

文章编号: 1674-5566(2019)02-0219-08

DOI:10.12024/jsou.20190202527

日本沼虾养殖群体主要形态性状对体质量的通径分析

冯建彬^{1,2}, 马克异¹, 李家乐^{1,2}

(1. 上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 从封闭养殖 5 代的 6 月龄日本沼虾群体中随机选取 200 尾雌虾和 70 尾雄虾, 测定体质量以及全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、腹部长、第二腹节宽和第二腹节高等表型形态性状, 采用相关分析、通径分析和回归分析方法, 分析表型形态性状对体质量的影响。结果显示: 体质量仍具有最大的选择潜力, 雌虾的全长、体长、腹部长等性状和体质量的通径系数达到极显著水平, 其中体长对体质量的直接影响和决定程度最大; 雄虾的全长、头胸甲高和体质量的通径关系达到极显著水平, 全长对体质量的直接影响和决定程度略大于头胸甲高; 雌、雄虾所选性状对体质量回归方程的回归关系均达到极显著水平, 所选性状与体质量的复相关系数分别为 0.933 和 0.930, 可见这些性状经过 5 代封闭养殖后, 在雌雄虾中仍是影响体质量的主要自变量指标。

关键词: 日本沼虾; 多年封闭养殖群体; 形态性状; 体质量; 相关分析; 通径分析

中图分类号: S 966.1 **文献标志码:** A

日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 是我国重要淡水经济养殖虾类^[1-2], 2016 年我国日本沼虾养殖产量已达 27 万吨^[3]。近年来, 虾类现代育种技术虽已取得了较大进展, 但传统育种技术仍保持着基础和核心地位, 尤其是体质量等数量性状的选育^[4-7]。同其他虾类一样, 体质量既是决定日本沼虾生产性能的根本指标, 又是良种选育最直接的目标性状^[2]。

在水产动物遗传育种研究中, 通过分析体质量和表型形态性状之间的关系, 明确影响体质量的主要表型形态变量, 便于通过表型形态性状的选择对体质量性状进行选育, 这对于开展良种选育和养殖生产均具有重要意义^[8-10]。目前, 有关日本沼虾形态性状对体质量的影响, 已见王志铮等^[11]对浙江姚江水域野生抱卵亲虾池塘繁殖一代形态性状对体质量影响的分析; 黄有辉等^[12]采用相关分析、通径分析法和回归分析法等分析了太湖、鄱阳湖、白洋淀、微山湖和淀山湖等五群体野生日本沼虾形态性状对体质量的影响, 未见对

多年封闭养殖群体形态性状对体质量影响的研究报道。本研究以经封闭养殖 5 代的太湖水域日本沼虾为研究对象, 利用相关分析、通径分析和回归分析法分析其表型形态性状对体质量的影响, 为今后品种选育和养殖生产过程中合理安排繁殖、养殖规划提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用日本沼虾采自安徽省芜湖县陶辛镇养殖场, 从 3 口面积分别为 0.67 hm² 的养殖池塘随机各选取 5 个采样点, 共 15 个采样点。在每个采样点投放装有饵料的饵料台 (直径为 1 m), 待虾摄食时提起饵料台, 将正在摄食的日本沼虾采集起来, 每个点随机采集 30 尾, 15 个采样点共收集 450 尾, 将其充分混匀后, 选取全部 70 尾雄虾, 并从中随机抽取 200 尾雌虾进行测定。

这些日本沼虾的亲本来自于太湖天然水域的野生抱卵虾, 于当年 11 月份放入养殖池塘, 次

收稿日期: 2019-02-18 修回日期: 2019-03-04

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD26B04); 上海市高水平大学建设研究项目(A1-2801-18-1003)

作者简介: 冯建彬(1978—), 男, 博士, 研究方向为水产动物种质资源与遗传育种。E-mail: jbfeng@shou.edu.cn

通信作者: 李家乐, E-mail: jlli@shou.edu.cn

年5月中旬繁殖,11月中旬将规格比较大的个体留种,再到次年5月繁殖,依次类推,截至采样时已经连续繁殖了5代。

1.2 测量方法

用游标卡尺测量全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、腹部长、第2腹节宽和第2腹节高等8个表型形态性状,精确到0.01 mm。全长为额剑前端至尾节末端的长度;体长为眼柄基部至尾节末端的长度;头胸甲长为眼窝后缘连线中央至头胸甲中线后缘的长度;头胸甲宽为头胸甲最宽处的长度;头胸甲高为头胸甲下缘至头胸甲背脊线的距离;腹部长为头胸甲后缘至尾节末端的长度;第2腹节宽为第2腹节最宽处的距离;第2腹节高为第2腹节下缘至背脊线的长度。滤纸吸干体表水分后,用电子天平称量体质量,精确到0.01 g。

