0.219	0.739		—	0.335	—	0.292	0.112
	BL	0.956**	0.340	0.617	0.215	—		—	0.29	0.111
	BD	0.942**	0.314	0.629	0.204	—	0.314	—		0.111
	CPD	0.906**	0.124	0.782	0.198	—	0.304	—	0.28	
15月龄 15 months	FL	0.929**	0.288	0.641		—	0.316	-0.053	0.298	0.081
	BL	0.923**	0.347	0.598	0.281	—		-0.056	0.294	0.08
	HL	0.681**	-0.071	0.752	0.216	—	0.256		0.218	0.062
	BD	0.903**	0.324	0.555	0.247	—	0.274	-0.045		0.079
	CPD	0.847**	0.096	0.751	0.242	—	0.271	-0.046	0.284	
18月龄 18 months	FL	0.896**	0.498	0.397		0.065	—	—	0.203	0.129
	TL	0.670**	0.088	0.581	0.367	—	—	—	0.149	0.065
	BD	0.810**	0.268	0.541	0.377	0.049	—	—		0.114
	CPD	0.697**	0.204	0.493	0.315	0.028	—	—	0.15	

表 7 不同月龄许氏平鲈形态性状对体质量的决定系数

Tab. 7 The determination coefficients of morphological traits on the weight of *S. schlegeli* at different ages

月龄 months	形态性状 morphological traits	FL	BL	HL	TL	BD	CPD
12月龄 12 months	FL	0.048	0.147	—	—	0.128	0.049
	BL		0.116	—	—	0.197	0.075
	BD			—	—	0.099	0.070
	CPD			—	—		0.015
15月龄 15 months	FL	0.083	0.195	-0.031	—	0.160	0.046
	BL		0.120	-0.036	—	0.178	0.052
	HL			0.005	—	-0.029	-0.009
	BD				—	0.105	0.054
	CPD				—		0.009
18月龄 18 months	FL	0.248	—	—	0.065	0.202	0.128
	TL		—	—	0.008	0.026	0.012
	BD		—	—		0.072	0.061
	CPD		—	—			0.042

月龄组各性状间相关系数均达到极显著水平($P<0.01$),相关系数包含了两个变量的直接关系和间接关系,但无法消除性状间彼此相关而造成的信息重叠,为此进行主成分分析,采用“降维”的思路,找出几个综合因子代替原来众多变量,并且能尽可能反映原来变量的信息量。唐瞻杨等^[17]对尼罗罗非鱼不同月龄性状的主成分分析研究得出2~5月龄第一主成分均为增重因子,第二、三主成分略有差别,但各月龄第二、三主成分指向形态性状的增长,即不同月龄尼罗罗非鱼的增重始终优先于形态性状的增长。窦亚琪等^[18]对不同月龄鳊(*Siniperca chuatsi*)的形态指标进行主成分分析,各月龄第一主成分始终指向鳊的生长发育情况,第二主成分有所不同,2~4月龄指向眼睛发育情况,5月龄和6月龄分别指向头部发育和尾部发育情况。通过比较发现,本研究与以上研究结果相似,许氏平鲈后期不同生长阶段入选主成分的因子同样有所差别,但第一主成分始终反映了体长、全长和体质量方面的信息,说明在许氏平鲈的生长发育中,体质量的增加始终是第一位,该结论符合许氏平鲈的生长发育规律。而第二主成分略有差异,12月龄未提取到第二主成分,15月龄和18月龄第二主成分分别指向躯干部和尾柄部的生长发育,说明12~15月龄许氏平鲈增重的同时,躯干部位开始加快生长;15~18月龄躯干部生长放缓,尾柄部生长加快。所以在不同月龄对许氏平鲈进行选育时侧重的性状稍有不同。

许氏平鲈体质量性状受基因连锁、基因多效性及环境的影响,在选择育种中用其他形态性状替代体质量来排除以上干扰而产生的系统误差,本实验利用通径分析方法明确影响体质量的主要性状。与佟雪红等^[19]对建鲤(*Cyprinus carpio* var. *Jian*)和黄河鲤(*C. carpio*)的杂交后代、王凯等^[20]对牙鲆及袁美云等^[21]对施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)的研究结果相似,12月龄和15月龄体长均是影响许氏平鲈体质量的最主要性状。不同月龄群体形态性状对体质量的影响效果存在差异,刘贤德等^[11]在研究不同生长时期大黄鱼形态性状对体质量的影响效果发现,在13月龄,体高对体质量的直接影响(0.522)最大,其次为体长(0.445),全长对体质量的直接影响不显著。在20月龄,体高对体质量的直接影响(0.394)最大,

