

“黄海1号”中国明对虾形态性状对体质量的影响效果分析

安丽^{1,2}, 刘萍¹, 李健¹, 何玉英¹

(1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 随机选取第11代“黄海1号”5月龄中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 100尾和6月龄中国明对虾50尾, 分别测量全长 (X_1)、头胸甲长 (X_2)、第1~6腹节长 ($X_3 \sim X_8$)、尾节长 (X_9)、头胸甲宽 (X_{10})、第1腹节宽 (X_{11})、头胸甲高 (X_{12})、第1腹节高 (X_{13})、体长 (X_{14}) 共14个形态学指标。采用相关分析和通径分析的方法, 分别计算了这2种月龄对虾以形态性状为自变量对体质量 (Y) 的相关系数、通径系数和决定系数, 进而对各性状的影响大小进行剖分。结果表明, 5月龄和6月龄对虾的各形态性状与体质量的相关性均达到极显著 ($P < 0.01$) 或显著水平 ($P < 0.05$)。5月龄对虾的体长、头胸甲长、头胸甲宽和第1腹节长的通径系数达到了显著的水平; 决定系数分析结果表明, 体长、全长和头胸甲长的决定程度最大。6月龄对虾的头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、第6腹节长和第4腹节长的通径系数达到显著水平, 其中第4腹节长对体质量的直接影响是反向的; 决定系数分析结果与通径分析的变化趋势一致。经显著性分析, 将偏回归系数显著的变量对体质量建立多元回归方程, 5月龄和6月龄对虾形态学指标与体质量的回归方程分别为: $Y = 37.429 + 0.326X_2 + 0.306X_3 + 0.669X_{10} + 0.275X_{14}$ 和 $Y = 38.556 + 0.668X_2 - 0.583X_6 + 0.605X_8 + 0.785X_{10} + 0.931X_{12}$, 两个方程的回归关系均达到了极显著水平 ($P < 0.01$)。[中国水产科学, 2008, 15(5): 779-786]

关键词: 中国明对虾; 形态性状; 相关分析; 通径分析; 多元回归方程

中图分类号: S917

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)05-0779-08

“黄海1号”中国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 是中国水产科学研究院黄海水产研究所自1997年开始人工选育而成的一种海水养殖对虾新品种^[1], 至2007年10月已成功选育到第11代。它具有生长速度快、抗逆能力强等优良性状, 使处于困境中的中国明对虾养殖业显示出了良好的发展前景。对虾的体质量是选育过程中的主要目标性状, 但在实际工作中, 活体质量不易直接和准确测量, 往往需要借助其他的形态性状进行间接选择。因此, 利用多元分析估计形态性状与目标性状的关系及其直接和间接影响的效果具有重要意义。

为推动海水养殖业的健康发展, 人工选择育种已成为有效的方法之一, 随之, 多元分析也广泛应用于各种水产动物的选育过程中。Harue等^[2]利用多元相关分析进行了根据红海鲤科养殖鱼类体长、体质量估计体脂肪含量的研究。Ahmed等^[3]利用多元相关分析探讨了鱼、鲸、贝类幼龄期体长、

体质量等生长参数的相关性。刘小林等^[4-5]利用相关分析、通径分析和多元回归分析的方法分别研究了栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 壳尺寸性状对体质量的影响和凡纳对虾 (*Penaeus vannamei*) 各形态性状对体质量的影响, 找到了影响体质量的重点形态性状, 为选育工作提供了理想的测量指标。田毅等^[6]和董世瑞等^[7]分别对中国明对虾的形态性状和体质量进行了相关分析和通径分析, 分别建立了多元回归方程, 确定了影响目标性状体质量的形态性状。耿绪云等^[8]利用多元分析的方法研究了中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 1龄幼蟹的形态性状对体质量的影响, 明确了影响中华绒螯蟹1龄幼蟹体质量的主要外部形态性状。高保全等^[1]利用多元相关分析的方法, 得出了影响三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 体质量的主要形态性状及其直接和间接影响效果, 建立了估计体质量的多元回归方程。

收稿日期: 2007-12-17; **修订日期:** 2008-03-22.

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD01A13); 国家自然科学基金项目 (40706052); 青岛市科技计划项目 (07 2 3 5 jch).

作者简介: 安丽 (1982-), 女, 硕士研究生, 从事海洋生物种质资源与遗传育种研究. E-mail: ali325@163.com

通讯作者: 刘萍, 研究员. E-mail: liuping@ysfri.ac.cn

1) 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹形态性状对体质量影响的效果分析. 海洋水产研究, 待发表.

