

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180520001

http://www.yykxjz.cn/

刘阳, 韩慧宗, 王腾腾, 张明亮, 王斐, 孙娜, 姜海滨. 许氏平鲷体质量与形态性状的表型特征分析. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 117-125

Liu Y, Han HZ, Wang TT, Zhang ML, Wang F, Sun N, Jiang HB. Phenotypic analysis of the main morphological traits and body weight of black rockfish (*Sebastes schlegelii*). Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 117-125

许氏平鲷体质量与形态性状的表型特征分析*

刘阳^{1,2} 韩慧宗^{1①} 王腾腾¹ 张明亮¹ 王斐¹ 孙娜^{1,2} 姜海滨^{1①}

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

2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 为探究许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)主要形态性状与体质量的相关性及在三代选育群体间的差异性,以随机采集8月龄许氏平鲷群体内选育F₁代、群体内家系选育F₂代和F₃代为研究对象,本研究每代各选取80尾分别测量了体质量(Y, g)和11个形态性状指标(cm):全长(X₁)、体长(X₂)、体高(X₃)、头长(X₄)、尾长(X₅)、尾柄长(X₆)、尾柄高(X₇)、吻长(X₈)、躯干长(X₉)、眼径(X₁₀)、眼后头长(X₁₁),采用通径分析和灰色关联度分析2种方法对许氏平鲷三代选育群体的形态性状对体质量的影响情况进行评价。结果显示,三代选育群体11个形态性状与体质量的相关关系达到极显著水平(P<0.01)或显著水平(P<0.05)。通径分析中,F₁、F₂代的体高和躯干长对体质量的通径系数达到极显著水平(P<0.01);F₃代的体高和尾柄长对体质量的通径系数达到极显著水平(P<0.01)。采用逐步回归方法建立了三代选育群体形态性状与体质量的多元回归方程,F₁: $Y=-47.383+17.097X_3+7.308X_9$;F₂: $Y=-34.615+15.779X_3+3.901X_9$;F₃: $Y=-54.496+21.966X_3+7.283X_6$ 。灰色关联度分析中,三代选育群体体质量与形态性状的关联度大小及次序存在一定差异,但三代间与体质量关联度最高的前3个性状均为体高、全长和体长。研究表明,2种分析方法得到的影响体质量的主要形态性状有所不同,且在三代群体间也有所差异,但2种方法在三代选育群体中得到的第一主控性状均为体高,说明体高是影响许氏平鲷三代选育群体体质量的最主要的形态性状。本研究可为许氏平鲷选育测量指标的确定提供参考数据。

关键词 许氏平鲷;形态性状;体质量;通径分析;灰色关联度;三代选育群体

中图分类号 S965.399 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)05-0117-09

在水产动物育种中,通过对不同性状间的相关性进行分析可为育种方案提供必要数据。体质量和形态性状具有直观性和可度量性,是鱼类遗传育种最直接且重要的定向选择培育的指标,但体质量性状的测量

受鱼肠道残留饲料、体表残留海水等因素,致使测量结果出现偏差,而形态性状在测量上准确度高,便于统一规格,因此,形态性状与体质量的关系研究尤为必要。通径分析是多元回归分析的扩展,通径系数又

* 山东省自然科学基金(ZR2016CP21)、现代农业产业技术体系专项(CARS-47-Z14)、山东省重点研发计划项目(2017GHY15107)和山东省农业重大应用技术创新项目(2017-2020)共同资助 [This work was supported by Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2016CP21), China Agriculture Research System (CARS-47-Z14), Key Research and Development Plan of Shandong Province (2017GHY15107), and the Major Agriculture Application Technology Innovation Project of Shandong Province(2017-2020)]. 刘阳, E-mail: 849106529@qq.com

① 通讯作者:姜海滨,研究员, E-mail: haibinjiang326@163.com;韩慧宗, E-mail: hanhuizong729@163.com

收稿日期: 2018-05-20, 收修改稿日期: 2018-08-09

具有相关系数与偏回归系数的特点(Akintunde, 2012), 所以通径分析可以通过通径系数来证明自变量和因变量之间的直接作用、间接作用以及作用的大小, 通径分析因具有准确、直观等特点, 被广泛应用于大菱鲂(*Scophthalmus maximus*) (王新安等, 2008)、翘嘴鲈(*Siniperca chuatsi*) (董浚键等, 2018)、脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*) (李洋等, 2012)、斧文蛤(*Meretrix lamarchii*) (张嘉丽等, 2014)等多种水产动物育种。20世纪80年代, 邓聚龙(1982)提出灰色关联度分析, 这种方法具有分析样本的需求量少、得到信息量大、方法简便等优点, 可以将众多测量指标综合成能够反应整体的数据, 即灰色关联度。通过比较关联度的大小, 来确定自变量对自变量、自变量对因变量的重要性, 已广泛应用于种植业、畜牧业的新品系筛选和性状相关性研究中(孙峰成等, 2012; 韦春波等, 2010)。

