

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.20039

星康吉鳗形态性状与体重的通径分析及生长曲线拟合

张新明^{1,2}, 程顺峰³

1. 日照职业技术学院海洋工程学院, 山东 日照 276826;
2. 日照市海洋生物工程技术研究中心, 山东 日照 276826;
3. 青岛农业大学生命科学院, 山东 青岛 266109

摘要: 为探明星康吉鳗(*Conger myriaster*)形态性状和体重的关系, 测定了体重(Y)及全长(X_1)、肛长(X_2)、尾长(X_3)、头长(X_4)、吻长(X_5)、眼径(X_6)、眼后头长(X_7)、背鳍前长(X_8)、躯干长(X_9)、头宽(X_{10})、眼间距(X_{11})等 11 个形态性状, 通过相关分析、通径分析、回归分析等方法研究了形态性状对体重的影响; 通过曲线拟合获得 4 个形态性状与体重的最佳拟合模型。结果表明, 星康吉鳗各形态性状之间以及形态性状与体重之间均呈极显著正相关关系($P < 0.01$)。相关分析发现肛长(X_2)与体重的相关系数最大(0.970); 通径分析发现肛长(X_2)对体重的直接作用最大(0.450), 头宽(X_{10})通过肛长(X_2)对体重的间接作用最大(0.431); 决定系数分析发现, 肛长(X_2)对体重的直接决定系数最大(0.203), 肛长(X_2)和头宽(X_{10})的共同决定系数最大(0.172)。形态性状(X)与体重(Y)的多元回归方程为 $Y = -113.859 + 6.481X_2 + 49.213X_6 + 11.514X_7 + 20.145X_{10}$ ($R^2 = 0.954$)。星康吉鳗肛长(X_2)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})与体重的最佳拟合模型为指数函数, 模型方程分别为 $Y = 1.466e^{0.287X}$ 、 $Y = 1.435e^{1.328X}$ 、 $Y = 1.970e^{1.974X}$, 眼径(X_6)与体重的最佳拟合模型为线性, 方程为 $Y = -77.460 + 222.093X$ 。结论认为, 在星康吉鳗选育时, 应以肛长(X_2)和头宽(X_{10})为主要选择性状, 以眼径(X_6)和眼后头长(X_7)为辅助选择性状。

关键词: 星康吉鳗; 形态性状; 体重; 通径分析; 曲线拟合

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)10-1167-09

星康吉鳗(*Conger myriaster*)是一种具有较高营养价值的经济鱼类, 是中国重要的捕捞对象, 在黄海、东海、渤海均有分布^[1-3]。目前对于星康吉鳗的研究主要集中在捕捞^[1, 4-6]、摄食生态^[2, 7]、资源分布^[3, 8]、繁育^[9]、遗传^[10]等方面。星康吉鳗的捕捞量较少, 在大规模的渔业资源调查中容易被忽略, 在中国渔业统计年鉴中也没有记载, 据商业捕捞记录, 星康吉鳗在东海、黄海每年的渔获量超过 13000 t^[4, 7]。在星康吉鳗养殖方面, 中国水产科学研究院黄海水产研究所于 2019 年开发了星康吉鳗高容量养殖技术, 但关于其养殖方法的报道较少。由于经济价值较高, 星康吉鳗的研究受到越来越多的关注, 开展星康吉鳗形态性状

和体重关系的研究对于其高效养殖和选择育种具有非常重要的意义。

形态性状是与体重密切相关的重要指标^[11], 运用统计分析方法研究各性状之间的关联, 对于水产养殖及选育等具有重要价值^[12]。研究人员利用通径分析和回归分析方法在鱼类遗传育种中开展了大量的研究工作, 对于这些生物的种质选育奠定了重要基础。安丽等^[11]研究了大鳞鲃(*Barbus capito*)形态性状与体重的关系, 结果表明全长和体高是影响体重的主要性状。李培伦等^[12]的研究发现在大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)选育过程中应重点关注叉长、全长等增长指标, 体高、体宽等增重指标。刘峰等^[13]的研究结果表明, 体长、

收稿日期: 2020-02-27; 修订日期: 2020-03-18.

基金项目: 国家星火计划项目(2015GA740101); 国家教学资源库项目(2019-26-2018-01); 山东省职业教育名师工作室项目(2018-1-15).

作者简介: 张新明(1978-), 副教授, 从事水产养殖生物学研究. E-mail: zxm9706@163.com

躯干长、尾柄高和体高是影响小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)体重的主要形态性状,其中以体长的影响最大。黄建盛等^[14]研究发现,体长、头长、眼后头长是军曹鱼(*Rachycentron canadum*)体重的主要影响因素。

星康吉鳗属于鳗鲡目(Anguilliformes),目前对于鳗鲡目鱼类形态性状和体重的影响研究主要涉及澳洲长鳍鳗(*Anguilla reinhardtii*)^[15]、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)^[16]等。对星康吉鳗形态性状和体重相关性的研究仅仅包括体重和体长两个单一性状的关系^[1,6]。对于星康吉鳗形态性状和体重之间的多元分析还未见相关报道。本研究运用通径分析和回归分析方法研究了星康吉鳗 11 个形态指标和体重之间的相互关系,并通过拟合曲线找出形态性状和体重的最优拟合方程,以期为星康吉鳗的选择育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

