

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.17144

不同生长期圆斑星鲽形态性状对体重影响的通径分析

边力¹, 刘长琳¹, 陈四清¹, 张乐乐^{1,2}, 葛建龙¹, 刘克奉³, 谭杰¹

1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306;

3. 天津渤海水产研究所, 天津 300457

摘要: 圆斑星鲽(*Verasper variegatus*)作为中国鲽形目(Pleuronectiformes)养殖鱼类的重要代表种类, 具有生长速度快, 可食用部分多, 肉质细嫩等特点。为了探究圆斑星鲽形态性状与体重的关系, 本研究分别测定 11 月龄、14 月龄和 17 月龄 3 个不同生长期圆斑星鲽的体重及全长(FL)、体长(BL)、体高(BH)、头长(HL)、头高(HH)、尾柄长(CL)、尾柄高(CH)、吻长(SL)共计 8 个形态性状, 分别进行相关分析和通径分析, 剖析形态性状对于体重的直接作用和间接作用; 利用回归分析的方法, 建立各个时期以形态指标为自变量, 体重为因变量的最优线性回归方程。结果显示, 1) 不同生长阶段, 影响体重的重点形态指标存在差异, 影响 11 月龄圆斑星鲽体重的主要形态性状为体高和体长, 14 月龄阶段为全长、体高和头长, 17 月龄阶段为全长和体高; 2) 11 月龄、14 月龄和 17 月龄形态性状对体重(Y)的多元回归方程分别为: $Y = -186.412 + 17.381X_{BH} + 10.517X_{BL}$, $Y = -362.484 + 13.145X_{FL} + 20.172X_{BH} + 21.199X_{HL}$, $Y = -816.147 + 24.121X_{FL} + 40.575X_{BH}$; 3) 除本研究所包括的形态指标外, 体厚可能为另外一个影响圆斑星鲽体重的重要指标。本研究阐明了体重与形态指标间的相关关系, 为圆斑星鲽的良种选育提供了生物学依据。

关键词: 圆斑星鲽; 形态性状; 相关分析; 通径分析; 回归分析; 体重相关

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)06-1168-08

圆斑星鲽(*Verasper variegatus*)属冷温性大型底栖鱼类, 生活于沿岸或海湾内水深为 10~30 m 的水域, 喜沙底、泥沙底或海藻繁盛的礁石底环境, 分布于中国北部的黄渤海和东海, 日本北海道至九州沿海^[1]。圆斑星鲽体型呈椭圆形, 生长速度快, 内脏团小, 可食用部分多, 肉质细嫩, 味道鲜美, 是优良的养殖鱼类。中国水产科研人员自 1999 年开始进行圆斑星鲽苗种繁育技术研究, 历经多年科研攻关, 目前已经突破苗种规模化繁育技术。随着圆斑星鲽繁育技术的日渐成熟, 养殖规模的日益扩大, 选育具快速生长等性状的优良品种是研究人员的下一步目标。

在速生品种选育方面, 体重是遗传改良的重要性状, 但圆斑星鲽的活体重在测量上存在一定

难度, 这主要是由鱼体表面残留的水分导致的。相对于活体重, 圆斑星鲽的形态性状具备更好的度量性, 可以准确测量。而形态性状与体重具有较好的相关性, 通过相关分析、通径分析、回归分析等统计方法可以计算各个形态性状与体重的相关关系, 确定影响体重的关键形态性状, 最终建立依据形态性状估算体重的回归方程。通过形态性状间接地进行速生品种选育, 是一种有效的选育辅助手段, 目前在鱼类^[2-4]、贝类^[5-7]、虾蟹类^[8-12]等水产动物的育种研究中得到了广泛应用。随着繁育技术的突破以及产业的推广, 目前已具备条件开展圆斑星鲽的选育工作。通过形态性状与体重的相关关系分析, 利用形态性状对生长性状进行间接选育的方法同样适用于圆斑星鲽,

收稿日期: 2017-04-13; 修订日期: 2017-05-23.

基金项目: 天津市农业科技成果转化与推广项目(201604100); 中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费(20603022016005).