许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*), 俗称黑鲷, 隶属鲈形目(Scorpaeniformes)、鲈科(Scorpaenidae)、平鲈属(*Sebastes*), 为冷温性近海底层卵胎生鱼类, 在中国黄、渤海以及韩国和日本沿海都有较广泛的分布(Feng *et al.*, 2014)。因具有适温范围广、生长快、抗逆性强、营养价值高等特点, 已成为我国北方沿海资源增殖和网箱养殖的理想品种。开展人工选育工作可保证许氏平鲈养殖业的健康发展。目前, 有关许氏平鲈选择育种的研究主要集中在家系构建(姜海滨等, 2014)、分子标记开发(Ma *et al.*, 2015)、群体遗传结构分析(刘阳等, 2018)等。目前, 采用通径和灰色关联度分析对许氏平鲈性状相关性研究未见报道。本研究采用通径和灰色关联度分析2种方法对许氏平鲈三代选育群体的11个形态性状与体质量的相对关系进行评价, 为下一步许氏平鲈选育提供合理科学的目标评价指标性状, 以期提高选育效率。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本课题组从2005~2017年在烟台泰华海洋科技有限公司采用群体选育和家系选育相结合的方法陆续开展了许氏平鲈的三代选育工作, 2005年利用荣成优良野生群体通过控温控光技术在室内工厂化自由交尾的方式, 2006年建立群体内选育子1代(F₁), 2010年和2016年通过自由交尾将待产雌鱼分池单独培育构建半同胞家系, 参照姜海滨等(2014), 分别于次年建立群体内的家系选育子2代(F₂)、子3代(F₃), 2017年集体产仔, 在相同的培育环境下, 将仔鱼培

育至8月龄, 分别从三代选育群体中随机取样80尾测量12个性状指标: 体质量(Y)、全长(X₁)、体长(X₂)、体高(X₃)、头长(X₄)、尾长(X₅)、尾柄长(X₆)、尾柄高(X₇)、吻长(X₈)、躯干长(X₉)、眼径(X₁₀)和眼后头长(X₁₁)。用电子天平称量体质量, 精确至0.01 g; 其他形态性状采用放置刻度尺拍照, 并用Image J软件测量, 精确至0.01 cm。

1.2 分析方法

1.2.1 通径分析 使用Excel 2010整理各形态性状和体质量的测量数据, 统计各性状的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数等表型参数。利用软件SPSS 17.0在各性状间进行相关性分析, 在表型性状相关的基础上, 利用逐步法进行形态性状为自变量对体质量的多元回归分析, 建立多元回归方程; 通过标准化回归系数法计算自变量对因变量的直接通径系数, 进一步分解, 获得间接通径系数。结合所得各形态性状之间的相关系数, 进而求得单性状的直接决定系数、两两性状间共同决定系数, 计算方法参照Wright(1921), 具体公式如下:

$$\text{间接通径系数} = r_{x_i x_j} \times P_{x_j} \quad (1)$$

$$\text{决定系数 } d_{x_i} = P_{x_i}^2 \quad (2)$$

$$\text{共同决定系数 } d_{x_i x_j} = 2r_{x_i x_j} \times P_{x_i} \times P_{x_j} \quad (3)$$

式中, $r_{x_i x_j}$ 为形态性状 x_i 和 x_j 间的相关系数, P_{x_j} 为性状 x_j 对体质量的通径系数, P_{x_i} 为性状 x_i 对体质量的通径系数。

1.2.2 灰色关联度分析 由于许氏平鲈形态性状和体质量的量纲不同, 性状间无法进行直接比较。因此, 本研究以体质量为参考序列 X_0 , 11个形态性状为比较序列 $X_i, i=1, 2, 3, \dots, 11$, 采用标准差法对原始数据进行无量纲化处理, 参照公式(4)。根据灰色理论系统, 将11个形态性状和体质量视为一个灰色系统, 参照公式(5)和(6)计算灰色关联系数和关联度, 最后依据灰色关联度的大小来评价体质量与各形态性状的密切程度, 从而判断各形态性状对体质量的重要性, 具体计算方法参照邓聚龙(1982)。相关公式如下:

$$X'_i(k) = \frac{X_i(k) - \bar{X}_i}{S_i} \quad (4)$$

$$\delta_i(k) = \frac{\min |X'_0(k) - X'_i(k)| + \rho \max |X'_0(k) - X'_i(k)|}{|X'_0(k) - X'_i(k)| + \rho \max |X'_0(k) - X'_i(k)|} \quad (5)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \delta_i(k) \quad (6)$$

式中, $X_i(k)$ 表示原始数据, \bar{X}_i 表示同一性状平

均值, S_i 表示同一性状的标准差, $X'_i(k)$ 表示处理后的数据。 $\delta_i(k)$ 表示灰色关联系数, ρ 表示分辨系数($\rho=0.5$), $\max|X'_0(k)-X'_i(k)|$ 和 $\min|X'_0(k)-X'_i(k)|$ 分别表示所有比较序列各个点绝对差值中的最大值和最小值, γ_i 表示子序列 X_i 对参照序列 X_0 的关联度, 根据数值大小判断子序列重要性并排序。

2 结果与分析

2.1 各形态性状对体质量的通径分析

许氏平鲈三代选育群体的各性状表型参数值如表 1 所示, 三代选育群体中, 体质量的变异系数均最大, 分别为 22.71%、24.28%和 18.84%; 体长的变异系数均最小, 分别为 9.32%、9.70%和 7.85%。各形态性状间及与体质量的相关系数见表 2, 其形态性状间及与体质量间的相关系数达到极显著水平($P<0.01$)或显著水平($P<0.05$), 三代选育群体中全长和体长的相关性均最大, 相关系数分别为 0.985、0.984 和 0.972, 体高对体质量的相关性最高, 眼径与体质量之间的相关性均最低。

