

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170804001

http://www.yykxjz.cn/

边力, 刘刚, 张庆文, 刘琨, 陈四清, 李凤辉, 孟乾, 刘长琳, 葛建龙. 不同规格绿鳍马面鲈形态性状对体重影响的通径分析. 渔业科学进展, 2018, 39(5): 50-57

Bian L, Liu G, Zhang QW, Liu K, Chen SQ, Li FH, Meng Q, Liu CL, Ge JL. Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for *Thamnaconus septentrionalis* at different size. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(5): 50-57

不同规格绿鳍马面鲈形态性状 对体重影响的通径分析*

边 力¹ 刘 刚² 张庆文¹ 刘 琨^{1,3} 陈四清^{1①}
李凤辉¹ 孟 乾¹ 刘长琳¹ 葛建龙¹

(1. 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;
2. 青岛市黄岛区海洋与渔业局 青岛 266400; 3. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 为优化绿鳍马面鲈(*Thamnaconus septentrionalis*)养殖技术、扩大产业化规模,本研究利用通径分析方法探究了不同规格绿鳍马面鲈形态性状对体重的影响。以体重为依据,将获得的绿鳍马面鲈样品划分为 3 个不同规格(小、中和大),分别测量了体重与全长(FL)、体长(BL)、体高(BH)、头长(HL)、吻长(SL)、眼径(ED)、尾柄长(CL)和尾柄高(CH)8 个形态性状,通过相关分析和通径分析,计算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、决定系数,最终建立依据形态性状估算体重的最优线性回归方程。结果显示,影响不同规格绿鳍马面鲈体重的主要形态指标存在差异,小规格为体高、体长、眼径和尾柄长,中规格为体长、尾柄高、头长、体高、全长和尾柄长,大规格为体高、全长和尾柄高。小、中及大规格的回归方程分别为: $Y=-84.753+17.263X_{BH}+6.572X_{BL}-28.928X_{ED}-11.353X_{CL}$; $Y=-325.824+20.321X_{BL}+94.047X_{CH}-11.425X_{HL}+15.713X_{BH}-7.218X_{FL}+15.744X_{CL}$; $Y=-516.433+38.012X_{BH}+10.545X_{FL}+82.752X_{CH}$ 。3 个不同规格绿鳍马面鲈,形态性状对体重的决定系数之和均大于 0.85,说明本研究得到的形态性状为影响绿鳍马面鲈体重的重点性状。本研究阐明了不同规格绿鳍马面鲈体重和形态性状的相关关系,对全人工养殖技术的完善具有重要的参考价值。

关键词 绿鳍马面鲈; 形态性状; 相关分析; 通径分析; 回归分析

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)05-0050-08

绿鳍马面鲈(*Thamnaconus septentrionalis*)俗称剥皮鱼、马面鱼、面包鱼,为我国沿海深受人们喜爱的食用经济性鱼类。在我国主要分布于东海、南海、黄海、渤海和台湾沿海,栖息于水深 50~120 m 的海

区(苏锦祥等, 2002)。绿鳍马面鲈自 1974 年开始成为我国东海的主要捕捞对象之一, 1989 年该鱼种全国渔获量达到 30 多万 t(丁民权, 1994)。绿鳍马面鲈具有很高的经济价值,其肉质洁白坚实、味道鲜而不腻,

* 中国水产科学研究院黄海水产研究所级基本科研业务费项目(20603022017014)资助 [This work was supported by Special Scientific Research Funds for Central Non-Profit Institutes, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences (20603022017014)]. 边 力, E-mail: bianli@ysfri.ac.cn

① 通讯作者: 陈四清, 研究员, E-mail: chensq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2017-08-04, 收修改稿日期: 2017-08-17

