

三疣梭子蟹选育群 F₂S 表型性状对体质量影响的效果分析

王春琳¹, 吴丹华^{1,2}, 崔朝霞², 李来国¹, 张晓梅¹, 郑萍萍¹

(1. 宁波大学 省部共建应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江宁波 315211; 2. 中国科学院 海洋研究所, 山东青岛 266071)

摘要: 随机抽取三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)抗病候选群 F₂ 代(F₂S) 120 只及普通养殖群(RS)88 只, 对其头胸甲宽 X_1 、头胸甲长 X_2 、螯足长 X_3 、I 步足长 X_4 、II 步足长 X_5 、III 步足长 X_6 、游泳足长 X_7 、中额齿间距 X_8 、两侧额齿间距 X_9 、下额齿间距 X_{10} 、体质量 Y 等 11 个生长性状进行测量, 计算每个群体内性状间的相关系数。采用通径分析方法计算, 以形态性状为自变量对体质量作依变量的通径系数和决定系数, 并进行各性状对体质量影响大小的分析。结果表明, 两个群体所选的 10 个参数均与体质量显著相关。通径分析显示头胸甲宽对 F₂S 群体质量影响最大, II 步足长对 RS 群体质量影响最大, 他们的通径系数分别为 0.498 和 0.609。间接通径分析表明 III 步足长和两侧额齿间距分别对 F₂S 群和 RS 群体质量间接影响最大。经逐步多元回归分析, 两个群体各有 4 个参数对体质量的回归分析达到显著水平, 并建立了两个不同的回归方程, F₂S 群: $Y = -108.331 + 8.259 X_1 + 11.372 X_4 + 8.382 X_7 - 37.098 X_9$ 。RS 群: $Y = -106.763 + 7.725 X_1 + 18.452 X_5 - 73.358 X_9 + 45.877 X_{10}$ 。回归方程可以为三疣梭子蟹遗传育种提供一定的理论基础。

关键词: 三疣梭子蟹, 抗病候选群 F₂ 代 F₂S, 普通养殖群 RS, 形态性状, 体质量, 通径分析

中图分类号: Q954

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2013)07-0100-09

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)是一种重要的大型海洋经济蟹类, 广泛分布在我国山东、浙江、广西、广东、福建、海南以及日本、朝鲜、马来西亚群岛等水域^[1], 因其具有肉味鲜美、营养丰富、生长速度快、经济价值高等特点, 已成为我国沿海渔业资源中的重要养殖支柱。但近年来三疣梭子蟹“肌肉乳白病”等病害的频发导致其大规模死亡, 给三疣梭子蟹产业造成了巨大的经济损失, 严重威胁到三疣梭子蟹养殖业的健康和持续发展^[2-6]。选育抗病、抗逆新品种是实现三疣梭子蟹养殖业可持续发展的迫切需求及有效途径。

在三疣梭子蟹的选育过程中, 除了抗病相关的免疫指标外, 其体质量、头胸甲宽、头胸甲长等性状指标也是良种选育中的重要科学依据, 其中体质量是最直接的育种目标性状之一。但在实际操作过程中体质量测量需要一定的操作环境、仪器及电源等, 不适宜在野外直接观察, 而形态指标则容易准确测量^[7-8], 因此利用多元回归分析, 弄清形态性状与体质量间的关系以及对体质量的直接影响大小, 通过形态性状的选择达到选种目的, 具有重要的现实意义。

随着海洋生物养殖业的发展, 多元分析已广泛应用于虾蟹类经济物种的选择育种中。杨长明等^[9]对 5 月龄凡纳对虾的体质量与多个形态性状进行了多元分析, 利用相关分析、通径分析、回归分析方法, 给出了影响凡纳对虾体质量的主要形态性状及其直接或间接作用的大小, 建立了估计体质量的多元回归方程。董世瑞等^[10]对 5 月龄中国对虾的形态性状和体质量进行了多元回归分析, 区分了影响中国对虾体质量的主要形态性状及直接影响和间接影响作用, 并建立形态性状与体质量间的多元线性最优回归方程。耿绪云等^[11]对中华绒螯蟹一龄幼蟹的外部形态性状和体质量进行多元分析, 明确了中华绒螯蟹一龄幼蟹外部形态性状对其体质量的直接作用和

收稿日期: 2012-08-10; 修回日期: 2012-11-10

基金项目: 国家 863 计划项目(2012AA100809); 国家富民强县科技专项(2011F012); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20103305120002); 浙江省水产育种专项(2012C12907-3); 宁波市海洋蟹类产业科技创新团队项目(2011B81003); 宁波市海洋与渔业专项(2011-1-7); 宁波市农业科技专项(201015)