根据通径分析原理计算各形态性状对体质量的通径系数, 结果见表 3。经显著性检验分析, 剔除通径系数不显著的表型性状, F_1 代和 F_2 代均保留了达到极显著水平的体高和躯干长 2 个性状, 所得通径系

数分别为 0.662、0.336 和 0.756、0.245; F_3 代保留了极显著水平的体高和尾柄长 2 个性状, 通径系数为 0.683、0.317。三代选育群体的体高对体质量的直接作用均大于间接作用, 可见体高是影响体质量的主要因素。而躯干长(F_1 、 F_2)和尾柄长(F_3)2 个性状对体质量的影响均是间接作用大于直接作用。各形态性状对体质量的决定系数见表 4。三代选育群体性状单独的决定系数和两性状两两共同决定系数之和分别为 0.936、0.943 和 0.893, 均大于 0.85, 表明影响许氏平鲈体质量的主要形态性状均被纳入研究中。

2.2 多元回归方程的建立

采用逐步回归的方法, 剔除对体质量影响不显著的形态性状, 建立许氏平鲈三代选育群体多元回归方程, 依次为:

$$F_1 \text{ 代: } Y = -47.383 + 17.097X_3 + 7.308X_9$$

$$F_2 \text{ 代: } Y = -34.615 + 15.779X_3 + 3.901X_9$$

$$F_3 \text{ 代: } Y = -54.496 + 21.966X_3 + 7.283X_6$$

式中, Y 为体质量(g), X_3 、 X_6 和 X_9 分别为体高(cm)、尾柄长(cm)和躯干长(cm)。对多元回归关系和各偏回归系数进行显著性检验(表 5), 均达到极显著水平($P=0.000<0.001$), 说明建立的多元回归方程模拟效果较为准确。对所构建的多元回归方程采用 F -检验(表 6), 回归方程检验结果均达到显著水平($F_1=248.991$,

表 1 许氏平鲈三代选育群体所测各性状的表型统计量

Tab.1 Phenotypic parameters of various traits in three-generation breeding groups of *S. schlegelii*

性状 Traits	F_1				F_2				F_3			
	最大值 Max	最小值 Min	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV(%)	最大值 Max	最小值 Min	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV(%)	最大值 Max	最小值 Min	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV(%)
X_1	16.43	9.35	13.173±1.244	9.44	18.67	11.59	13.947±1.372	9.84	19.95	12.59	15.622±1.265	8.10
X_2	13.75	7.93	11.218±1.046	9.32	15.82	9.83	11.844±1.149	9.70	16.90	10.51	13.294±1.044	7.85
X_3	4.63	2.49	3.825±0.384	10.03	5.79	3.31	3.968±0.406	10.24	5.54	3.72	4.502±0.441	9.80
X_4	4.57	2.69	3.793±0.385	10.15	5.47	2.96	3.954±0.515	13.01	5.32	3.28	4.467±0.462	10.34
X_5	5.10	3.01	4.023±0.425	10.55	5.44	3.19	4.255±0.488	11.46	6.57	3.91	4.861±0.526	10.82
X_6	2.61	1.17	1.780±0.275	15.43	2.51	1.42	1.944±0.247	12.72	3.06	1.47	2.114±0.326	15.41
X_7	1.43	0.78	1.087±0.131	12.04	1.62	0.86	1.128±0.122	10.83	1.78	1.03	1.307±0.138	10.57
X_8	1.37	0.57	0.838±0.161	19.20	1.53	0.58	0.894±0.187	20.96	1.45	0.52	1.017±0.191	18.79
X_9	4.23	1.98	3.181±0.382	12.00	5.27	0.73	3.297±0.509	15.44	4.64	2.83	3.737±0.420	11.25
X_{10}	1.06	0.69	0.879±0.090	10.23	1.28	0.61	0.904±0.130	14.41	1.38	0.80	1.000±0.112	11.16
X_{11}	2.54	1.27	1.900±0.216	11.37	2.60	1.29	1.998±0.259	12.97	2.72	1.73	2.242±0.229	10.20
Y	79.19	14.92	38.854±8.823	22.71	90.91	27.30	44.994±10.926	24.28	103.56	40.29	59.787±11.263	18.84

注: X_1 : 全长(g); X_2 : 体长(cm); X_3 : 体高(cm); X_4 : 头长(cm); X_5 : 尾长(cm); X_6 : 尾柄长(cm); X_7 : 尾柄高(cm); X_8 : 吻长(cm); X_9 : 躯干长(cm); X_{10} : 眼径(cm); X_{11} : 眼后头长(cm); Y : 体质量(g)。下同

Note: X_1 : Total length; X_2 : Body length; X_3 : Body height; X_4 : Head length; X_5 : Tail length; X_6 : Caudal peduncle length; X_7 : Caudal peduncle height; X_8 : Tongue length; X_9 : Trunk length; X_{10} : Eye diameter; X_{11} : Head length behind the eyes; Y : Body weight. The same as below

表 2 各性状间相关系数及显著性检验
Tab.2 The correlation coefficients and significance test on phenotypic traits