本研究通过2次采样测量,对“黄海1号”中国明对虾第11代选育群体的体质量和各形态性状进行多元分析,利用相关分析、通径分析和回归分析的方法,确定影响体质量的主要形态性状及其直接和间接影响效果,建立估计体质量的最优回归方程,以及寻找不同年龄段的共同的重点性状,为“黄海1号”中国明对虾选育工作的进一步开展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2007年9月7日和2007年10月10日分别从山东昌邑海丰水产养殖有限公司随机选取第11代“黄海1号”5月龄中国明对虾100尾和6月龄中国明对虾50尾。

1.2 测量方法

测量全长、体长、头胸甲长、第1~6腹节长、尾节长、头胸甲宽、第1腹节宽、头胸甲高、第1腹节高共14个形态学指标及其体质量。体质量用滤纸吸干表面水分后用电子天平称量,精确到0.1 g;全长用游标卡尺测量尾脊末端至额剑前段;体长用游标卡尺测量尾脊末端到眼柄基部;头胸甲、腹节的宽和高用游标卡尺测量头胸甲、腹节的最大宽度和高度,均精确到0.02 mm。

1.3 分析方法

使用SPSS13.0软件对各形态性状进行初步的统计整理,获得各性状的表型参数,然后进行表型相关分析。在表型相关分析基础上,根据通径系数原理建立通径系数正规方程组,解方程组得到各形态性状对体质量的通径系数,剖析各性状分别对体质量的直接影响和间接影响,进而求得决定系数^[9-11]。通过偏回归系数检验剔除不显著的性状,取偏回归系数显著的形态性状分别对体质量建立多元回归方程,并对方程进行拟合度检验。

相关系数(r_{xy})的计算公式为:

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

通径系数(P_i)的计算公式为: $P_i = b_{xi} \times \frac{\sigma_{xi}}{\sigma_y}$,

b_{xi} 为自变量的回归系数; σ_{xi} 为自变量的标准差; σ_y 为依变量的标准差。

单个性状对体质量的决定系数方程为: $d_j = P_j^2$, P_j 为某个性状对体质量的通径系数。

两个性状对体质量的共同决定系数方程为: $d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$, r_{ij} 为某两个性状间的相关系数; P_i 、 P_j 为某两个性状分别对体质量的通径系数。

某个性状对体质量总的决定系数方程为: $R_i^2 = 2P_i r_{iy} P_i^2$, P_i 为某个性状对体质量的通径系数; r_{iy} 为某个性状与体质量的相关系数。

多元线性回归方程模型: $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$

式中, β_0 为常数项, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 为偏回归系数; $x_1, x_2, \dots, x_k$ 为各偏回归系数对应的自变量。

2 结果与分析

2.1 各形态性状的表型参数

各形态性状表型参数测量结果见表1。从表1可以看出,5月龄对虾体质量、第1腹节长、第2腹节长、第4腹节长和第5腹节长的变异系数大于其他形态性状;6月龄对虾体质量、第3腹节长、第4腹节长、头胸甲宽和第1腹节高的变异系数大于其他形态性状。这2种月龄的对虾体质量的变异系数均最大,分别为17.71%和20.05%,说明不同月份的对虾体质量的变化较大,体质量具有较大的选择潜力。

2.2 各形态性状与体质量间的相关系数

5月龄和6月龄对虾的各形态性状间的相关系数见表2。5月龄对虾除头胸甲长和第1腹节长、第1腹节长和第2腹节长之间的相关呈不显著($P > 0.05$)水平外,其他各形态性状间的相关均达到了显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)水平,体质量与各形态性状之间正相关程度均达到了显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)水平;6月龄对虾除第2腹节长和第3腹节长、第4腹节长和第1腹节高之间的相关呈不显著($P > 0.05$)水平外,其他各形态性状间的相关以及体质量与各形态性状之间正相关程度也均达到了显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)水平。5月龄对虾体质量与其他形态性状的相关系数由大到小依次为: r_{14y} 、 r_{1y} 、 r_{2y} 、 r_{11y} 、 r_{13y} 、 r_{9y} 、 r_{12y} 、 r_{8y} 、 r_{10y} 、 r_{4y} 、 r_{5y} 、 r_{7y} 、 r_{3y} 、 r_{6y} ;6月龄对虾体质量与其他形态性状的相关系数由大到小依次为: r_{2y} 、 r_{1y} 、 r_{14y} 、 r_{12y} 、 r_{10y} 、 r_{11y} 、 r_{13y} 、 r_{9y} 、 r_{3y} 、 r_{8y} 、 r_{4y} 、 r_{7y} 、 r_{5y} 、 r_{6y} 。

表1 5月龄和6月龄中国明对虾各形态性状的表型参数值
Tab.1 The phenotypic parameter value of morphometric traits in *E. chinensis* of 5 months and 6 months