1.3 分析方法

使用SPSS 16.0软件对测定结果进行统计处理,计算平均数(\bar{x})、标准差(s)和变异系数(C_V),获得性状表型参数统计量,分别进行性状间表型相关分析(相关系数 r_{xy}),所用计算公式为

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

$$C_V(\%) = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x - \bar{x}) \times (y - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(x - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2]}} \quad (3)$$

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质量的通径系数,通径系数 $P_{xi \cdot y}$ 简称为 P_i ;进而计算决定系数,决定系数分为单个形态性状对体质量的决定系数 $d_{xi \cdot y}$ (简称为 d_i)和两个形态性状对体质量的共同决定系数 $d_{xixj \cdot y}$ (简称为 d_{ij})两种。计算公式为

$$r_{xi \cdot y} = P_i + \sum r_{ij} \times P_j \quad (4)$$

$$d_i = P_i^2 \quad (5)$$

$$d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j \quad (6)$$

式中: r_{ij} 为*i*性状对*j*性状的相关系数,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(R^2),确定影响体质量的重点性状。复相关指数计算公式:

$$R^2 = \sum r_{xixy} \times P_i \quad (7)$$

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质量的最优回归方程。

2 结果

2.1 形态性状参数的统计分析

日本沼虾养殖群体形态性状的表型参数统计结果如表1所示。雌虾中,体质量、头胸甲3个性状以及第2腹节宽的变异系数大于全长和体长;雄虾中,体质量、头胸甲高、头胸甲宽、第2腹节宽以及第2腹节高的变异系数大于全长和体长;体质量的变化在雌、雄个体中均为最大,具有较大选择潜力。另外,日本沼虾雄虾表型性状和体质量性状的测量值和变异程度均显著高于雌虾,表明表型性状在两性个体之间存在显著的性别差异。

2.2 形态性状间的相关系数

日本沼虾形态性状之间以及形态性状与体质量之间的表型相关系数如表2所示。所测日本沼虾形态性状之间以及形态性状与体质量相关均极显著($P < 0.01$)。雌虾中,体长与腹部长的相关系数最大,其次为头胸甲高与头胸甲宽,腹部长与头胸甲长最小。形态性状与体质量相关性大小依次为:全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、头胸甲高、腹部长、第2腹节高、第2腹节宽;雄虾中,体长与全长、腹部长的相关系数最大,其次为头胸甲高与头胸甲宽,头胸甲长与第2腹节宽最小。形态性状与体质量相关性大小依次为:全长、体长、头胸甲高、头胸甲宽、第2腹节高、头胸甲长、腹部长、第2腹节宽。无论是雌虾群体还是雄虾群体,全长和体长与体质量的相关性最大。

2.3 形态性状对体质量的通径系数和作用

日本沼虾形态性状对体质量的通径系数如表3所示。雌虾的全长、体长、腹部长以及头胸甲高、头胸甲宽对体质量的通径系数达到极显著水平($P < 0.01$)或显著水平($P < 0.05$),5个性状的复相关指数 R^2 为0.933,可见这5个性状对体质量的影响都较大。其中体长的影响和直接作用最大,且大于间接作用,其余4个性状对体质量的间接作用均大于直接作用;腹部长对体质量的直接作用较小,为负值,说明腹部长对体质量有负向作用,但其间接作用较大,主要通过体长、全长、头胸甲宽和头胸甲高间接地影响体质量。