选育世代 Breeding generation	性状 Traits	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
F ₁	X ₁	0.893**										
	X ₂	0.897**	0.985**									
	X ₃	0.919**	0.933**	0.939**								
	X ₄	0.752**	0.807**	0.854**	0.838**							
	X ₅	0.713**	0.859**	0.829**	0.735**	0.581**						
	X ₆	0.428**	0.515**	0.530**	0.401**	0.363**	0.595**					
	X ₇	0.771**	0.818**	0.812**	0.821**	0.704**	0.701**	0.420**				
	X ₈	0.683**	0.780**	0.815**	0.765**	0.813**	0.533**	0.436**	0.559**			
	X ₉	0.870**	0.884**	0.877**	0.866**	0.673**	0.724**	0.442**	0.723**	0.725**		
	X ₁₀	0.472**	0.485**	0.542**	0.561**	0.567**	0.263*	0.237*	0.526**	0.455**	0.409**	
	X ₁₁	0.598**	0.722**	0.728**	0.670**	0.760**	0.625**	0.338*	0.682**	0.601**	0.516**	0.414**
F ₂	X ₁	0.827**										
	X ₂	0.828**	0.984**									
	X ₃	0.891**	0.915**	0.915**								
	X ₄	0.625**	0.715**	0.771**	0.684**							
	X ₅	0.772**	0.913**	0.894**	0.833**	0.602**						
	X ₆	0.549**	0.711**	0.704**	0.632**	0.503**	0.726**					
	X ₇	0.717**	0.852**	0.811**	0.794**	0.443**	0.806**	0.681**				
	X ₈	0.428**	0.535**	0.593**	0.480**	0.794**	0.426**	0.338**	0.313**			
	X ₉	0.771**	0.834**	0.810**	0.843**	0.471**	0.718**	0.534**	0.747**	0.329**		
	X ₁₀	0.258**	0.396**	0.460**	0.334**	0.507**	0.388**	0.250*	0.214*	0.386**	0.283*	
	X ₁₁	0.680**	0.706**	0.748**	0.712**	0.731**	0.665**	0.540**	0.477**	0.529**	0.501**	0.483**
F ₃	X ₁	0.861**										
	X ₂	0.867**	0.972**									
	X ₃	0.898**	0.857**	0.863**								
	X ₄	0.580**	0.642**	0.725**	0.676**							
	X ₅	0.735**	0.853**	0.889**	0.754**	0.451*						
	X ₆	0.795**	0.676**	0.719**	0.755**	0.535**	0.798**					
	X ₇	0.760**	0.828**	0.860**	0.711**	0.413**	0.779**	0.625				
	X ₈	0.370**	0.428**	0.602**	0.537**	0.731**	0.428**	0.304**	0.215*			
	X ₉	0.750**	0.789**	0.879**	0.705**	0.467**	0.627**	0.564**	0.600**	0.561*		
	X ₁₀	0.241*	0.522**	0.408**	0.548*	0.617**	0.520**	0.492**	0.425**	0.395**	0.418**	
	X ₁₁	0.407**	0.484**	0.609**	0.518**	0.665**	0.592**	0.558**	0.454**	0.428**	0.564**	0.373**

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

Note: ** denoted highly significant difference ($P<0.01$), * denoted significant difference ($0.01<P<0.05$), the same as below

表 3 形态性状对体质量影响的途径分析
Tab.3 Path analysis of the effects of morphological traits on body weight

选育世代 Breeding generation	性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	途径系数 Path coefficients	总计 Total	间接途径系数 Indirect path coefficients		
					X ₃	X ₉	X ₆
F ₁	X ₃	0.919	0.662**	0.291		0.291	
	X ₉	0.870	0.336**	0.573	0.573		
F ₂	X ₃	0.891	0.756**	0.206		0.206	
	X ₉	0.771	0.245**	0.637	0.637		
F ₃	X ₃	0.898	0.683**	0.239			0.239
	X ₆	0.795	0.317**	0.516	0.516		

表 4 形态性状对体质量的决定系数
Tab.4 The determinant coefficients of morphological traits on the body weight

选育世代 Breeding generation	性状 Traits	决定系数 Determinant coefficient			总决定系数 R^2
		X_3	X_9	X_6	
F ₁	X_3	0.438	0.385		0.936
	X_9		0.113		
F ₂	X_3	0.571	0.312		0.943
	X_9		0.060		
F ₃	X_3	0.466		0.327	0.893
	X_6			0.100	

表 5 偏回归系数和标准偏回归系数的显著性检验
Tab.5 The significance test of partial regression coefficient and standard partial regression coefficient

选育世代 Breeding generation	变量 Variate	偏回归系数(±SE) Partial regression coefficient	标准偏回归系数 Standard partial regression coefficient	显著性 Sig.
F ₁	常数 Constant	-47.383±4.372		0.000
	X_3	17.097±2.158	0.662	0.000
	X_9	7.308±2.058	0.336	0.001
F ₂	常数 Constant	-34.615±4.170		0.000
	X_3	15.779±1.740	0.756	0.000
	X_9	3.901±1.927	0.245	0.000
F ₃	常数 Constant	-54.496±9.744		0.000
	X_3	21.966±2.487	0.683	0.000
	X_6	7.283±2.673	0.317	0.000