作者简介: 王春琳(1965-), 教授, 农学博士, 研究方向: 甲壳类与头足类繁殖生物学及其养殖技术, 电话: 0574-87600356, E-mail: wang chunlin@nbu.edu.cn

间接作用。关于三疣梭子蟹形态学方面的研究,刘磊等^[12]对不同日龄的三疣梭子蟹 5 个生长性状进行研究分析,得出所选形态性状对体质量的影响,并建立了多元回归方程。高保全等^[13-14]采用多元分析方法对三大海域 4 个群体的三疣梭子蟹十多项形态性状进行了聚类分析,发现 4 个群体在形态上已产生一定程度的差异,并通过多元回归分析建立了形态性状与体质量间的多元线性回归方程。本研究于 2006 年开始三疣梭子蟹抗病高产新品种的选育工作,获得了性状良好的抗病候选群 F_2 代(F_2S),作者借鉴上述文献的统计分析方法,利用多元回归分析、相关分析和通径分析等方法比较分析了三疣梭子蟹(F_2S)和普通养殖群(RS)两个群体各自形态性状对体质量的影响,并建立了估计体质量的多元回归方程,为三疣梭子蟹的选育工作提供一定的数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与性状测定方法

三疣梭子蟹抗病候选群 F_2 代源于 2006 年从东海自然海区采捕的已交配三疣梭子蟹雌蟹,用浓度为 1.12×10^7 cfu/mL 溶藻弧菌人工浸泡感染 7 h,筛选存留的亲蟹在 2007 年春进行人工育苗,获得 F_1 代,人工养殖到性腺成熟并自然交配后用同样浓度的溶藻弧菌再次浸泡感染,对存活亲蟹再次进行人工选育,2008 年获抗病候选群 F_2 代(F_2S)。普通养殖群为 2007 年底从东海自然海区捕获抱卵雌蟹人工繁育所产的后代(RS)。

于 2008 年 7~9 月多次随机选取三疣梭子蟹 F_2S 和 RS 两个群体个体数量分别为 120 只和 88 只,雌雄比例均为 1:1,沥干水分后,用电子天平逐一称体质量,精确到 0.1g;用游标卡尺逐一测量头胸甲宽、头胸甲长、螯足长、I 步足长、II 步足长、III 步足长、游泳足长、中额齿间距、两侧额齿间距、下额齿间距等形态性状,精确到 0.02 mm。头胸甲宽测量其左右最大宽度,头胸甲长测量其前后缘长度,各足长测量伸直后基部到足尖长度,额齿间距测量相应两额齿间的长度,三疣梭子蟹形态及测量指标示意图见图 1。

1.2 数据分析方法

三疣梭子蟹 F_2S 和 RS 个体的各性状测定结果经初步统计整理,计算平均数、标准差和变异系数,获得各项表型参数的统计量后,用 Excel 和 SPSS13.0 软件对各性状进行表型相关系数分析、形态性状各指标对体质量性状的通径分析和决定系数计算,剖

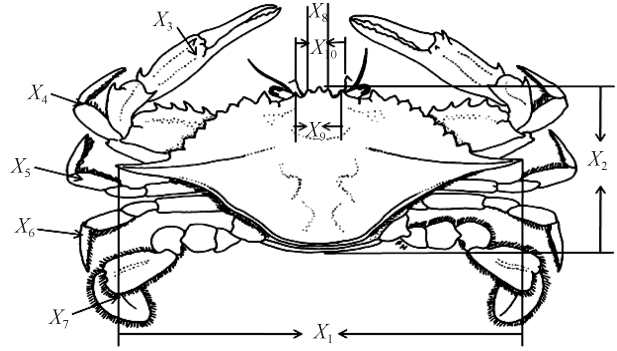


图 1 三疣梭子蟹背面形态图

Fig. 1 The rear Morphological Characteristics of *Portunus trituberculatus*

各形态指标示意: 头胸甲宽 X_1 , 头胸甲长 X_2 , 螯足 X_3 , I 步足 X_4 , II 步足 X_5 , III 步足 X_6 , 游泳足 X_7 , 中额齿间距 X_8 , 两侧额齿间距 X_9 , 下额齿间距 X_{10}

morphometric traits' notation: carapace width(X_1), carapace length(X_2), cheliped (X_3), first walking leg (X_4), second walking leg (X_5), third walking leg (X_6), natatorial leg (X_7), mid frontal eminence spine (X_8), zygomorphic frontal eminence spine (X_9) and nether frontal eminence spine (X_{10})

