

蒋 湘,文赵明,曾凤仙,等. 日本囊对虾选育群体形态性状与体质量的关系[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):235-238.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.055

# 日本囊对虾选育群体形态性状与体质量的关系

蒋 湘<sup>1</sup>,文赵明<sup>1</sup>,曾凤仙<sup>1</sup>,谢 妙<sup>1</sup>,方 仪<sup>2</sup>,刘建勇<sup>2</sup>

(1. 湛江国联水产开发股份有限公司,广东湛江 524022; 2. 广东海洋大学水产学院,广东湛江 524025)

**摘要:**随机选取 13 月龄日本囊对虾选育群体 135 尾,分别测量体质量、体长、头胸甲长、胸宽、胸高、第一腹节宽、第一腹节高、第三腹节高、额上剑刺数与额下剑刺数 10 个性状,采用相关分析与通径分析方法,分别计算各个形态性状与体质量的相关系数、通径系数、决定系数及相关指数,进一步剖分出形态性状对体质量的直接作用与间接作用。结果表明,体长、头胸甲长、胸宽、胸高、第一腹节宽、第一腹节高、第三腹节高、额下剑刺数与体质量极显著相关( $P < 0.01$ );通径分析表明体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高的通径系数达到显著水平( $P < 0.05$ ),通径系数分别为 0.338、0.020、0.055、0.011;体长对体质量的直接作用最大,第一腹节高对体质量的间接作用最大,头胸甲长、胸高、第一腹节高对体质量的间接作用均大于直接作用,并且主要通过体长间接作用体质量;4 个性状对体质量的决定系数总和为 0.893,表明这些性状是影响体质量的主要形态性状;最终建立以  $Y$  为因变量, $X_1$ (体长)、 $X_2$ (头胸甲长)、 $X_4$ (胸高)、 $X_6$ (第一腹节高)为自变量的多元线性回归方程: $Y = -54.257 + 4.062X_1 + 5.922X_2 + 1.879X_4 + 3.591X_6$ 。

**关键词:**日本囊对虾;形态性状;体质量;回归分析;通径系数

**中图分类号:**S966.12<sup>+</sup>5.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)19-0235-04

日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)俗称日本对虾、花虾、斑节虾等,自然分布在印度-西太平洋热带、非洲东海岸、马来西亚、日本、朝鲜、中国东南沿海等海域。中国从河北渤海湾到东南沿海各省并一直延伸到广东、海南等均有大量人工养殖<sup>[1-2]</sup>,日本囊对虾耐干露、色泽艳丽、肉质鲜嫩,长途运输成活率可达 90% 以上,多活虾销售,有较高经济价值,深受养殖户与水产品市场欢迎<sup>[3-5]</sup>。目前,国内日本囊对虾养殖户普遍反映其生长缓慢、病害多发、亲虾质量没有保证等问题,针对以上问题我国已经开展了以生长速度、抗逆性为指标的良种选育<sup>[6-7]</sup>,选择生长性状的最优测量指标是选育的重要基础工作之一,体质量作为重要的生长性状与体长、头胸甲长等形态性状有一定的遗传相关,利用多元回归分析,分析选育对象的形态性状与体质量之间的关系,对选育工作有十分重要的参考作用。

多元分析已经广泛应用于水产动物育种研究与生产量的估计,国内外均有较多报道,刘小林等应用多元回归分析方法研究凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)形态性状对体质量的影响效果,估计相关系数、通径系数等并且建立形态性状对体质量的多元回归方程<sup>[8]</sup>。孙成波等以北部湾野生群体的日本囊对虾为研究对象,应用通径分析方法得到形态性状对体质量的通径系数、决定系数,研究各性状的直接作用与间接作用<sup>[9]</sup>。蔡晓鹏等通过多元分析法分析中国沿海陵水、北海、惠来、诏安、厦门 5 个群体的日本囊对虾的形态性状差异,并

