

# 逐步线性回归法实现天津厚蟹(*Helice tientsinensis*) 表型性状与体重的通径分析\*

平洪领<sup>1,2</sup> 李玉全<sup>1</sup>

(1. 青岛农业大学海洋科学与工程学院 青岛 266109; 2. 浙江海洋学院海洋科学与技术学院 舟山 316000)

**提要** 选择莱州湾的天津厚蟹(*Helice tientsinensis*)140 只, 测量甲长( $X_1$ )、大螯动指长( $X_2$ )、甲宽( $X_3$ )、眼间距( $X_4$ )、第 1 侧齿间距( $X_5$ )、第 2 侧齿间距( $X_6$ )、大螯不动指长( $X_7$ )、大螯不动指宽( $X_8$ )、大螯长节长( $X_9$ )、第 1 步足长节长( $X_{10}$ )、体高( $X_{11}$ )、体重( $Y$ )共 12 个指标, 采用相关分析和通径分析方法, 计算了以形态性状为自变量, 体重作依变量的通径系数、相关系数和决定系数。结果表明, 所测形态性状与体重的相关系数均达到极显著水平( $P < 0.01$ ); 采用逐步线性回归的方法建立了多元回归方程  $Y = -16.448 + 1.063X_1 + 0.466X_2$ , 其中  $Y$  为体重(g),  $X_1$  为甲长(mm),  $X_2$  为大螯动指长(mm)。选取的形态性状与体重的复相关指数  $R^2 = 0.856$ , 定量分析了形态性状对体重的影响效果。

**关键词** 天津厚蟹; 形态性状; 通径分析; 多元回归

**中图分类号** S917.4

天津厚蟹(*Helice tientsinensis*)隶属于甲壳纲、十足目、爬行亚目、方蟹科、厚蟹属, 广泛分布于我国沿海滩涂地区, 是潮间带区域重要的生态物种, 且本身具有很好的食用价值, 历来被人们视为珍品佳肴。

形态性状和体重指标是遗传育种与种苗繁殖研究的重要依据。体重的称量在实际操作中不如形态指标简单和准确。因此, 分析形态性状与体重之间的关系, 探讨与体重直接相关的形态指标, 通过形态性状的选择达到选种目的, 具有重要的现实意义。自从 20 世纪 20 年代 Wright(1921)首次提出通径系数的分析方法以来, 多元分析已广泛应用于水产养殖育种方案的优化和生产量的估计(Harue *et al*, 2000; Myers *et al*, 2001; Cunha *et al*, 2003; 何小燕等, 2009)。Anderson 等(1958)认为白对虾(*Penaeus setiferus*)体长与体重之间相关性很强; Fontaine 等(1968)分别分析了 3 种重要经济对虾的尾长与体长、全长与体重的相关程度; Thomas(1975)对对虾(*Penaeus semisulcatus*)体长与体

重的相关性及相对条件因子进行了系统分析; 高保全等(2008)和李玉全等(2010)分析了三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)、刘博等(2009)分析了中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)“黄海 1 号”、王新安等(2013)分析了红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)、孙成波等(2008)分析了日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)、王志铮等(2011)分析了日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)、耿绪云等(2007)分析了中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)一龄幼蟹的形态性状对体重的影响效果。

然而, 目前国内的相关研究主要集中于广泛养殖的经济虾蟹类, 对天津厚蟹的形态性状对体重影响的分析未见报道。本研究以分布于莱州湾海区的天津厚蟹群体为对象, 利用相关分析、通径分析、逐步回归的方法, 分析了影响天津厚蟹体重的主要形态性状及其直接和间接作用的大小, 建立了估计体重的多元回归方程, 期望为天津厚蟹今后的选育工作

\* 国家自然科学基金项目, 31101916 号; 山东省现代农业产业技术体系虾蟹类专项, 2013—2015; 青岛农业大学校自然科学基金, 610804 号; 山东省自然科学基金, ZR2010CM060 号。平洪领, 硕士研究生, E-mail: pinghongling@126.com