$n_5=100, n_6=50$

性状 Trait	代码 Code	5月龄 5 months			6月龄 6 months		
		平均值 $\bar{X}$	标准差 SD	变异系数/% CV	平均值 $\bar{X}$	标准差 SD	变异系数/% CV
全长/mm Full length	X_1	141.5604	7.9404	5.61	159.4754	11.1788	7.01
头胸甲长/mm Carapace length	X_2	32.8749	2.4897	7.57	39.2620	3.1334	7.98
第1腹节长/mm 1st abdominal segment length	X_3	11.5163	1.9414	16.85	15.2148	1.3339	8.77
第2腹节长/mm 2st abdominal segment length	X_4	11.5641	1.3209	11.42	12.4596	1.1561	9.28
第3腹节长/mm 3st abdominal segment length	X_5	11.5116	1.0540	9.16	12.0830	1.2302	10.18
第4腹节长/mm 4st abdominal segment length	X_6	9.1870	1.0595	11.54	9.2488	0.8888	9.61
第5腹节长/mm 5st abdominal segment length	X_7	8.8370	0.9093	10.29	10.1794	0.9559	9.39
第6腹节长/mm 6st abdominal segment length	X_8	18.1976	1.2025	6.61	21.5414	1.7595	8.17
尾节长/mm Telson length	X_9	17.0150	1.1815	6.95	19.9096	1.6120	8.10
头胸甲宽/mm Carapace width	X_{10}	15.8378	1.1862	7.49	17.4932	1.7390	9.94
第1腹节宽/mm 1st abdominal segment width	X_{11}	13.9961	1.1775	8.41	15.0928	1.4340	9.50
头胸甲高/mm Carapace heigh	X_{12}	18.7130	1.6486	8.81	20.7772	1.9415	9.34
第1腹节高/mm 1st abdominal segment heigh	X_{13}	17.3335	1.4038	8.10	18.3576	1.8162	9.89
体长/mm Body length	X_{14}	116.5519	6.4380	5.52	132.8380	8.5240	6.42
体质量/mm Body weight	Y	19.4700	3.4479	17.71	28.3940	5.6934	20.05

注:与各形态性状相对应的代码全文通用。

Note: codes corresponding to morphometric traits are universal in the full text.

2.3 各形态性状对体质量影响的通径系数

在表型相关基础上,利用SPSS13.0软件计算出2种月龄的“黄海1号”中国明对虾各形态性状对体质量的通径系数,通径系数反映自变量对因变量的直接影响。

表3显示,5月龄的中国明对虾形态性状对体质量的通径系数经统计学检验表明,其中体长、头胸甲长、头胸甲宽和第1腹节长4个性状对体质量的通径系数达到了显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)的水平。在这些性状中,体长的通径系数($P_{14}=0.284$)最大,说明其对体质量的直接影响最大;其次为头胸甲长($P_2=0.190$)、头胸甲宽

($P_{10}=0.141$);第1腹节长($P_3=0.114$)对体质量的直接影响最小。

表4显示,6月龄的中国明对虾形态性状对体质量的通径系数经统计学检验表明,其中头胸甲长、第4腹节长、第6腹节长、头胸甲宽和头胸甲高5个性状对体质量的通径系数达到了显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)的水平。在这些性状中,头胸甲长的通径系数($P_2=0.293$)最大,对体质量的直接影响最大;其次为头胸甲高($P_{12}=0.243$)、头胸甲宽($P_{10}=0.191$)和第6腹节长($P_8=0.189$);其中第4腹节长($P_6=0.106$)对体质量的通径系数为负值,说明它与体质量的直接影响为负向作用。

表 2 中国明对虾形态性状间表型相关系数
Tab.2 The phenotypic correlation coefficients among the morphometric traits