可做生鱼片、鱼松; 鱼肉纤维较长, 可制成鱼绒或鱼糜制品; 头、皮、内脏部分可以制成鱼粉(孟宪菊等, 2009)。近年来, 由于过度捕捞以及生存环境的破坏, 绿鳍马面鲈的渔获量出现了显著下降(陈丕茂等, 2000)。通过建立绿鳍马面鲈的全人工养殖技术, 一方面可以满足日益增长的市场需要, 另一方面可以有效降低对野生群体的需求, 保护绿鳍马面鲈的自然资源。目前, 我国水产科研人员已突破了绿鳍马面鲈的苗种繁育技术(关键等, 2011; 薛美岩, 2011; 张家男, 2011), 并初步建立了苗种养成阶段的网箱养殖技术(李平伦等, 2002)。为优化绿鳍马面鲈的养殖技术, 扩大养殖规模, 需要对体重、体长等关系到经济价值的重要性状进行进一步研究。

体重作为水产品最为重要的经济性性状, 在养殖实践过程中经常难以准确测量, 这主要由鱼体表面残留的水分导致。形态性状则具备更好的度量性, 更易于准确测量。通过通径分析的手段, 可以估算形态性状与体重的相关性, 筛选影响体重的重点形态性状, 建立以形态性状为自变量估算体重的回归方程。因此, 基于对形态性状的准确测量, 结合通径分析的统计手段, 可实现对体重的准确估计, 为养殖实践提供参考。目前, 这种技术手段在鱼类(耿绪云等, 2011; 王新安等, 2013; 严福升等, 2010)、贝类(白临建等, 2012; 吴彪等, 2010; 张嘉丽等, 2014)、虾蟹类(边力等, 2013; 高保全等, 2008; 李洋等, 2012)等水产动物的研究中得到了广泛应用。绿鳍马面鲈的苗种繁育技术已经获得突破, 目前正在优化从育苗到后期养成的一整套全人工养殖技术, 开展形态性状对体重影响的通径分析可以为养殖技术的完善提供理论指导。

本研究采集了山东省近海海域的绿鳍马面鲈, 依据体重将其划分为 3 个规格, 测量了多个形态性状及体重, 通过相关分析和通径分析, 计算各个形态性状间的相关系数以及各个形态指标对体重的通径系数、决定系数, 最终分别建立了 3 个不同规格依据形态性状估算体重的最优线性回归方程。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究所使用的绿鳍马面鲈采自山东省烟台市和日照市的近海海域, 收购自当地近海捕鱼的渔船, 共采集 258 尾, 体重范围为 20.7~502.3 g, 采集时间为 2017 年 2~5 月。由于缺乏较为可靠的研究支持, 难以确定体重与月(年)龄的准确对应关系, 本研究以小规格(<100 g, 103 尾)、中规格(100~250 g, 85 尾)

和大规格(>250 g, 70 尾)的方式对处于不同生长阶段的绿鳍马面鲈进行了划分。测量前, 擦干鱼体表面水分, 电子天平测量体重(精确到 0.01 g), 利用游标卡尺(精确到 0.1 mm)准确测量全长(Full length, FL)、体长(Body length, BL)、体高(Body height, BH)、头长(Head length, HL)、吻长(Snout length, SL)、眼径(Eye diameter, ED)、尾柄长(Caudal peduncle length, CL)和尾柄高(Caudal peduncle height, CH), 图 1 为所测形态性状的示意图。

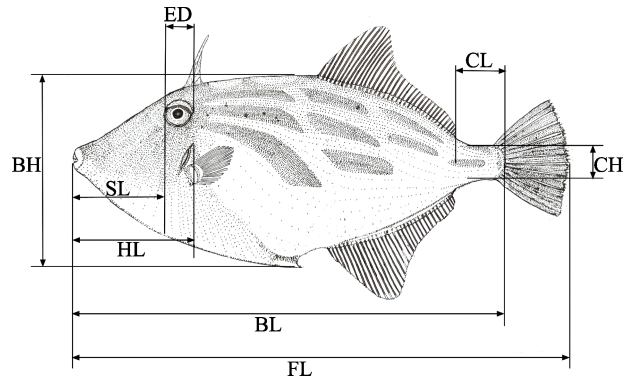


图 1 绿鳍马面鲈形态参数测定示意图

Fig.1 Sketch of morphometric traits in *T. septentrionalis*

BH: 体高; BL: 体长; CH: 尾柄高; CL: 尾柄长;

