

日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*) 形态性状对体重的影响效应*

王志铮¹ 吴一挺^{1,2} 杨磊¹ 朱卫东³

(1. 浙江海洋学院水产学院 舟山 316004; 2. 舟山市海洋与渔业局 舟山 316000;
3. 余姚市水产技术推广中心 余姚 315400)

摘要 选取日本沼虾 5 月龄同生群雌、雄虾各 90 尾, 分别测量其体重、体长、头胸甲长、胸宽、胸高、腹节长、腹节宽、腹节高、尾节长、尾节宽、尾节高、眼窝距、额剑长等 13 个表型性状, 并采用相关分析、通径分析和偏回归分析等方法定量研究了雌、雄个体形态性状对体重的影响效应。结果表明: (1) 雌、雄测定群体各形态性状测量值间均存在显著的性别差异($P < 0.05$), 虽各性状与体重间的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$), 但雄性均明显大于对应的雌性; (2) 经通径分析, 雄性被保留的 3 个形态性状与体重的复相关指数为 0.952, 它们对体重的直接作用呈体长 > 头胸甲长 > 胸宽, 雌性被保留的 4 个形态性状对体重的复相关指数为 0.772, 它们对体重的直接作用呈头胸甲长 > 胸宽 > 体长 > 胸高; (3) 经多元回归分析, 用于估算雄性体重回归方程的回归截距和自变量体长、头胸甲长、胸宽的回归系数依次为 -4.394、0.069、0.152、0.109, 雌性体重回归方程的回归截距和自变量头胸甲长、胸宽、体长和胸高的回归系数则依次为 -2.448、0.029、0.065、0.121、0.105。

关键词 日本沼虾, 同生群, 形态性状, 体重, 性别差异, 多元分析

中图分类号 Q78

表型形态性状作为生物分类的重要依据, 既是生物种群长期进化形成的固有属性, 也是种群内个体间表露显性差异的重要载体, 故常被作为目标养殖生物种质复壮和优良品系选育的重要指标。体重性状与生长相辅相成, 与增产关联紧密, 能直接体现产量性能, 故常被选为生物育种的目标经济性性状。生物表型所包含的形态性状和体重性状均属受多个基因控制的数量遗传性状, 且形态性状与体重性状间往往有着较为密切的关系(孙建贻等, 1999; 刘小林等, 2002, 2004; 刘军等, 2004; 王新安等, 2008; 孙振兴等, 2010), 即控制生物形态性状和体重性状的基因间存在遗传连锁。因此, 发挥形态性状较体重性状在表观自显性、测量准确性以及现场操作便利性等方面的优势, 探究并找寻目标种群中决定体重的关键形态性状, 并以此为选育参数, 筛选出符合高产性能的目标群体, 对指导人工选育生产实践具有十分重要的

现实意义。

借助多元分析法揭示目标养殖动物各形态性状对体重性状的主次作用以及各形态性状间的交互影响, 并通过构建体重性状与关联形态性状间的最优化数学模型以提高选育精度和效率, 已成为近期国内水产动物育种研究领域的热点之一(刘小林等, 2002, 2004; 耿绪云等, 2007; 王新安等, 2008; 孙振兴等, 2010), 但目前已有的相关研究报道均未考虑到生物异性个体间体重增长效率不尽相同这一实际问题。日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)系我国重要的淡水虾类养殖品种之一, 但长期以来因不注重种质保护和良种选育, 致使其生长缓慢、性成熟提前、商品规格小型化等种质退化表象日益显露(Fu *et al.*, 2004), 因此开展该虾人工选育显得十分迫切和必要。国内外已就该虾形态特征(堵南山, 1993; 刘军等, 2004)、生长特征(孙建贻等, 1999)、生长性状分子标

* 浙江省重大科技专项农业项目, 2008C12083 号。王志铮, 研究员, E-mail: wzz_1225@163.com

收稿日期: 2010-08-21, 收修改稿日期: 2010-10-18

记及杂交后代生长性能(Mashiko, 1992; 李翰声等, 2011)等开展了较为深入的研究, 但有关其形态性状对体重影响效应的研究迄今尚未见报道。为此, 本文作者以浙江省余姚市青港野生苗种场培育的日本沼虾养殖群体为研究对象, 通过采用相关分析、通径分析和偏回归分析方法, 确定影响不同性别日本沼虾体重的关键形态性状, 并建立可用于精确估算体重的多元回归方程, 以期为提高该虾选种的精度与效率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品来源及其表型性状的测定