通讯作者: 李玉全, 博士, 副教授, 硕士生导师, E-mail: jiangfangqian@163.com

收稿日期: 2012-12-12, 收修改稿日期: 2013-03-05

提供理想的测量指标。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

天津厚蟹(*Helice tientsinensis*)实验材料采自潍坊市昌邑市下营镇北部沿海, 随机取 140 只, 测相关指标。

### 1.2 指标测定

测量的相关指标包括: 甲长( $X_1$ )、大螯动指长( $X_2$ )、甲宽( $X_3$ )、眼间距( $X_4$ )、第 侧齿间距( $X_5$ )、第 侧齿间距( $X_6$ )、大螯不动指长( $X_7$ )、大螯不动指宽( $X_8$ )、大螯长节长( $X_9$ )、第 步足长节长( $X_{10}$ )、体高( $X_{11}$ )和体重( $Y$ )。形态指标的测量借助游标卡尺(精确到 0.1mm), 按图 1 所示的相应部位进行(徐敬明等, 2010); 体重测定时, 先用纱布吸取其表面水分, 然后用电子天平称重(精确到 0.1g)。

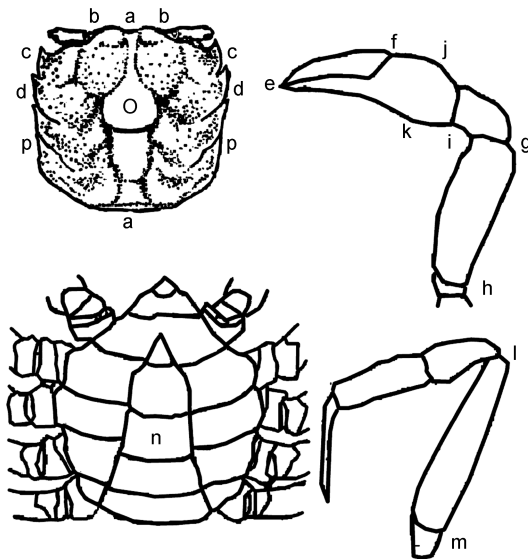


图 1 天津厚蟹形态特征测量部位示意图

Fig.1 Sketch diagram of measuring points of *H. tientsinensis*  
测量参数代号及定义: 甲长  $X_1$ —aa 指甲长为 a 点至 a 点的距离, 下同;  $X_2$ —ef;  $X_3$ —pp;  $X_4$ —bb;  $X_5$ —cc;  $X_6$ —dd;  $X_7$ —ei;  
 $X_8$ —jk;  $X_9$ —gh;  $X_{10}$ —lm;  $X_{11}$ —on

### 1.3 数据统计与分析

形态性状及体重的测定数据应用 SPSS 17.0 和 Excel 2003 统计软件进行初步统计处理, 获得各项表型参数估计值后, 计算出各自以形态参数为自变量, 体重为依变量的相关系数、通径系数和决定系数。运用 SPSS 软件只需“Analyze Regression Linear”这一个程序便可获得通径系数、相关系数以及显著性检验等信息(杜家菊等, 2010); 利用 SPSS 的独立样  $t$  检验

功能对体重进行差异显著性检验, 置信区间设为 95%。

## 2 结果与分析

### 2.1 各形态性状参数统计

由表型统计量(表 1)可以看出, 变异系数最大的是体重(37.68%), 其次是大螯不动指宽、大螯动指长、大螯不动指长等; 变异系数最小的是甲宽(12.36%), 然后是第 侧齿间距、第 侧齿间距及眼间距, 其它形态性状变异系数均较大。

表 1 所测各性状的表型统计量  
Tab.1 The descriptive statistics of various traits

指标	标准差	平均数	变异系数(%)
甲长( $X_1$ , mm)	3.20	22.03	14.49
大螯动指长( $X_2$ , mm)	3.03	14.00	21.67
甲宽( $X_3$ , mm)	3.15	25.47	12.36
眼间距( $X_4$ , mm)	1.32	9.51	13.90
第 侧齿间距( $X_5$ , mm)	3.18	25.50	12.49
第 侧齿间距( $X_6$ , mm)	3.35	26.58	12.59
大螯不动指长( $X_7$ , mm)	4.34	21.38	20.31
大螯不动指宽( $X_8$ , mm)	3.77	15.04	25.04
大螯长节长( $X_9$ , mm)	2.05	11.13	18.47
第 步足长节长( $X_{10}$ , mm)	2.36	15.04	15.70
体高( $X_{11}$ , mm)	2.23	15.52	14.39
体重( $Y$ , g)	5.08	13.50	37.68