作者简介: 边力(1988-), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向为鱼类繁育与遗传育种. E-mail: bianli@ysfri.ac.cn

通信作者: 陈四清, 研究员. E-mail: chensq@ysfri.ac.cn

但当前关于圆斑星鲃形态性状与体重相关关系的研究还未见报道。本研究通过测定 11 月龄、14 月龄和 17 月龄 3 个不同时期圆斑星鲃的体重及全长、体长、体高、头长、头高、尾柄长、尾柄高、吻长 8 个形态指标, 并进行相关分析和通径分析, 得出各个形态性状间的相关系数, 以及各个形态指标对于体重的通径系数, 剖分直接作用与间接作用, 最终利用回归分析的方法, 建立各个时期体重的最优线性回归方程, 以期为圆斑星鲃的选育工作提供生物学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究所使用圆斑星鲃取自山东省烟台市天源水产有限公司, 为该公司 2015 年 9 月购自于山东省乳山市科合海洋高新技术有限公司的苗种。待苗种生长至 11 月龄、14 月龄和 17 月龄时, 分别随机采集 100 尾用于性状测量。测量前停食 1 d, 用 30~50 mg/L MS-222 对鱼进行麻醉, 擦干体表水分。电子天平测量体重(精确到 0.01 g), 利用游标卡尺(精确到 0.01 cm)准确测量全长(full length, FL), 体长 (body length, BL), 体高 (body height, BH), 头长 (head length, HL), 头高 (head height, HH), 尾柄长 (caudal peduncle length, CL), 尾柄高 (caudal peduncle height, CH), 吻长 (snout length, SL), 图 1 为所测形态性状的示意图。

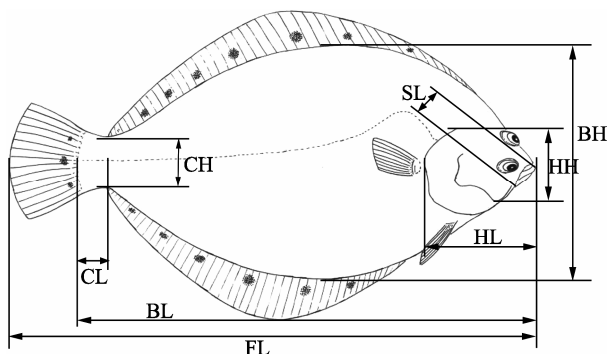


图 1 圆斑星鲃形态参数测定示意图

BH-体高, BL-体长, CH-尾柄高, CL-尾柄长, FL-全长,
HH-头高, HL-头长, SL-吻长。

Fig. 1 Sketch of morphometric traits in *Verasper variegatus*
BH-body height, BL-body length, CH-caudal peduncle height,
CL-caudal peduncle length, FL-full length, HH-head height,
HL-head length, SL-snout length.

1.2 分析方法

利用 SPSS19.0 软件对 11 月龄、14 月龄和 17 月龄圆斑星鲃的形态性状和体重分别进行描述性统计分析, 计算变异系数(coefficient of variation, CV)。计算各个性状间的 Pearson 相关系数, 利用 t 检验检验相关系数的显著性。相关系数的计算公式如下:

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

计算各形态性状对体重的通径系数及决定系数, 解析各形态指标的直接作用和间接作用。通径系数 P_i 就是标准化变量的偏回归系数, 计算公式为:

$$P_i = b_{y, x_i} \times \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_y}$$

式中, P_i 为直接通径系数, b_{y, x_i} 为形态性状 x_i 的回归系数, σ_{x_i} 为形态性状 x_i 的标准差, σ_y 为体重的标准差。

间接通径系数的计算公式为:

$$P_{x_i x_j} = r_{ij} P_j (i \neq j)$$

式中, $P_{x_i x_j}$ 为形态性状 x_i 通过形态性状 x_j 对体重的间接通径系数, r_{ij} 为两形态性状间的相关系数, P_j 为形态性状 x_j 对体重的直接通径系数。

决定系数分为 2 种, 单个决定系数: $d_i = P_i^2$; 两个性状对体重的共同决定系数 $d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j$ 。