本研究所用实验虾取自余姚市青港野生苗种场面积为 $(4.3 \times 666.7) \text{m}^2$ 的日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)专养池塘, 系 5 月龄日本沼虾同生群养殖个体(抱卵亲虾采自姚江水域, 幼体初孵时间为 2009 年 6 月 16 日, 养成上市时间为同年 11 月 16 日)。用规格为 $45 \text{cm} \times 45 \text{cm} \times 3 \text{m}$ 的地龙网(网目为 1.5cm)采集样品并随机选取雌、雄虾各 90 尾作为测定群体。样品编号后, 用游标卡尺(精度 0.02mm)逐尾测量体长(BL)、头胸甲长(CL)、胸宽(CW)、胸高(CH)、腹节长(AL)、腹节宽(AW)、腹节高(AH)、尾节长(TL)、尾节宽(TW)、尾节高(TH)、眼窝距(ED)、额剑长(RL)等 12 个形态性状(图 1); 用 BS223S 型电子天平(精度 1mg)称量经滤纸吸净体表水分后的体重(BW)。

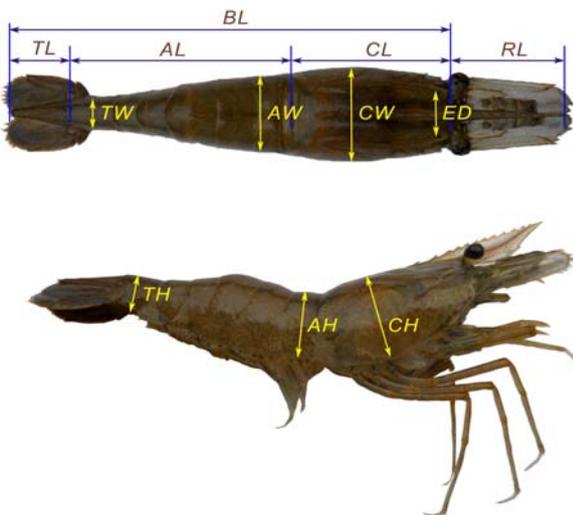


图 1 日本沼虾形态性状的测量部位

Fig.1 Pictures showing the parts for measuring morphometric attributes of *M. nipponensis*

注: BL、CL、CW、CH、AL、AW、AH、TL、TW、TH、ED、RL 分别表示体长、头胸甲长、胸宽、胸高、腹节长、腹节宽、腹节高、尾节长、尾节宽、尾节高、眼窝距和额剑长(下同)

1.2 分析方法

整理所测结果, 借助 SPSS 17.0 软件分别计算雌、雄虾各表型性状的均值、标准差以及变异系数, 并在表型相关分析和各形态性状对体重通径分析的基础上, 剖析那些通径系数达到显著水平的形态性状对体重的直接作用和间接作用, 进而计算决定系数和复相关指数, 确定影响体重的关键形态性状; 通过偏回归分析, 保留偏回归系数达到显著水平($P < 0.05$)的形态性状, 建立这些性状对体重的多元回归方程, 并进行拟合度检验。

2 结果与分析

2.1 日本沼虾两性个体各表型性状参数估计值

由表 1 可见, 雄性测定群体各表型性状的测量值均显著大于对应的雌性, 表明雌、雄个体间在所测表型性状上存在显著的性别差异; 所测各表型性状中, 雌、雄个体体重性状的变异系数均明显大于其它性状, 表明两性个体的体重性状均具较大的选择潜力, 尤以雄性为甚。