### 2.2 性状间的相关分析

由表 2 可知, 天津厚蟹的甲长、体高、甲宽、眼间距、第 侧齿间距、第 侧齿间距、大螯不动指长、大螯不动指宽、大螯长节长、第 步足长节长、大螯动指长、体重等性状之间的相关性均达到了极显著水平( $P < 0.01$ ), 表明将所选的指标用来进行相关分析具有实际意义。从相关程度的强弱来看, 所有的形态参数之间均为显著正相关。其中, 甲宽与第 侧齿间距相关系数(0.993)最大, 眼间距与大螯长节的长的相关系数(0.707)最小。各形态性状与体重相关大小依次为  $X_1 > X_{11} > X_6 > X_3 > X_5 > X_7 > X_2 > X_{10} > X_8 > X_4 > X_9$ 。

### 2.3 数据检验及建立逐步回归方程

利用 SPSS 17.0 软件得到各性状对体重的通径系数, 选取体重为依变量, 其它性状参数为自变量的回归分析(表 3, 表 4)。根据显著性检验剔除不显著的参数, 保留甲长( $t=9.029$ )、大螯动指长( $t=3.762$ ), 2 个形态性状据此建立回归方程:  $Y = -16.448 + 1.063X_1 + 0.466X_2$ 。其中  $Y$  为体重(g),  $X_1$  为甲长(mm),  $X_2$  为大螯动指长(mm)。

表 2 各性状及体重相互之间的表型相关系数  
Tab.2 The correlation coefficients between the morphological traits and body weight

性状	CL	BH	CW	EW	FOMW	SOMW	FFLC	FFWC	MLC	MLFP	FFC	BW
CL	1	0.976**	0.970**	0.851**	0.967**	0.976**	0.922**	0.892**	0.832**	0.911**	0.898**	0.917**
BH		1	0.963**	0.862**	0.964**	0.972**	0.912**	0.879**	0.826**	0.906**	0.880**	0.905**
CW			1	0.838**	0.983**	0.993**	0.890**	0.850**	0.805**	0.908**	0.871**	0.899**
EW				1	0.833**	0.845**	0.799**	0.783**	0.707**	0.781**	0.762**	0.804**
FOMW					1	0.987**	0.896**	0.858**	0.813**	0.912**	0.871**	0.898**
SOMW						1	0.895**	0.856**	0.812**	0.908**	0.871**	0.903**
FFLC							1	0.977**	0.853**	0.931**	0.978**	0.890**
FFWC								1	0.831**	0.913**	0.969**	0.872**
MLC									1	0.860**	0.842**	0.782**
MLFP										1	0.927**	0.877**
FFC											1	0.877**
BW												1

甲长 CL, 甲宽 CW, 体高 BH, 第一侧齿间距 FOMW, 第二侧齿间距 SOMW, 大螯不动指长 FFLC, 大螯不动指宽 FFWC, 大螯长节的长 MLC, 体重 BW, 第一步足长节的长 MLFP, 眼间距 EW, 大螯动指长 FFC

表 3 模型输出结果  
Tab.3 The output results of model

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.917 <sup>a</sup>	0.841	0.840	2.036
2	0.925 <sup>b</sup>	0.856	0.854	1.947

不同上标字母表示处理间差异显著(P<0.05)

表 4 回归系数输出结果  
Tab.4 The output results of regression coefficient

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std.Error	Beta		
1	(Constant)	-18.691	1.205		-15.509	0.000
	甲长	1.461	0.054	0.917	26.988	0.000
2	(Constant)	-16.448	1.297		-12.684	0.000
	甲长	1.063	0.118	0.667	9.029	0.000
	大螯动指长	0.466	0.124	0.278	3.762	0.000

2.4 通径分析

由表 4 可以得出, 自变量  $X_1$ 、 $X_2$  对  $Y$  的直接作用分别是:  $P_{1y}=0.667$ ,  $P_{2y}=0.278$ 。显著性检验结果表明,  $X_1$ 、 $X_2$  的偏回归系数的显著性均小于 0.01, 说明自变量与因变量之间存在极显著性差异, 有统计学意义, 应留在方程中。

由表 2 知, 自变量  $X_1$ 、 $X_2$  与因变量  $Y$  之间的简单相关系数分别是 0.917 和 0.877。由表 4 知, 自变量  $X_1$ 、 $X_2$  对体重的通径系数分别是:  $r_{1y}=0.897$  和  $r_{2y}=0.046$ 。

$X_1$  通过  $X_2$  对  $Y$  的间接通径系数为:  $r_{12} \times P_{2y}=0.898 \times 0.278=0.250$ ,  $X_2$  通过  $X_1$  的间接通径系数为:  $r_{21} \times$