雄虾全长、头胸甲高与体质量的通径系数极大,且全长的影响大于头胸甲高;全长性状对体质量的直接作用大于间接作用,头胸甲高则相反。

表 1 日本沼虾各形态性状表型参数值

Tab. 1 Phenotypic parameter value of morphometric traits in *M. nipponense*

| 性状 Trait | 全长 Total length/ mm | | 体长 Body length/ mm | | 头胸甲长 Carapace length/ mm | | 头胸甲宽 Carapace width/ mm | | 头胸甲高 Carapace height/ mm | | 腹部长 Abdomen length/ mm | | 第 2 腹节宽 2nd uromere width/mm | | 第 2 腹节高 2nd uromere height/mm | | 体质量 Body mass/ g | |
|--------------|---------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------------|------------|-------------------------------|------------|--------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|------------------------|------------|
| | 雌性 Female | 雄性 Male | 雌性 Female | 雄性 Male | 雌性 Female | 雄性 Male | 雌性 Female | 雄性 Male | 雌性 Female | 雄性 Male | 雌性 Female | 雄性 Male | 雌性 Female | 雄性 Male | 雌性 Female | 雄性 Male | 雌性 Female | 雄性 Male |
| | 均值 Mean | 40.59 | 47.46 | 32.52 | 38.71 | 9.38 | 11.97 | 6.08 | 7.33 | 7.01 | 8.45 | 23.14 | 26.74 | 5.04 | 5.52 | 6.16 | 6.79 | 0.77 |
| 标准差 SD | 5.60 | 8.18 | 4.42 | 6.21 | 1.61 | 2.31 | 1.11 | 1.78 | 1.23 | 2.12 | 3.15 | 4.11 | 0.77 | 1.14 | 0.91 | 1.56 | 0.35 | 0.71 |
| 变异系数 CV/% | 13.80 | 17.24 | 13.59 | 16.04 | 17.16 | 19.30 | 18.26 | 24.28 | 17.55 | 25.09 | 13.61 | 15.37 | 15.28 | 20.65 | 14.77 | 22.97 | 45.45 | 50.35 |

表 2 日本沼虾形态性状间表型相关系数(对角线以上为雌虾,以下为雄虾)

Tab. 2 The phenotype correlation coefficient among the morphometric traits in *M. nipponense*

(female prawn, above diagonal; male prawn, below diagonal)

| 性状 Trait | 全长 Total length | 体长 Body length | 头胸甲长 Carapace length | 头胸甲宽 Carapace width | 头胸甲高 Carapace height | 腹部长 Abdomen length | 第 2 腹节宽 2nd uromere width | 第 2 腹节高 2nd uromere height | 体质量 Body mass |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| 全长 Total length | 1 | 0.930 ** | 0.874 ** | 0.892 ** | 0.888 ** | 0.857 ** | 0.826 ** | 0.846 ** | 0.938 ** |
| 体长 Body length | 0.982 ** | 1 | 0.856 ** | 0.856 ** | 0.850 ** | 0.965 ** | 0.795 ** | 0.808 ** | 0.932 ** |
| 头胸甲长 Carapace length | 0.930 ** | 0.942 ** | 1 | 0.798 ** | 0.787 ** | 0.689 ** | 0.739 ** | 0.739 ** | 0.898 ** |
| 头胸甲宽 Carapace width | 0.958 ** | 0.949 ** | 0.901 ** | 1 | 0.939 ** | 0.792 ** | 0.860 ** | 0.852 ** | 0.895 ** |
| 头胸甲高 Carapace height | 0.957 ** | 0.946 ** | 0.906 ** | 0.973 ** | 1 | 0.790 ** | 0.865 ** | 0.861 ** | 0.889 ** |
| 腹部长 Abdomen length | 0.961 ** | 0.982 ** | 0.863 ** | 0.928 ** | 0.921 ** | 1 | 0.737 ** | 0.755 ** | 0.848 ** |
| 第 2 腹节宽 2nd uromere width | 0.922 ** | 0.904 ** | 0.850 ** | 0.941 ** | 0.940 ** | 0.888 ** | 1 | 0.871 ** | 0.831 ** |
| 第 2 腹节高 2nd uromere height | 0.963 ** | 0.939 ** | 0.887 ** | 0.964 ** | 0.963 ** | 0.922 ** | 0.943 ** | 1 | 0.834 ** |
| 体质量 Body mass | 0.957 ** | 0.946 ** | 0.919 ** | 0.937 ** | 0.951 ** | 0.914 ** | 0.906 ** | 0.932 ** | 1 |

注: * 表示相关性显著($P < 0.05$); ** 表示相关性极显著($P < 0.01$)

Notes: * donates significant correlation ($P < 0.05$); ** donates extremely significant correlation ($P < 0.01$)