析这些形态性状对体质量性状的直接作用和间接影响,并通过逐步回归法剔除回归系数不显著的性状,建立偏回归系数显著的形态性状对体质量的多元回归方程^[15-16]。

平均数 $\bar{x}$, 标准差 s 和变异系数 $C(\%)$ 的计算公式为:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

$$C(\%) = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

相关系数 r_{xy} 的计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

通径系数 P_i 、决定系数 d_i 和共同决定系数 d_{ij} 计算公式分别为:

$$P_i = R_{xx}^{-1} R_{xy} \quad (5)$$

$$d_i = p_i^2 \quad (6)$$

$$d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j \quad (7)$$

式中 R_{xx}^{-1} 为 x 性状间的相关矩阵的逆矩阵; R_{xy} 为 x 对 y 的相关矩阵; r_{ij} 为 i 性状对 j 性状的相关系数。

多元线性回归方程模型为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots \beta_k x_k + \varepsilon \quad (8)$$

式中, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 为偏回归系数, ε 为常数项。

2 结果与分析

2.1 各性状的表型参数估计值(统计量)

进行所有的统计分析前须对数据描述统计, 对

性状分别计算平均数、标准差和变异系数, 经初步整理后两个群体的表型参数统计量见表 1。由表 1 可见, F_2S 和 RS 两个群体体质量性状的变异幅度最大, 分别为 46.90% 和 53.67%, 各形态性状的变异幅度相对较小, 分别在 17.70% ~ 23.08% 和 19.43% ~ 29.19%。

表 1 各形态性状的表型参数

Tab. 1 The apparent parameters of the morphometric traits

种 类	性 状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	Y
抗病候选 群 F_2 代个 体($n=120$)	平均数	116.52	56.13	112.19	88.19	83.54	75.68	72.72	6.80	15.73	16.79	99.63
	标准差	22.93	10.60	25.90	19.76	18.92	17.07	15.95	1.21	7.78	3.07	46.73
	变异系数 (%)	19.68	18.88	23.08	22.40	22.64	22.56	21.94	17.83	17.70	18.27	46.90
普通养 殖群个体 ($n=88$)	平均数	119.67	56.82	119.54	93.27	87.75	78.97	76.34	6.91	16.13	17.14	107.91
	标准差	28.27	12.71	34.89	25.22	23.96	21.62	19.64	1.54	3.42	3.33	57.92
	变异系数 (%)	23.63	22.36	29.19	27.03	27.30	27.38	25.73	22.34	21.20	19.43	53.67

注: X_1 为头胸甲宽(mm), X_2 为头胸甲长(mm), X_3 为蟹足长(mm), X_4 为 I 步足长(mm), X_5 为 II 步足长(mm), X_6 为 III 步足长(mm), X_7 为游泳足长(mm), X_8 为中额齿间距(mm), X_9 为两侧额齿间距(mm), X_{10} 为下额齿间距(mm), Y 为体重(g)。

2.2 各性状间的相关系数

经 SPSS13.0 软件相关分析, 所测的三疣梭子蟹 F_2S 和 RS 两个群体各性状的表型相关均表现为极显著($P < 0.01$)正相关(表 2), 且各性状间的相关性都很高, 相关系数均大于 0.89, 表明对所选指标进行相关分析具有重要的实际意义, 这 10 个形态性状的变化会引起体质量的变化。

2.3 形态性状对体质量性状的作用分析

通径系数反映自变量对依变量的直接影响, 经 SPSS13.0 软件分析, 得到三疣梭子蟹各形态性状对

体质量的通径系数, F_2S 和 RS 两个群体的分析结果分别见表 3 和表示 4。由表 3 可见, 通过显著性检验, 头胸甲宽对 F_2S 群体体质量的通径系数达到了极显著水平($P < 0.01$), I 步足长和两侧额齿间距对体质量的通径系数达到了显著水平($P < 0.05$)。直接作用最大的为头胸甲宽, 其次为 I 步足长、游泳足长, 两侧额齿间距对体质量的影响为负。由表 4 可见, 两侧额齿间距对 RS 群体体质量的通径系数达到了极显著水平($P < 0.01$), 头胸甲宽、II 步足长、下额齿间距对体质量的通径系数达到了显著水平($P < 0.05$)。与 F_2S 群表现不同的是, II 步足长对 RS 群体体质量的直