$P_{1y}=0.898 \times 0.667=0.599$  (表 5)。

2.5 形态各性状对体重的决定程度分析

根据单个性状对体重的决定系数为  $d_i = P_{iy}^2$ , 两个性状对体重的共同决定系数  $d_{ij} = 2r_{ij}P_{iy}P_{jy}$ , 计算出形态性状间协同对体重的决定系数。见表 6。

表 6 给出了每个形态性状单独对体重的决定系数(0.445 和 0.077), 0.333 为两两性状共同对体重的决定系数。单独决定系数和两两共同决定系数的总和为 0.855, 它与表 3 相关指数  $R^2$  的数值相等。表明本实验所列形态性状是影响体重的重点性状, 其它性状影响相对较小。

表 5 天津厚蟹形态性状对体重的影响  
Tab.5 The effects of morphometric traits on body weight of *H. tientsinensis*

性状	相关系数( $r_{ij}$ )	直接作用( $P_i$ )	间接作用( $r_{ij}P_j$ )	
			甲长	大螯动指长
甲长	0.917	0.667		0.250
大螯动指长	0.877	0.278	0.599	0.599

表 6 天津厚蟹形态性状对体重的决定系数  
Tab.6 The determinant coefficients of the morphometric traits on body weight of *H. tientsinensis*

形状	甲长	大螯动指长
甲长	0.445	0.333
大螯动指长		0.077

### 3 讨论

#### 3.1 高度相关的自变量不能在回归方程中共存

在所选择的 11 个自变量中, 甲宽  $X_3$ 、眼间距  $X_4$ 、第 侧齿间距  $X_5$ 、第 侧齿间距  $X_6$ 、大螯不动指长  $X_7$ 、大螯不动指宽  $X_8$ 、大螯长节长  $X_9$ 、第 步足长节长  $X_{10}$ 、体高  $X_{11}$ , 虽然与体重的相关程度达到极显著水平, 但它们均未进入多元回归方程。这主要是因为它们分别与入选的自变量存在很强的相关性, 不能在回归方程中共存。

#### 3.2 影响体重的重点性状的确定

进行通径分析和决定系数分析时, 只有当相关指数  $R^2$  或各个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 时, 才表明依变量的主要自变量已找到。本研究得到  $R^2=0.855$ , 说明所保留的天津厚蟹形态性状是影响体重的重点性状, 进一步说明通径系数分析结果能够反映形态性状与体重之间的真实关系。本实验借助多元逐步回归的方法排除了形态性状间的共线性问题和回归方程中检验不显著的自变量, 建立了回归方程, 量化了甲长、大螯动指长的相关关系; 并通过通径分析将保留指标的表型相关分为直接相关(通径系数)和间接相关(间接通径系数)两部分, 反向验证了回归方程的量化关系。

#### 3.3 天津厚蟹数量性状选择育种的意义

体重是选择育种的重要指标之一, 有效选择具有体重优势的优良个体是选育的关键。然而, 体重的变异系数在本实验所测定的性状中是最大的(37.68%), 而形态性状的变异系数均相对较小(<25%)。因此, 选育中如果直接根据体重进行选择, 往往会因为其它因素的影响而产生较大的选择误差,

从而影响选育的效率。量化和筛选变异系数较小且与体重具有重要直接关系的形态性状, 借助这些形态指标进行间接选择可有效降低其它因素的影响, 提高体重选育的准确性。

本研究用天津厚蟹的形态性状和重量来共同探讨天津厚蟹数量性状间的关系。把形态性状作为自变量, 重量作为因变量, 其对重量性状的回归相关性极显著, 可见对天津厚蟹而言, 形态性状作为自变量是恰当的。这一现象在栉孔扇贝(刘小林等, 2002)、凡纳滨对虾(刘小林等, 2004)、中国对虾(董世瑞等, 2007)、三疣梭子蟹(高保全等, 2008)、脊尾白虾(李玉全等, 2012)中得到了证实。本研究结果说明, 在天津厚蟹的选择育种中甲长、大螯动指长是理想的测度指标。