其次为体长(0.328)、全长(0.271)。区又君等^[12]对卵形鲳鲹形态性状对体质量之间的关系进行分析表明,1月龄和4月龄卵形鲳鲹对体质量影响最大的性状是全长,7月龄至13月龄则为体高。本研究中,在12月龄和15月龄,体长对体质量直接影响作用最大;在18月龄,全长对体质量的直接影响作用最大。除18月龄许氏平鲈全长对体质量的直接作用大于间接作用,3组月龄的其他形态性状对体质量的直接作用均小于间接作用。只有当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和 Σd (数值上 $R^2=\Sigma d$)或相关指数 $R^2\geq 0.85$ 时,才表明影响因变量的主要自变量已经找到^[22]。本实验进入3个回归方程的各自形态性状对体质量的总决定系数分别为0.944、0.904、0.864,均满足以上要求。通过逐步回归分析剔除了通径系数不显著的性状,保留3个月龄显著性性状,在此基础上建立了最优回归方程,量化了许氏平鲈在不同生长阶段形态性状与体质量的相互关系,可在许氏平鲈选育工作中应用。

在农业上研究性状或指标重要性时,主成分分析和通径分析经常被协同使用,如棉花^[23]、甘蔗^[24]、油棕果^[25]等,在水产选择育种上将主成分分析和通径分析两种方法结合使用未见报道,主成分分析结果显示,在不同月龄第一主成分的贡献率均占到累积贡献率的50%以上,说明第一主成分的性状是影响许氏平鲈生长发育的重要指标,增长和增重方面的生长优于其他性状的生长,因而今后在许氏平鲈选育工作中应注重选择体长、全长和体质量这3个性状。通径分析找到了3个月龄影响许氏平鲈体质量的主要形态性状,体长和体高是12月龄和15月龄对体质量直接影响作用最大的性状;全长是18月龄对体质量的直接影响作用最大的性状。结合2种分析方法可以得出,12~15月龄选择体长和体高作为主要性状选育目标,18月龄选择全长作为主要形态性状选育目标,以此提高选育效率,为以后许氏平鲈多性状选育工作的开展提供理论依据和理想测量目标性状。

参考文献:

- [1] 姜海滨,马海涛,刘丽娟,等.黑鲟半同胞家系选育的初步研究[J].海洋科学,2014,38(10):70-75.

- Jiang H B, Ma H T, Liu L J, *et al.* A preliminary study of superior half-sib family selection of *Sebastes schlegelii*[J]. Marine Sciences, 2014, 38(10): 70-75(in Chinese).
- [2] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008: 150-155.
- He X Q. Multivariate Statistical Analysis[M]. Beijing: Chinese People's University Press, 2008: 150-155(in Chinese).
- [3] 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 G, 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).
- [4] 王朝晖, 齐雨藻, 陈菊芳, 等. 大亚湾角毛藻细胞数量波动及其与环境因子关系的多元分析[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1096-1102.
- Wang Z H, Qi Y Z, Chen J F, *et al.* Population dynamics of *Chaetoceros* spp. and multivariate analysis of its relationship with environmental factors in Daya Bay, South China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(4): 1096-1102(in Chinese).
- [5] 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 Agricultural College, 2000, 10(1): 46-49(in Chinese).
- [6] 张永普, 林志华, 应雪萍. 不同地理种群泥蚶的形态差异与判别分析[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 339-342.
- Zhang Y P, Lin Z H, Ying X P. Morphological variations and discriminant analysis of different geographical populations of *Tegillarca granosa*[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(3): 339-342(in Chinese).
- [7] 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).
- [8] 何铜, 刘小林, 杨长明, 等. 凡纳滨对虾各月龄性状的主成分与判别分析[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2134-2142.
- He T, Liu X L, Yang C M, *et al.* Principal component and discriminant analyses of traits of *Litopenaeus vannamei* at different ages[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 2134-2142(in Chinese).
- [9] 王燕飞, 王春琳, 母昌考, 等. 三疣梭子蟹不同月龄形态性状的主成分分析[J]. 生态科学, 2014, 33(3): 527-532.
- Wang Y F, Wang C L, Mu C K, *et al.* Principal component analysis of morphometric traits of *Portunus trituberculatus* at different month ages[J]. Ecological Science, 2014, 33(3): 527-532(in Chinese).
- [10] 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.
- Xiao W, Li D Y, Zou Z Y, *et al.* Effects analysis of morphometric attributes on body weight for Egyptian strain of *Oreochromis niloticus* in different growth phases[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(2): 14-19, 42(in Chinese).
- [11] 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.
- 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, 2010, 29(5): 159-163(in Chinese).
- [12] 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).
- [13] Debowski P, Dobosz S, Robak S, *et al.* 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[J]. Archives of Polish Fisheries, 1999, 7(2): 237-243.
- [14] Kora H A, Tsuchimoto M U, Miyata K A, *et al.*

- Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured red sea bream[J]. *Fisheries Science*, 2000, 66(2): 365-371.
- [15] 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, Mai 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).
- [16] 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. Yan F S, Wang Z G, Liu X D, *et al.* Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for 3-month aged *Paralichthys olivaceus*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(2): 45-50(in Chinese).
- [17] 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).
- [18] 窦亚琪, 梁旭方, 易提林, 等. 翘嘴鲌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).
- [19] 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[J]. *大连水产学院学报*, 2007, 22(3): 159-163. Tong X H, Dong Z J, Miao W M, *et al.* The heterosis of F_1 hybrids (jian carp \times huanghe carp) and path analysis of main growth traits[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2007, 22(3): 159-163(in Chinese).
- [20] 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 K, Liu H J, Liu Y X, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attributions on body weight for *Paralichthys olivaceus*[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(6): 655-660(in Chinese).
- [21] 袁美云, 刘双凤, 韩志忠, 等. 3月龄施氏鲟形态性状对体质量的影响分析[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(3): 507-513. Yuan M Y, Liu S F, Han Z Z, *et al.* Mathematical analysis of morphometric attribute effects on body weight for three-month-old *Acipenser schrenckii* Brandt[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(3): 507-513(in Chinese).
- [22] 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. Liu X L, Chang Y Q, Xiang J H, *et al.* Analysis of effects of shell size characters on live weight in Chinese scallop *Chlamys farreri*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(6): 673-678(in Chinese).
- [23] 齐子杰, 刘光萍. 棉花新品种数量性状的主成分分析与通径分析[J]. *河南科技学院学报*, 2009, 37(4): 7-10. Qi Z J, Liu G P. Major factor and path analysis of quantitative characters of new cotton varieties of Henan[J]. *Journal of Henan Institute of Science and Technology*, 2009, 37(4): 7-10(in Chinese).
- [24] 谢静, 吴建涛, 杨俊贤, 等. 甘蔗品质指标的通径分析和主成分分析[J]. *西南农业学报*, 2012, 25(3): 771-774. Xie J, Wu J T, Yang J X, *et al.* Path and principal component analysis for quality indexes of sugarcane[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25(3): 771-774(in Chinese).
- [25] 石鹏, 冯美利, 雷新涛, 等. 油棕果穗产量性状主成分及通径分析[J]. *广东农业科学*, 2015, 42(17): 18-25. Shi P, Feng M L, Lei X T, *et al.* Path and principal component analysis of yield traits in oil palm fruit bunch[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(17): 18-25(in Chinese).

Principal component and path analysis of morphological traits of selective groups at different month ages of *Sebastes schlegeli*

HAN Huizong¹, JIANG Haibin^{1*}, WANG Fei¹, MA Haitao²,
HAN Chenghui³, LIU Xiangquan¹, YANG Jianmin¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Resources and
Environment Research Institute, Yantai 264006, China;

2. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to research growth characteristics and the effect of morphological traits on body weight of selective groups of *Sebastes schlegeli* at different month ages, this thesis analyzed the data of body weight, full length, body length, head length, trunk length, body depth, caudal peduncle length and caudal peduncle depth at different month ages, by the methods of principal component, correlation analysis, path analysis and multiple regression analysis. The results showed that notable correlation was found among all the morphological traits of *S. schlegeli* at different ages, especially between full length and body length. The first principal component always reflects the length and body weight factor of *S. schlegeli* at different growth phases. However, the second principal component was different and reflected the trunk length factor at 15-month-old and the caudal peduncle factor at 18-month-old, but was not available at 12-month-old. The traits with strongest direct effect on body weight were body length and body depth (0.340, 0.314 and 0.347, 0.324) at 12-month-old and 15-month-old, meanwhile, the full body and body depth (0.498) at 18-month-old. The result of determinant coefficient analysis was consistent with that of path analysis. The growth rate of traits and effect on weight selected traits were not the same because of the different growth stages of *S. schlegeli*. We proposed that the body length and body depth were the target traits for selective breeding of *S. schlegeli* at 12-month-old and 15-month-old, We should pay attention to selecting full length at 18-month-age to improve the accuracy of breeding projects. The research provided theoretical evidence and technical parameters for selective breeding of *S. schlegeli*.

Key words: *Sebastes schlegeli*; cultured populations; morphological trait; principal component; path analysis; multiple regression equation

Corresponding author: JIANG Haibin. E-mail: haibinjiang326@163.com

Funding projects: Modern Agro-Industry Technology Research System(CARS-50-Z09); Shandong Province Breeding Project (2014-2017); Plan of Technology Development, Yantai(2013ZH088); Taishan Scholar Post