月龄 Months	性状 Traits	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	Y
5 月龄 5 months	X_1	1	0.807 **	0.430 **	0.523 **	0.427 **	0.301 **	0.357 **	0.733 **	0.801 **	0.652 **	0.768 **	0.692 **	0.740 **	0.944 **	0.912 **
	X_2		1	0.159	0.555 **	0.457 **	0.292 **	0.415 **	0.685 **	0.691 **	0.661 **	0.767 **	0.665 **	0.658 **	0.867 **	0.860 **
	X_3			1	0.150	0.303 **	0.199 *	0.241 *	0.440 **	0.375 **	0.218 *	0.274 **	0.359 **	0.468 **	0.335 **	0.432 **
	X_4				1	0.319 **	0.306 **	0.463 **	0.428 **	0.384 **	0.478 **	0.529 **	0.482 **	0.441 **	0.524 **	0.534 **
	X_5					1	0.360 **	0.559 **	0.482 **	0.396 **	0.284 **	0.446 **	0.451 **	0.451 **	0.477 **	0.531 **
	X_6						1	0.372 **	0.301 **	0.288 **	0.273 **	0.342 **	0.356 **	0.319 **	0.344 **	0.377 **
	X_7							1	0.474 **	0.418 **	0.373 **	0.423 **	0.389 **	0.418 **	0.414 **	0.454 **
	X_8								1	0.720 **	0.523 **	0.589 **	0.502 **	0.606 **	0.750 **	0.753 **
	X_9									1	0.554 **	0.602 **	0.577 **	0.549 **	0.819 **	0.773 **
	X_{10}										1	0.841 **	0.669 **	0.686 **	0.637 **	0.750 **
	X_{11}											1	0.734 **	0.776 **	0.772 **	0.850 **
	X_{12}												1	0.768 **	0.715 **	0.762 **
	X_{13}													1	0.694 **	0.780 **
	X_{14}														1	0.922 **
	Y															1
6 月龄 6 months	X_1	1	0.854 **	0.755 **	0.593 **	0.501 **	0.309 **	0.447 **	0.706 **	0.771 **	0.840 **	0.851 **	0.866 **	0.779 **	0.915 **	0.926 **
	X_2		1	0.736 **	0.590 **	0.469 **	0.377 **	0.505 **	0.686 **	0.791 **	0.864 **	0.826 **	0.823 **	0.761 **	0.905 **	0.930 **
	X_3			1	0.583 **	0.419 **	0.363 **	0.457 **	0.576 **	0.593 **	0.722 **	0.732 **	0.664 **	0.722 **	0.724 **	0.787 **
	X_4				1	0.179	0.339 *	0.339 *	0.333 *	0.598 **	0.606 **	0.608 **	0.607 **	0.522 **	0.630 **	0.628 **
	X_5					1	0.366 **	0.477 **	0.425 **	0.307 *	0.482 **	0.487 **	0.468 **	0.393 **	0.480 **	0.514 **
	X_6						1	0.597 **	0.492 **	0.311 *	0.395 **	0.353 *	0.291 *	0.207	0.317 *	0.327 *
	X_7							1	0.735 **	0.410 **	0.455 **	0.436 **	0.410 **	0.410 **	0.538 **	0.516 **
	X_8								1	0.625 **	0.639 **	0.709 **	0.662 **	0.656 **	0.745 **	0.745 **
	X_9									1	0.785 **	0.780 **	0.735 **	0.693 **	0.826 **	0.797 **
	X_{10}										1	0.863 **	0.822 **	0.714 **	0.812 **	0.902 **
	X_{11}											1	0.870 **	0.826 **	0.831 **	0.891 **
	X_{12}												1	0.807 **	0.836 **	0.907 **
	X_{13}													1	0.789 **	0.830 **
	X_{14}														1	0.922 **
	Y															1

注: * 表示相关性显著 ($P<0.05$); ** 表示相关性极显著 ($P<0.01$). 各形态性状代码见表 1.

Note: * donates significant correlation ($P<0.05$); ** donates extremely significant correlation ($P<0.01$). Code corresponding to morphometric traits are shown in table1.

2.4 各形态性状与体质量相关系数的剖分

根据相关系数的组成效应,将形态性状与体质量的相关系数 (r_{xy}) 剖分为各性状的直接作用 (通径系数, P_i) 和各性状通过其他性状的间接作用 ($\sum r_{ij}P_j$) 2 部分,即 $r_{xy}=P_i+\sum r_{ij}P_j$, 结果见表 3 和表 4。

表 3 显示, 5 月龄的对虾各形态性状对体质量的间接影响均大于直接影响,与体质量相关系数最大的体长,对体质量的直接影响也最大;其次为头胸甲长和全长,其他性状主要通过体长、头胸甲长和全长对体质量间接产生作用。第 2 腹节长与第 5

腹节长对体质量的直接作用为负向作用,但是它们通过体长、头胸甲长和全长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呈正向相关。

表 4 显示, 6 月龄的对虾各形态性状对体质量的间接作用与 5 月龄对虾相似,均大于直接作用,与体质量相关系数最大的头胸甲长,对体质量的直接作用也最大;其次为头胸甲高和头胸甲宽,其他性状主要通过头胸甲长、头胸甲高和头胸甲宽对体质量间接产生作用,或通过这此性状抵消直接的负向作用呈现正向作用。

表3 5月龄中国明对虾形态性状对体质量的影响

Tab. 3 The effect of each morphometric trait on body weight of *Echinensis* of 5 months

