

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*

耿绪云¹ 王雪惠¹ 孙金生^{1,2①} 张印书³

(1. 天津市水产研究所 天津 300221; 2. 天津师范大学化学与生命科学学院 天津 300074;

3. 天津市东丽区种子管理站 天津 300300)

提要 选取本实验室群体选育的 F_3 代一龄幼蟹 216 只, 逐个测定头胸甲长、头胸甲宽、体高、IV 步足长节长、体重等性状, 应用通径分析原理计算以形态性状为自变量对体重性状为依变量的通径系数、决定系数及复相关指数, 明确影响中华绒螯蟹一龄幼蟹体重的主要外部形态性状, 为中华绒螯蟹选育种提供理论依据和理想的测度指标。结果表明, 头胸甲宽对体重的直接作用 (0.5984**) 最大, 对体重的决定程度最高 (35.81%), 是影响体重的主要因素; 体高、IV 步足长节长对体重的直接作用 (0.12837*, 0.23698**) 相对较小, 主要通过头胸甲宽的间接作用 (0.55280, 0.56598) 影响体重。所选性状对体重的复相关指数 $R^2 = 0.8955$, 表明所选性状是影响体重的重点性状。应用逐步回归方法建立以形态性状指标值估计体重的回归方程: $\hat{y} = 0.5727X_2 + 0.2284X_3 + 0.3473X_4 - 15.0664$ 。

关键词 中华绒螯蟹, 形态性状, 幼蟹, 体重, 相关分析

中图分类号 Q78

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 俗称河蟹, 肉味鲜美, 营养价值高, 深受消费者喜爱, 自 20 世纪 70 年代末突破人工育苗技术以后, 中华绒螯蟹养殖业迅猛发展, 大规模养殖已有 30 余年的历史。由于不重视种质资源的保护和良种选育工作, 养殖中华绒螯蟹种质退化现象严重, 生长速度减慢, 性早熟, 商品蟹个体变小, 品质降低, 严重阻碍了养殖业的健康发展。虽然人们已经认识到选育良种的重要性, 并相继开展了一些探索研究, 但由于中华绒螯蟹良种选育受到诸多因素影响, 工作难度大, 进展缓慢, 尚未取得突破性进展。选择育种是经典的良种选育方法, 作者自 2000 年开始应用群体选择育种方法开展优质中华绒螯蟹筛选培育技术研究, 以体重性状为选育目标连续选育 3 代, 获得生长快的 F_3 代优质种群。

体重性状是生产性能的直接反映, 也是良种

选育最直接的目标性状, 受到高度重视。汪留全等 (1989) 对池养中华绒螯蟹幼蟹群体的平均生长曲线进行拟合, 给出了体重与头胸甲长的关系式。杨培根等 (1998) 观察了笼养中华绒螯蟹蜕壳生长情况, 指出其个体跳跃性生长的特点; 王成辉等 (2002) 观测了长江、辽河种群中华绒螯蟹一龄阶段的生长性能, 认为一龄中华绒螯蟹生长在种群间不存在差异; 张列士等 (2001) 指出了中华绒螯蟹异速生长和个体不连续跳跃式生长的特点; 何杰 (2005) 观察测定了池塘生态养殖中华绒螯蟹群体生长情况, 回归了不同生长发育阶段蟹的体重与头胸甲长关系式。这些研究所涉及的变量较单一, 主要是利用回归方程估计目标性状。多元分析在水产养殖方面已广泛应用。Harue 等 (2000) 利用多元相关分析进行了红海鲤科养殖鱼类标准体长、体重对脂肪含量的估计; Deboski 等 (1989) 用多元回归方法进行了大西洋鲑

* 天津市农业重点攻关项目资助, 05YFGPNC02200 号。耿绪云, 副研究员, E-mail: gengxuyun@163.com

① 通讯作者: 孙金生, 教授, E-mail: jssun1965@yahoo.com.cn

收稿日期: 2005-05-08, 收修改稿日期: 2005-10-22

鱼形态性状(体长、体重、体高)估计体脂肪含量的研究;Caputi等(1995)用多元回归分析根据叶状幼体和稚虾丰度指数预测西方岩龙虾的捕获量;刘晓林等(2004)利用相关分析、通径分析和回归分析研究了凡纳对虾外部形态性状(体长、头胸甲长、胸宽、额剑下缘刺数)对体重的直接作用、间接影响和对体重的估计。这些研究涉及多个变量,多是利用回归分析估计目标性状,只有刘晓林等(2004)区分自变量对依变量的直接作用和间接影响,确定了影响目标性状的主要外部形态性状。但关于中华绒螯蟹一龄幼蟹外部形态性状对体重影响效果的研究未见报道。