ED: 眼径, FL: 全长; HL: 头长; SL: 吻长

BH: Body height; BL: Body length; CH: Caudal peduncle height; CL: Caudal peduncle length; ED: Eye diameter;

FL: Full length; HL: Head length; SL: Snout length

1.2 分析方法

利用 SPSS 19.0 软件对 3 个生长期绿鳍马面鲈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 检验的方法检验相关系数的显著性。相关系数的计算公式:

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

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。

间接途径系数的计算公式:

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

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

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 表型参数值

不同规格绿鳍马面鲈表型参数值列于表 1。小、中和大规格绿鳍马面鲈的体重均值分别为 51.48、164.26 和 337.63 g。3 个规格表型参数变异系数最大的均为体重。在不考虑体重的情况下, 小规格和中规格绿鳍马面鲈变异系数最大的形态性状为尾柄长, 大规格为吻长。

表 1 3 个不同规格绿鳍马面鲈体重和形态性状的表型参数值

Tab.1 Descriptive statistics of the body weight and morphometric traits of *T. septentrionalis* at three different sizes

性状 Traits	小规格 Small size			中规格 Medium size			大规格 Large size		
	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)	15.40	2.34	15.19	22.88	2.00	8.74	29.72	2.56	8.60
体长 BL (cm)	13.32	1.84	13.81	19.72	1.77	8.98	25.41	1.82	7.17
体高 BH (cm)	5.30	0.90	16.98	7.94	0.67	8.44	10.07	1.14	11.31
头长 HL (cm)	3.68	0.55	14.95	5.17	0.47	9.09	6.30	0.59	9.38
吻长 SL (cm)	2.75	0.44	16.00	3.91	0.38	9.72	4.89	0.60	12.21
眼径 ED (cm)	0.81	0.13	16.05	1.10	0.13	11.82	1.33	0.11	8.56
尾柄长 CL (cm)	1.70	0.37	21.76	2.59	0.38	14.67	3.46	0.37	10.82
尾柄高 CH (cm)	1.20	0.21	17.50	1.57	0.11	7.01	1.91	0.20	10.50
体重 BW (g)	51.48	20.70	40.21	164.26	43.84	26.69	337.63	82.37	24.40

2.2 形态性状间的相关系数

不同规格绿鳍马面鲈各个性状间的相关系数列于表 2。3 个不同规格绿鳍马面鲈所有性状之间的相关系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 而小规格绿鳍马面鲈形态性状之间的相关系数要高于中规格和大规格。小规格和大规格, 与体重相关系数最大的性状均为体高; 中规格与体重相关系数最大的为体长。

2.3 各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化系数(偏回归系数), 绿鳍马面鲈形态性状对体重的通径系数结果列于表 3。3 个不同规格绿鳍马面鲈体高对体重的通径系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 说明体高是影响绿鳍马面鲈体重的关键形态指标。小规格绿鳍马面鲈的体高、体长、眼径和尾柄长对体重的通径系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。体高和体长对体重的直接作用大于间接作用, 而眼径和尾柄长对体重的通

径系数为负值, 且直接作用小于间接作用, 说明眼径和尾柄长对体重具有负影响, 并主要通过其他性状间接影响体重。对于中规格绿鳍马面鲈, 体长、尾柄高、头长、体高、全长和尾柄长极显著地影响着体重, 除体长外, 其余性状均通过其他性状间接地影响体重, 头长和全长对体重有负影响。大规格绿鳍马面鲈的体高、全长和尾柄高对体重的通径系数均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 体高对体重的直接作用大于间接作用。

2.4 形态性状对体重的决定程度分析

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。小规格、中规格和大规格绿鳍马面鲈形态性状对体重决定系数总和分别为 0.942、0.885 和 0.902, 均大于 0.85, 说明本研究得到的形态性状为影响绿鳍马面鲈体重的重点性状, 在养殖实践中具有重要的参考价值。

表 2 3 个不同规格绿鳍马面鲈各性状间的相关系数

Tab.2 The phenotype correlation coefficients among the traits of *T. septentrionalis* at three different sizes