2.2 日本沼虾各表型性状间的相关性

由表 2、表 3 可知, 所测各形态性状与体重均呈正相关, 且相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$), 各形态性状与雄性体重的相关系数均大于对应的雌性, 且雄性测定群体体重与各形态性状相关程度的强弱次序由大到小依次为 BL、CL、CW、AL、CH、TL、TW、TH、RL、AW、ED 和 AH, 而雌性则为 CW、BL、CL、CH、AW、AL、ED、RL、TW、TL、TH 和 AH; 雄性测定群体各形态性状间的相关系数均达极显著水平($P < 0.01$), 而雌性 AH-CL、AH-TL、AH-TH、AH-RL、TH-ED 间相关系数未达到显著水平($P > 0.05$), AH-CW、AH-AL、AH-TW、TH-TL、TH-RL、TW-ED 间相关系数仅达到显著水平($0.01 < P < 0.05$), 且雄性测定群体各形态性状间的相关系数均明显大于对应的雌性, 表明本研究所选形态性状包含了体重决定和性别甄别双重信息, 对它们进行相关分析具有重要的现实意义。

2.3 日本沼虾形态性状对体重的通径分析

根据通径分析原理, 借助 SPSS 17.0 软件分别获得雌、雄测定群体各形态性状对体重的通径系数。经显著性检验, 剔除未达到显著水平的性状($P > 0.05$), 并按相关系数组成效应, 将保留下来的各形态性状与体重的相关系数(r_{ij})剖分为直接作用(通径系数 P_1)和通过其它性状的间接作用(P_2)两部分。

表1 日本沼虾各表型性状的统计量描述

Tab.1 The apparent statistics of various phenotypic and morphometric traits for *M. nipponensis*

表型性状	(n = 90)		(n = 90)	
	平均值±标准差	变异系数(%)	平均值±标准差	变异系数(%)
体重 BW (g)	1.584±0.336 ^a	21.222	2.238±0.742 ^b	33.144
体长 BL (mm)	45.030±2.803 ^a	6.225	49.248±5.190 ^b	10.539
头胸甲长 CL (mm)	13.317±1.546 ^a	11.607	14.994±1.774 ^b	11.833
胸宽 CW (mm)	7.830±0.726 ^a	9.276	8.645±1.077 ^b	12.455
胸高 CH (mm)	8.619±0.776 ^a	9.004	9.474±0.949 ^b	10.016
腹节长 AL (mm)	22.700±1.960 ^a	8.635	24.143±2.665 ^b	11.039
腹节宽 AW (mm)	6.681±0.549 ^a	8.222	7.243±0.659 ^b	9.106
腹节高 AH (mm)	7.900±0.762 ^a	9.650	8.632±0.772 ^b	8.939
尾节长 TL (mm)	8.050±0.947 ^a	11.766	8.630±0.889 ^b	10.307
尾节宽 TW (mm)	3.217±0.276 ^a	8.596	3.438±0.374 ^b	10.887
尾节高 TH (mm)	3.682±0.351 ^a	9.542	4.011±0.426 ^b	10.626
眼窝距 ED (mm)	5.908±0.507 ^a	8.582	6.323±0.716 ^b	11.316
额剑长 RL (mm)	11.287±1.710 ^a	15.149	12.216±1.834 ^b	15.012

注: 上标 a、b 标注组间差异($P < 0.05$), 字母相同表示无差异

表2 日本沼虾雄性测定群体各表型性状间的相关系数(df = 88)

Tab.2 The phenotype correlation coefficients between the traits of male *M. nipponensis* (df = 88)

性状	BW	BL	CL	CW	CH	AL	AW	AH	TL	TW	TH	ED
BL	0.958**	—										
CL	0.952**	0.926**	—									
CW	0.897**	0.862**	0.883**	—								
CH	0.860**	0.841**	0.857**	0.822**	—							
AL	0.893**	0.901**	0.889**	0.828**	0.768**	—						
AW	0.736**	0.734**	0.689**	0.751**	0.704**	0.646**	—					
AH	0.665**	0.719**	0.623**	0.657**	0.630**	0.629**	0.652**	—				
TL	0.793**	0.803**	0.794**	0.747**	0.795**	0.805**	0.700**	0.629**	—			
TW	0.779**	0.762**	0.733**	0.681**	0.705**	0.761**	0.633**	0.647**	0.775**	—		
TH	0.759**	0.776**	0.743**	0.750**	0.674**	0.734**	0.661**	0.615**	0.728**	0.700**	—	
ED	0.671**	0.661**	0.680**	0.695**	0.598**	0.700**	0.655**	0.471**	0.654**	0.589**	0.640**	—
SL	0.753**	0.792**	0.772**	0.677**	0.662**	0.796**	0.572**	0.465**	0.657**	0.628**	0.717**	0.572**