所用星康吉鳗为 2019 年 12 月采捕于黄海海域日照近海的野生群体,捕获后低温状态迅速运回实验室。从中筛选 100 个样本用于实验研究,样本的平均体长 30.81 cm,平均体重 42.25 g。

1.2 实验方法

参考李军等^[17]和王志铮等^[18]的测量方法,用直尺(精度 0.1 cm)分别测量星康吉鳗的全长(X_1)、肛长(X_2)、尾长(X_3)、头长(X_4)、吻长(X_5)、眼径(X_6)、眼后头长(X_7)、背鳍前长(X_8)、躯干长(X_9)、头宽(X_{10})、眼间距(X_{11})11 个形态指标。将星康吉鳗表面擦干后用电子天平(精度 0.01 g)分别称量其体重(Y)。

各生物学指标界定:

全长为从吻端至尾鳍末端的长度;

肛长为从吻端至肛门前缘的长度;

尾长为从肛门后端到尾鳍末端的长度;

头长为从吻端至鳃盖后缘的长度;

吻长为从吻端至眼睛前缘的长度;

眼径为眼睛的最大宽度;

眼后头长为从眼睛后缘至鳃盖后缘的长度;

背鳍前长为从吻端到背鳍前端的长度;

躯干长为从鳃盖后缘到肛门前端的长度;

头宽为左右鳃盖后缘之间的最大宽度;

眼间距为两个眼睛之间的最大宽度。

1.3 数据处理

使用 Excel 电子表格计算平均数、变异系数、通径系数、决定系数,进行通径分析。使用 SPSS17 统计学软件进行数据的相关性分析、逐步回归分析,拟合形态性状与体重的最佳方程,具体分析步骤参考刘莹等^[19]和陈红林等^[20]的方法。

2 结果与分析

2.1 星康吉鳗表型统计值

星康吉鳗 11 个形态性状和体重的数据统计结果见表 1。从表中可以看出星康吉鳗的平均全长为 (30.81 ± 5.32) cm,平均体重为 (42.25 ± 26.77) g,形态性状数据由高到低依次为:全长、尾长、肛长、躯干长、背鳍前长、头长、眼后头长、头宽、吻长、眼间距、眼径;体重的变异系数较大,为 63.36%,而形态性状的变异系数较小,在 14.68%~22.52%,说明对于星康吉鳗来说,体重具有较大的选择潜力。

2.2 星康吉鳗各性状相关性分析

从表 2 可以看出,星康吉鳗各性状之间呈现极显著正相关($P < 0.01$)。从形态性状的相互关系来看,全长(X_1)和尾长(X_3)的相关系数最大(0.998),吻长(X_5)和眼径(X_6)的相关系数最小(0.763)。从形态性状和体重的相关性来看,肛长(X_2)和体重的相关性最强(相关系数为 0.970),全长(X_1)次之(相关系数为 0.969),相关性最小(0.840)的是吻长(X_5)。

2.3 星康吉鳗形态性状对体重的通径分析

通径分析结果见表 3。剔除影响不显著的变量,保留了肛长(X_2)、眼径(X_6)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})等 4 个形态性状,经检验,肛长(X_2)、眼径(X_6)对体重的直接作用呈极显著水平($P < 0.01$),眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})对体重的通径系数达显著水平($P < 0.05$)。形态性状对体重的直接影响均小于间接影响。肛长(X_2)对体重直接作用最大(通径系数为 0.450),其次是头宽(X_{10})(通径系数为 0.200),眼后头长(X_7)对体重的直接作用最小(通径系数为

0.167)。从间接作用总和来看, 眼后头长(X_7)间接作用最大, 作用系数总和为 0.767, 肛长(X_2)的间接作用最小(0.520)。在两两相互作用中, 头宽(X_{10})通过肛长(X_2)对体重的间接作用最大(0.431), 眼径(X_6)通过眼后头长(X_7)对体重的间接作用最小(0.132)。

表 1 星康吉鳗各性状的统计值
Tab. 1 Descriptive statistics of *Conger myriaster*

参数 parameter	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	Y
平均值/cm mean	30.81	11.12	19.15	3.85	0.89	0.54	2.42	5.50	7.27	1.47	0.74	42.25
标准差 SD	5.32	1.86	3.44	0.59	0.13	0.11	0.39	0.89	1.29	0.27	0.17	26.77
变异系数/% CV	17.25	16.71	17.97	15.37	14.68	19.71	16.05	16.27	17.72	18.05	22.52	63.36

注: X_1 -全长, X_2 -肛长, X_3 -尾长, X_4 -头长, X_5 -吻长, X_6 -眼径, X_7 -眼后头长, X_8 -背鳍前长, X_9 -躯干长, X_{10} -头宽, X_{11} -眼间距。
Note: X_1 -total length, X_2 -snout-vent length, X_3 -tail length, X_4 -head length, X_5 -snout length, X_6 -eye length, X_7 -head length behind the eye, X_8 -length before the first dorsal fin, X_9 -trunk length, X_{10} -head width, X_{11} -interorbital space.