将形态性状作为自变量, 体重作为因变量, 采用逐步引入法建立形态性状估计体重的最优回归方程。

多元线性回归方程模型: $y_p = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{jp} +$

$\varepsilon_p, p = 1, 2, \dots, n$

式中, y_p 为在随机误差为 ε_p 时的因变量值, α 为常数项, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 为偏回归系数, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ 是相互独立且服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$ 的随机变量。

2 结果与分析

2.1 表型参数估计值

圆斑星鲃体重及形态性状的描述性统计结果列于表 1。11 月龄、14 月龄和 17 月龄体重的变异系数分别为 14.14、12.71 和 13.30，而形态性状中变异系数最大的均为尾柄长。

2.2 各性状间的相关系数

11 月龄、14 月龄和 17 月龄圆斑星鲃各个性状间的相关系数结果列于表 2。总体上看，随着圆斑星鲃月龄的增加，各形态性状与体重的相关系数呈现递增的趋势。11 月龄阶段，除了头高和吻长外其余形态性状与体重的相关系数均达到显著水平($P<0.05$)，相关系数最高的为体高(0.541**)。在 14 月龄阶段，除吻长外其余形态性状均与体重极显著相关，全长的相关系数最高(0.654**)。17 月龄阶段，所有形态性状与体重均达到显著相关水平，相关系数最低的为尾柄长(0.199*)，最高的为全长(0.712**)。

2.3 形态性状对体重的通径系数及作用分析

通径系数为多元回归分析过程获得的标准系数(偏回归系数)，3 个不同时期圆斑星鲃形态性状对体重的通径系数结果列于表 3。总体上看，在 3 个不同月龄阶段，对体重具有显著影响的形态性状是不断变化的，只有体高在所有阶段均具有极显著的通径系数，说明体高是该发育时期决定体重的重要形态性状。在 11 月龄阶段，体高和体长

对于体重的通径系数达到极显著水平，直接作用均大于间接作用。14 月龄阶段，全长、体高和头长 3 个形态性状对体重的通径系数达到极显著水平，只有全长的直接作用大于间接作用，而体高和头长 2 个性状主要通过其他性状间接地影响体重。17 月龄阶段，全长和体高具有极显著的通径系数，直接作用均大于间接作用。

2.4 形态性状对体重的决定程度分析

根据公式：单个决定系数： $d_i=P_i^2$ ；两性状对体重的共同决定系数 $d_{ij}=2r_{ij} \times P_i \times P_j$ 计算各性状对体重的决定系数，结果列于表 4。11 月龄、14 月龄和 17 月龄圆斑星鲃形态性状对体重决定系数的总和分别为：0.36、0.539 和 0.576，说明除了本研究所测量的形态指标外，仍有其他形态性状可以显著影响圆斑星鲃的体重。在 11 月龄阶段，体长和体高对于体重的共同决定系数最大；14 月龄阶段，全长和体高的共同决定作用最大；17 月龄阶段，全长对体重的单独决定系数最大。

2.5 最优线性回归方程的建立

应用逐步回归法，剔除标准化系数(偏回归系数)不显著的形态性状，建立最优线性回归方程。

11 月龄回归方程： $Y=-186.412+17.381X_{BH}+10.517X_{BL}$

14 月龄回归方程： $Y=-362.484+13.145X_{FL}+20.172X_{BH}+21.199X_{HL}$

17 月龄回归方程： $Y=-816.147+24.121X_{FL}+40.575X_{BH}$

表 1 11 月龄、14 月龄和 17 月龄圆斑星鲃体重和形态性状的表型统计量
Tab. 1 Descriptive statistics of body weight and morphometric traits of *Verasper variegatus* at 11, 14 and 17 months