在养殖中华绒螯蟹选种中,体重测量相当重要。测量体重需要衡器和一定的操作环境条件,不适宜在野外直接观测,作者利用相关分析、通径分析和多元回归分析,明确了中华绒螯蟹一龄幼蟹外部形态性状对其体重的直接作用和间接影响,为通过形态性状的选择达到选种目的提供了理论依据和测度指标,可直接应用于中华绒螯蟹选育种实践。

1 材料与方法

1.1 材料

随机选取本实验室群体选育的 F_3 代中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)一龄幼蟹216只,沥干水分后,逐个用游标卡尺测量头胸甲长、头胸甲宽、体高、IV步足长节长等形态性状,精确到0.02mm。头胸甲长测量头胸甲前后缘长度,头胸甲宽测量头胸甲左右最大宽度,体高测量背腹最大高度,IV步足长节长测量IV步足长节长度。体重用电子天平称量,精确到0.1g。

1.2 分析方法

头胸甲长、头胸甲宽、体高、IV步足长节长、体重性状测定结果经统计整理,计算平均数、标准差和变异系数,获得各性状表型参数统计量,分别进行各性状间表型相关分析,计算公式为:

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

$$CV(\%) = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%;$$

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

在表型相关系数分析基础上,根据通径分析

原理建立通径系数正规方程组,解方程组求解各形态性状对体重的通径系数,通径系数 $P_{x_i, y}$ 简写为 P_i ;进而计算决定系数,决定系数分为单个自变量对体重的决定系数 $d_{x_i, y}$ (简写为 d_i)和两个性状对体重的共同决定系数 $d_{x_i, x_j, y}$ (简写为 d_{ij})两种。计算公式为:

$$r_{x_i, y} = P_i + \sum r_{ij} \times P_j; d_i = P_i^2;$$

$$d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j$$

在通径分析基础上,选取通径系数达到显著水平的形态性状计算复相关指数,确定影响体重的重点性状。复相关指数计算公式:

$$R^2 = \sum r_{x_i, y} \times P_i$$

在表型相关分析基础上,应用逐步回归分析方法逐步剔除偏回归系数不显著的自变量,建立形态性状估计体重的最优回归方程。

2 结果与分析

2.1 中华绒螯蟹形态性状对体重的影响

通径分析能够揭示变量间的本质关系,需要以大量试验数据资料为依据。本研究中作者测定群体选育 F_3 代一龄幼蟹216只,获得1080个数据,按性状分别计算平均数、标准差、变异系数,获得各表型统计量(估计值),见表1。对中华绒螯蟹各性状进行表型相关分析,获得各性状间表型相关系数(表2),从表2可以看出性状间相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$),形态各性状与体重间相关系数大小为: $r_{x_2, y} > r_{x_1, y} > r_{x_4, y} > r_{x_3, y}$,表明所选指标进行相关分析具有重要实际意义。

在表型相关分析基础上,根据通径分析原理,建立中华绒螯蟹各形态性状对体重的通径系数正规方程组,求解方程组得到通径系数。经显著性检验,剔除通径系数不显著的头胸甲长性状,保留达到显著水平的头胸甲宽、体高、IV步足长节长3个变量。计算所得通径系数分别为 $P_2 = 0.5984^{**}$ 、 $P_3 = 0.1284^*$ 、 $P_4 = 0.2370^{**}$,通径系数反映自变量对依变量的直接作用,在所选性状中,头胸甲宽对体重的直接作用最大,IV步足长节长对体重直接作用较大,体高对体重的直接作用最小。

根据相关系数组成效应,可将性状间的表型相关系数剖分为各性状的直接作用 P_i 和各性状通过其他性状的间接作用两部分,即 $r_{x_i, y} = P_i + \sum r_{ij} \times P_j$,结果见表3。由表3可知:头胸甲宽