### 参 考 文 献

- 王志铮, 吴一挺, 杨 磊等, 2011. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)形态性状对体重的影响效应. 海洋与湖沼, 42(4): 612—618
- 王新安, 马爱军, 庄志猛等, 2013. 红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)形态性状对体重的影响效果. 海洋与湖沼, 44(1): 135—140
- 刘 博, 李 健, 刘 萍等, 2009. 中国对虾“黄海 1 号”生长性状对体重的影响效果分析. 海洋科学集刊, 49: 96—103
- 刘小林, 吴长功, 张志怀等, 2004. 凡纳滨对虾形态性状对体重的影响效果分析. 生态学报, 24(4): 857—862
- 刘小林, 常亚青, 相建海等, 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体体重的影响效果分析. 海洋与湖沼, 33(6): 673—678
- 孙成波, 邓先余, 李镇泉等, 2008. 北部湾野生日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)体重和形态性状的关系. 海洋与湖沼, 39(3): 263—268
- 杜家菊, 陈志伟, 2010. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法. 生物学通报, 45(2): 4—6
- 李玉全, 王仁杰, 王春德等, 2012. 通径分析在脊尾白虾育种形态性状选择中的应用. 生物数学学报, 27(4): 747—752
- 李玉全, 高保全, 戴芳钰, 2010. 三疣梭子蟹抱卵体重与抱卵量、排卵量及 I 期溞状幼体大小的关系. 水生态学杂志, 3(3): 71—74
- 何小燕, 刘小林, 白俊杰等, 2009. 大口黑鲈形态性状对体重的影响效果分析. 水产学报, 33(4): 597—603
- 耿绪云, 王雪惠, 孙金生等, 2007. 中华绒螯蟹一龄幼蟹外部形态性状对体重的影响效果分析. 海洋与湖沼, 38(1): 49—

54

- 徐敬明, 杨帆, 孙世春, 2010. 厚蟹属种群形态量度分析. 水生生物学报, 34(3): 533—540
- 高保全, 刘萍, 李健等, 2008. 三疣梭子蟹形态性状对体重影响的分析. 海洋水产研究, 29(1): 44—50
- 董世瑞, 孔杰, 万初坤等, 2007. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析. 海洋水产研究, 28(3): 15—22
- Anderson W W, Lindner M J, 1958. Length-weight relation in the common or white shrimp, *Penaeus setiferus*. US Dept Int Fish Wild Serv, Special Sci Rp, 256: 1—13
- Cunha I, Saborido-rey F, Planas M, 2003. Use of multivariate analysis to assess the nutritional condition of fish larvae from nucleic acids and protein content. The Biological Bulletin, 204: 339—349
- Fontaine C T, Neal R A, 1968. Relation between tail length and total length for the three commercially important penaeid shrimp. Fish Bull, 67: 125—126
- Harue K, Mutsuyshi T, Katsuya M *et al*, 2000. Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured Red Sea bream. Fisheries Sciences, 66(2): 365—371
- Myers J M, Hershberger W K, Saxton A M *et al*, 2001. Estimates of genetic and phenotypic parameters for length and weight of marine netpen reared coho salmon (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum). Aquaculture Research, 32(4): 277—285
- Thomas M M, 1975. Age and growth, length-weight relation and relative condition factor of *Penaeus sensulcatus*. De Haan Ind J Fish, 22: 133—142
- Wright S, 1921. Correlation and causation. Journal of Agriculture Research, 20(7): 557—585

## PATH ANALYSIS BETWEEN MORPHOMETRIC TRAITS AND BODY WEIGHT ON *HELICE TIENSINENSIS* BY MULTIPLE REGRESSION

PING Hong-Ling<sup>1,2</sup>, LI Yu-Quan<sup>1</sup>

(1. College of Marine Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao, 266109;  
2. College of Marine Science and Technology, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, 316000)

**Abstract** To study the relationships of 11 morphological traits with the body weight ( $Y$ ), 140 *Helice tientsinensis* from Laizhou Bay were sampled. The 11 morphological traits were carapace length ( $X_1$ ), chela moving-finger length ( $X_2$ ), carapace width ( $X_3$ ), interorbital distance ( $X_4$ ), first orbital margin width ( $X_5$ ), second orbitai width ( $X_6$ ), length of fixed finger of claw ( $X_7$ ), width of fixed finger of claw ( $X_8$ ), length meropodit of claw ( $X_9$ ), length of meropodit of first peraeopod ( $X_{10}$ ), and body height ( $X_{11}$ ) were measured for correlation and path analyses. Determination coefficients, path coefficients, and correlation index were calculated. The results revealed a positive correlation ( $P < 0.01$ ) between the 11 traits and body weight; and multiple regression based on the path coefficients was established among  $X_1$  and  $X_2$  (in mm), and  $Y$  (in g) as  $Y = -16.448 + 1.063X_1 + 0.466X_2$  ( $R^2 = 0.856$ ). In addition, the relationship of the morphological traits and the body weight was analyzed quantitatively.

**Key words** *Helice tientsinensis*; morphometric trait; path analysis; multiple regression