规格 Size	性状 Traits	全长 FL	体长 BL	体高 BH	头长 HL	吻长 SL	眼径 ED	尾柄长 CL	尾柄高 CH	体重 BW
小规格 Small size	全长 FL	1	0.963**	0.942**	0.945**	0.943**	0.876**	0.883**	0.951**	0.926**
	体长 BL		1	0.923**	0.928**	0.920**	0.848**	0.884**	0.939**	0.936**
	体高 BH			1	0.924**	0.914**	0.847**	0.892**	0.933**	0.947**
	头长 HL				1	0.984**	0.890**	0.840**	0.920**	0.895**
	吻长 SL					1	0.861**	0.824**	0.911**	0.890**
	眼径 ED						1	0.819**	0.875**	0.776**
	尾柄长 CL							1	0.896**	0.827**
	尾柄高 CH								1	0.906**
中规格 Medium size	全长 FL	1	0.920**	0.712**	0.780**	0.741**	0.593**	0.684**	0.523**	0.725**
	体长 BL		1	0.740**	0.731**	0.728**	0.533**	0.734**	0.578**	0.851**
	体高 BH			1	0.537**	0.559**	0.515**	0.649**	0.679**	0.804**
	头长 HL				1	0.958**	0.582**	0.491**	0.393**	0.514**
	吻长 SL					1	0.524**	0.504**	0.450**	0.543**
	眼径 ED						1	0.437**	0.474**	0.483**
	尾柄长 CL							1	0.716**	0.787**
	尾柄高 CH								1	0.763**
大规格 Large size	全长 FL	1	0.956**	0.661**	0.816**	0.836**	0.615**	0.787**	0.645**	0.804**
	体长 BL		1	0.559**	0.750**	0.745**	0.548**	0.725**	0.540**	0.723**
	体高 BH			1	0.474**	0.579**	0.491**	0.452**	0.784**	0.900**
	头长 HL				1	0.940**	0.685**	0.535**	0.516**	0.604**
	吻长 SL					1	0.644**	0.562**	0.655**	0.729**
	眼径 ED						1	0.417**	0.456**	0.546**
	尾柄长 CL							1	0.511**	0.579**
	尾柄高 CH								1	0.824**
	体重 BW									1

“**”表示与体重的相关性达到极显著水平($P<0.01$)

“**” indicates the correlation coefficient reaches highly significant level at $P<0.01$

2.5 建立最优线性回归方程

采用逐步回归法, 剔除标准化系数(偏回归系数)不显著的形态性状, 建立 3 个不同规格绿鳍马面鲈的最优线性回归方程, 分别为:

小规格: $Y = -84.753 + 17.263X_{BH} + 6.572X_B - 28.928X_{ED} - 11.353X_{CL}$

中规格: $Y = -325.824 + 20.321X_{BL} + 94.047X_{CH} - 11.425X_{HL} + 15.713X_{BH} - 7.218X_{FL} + 15.744X_{CL}$

大规格: $Y = -516.433 + 38.012X_{BH} + 10.545X_{FL} + 82.752X_{CH}$

标准化系数显著性检验结果列于表 5, 不同规格绿鳍马面鲈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, 3 个不同规格绿鳍马面鲈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各个规格绿鳍马面鲈的体重均有较好的估算, 具有很好的参考价值。

3 讨论

3.1 不同规格绿鳍马面鲈形态性状对体重的影响

本研究采用通径分析的方法, 分析不同规格绿鳍马面鲈形态性状对体重的影响, 剔除标准化系数不显著的形态性状, 获得了影响不同规格绿鳍马面鲈体重的主要形态性状。3 个不同规格绿鳍马面鲈, 体高对体重的通径系数均达到极显著水平($P<0.01$), 说明体高是影响绿鳍马面鲈体重的关键形态指标。绿鳍马面鲈的身体较为扁平, 体高较高, 该结果符合其外部形态特征。与此同时, 部分通径分析获得的形态性状对

表 3 绿鳍马面鲈形态性状对体重的通径系数及作用分析
Tab.3 Direct and indirect path coefficients of morphological traits to body weight of *T. septentrionalis*