表 6 多元回归方程的方差分析汇总
Tab.6 Analysis of variance of multiple regression equations

选育世代 Breeding generation	模型 Model	总平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 检验值 F value	显著性 Sig.
F ₁	回归 Regression	8939.877	2	4469.938	248.991	0.000
	残差 Residual	1382.320	77	17.952		
	总计 Total	1032.197	79			
F ₂	回归 Regression	4943.350	2	2471.675	157.772	0.000
	残差 Residual	1206.290	77	15.666		
	总计 Total	6149.641	79			
F ₃	回归 Regression	6549.478	2	3274.739	72.631	0.000
	残差 Residual	3471.725	77	45.087		
	总计 Total	10021.204	79			

$P<0.001$; $F_2=157.772$, $P<0.001$; $F_3=72.631$, $P<0.001$), 说明本研究建立的许氏平鲈三代选育群体多元回归方程可以估算个体的体质量, 并进行实际应用。

2.3 各形态性状与体质量的灰色关联度分析

许氏平鲈三代选育群体的形态性状与体质量的灰色关联系数和灰色关联度见表 7、表 8, 灰色关联系数均值依次为 0.745~0.866、0.764~0.866、0.705~0.793。体质量与形态性状的关联度大小排序依次为:

体高>全长>体长>躯干长>尾柄高>尾长>头长>眼后头长>吻长>尾柄长>眼径(F₁); 体高>体长>全长>躯干长>尾长>尾柄高>眼后头长>头长>尾柄长>吻长>眼径(F₂); 体高>体长>全长>尾柄高>尾长>躯干长>尾柄长>眼径>头长>吻长>眼后头长(F₃)。由此可知, 三代选育群体的形态性状与体质量的关联程度存在一定差异, 但三代的体质量与形态性状的关联度大小排在前 3 位的性状均为体高、全长、体长, 且体高与体质量的关联度均最高(0.8660、0.8663 和 0.7932), 说明许

表7 许氏平鲈各形态性状与体质量的灰色关联系数
Tab.7 Grey relational coefficients between each morphological trait and body weight of *S. schlegelii*

性状 Traits	F ₁			F ₂			F ₃		
	最大值 Max	最小值 Min	均值±标准差 Mean±SD	最大值 Max	最小值 Min	均值±标准差 Mean±SD	最大值 Max	最小值 Min	均值±标准差 Mean±SD
X ₁	1.000	0.621	0.855±0.096	0.994	0.512	0.861±0.095	0.997	0.559	0.778±0.110
X ₂	0.993	0.571	0.853±0.094	1.000	0.517	0.862±0.090	0.996	0.526	0.789±0.117
X ₃	0.988	0.600	0.866±0.093	0.998	0.519	0.866±0.097	0.992	0.544	0.793±0.109
X ₄	0.995	0.426	0.791±0.124	0.996	0.449	0.815±0.117	0.995	0.385	0.735±0.151
X ₅	0.997	0.458	0.810±0.128	0.998	0.558	0.851±0.106	1.000	0.455	0.768±0.139
X ₆	0.987	0.438	0.746±0.137	0.982	0.468	0.791±0.114	0.977	0.357	0.744 ±0.138
X ₇	0.999	0.535	0.822±0.124	0.999	0.475	0.840±0.112	0.997	0.455	0.775±0.145
X ₈	1.000	0.344	0.782±0.144	0.978	0.457	0.784±0.132	0.996	0.364	0.712±0.172
X ₉	0.999	0.333	0.840±0.115	1.000	0.476	0.860±0.108	0.989	0.463	0.753±0.128
X ₁₀	0.998	0.414	0.745±0.146	0.990	0.333	0.764±0.137	0.995	0.333	0.735±0.179
X ₁₁	0.999	0.432	0.786±0.138	0.996	0.547	0.824±0.117	0.990	0.342	0.705±0.152

表8 许氏平鲈各形态性状对体质量的灰色关联度
Tab.8 Gray relational degree of each morphological trait of *S. schlegelii*

性状 Traits	F ₁		F ₂		F ₃	
	关联度 Relational degree	关联序 Relational order	关联度 Relational degree	关联序 Relational order	关联度 Relational degree	关联序 Relational order
X ₁	0.8551	2	0.8612	3	0.7778	3
X ₂	0.8533	3	0.8622	2	0.7892	2
X ₃	0.8660	1	0.8663	1	0.7932	1
X ₄	0.7911	7	0.8154	8	0.7348	9
X ₅	0.8097	6	0.8512	5	0.7680	5
X ₆	0.7462	10	0.7908	9	0.7436	7
X ₇	0.8216	5	0.8397	6	0.7750	4
X ₈	0.7819	9	0.7842	10	0.7120	10
X ₉	0.8396	4	0.8600	4	0.7533	6
X ₁₀	0.7453	11	0.7641	11	0.7355	8
X ₁₁	0.7861	8	0.8239	7	0.7045	11

氏平鲈三代选育群体的体高这一性状对体质量影响最大。

3 讨论

3.1 许氏平鲈三代选育群体各形态性状与体质量的通径分析

体质量是水产动物遗传改良的直接目标性状,当体质量的遗传力下降时,通过对体质量的筛选难以实现遗传选育的预期目标,此时需要通过寻找与体质量相关性较高的其他形态性状进行间接筛选(Okamoto *et al*, 2006)。相关分析结果显示,各形态性状与体质量存在极显著($P<0.01$)或显著($P<0.05$)的表型相关关系,但表型相关未剔除其他变量的影响,所以不能准