表 2 星康吉鳗各性状的相关系数
Tab. 2 Correlation coefficient among the traits of *Conger myriaster*

性状 trait	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	Y
X_1	1	0.991**	0.998**	0.981**	0.889**	0.860**	0.958**	0.978**	0.980**	0.962**	0.936**	0.969**
X_2		1	0.981**	0.975**	0.880**	0.868**	0.950**	0.973**	0.995**	0.958**	0.931**	0.970**
X_3			1	0.976**	0.887**	0.851**	0.955**	0.973**	0.966**	0.958**	0.932**	0.963**
X_4				1	0.903**	0.867**	0.982**	0.978**	0.946**	0.949**	0.925**	0.958**
X_5					1	0.763**	0.829**	0.901**	0.854**	0.868**	0.825**	0.840**
X_6						1	0.789**	0.853**	0.854**	0.819**	0.811**	0.882**
X_7							1	0.953**	0.920**	0.929**	0.910**	0.935**
X_8								1	0.954**	0.955**	0.915**	0.948**
X_9									1	0.945**	0.917**	0.959**
X_{10}										1	0.936**	0.946**
X_{11}											1	0.927**
Y												1

注: X_1 -全长, X_2 -肛长, X_3 -尾长, X_4 -头长, X_5 -吻长, X_6 -眼径, X_7 -眼后头长, X_8 -背鳍前长, X_9 -躯干长, X_{10} -头宽, X_{11} -眼间距. **表示极显著相关($P<0.01$).
Note: X_1 -total length, X_2 -snout-vent length, X_3 -tail length, X_4 -head length, X_5 -snout length, X_6 -eye length, X_7 -head length behind the eye, X_8 -length before the first dorsal fin, X_9 -trunk length, X_{10} -head width, X_{11} -interorbital space. ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

表 3 星康吉鳗 4 个形态性状对体重的通径分析结果
Tab. 3 The result of path analysis of 4 morphological traits on body weight of *Conger myriaster*

性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect				
			X_2	X_6	X_7	X_{10}	Σ
X_2	0.970**	0.450**		0.169	0.159	0.192	0.520
X_6	0.882**	0.195**	0.391		0.132	0.164	0.686
X_7	0.935**	0.167*	0.428	0.154		0.186	0.767
X_{10}	0.946**	0.200*	0.431	0.160	0.155		0.746

注: X_2 -肛长, X_6 -眼径, X_7 -眼后头长, X_{10} -头宽. **表示影响极显著($P<0.01$), *表示影响显著($P<0.05$).
Note: X_2 -snout-vent length, X_6 -eye length, X_7 -head length behind the eye, X_{10} -head width. ** indicates extremely significant effect ($P<0.01$), * indicates significant effect ($P<0.05$).

2.4 星康吉鳗形态性状对体重的决定系数
从表 4 中可以看出, 直接决定系数和间接决定系数总和为 0.953, 表明影响星康吉鳗体重的主要形态性状为肛长(X_2)、眼径(X_6)、眼后头长

(X_7)、头宽(X_{10})，其他性状的影响很小。4 个形态性状对体重的决定作用不同，肛长(X_2)对体重的直接决定系数最大(0.203)，明显高于其他形态性状；其次是头宽(X_{10})，其决定系数为 0.04；眼后头长(X_7)对体重的直接决定系数最小(0.028)。肛长(X_2)和头宽(X_{10})的共同决定系数最大(0.172)，眼径(X_6)和眼后头长(X_7)的共同决定系数最小(0.051)，由此可见肛长(X_2)和头宽(X_{10})是决定星康吉鳗体重最主要的两个形态性状。

表 4 星康吉鳗 4 个形态性状对体重决定系数的分析结果
Tab. 4 The result of determination coefficient of 4 morphological traits on body weight of *Conger myriaster*

性状 trait	X_2	X_6	X_7	X_{10}	Σ
X_2	0.203	0.152	0.143	0.172	0.670
X_6		0.038	0.051	0.064	0.153
X_7			0.028	0.062	0.090
X_{10}				0.040	0.040
Σ	0.203	0.19	0.222	0.338	0.953

注： X_2 -肛长， X_6 -眼径， X_7 -眼后头长， X_{10} -头宽。
Note: X_2 -snout-vent length, X_6 -eye length, X_7 -head length behind the eye, X_{10} -head width.