注: $r_{0.05, 88} = 0.207$, $r_{0.01, 88} = 0.270$; *表示性状间相关系数达到显著水平($P < 0.05$), **表示性状间的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$), 下同

表3 日本沼虾雌性测定群体各表型性状间的相关系数(df = 88)

Tab.3 The phenotype correlation coefficients between the traits of female *M. nipponensis* (df = 88)

性状	BW	BL	CL	CW	CH	AL	AW	AH	TL	TW	TH	ED
BL	0.743**	—										
CL	0.730**	0.641**	—									
CW	0.789**	0.690**	0.632**	—								
CH	0.690**	0.529**	0.453**	0.707**	—							
AL	0.640**	0.579**	0.531**	0.520**	0.561**	—						
AW	0.650**	0.573**	0.494**	0.682**	0.726**	0.556**	—					
AH	0.338**	0.368**	0.148	0.215*	0.289**	0.262*	0.333**	—				
TL	0.495**	0.428**	0.441**	0.554**	0.518**	0.367**	0.473**	0.135	—			
TW	0.500**	0.466**	0.515**	0.417**	0.418**	0.471**	0.470**	0.237*	0.308**	—		
TH	0.466**	0.410**	0.515**	0.478**	0.431**	0.380**	0.560**	0.174	0.213*	0.322**	—	
ED	0.584**	0.483**	0.449**	0.501**	0.385**	0.277**	0.299**	0.332**	0.423**	0.248*	0.192	—
SL	0.563**	0.274**	0.474**	0.491**	0.464**	0.380**	0.397**	0.003	0.387**	0.340**	0.238*	0.432**

由表 2 和表 4 可见, 雄性测定群体被保留的 3 个性状对体重的相关系数、直接作用和间接作用分别呈现为 $BL > CL > CW$ 、 $BL > CL > CW$ 和 $CW > CL > BL$, 除 BL 对体重的直接作用略高于间接作用外, 其余 2 个性状的间接作用均大于直接作用, 且 CL 通过 BL 对体重的间接作用为最大(0.449), BL 和 CL 通过 CW 的间接作用均较小(依次为 0.136 和 0.140), 而 CW 通过 BL 和 CL 的间接作用却较大(依次为 0.418 和 0.321), 表明 BL 是影响体重的核心变量, CL 主要通过 BL 来影响体重, 是影响体重的重要变量, CW 主要通过 BL 和 CL 来影响体重, 是影响体重的相对次要变量。经计算, 上述 3 个性状对体重的相关指数($R^2 = P_i r_{x_{iy}}$, P_i 为通径系数, $r_{x_{iy}}$ 为性状与体重的相关系数)为 0.952。

由表 3 和表 4 可见, 雌性被保留的 4 个性状对体重的相关系数、直接作用和间接作用分别呈现为 $CW > BL > CL > CH$ 、 $CL > CW > BL > CH$ 和 $CW > BL > CH > CL$, 它们对体重的间接作用均明显大于直接作用, 前者是后者的 1.44—2.04 倍, 表明四者均主要通过间接作用来影响体重。其中, CL 与体重呈高度正相关且其对体重的直接作用最强, CW 虽对体重的直接作用略弱于 CL , 但其与体重的相关系数最大, 对体重的间接作用也最强, 且 CH 和 CL 对体重的间接作用均主要

通过 CW 来实现, 说明 CL 和 CW 均是影响体重的核心变量, BL 与体重的相关性及其对体重的直接作用和间接影响均大于 CH , 故四者对体重影响的作用程度由强到弱依次为 CL 、 CW 、 BL 和 CH , 经计算, 四者对体重的相关指数为 0.772。