表 2 各性状间的表型相关系数

Tab. 2 The phenotypic correlations coefficients among the traits

性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	Y
X_1	1	0.981	0.965	0.987	0.981	0.978	0.979	0.912	0.958	0.952	0.971
X_2	0.990	1	0.955	0.973	0.968	0.966	0.964	0.899	0.935	0.951	0.956
X_3	0.973	0.962	1	0.984	0.979	0.976	0.967	0.891	0.927	0.933	0.949
X_4	0.987	0.978	0.980	1	0.990	0.989	0.982	0.903	0.946	0.947	0.972
X_5	0.988	0.980	0.981	0.993	1	0.989	0.980	0.905	0.945	0.945	0.968
X_6	0.984	0.973	0.981	0.993	0.994	1	0.978	0.894	0.939	0.945	0.964
X_7	0.981	0.972	0.969	0.986	0.986	0.991	1	0.909	0.948	0.939	0.966
X_8	0.941	0.948	0.917	0.936	0.935	0.932	0.931	1	0.899	0.897	0.896
X_9	0.973	0.970	0.951	0.973	0.968	0.968	0.963	0.962	1	0.916	0.916
X_{10}	0.979	0.975	0.958	0.973	0.975	0.977	0.977	0.941	0.969	1	0.928
Y	0.968	0.955	0.960	0.968	0.974	0.970	0.963	0.894	0.928	0.958	1

注: 所有性状间的表现相关均表现为极显著水平($P < 0.01$), 上三角为抗病候选群 F_2 代 F_2S , 下三角为普通养殖群 RS

表 3 F₂S 群体形态性状对质量的影响Tab. 3 The effects of morphometric traits on body weight of F₂S

性状	相关系数	直接作用	间接影响										
			Σ	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.971**	0.498**	0.473		-0.015	-0.194	0.437	0.207	-0.011	0.239	0.066	-0.234	-0.023
X_2	0.956**	-0.015	0.971	0.489		-0.192	0.431	0.205	-0.011	0.235	0.065	-0.228	-0.023
X_3	0.949**	-0.201	1.150	0.481	-0.014		0.436	0.208	-0.011	0.236	0.064	-0.226	-0.022
X_4	0.972**	0.443*	0.529	0.492	-0.015	-0.198		0.210	-0.011	0.240	0.065	-0.231	-0.023
X_5	0.968**	0.212	0.756	0.489	-0.015	-0.197	0.439		-0.011	0.239	0.065	-0.231	-0.023
X_6	0.964**	-0.011	0.975	0.487	-0.014	-0.196	0.438	0.21		0.239	0.064	-0.229	-0.023
X_7	0.966**	0.244*	0.722	0.488	-0.014	-0.194	0.435	0.208	-0.011		0.065	-0.231	-0.023
X_8	0.896**	0.072	0.824	0.454	-0.013	-0.180	0.400	0.192	-0.01	0.222		-0.219	-0.022
X_9	0.916**	-0.244**	1.160	0.477	-0.014	-0.186	0.419	0.200	-0.01	0.231	0.065		-0.022
X_{10}	0.928**	-0.024	0.952	0.474	-0.014	-0.188	0.42	0.200	-0.01	0.229	0.065	-0.224	

注: *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异极显著($P < 0.01$)

表 4 RS 群体形态性状对体质量的影响

Tab. 4 The effects of morphometric traits on body weight of RS

性状	相关系数	直接作用	间接影响										
			Σ	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.968**	0.469*	0.477		-0.143	0.06	0.1585	0.582	0.025	-0.074	-0.059	-0.375	0.303
X_2	0.955**	-0.15	0.623	0.448		0.06	0.1594	0.585	0.025	-0.074	-0.06	-0.377	0.304
X_3	0.960**	0.063	0.423	0.45	-0.144		0.1607	0.59	0.025	-0.075	-0.06	-0.38	0.307
X_4	0.968**	0.166	0.325	0.454	-0.145	0.061		0.593	0.025	-0.075	-0.06	-0.383	0.309
X_5	0.974**	0.609*	-0.106	0.457	-0.146	0.061	0.1617		0.025	-0.075	-0.06	-0.381	0.307
X_6	0.970**	0.026	0.460	0.455	-0.146	0.061	0.161	0.591		-0.074	-0.06	-0.378	0.305
X_7	0.963**	-0.077	0.564	0.452	-0.144	0.061	0.1599	0.586	0.025		-0.055	-0.351	0.283
X_8	0.894**	-0.062	0.499	0.419	-0.134	0.056	0.148	0.544	0.023	-0.069		-0.365	0.294
X_9	0.928**	-0.393**	0.837	0.435	-0.139	0.058	0.154	0.565	0.024	-0.071	-0.058		0.304
X_{10}	0.958**	0.317*	0.174	0.449	-0.144	0.06	0.159	0.583	0.025	-0.074	-0.059	-0.376	

注: *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异极显著($P < 0.01$)