分雌、雄性建立以体质量为因变量的最优多元线性回归方程<sup>[10]</sup>。边力等以 2 月龄的日本囊对虾幼虾为研究对象研究形态性状对体质量的影响<sup>[11]</sup>。国外相关研究,Thomas 等研究短沟对虾(*Penaeus semisulcatus*)体长与体质量的相关,并系统分析条件因子的影响<sup>[12]</sup>。Deboski 等应用多元回归方法建立大西洋鲑鱼(*Salmo salar*)的体长、体质量、体高对脂肪含量的回归方程<sup>[13]</sup>。Rhodes 等研究淡水龙虾(*Austropotamobius pallipes*)体长、体质量、全长、甲壳长的相关性,分析肌肉生产量与脂肪、蛋白质的关系<sup>[14]</sup>。Turker 等对对虾(*Penaeus setiferus*)进行了多元回归分析等<sup>[15-16]</sup>。以上国外的研究主要利用多元回归方程估计目标性状,没有探讨分析方法的特点,不能区分自变量对因变量的直接作用与间接作用;国内研究多是以日本囊对虾野生群体或日本囊对虾养殖的幼虾为研究对象,以经过选育一代的日本囊对虾成虾为研究对象的报道尚未见到。本试验以日本囊对虾选育群体为研究对象,应用逐步多元回归分析法研究日本囊对虾的 9 个形态性状对体质量的影响,计算性状对体质量的直接作用与间接作用、决定系数等,建立以偏回归系数显著性状为自变量对体质量的多元线性回归方程,本研究对日本囊对虾的实际生产应用与日本囊对虾的后续遗传育种工作都有重要理论参考意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所用的日本囊对虾,来自台湾野生群体子一代所建立的 G1 选育基础群体,13 月龄,从留种家系随机挑选大小均匀的个体 135 尾,用精确度 0.02 mm 的游标卡尺测量形态性状,电子天平测量体质量,精确到 0.01 g。

### 1.2 测定方法

测定性状有体长、头胸甲长、胸高、胸宽、第一腹节宽、第一腹节高和第三腹节高<sup>[8]</sup>,体长为尾节末端到眼柄基部长

收稿日期:2017-05-04

基金项目:粤海渔水产良种体系建设项目(编号:[2016]131号);广东省湛江市科技计划(编号:2015A03004)。

作者简介:蒋 湘(1985—),男,湖南祁东人,硕士,水产工程师,主要从事水产动物遗传育种。E-mail:18665753406@163.com。

通信作者:刘建勇,博士,教授,主要从事水产动物遗传育种。

E-mail:liujy70@126.com。

度,直接计数额上剑刺数与额下剑刺数,吸干水后测量体质量。

1.3 分析方法

利用 SPSS 21.0 统计软件对试验数据做统计分析,对所测定的 10 个性状做表型描述分析,再进行表型相关分析,计算表型相关系数及显著性检验,采用通径分析方法得到各性状对体质量的直接影响与间接影响,计算相关指数与决定系数。最后通过逐步回归法建立偏回归系数显著的性状对体质量的多元线性回归方程。计算公式如下<sup>[8]</sup>:

表型相关系数的计算公式:
$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}};$$

通径系数( $P_i$ )就是标准化的偏回归系数: $P_i = b_{y,x_i} \times \frac{e_{x_i}}{e_y}$ ;决定系数分为 2 种:单个自变量对应变量的决定系数,单个决定系

数  $d_i = P_i^2$ ;2 个自变量对因变量的共同决定系数,共同决定系数  $d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j$ ;性状变异系数为标准差与平均值的比值。

多元线性回归方程模型<sup>[11]</sup>: $y_p = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{jp} + \varepsilon_p, p = 1、2、3 \cdots \cdots, n。$ 式中  $y_p$  为因变量, $\alpha$  为常数项, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \cdots \cdots \beta_k$  为偏回归系数, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \cdots \cdots \varepsilon_n$  为相互独立且服从正态分布的随机变量。

2 结果与分析

2.1 性状的描述性统计

所测形态性状与体质量数据经初步整理后表型统计量列表 1。体质量与额上剑刺数的变异系数较大,其中体质量的变异系数为 0.265。

表 1 所测性状的表型统计量

项目	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$Y$
平均数	13.863	5.592	1.884	2.227	1.698	2.067	1.985	8.269	1.034	33.054
标准差	1.006	0.648	0.274	0.299	0.189	0.209	0.285	1.550	0.150	8.771
变异系数	0.073	0.116	0.145	0.134	0.111	0.101	0.143	0.187	0.145	0.265

注: $X_1$  为体长(cm), $X_2$  为头胸甲长(cm), $X_3$  为胸宽(cm), $X_4$  为胸高(cm), $X_5$  为第一腹节宽(cm), $X_6$  为第一腹节高(cm), $X_7$  为第三腹节高(cm), $X_8$  为额剑上刺数, $X_9$  为额剑下刺数, $Y$  为体质量(g)。下表同。

2.2 表型间的相关系数

日本囊对虾各形态性状及体质量相互间的相关系数见表 2。各形态性状间的相关系数大部分都呈显著或极显著相关水平( $P < 0.01$ ),体质量与体长、头胸甲长、胸宽、胸高、第一腹节宽、第一腹节高、第三腹节高极、额下剑刺数极显著正相