对体重的直接作用(0.59840^{**})最大,间接作用(0.34273)最小,是影响体重的主要因素。体高、IV步足长节长对体重的间接作用均大于直接作用,主要通过头胸甲宽的间接作用影响体重。IV步足长节长通过头胸甲宽对体重的间接作用

(0.565977)最大,体高通过头胸甲宽对体重的间接作用(0.552797)次之。

根据各性状对体重的通径系数,进而得到相关指数 $R^2 = \sum P_i r_{x_i, y} = 0.8955$ 。

表 1 所测各性状的表型统计量 (n = 216)

Tab. 1 The apparent statistics of various traits (n = 216)

性 状	头胸甲长 (mm) X_1	头胸甲宽 (mm) X_2	体高 (mm) X_3	IV步足长节长 (mm) X_4	体重 (g) Y
平均数	20.219	22.400	10.462	15.458	5.520
标准差 S	3.902	4.417	2.376	2.884	4.227
变异系数 CV (%)	19.30	19.72	22.71	18.66	76.58

表 2 性状间表型相关系数

Tab. 2 The phenotype correlation coefficient among the traits

性 状	头胸甲长 (mm) X_1	头胸甲宽 (mm) X_2	体高 (mm) X_3	IV步足长节长 (mm) X_4	体重 (g) Y
头胸甲长 X_1	1	0.9756 ^{**}	0.9372 ^{**}	0.9631 ^{**}	0.9351 ^{**}
头胸甲宽 X_2		1	0.9238 ^{**}	0.9458 ^{**}	0.9411 ^{**}
体高 X_3			1	0.8975 ^{**}	0.8939 ^{**}
IV步足长节长 X_4				1	0.9182 ^{**}

注: $r_{0.05, 214} = 0.1345$, $r_{0.01, 214} = 0.1764$; * 表示差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)

表 3 中华绒螯蟹形态性状对体重的影响

Tab. 3 The effect of crab traits on the weight

性状	相关系数 r_{ij}	直接作用 P_i	\sum	间接影响 $r_{ij} \times P_j$		
				X_2	X_3	X_4
X_2	0.94113 ^{**}	0.59840 ^{**}	0.34273		0.118592	0.224141
X_3	0.89387 ^{**}	0.12837 [*]	0.76549	0.552797		0.212693
X_4	0.91818 ^{**}	0.23698 ^{**}	0.68120	0.565977	0.115218	

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

2.2 形态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 $d_i = P_i^2$, 两个性状对体重的共同决定系数 $d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j$, 计算出各形态性状及性状间协同对体重的决定系数, 列于表 4。表 4 的对角线上给出了每个性状单独对体重的决定系数, 对角线以上给出了两两性状共同对体重的决定系数。决定系数的总合为 $\sum d = 0.8955$, 它与相关指数 ($R^2 =$

0.8955) 的数值相等。表明本研究中所列性状是影响体重的主要性状, 其他性状影响相对较小。

由表 4 可以看出, 头胸甲宽、体高、IV步足长节长对体重的相对决定程度分别约为 35.81%、1.65% 和 5.62%。其中头胸甲宽的决定程度最大, 体高的决定程度最小; 共同决定系数中, 头胸甲宽与 IV步足长节长共同对体重的决定程度最大(约 26.83%), 其次是头胸甲宽与体高对体重

的共同决定作用(约 14.19%),体高与IV步足长 节长对体重的共同决定作用(约 5.46%)最小。

表 4 中华绒螯蟹形态性状对体重的决定系数

Tab. 4 The determinant coefficients of the crab traits on the weight

性 状	头胸甲宽 X_2	体高 X_3	IV步足长节长 X_4
头胸甲宽 X_2	0.358078	0.141931	0.268251
体高 X_3		0.016480	0.054609
IV步足长节长 X_4			0.056160

2.3 多元回归方程

根据测定资料进行逐步多元回归分析,由于头胸甲长偏回归系数不显著, t 值较小,剔除头胸甲长自变量,再次进行回归分析(结果见表 5 和表 6),建立以头胸甲宽、体高、IV步足长节长估计中华绒螯蟹体重的最优回归方程:

$$\hat{y} = 0.5727X_2 + 0.2284X_3 + 0.3473X_4 - 15.0664$$

其中: y 为体重(g), X_2 为头胸甲宽(mm), X_3 为体高(mm), X_4 为IV步足长节长(mm)。

经多元回归关系显著性检验和各个偏回归系数显著性检验表明,回归关系达到极显著水平($P < 0.01$),各性状对体重的偏回归系数显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)。经回归预测,估计值与实际值差异不显著($P > 0.05$),说明该方程可简便可靠地应用于实际工作。