2.4 日本沼虾形态性状对体重决定程度分析

计算单个性状对体重的决定系数($d_i = P_i^2$, P_i 为性状对体重的通径系数)和性状两两交互对体重的共同决定系数($d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j$, r_{ij} 为两性状间的相关系数, P_i 、 P_j 分别为两性状对体重的通径系数)并列结果于表 5。由表 5 可知, 雄性测定群体 BL 、 CL 、 CW 对体重的相对决定程度依次为 23.5%、13.2%和 2.5%, 性状两两交互对体重的共同决定系数以 $BL-CL$ 为最大、 $CW-CL$ 最小; 雌性测定群体 BL 、 CL 、 CW 、 CH 对体重的相对决定程度依次为 6.0%、8.9%、6.8%和 5.8%, 性状两两交互对体重的共同决定系数呈现为 $CL-CW > BL-CL > CW-CH > BL-CW > CL-CH > BL-CH$ 。

2.5 日本沼虾形态性状与体重间多元回归方程的建立

统计实验所测数据并经通径分析和多元回归分析, 在剔除对体重的偏回归系数不显著的性状($P > 0.05$)后, 再次进行复相关分析和回归分析并将所得结果分别列于表 6、表 7 和表 8。

表 4 日本沼虾形态性状对体重影响的通径分析

Tab.4 The effects of morphologic traits on the body weight of *M. nipponensis*

性别	性状	相关系数 r_{ij}	直接作用 P_1	间接作用 P_2				
				BL	CL	CW	CH	
雄性	BL	0.958**	0.485**	0.473	—	0.337	0.136	—
	CL	0.952**	0.364**	0.589	0.449	—	0.140	—
	CW	0.897**	0.158**	0.739	0.418	0.321	—	—
雌性	BL	0.743**	0.244**	0.500	—	0.192	0.180	0.128
	CL	0.730**	0.299**	0.431	0.156	—	0.165	0.109
	CW	0.789**	0.261**	0.528	0.168	0.189	—	0.171
	CH	0.690**	0.241**	0.449	0.129	0.135	0.185	—

表 5 日本沼虾形态性状对体重的决定系数

Tab.5 The determinant coefficients of morphometric traits on the body weight of *M. nipponensis*

性状	雄性			雌性			
	BL	CL	CW	BL	CL	CW	CH
BL	0.235	0.326	0.132	0.060	0.093	0.088	0.062
CL	—	0.132	0.102	—	0.089	0.099	0.065
CW	—	—	0.025	—	—	0.068	0.089
CH	—	—	—	—	—	—	0.058

复相关系数是测量一个变量与其它多个变量之间线性相关程度的指标, 复相关系数值愈大, 变量间的关系愈密切。由表 6 可知, 雌、雄测定群体被保留的形态性状与体重间的复相关系数均达到极显著水平($R > r_{0.01}$), 表明它们与体重存在极为密切的关系; 经检验, 雄性测定群体中被保留的 3 个形态性状对体重的复相关指数为 0.952, 雌性测定群体中被保留的 4 个形态性状对体重的复相关指数为 0.772, 均等于其对应的决定系数加和值(表 5), 表明这些性状均为

影响体重的主要性状,较其它性状对体重的影响更具重要性。

由表 7 可见,日本沼虾雌、雄测定群体形态性状与体重间的多元回归方程分别为 $Y(\text{♀}) = 0.029X_1 + 0.065X_2 + 0.121X_3 + 0.105X_4 - 2.448$ 和 $Y(\text{♂}) = 0.069X_1 + 0.152X_2 + 0.109X_3 - 4.394$, 回归截距及所有形态性状的偏回归系数均达到极显著水平($P < 0.01$)。方差分析表明(表 8), 所建立的回归方程的回归关系也均达到极显著水平($P < 0.01$)。经回归预测,估计值和实测值间无显著差异($P > 0.05$), 表明所建方程能精准反映日本沼虾形态性状与体重间的相互关系。

3 讨论

3.1 关于影响日本沼虾体重的关联形态性状的筛选原则

体重性状和形态性状系生物种质状况和阶段生长特征的综合反映,是生物选择育种的重要指标。日本沼虾属短生命周期的经济甲壳动物,其生长速度存在较为显著的季节与性别差异(孙建贻等, 1999; 刘军等, 2004)。因此,为达到有效规避选育误差和切实提高选育精度的目的,日本沼虾体重关联形态性状的遴选在时机上应以性别明显可辨和体型基本定型为前提,在特征上应以体现体重决定和两性形态异