接作用最大,其次是头胸甲宽、下额齿间距,但两侧额齿间距对体质量的影响与 F₂S 群体相似,也为负。

根据相关系数的组成效应,可将各形态性状与体质量的相关系数剖分为各性状的直接作用(即通径系数 P_i)和各性状通过其他性状的间接作用两部分。从表 3 中可以看到, F₂S 群体中,除了头胸甲宽对体质量的直接作用大于间接作用外,其余的各形态性状对体质量的间接作用均大于直接作用。由表 4 可见, RS 群体中,除了 II 步足长和下额齿间距两个形态性状对体质量的直接作用大于间接作用外,其余的刚好相反。说明两个群体影响体质量的形态性状已经存在一定的差异,因此研究形态性状对体质量的影响,对选育和实际生产具有重要的指导意义。

2.4 各形态性状对体质量的决定程度

根据单个性状对体质量的决定系数公式 $d_i = p_i^2$ 及两个性状对体质量的共同决定系数公式 $d_{ij} = 2r_{ij} p_i p_j$, 计算出各形态性状及形态性状间协同对体质量的决定系数,表中对角线上的数据为单个性状对体质量的决定系数,对角线以上的数据为两两性状共同对体质量的决定系数, F₂S 和 RS 两个群体的计算结果分别见表 5 和表 6。在 F₂S 群体中, 10 个单独性状的决定系数和 45 个两两性状共同的决定系数总和为 $\Sigma d = 0.958$, 它与 R^2 的数值相等; 在 RS 群体中, $\Sigma d = 0.864$, 也与 R^2 的数值相等, 表明本研究所列的形态性状是影响体质量的主要性状。通过分析得到, 各单个形态性状对 F₂S 群体体质量的决定程度

大小依次为: 头胸甲宽 > I 步足长 > 游泳足长=两侧额齿间距 > II 步足长 > 螯足长, 而中额齿间距、下额齿间距、头胸甲长及III步足长4个形态性状对体质量的决定作用很小; 共同决定系数中, 头胸甲宽与 I 步足长、头胸甲宽与 II 步足长、头胸甲宽与游泳足长、I 步足长与 II 步足长及 I 步足长与游泳足长对体质量的共同

决定程度相对较大, 均达到了18.6%以上, 而螯足长与 I 步足长、头胸甲宽与两侧额齿间距和 I 步足长与两侧额齿间距对体质量的共同决定作用表现出负效应。各单个形态性状对RS群体体质量的决定程度最大的为 II 步足长, 其次为头胸甲宽和下额齿间距, 与F₂S群表现有差异。

表 5 各形态性状对 F₂S 群体体质量的决定系数

Tab. 5 The determinat coefficients of the morphometric traits on the weight of F₂S

性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.248	-0.015	-0.193	0.435	0.207	-0.011	0.238	0.065	-0.233	-0.023
X_2		0.000	0.006	-0.013	-0.006	0.000	-0.007	-0.002	0.007	0.001
X_3			0.040	-0.175	-0.083	0.004	-0.095	-0.026	0.091	0.009
X_4				0.196	0.186	-0.010	0.212	0.058	-0.205	-0.020
X_5					0.045	-0.005	0.100	0.028	-0.098	-0.010
X_6						0.000	-0.005	-0.001	0.005	0.000
X_7							0.060	0.032	-0.113	-0.011
X_8								0.005	-0.032	-0.003
X_9									0.060	0.011
X_{10}										0.001

注: 对角线上的数据是每个性状单独对体质量的决定系数(d_i), 对角线以上的数据为两两性状共同对体重的决定系数(d_{ij})

表 6 各形态性状对 RS 群体体质量的决定系数

Tab. 6 The determinat coefficients of the morphometric traits on the weight of RS

性状	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	0.220	-0.139	0.057	0.154	0.564	0.024	-0.071	-0.055	-0.359	0.291
X_2		0.023	-0.018	-0.049	-0.179	-0.008	0.022	0.018	0.114	-0.093
X_3			0.004	0.020	0.075	0.003	-0.009	-0.007	-0.047	0.038
X_4				0.028	0.201	0.009	-0.025	-0.019	-0.127	0.102
X_5					0.371	0.031	-0.092	-0.071	-0.463	0.376
X_6						0.001	-0.004	-0.003	-0.020	0.016
X_7							0.006	0.009	0.058	-0.048
X_8								0.006	0.047	-0.037
X_9									0.006	-0.241
X_{10}										0.154

注: 对角线上的数据是每个性状单独对体质量的决定系数(d_i), 对角线以上的数据为两两性状共同对体重的决定系数(d_{ij})

2.5 多元回归方程的建立

根据测定资料用软件 SPSS13.0 对三疣梭子蟹 F₂S 和 RS 两个群体进行多元回归分析, 分别得到两个群体各形态性状的偏回归系数, 结果见表 7。在群体 F₂S 中通过对 10 个形态性状的显著程度检验, 得到头胸甲宽、I 步足长、游泳足长和两侧额齿间距 4 个形态性状对 F₂S 群体体质量的偏回归系数达到显著或极显著的程度, 其余 6 个形态性状对 F₂S 群体体质量的偏回归系数影响不显著。对 10 个形态性状进