性状 trait	11 月龄 11 months			14 月龄 14 months			17 月龄 17 months		
	平均值 mean	标准差 SD	变异系数/% CV	平均值 mean	标准差 SD	变异系数/% CV	平均值 mean	标准差 SD	变异系数/% CV
全长 FL/cm	23.77	1.08	4.54	30.73	1.63	5.32	34.31	1.79	5.21
体长 BL/cm	20.39	0.93	4.54	26.36	1.60	6.06	30.01	1.61	5.35
体高 BH/cm	10.74	0.61	5.72	14.08	0.86	6.10	16.11	0.75	4.68
头长 HL/cm	5.15	0.40	7.80	6.35	0.60	9.45	7.22	0.56	7.73
头高 HH/cm	2.68	0.26	9.67	3.62	0.43	11.93	4.08	0.40	9.86
尾柄长 CL/cm	1.26	0.20	15.61	1.81	0.37	20.56	2.34	0.47	19.92
尾柄高 CH/cm	1.91	0.19	9.77	2.69	0.28	10.46	3.31	0.36	10.87
吻长 SL/cm	1.08	0.16	14.68	1.35	0.24	17.48	1.62	0.25	15.12
体重 BW/g	214.58	30.33	14.14	460.20	58.49	12.71	665.06	88.42	13.30

表 2 11 月龄、14 月龄和 17 月龄圆斑星鲈各性状间的相关系数

Tab. 2 Phenotype correlation coefficient among the traits of *Verasper variegatus* at 11, 14 and 17 months

月龄 months of age	性状 trait	全长 FL	体长 BL	体高 BH	头长 HL	头高 HH	尾柄长 CL	尾柄高 CH	吻长 SL	体重 BW
11	全长 FL	1	0.908**	0.557**	0.537**	0.419**	0.406**	0.588**	0.285**	0.460**
	体长 BL		1	0.590**	0.565**	0.387**	0.434**	0.516**	0.259**	0.528**
	体高 BH			1	0.431**	0.220*	0.337**	0.646**	0.310**	0.541**
	头长 HL				1	0.442**	0.196	0.341**	0.572**	0.254*
	头高 HH					1	0.136	0.295**	0.313**	0.125
	尾柄长 CL						1	0.408**	0.169	0.310**
	尾柄高 CH							1	0.243*	0.391**
	吻长 SL								1	0.075
	体重 BW									1
14	全长 FL	1	0.884**	0.681**	0.391**	0.411**	0.323**	0.514**	0.175	0.654**
	体长 BL		1	0.644**	0.464**	0.390**	0.253*	0.355**	0.151	0.634**
	体高 BH			1	0.452**	0.344**	0.233*	0.428**	0.156	0.645**
	头长 HL				1	0.454**	0.120	0.097	0.288**	0.495**
	头高 HH					1	0.509**	0.358**	0.476**	0.355**
	尾柄长 CL						1	0.572**	0.095	0.276**
	尾柄高 CH							1	0.172	0.412**
	吻长 SL								1	0.152
	体重 BW									1
17	全长 FL	1	0.913**	0.650**	0.449**	0.416**	0.359**	0.477**	0.429**	0.712**
	体长 BL		1	0.650**	0.475**	0.462**	0.484**	0.573**	0.473**	0.686**
	体高 BH			1	0.430**	0.442**	0.232*	0.481**	0.383**	0.663**
	头长 HL				1	0.550**	0.207*	0.385**	0.400**	0.325**
	头高 HH					1	0.273**	0.538**	0.396**	0.319**
	尾柄长 CL						1	0.536**	0.281**	0.199*
	尾柄高 CH							1	0.457**	0.319**
	吻长 SL								1	0.409**
	体重 BW									1

注：“*”表示与体重的相关性达到显著水平($P<0.05$)；“**”表示与体重的相关性达到极显著水平($P<0.01$)。

Note: “*” indicates the correlation coefficient reaches significant level at $P<0.05$, “**” indicates the correlation coefficient reaches significant level at $P<0.01$.