表 6 日本沼虾形态性状与体重的复相关分析

Tab.6 The multiple-correlation coefficients of morphometric traits on the body weight of *M. nipponensis*

性别	回归自由度	剩余自由度	复相关系数 R	复相关指数 R^2	校正后复相关指数 R^2	标准误差
	3	86	0.976**	0.952	0.951	0.165
	4	85	0.879**	0.772	0.762	0.164

注: $r_{0.01(3, 86)} = 0.351$, $r_{0.01(4, 85)} = 0.379$

表 7 日本沼虾形态性状与体重的偏回归系数检验

Tab.7 Test of significance of the partial regressions and constants of *M. nipponensis*

性别	因变量	代号	自变量	代号	偏回归系数 ± 标准误	t 值	P 值
♂	BW(g)	Y(♂)	回归截距	C	-4.394±0.167	-26.237	0.000**
			BL(mm)	X_1	0.069±0.009	7.535	0.000**
			CL(mm)	X_2	0.152±0.029	5.229	0.000**
			CW(mm)	X_3	0.109±0.036	3.046	0.003**
♀	BW(g)	Y(♀)	回归截距	C	-2.448±0.291	-8.411	0.000**
			BL(mm)	X_1	0.029±0.009	3.164	0.002**
			CL(mm)	X_2	0.065±0.016	4.167	0.000**
			CW(mm)	X_3	0.121±0.042	2.897	0.005**
			CH(mm)	X_4	0.105±0.032	3.288	0.001**

表 8 日本沼虾形态性状与体重间多元回归方程的方差分析

Tab.8 Analysis of variance of the multiple regression equations for both male and female *M. nipponensis*

性别	统计指标	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	P 值
♂	回归	46.608	3	15.536	571.425	0.000**
	残差	2.338	86	0.027		
	总计	48.946	89			
♀	回归	7.770	4	1.943	72.047	0.000**
	残差	2.292	85	0.027		
	总计	10.062	89			

质为基础。形态学的特征是受遗传因子和环境因子共同影响的(Mayr *et al.*, 1953)。杨严鸥等(1998)认为日本沼虾体长 3—4cm 左右是其体型趋于稳定的转折点。故为保证测定群体所历环境的同一性和体型的基本定型, 本研究以已达到商品上市规格的同池培养的同生群雌、雄个体为实验对象, 在系统分析各表型性状测量值间均存在显著的性别差异(表 1), 雌、雄测定群体间体重与各形态性状相关程度与强弱次序不一(表 2、表 3)的基础上, 运用多元分析方法分别开展影响雌、雄测定群体体重的关键形态性状分析, 从而保证了实验结果的可靠性和准确性。

3.2 影响日本沼虾两性个体体重的关键性状的确定

尽管本研究所涉的 12 个形态性状与体重的相关系数均达到极显著水平(表 2、表 3), 但并非均为影响体重的关键形态因子。通径分析结果显示(表 4), 对雌、雄测定群体体重的直接影响达到极显著水平的形态性状分别仅为 *BL*、*CL*、*CW*、*CH* 和 *BL*、*CL*、*CW*, 复相关分析也显示这些性状与体重均达到极显著水平(表 6), 而其余性状则均不显著。通径系数系变量标准化的偏回归系数, 因此运用偏回归分析方法, 经逐步回归所建的能精准反映日本沼虾雌、雄个体形态性状与体重间的相互关系的最优化回归方程的自变量势必与通径分析所保留的完全一致(表 7)。可见, 相关分析仅反映两变量间的综合关系, 要区分两变量间的实质性密切程度必须通过通径分析才能得以实现。