性状	相关系数	直接作用	间接作用 $r_{ij} \times P_j$														
Traits	r_{xy}	P_i	$\sum$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
X_1	0.912 **	0.177	0.735		0.153	0.049	-0.013	0.031	0.008	-0.004	0.025	0.002	0.092	0.095	0.024	0.005	0.268
X_2	0.860 **	0.190 **	0.671	0.143		0.018	-0.013	0.033	0.008	-0.004	0.023	0.001	0.093	0.095	0.023	0.005	0.246
X_3	0.432 **	0.114 **	0.318	0.076	0.030		-0.004	0.022	0.005	-0.002	0.015	0.001	0.031	0.034	0.012	0.003	0.095
X_4	0.534 **	-0.024	0.558	0.093	0.105	0.017		0.023	0.008	-0.005	0.015	0.001	0.067	0.066	0.016	0.003	0.149
X_5	0.531 **	0.072	0.459	0.076	0.087	0.035	-0.008		0.010	-0.006	0.016	0.001	0.040	0.055	0.015	0.003	0.135
X_6	0.377 **	0.027	0.349	0.053	0.055	0.023	-0.007	0.026		-0.004	0.010	0.001	0.038	0.042	0.012	0.002	0.098
X_7	0.454 **	-0.010	0.464	0.063	0.079	0.027	-0.011	0.040	0.010		0.016	0.001	0.053	0.052	0.013	0.003	0.118
X_8	0.753 **	0.034	0.720	0.130	0.130	0.050	-0.010	0.035	0.008	-0.005		0.001	0.074	0.073	0.017	0.004	0.213
X_9	0.773 **	0.002	0.772	0.142	0.131	0.043	-0.010	0.029	0.008	-0.004	0.024		0.078	0.075	0.020	0.004	0.232
X_{10}	0.750 **	0.141 *	0.610	0.115	0.126	0.025	0.011	0.020	0.007	0.004	0.018	0.001		0.104	0.023	0.005	0.181
X_{11}	0.850 **	0.124	0.726	0.136	0.146	0.031	-0.013	0.032	0.009	-0.004	0.020	0.001	0.119		0.025	0.005	0.219
X_{12}	0.762 **	0.034	0.726	0.122	0.126	0.041	-0.012	0.032	0.010	-0.004	0.017	0.001	0.094	0.091		0.005	0.203
X_{13}	0.780 **	0.007	0.773	0.131	0.125	0.053	-0.011	0.032	0.009	-0.004	0.021	0.001	0.097	0.096	0.026		0.197
X_{14}	0.922 **	0.284 *	0.639	0.167	0.165	0.038	0.013	0.034	0.009	0.004	0.026	0.002	0.090	0.096	0.024	0.005	

注: ** 表示相关性显著 ($P < 0.05$); * 表示相关性极显著 ($P < 0.01$). 各形态性状代码见表1.

Note: * donates significant correlation ($P < 0.05$); ** donates extremely significant correlation ($P < 0.01$). Code corresponding to morphometric traits are shown in table1.

表4 6月龄中国明对虾形态性状对体质量的影响

Tab. 4 The effect of each morphometric trait on body weight of *Echinensis* of 6 months

性状	相关系数	直接作用	间接作用 $r_{ij} \times P_j$														
Traits	r_{xip}	P_i	Σ	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
X_1	0.926 ^{**}	0.130	0.797		0.250	0.072	0.042	0.025	-0.033	-0.005	0.133	-0.009	0.160	-0.056	0.210	0.019	-0.011
X_2	0.930 ^{**}	0.293 ^{**}	0.638	0.111		0.070	0.041	0.023	0.040	0.006	0.130	0.009	0.165	0.055	0.200	0.019	0.011
X_3	0.787 ^{**}	0.095	0.695	0.098	0.216		0.041	0.021	-0.038	-0.005	0.109	-0.007	0.138	-0.048	0.161	0.018	-0.009
X_4	0.628 ^{**}	0.070	0.559	0.077	0.173	0.055		0.009	-0.036	-0.004	0.063	-0.007	0.116	-0.040	0.148	0.013	-0.008
X_5	0.514 ^{**}	0.050	0.467	0.065	0.137	0.040	0.013		-0.036	-0.006	0.080	-0.004	0.092	-0.032	0.114	0.010	-0.006
X_6	0.327 [*]	-0.106 ^{**}	0.432	0.040	0.110	0.034	0.024	0.018		-0.007	0.093	-0.004	0.075	-0.023	0.071	0.005	-0.004
X_7	0.516 ^{**}	-0.012	0.530	0.058	0.148	0.043	0.024	0.024	-0.063		0.139	-0.005	0.087	-0.029	0.100	0.010	-0.006
X_8	0.745 ^{**}	0.189 [*]	0.566	0.092	0.201	0.055	0.023	0.021	-0.052	-0.009		-0.008	0.122	-0.047	0.161	0.016	-0.009
X_9	0.797 ^{**}	-0.012	0.810	0.100	0.232	0.056	0.042	0.015	-0.033	-0.005	0.118		0.150	-0.051	0.179	0.017	-0.010
X_{10}	0.902 ^{**}	0.191 [*]	0.713	0.109	0.253	0.069	0.042	0.024	-0.042	-0.005	0.121	-0.009		-0.057	0.200	0.018	-0.010
X_{11}	0.891 ^{**}	-0.066	0.960	0.111	0.242	0.070	0.043	0.024	-0.037	-0.005	0.134	-0.009	0.165		0.211	0.021	-0.010
X_{12}	0.907 ^{**}	0.243 ^{**}	0.672	0.113	0.241	0.063	0.042	0.023	-0.031	-0.005	0.125	-0.009	0.157	-0.057		0.020	-0.010
X_{13}	0.830 ^{**}	0.025	0.807	0.101	0.223	0.069	0.037	0.020	-0.022	-0.005	0.124	-0.008	0.136	-0.055	0.196		-0.009
X_{14}	0.922 ^{**}	-0.012	0.934	0.119	0.265	0.069	0.044	0.024	-0.034	-0.007	0.141	-0.010	0.155	-0.055	0.203	0.020	