确反映自变量与因变量之间的关系(Yücel, 2004)。通径分析可以将性状相关剖分为直接作用和间接作用,从而探明性状间真实的关系。本研究通过通径分析和多元回归分析剔除了不显著的表型性状,进一步建立最优的多元回归方程,三代选育群体均保留极显著的2个形态性状, F₁和 F₂代分别为体高和躯干长, F₃代分别为体高和尾柄长。韩慧宗等(2016)对12和15月龄许氏平鲈形态性状对体质量的影响时发现,体长和体高是影响体质量的主要形态性状,而本研究中影响体质量的主要形态性状有所不同,可能是不同月龄影响体质量的形态性状存在差异,但两研究均存在体高这一相同的形态性状。刘贤德等(2008)研究13月龄和20月龄的大黄鱼形态性状对体质量影响发现体高对体质量的直接影响最大。白晓慧等(2015)研究斑石鲷

(*Oplegnathus punctatus*)发现, 全长对体质量的直接影响最大, 而本研究与前者研究结果相同, 与后者不同, 可能是鱼类体型、种类等差异导致。进行决定程度分析时, 当自变量对依变量的单独决定系数及两两共同决定系数的总和 $\sum d \geq 0.85$ 时, 说明影响依变量的自变量的主要变量已经找到(李洋等, 2012)。本研究中, 三代选育群体入选的形态性状对体质量的总决定系数分别为 0.936、0.943 和 0.893, 说明入选的形态性状是影响体质量的主要性状, 而其他剔除或未测定性状对体质量影响较小。

3.2 许氏平鲷三代选育群体各形态性状与体质量的灰色关联度分析

本研究首次将灰色关联度分析应用到许氏平鲷 11 个形态性状与体质量的相关性分析中。水产动物各形态性状与体质量之间存在灰色性, 运用灰色系统理论可以探明它们之间相互依存关系, 关联度大小表示与性状间的密切程度。谭才钢等(2015)利用灰色关联度分析得到的结果与 Deng 等(2008)和陈飞飞等(2012)利用相关分析、多元回归分析和通径分析得到的结果相类似, 表明灰色关联度分析方法与其他相关分析、通径分析等统计学方法相比, 将其运用到水产动物中进行性状间相关性分析是可行的。对于水产动物形态性状与体质量的相关性研究已有较多报道, 如鲤鱼杂交后代(苏胜彦等, 2011)、合浦珠母贝(*Pinctada martensii*) (谭才钢等, 2015)、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) (刘永新等, 2014)等。刘峰等(2017)对 4~5 月龄小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)灰色关联度分析发现, 雌性、雄性小黄鱼形态性状与体质量的影响次序有所不同, 均是全长和体长这 2 个形态性状对体质量的关联度最高, 本研究结果与之类似。由于灰色关联度分析法计算简单扼要, 不需要符合某个理论分布, 能较好分析小样本数据, 能对研究对象多个性状进行评估, 有较强的可比性和可靠性, 能找到间接选育性状。

3.3 2 种分析方法比较及选育性状的确定

本研究选取许氏平鲷三代选育群体为研究对象, 通过通径分析和灰色关联度分析对形态性状与体质量的相关性进行研究, 一方面通过两种方法的分析结果去查究影响三代选育群体体质量的主要形态性状的差异性, 另一方面比较两种分析方法在许氏平鲷不同世代选育群体的适用性, 最终确定目标选育形态性状。结果显示, 前一种方法均得到 2 个形态性状是影响体质量的主要性状, 分别为体高、躯干长或体高、尾柄长, 后一种方法得到与体质量关联度最大的 2 个

性状为体高、全长或体高、体长, 这 2 种方法得到的结果相差较大, 但排在第一位的主控性状均是体高, 这与王凯等(2008)利用通径分析和刘永新等(2014)利用灰色关联度分析 2 种分析方法对牙鲆体质量与形态性状的相关性的研究结果相类似。原因是通径分析是在考虑自变量间相互关系的基础上进行的, 而灰色关联度分析是将自变量独立对待, 未考虑自变量的显著与否, 因而 2 种方法在确定自变量的相对重要性上内涵是不同的(乔有明, 1997)。在农业上, 灰色关联度分析经常与通径分析比较使用, 例如陈剑锋等(2011)对小麦主要性状与产量、蔡树美等(2014)对西瓜(*Citrullus lanatus*)产量与养分含量进行通径与灰关联分析。在水产选择育种上, 利用这 2 种方法进行比较利用未见报道。本研究结果说明, 某一种统计分析方法并不是确定最优选育性状的方法, 每一种统计分析方法因其应用原理不同有相应的特点, 得出的结果也并不完全一致。所以, 在今后确定选育性状工作时, 需要针对实际情况选择合适的统计学方法, 或利用 2 种以上的分析方法进行比较使用, 确定最理想的选育性状。

本研究利用通径分析和灰色关联度分析 2 种方法对许氏平鲷形态性状对体质量的影响程度进行了研究, 并建立了许氏平鲷三代选育群体主要形态性状与体质量的最优回归方程, 确定体高可作为许氏平鲷选育的重要选育目标性状。本研究结果可为下一步许氏平鲷的选育提供科学合理的选育评价指标, 以提高选育效率。