雄性被保留的 3 个形态性状与体重间相关程度的强弱次序(表 2), 与它们对体重的直接作用完全一致, 而与间接作用相反(表 4), 表明它们与体重间的相关性大小主要受控于直接作用; 刘小林等(2002)认为, 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 或决定系数加和大于或等于 0.85 时, 表明影响应变量的主要自变量已经找到。本研究所涉 3 个形态性状对体重的决定系数加和为 0.952, 说明它们均是影响日本沼虾雄性体重的关键性状, 已剔除的或尚未被本研究选入的其它性状对体重的影响均相对较小, 至于 *AL* 与体重的相关程度极高且与 *CW* 极为接近, 却未能成为影响体重关键性状的原因, 则可能如刘小林等(2004)所认为的其与入选的部分自变量相关性过强而产生共线性所致。雌性被保留的 4 个形态性状与体重间相关程度的强弱次序(表 3), 与它们对体重的间接作用基本一致, 而与直接作用迥异, 且它们对体重的间接作用均明显大于直接作用(表 4), 表明它们与体重间的相

关性大小主要受控于间接作用; 尽管本研究中上述 4 个形态性状对体重的决定系数加和仅为 0.772, 与刘小林等(2002)认为相关指数 R^2 或决定系数加和大于或等于 0.85 略有差距, 但从它们与体重的相关性及所建多元回归方程的可靠性($P < 0.01$)来看, 基本上能真实反映形态性状与体重间的真实关系, 故也均属决定日本沼虾雌性个体体重的关键性状。

本研究所获的影响日本沼虾雄性体重的关键形态性状组成及各性状对体重影响作用的强弱次序均与凡纳滨对虾(刘小林等, 2004)的实验结果完全一致, 这既说明在影响虾类体重关键形态性状的选取上存在共性, 也侧面反映了重视性别差异以提高实验精度的重要性。

3.3 影响日本沼虾体重关键形态性状的性别差异分析

一般而言, 水生生物个体的生长总是由以长长(体型增长)为主逐渐向以长粗(体型增粗)为主转变, 故与体重增长最为密切的变量往往首先是体长性状。由表 1 可见, 雌性 *BL* 的变异系数明显小于其它形态性状, 而雄性则与其它形态性状较为接近, 表明此时雄性个体体重的增长仍处于以长长为主的生长阶段, 而雌性则已转为以长粗为主的生长阶段。这也与表 2、表 3 所示雄性各部位的长度性状与体重的相关性均高于对应的宽度和高度性状, 而雌性各部位的宽度性状均高于对应的长度和高度性状的结果相符。

由表 2 和表 3 可见, 实验对象胸部各维度的相关性均高于腹部和尾部, 表明胸部较其它形态部位更具增重重要性。故雄性 *BL* 性状与体重的相关程度、影响体重的直接作用及其直接作用与间接作用间的比值均高于 *CL* 和 *CW*(表 2、表 4), *CL* 和 *CW* 对体重的间接影响均主要通过 *BL* 起作用, *BL* 对体重的间接影响主要通过 *CL* 起作用(表 4); 雌性 *BL* 性状不仅与体重的相关系数小于 *CW*, 且影响体重的直接作用及直接作用与间接作用的比值均低于 *CL* 和 *CW*(表 3、表 4), *CL* 和 *CW* 则主要通过两者的交互作用对体重起间接影响, *BL* 对体重的间接影响主要通过 *CW* 起作用(表 4), 以及雌、雄个体性状两两交互对体重的共同决定系数大小依次为 $BL-CL > BL-CW > CW-CL$ 和 $CL-CW > BL-CL > CW-CH > BL-CW > CL-CH > BL-CH$ (表 4)等情形, 也进一步印证了上述雄性仍处于以长长为主, 而雌性则已转为以长粗为主的结论。

基于上述分析, 也就不难理解雄性因保持以长长为主导的体重影响机制, 致使影响其体重的关键性状对体重的直接作用强度次序为 $BL > CL > CW$, 雌

性因已转为以长粗为主导的体重影响机制,故在减弱体长对体重影响的重要性的同时,使 *CH* 顺势成为影响体重的关键性状,即它们对体重的直接作用强度次序为 $CL > CW > BL > CH$ 。另外,至于造成雌性各关键形态性状对体重的决定系数加和值仅为 0.772,而雄性则高达 0.952 的原因,笔者以为系雌性形态性状与体重的相关程度均明显弱于对应的雄性所致。