表 5 多元回归方程的方差分析

Tab. 5 Analysis of variance of multiple regression equation

指 标	4 个自变量				3 个自变量			
	df	SS	MS	F	df	SS	MS	F
回 归	4	3441.516	860.379	453.355**	3	3440.499	1146.833	605.621**
残 差	211	400.437	1.898		212	401.454	1.894	
总 计	215	3841.953			215	3841.953		

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

表 6 偏回归系数和回归常数的显著性检验

Tab. 6 The test of the significance of partial regression and intercept

回归步骤	变 量	偏回归系数	标准误差	T 统计量	误差概率	95% 下限	95% 上限
1	回归截距	-15.106	0.525	-28.766**	0.0000	-15.611	-14.602
	头胸甲长	0.106	0.145	0.732	0.4650	-0.033	0.245
	头胸甲宽	0.528	0.098	5.371**	0.0000	0.433	0.622
	体 高	0.195	0.115	1.705	0.0896	0.085	0.305
	IV步足长节长	0.299	0.122	2.446*	0.0153	0.181	0.416
2	回归截距	-15.066	0.522	-28.878**	0.0000	-15.066	-15.066
	头胸甲宽	0.573	0.077	7.458**	0.0000	0.499	0.646
	体 高	0.228	0.105	2.173*	0.0309	0.127	0.329
	IV步足长节长	0.347	0.102	3.402**	0.0008	0.249	0.445

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

3 讨论

3.1 自变量的确定

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,直接作用揭示两者的本质关系,这就造成了体高自变量对体重依变量相关系数极显著,通径系数只达到显著水平。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,增减自变量个数或者更换自变量,通径系数都会发生改变,考虑的性状越多,分析结果越可靠,但统计分析就越复杂,不能突出重点。通径分析是在错综复杂的众多关系中抓主要矛盾的依据,达到显著水平的通径系数说明该自变量是影响依变量的主要因素。同时通径系数也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。

中华绒螯蟹个体的生长是随着不断蜕壳而增长的,个体大小通过外部形态性状如:头胸甲长、头胸甲宽、体高、腹甲长、侧甲长、前缘宽、后缘宽、步足长等指标来描述,根据作者对长江、辽河、海河种群中华绒螯蟹形态性状对体重的相关分析及通径分析,综合不同种群性状间相关系数、通径系数达到显著水平的头胸甲长、头胸甲宽、体高、IV步足长节长等形态性状作为本研究测度指标,一龄幼蟹各性状间表型相关均达到极显著水平,确保进一步统计分析具有实际意义。

3.2 影响体重的重点性状的确定

在表型相关的基础上进行通径系数分析和决定系数分析,只有当复相关指数 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 时,表明影响依变量的主要自变量已经找到。本研究中, $R^2 = 0.8955$, 说明所保留的中华绒螯蟹形态性状——头胸甲宽、体高、IV步足长节长是影响体重的重点性状,其他尚未测度的性状和剔除的性状对体重的影响相对较小。这与体较宽、较高、爪子较长,相应体重较重的实际生产经验一致。

头胸甲长与体重的相关系数极显著,一般以头胸甲长为自变量对体重性状为依变量进行回归分析,大多数学者指出中华绒螯蟹体重与头胸甲长之间存在 $W = aL^b$ 幂函数关系,也有人认为

符合 $y = \alpha + \beta x$ 线性关系,二者拟合度均较高(周刚等,2003)。本研究结果表明:逐步多元回归分析,一龄幼蟹头胸甲长的偏回归系数不显著, t 绝对值较小,在自变量中应该首先剔除;通径分析,头胸甲长对体重的直接作用只有 0.0979⁰,主要通过头胸甲宽、体高、IV步足长节长的间接作用影响体重,是影响体重的次要因素。