参 考 文 献

- Akintunde AN. Path analysis step by step using Excel. *Journal of Technical Science and Technologies*, 2012, 1(1): 9–15
- Bai XH, You HZ, Zhang W, et al. Path analysis of effects of morphometric traits on body weight of *Oplegnathus punctatus*. *Journal of Economic Animal*, 2015, 19(4): 191–194, 201 [白晓慧, 尤宏争, 张伟, 等. 斑石鲷形态性状对体质量影响的通径分析. *经济动物学报*, 2015, 19(4): 191–194, 201]
- Cai SM, Zhu HT, Yu TY, et al. Grey correlation analysis and path coefficient analysis between nutrient content and yield of watermelon. *Soils*, 2014, 46(4): 651–655 [蔡树美, 诸海焘, 余廷园, 等. 西瓜产量与养分含量的灰色关联度和通径分析. *土壤*, 2014, 46(4): 651–655]
- Chen FF, Huang GJ, Chen MQ, et al. Correlation and path analysis of growth-related traits in Sanya cultured population of pearl oyster *Pinctada fucata*. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(9): 122–125 [陈飞飞, 黄桂菊, 陈明强, 等. 合浦珠母贝三亚养殖群体生长性状的相关与通径分析. *广东农业科学*, 2012, 39(9): 122–125]

- Chen JF, Chen DY, Zhang QY. Path coefficient analysis and grey correlation analysis between main characters and yield in wheat. *Fujian Science and Technology of Rice and Wheat*, 2011, 29(4): 5–8 [陈剑锋, 陈登耀, 张秋英. 小麦主要性状与产量的通径和灰色关联度分析. *福建稻麦科技*, 2011, 29(4): 5–8]
- Deng JL. The grey control system. *Journal of Huazhong (Central China) University of Science and Technology*, 1982, 10(3): 9–18 [邓聚龙. 灰色控制系统. *华中工学院学报*, 1982, 10(3): 9–18]
- Deng YW, Du XD, Wang QH, *et al.* Correlation and path analysis for growth traits in F₁ population of pearl oyster *Pinctada martensii*. *Marine Science Bulletin*, 2008, 10(2), 68–73
- Dong JJ, Sun CF, Tian YY, *et al.* Correlation analysis of the main morphological traits and body weight of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and morphological traits between males and females. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 76–84 [董浚键, 孙成飞, 田园园, 等. 翘嘴鲈主要形态性状与体重的相关性及其雌雄形态性状差异分析. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 76–84]
- Feng JR, Liu LM, Jiang HB, *et al.* Histological observation of germ cell development and discovery of spermatophores in ovoviviparous black rockfish (*Sebastes schlegelii*, Hilgendorf) in reproductive season. *Journal of Ocean University of China*, 2014, 13(5): 830–836
- Han HZ, Jiang HB, Wang F, *et al.* Principal component and path analysis of morphological traits of selective groups at different month ages of *Sebastes schlegelii*. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(8): 1163–1172 [韩慧宗, 姜海滨, 王斐, 等. 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. *水产学报*, 2016, 40(8): 1163–1172]
- Jiang HB, Ma HT, Liu LJ, *et al.* A preliminary study of superior half-sib family selection of *Sebastes schlegelii*. *Marine Sciences*, 2014, 38(10): 70–75 [姜海滨, 马海涛, 刘丽娟, 等. 黑鲷半同胞家系选育的初步研究. *海洋科学*, 2014, 38(10): 70–75]
- Li Y, Liu P, Li J, *et al.* Correlation and path analysis of morphometric traits on body weight for *Exopalamon carinicauda*. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(6): 59–65 [李洋, 刘萍, 李健, 等. 脊尾白虾形态性状对体重的相关性及其通径分析. *渔业科学进展*, 2012, 33(6): 59–65]
- Liu F, Lou B, Chen RY, *et al.* Analysis of grey relationship between morphological traits and body weight in the small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*). *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(1): 131–137 [刘峰, 楼宝, 陈睿毅, 等. 小黄鱼形态性状与体质量的灰色关联分析. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(1): 131–137]
- Liu XD, Cai MY, Wang ZY, *et al.* The correlation and path analysis for growth-related traits of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* from Min-Yuedong Tribe. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(6): 916–920 [刘贤德, 蔡明夷, 王志勇, 等. 闽-粤东族大黄鱼生长性状的相关与通径分析. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2008, 38(6): 916–920]
- Liu Y, Han HZ, Wang TT, *et al.* Analysis of growth performances and genetic characteristics of the fast-growing breeding populations of *Sebastes schlegelii*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2018, 49(2): 432–443 [刘阳, 韩慧宗, 王腾腾, 等. 许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)速生选育群体的生长性能与遗传特征分析. *海洋与湖沼*, 2018, 49(2): 432–443]
- Liu YX, Liu YJ, Zhou J, *et al.* Grey relational analysis between main growth traits and body weight in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(2): 205–213 [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. *中国水产科学*, 2014, 21(2): 205–213]
- Ma HT, Jia CF, Yang JM, *et al.* Development of novel microsatellite markers in the Korean rockfish *Sebastes schlegelii*. *Genetics and Molecular Research*, 2015, 14(2): 5099–5102
- Okamoto C, Komaru A, Hayashi M, *et al.* Variation of shell-closing strength among several families in pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*. *Aquaculture Science*, 2006, 54: 525–529
- Qiao YM. Comparison of path-coefficient analysis and grey system relevant analysis. *Journal of Animal Husbandry and Veterinary in Qinghai*, 1997, 27(4): 22–25 [乔有明. 通径分析与灰色关联分析的比较. *青海畜牧兽医杂志*, 1997, 27(4): 22–25]
- Su SY, Dong ZJ, Qu JQ, *et al.* Grey correlated degree analysis of growth trait of hybrids from 3 common carp (*Cyprinus carpio* L.) varieties and prediction on body weight of offspring from multiple crosses. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(1): 20–26 [苏胜彦, 董在杰, 曲疆奇, 等. 3个鲤群体杂交后代生长性状的灰色关联及复合杂交后代的体重预测分析. *水产学报*, 2011, 35(1): 20–26]
- Sun FC, Feng Y, Yu Z, *et al.* Grey relativity analysis on main agronomic characters of 12 maize populations with their yields and traits. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2012, 27(1): 102–105 [孙峰成, 冯勇, 于卓, 等. 12个玉米群体的主要农艺性状与产量、品质的灰色关联度分析. *华北农学报*, 2012, 27(1): 102–105]
- Tan CG, Liu BS, Zhang DL, *et al.* Analysis of grey relationship between morphological traits and body weight of pearl oyster (*Pinctada fucata*). *South China Fisheries Science*, 2015, 11(2): 35–40 [谭才钢, 刘宝锁, 张东玲, 等. 合浦珠母贝主要形态性状与体质量的灰色关联分析. *南方水产科学*, 2015, 11(2): 35–40]
- Wang K, Liu HJ, Liu YX, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attributions on body weight for *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(6): 655–660 [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. *上海水产大学学报*, 2008, 17(6): 655–660]
- Wang XA, Ma AJ, Xu K, *et al.* Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(3): 540–545 [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. *动物学报*, 2008, 54(3): 540–545]
- Wei CB, Liu SS, Jia YQ, *et al.* The grey correlational analysis of DHI index and production performance of dairy cow. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University*, 2010,