行逐步多元回归分析(Stepwise), 剔除 6 个偏回归系数不显著的自变量, 建立以头胸甲宽 X_1 、I 步足长 X_4 、游泳足长 X_7 和两侧额齿间距 X_9 估计三疣梭子蟹 F₂S 群体体质量的最优回归方程:

$$Y = -108.331 + 8.259 X_1 + 11.372 X_4 + 8.382 X_7 - 37.098 X_9$$

根据同样方法获得 RS 群体的 10 个形态性状对体质量的偏回归系数及显著性, 建立了以头胸甲宽 X_1 、I 步足长 X_4 、两侧额齿间距 X_9 和下额齿间距 X_{10}

估计 RS 群体体质量的最优回归方程:

$$Y = -106.763 + 7.725 X_1 + 18.452 X_5 - 73.358 X_9 + 45.877 X_{10}$$

在 F₂S 群体中, 经多元回归关系的显著性检验和各个偏回归系数的显著性检验表明, 回归关系达到极显著水平($P < 0.01$), 4 个形态性状的偏回归系数均达到

显著水平($P < 0.05$)。经回归预测, 两个群体估计值和实际测量值差异均不显著($P > 0.05$), 说明两组多元回归方程分别适用于对 F₂S 和 RS 群体的体质量估测, 可以简便可靠地应用于实际生产中。保留的 4 个单独性状的决定系数和 6 个两两性状共同的决定系数总和为 $\Sigma d = 0.898$ 。

表 7 偏回归系数检验

Tab. 7 Partial coefficients test

种类	参 数	常量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
抗病候选群 F ₂ 代个体	偏回归系数	-108.228	10.153	-0.657	-3.620	10.471	5.249	-0.307	7.144	27.624	-41.001	-3.726
	t 值	-15.001	2.950	-0.140	-1.749	2.044	1.257	-0.074	2.055	1.383	-3.387	-0.348
	显著性	0.000	0.004	0.889	0.083	0.043	0.211	0.941	0.042	0.169	0.001	0.729
普通养殖群个体	偏回归系数	-104.923	9.61	-6.846	1.053	3.802	14.731	0.708	-2.264	-23.096	-66.607	55.135
	t 值	-9.169	2.133	-0.847	0.509	0.67	2.266	0.087	-0.416	-0.705	-2.953	2.353
	显著性	0.000	0.036	0.399	0.612	0.505	0.026	0.931	0.678	0.483	0.004	0.021

表 8 多元回归方程的方差分析表

Tab. 8 Analysis of variance of multiple regression equation

种类	指标	总平方和	自由度	均方	F 值	显著性
抗病候选群 F ₂ 代个体	回归	248225.8	4	62056.447	615.940	0.000
	残差	11586.337	115	100.751		
	总计	259812.1	119			
普通养殖群个体	回归	279889.96	4	69972.490	486.518	0.000
	残差	11937.312	83	143.823		
	总计	291827.273	87			

3 讨论

三疣梭子蟹乳化病是近年来在梭子蟹养殖过程中危害较大的主要病害之一。该病发病范围广、感染传播快、死亡率达 30%~90%, 因此培育生长速度快、抗病抗逆性强的优良新品种是三疣梭子蟹的育种目标。在三疣梭子蟹选育过程中, 由于其体质量数据受到环境因素、生长时间的影响往往不易得到, 而形态指标却更容易准确度量, 可直观简易获得。开展

三疣梭子蟹选育工作时需要可靠的性状指标, 应以少数的形态指标作为代表指标。选择简便、准确、相关性强的性状指标判断标准, 才能方便地应用于育种生产实践中^[17]。因此利用相关分析、通径分析, 确立形态性状与体质量之间的相关关系, 弄清形态性状对体质量的直接影响大小, 从而通过测量形态性状达到选种目的, 具有非常重要的现实意义。目前, 刘磊^[12]、高保全^[18]等已对三疣梭子蟹的形态性状关系进行了一些研究。本课题在选育抗病能力强的品

系过程中,随时测量梭子蟹 F_2S 群体生长过程中的各种形态指标并对这些性状进行统计分析,同时与普通养殖群体 RS 进行对照,了解重要形态性状对体质量的影响及两个群体间的差异,可以减少选育过程中出现的性状退化、个体变小、生长缓慢等现象。