规格 Size	性状 Traits	相关系数 R_{ij}	直接作用 P_i	间接作用 Indirect path coefficient						
小规格 Small size			Σ	体高 BH	体长 BL	眼径 ED	尾柄长 CL			
	体高 BH	0.947**	0.747**	0.200		0.540	-0.157	-0.183		
	体长 BL	0.936**	0.585**	0.351	0.689		-0.157	-0.181		
	眼径 ED	0.776**	-0.185**	0.961	0.633	0.496			-0.168	
	尾柄长 CL	0.827**	-0.205**	1.032	0.666	0.517	-0.152			
中规格 Medium size			Σ	体长 BL	尾柄高 CH	头长 HL	体高 BH	全长 FL	尾柄长 CL	
	体长 BL	0.851**	0.822**	0.028		0.142	-0.090	0.178	-0.303	0.101
	尾柄高 CH	0.763**	0.246**	0.516	0.475		-0.048	0.163	-0.172	0.098
	头长 HL	0.514**	-0.123*	0.637	0.601	0.097		0.129	-0.257	0.067
	体高 BH	0.804**	0.240**	0.564	0.608	0.167	-0.066		-0.234	0.089
	全长 FL	0.725**	-0.329**	1.054	0.756	0.129	-0.096	0.171		0.094
	尾柄长 CL	0.787**	0.137*	0.650	0.603	0.176	-0.060	0.156	-0.225	
大规格 Large size			Σ	体高 BH	全长 FL	尾柄高 CH				
	体高 BH	0.900**	0.526**	0.374		0.216	0.158			
	全长 FL	0.804**	0.327**	0.477	0.347		0.130			
	尾柄高 CH	0.824**	0.201**	0.623	0.412	0.211				

“*”表示达到显著水平($P<0.05$), “**”表示达到极显著水平($P<0.01$)

“*” indicates the correlation coefficient and path coefficient reach significant level at $P<0.05$, “**” indicates the correlation coefficient and path coefficient reach highly significant level at $P<0.01$

表 4 不同规格绿鳍马面鲈形态性状对体重的决定系数
Tab.4 The determinant coefficients of the morphometric traits to body weight of *T. septentrionalis* at different size

规格 Size	性状 Traits	体高 BH	体长 BL	眼径 ED	尾柄长 CL			
小规格 Small size	体高 BH	0.558	0.807	-0.234	-0.273			
	体长 BL		0.342	-0.184	-0.212			
	眼径 ED			0.034	0.062			
	尾柄长 CL				0.042			
中规格 Medium size		体长 BL	尾柄高 CH	头长 HL	体高 BH	全长 FL	尾柄长 CL	
	体长 BL	0.676	0.234	-0.148	0.292	-0.498	0.165	
	尾柄高 CH		0.061	-0.024	0.080	-0.085	0.048	
	头长 HL			0.015	-0.032	0.063	-0.017	
	体高 BH				0.058	-0.112	0.043	
	全长 FL					0.108	-0.062	
	尾柄长 CL						0.019	
大规格 Large size		体高 BH	全长 FL	尾柄高 CH				
	体高 BH	0.277	0.227	0.166				
	全长 FL		0.107	0.085				
	尾柄高 CH			0.040				

体重具有负影响, 如小规格的眼径和尾柄长, 中规格的头长和全长。产生负影响的均为鱼体的横向形态性状, 而纵向指标如体高均对体重具有正影响, 这从一个侧面反映出纵向指标对于绿鳍马面鲈的体重具有重要影响。因而, 在养殖生产实践中, 应着重关注绿鳍马面鲈的体高情况, 由体高可以较好地估计绿

鳍马面鲈的体重情况。

另一方面, 研究结果显示, 对于不同规格的绿鳍马面鲈, 影响其体重的主要形态性状也存在差别。与本研究结果相类似, 2 月龄和 18 月龄的黄姑鱼(*Nibea albiflora*)规格大小存在差异, 影响 2 月龄黄姑鱼的主要形态性状为躯干长和全长, 而影响 18 月龄的为体