2.5 多元回归方程的构建

利用逐步回归方法建立形态性状与体重的多元回归方程。

$$Y = -113.859 + 6.481X_2 + 49.213X_6 + 11.514X_7 + 20.145X_{10} (R^2 = 0.954)$$

式中， Y 代表体重， X_2 、 X_6 、 X_7 、 X_{10} 分别代表肛长、眼径、眼后头长、头宽。

从表 5 可见，随着自变量被逐步引入回归方程，相关系数逐渐增大，说明引入的自变量对体重的作用在增加^[20]。从表 6 可见，引入 4 个变量后，回归方程 $F=490.021$ ($P<0.01$)。从表 7 可见，引入的 4 个变量中，肛长(X_2)、眼径(X_6)偏回归系数达到极显著水平($P<0.01$)，眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})偏回归系数达到显著水平($P<0.05$)，方程的回归截距达到极显著水平($P<0.01$)。从回归系数来看，肛长(X_2)、头宽(X_{10})对体重的决定作用较大，其次是眼径(X_6)和眼后头长(X_7)。

2.6 拟合模型的筛选结果

分别以星康吉鳗肛长(X_2)、眼径(X_6)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})为自变量，对体重的模型拟合结

果见表 8。从表中可以看出星康吉鳗肛长(X_2)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})与体重的最佳拟合模型为指数函数($P<0.01$)，模型方程分别为 $Y=1.466e^{0.287X}$ ， $Y=1.435e^{1.328X}$ ， $Y=1.970e^{1.974X}$ ，眼径(X_6)与体重的最佳拟合模型为线性($P<0.01$)，方程为 $Y=-77.460+222.093X$ 。

表 5 回归方程的复相关分析
Tab. 5 The multiple correlation coefficient of the regression equation

模型 model	R	R^2	调整 R^2 adjusted R^2	标准估计的误差 standard estimate error
1	0.970	0.940	0.940	6.57033
2	0.973	0.947	0.946	6.23864
3	0.975	0.951	0.950	5.99850
4	0.977	0.954	0.952	5.87528

注：1. 预测变量：肛长(X_2)。2. 预测变量：肛长(X_2)，眼径(X_6)。3. 预测变量：肛长(X_2)，眼径(X_6)，头宽(X_{10})。4. 预测变量：肛长(X_2)，眼径(X_6)，头宽(X_{10})，眼后头长(X_7)。
Note: 1. predictive variable: snout-vent length (X_2). 2. predictive variable: snout-vent length (X_2), eye length (X_6). 3. predictive variable: snout-vent length (X_2), eye length (X_6), head width (X_{10}). 4. predictive variable: snout-vent length (X_2), eye length (X_6), head width (X_{10}), head length behind the eye (X_7).

表 6 回归方程的方差分析结果
Tab. 6 The result of variance analysis of the regression equation

模型 model	平方和 sum of squares	均方 mean square	F	P
1 回归 regression	66708.569	66708.569	1545.279	0.000
残差 residual	4230.587	43.169		
总计 total	70939.157			
2 回归 regression	67163.851	33581.925	862.830	0.000
残差 residual	3775.306	38.921		
总计 total	70939.157			
3 回归 regression	67484.883	22494.961	625.172	0.000
残差 residual	3454.273	35.982		
总计 total	70939.157			
4 回归 regression	67659.864	16914.966	490.021	0.000
残差 residual	3279.292	34.519		
总计 total	70939.157			

注：1. 预测变量：肛长(X_2)。2. 预测变量：肛长(X_2)，眼径(X_6)。3. 预测变量：肛长(X_2)，眼径(X_6)，头宽(X_{10})。4. 预测变量：肛长(X_2)，眼径(X_6)，头宽(X_{10})，眼后头长(X_7)。
Note: 1. Predictive variable: snout-vent length (X_2). 2. Predictive variable: snout-vent length (X_2), eye length (X_6). 3. Predictive variable: snout-vent length (X_2), eye length (X_6), head width (X_{10}). 4. Predictive variable: snout-vent length (X_2), eye length (X_6), head width (X_{10}), head length behind the eye (X_7).

表 7 回归方程的系数分析
Tab. 7 Coefficient analysis of the regression equation

模型 model	偏回归系数 partial regression coefficient		回归系数 regression coefficient	<i>t</i>	<i>P</i>
	B	标准误差 SE			
1	(常量 constant)	-113.087	4.006	-28.231	0.000
	<i>X</i> ₂	13.969	0.355	39.310	0.000
2	(常量 constant)	-112.556	3.807	-29.567	0.000
	<i>X</i> ₂	11.950	0.680	17.576	0.000
	<i>X</i> ₆	40.666	11.890	3.420	0.001
3	(常量 constant)	-111.329	3.683	-30.226	0.000
	<i>X</i> ₂	8.579	1.304	6.576	0.000
	<i>X</i> ₆	43.536	11.473	3.795	0.000
	<i>X</i> ₁₀	23.618	7.907	2.987	0.004
4	(常量 constant)	-113.859	3.778	-30.134	0.000
	<i>X</i> ₂	6.481	1.581	4.099	0.000
	<i>X</i> ₆	49.213	11.516	4.273	0.000
	<i>X</i> ₁₀	20.145	7.897	2.551	0.012
	<i>X</i> ₇	11.514	5.114	2.251	0.027

注: *t* 表示检验统计量. *X*₂-肛长, *X*₆-眼径, *X*₇-眼后头长, *X*₁₀-头宽.
Note: *t* indicates the test statistic. *X*₂-snout-vent length, *X*₆-eye length, *X*₇-head length behind the eye, *X*₁₀-head width.