注: ** 表示相关性显著 ($P < 0.05$); * 表示相关性极显著 ($P < 0.01$). 各形态性状代码见表1.

Note: * donates significant correlation ($P < 0.05$); ** donates extremely significant correlation ($P < 0.01$). Code corresponding to morphometric traits are shown in table1.

2.5 各性状对体质量的决定程度的分析

通过计算决定系数,得到某一形态性状对体质量的最佳决定路径。5月龄的对虾各形态性状对体质量的决定系数为: $R^2_1=0.2915$ 、 $R^2_2=0.2907$ 、 $R^2_3=0.0850$ 、 $R^2_4=-0.0261$ 、 $R^2_5=0.0713$ 、 $R^2_6=0.0197$ 、 $R^2_7=-0.0092$ 、 $R^2_8=0.0500$ 、 $R^2_9=0.0031$ 、 $R^2_{10}=0.1916$ 、 $R^2_{11}=0.1954$ 、 $R^2_{12}=0.0506$ 、 $R^2_{13}=0.0108$ 、 $R^2_{14}=0.4430$ 。它们由大到小依次为: R^2_{14} 、 R^2_1 、 R^2_2 、 R^2_{11} 、 R^2_{10} 、 R^2_3 、

R^2_5 、 R^2_{12} 、 R^2_8 、 R^2_6 、 R^2_{13} 、 R^2_9 、 R^2_7 、 R^2_4 。由其排序可得,体长、全长和头胸甲长为5月龄对虾体质量的主要决定系数。但通径分析中,只有体长和头胸甲长对体质量的直接影响达到显著水平 ($P < 0.05$)。

6月龄的对虾各形态性状对体质量的决定系数为: $R^2_1=0.2239$ 、 $R^2_2=0.4642$ 、 $R^2_3=0.1405$ 、 $R^2_4=0.0830$ 、 $R^2_5=0.0489$ 、 $R^2_6=0.0805$ 、 $R^2_7=0.0125$ 、 $R^2_8=0.2459$ 、 $R^2_9=-0.0192$ 、 $R^2_{10}=0.3081$ 、 $R^2_{11}=-0.1220$ 、 $R^2_{12}=0.3818$ 、

$R^2_{13}=0.0409$ 、 $R^2_{14}=0.0222$ 。其由大到小依次为： R^2_2 、 R^2_{12} 、 R^2_{10} 、 R^2_8 、 R^2_1 、 R^2_3 、 R^2_4 、 R^2_5 、 R^2_{13} 、 R^2_7 、 R^2_9 、 R^2_{14} 、 R^2_6 、 R^2_{11} 。由它们的排序可得，头胸甲长、头胸甲高、头胸甲宽、第6腹节长和全长为6月龄对虾体质量的主要决定系数，与通径分析结果一致。

2.6 多元回归方程的建立

对各形态性状的偏回归系数进行显著性检验，结果如表5所示。去除偏回归系数不显著的性状，保留显著的性状，并用其建立多元回归方程。

5月龄中国明对虾体质量(Y)与形态性状参数的多元回归方程为：

$$Y = 37.429 + 0.326 X_2 + 0.306 X_3 + 0.669 X_{10} + 0.275 X_{14}$$

式中， X_2 、 X_3 、 X_{10} 、 X_{14} 分别为头胸甲长(mm)、第1腹节长(mm)、头胸甲宽(mm)和体长(mm)。

得到相关系数为0.923，见表6。方差分析结果

(表7)表明，回归关系达到极显著水平($P<0.001$)。回归预测表明估计值和实际观察值差异不显著($P>0.05$)，该方程可用于中国明对虾的实际生产。

6月龄中国明对虾体质量(Y)与形态性状参数的多元回归方程为：

$$Y = 38.556 + 0.668 X_2 + 0.583 X_6 + 0.605 X_8 + 0.785 X_{10} + 0.931 X_{12}$$

式中， X_2 、 X_6 、 X_8 、 X_{10} 、 X_{12} 分别为头胸甲长(mm)、第4腹节长(mm)、第6腹节长(mm)、头胸甲宽(mm)和头胸甲高(mm)。