表 3 形态性状对圆斑星鲈体重的通径系数及作用分析

Tab. 3 Direct and indirect path coefficients of morphological trait of *Verasper variegatus* to body weight

月龄 months of age	性状 trait	相关系数 r_{ij}	直接作用 P_i	间接作用 indirect path coefficient			
11				Σ	体高 BH	体长 BL	
	体高 BH	0.541**	0.352**	0.189		0.189	
	体长 BL	0.528**	0.321**	0.208	0.208		
14				Σ	全长 FL	体高 BH	头长 HL
	全长 FL	0.654**	0.367**	0.287		0.202	0.085
	体高 BH	0.645**	0.296**	0.348	0.250		0.099
	头长 HL	0.495**	0.218**	0.277	0.143	0.134	
17				Σ	全长 FL	体高 BH	
	全长 FL	0.712**	0.487**	0.225		0.225	
	体高 BH	0.663**	0.346**	0.317	0.317		

注：“**”表示与体重的相关性达到极显著水平($P<0.01$)。

Note: “**” indicates the correlation coefficient reaches significant level at $P<0.01$.

表 4 不同月龄圆斑星鲃形态性状对体重的决定系数
Tab. 4 Determinant coefficients of the morphometric traits to body weight in *Verasper variegatus* at different months of age

11 月龄 11 months	体高 BH	体长 BL		
体高 BH	0.124	0.133		
体长 BL		0.103		
14 月龄 14 months	全长 FL	体高 BH	头长 HL	
全长 FL	0.135	0.148	0.063	
体高 BH		0.088	0.058	
头长 HL			0.048	
17 月龄 17 months	全长 FL	体高 BH		
全长 FL	0.237	0.219		
体高 BH		0.120		

标准化系数显著性检验结果列于表 5, 不同时期回归方程所保留形态性状的标准化系数均达到极显著水平。多元回归方程方差分析结果列于表 6, 11 月龄、14 月龄和 17 月龄阶段方程的回归关系都达到极显著水平, 回归效果十分明显, 说

明本研究得到的回归方程对于不同时期圆斑星鲃体重的估算具有较好的参考价值。

3 讨论

3.1 不同生长时期形态性状对体重的影响

本研究通过逐步回归的分析方法, 剔除标准化系数不显著的形态性状, 获得了影响 11 月龄、14 月龄和 17 月龄圆斑星鲃体重的主要形态性状。体高和体长为影响 11 月龄圆斑星鲃体重的主要形态性状, 14 月龄阶段为全长、体高和头长 3 个形态性状, 17 月龄阶段为全长和体高。研究结果显示, 在 3 个不同生长阶段, 体高均为影响体重的重点性状。这与圆斑星鲃的外部形态特征相吻合, 圆斑星鲃呈扁平状, 鱼体的大小同时受到鱼体长度和高度的影响, 体高作为背部与腹部间的最大高度, 对体重具有重要影响。另一方面, 在不

表 5 标准化系数(偏回归系数)
Tab. 5 Standardized coefficient (partial regression coefficient)

月龄 months of age	变量 variable	非标准化系数 unstandardized coefficient		标准化系数 standardized coefficient	t	显著性水平 sig.
		系数 B	标准误差 SE			
11	常量 constant	-186.412	56.037		-3.327	0.001
	体高 BH	17.381	4.966	0.352	3.500	0.001
	体长 BL	10.517	3.298	0.321	3.189	0.002
14	常量 constant	-362.484	79.411		-4.565	0.000
	全长 FL	13.145	3.416	0.367	3.848	0.000
	体高 BH	20.172	6.707	0.296	3.007	0.003
	头长 HL	21.199	7.635	0.218	2.777	0.007
17	常量 constant	-816.147	131.558		-6.204	0.000
	全长 FL	24.121	4.306	0.487	5.602	0.000
	体高 BH	40.575	10.197	0.346	3.979	0.000

表 6 多元回归方程方差分析表
Tab. 6 Analysis of variance of multiple regression equation

月龄 months of age	项目 item	平方和 sum of squares	自由度 df	均方 mean square	F	显著性水平 sig.
11	回归 regression	32796.729	2	16398.365	27.284	0.000
	残差 residual	58299.631	97	601.027		
	总计 total	91096.360	99			
14	回归 regression	182470.492	3	60823.497	37.388	0.000
	残差 residual	156175.508	96	1626.828		
	总计 total	338646.000	99			
17	回归 regression	445969.852	2	222984.926	65.924	0.000
	残差 residual	328097.788	97	3382.451		
	总计 total	774067.640	99			