3.1 相关分析和通径的特点及联系

通径分析可将自变量和因变量之间的相关系数剖分为自变量(形态性状)对因变量(目标性状)的直接作用和间接作用。本研究将体质量、头胸甲宽、头胸甲长、螯足长、I 步足长、II 步足长、III 步足长、游泳足长、中额齿间距、两侧额齿间距、下额齿间距等 11 个三疣梭子蟹的生长性状指标定为测度指标,经相关分析得到处于生长阶段(7~9 月)的 F_2S 和 RS 两个群体 11 个性状指标间表型相关均达到显著水平,仅根据这一结果来确定影响体质量的优势形态性状是很困难的,但不同性状间的关系确保了进一步统计分析具有实际意义。生长性状除通过直接作用引起目标性状变化之外,还可以通过其他性状间接影响引起目标性状的变化,通径分析克服了相关分析的不足,能够真实反映各自变量和依变量的关系。本研究中,两个群体的各形态性状与体质量的相关系数虽均达到极显著的水平,但通径分析结果表明,各形态性状对体质量的直接影响差异明显。其中,两个群体中的头胸甲长对体质量的直接影响不仅为负向作用,而且都很小,分别为 0.015 和 0.15,但它通过头胸甲宽对体质量产生的间接作用较大,抵消了负向作用,结果表现为与体质量正向相关。由此可见,直接通过各性状间的相关关系无法正确判断各形态性状自变量对体质量的影响大小,而通过通径分析可将相关系数分解为直接作用和间接作用,从而进一步找到影响体质量的主要形态性状。

3.2 影响 F_2S 群体体质量的重点性状的确定

通径分析中,通径系数表示自变量对依变量的直接影响大小,通径系数随所选择的自变量的个数和特点的不同而不同,不同的自变量及自变量的个数多少都将反应出不同的通径系数。性状被考虑得越多,得到的分析结果将越准确,但测量操作、统计分析也将越复杂,而且不能突出特点^[17-20]。通径系数是回归方程标准化变量的偏回归系数,因此逐步回归获得的最优回归方程自变量与通径分析保留的自变量一致。

在表型相关分析的基础上,进行通径系数分析

和决定系数分析时,只有当相关指数 R^2 或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 $\sum d$ (在数值上 $R^2 = \sum d$) 大于或等于 0.85 (即 85%) 时,才表明影响依变量的主要自变量已经找到。本研究中,所测的 F_2S 和 RS 两个群体的 10 个形态性状对体质量的决定系数总和 $\sum d$ 分别为 0.958 和 0.864,说明这些形态性状已包含影响体质量的主要性状。在 F_2S 群体中,通过逐步多元线性回归分析,建立的 4 个形态性状的 $\sum d = 0.898 > 0.85$,说明所保留的这 4 个形态性状是影响 F_2S 群体体质量的重点性状,其他未测的性状及剔除的性状对体质量的影响相对较小,进一步说明通径系数分析结果能够反映形态性状与体质量的真实关系。而 RS 群体中影响体质量的主要性状也为 4 个,但与 F_2S 群体存在差异,同时也存在相同的重点形态性状,这与高保全等研究的三疣梭子蟹 4 个不同地理野生群影响体质量的主要性状为头胸甲宽、头胸甲长、体高、第 1 侧齿间距、第 2 侧齿间距和大螯不动指也存在差异。这些差异导致的原因可能是本研究所选择的个体正处于生长阶段(7~9 月),在形态性状上会发生很大的变化,在各期蜕皮阶段也可能存在很大差异,而高保全研究的为同一批次的样本,且也采自不同地理群体。何毛贤等^[21]对马氏珠母贝不同生长时期的形态指标进行了一年多的跟踪测量,通过多元回归分析的方法,表明不同生长时期影响其体质量的主要形态性状存在差异。李建立等^[22]对两种不同日龄的扇贝进行分析,表明不同日龄的扇贝影响体质量的主要形态性状也存在差异。刘磊等^[12]也对不同日龄的三疣梭子蟹进行研究,说明不同家系在同一生长阶段的同一性状差异较大,因此,除了头胸甲宽、I 步足长、游泳足长和两侧额齿间距等性状可以在后续本课题的抗病家系选育中作为选育测量指标外,在后续工作中对本课题选育的抗病家系可进一步探讨不同生长阶段对体质量影响的重点性状,以期筛选更有效的选育测量指标。

参考文献:

- [1] 戴爱云,杨思谅,宋玉枝,等. 中国海洋蟹类[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 194-196.
- [2] 许文军,徐汉祥,金海卫,等. 梭子蟹“乳化病”病原的研究[J]. 浙江海洋学院学报, 2003, 22(3): 209-213.
- [3] 何伟贤. 三疣梭子蟹养殖常见病及防治办法[J]. 水产养殖, 2004, 25(5): 29-40.
- [4] 王国良,金珊,陈寅儿,等. 三疣梭子蟹肌肉乳化病