致谢 余姚市青港野生苗种场提供实验用虾,本校 2007 级水产养殖专业周初玉、何凯,2007 级海洋渔业科学与技术专业薛鹏、吉奎等同学参与本研究部分实验工作,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王新安,马爱军,许 可等,2008. 大菱鲆表型形态与体重之间的关系. 动物学报, 54(3): 540—545
- 刘 军,龚世园,何绪刚等,2004. 武湖日本沼虾形态参数间关系的研究. 水利渔业, 24(6): 17—19
- 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重的影响效果分析. 海洋与湖沼, 33(6): 673—678
- 孙建贻,张道源,谭德清,1999. 洪湖日本沼虾种群生长的研究. 湖泊科学, 11(2): 149—154
- 孙振兴,常林瑞,徐建鹏等,2010. 扁玉螺(*Neverits didyma*)表型性状对体重和软体部重的影响效应分析. 海洋与湖沼, 41(4): 513—518
- 李翰声,冯建彬,谢 楠等,2011. 日本沼虾太湖群体和潘阳湖群体杂交 F_1 生长性能比较研究. 淡水渔业, 41(1): 43—47
- 杨严鸥,向华云,姚 峰,1998. 长湖青虾形态参数关系的初步研究. 湖北农学院学报, 18(2): 137—141
- 耿绪云,王雪惠,孙金生等,2007. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)一年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
- 堵南山,1993. 甲壳动物学. 北京: 科学出版社, 676—695
- Fu H T, Gong Y S, Wu Y *et al*, 2004. Artificial interspecific hybridization between *Macrobrachium* species. Aquaculture, 232: 215—223
- Mashiko Kazuo, 1992. Genetic egg and clutch size variations in fresh water prawn populations. Oikos, 63: 454—458
- Mayr E, Linsley E G, Usinger R L, 1953. Methods and principles of systematic zoology. New York and London: McGraw Hill, 23—39, 125—154

EFFECT OF PHENOTYPIC AND MORPHOMETRIC TRAITS ON BODY WEIGHT OF *MACROBRACHIUM NIPPONENSIS*

WANG Zhi-Zheng¹, WU Yi-Ting^{1,2}, YANG Lei¹, ZHU Wei-Dong³

(1. Marine Fishery College of Zhejiang Ocean University, Zhoushan, 316004; 2. Ocean and Fisheries Bureau of Zhoushan City, Zhoushan, 316000; 3. Fishery Technology Extension Center of Yuyao, Yuyao, 315400)

Abstract Effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of male and female *Macrobrachium nipponensis* were studied using correlation analysis, path analysis, and regression analysis. 90 males and 90 females of five-month-old individuals were randomly sampled from a cohort of autumn-cultured single species. Body length (*BL*), carapace length (*CL*), carapace width (*CW*), carapace height (*CH*), total length of the abdominal segment (*AL*), width of the first abdominal segment (*AW*), height of the first abdominal segment (*AH*), telson length (*TL*), telson height (*TH*), telson width (*TW*), rostrum length (*RL*), distance between eyes (*ED*), and body weight (*BW*) were measured for all individual. Correlation coefficients among all the traits were calculated. The results indicated that: (1) the apparent statistics of various traits were significantly different between males and females ($P < 0.05$), and all the correlation coefficients between each phenotypic trait and body weight are at extremely significant level ($P < 0.01$), while all these coefficients of males are much higher than those of females. (2) *BL*, *CL*, and *CW* of males were used as the independent variables, and body weight was used as the dependent variables for path analysis ($R^2 = 0.952$), while *CL*, *CW*, *BL*, and *CH* of females were used as independent variables, and body weight was used as dependent variables for the path analysis ($R^2 = 0.772$). The path coefficients show $BL > CL > CW$, and $CL > CW > BL > CH$, respectively. (3) Multiple regression equation of the body length, carapace length, and carapace width to the body weight was obtained to estimate male body weight, the regression intercept and partial coefficients of the equation were -4.394 , 0.069 , 0.152 , and 0.109 , respectively. Similarly, multiple regression equation of the carapace length, carapace width, body length, and carapace height to the body weight was obtained to estimate female body weight, the regression intercept and partial coefficients of the equation were -2.448 , 0.029 , 0.065 , 0.121 , and 0.105 , respectively.

Key words *Macrobrachium nipponensis*, Cohort, Morphometric trait, Body weight, Gender differences, Multivariate analysis