表 8 星康吉鳗 4 个形态性状与体重的模型拟合结果
Tab. 8 The result of curve model fitting of 4 morphological traits on body weight of *Conger myriaster*

回归 regression	模型 model	模型汇总 model summary			参数估计值 parameter estimation	
		<i>R</i> ²	<i>F</i>	<i>P</i>	常数 constant	系数 <i>b</i> ₁ coefficient <i>b</i> ₁
<i>X</i> ₂ - <i>Y</i>	线性 linear	0.940	1545.279	0.000	-113.087	13.969
	对数 logarithmic	0.918	1103.571	0.000	-345.305	161.760
	幂 power	0.943	1630.520	0.000	0.011	3.362
	S	0.931	1327.640	0.000	7.120	-38.409
	指数 exponential	0.947	1744.415	0.000	1.466	0.287
<i>X</i> ₆ - <i>Y</i>	线性 linear	0.777	342.053	0.000	-77.460	222.093
	对数 logarithmic	0.730	265.261	0.000	118.890	120.452
	幂 power	0.737	273.975	0.000	173.725	2.481
	S	0.687	214.822	0.000	6.055	-1.288
	指数 exponential	0.766	320.310	0.000	3.135	4.520
<i>X</i> ₇ - <i>Y</i>	线性 linear	0.873	676.241	0.000	-113.597	64.319
	对数 logarithmic	0.852	564.459	0.000	-98.552	161.278
	幂 power	0.878	705.870	0.000	1.912	3.357
	S	0.860	600.140	0.000	7.071	-8.267
	指数 exponential	0.886	759.248	0.000	1.435	1.328
<i>X</i> ₁₀ - <i>Y</i>	线性 linear	0.895	833.343	0.000	-98.033	95.430
	对数 logarithmic	0.869	652.871	0.000	-11.534	145.292
	幂 power	0.902	900.397	0.000	11.656	3.034
	S	0.883	742.935	0.000	6.756	-4.536
	指数 exponential	0.910	991.516	0.000	1.970	1.974

注: *b*₁ 表示拟合方程的系数. *X*₂-肛长, *X*₆-眼径, *X*₇-眼后头长, *X*₁₀-头宽.
Note: *b*₁ indicates the coefficient of the fit equation. *X*₂-snout-vent length, *X*₆-eye length, *X*₇-head length behind the eye, *X*₁₀-head width.

3 讨论

3.1 星康吉鳗形态性状和体重的相关系数

通过选择形态性状,可以达到对体重间接选择的目的,这在选择育种中是非常重要的^[13]。研究星康吉鳗形态性状对体重的影响,找出影响体重的关键形态性状,对于星康吉鳗的选择育种具有非常重要的价值。研究表明,星康吉鳗各形态性状之间以及形态性状与体重之间存在非常显著的相关关系($P<0.01$)。各形态性状的相互关系中,全长(X_1)和尾长(X_3)的相关性最强(相关系数为 0.998),形态性状与体重的相互关系中,肛长(X_2)和体重的相关性最强(相关系数为 0.970),吻长(X_5)与体重的相关性虽然最小,但相关系数也能达到 0.840。在本研究中,与体重相关性最大的前 5 位形态性状由高到低依次为:肛长、全长、尾长、躯干长、头长;澳洲长鳍鳗与体重相关性最大的前 5 位形态性状依次为:全长、体高、体长、臀鳍长、口裂宽^[15],日本鳗鲡与体重相关性最大的前 5 位形态性状依次为:肛部体宽、肛部体高、头宽、肛围、肛长^[16],东北七鳃鳗(*Lampetra morii*)与体重相关性最大的前 5 位形态性状依次为:全长、背鳍前长、躯干长、头长、尾长^[17]。由此说明,体型相近的鱼类形态性状与体重的相关性大小也会因研究方法、鱼的种类不同等存在差异。

3.2 影响星康吉鳗体重的决定性性状

研究发现,尽管 11 个形态性状与体重之间有很强的相关性,但是通径分析发现,只有肛长(X_2)、眼径(X_6)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})等 4 个形态性状对体重的影响显著($P<0.05$),全长(X_1)、尾长(X_3)、头长(X_4)、吻长(X_5)、背鳍前长(X_8)、躯干长(X_9)、眼间距(X_{11})等 7 个形态性状对体重的影响并不显著($P>0.05$)。肛长(X_2)对体重直接影响最大,通径系数为 0.450。眼后头长(X_7)间接作用最大,其通过肛长(X_2)、眼径(X_6)、头宽(X_{10})对体重的间接作用系数总和达到 0.767。头宽(X_{10})通过肛长(X_2)对体重的间接作用最大(0.431)。由此可见,相关分析只能得到形态性状与体重之间的简单相关关系,并不能准确判断影响作用大小,通过通径分析才能探明各个性状的具体作用途径以及多

性状之间的相互作用,从而找到影响体重的主要形态性状^[20-21]。

决定系数分析结果表明,肛长(X_2)、眼径(X_6)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})4 个形态性状对体重的决定系数总和为 0.953,表明影响星康吉鳗体重的主要形态性状已找到。肛长对体重的直接决定作用最大(决定系数为 0.203),肛长(X_2)和头宽(X_{10})共同决定作用最大(决定系数为 0.172),肛长(X_2)和头宽(X_{10})对体重的影响最大,这与通径分析的结果相同。