- 的病原及其致病性研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(4): 526-531.
- [5] 刘淇, 王学忠, 戴芳钰, 等. 梭子蟹溶藻弧菌病的初步研究[J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(9): 1-4.
- [6] 王国良, 金珊, 李政, 等. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)乳化病的组织病理和超微病理研究[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(4): 297-302.
- [7] 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳滨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.
- [8] 刘博, 滕爽爽, 邵艳卿, 等. 琴文蛤形态性状对体量的影响效果分析[J]. 海洋科学, 2011(10): 91-95.
- [9] 杨长明, 何铜, 刘小林, 等. 凡纳对虾形态性状对体质量的逐步回归分析[J]. 海洋科学, 2007, 31(6): 70-74.
- [10] 董世瑞, 孔杰, 万初坤, 等. 中国对虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 15-22.
- [11] 耿绪云, 王雪慧, 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] 刘磊, 李健, 高保全, 等. 三疣梭子蟹不同日龄生长性状相关性及其对体重的影响[J]. 水产学报, 2009, 33(6): 964-971.
- [13] 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹 4 个野生群体形态差异分析[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 223-228.
- [14] 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]. 海洋水产研究, 2008, 29(1): 44-50.
- [15] 李永孝. 农业应用生物统计[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1988: 313-327.
- [16] 何风华, 李明辉. Excel 在通径分析中的应用[J]. 中国卫生统计, 2005, 10(22): 331-332.
- [17] 刘保忠, 董波, 张涛, 等. 文蛤数量性状相关分析及选择策略[J]. 海洋生物高技术论坛论文集, 2003: 73-76.
- [18] 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代生长性状的比较[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 291-296.
- [19] Rhodes C P, Holdich D M. Length-weight relationship, muscle production and proximate composition of the freshwater crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet)[J]. Aquaculture, 1984, 37(1): 107-123.
- [20] Ahmed M, Abbas G. Growth parameters of finfish and shellfish Juveniles in the tidal waters of Bhanbhora, Korangi Creek and Miani Hor Lagoon [J]. Pakistan Journal of Zoology, 2000, 32(1): 21-26.
- [21] 何毛贤, 史兼华, 林岳光, 等. 马氏珠母贝生长性状的相关分析[J]. 海洋科学, 2006, 30(11): 1-4.
- [22] 李建立, 王春德, 李朝霞, 等. 紫扇贝和海湾扇贝杂交家系的生长和通径分析[J]. 海洋科学, 2012, 36(8): 15-20.

The effects of morphometric traits on body weight in F₂ Population of Swimming crab *Portunus trituberculatus*

WANG Chun-lin¹, WU Dan-hua^{1, 2}, CUI Zhao-xia², LI Lai-guo¹, ZHANG Xiao-mei¹, ZHENG Ping-ping¹

(1. Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo, 315211, China; 2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071, China)

Received: Aug., 10. 2012

Key words: *Portunus trituberculatus*; selected line F₂S; regular stock RS; morphometric trait; body weight; path analysis

Abstract: 120 crabs from the second generation of candidate disease-resistance stock which were screened by *Vibrio alginolyticus* in our lab (F₂S) and 88 regular stock crabs(RS) were randomly collected for measuring 11 morphometric traits including the carapace width(X_1), carapace length(X_2), cheliped length(X_3), first walking leg length(X_4), second walking leg length(X_5), third walking leg length(X_6), natatorial leg length(X_7), mid frontal eminence spine width(X_8), zygomorphic frontal eminence spine width(X_9), nether frontal eminence spine width(X_{10}) and body weight(Y). The correlation coefficients among the traits were calculated, and then path analysis was conducted by taking the body weight as a dependent variable, and other ten morphometric traits as independent variables. The results showed that all of the morphometric traits are significantly correlated with body weight in both two stocks. The carapace width(0.498) and second walking leg length(0.609) have the strongest direct effects on body weight of F₂S and RS, respectively, while third walking leg length and zygomorphic frontal eminence spine width have the strongest indirect effects. Four morphometric traits were significantly on the multiple regression relationship both in two stocks. Based on this result, multiple regression equations were established as follows: F₂S: $Y = -108.331 + 8.259 X_1 + 11.372 X_4 + 8.382 X_7 - 37.098 X_9$; RS: $Y = -106.763 + 7.725 X_1 + 18.452 X_5 - 73.358 X_9 + 45.877 X_{10}$. This paper provides a theoretical tool to measure breeding crabs in aquaculture.

(本文编辑: 张培新)