- 22(1): 106–109 [韦春波, 李甦岫, 贾永全, 等. 奶牛 DHI 测定指标与其生产性能的灰色关联分析. 黑龙江八一农垦大学学报, 2010, 22(1): 106–109]
- Wright S. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, 1921, 20(7): 557–585
- Yücel C. Correlation and path coefficient analyses of seed yield components in the Narbon Bean (*Vicia narbonensis* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2004, 28(5): 371–376
- Zhang JL, Wang QH, Deng YW, *et al.* Effects of morphological traits on the weight of *Meretrix lamarchii*. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(6): 110–113 [张嘉丽, 王庆恒, 邓岳文, 等. 斧文蛤(*Meretrix lamarchii*)形态性状对体质量的影响效果分析. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 110–113]

(编辑 马瑾艳)

Phenotypic Analysis of the Main Morphological Traits and Body Weight of Black Rockfish (*Sebastes schlegelii*)

LIU Yang^{1,2}, HAN Huizong¹Ⓐ, WANG Tengteng¹, ZHANG Mingliang¹,
WANG Fei¹, SUN Na^{1,2}, JIANG Haibin¹Ⓐ

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract Black rockfish (*Sebastes schlegelii*) is an economically important marine fish. Our team constructed a three-generation breeding population of *Sebastes schlegelii* by combining population selection with family breeding. In order to understand the phenotypic correlation between the main morphological traits and body weight and the differences among the three-generation breeding population of *S. schlegelii*, the body weight (Y , g) and eleven other morphometric traits (cm), e.g., total length (X_1), body length (X_2), body height (X_3), head length (X_4), tail length (X_5), caudal peduncle length (X_6), caudal peduncle height (X_7), tongue length (X_8), trunk length (X_9), eye diameter (X_{10}), and head length behind the eyes (X_{11}), were correlated on the three-generation continuous breeding population of 8-month-old *S. schlegelii*. Path analysis and gray correlation analysis were conducted to define the effect of major morphometric traits on body weight in the three-generation continuous breeding population. The results showed that all the correlation coefficients between morphometric traits and body weight achieved highly significant levels ($P < 0.01$) or significant levels ($P < 0.05$). The results of path analysis showed that the path coefficients between body height and trunk length were highly significant ($P < 0.01$) in F_1 and F_2 . The path coefficients of body height and caudal peduncle length were also highly significant ($P < 0.01$) in F_3 . The multiple regression equation between the morphological traits and body weight for the three-generation breeding population were established as $Y(F_1) = -47.383 + 17.097X_3 + 7.308X_9$, $Y(F_2) = -34.615 + 15.779X_3 + 3.901X_9$, $Y(F_3) = -54.496 + 21.966X_3 + 7.283X_6$. The results of gray correlation analysis showed that there was a certain difference in the size and order of the gray correlation between the body weight and morphological traits of the three-generation breeding population. However, the grey degree between body weight and body height, and the total length and body length, was the highest. The morphological traits affecting body weight were found to be different by two analytical methods, and there were obvious differences among the three-generation population. The first controlling trait was body height, indicating that body height is a predominant morphometric trait affecting body weight. This research may provide an essential reference for determining the measurement index of *S. schlegelii* in selective breeding.

Key words *Sebastes schlegelii*; Morphological traits; Body weight; Path analysis; Grey relational analysis; Three-generation breeding population

Ⓐ Corresponding author: JIANG Haibin, E-mail: haibinjiang326@163.com; HAN Huizong, E-mail: hanhuizong729@163.com