关( $P < 0.01$ ),与额上剑刺数无显著相关性( $P > 0.05$ )。这表明所选形态性状有分析意义;其他性状的相关性,额上剑刺数与体长、第一腹节宽、第三腹节高、额下剑刺数无显著相关性( $P > 0.05$ );额上剑刺数与头胸甲宽、胸高、第一腹节高为显著负相关( $P < 0.05$ ),其余性状间均表现极显著相关关系。

表 2 性状间的表型相关系数

性状	相关系数									
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$Y$
$X_1$	1	0.588 **	0.739 **	0.746 **	0.773 **	0.764 **	0.853 **	-0.080	0.412 **	0.921 **
$X_2$		1	0.307 **	0.320 **	0.383 **	0.431 **	0.449 **	0.627 **	0.295 **	0.605 **
$X_3$			1	0.833 **	0.912 **	0.728 **	0.788 **	-0.248 **	0.472 **	0.744 **
$X_4$				1	0.893 **	0.793 **	0.767 **	-0.170 *	0.622 **	0.797 **
$X_5$					1	0.788 **	0.786 **	-0.119	0.561 **	0.814 **
$X_6$						1	0.733 **	-0.182 *	0.536 **	0.798 **
$X_7$							1	-0.098	0.630 **	0.835 **
$X_8$								1	0.030	0.001
$X_9$									1	0.465 **

注:“\*”表示显著相关( $P < 0.05$ ),“\*\*”表示极显著相关( $P < 0.01$ )。下表同。

2.3 日本囊对虾形态性状对体质量的通径分析

各形态性状对体质量的通径系数( $p_i$ )见表 3,根据相关系数的组成效应,自变量与因变量的相关系数可剖分各自变量的直接作用(通径  $p_i$ )和该自变量通过其他自变量对因变量的间接作用和 2 个部分( $r_{xy} = p_i + \sum r_{ij} \times p_j$ )<sup>[17]</sup>。通过 SPSS 显著性检验,保留达到显著性水平的体长( $X_1$ )、头胸甲长( $X_2$ )、头胸甲高( $X_4$ )与第一腹节高( $X_6$ )4 个性状,通径系数体长  $p_1 = 0.581$ 、头胸甲长  $p_2 = 0.143$ 、头胸甲高  $p_4 = 0.234$ 、第一腹节高  $p_6 = 0.107$ ;体长对体质量的直接影响最大,第一腹节高对体质量的间接影响最大,间接影响系数为 0.691,头胸甲长、胸高、第一腹节高对体质量的间接影响均大于直接影

响,并且主要通过体长间接影响体质量。根据各性状的通径系数进而得到相关指数  $R^2 = \sum p_i \times r_{xy} = 0.893$ 。

2.4 日本囊对虾形态性状对体质量的决定程度分析

各形态性状对体质量的决定系数见表 4,表 4 中主对角线上为各性状的单个决定系数,对角线上方的为两性状共同决定系数,单个决定系数体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高分别为 0.338、0.020、0.055、0.011,体长单个决定程度最大,后面依次是胸高、头胸甲长、第一腹节高;体长与头胸甲高的共同决定程度最大(0.203),头胸甲高与第一腹节高的共同决定系数最小(0.040),所有性状的单个决定系数和为 0.424,所有共同决定系数和为 0.469,说明两两性状的共同决定程

表 3 形态性状对体质量的通径系数

性状	相关系数 ( $r_{xij}$ )	直接作用 ( $p_i$ )	间接作用( $r_{ij} \times p_j$ )				
			总和( $\Sigma$ )	$X_1$	$X_2$	$X_4$	$X_6$
$X_1$	0.921 **	0.581 **	0.342	—	0.084	0.176	0.082
$X_2$	0.605 **	0.143 **	0.463	0.342	—	0.075	0.046
$X_4$	0.797 **	0.234 **	0.564	0.433	0.046	—	0.085
$X_6$	0.798 **	0.107 **	0.691	0.444	0.061	0.186	—

度要大于单个性状的决定程度。4 个单独决定系数与 6 个共同决定系数总和为 0.893,与相关指数  $R^2$  相等,且大于 0.85,表明体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高是影响体质量性状的主要性状,而其他性状对体质量的影响相对较小。

表 4 形态性状对体质量的决定系数

性状	决定系数			
	体长 ( $X_1$ )	头胸甲长 ( $X_2$ )	头胸甲高 ( $X_4$ )	第一腹节高 ( $X_6$ )
体长( $X_1$ )	0.338	0.098	0.203	0.095
头胸甲长( $X_2$ )		0.020	0.021	0.013
头胸甲高( $X_4$ )			0.055	0.040
第一腹节高( $X_6$ )				0.011