通过逐步回归分析,删除影响不显著的性状,保留肛长(X_2)、眼径(X_6)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})4 个形态性状,建立的回归方程达到极显著水平($P<0.01$),相关指数达到 0.954,说明删除的形态性状对星康吉鳗体重的影响很小,肛长(X_2)、眼径(X_6)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})是影响星康吉鳗体重的决定性性状,其中肛长(X_2)和头宽(X_{10})的影响最大,回归分析的结果进一步验证了通径分析和决定系数的分析结果。影响日本鳗鲡体重的关键形态性状为肛部体宽、肛长、头宽、全长和下颌长^[16],对于澳洲长鳍鳗来说,全长、体高、口裂宽 3 个形态性状对体重的影响最大^[15]。星康吉鳗、日本鳗鲡和澳洲鳗鲡同属鳗鲡目,尽管影响这三种鱼类的关键形态性状不完全相同,但总体来看,均包括肛长或全长等长度性状和头宽、口裂宽等头部宽度性状,表明鳗鲡目鱼类影响体重的关键形态性状都使得生物体具有较大的几何空间,这几种鱼类身体呈棍棒型,身体越长,头部器官越大,则几何空间越大,摄食能力越强,这样有利于营养物的积累,有利于提高摄食效率和生长发育^[15-16, 22]。对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)^[21]、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[23]、圆斑星鲽(*Verasper variegatus*)^[24]等鲽形目鱼类的研究也得出了相似的结论。

研究发现,头部较大、体躯较长的星康吉鳗眼径也越大,眼径(X_6)也是影响星康吉鳗体重的决定性性状,眼径(X_6)主要通过肛长(X_2)和头宽(X_{10})对体重施加间接影响。对翘嘴鲌(*Siniperca chuatsi*)^[25]、长鳍吻鲈(*Rhinogobio ventralis*)^[26]、硬头鲮(*Oncorhynchus mykiss*)^[27]、东北七鳃鳗^[17]等鱼类的研究

也发现眼径对体重有决定性影响。

3.3 最佳拟合模型的筛选

通过曲线拟合可以动态地了解生物的生长过程, 预测生长规律, 还可以指导育种, 提高选育结果的准确率^[19]。4 月龄尖吻鲈(*Lates calcarifer*) 全长、体高、体宽和体重的最优拟合模型均为幂函数模型^[28], 大菱鲆和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) 6 月龄、8 月龄阶段, 形态性状与体重的最优曲线拟合模型为线性函数, 14 月龄各形态性状与体重的最优曲线拟合模型为幂函数模型。说明鱼类的生长模型因种类不同而有所差异, 同时也会随鱼体生长阶段不同而发生变化^[19-20]。

本研究曲线拟合结果表明, 形态性状与体重拟合模型均差异极显著($P < 0.01$), 说明曲线拟合结果均有意义。星康吉鳗肛长(X_2)、眼后头长(X_7)、头宽(X_{10})与体重的拟合结果中, 指数函数的 R^2 和 F 值均最大, 所以这三个形态性状与体重的最佳拟合模型为指数函数, 而眼径(X_6)与体重的最佳拟合模型为线性。斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*) 体高、体宽、眼间距和尾柄高与体重的最佳模型依次为指数、指数、幂函数、线性模型^[29]。这说明不同形态性状对体重的最优曲线模型会因为各性状的生长模式不同而有所差异^[22]。

拟合优度越大, 自变量引起的变动占总变动的百分比越高^[20]。陈红林等^[20]研究牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) 8 月龄和 14 月龄阶段的 3 个性状, 刘莹等^[19]研究大菱鲆 6 月龄和 14 月龄阶段 5 个性状的 6 种拟合模型拟合度均未超过 0.85。本研究中星康吉鳗眼径(X_6)与体重的 5 种拟合模型虽然差异极显著($P < 0.01$), 但是拟合度也小于 0.85。由此可见, 有些性状单独作为自变量时并不能很好地反映体重的变化^[20]。

本研究通过通径分析、多元回归分析和曲线拟合研究了星康吉鳗形态性状与体重的相互关系, 结果表明在选择星康吉鳗时以肛长(X_2)、头宽(X_{10})作为主要选育指标, 将眼后头长(X_7)和眼径(X_6)作为辅助指标。

参考文献:

- [1] Tang Y L, Sun G W, Zhao T Y, et al. Mesh size selectivity of *Conger myriaster* pot[J]. Journal of Fishery Sciences of

China, 2010, 17(1): 136-142. [唐衍力, 孙国微, 赵同阳, 等. 星康吉鳗笼网目选择性研究[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 136-142.]