表 3 日本沼虾主要形态性状对体质量的影响

Tab. 3 Effects of main morphometric trait on body mass of *M. nipponense*

| 性状 Trait | 相关系数 r_{ij} Correlation coefficient | 直接作用 P_i Direct effect | 间接影响 Indirect effect ($r_{ij} \times P_j$) | | | | | | |
|--------------|--|-----------------------------|--|--------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------|
| | | | Σ | 全长 Total length | 头胸甲高 Carapace height | 体长 Body length | 腹部长 Abdomen length | 头胸甲宽 Carapace width | |
| 雌性 Female | 全长 Total length | 0.938** | 0.196** | 0.742 | - | 0.107 | 0.945 | -0.431 | 0.121 |
| | 头胸甲高 Carapace height | 0.889** | 0.120* | 0.769 | 0.174 | - | 0.864 | -0.397 | 0.128 |
| | 体长 Body length | 0.932** | 1.016** | -0.085 | 0.182 | 0.102 | - | -0.485 | 0.116 |
| | 腹部长 Abdomen length | 0.848** | -0.503** | 1.351 | 0.168 | 0.095 | 0.980 | - | 0.108 |
| | 头胸甲宽 Carapace width | 0.895** | 0.136* | 0.759 | 0.175 | 0.112 | 0.870 | -0.398 | - |
| 雄性 Male | 全长 Total length | 0.957** | 0.559** | 0.397 | - | 0.397 | - | - | - |
| | 头胸甲高 Carapace height | 0.951** | 0.415** | 0.535 | 0.535 | - | - | - | - |

注:仅保留显著的性状; * 表示相关性显著 ($P < 0.05$); ** 表示相关性极显著 ($P < 0.01$)

Notes: Only retention of significant trait; * donates significant correlation ($P < 0.05$); ** donates extremely significant correlation ($P < 0.01$)

2.4 形态性状对体质量的决定程度分析

日本沼虾形态性状对体质量的决定程度如表 4 所示, 对角线上为每个形态性状单独对体质量的决定系数, 对角线以上为两两性状共同对体质量的决定系数。雌虾中 5 个单独的决定系数和 15 个两两共同决定系数的总和为 0.933, 雄虾中 2 个单独的决定系数和 1 个两两共同决定系数的总和为 0.930, 两者均与相关指数 R^2 的数值相等, 表明本研究所筛选的形态性状是影响体质量的重点性状, 其他性状影响相对较小。

雌虾的全长、头胸甲高、体长、腹部长和头胸

甲宽对体质量的相对决定程度分别为 3.8%、1.4%、103.2%、25.3% 和 1.8%, 其中体长的决定程度最大, 头胸甲高的决定程度最小; 共同决定系数中, 体长与全长、头胸甲宽和头胸甲高对体质量的共同决定程度最大, 分别达 37.1%、23.7% 和 20.7%, 腹部长以负效应与其余性状共同决定体质量。雄虾的全长、头胸甲高对体质量的相对决定程度分别为 31.3%、17.2%, 其中全长决定程度大于头胸甲高, 共同决定系数达到 44.5%。

表 4 日本沼虾主要形态性状对体质量的决定系数

Tab. 4 Determinant coefficients of main morphometric traits on body mass of *M. nipponense*

| 性状 Trait | | 全长 | 头胸甲高 | 体长 | 腹部长 | 头胸甲宽 |
|--------------|-------------------------|--------------|-----------------|-------------|----------------|----------------|
| | | Total length | Carapace height | Body length | Abdomen length | Carapace width |
| 雌性 Female | 全长 Total length | 0.038 | 0.042 | 0.371 | -0.169 | 0.048 |
| | 头胸甲高 Carapace height | - | 0.014 | 0.207 | -0.095 | 0.031 |
| | 体长 Body length | - | - | 1.032 | -0.986 | 0.237 |
| | 腹部长 Abdomen length | - | - | - | 0.253 | -0.108 |
| | 头胸甲宽 Carapace width | - | - | - | - | 0.018 |
| 雄性 Male | 全长 Total length | 0.313 | 0.445 | - | - | - |
| | 头胸甲高 Carapace height | - | 0.172 | - | - | - |