2.5 日本囊对虾形态性状对体质量的复相关分析与回归分析

根据所测定的数据做复相关分析与多元回归分析,体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高 4 个性状的偏回归系数显著,其他均不显著,全部剔除,结果见表 5、表 6,多元回归方差分析表明,体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高对体质量有极显著的影响( $P < 0.01$ ),所建立的多元回归模型有效。

2.6 多元回归方程的建立

偏回归系数与标准化回归系数检验见表 7,剔除偏回归

表 7 偏回归系数的显著性检验

模型	非标准化系数		标准化系数 $\beta$	$t$ 值	$P$ 值	非标准化系数的 95% 置信区间	
	系数值	标准差				下限	上限
回归截距	-54.257	2.931	—	-18.514	0.000	-60.054	-48.459
$X_1$	4.062	0.383	0.581	10.615	0.000	3.305	4.819
$X_2$	5.922	1.318	0.143	4.494	0.000	3.315	8.529
$X_4$	1.879	0.480	0.234	3.911	0.000	0.929	2.830
$X_6$	3.591	1.763	0.107	2.036	0.044	0.102	7.079

3 讨论和结论

3.1 逐步回归法

SPSS 逐步回归分析的原理,逐步回归法是兼顾前进法与后退法的分析方法,逐个引入自变量,对将引入的变量做回归模型拟合度的方差分析,计算  $F$  值,检验显著时引入到回归方程中,不显著的变量被排除,再引入下一个变量,对原变量与新引入的变量同时作模型的显著性检验,剔除不显著的变量(原变量或新引入变量),直到回归方程中的变量都是对因变量显著的,而回归方程外的变量都是对因变量不显著的,即使先前被排除的变量也可能最后被纳入到回归方程中。在回归方程检验过程中,回归平方和越大,残差的平方和越小, $F$  值越大,拟合的精度越高,这样建立的多元回归模型预测较其他方法准确,是目前应用最广泛的回归分析方法。本研究中国本囊对虾选育群体,应用逐步多元回归分析方法排除对体

表 5 复相关分析

复相关分析	复相关系数 ( $R$ )	相关指数 ( $R^2$ )	校正相关指数 ( $R_{adj}^2$ )	标准 误差
1 个自变量	0.921	0.847	0.846	1.127
2 个自变量	0.935	0.875	0.873	1.033
3 个自变量	0.943	0.889	0.887	0.893
4 个自变量	0.945	0.893	0.889	0.816

表 6 多元回归方差分析

自变量个数	指标	平方和 $SS$	自由度 $df$	均方 $MS$	$F$ 值
4 个自变量	回归	5 145.729	4	1 286.432	270.000 **
	残差	619.393	130	4.765	
	总计	5 765.122	134		

系数不显著的头胸甲宽、第一腹节宽、第三腹节高、额长剑刺数、额下剑刺数,保留偏回归系数显著的体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高,建立体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高对体质量的多元线性回归方程: $Y = -54.257 + 4.062X_1 + 5.922X_2 + 1.879X_4 + 3.591X_6$ ;其中  $Y$  为体质量, $X_1$  为体长、 $X_2$  为头胸甲长、 $X_4$  为胸高、 $X_6$  为第一腹节高。根据所建立回归方程做回归预测,估计值与实际观察值无显著差异( $P > 0.05$ ),说明该方程可以简便可靠地应用于实际生产中。

质量影响不显著的头胸甲宽、第一腹节宽、第三腹节高、额长剑刺数、额下剑刺数 5 个性状,保留对体质量影响显著的体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高 4 个性状,建立最优多元线性回归方程。

3.2 形态性状对体质量的影响差异分析

形态性状间的表型相关由遗传相关与环境相关组成<sup>[18]</sup>,为减少选育过程环境因素的差异,本试验日本囊对虾选育群体在共同环境中养殖,所得表型相关更接近遗传相关,建立回归方程反映各形态性状与体质量间的遗传水平的相关性,估计准确性高<sup>[19]</sup>。从本研究表型相关系数中发现,体质量与第一腹节宽、第三腹节高的相关系数大于头胸甲长、胸高、第一腹节高的,但是回归模型拟合过程中却被排除;头胸甲长与体质量的相关系数小于第一腹节高与体质量的,头胸甲长对体质量的直接作用却大于第一腹节高对体质量的直接作用;并不是与体质量表型相关系数显著的性状都是对体质量影响显