得到相关系数为0.956，见表6。方差分析结果(表7)表明，回归关系达到极显著水平($P<0.001$)。估计值与实际值间的差异不显著($P>0.05$)，该方程可用于中国明对虾实际生产中。

表5 对中国明对虾各形态性状的偏回归系数检验
Tab. 5 Coefficients test of partial regression of morphometric traits in *F. chinensis*

月龄 Months	参数 Parameter	常量 Constant	形态性状 Morphological trait													
			X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
5月龄 5 months	偏回归系数 Partial regression coefficient	-37.604	0.077	0.264	0.202	-0.063	0.235	0.088	-0.038	0.096	0.005	0.409	0.362	0.072	0.017	0.152
	t 值 t value	-18.157	1.731	2.969	3.038	-0.656	1.913	0.862	-0.260	0.685	0.032	2.559	1.799	0.672	0.120	2.499
	显著性 Significance	0.000	0.087	0.004	0.003	0.514	0.059	0.391	0.796	0.495	0.974	0.012	0.076	0.503	0.905	0.014
6月龄 6 months	偏回归系数 Partial regression coefficient	-43.680	0.066	0.532	0.406	0.343	0.232	-0.680	-0.071	0.610	-0.043	0.624	-0.261	0.713	0.077	-0.008
	t 值 t value	-13.920	1.390	3.465	1.768	1.439	1.218	-2.543	-0.216	2.649	-0.202	2.510	-0.759	3.206	0.392	-0.110
	显著性 Significance	0.000	0.173	0.001	0.086	0.159	0.231	0.016	0.830	0.012	0.841	0.017	0.453	0.003	0.697	0.913

表6 中国明对虾形态性状与体质量的复相关分析
Tab. 6 The multiple-correlation coefficients between morphometric traits and body weight of *F. chinensis*

月龄 Months	复相关系数 R	相关系数 R^2	校正相关系数 Adjusted R^2	标准偏差 SD
5月龄 5 months	0.961	0.923	0.920	0.97588
6月龄 6 months	0.978	0.956	0.951	1.26526

表 7 中国明对虾各形态性状参数与体质量间回归关系的方差分析表
Tab. 7 ANOVA analysis of regression of morphometric traits and body weight in *Echinensis*

月龄 Months	项目 Item	平方 SS	自由度 <i>df</i>	均方 MS	F 检验值 <i>F</i>	相伴概率值 Sig
5 月龄 5 months	回归 Regression	1086.438	4	271.609	285.202	0.000
	残差 Residual	90.472	95	0.952		
	总计 Total	1176.910	99			
6 月龄 6 months	回归 Regression	1517.881	5	303.576	189.631	0.000
	残差 Residual	70.439	44	1.601		
	总计 Total	1588.320	49			

3 讨论

3.1 相关分析、通径分析和决定系数分析的特点及联系

性状间的表型相关系数是两个变量间相互关系的综合,包含了两者的直接关系和通过其他变量的间接关系,相关分析不能明确地表示出 2 个变量之间的真实关系,只能作为多元分析的基础,以确保进一步多元统计分析具有实际意义。通径分析是在性状间的多种关系中,揭示两种性状之间的本质关系。通径系数表示自变量对依变量直接作用的大小,且随着所选自变量个数和性质的不同而不同,考虑的性状越多,分析结果越可靠,但统计分析就越复杂。决定系数表示各性状对依变量的综合作用,决定系数的排序结果反映了各自变量对依变量的综合作用的大小,它既不同于偏回归系数的排序,也不同于各自变量与依变量相关系数的排序^[9-10, 12]。

3.2 影响中国明对虾体质量的重点性状的确定

根据通径分析和决定系数的分析可知,5 月龄对虾的体长、头胸甲长、头胸甲宽和第 1 腹节长对体质量的直接作用达到了显著的水平,其中体长和头胸甲长的决定程度也较大,所以这 2 个性状应该是这一阶段选育过程中应该给予足够重视的性状。6 月龄中国明对虾的头胸甲长、头胸甲高、头胸甲宽和第 6 腹节长的通径系数达到显著水平,决定系数分析结果与通径分析结果相一致,其决定程度也相应较大。在表型相关分析的基础上,只有当相关系数 R^2 和 $\sum d$ (决定系数的总和) 大于或等于 0.85 (即 85%) 时,才能表明影响依变量的主要自变量已经找到。本研究中保留通径系数显著的变量,建立回归方程,得到的 5 月龄中国明对虾的相关系数 $R^2=0.923$, 6 月龄对虾的相关系数 $R^2=0.956$,说明保