注:仅保留显著的性状

Notes: Only retention of significant trait

2.5 多元回归方程的建立

根据多元相关和通径系数分析可知, 所保留

的形态性状对体质量的通径系数均达到显著或极显著水平, 故可以对体质量进行回归估计, 以

雌虾全长(X_1)、头胸甲高(X_2)、体长(X_3)、腹部长(X_4)和头胸甲宽(X_5),雄虾全长(X_1)和头胸甲高(X_2)分别建立估计雌、雄日本沼虾体质量(Y)的多元回归方程:

$$Y_{\text{♀}} = -1.554 + 0.012X_1 + 0.034X_2 + 0.08X_3 - 0.056X_4 + 0.043X_5$$

$$Y_{\text{♂}} = -2.061 + 0.048X_1 + 0.139X_2$$

多元回归分析、复相关分析和各个偏回归系数的显著性检验,分别如表5、表6和表7所示,回归关系达到极显著水平($P < 0.01$),雌、雄虾回归方程的复相关系数分别为0.933和0.930,所有的偏回归系数均达显著水平($P < 0.01$)。经回归预测,估计值与实际观察值差异不显著,该方程可应用于实际生产中。

表5 日本沼虾主要形态性状的偏回归系数检验

Tab.5 Coefficients test of partial regression of main morphometric traits in *M. nipponense*

| | | 常量 Constant | 全长 Total length | 头胸甲高 Carapace height | 体长 Body length | 腹部长 Abdomen length | 头胸甲宽 Carapace width |
|--------------|--|----------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| 雌性 Female | 偏回归系数 Partial regression coefficients | -1.554 | 0.012 | 0.034 | 0.080 | -0.056 | 0.043 |
| | t 值 t value | -29.710 | 3.083 | 2.088 | 9.318 | -6.497 | 2.322 |
| | 显著性 Significant | 0.000 | 0.002 | 0.038 | 0.000 | 0.000 | 0.021 |
| 雄性 Male | 偏回归系数 Partial regression coefficients | -2.061 | 0.048 | 0.139 | - | - | - |
| | t 值 t value | -11.244 | 5.005 | 3.715 | - | - | - |
| | 显著性 Significant | 0.000 | 0.000 | 0.000 | - | - | - |

注:仅保留显著的性状

Notes: Only retention of significant trait

表6 日本沼虾主要形态性状参数与体质量的复相关分析

Tab.6 The multiple correlation coefficients between main morphometric traits and body mass in *M. nipponense*

| 性别 Gender | 相关系数 R | 复相关系数 R^2 | 校正相关系数 Adjusted R^2 | 标准偏差 SD |
|--------------|-----------|----------------|--------------------------|------------|
| 雌性 Female | 0.966 | 0.933 | 0.931 | 0.0917 6 |
| 雄性 Male | 0.965 | 0.930 | 0.928 | 0.1899 0 |

3 讨论

在水产动物遗传育种中,表型形态性状的变异程度常作为人工选育的重要参考依据,一个性

状的变异程度越大,说明该性状的选择潜力也越大^[4]。通过比较体质量、全长、体长、头胸甲性状等表型形态性状的变异程度,发现雌雄两性个体体质量的变异系数显著高于其他表型形态性状,且雄性体质量和其余表型形态性状的变异程度显著大于雌性,这与王志铮等^[11]报道的姚江野生群体繁殖一代雌雄两性个体,以及黄有辉等^[12]报道的太湖、鄱阳湖等5个野生群体的体质量变异程度均显著大于其他性状的结果一致。在实际生产中,养殖户常将日本沼虾抱卵虾投放至养殖池塘,然后在池塘内进行多年封闭养殖,一般较少注重补充新的亲本,这将一定程度上发生自群繁殖,其结果将导致后代个体遗传组成趋于纯化,遗传性状趋于稳定。由此可见,日本沼虾经过

表7 日本沼虾主要形态性状参数与体质量回归关系的方差分析表

Tab.7 ANOVA analysis of regression of main morphometric traits and body mass in *M. nipponense*

| | | 总平方和 Sum of squares | 自由度 Df | 均方 Mean square | F 值 F-value | 显著性 Significance |
|--------------|---------------|------------------------|-----------|-------------------|----------------|---------------------|
| 雌性 Female | 回归 Regression | 22.695 | 5 | 4.539 | 539.073 | 0.000 |
| | 残差 Residual | 1.633 | 195 | 0.008 | | |
| | 总计 Total | 24.328 | 199 | | | |
| 雄性 Male | 回归 Regression | 32.230 | 2 | 16.115 | 446.874 | 0.000 |
| | 残差 Residual | 2.416 | 67 | 0.036 | | |
| | 总计 Total | 34.646 | 69 | | | |