- [2] Liu X F, Liu H, Xue Y, et al. Feeding ecology of *Conger myriaster* in Haizhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(3): 517-527. [刘西方, 刘贺, 薛莹, 等. 海州湾星康吉鳗的摄食生态特征[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 517-527.]
- [3] Mu X X, Li M K, Yin J, et al. Relationship between spatio-temporal distribution of *Conger myriaster* and the environment factors in the southeast waters of Shandong Peninsula[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(8): 1759-1767. [牟秀霞, 李明坤, 尹洁, 等. 山东半岛东南部海域星康吉鳗资源密度时空分布及其与环境因子之间关系[J]. 水产学报, 2019, 43(8): 1759-1767.]
- [4] Tian F. Fishing efficiency of white-spotted conger longline fishing gear in Shandong Coastal Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [田方. 山东近海星康吉鳗(*Conger myriaster*)延绳钓渔具性能研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [5] Yang B Z. Study of fishing gear selectivity of trap for white-potted conger in the Yellow Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011. [杨炳忠. 黄海区鳗鱼笼渔具选择性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.]
- [6] Ma Q Y, Mu X X, Ren Y P, et al. The growth, mortality and yield per recruitment of white-spotted conger (*Conger myriaster*) in the Yellow Sea and the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(6): 881-888. [麻秋云, 牟秀霞, 任一平, 等. 东、黄海星康吉鳗生长、死亡和单位补充量渔获量[J]. 水产学报, 2018, 42(6): 881-888.]
- [7] Mu X X, Zhang C, Xue Y, et al. Fishery biology of whitespotted conger *Conger myriaster* (brevoort, 1856) in the Yellow Sea and East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 38: 18-24.
- [8] Li M K, Zhang C L, Li M, et al. Relationship between the spatiotemporal distribution of *Conger myriaster* and environmental factors in the southern waters off the Shandong Peninsula during autumn and winter[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(5): 1115-1122. [李明坤, 张崇良, 李敏, 等. 山东南部近海秋、冬季星康吉鳗分布与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 1115-1122.]
- [9] Utoh T, Okamura A, Yamada Y, et al. Reproductive cycle in reared male common Japanese conger, *Conger myriaster*[J]. Aquaculture, 2004, 240(1-4): 589-605.
- [10] Yin J, Mu X X, Zhang C L, et al. Comparison of morphological and genetic characteristics of *Conger myriaster* populations in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(3): 358-367. [尹洁, 牟秀霞, 张崇良, 等. 我国近海星康吉鳗群体的形态学、遗传学比较研究[J]. 水产学报, 2020, 44(3): 358-367.]
- [11] An L, Dong X S, Meng Q L, et al. Path analysis of stepwise

- linear regression of morphological characters and body weight of 2.5-year-old *Barbus capito*[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2019, 16(9): 79-82. [安丽, 董学飒, 孟庆磊, 等. 2.5 龄大鳞鲃形态性状与体重的逐步线性回归通径分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2019, 16(9): 79-82.]
- [12] Li P L, Liu W, Jiang L M, et al. Effects of morphological traits on body mass of Chum salmon (*Oncorhynchus keta*)[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2019, 47(9): 8-16, 24. [李培伦, 刘伟, 姜黎明, 等. 大麻哈鱼不同月龄形态性状对体质量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(9): 8-16, 24.]
- [13] 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. [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.]
- [14] Huang J S, Guo Z X, Chen G, et al. Correlation and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits of four-month-old juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Marine Sciences, 2019, 43(8): 72-79. [黄建盛, 郭志雄, 陈刚, 等. 4 月龄军曹鱼幼鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 海洋科学, 2019, 43(8): 72-79.]
- [15] An L, Meng Q L, Dong X S, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Anguilla reinhardtii*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(2): 60-64. [安丽, 孟庆磊, 董学飒, 等. 澳洲长鳍鳗各形态性状对体重的影响效果分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(2): 60-64.]
- [16] Si L G, Yuan X Y, Yang L, et al. Influence effect of morphometric traits on body weight and net weight of adult *Anguilla japonica* from reservoir in stocking model[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2015, 34(2): 119-124. [斯烈钢, 袁向阳, 杨磊, 等. 水库放养模式下日本鳗鲡养成形态性状对体重和净体重的影响效应[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(2): 119-124.]
- [17] Li J, Dong Y J, Han Y L, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attribute on body weight of *Lamprologus morii* and *Lamprologus japonica*[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 39(4): 61-71. [李军, 董彦娇, 韩英伦, 等. 东北七鳃鳗和日本七鳃鳗成体形态性状对体质量的影响分析[J]. 海洋学报, 2017, 39(4): 61-71.]
- [18] Wang Z Z, Yang L, Zhu W D. Morphological and quality difference of adult *Anguilla japonica* under three aquaculture models[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(5): 1385-1392. [王志铮, 杨磊, 朱卫东. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成品的形质差异[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1385-1392.]
- [19] Liu Y, Yu C Y, Yu D D, et al. Path coefficient analysis and curve estimates for body mass and morphometric traits of *Scophthalmus maximus* at different growth stages[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2018, 34(3): 181-190. [刘莹, 于超勇, 于道德, 等. 不同生长时期大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)形态性状与体质量的通径分析及曲线拟合研究[J]. 广西科学院学报, 2018, 34(3): 181-190.]
- [20] 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]
- [21] 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性及通径分析[J]. 海洋学报, 2015, 37(4): 94-102.]
- [22] Ma Q H, Li J, Xu L, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight of asiatic brook lamprey *Lampetra reissneri* and gender distinguish[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2018, 31(5): 19-28. [马庆华, 李军, 徐磊, 等. 嫩江雷氏七鳃鳗的形态性状对体质量的相关性及雌雄形态性状差异分析[J]. 水产学杂志, 2018, 31(5): 19-28]
- [23] 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.]
- [24] Bian L, Liu C L, Chen S Q, et al. Path analysis of effects of morphometric traits on body weight in spotted halibut *Verasper variegatus* at different growth stages[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(6): 1168-1175. [边力, 刘长琳, 陈四清, 等. 不同生长期圆斑星鲽形态性状对体重影响的通径分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1168-1175.]
- [25] Dong J J, Sun C F, Tian Y Y, et al. Correlation analysis of the main morphological traits and body weight of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and morphological traits between males and females[J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(2): 76-84. [董浚键, 孙成飞, 田园园, 等. 翘嘴鲌主要形态性状与体重的相关性及雌雄形态性状差异分析[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 76-84.]
- [26] Guan M, Hu M H, Guo B F, et al. Analysis on effects of *Rhinogobio ventralis* morphometric traits on body weight[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(13): 173-176. [管敏, 胡美洪, 郭柏福, 等. 形态性状对长鳍吻鲈体质量的影响效果分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(13): 173-176.]