留的形态性状正是影响体质量的重点性状,其他性状对体质量的影响相对较小。董世瑞等^[7]通过通径分析和回归分析,确定中国明对虾的体长、全长、头胸甲长、头胸甲宽和第 5 腹节高为影响体质量的主要形态形状。田焱等^[6]通过相关性分析和回归分析,认为体长、头胸甲长、头胸甲宽、第 2、3 腹节宽和第 2、3 腹节高为影响中国明对虾体质量的重点性状。与以上 2 位学者结果相比较,所确定的重点性状的差异不是很大,对虾在 5 月龄时体长、头胸甲长、头胸甲宽和第 1 腹节长为影响体质量的主要性状,对虾在 6 月龄时头胸甲长、头胸甲高、头胸甲宽和第 6 腹节长为影响体质量的主要性状,这些也是选育过程中理想的测量指标。

3.3 需进一步研究的问题

至今尚未有学者研究探讨过不同年龄段中国明对虾的重点性状的差异,本研究通过 2 次测量分析发现差异确实存在,但仍有一部分固定的表型性状在 2 次测量中均为重点性状。同时期的普通对虾和选育对虾差异有多大,是否每一月龄的“黄海 1 号”中国明对虾的重点性状都有差异,有没有固定的重点性状存在等问题都有待于进一步的探讨。

参考文献:

- [1] 李健,刘萍,何玉英,等. 中国明对虾快速生长新品种“黄海 1 号”的人工选育[J]. 水产学报, 2005, 29(1): 1-5.
- [2] Harue K, Mutsuyshi T, Katsuya M, et al. Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured red sea bream[J]. Fish Sci Tokyo, 2000, 66(2): 365-371.
- [3] Ahmed M, Abbas G. Growth parameters of finfish and shellfish juvenile in the tidal waters of Bhanbore, Korangi Creek and Miani Hor Lagoon Pakistan[J]. J Zool, 2000, 32(3-4): 321-330.

- [4] 刘小林,常亚青,相建海,等. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(6): 673-678.
- [5] 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.
- [6] 田隼,孔杰,杨翠华,等. 中国对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 形态性状与体重的相关性分析[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(增刊): 54-59.
- [7] 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): 16-22.
- [8] 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.
- [9] 袁志发,周敬芋,郭满才,等. 决定系数——通径系数的决策指标[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(5): 131-133.
- [10] 袁志发,周敬芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 130-131.
- [11] 张琪,丛鹏,彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现[J]. 农业网络信息, 2007, 3: 109-111.
- [12] 敬艳辉,邢留伟. 通径分析及其应用[J]. 统计教育, 2006, 2: 24-26.

Mathematical analysis of effects of morphometric traits on body weight for *Fenneropenaeus chinensis* named “Yellow Sea No. 1”

AN Li^{1,2}, LIU Ping¹, LI Jian¹, HE Yu-ying¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: One hundred five-month-old *Fenneropenaeus chinensis* and 50 six-month-old *F. chinensis* were randomly sampled for measuring 14 morphometric traits including total length (X_1), carapace length (X_2), the first sixth abdominal segment length (X_3 – X_8), tail length (X_9), carapace width (X_{10}), carapace height (X_{12}), the first abdominal segment width (X_{11}), the first abdominal segment height (X_{13}) and body length (X_{14}). By correlation and path analysis, the results show that the correlation coefficients of each morphological trait to body weight are all at significant ($P < 0.05$) or extremely significant level ($P < 0.01$). The path coefficients of body length, carapace length, carapace width and the first abdominal segment length of five-month-old *F. chinensis* to body weight all reach significant level ($P < 0.05$), and the determination coefficients of body length, total length and carapace length are very large. The path coefficients of carapace length, carapace width, carapace height, the sixth abdominal segment length and the fourth abdominal segment length of six-month-old *F. chinensis* to body weight all reach significant level ($P < 0.05$), but the direct effect of the fourth abdominal segment length to body weight is negative. The diversification of determination coefficients analysis is consistent with that of path. The morphometric traits which reach level of significance ($P < 0.05$) are used to establish the multiple regression equations, which are $Y = 37.429 + 0.326X_2 + 0.306X_3 + 0.669X_{10} + 0.275X_{14}$ in 5-month-old *F. chinensis* and $Y = -38.556 + 0.668X_2 - 0.583X_6 + 0.605X_8 + 0.785X_{10} + 0.931X_{12}$ in 6-month-old *F. chinensis*, respectively. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 779–786]

Key words: *Fenneropenaeus chinensis*; morphometric trait; correlation analysis; path analysis; multiple regression equation

Corresponding author: LIU Ping. E-mail: liuping@ysfri.ac.cn