5代封闭养殖,雌雄两性个体的体质量相对于其他表型形态性状仍保持较大的变异程度和较大的选择潜力,且雄性选择潜力仍大于雌性,在养殖生产和良种选育过程中,可继续保持体质量作为重要经济性状和首要测度指标。

表型形态性状对体质量的相关系数并不能正确判断它们对体质量的影响程度差别,而通径分析则可将相关系数剖分为直接影响和间接影响,并可进一步找出影响体质量的主要表型形态性状^[4]。相关性分析结果显示,经过5代封闭养殖,在雌、雄个体中全长、体长、头胸甲性状等8个表型形态性状与体质量的相关系数均达到极显著的水平,但影响程度大小有差别,可见并非全是影响体质量的重要因子。但通径分析结果显示:在雌性群体中,仅全长、体长、腹部长以及头胸甲高和头胸甲宽对体质量的直接影响达到极显著水平或显著性水平;在雄性个体中,仅全长和头胸甲高对体质量的直接影响达到极显著水平,其余性状均不显著。经进一步多元回归关系的显著性检验、复相关分析和各个偏回归系数的显著性检验验证分析,结果也保持一致。姚江水域野生繁殖一代群体中,雌性群体体长、头胸甲长、头胸甲宽和头胸甲高对体质量直接影响达到极显著水平,雄性群体体长、头胸甲长和头胸甲宽对体质量的直接影响达到极显著水平^[11],太湖野生群体中体长、头胸甲高和头胸甲宽对体质量的影响较大,且体长对体质量的决定程度最大^[12]。与太湖野生群体和姚江野生群体繁殖一代相比,虽然日本沼虾不同地理种群的形态参数存在一定差异但未达到亚种水平^[13]。同一湖泊或流域区段内日本沼虾在遗传结构上常保持稳定^[14-15],而且日本沼虾雌雄个体生长速度不一样,在3月龄之前雌虾生长速度快于雄虾,3月龄之后雄虾生长速度快于雌虾,且差距越来越大^[16]。但是经过5代封闭养殖,全长、体长和头胸甲性状仍是直接影响体质量的重要表型形态性状,仅在雌性群体中,腹部长对体质量的直接影响程度加大,但雌性群体腹部长对体质量的直接影响最小且为负向作用,但它通过全长、体长对体质量的间接作用较大,抵消了负向作用,结果表现为与体质量正向相关。

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($\sum d$)或多元回归模型中决定系数(R^2)在数值上大于或等于0.85时,表明影响依变量的主要自变量已经找到^[4]。保留雌雄日本沼虾中通径系数显著的变量,这些形态性状对体质量总的决定系数在雌雄日本沼虾中分别为0.933和0.930,均大于0.85,说明保留的形态性状是影响体质量的主要性状,其它没有测量的性状或去除的性状影响相对较小,这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。

参考文献:

- [1] 冯建彬,李家乐,程熙. 日本沼虾种质资源挖掘和保护研究进展[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(3): 371-376.
FENG J B, LI J L, CHENG X. Research progress on germplasm resource exploitation and protection of *Macrobrachium nipponense* [J]. Journal of Shanghai Fishery University, 2008, 17(3): 371-376.
- [2] 吕丁,傅洪拓,乔慧,等. 青虾种质资源研究与保护进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(11): 97-102.
LV D, FU H T, QIAO H, et al. Research progress on germplasm resource of *Macrobrachium nipponense* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(11): 97-102.
- [3] Food and Agriculture Organization. Fishery statistics Aquaculture production [R]. Roma: FAO yearbook, 2016.
- [4] 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.
LIU X L, WU C G, ZHANG Z H, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(4): 857-862.
- [5] 安丽,刘萍,李健,等. “黄海1号”中国明对虾形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 779-786.
AN L, LIU P, LI J, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric traits on body weight for *Fenneropenaeus chinensis* named Yellow Sean No. 1 [J]. Journal of Fishery Science of China, 2008, 15(5): 779-786.
- [6] 张成松,李富花,相建海. 脊尾白虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 809-815.
ZHANG C S, LI F H, XIANG J H, et al. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Exopalaemon carinicauda* [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 809-815.
- [7] JIANG S, ZHOU F L, YANG Q B, et al. Correlation and path coefficient analyses of the morphological characteristics and body weight of *Penaeus monodon* (Crustacea, Decapoda,