同月龄阶段,影响圆斑星鲽体重的主要形态性状存在差别。与该结果类似,刘贤德等^[13]研究不同生长时期大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)形态性状对体重的影响效果,13月龄阶段显著影响体重的形态性状为体高和体长,20月龄为体高、体长和全长;不同生长阶段大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)形态性状与体重的相关分析结果显示,影响3月龄大菱鲆幼鱼的主要形态性状为全长、体高和体厚,6月龄为全长、体长和体高^[14-15]。这些研究成果表明,随着养殖个体的生长,影响其体重的主要形态性状可能出现变化,选育过程需要根据不同月龄的实际情况对生长速度快的个体进行选择。

3.2 不同鲆鲽类形态性状对体重的影响

鲆鲽类鱼类均具有扁平状的外部形态,鱼体的长度和高度通常会显著地影响其体重。本研究结果显示,体高和体长(或全长)为影响不同时期圆斑星鲽体重的重点性状,符合鲆鲽类的形态特征。其他鲆鲽类研究也获得了类似的结果,影响8月龄牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)的重点指标为体长、体高和尾柄高^[16],而腹鳍基部到背鳍终点的直线距离、背鳍终点到臀鳍终点的直线距离和尾柄长3个形态性状是影响14月龄牙鲆的主要指标^[17];12月龄半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)形态性状与体重的通径分析显示,全长、体高和体厚是影响体重的重点性状^[18]。

3.3 影响体重重点性状的确定

11月龄、14月龄和17月龄圆斑星鲽形态性状对体重决定系数的总和分别为:0.36、0.539和0.576。而在表型相关分析的基础上进行通径分析和决定程度分析时,只有当各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在数值上大于或等0.85即85%时才表明所包含的自变量为影响因变量的最主要自变量^[19]。本研究的结果表明除了本研究所测量的形态指标外,仍有其他形态性状可以显著影响圆斑星鲽的体重。通过对圆斑星鲽外部形态进一步观察分析,发现圆斑星鲽体型比较饱满,鱼体厚度较大,因而推断体厚可能为另外一个影响圆斑星鲽体重的重要指

标。进一步与牙鲆相比较,本研究11月龄圆斑星鲽全长平均值23.77 cm,体高10.74 cm,体重为214.58 g,而8月龄牙鲆全长平均值24.86 cm,体高9.18 cm,体重则为166.90 g^[16],该结果显示在具有相似体型大小的情况下,圆斑星鲽的体重明显高于牙鲆,该部分多出的重量就来源于圆斑星鲽的体厚。因此,在下一步的实验设计中,应将体厚作为一个重要形态指标纳入到分析中来,阐明其对于体重的决定程度大小。

参考文献:

- [1] Chen S Q, Liu D P. Flounder, Halibut and Sole[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2008. [陈四清, 刘东朴. 鲆鲽鲷[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2008.]
- [2] 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.
- [3] Dong Z J, Liang Z Y, Xu P, et al. Correlation between fillet yield and body measurements in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 212-217. [董在杰, 梁政远, 徐跑, 等. 尼罗罗非鱼出肉率与可量性状的相关性[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 212-217.]
- [4] 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. [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.]
- [5] Li Z M, Liu Z G, Wang H, et al. Effects of main economic traits on body weight of *Pteria penguin*[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2011, 42(6): 798-803. [栗志民, 刘志刚, 王辉, 等. 企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*)主要经济性状对体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(6): 798-803.]
- [6] Wang Q H, Deng Y W, Du X D, et al. Effect of morphometric traits on edible part weight of *Perna viridis*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(4): 1-4. [王庆恒, 邓岳文, 杜晓东, 等. 翡翠贻贝形态性状对软体部质量的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(4): 1-4.]
- [7] Li L, Zheng Y Y, Xu K F, et al. The relationship between morphometric traits and body weight of *Scapharca subcrenata* at different ages[J]. Marine Sciences, 2015, 39(6): 54-58. [李莉, 郑永允, 徐科凤, 等. 不同贝龄毛蚶壳形态性状对体质量的影响[J]. 海洋科学, 2015, 39(6): 54-58.]