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

规格 Size	变量 Variable	非标准化系数		标准化系数 Standardized coefficient	t	显著性水平 Sig.
		Unstandardized coefficient 系数 B	标准误 SE			
小规格 Small size	常量 Constant	-84.753	4.233		-20.024	0
	体高 BH	17.263	1.654	0.747	10.440	0
	体长 BL	6.572	0.784	0.585	8.384	0
	眼径 ED	-28.928	7.649	-0.185	-3.782	0
	尾柄长 CL	-11.353	3.218	-0.205	-3.528	0.001
中规格 Medium size	常量 Constant	-325.824	28.479		-11.441	0
	体长 BL	20.321	2.659	0.822	7.643	0
	尾柄高 CH	94.047	23.174	0.246	4.058	0
	头长 HL	-11.425	5.739	-0.123	-1.991	0.050
	体高 BH	15.713	4.228	0.240	3.717	0
	全长 FL	-7.218	2.370	-0.329	-3.046	0.003
	尾柄长 CL	15.744	7.655	0.137	2.057	0.043
	常量 Constant	-516.433	37.947		-13.609	0
大规格 Large size	体高 BH	38.012	4.746	0.526	8.010	0
	全长 FL	10.545	1.717	0.327	6.140	0
	尾柄高 CH	82.752	26.523	0.201	3.120	0.003

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

规格 Size		平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F	显著性水平 Sig.
小规格 Small size	回归 Regression	41196.962	4	10299.241	398.960	0
	残差 Residual	2529.893	98	25.815		
	总计 Total	43726.855	102			
中规格 Medium size	回归 Regression	143114.269	6	23852.378	101.476	0
	残差 Residual	18334.259	78	235.055		
	总计 Total	161448.528	84			
大规格 Large size	回归 Regression	422310.934	3	140770.311	202.803	0
	残差 Residual	45812.149	66	694.123		
	总计 Total	468123.083	69			

高和全长(黄伟卿等, 2016)。在卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)的研究方面, 1月龄和4月龄卵形鲳鲹对体重影响最大的性状为全长, 而规格更大的7~13月龄则为体高(区又君等, 2013)。这说明对于不同规格大小的绿鳍马面鲷, 需要参考不同的重点形态性状对体重加以估计。

3.2 影响绿鳍马面鲷体重的重点形态性状的确定

本研究利用逐步回归的分析方法, 将形态性状逐个引入, 采用 F 检验对引入的形态性状进行统计检验, 只有检验达到显著性的形态性状才会被引入到回归方程中, 并最终保留成为影响绿鳍马面鲷体重的重

点性状。基于此方法, 在小规格, 体高、体长、眼径和尾柄长为影响体重的重点性状; 体长、尾柄高、头长、体高、全长和尾柄长被保留为影响中规格绿鳍马面鲷体重的重点性状; 大规格为体高、全长和尾柄高。

在此基础上, 本研究进一步计算了各重点性状对体重的决定系数, 小、中和大规格绿鳍马面鲷形态性状对体重决定系数总和分别为 0.942、0.885 和 0.902。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于 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(刘小林等, 2004)。本研究 3 个不同规格

绿鳍马面鲈重点形态性状对体重的决定系数总和均大于0.85,说明影响体重的重点形态性状已经找到,其他形态性状对于体重的影响较小,保留的重点形态性状在养殖生产实践中具有重要的参考价值。

3.3 需进一步研究的问题

由于缺乏较为可靠的研究数据支持,本研究在对处于不同生长阶段的绿鳍马面鲈进行划分时选择了小、中和大规格这样的方式,而非传统的月龄或者年龄,作为绿鳍马面鲈养殖的理论参考时可能略显模糊。本研究选择的样本为野生绿鳍马面鲈,野生环境与人工养殖环境在饵料供应、水质和活动空间等方面存在差异,这些差异可能会对形态性状与体重的相关关系产生一定影响。因而,在下一步的研究中,通过养殖实践,明确绿鳍马面鲈生长月龄和体重的关系,确定养殖环境下体重与形态性状的相关关系,对于进一步优化完善本研究的实验结果具有重要意义。另外,本研究使用样本为黄海群体,我国沿海还分布着渤海群体以及东海群体,不同群体绿鳍马面鲈形态性状与体重的相关关系是否存在差异同样有待进一步研究。