- Penaeidae) [J]. *Insights in Aquaculture Biotechnology*, 2017, 1: 2.
- [8] 刘仕鑫, 高春霞, 田思泉, 等. 淀山湖秀丽白虾形态性状对体质量的影响效果[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(6): 926-933.
- LIU S X, GAO C X, TIAN S Q, et al. Effect of morphometric traits on body weight for *Exopalaemon modestus* in Dianshan Lake [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(6): 926-933.
- [9] 刘峰, 楼宝, 陈睿毅, 等. 小黄鱼形态性状与体质量的灰色关联分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(1): 131-137.
- LIU F, LOU B, CHEN R Y, et al. Analysis of grey relationship between morphological traits and body weight in the small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(1): 131-137.
- [10] 李莉, 王雪, 菅玉霞, 等. 不同月龄大泷六线鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2019, 28(1): 58-66.
- LI L, WANG X, JIAN Y X, et al. Correlation and path analysis between morphological traits and body mass of *Hexagrammos otakii* at different months of age [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(1): 58-66.
- [11] 王志铮, 吴一挺, 杨磊, 等. 日本沼虾形态性状对体重的影响效应[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(4): 612-618.
- WANG Z Z, WU Y T, YANG L, et al. Effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of *Macrobrachium nipponense* [J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2011, 42(4): 612-618.
- [12] 黄有辉, 范斌, 李一鸣, 等. 日本沼虾五群体形态性状对体质量的通径分析[J]. *水产学报*, 2016, 40(8): 1173-1185.
- HUANG Y H, FAN B, LI Y M, et al. Path analysis for the correlations between morphological traits and body weight in five *Macrobrachium nipponense* populations [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(8): 1173-1185.
- [13] 赵晓勤, 倪娟, 陈立侨, 等. 日本沼虾4种群的形态差异分析[J]. *中国水产科学*, 2006, 13(2): 224-229.
- ZHAO X Q, NI J, CHEN L Q, et al. Analysis of morphological variations among four populations of *Macrobrachium nipponense* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(2): 224-229.
- [14] 姜虎成, 冯建彬, 丁怀宇, 等. 淮河安徽段日本沼虾野生群体遗传结构的微卫星分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(2): 167-175.
- JIANG H C, FENG J B, DING H Y, et al. Genetic structure analysis of natural *Macrobrachium nipponense* populations in Anhui section of Huaihe River based on microsatellite [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(2): 167-175.
- [15] 冯建彬, 吴春林, 马克异, 等. 太湖日本沼虾野生群体遗传结构的微卫星分析[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(6): 1606-1614.
- FENG J B, WU C L, MA K Y, et al. Genetic structure of wild *Macrobrachium nipponense* in Taihu Lake based on microsatellite analysis [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(6): 1606-1614.
- [16] 杨爱辉, 陈马康, 谭玉钧. 青虾生长规律与群体组成的研究[J]. *湖泊科学*, 1994, 6(4): 325-332.
- YANG A H, CHEN M K, TAN Y J. Study on the growth and population compositions of freshwater shrimp (*Macrobrachium nipponense*) [J]. *Journal of Lake Science*, 1994, 6(4): 325-332.

Path analysis of the effects of morphological attributes on body mass in *Macrobrachium nipponense*

FENG Jianbin^{1,2}, MA Keyi¹, LI Jiale^{1,2}

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China)

Abstract: Path analysis was performed on eight morphometric attributes to determine for body mass of *Macrobrachium nipponense*, which were closed cultured for five years in ponds. The direct and indirect effects of eight attributes included total length, body length, carapace length, carapace width, carapace height, abdomen length, second uromere width and height. Results showed that body mass still had the greatest selection potential. And body mass was significantly correlated with the traits of total length, body length, abdomen length, carapace height and carapace width in female, and with traits of the total length and carapace height in male. Furthermore, body length and total length had substantial direct effects on body mass in female and male respectively. The regression equations were established between the selected traits to body mass for the male and female and the regression coefficient of equations reached the extreme significant level. The multiple correlation coefficients of the five attributes in female prawn and two attributes in male prawn to body mass reached 0.933 and 0.930 respectively, which indicated that the selected traits were the main variable index of body mass. Results suggest that body length in female and total length in male are primary selection criteria for improving body mass in *M. nipponense*.

Key words: *Macrobrachium nipponense*; morphometric attributes; body mass; path analysis; correlation analysis; regression equations