头胸甲宽是影响体重的主要因素,头胸甲宽与头胸甲长、体高存在极显著的相关关系,中华绒螯蟹头胸甲越宽,头胸甲相应也较长,体高相应较大,个体具有较大的几何空间,有利于肌肉、肝脏等营养物质的积累贮存。选择头胸甲宽大的中华绒螯蟹育种,在提高养殖规格的同时也有利于提高品质。因此通过通径分析找出影响中华绒螯蟹体重的重点性状,为其选育种提供了理论依据和理想的测度指标,可用于指导中华绒螯蟹良种选育。

参 考 文 献

- 王成辉,李思发,李晨虹等,2002. 中华绒螯蟹长江种群与辽河种群一龄阶段的成活率与生长性能比较. 上海水产大学学报,9(2):111—115
- 刘晓林,吴长功,张志怀等,2004. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析. 生态学报,24(4):857—862
- 杨培根,李晨虹,1998. 笼养中华绒螯蟹的蜕壳与生长. 上海水产大学学报,7(2):158—161
- 何杰,2005. 中华绒螯蟹池塘生态养殖群体生长特征研究. 水利渔业,25(6):10—11
- 汪留全,周婉华,1989. 池养中华绒螯蟹幼蟹生长特性的初步研究. 水产学报,13(1):17—23
- 张列士,陆锦天,2001. 中华绒螯蟹蜕壳和生长的研究进展. 水产科技情报,28(6):246—250
- 周刚,朱清顺,胡本龙,2003. 不同水系中华绒螯蟹生长比较初步研究. 水产养殖,24(6):34—37
- Caputi N, Brown R S, Philips B F, 1995. Predicting catches of the western rock lobster (*Panulirus cygnus* selective) based on indices of peurulus and juvenile abundance. ICES, Copenhagen(Denmark), 847—853
- Deboski P, Dobosz S, Robak S *et al*, 1989. Fat level in body of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and sea trout (*Salmo trutta* M. *trutta* L.), and method of estimation from morphometric data. Archives of Polish Fisheries, 7(2):237—243
- 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 Science, Tokyo, 66(2):365—371

MORPHOMETRIC ATTRIBUTES TO BODY WEIGHT FOR JUVENILE CRAB, *ERIOCHEIR SINENSIS*

GENG Xu-Yun¹, WANG Xue-Hui¹, SUN Jin-Sheng^{1,2}, ZHANG Yin-Shu³

(1. Tianjin Fishery Institute, Tianjin, 300221; 2. College of Chemistry and Biology,
Tianjin Normal University, Tianjin, 300074;

3. Seed Management Department of Dongli District of Tianjin City, Tianjin, 300300)

Abstract Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* is an important economic species in aquaculture in China. However, development of the aquaculture has been slowed down due to serious germplasm degeneration in recent years. Needed by fine breed selection, the body weight is a direct indicator to productivity. In this paper, the relationship of morphometric attributes to the body weight of the crab was studied. 216 juvenile crabs were selected from F₃ of our breed pool. Morphometric measurement on carapace length (X_1), carapace width (X_2), carapace height (X_3), and IV peraeopod merus length (X_4), along with body weight (Y) were taken for correlation in path analysis. Path coefficients (P_i), determination coefficients (d_i) and correlation index (R^2) were calculated. Major morphometric attributes that affect the body weight of juvenile crab were determined. The results showed that the correlation coefficient (r) between each X (i. e. X_1 — X_4) and Y varied significantly. The P_i of X_1 showed insignificant direct effect on body weight and was neglected, whereas that of X_2 bared strong direct effect ($P_2 = 0.5984$); X_3 and X_4 exhibited slight direct effect ($P_3 = 0.12837$, $P_4 = 0.23698$) and significant indirect effect ($d_{32} = 0.55280$, $d_{42} = 0.56598$) on Y . The d_i between X_1 — X_4 and Y have also been computed. The X_1 weighted the most to Y ($d_2 = 35.81\%$) as the key effective factor, followed in turn by X_4 ($d_4 = 5.62\%$), and X_3 ($d_3 = 1.65\%$), the least. Value of d_i is consistent with that of P_i . High multiple correlation index ($R^2 = 0.8955$) between morphometric X_i and Y indicated that the selected attributes are practically useful. The multiple regression equation to get the body weight was established as $\hat{y} = 0.5727X_2 + 0.2284X_3 + 0.3473X_4 - 15.0664$.

Key words *Eriocheir sinensis*, Morphometric attribute, Juvenile crab, Body weight, Correlation analysis