- [27] Yang G Q, Xu S G, Wang Y Z, et al. The relationship between partial morphometric and body weight of juvenile steelhead (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Chinese Journal of Zoology, 2011, 46(1): 16-22. [杨贵强, 徐绍刚, 王跃智, 等. 硬头鳟幼鱼部分形态性状和体重的关系[J]. 动物学杂志, 2011, 46(1): 16-22.]
- [28] Zhao W, Hu J, Ma Z H, et al. Path analysis and growth curve fitting of morphological traits to body weight of juvenile *Lates calcarifer*[J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(9): 1700-1707. [赵旺, 胡静, 马振华, 等. 尖吻鲈幼鱼形态性状对体质量影响的通径分析及生长曲线拟合[J]. 南方农业学报, 2017, 48(9): 1700-1707.]
- [29] Zhao W, Yang R, Hu J, et al. Path analysis of morphological traits effects on body weight of five-month-old grouper *Epinephelus coioides*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(5): 557-562. [赵旺, 杨蕊, 胡静, 等. 5 月龄斜带石斑鱼形态性状对体质量影响的通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(5): 557-562.]

Path analysis and growth curve fitting of the morphological traits and body weight of *Conger myriaster*

ZHANG Xinming^{1,2}, CHENG Shunfeng³

1. Department of Marine Engineering, Rizhao Polytechnic, Rizhao 276826, China;

2. Rizhao Marine Biological Engineering Technology Research Center, Rizhao 276826, China;

3. College of Life Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract: *Conger myriaster* is a fish of high economic and nutritional value in China. It is distributed throughout the Yellow Sea, East China Sea, and Bohai Sea. There have been few studies of this species, focused mainly on fishing, feeding ecology, resource distribution, breeding, and genetics. To explore the relationships between the morphological traits and body weight of *C. myriaster*, the body weight (Y) and 11 morphological traits were measured, including the total length (X_1), snout-vent length (X_2), tail length (X_3), head length (X_4), snout length (X_5), eye length (X_6), head length behind the eye (X_7), length before the first dorsal fin (X_8), trunk length (X_9), head width (X_{10}), and the interorbital space (X_{11}). The direct and indirect effects of the morphological traits on body weight were studied by correlation and path analyses. A stepwise regression method was used to establish a regression equation in which the morphological traits were independent variables and the body weight was the dependent variable. The best curve models of 4 morphological characters and body weight were obtained by curve fitting. There was a positive correlation between the morphological traits and body weight of *C. myriaster*, and the correlation coefficients reached extremely significant levels ($P < 0.01$). The correlation coefficient of snout-vent length (X_2) and body weight was the largest (0.970), snout-vent length (X_2) had the largest direct effect on body weight (0.450), and head width (X_{10}) had the largest indirect effect (0.431) on body weight through the snout-vent length (X_2). The direct determinate coefficient of snout-vent length (X_2) on body weight was the largest (0.203) and the largest joint determinate coefficient was for snout-vent length (X_2) and head width (X_{10}) (0.172). The multiple regression equation of the morphological traits and body weight was $Y = -113.859 + 6.481X_2 + 49.213X_6 + 11.514X_7 + 20.145X_{10}$ ($R^2 = 0.954$). The best-fitting models of snout-vent length (X_2), head length behind the eye (X_7), and head width (X_{10}) on body weight were the exponential functions, and the model equations were $Y = 1.466e^{0.287X}$, $Y = 1.435e^{1.328X}$, $Y = 1.970e^{1.974X}$, respectively. The best fit model of eye length (X_6) and body weight was linear, and the equation was $Y = -77.460 + 222.093X$. Snout-vent length (X_2) and head width (X_{10}) were the main selective characteristics of *C. myriaster*, and eye length (X_6) and head length behind the eye (X_7) were auxiliary selective characteristics. These results provide valuable information and a theoretical basis for *C. myriaster* selection.

Key words: *Conger myriaster*; morphological trait; body weight; path analysis; curve fitting

Corresponding author: ZHANG Xinming. E-mail: zxm9706@163.com