参 考 文 献

- Bai LJ, Yang AG, Zhou LQ, *et al.* Effects of morphometric traits on weight traits of *Atrina pectinata*. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(6): 87-92 [白临建, 杨爱国, 周丽青, 等. 栉江珧形态性状对重量性状的影响. *渔业科学进展*, 2012, 33(6): 87-92]
- Bian L, Zhong SP, Liu HT, *et al.* Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for 2-month-old *Marsupenaeus japonicus*. *Journal of Xiamen University(Natural Science)*, 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. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2013, 52(3): 427-432]
- Chen PM, Zhan BY. Age and growth of *Thamnaconus septentrionalis* and rational exploitation. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(1): 35-40 [陈丕茂, 詹秉义. 绿鳍马面鲈年龄生长与合理利用. *中国水产科学*, 2000, 7(1): 35-40]
- Ding MQ. On the stocks of filefish *Navodon septentrionalis* and their distributions in the East China Sea. *Journal of Fisheries of China*, 1994, 18(1): 45-56 [丁民权. 东海绿鳍马面鲈群体及其分布. *水产学报*, 1994, 18(1): 45-56]
- Gao BQ, Liu P, Li J, *et al.* The relationship between morphometric characters and body weight of *Portunus trituberculatus*. *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. *海洋水产研究*, 2008, 29(1): 44-50]
- Geng XY, Ma WL, Li XP, *et al.* Morphometric attributes to body weight for the redlip mullet *Liza haematocheila*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(4): 530-537 [耿绪云, 马维林, 李相普, 等. 梭鱼(*Liza haematocheila*)外部形态性状对体重影响效果分析. *海洋与湖沼*, 2011, 42(4): 530-537]
- Guan J, Chen ZX, Zhang JN, *et al.* Investigation of embryonic development of *Thamnaconus modestus* in artificial breeding condition. *Advances in Marine Science*, 2011, 29(4): 498-505 [关健, 陈志信, 张家男, 等. 人工培育条件下绿鳍马面鲈 *Thamnaconus modestus* 胚胎发育的研究. *海洋科学进展*, 2011, 29(4): 498-505]
- Huang WQ, Yu ZJ. Correlation analysis of morphometric traits on body weight of spotted maigre *Nibea albiflora* at different growth stages. *Fisheries Science*, 2016, 35(5): 557-561 [黄伟卿, 余祚渊. 不同生长时期黄姑鱼形态性状对体质量的影响效果分析. *水产科学*, 2016, 35(5): 557-561]
- Li PL, Jiang MC, Xu JB, *et al.* The cage culture technique of *Thamnaconus septentrionalis*. *China Fisheries*, 2002, 321(8): 61-62 [李平伦, 姜明成, 徐金波, 等. 绿鳍马面鲈海上网箱养殖技术. *中国水产*, 2002, 321(8): 61-62]
- 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通径分析. *渔业科学进展*, 2012, 33(6): 59-65]
- Liu XL, Wu CG, Zhang ZH, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Penaeus vannamei*. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 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. *生态学报*, 2004, 24(4): 857-862]
- Meng XJ, Zhang LM. The biological features and culture potential of *Thamnaconus septentrionalis*. *Shandong Fisheries/Qilu Yuye*, 2009, 26(6): 47-48 [孟宪菊, 张利民. 绿鳍马面鲈的生物学特性及人工养殖前景. *齐鲁渔业*, 2009, 26(6): 47-48]
- Ou YJ, Ji L, Li JE, *et al.* Correlation analysis of major morphometric traits and body weight of selective group at different month ages of *Trachinotus ovatus*. *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. *水产学报*, 2013, 37(7): 961-969]
- Su JX, Li CS. Osteichthyes-Tetraodontiformes, Pegasiformes, Gobiociformes, Lophiiformes. *Fauna Sinica*. Beijing: Science Press, 2002, 125-132 [苏锦祥, 李春生. *中国动物志: 硬骨鱼纲-鲈形目、海鲷鱼目、喉盘鱼目、鲽鲷目*. 北京: 科学出版社, 2002, 125-132]
- Wang XA, Ma AJ, Zhuang ZM, *et al.* Effects of morphometric attributes on body weight of *takifugu rubripes* (temminck et schlegel). *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(1): 135-140 [王新安, 马爱军, 庄志猛, 等. 红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)形态性状对体重的影响效果. *海洋与湖沼*, 2013, 44(1): 135-140]
- Wu B, Yang AG, Liu ZH, *et al.* The relationship between morphometric traits and body weight of *Scapharca broughtonii* in two different populations. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(6): 54-59 [吴彪, 杨爱国, 刘志鸿, 等. 魁蚶两个不同群体形态性状对体质量的影响效果分析. *渔业科学进展*, 2010, 31(6): 54-59]