- [8] Bian L, Zhong S P, Liu H T, et al. Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for 2-month-old *Marsupenaeus japonicus*[J]. Journal of Xiamen University, 2013, 52(3): 427–432. [边力, 钟声平, 刘洪涛, 等. 两月龄日本囊对虾形态性状对体质量的通径分析[J]. 厦门大学学报: 自然版, 2013, 52(3): 427–432.]
- [9] 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. [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.]
- [10] Zhang M Y, Liu K, Duan J R, et al. Path analysis of effects of morphometric traits on body weight of *Exopalaemon modestus* in Taihu Lake[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(21): 417–421. [张敏莹, 刘凯, 段金荣, 等. 太湖秀丽白虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 417–421.]
- [11] Geng X Y, Wang X H, Sun J S, et al. Morphometric attributes to body weight for juvenile crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2007, 38(1): 49–54. [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.]
- [12] Gao B Q, Liu P, Li J, et al. The relationship between morphometric characters and body weight of *Portunus trituberculatus*[J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(1): 44–50. [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹形态性状对体重影响的分析[J]. 渔业科学进展, 2008, 29(1): 44–50.]
- [13] 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. [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.]
- [14] Ma A J, Wang X A, Yang Z, et al. The growth traits and their heritability of young turbot(*Scophthalmus maximus* L.)[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2008, 39(5): 499–504. [马爱军, 王新安, 杨志, 等. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼生长性状的遗传力及其相关性分析[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(5): 499–504.]
- [15] 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. [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.]
- [16] 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 Ocean 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[J]. 上海海洋大学学报, 2008, 17(6): 655–660.]
- [17] 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. [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.]
- [18] Liu F, Chen S L, Liu X F, 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. [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.]
- [19] Liu X L, Wu C G, Zhang Z H, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Penaeus vannamei*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 24(4): 857–862. [刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 857–862.]

Path analysis of effects of morphometric traits on body weight in spotted halibut *Verasper variegatus* at different growth stages

BIAN Li¹, LIU Changlin¹, CHEN Siqing¹, ZHANG Lele^{1,2}, GE Jianlong¹, LIU Kefeng³, TAN Jie¹

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

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

3. Tianjin Bohai Sea Fisheries Research Institute, Tianjin 300457, China

Abstract: *Verasper variegatus* is an important representative species of the Pleuronectiformes. It has a fast growth rate, most parts of its body are edible, and the meat is tender and delicious; all these features make *V. variegatus* a good aquaculture candidate. In order to explore the relationship between morphometric traits and body weight in *V. variegatus*, full length (FL), body length (BL), body height (BH), head length (HL), head height (HH), caudal peduncle length (CL), caudal peduncle height (CH), snout length (SL), and body weight (BW) of *V. variegatus* at 11, 14, and 17 months of age were measured. Correlation and path analysis were conducted, and the effects of each morphometric trait on body weight were separated into direct and indirect effects. Regression analyses were conducted with morphological traits as independent variables and body weight as the dependent variable at each growth stage. The results showed that (1) different morphometric traits had significant path coefficients at each growth stage; at the 11 month stage, the morphometric traits that significantly affected body weight were BH and BL, at the 14 month stage, the significant morphometric traits were FL, BH, and HL, at the 17 month stage, the significant traits were FL and BH. (2) The regression equations at 11, 14, and 17 months of age were $Y = -186.412 + 17.381X_{BH} + 10.517X_{BL}$, $Y = -362.484 + 13.145X_{FL} + 20.172X_{BH} + 21.199X_{HL}$, and $Y = -816.147 + 24.121X_{FL} + 40.575X_{BH}$, respectively. (3) Besides the morphometric traits included in this study, body thickness is another potentially important trait that can affect body weight. This study demonstrated the relationship between morphometric traits and body weight. The results provide valuable information and theoretical guidance for *V. variegatus* breeding programs.

Key words: *Verasper variegatus*; morphometric traits; correlation analysis; path analysis; regression analysis; weight relation

Corresponding author: CHEN Siqing. E-mail: chensq@ysfri.ac.cn