- Xue MY. Study on early development and growth of *Navodon septentrionalis*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2011 [薛美岩. 绿鳍马面鲈早期发育及生长的研究. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2011]
- Yan FS, Wang ZG, Liu XD, *et al.* Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for 3-month aged *Paralichthys olivaceus*. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(2): 45–50 [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. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 45–50]
- Zhang JN. Reproductive regulation and fry breeding technology of *Thamnaconus septentrionalis* Günther. Master's Thesis of Ocean University of China, 2011 [张家男. 绿鳍马面鲈的生殖调控与苗种繁育技术. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2011]
- 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 冯小花)

Path Analysis of the Effects of Morphometric Traits on Body Weight of *Thamnaconus septentrionalis* at Different Sizes

BIAN Li¹, LIU Gang², ZHANG Qingwen¹, LIU Kun^{1,3}, CHEN Siqing^{1①},
LI Fenghui¹, MENG Qian¹, LIU Changlin¹, GE Jianlong¹

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071;
2. Huangdao Ocean and Fisheries Administration, Qingdao 266400; 3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract *Thamnaconus septentrionalis* is a common economic marine fish species that can be found in coastal waters of China. The artificial breeding technique has been established for *T. septentrionalis*. In order to optimize artificial culture techniques and to promote industrialization of *T. septentrionalis*, path analysis was conducted to investigate the effects of morphological traits on body weight. According to body weight, the samples were divided into 3 groups (small size, medium size, and large size). Full length (FL), body length (BL), body height (BH), head length (HL), snout length (SL), eye diameter (ED), caudal peduncle length (CL), caudal peduncle height (CH), and body weight (BW) of *T. septentrionalis* were measured. We calculated the correlation coefficients, path coefficients and determination coefficients. The regression equations with morphological traits as variables and body weight as the dependent variable at each size were established. The results showed that the morphological traits affecting body weight at different sizes were different. Body height, body length, eye diameter, and caudal peduncle length were the significant traits affecting body weight at small sizes; for medium *T. septentrionalis*, the morphometric traits that significantly affected body weight were body length, caudal peduncle height, head length, body height, full length, and caudal peduncle length; for large *T. septentrionalis*, the significant traits were body height, full length, and caudal peduncle height. The regression equations for small, medium and large size: $Y = -84.753 + 17.263X_{BH} + 6.572X_{BL} - 28.928X_{ED} - 11.353X_{CL}$; $Y = -325.824 + 20.321X_{BL} + 94.047X_{CH} - 11.425X_{HL} + 15.713X_{BH} - 7.218X_{FL} + 15.744X_{CL}$; $Y = -516.433 + 38.012X_{BH} + 10.545X_{FL} + 82.752X_{CH}$. The sums of the coefficients of determination at each size were all greater than 0.85. This indicates the main morphological traits affecting body weight were found. This study can serve as a valuable tool to improve the culture industry of *T. septentrionalis*.

Key words *Thamnaconus septentrionalis*; Morphometric traits; Correlation analysis; Path analysis; Regression analysis

① Corresponding author: CHEN Siqing, E-mail: chensq@ysfri.ac.cn