著的性状。由此可见表型相关系数是形态性状与体质量的直接影响、间接影响与环境因素的直接、间接影响等的总和,而直接影响反映两者本质关系,是研究的主要对象<sup>[8]</sup>。

孙成波等研究中得到对北部湾日本囊对虾野生群体体质量影响显著的为体长、头胸甲长、胸宽、胸高、第一腹节宽、第三腹节高和额剑上刺数 7 个性状<sup>[9]</sup>;边力等对 2 月龄的日本囊对虾幼虾的形态性状与体质量的影响研究中得到体长、头胸甲宽、第三腹节宽、第三腹节高 4 个显著的性状<sup>[11]</sup>;董宏标等对 95 日龄的日本囊对虾 2 种形态变异群体的形态性状对体质量的影响研究中发现,2 个变异群体的形态性状对体质量影响显著的性状数量分别为体长、第一腹节宽、胸宽、第 5 腹节长、第 3 腹节长、第 6 腹节宽(6 个)与体长、头胸甲长、第五腹节宽、第一腹节宽(4 个)<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高 4 个性状是影响体质量的主要性状,主要性状数量与性状类型与以上研究结果均有所差异,体长在所有研究结果中均是影响体质量的主要性状,这表明体长作为日本囊对虾选育过程中首要选择的形态性状是合理的。所用统计方法相同,造成分析结果的差异主要是研究对象,不同地理群体、饲养条件、性腺成熟程度、养殖日龄等均会对日本囊对虾某一个或多个形态性状造成差异,影响对体质量显著性程度。李鸿鹏等研究浙江舟山近海日本囊对虾野生群体与越冬养成群体形态性状对体质量影响效果发现,不同的生长环境让影响体质量的性状也发生改变<sup>[21]</sup>;蔡晓鹏等研究发现,不同性别的日本囊对虾形态差异很大,特别是头胸部差异,性腺发育程度主要影响对虾的宽度和高度对长度的比例,并不影响对虾各体节间的长度比例,这种差异导致影响体质量的主要性状发生不同程度改变<sup>[10]</sup>;安丽等研究得到在对虾的不同生长时期,影响体质量的形态性状会有所不同<sup>[22]</sup>。

### 3.3 影响体质量的重点性状的确定

在表型相关分析、通径分析的基础上计算决定系数、相关指数,得到相关指数  $R^2$  等于决定系数的总和为 0.893。刘小林等研究表明,当影响体质量的主要形态性状对体质量的决定系数总和大于或等于 0.85 时,才说明影响体质量的主要形态性状已经找到<sup>[8]</sup>;孙成波等研究中得到的决定系数和均大于 0.85<sup>[9,11,22]</sup>;本研究中  $R^2 = 0.893 > 0.850$ ,与以上研究者结果一致,说明所保留性状体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高是影响体质量的主要性状,其他被剔除性状是影响较小的。通径系数反映自变量对因变量的直接影响大小,它会随着所选择自变量的改变而改变,所考虑的性状越多,样本量越多,分析结果越准确,统计分析越复杂<sup>[17]</sup>。在日本囊对虾选育过程中体长、头胸甲长、胸高、第一腹节高可以作为理想的测度指标。

### 参考文献:

- [1] 蔡心一,苏永全. 虾类的健康养殖[M]. 北京:海洋出版社,1998: 50-55.
- [2] 王克行. 虾蟹类增殖学[M]. 北京:中国农业出版社,1997:85.
- [3] 任永超,丛连政,李延智,等. 日本对虾引进及养殖试验报告[J]. 齐鲁渔业,1992(6):10-12.
- [4] 马云聪,孟繁平,吴连振,等. 池养日本对虾试验报告[J]. 水产科学,1993,12(6):20-22.
- [5] 洪小括. 日本对虾养殖技术简介[J]. 中国水产,1993(4):32-33.
- [6] 毛勇,王军,苏永全. 日本囊对虾“闽海 1 号”[J]. 中国水产,2015(9):50-51.
- [7] 李丽君,宋晓红,林瑶琼,等. 日本囊对虾耐热性性状及其与凡纳滨对虾、脊尾白虾的比较[J]. 中国水产科学,2015,22(3):418-425.
- [8] 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.
- [9] 孙成波,邓先余,李镇泉,等. 北部湾野生日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)体重和形态性状的关系[J]. 海洋与湖沼,2008,39(3):263-268.
- [10] 蔡晓鹏,游欣欣,曾凡荣,等. 中国沿海日本囊对虾 5 个地理群体间形态差异比较分析[J]. 中国水产科学,2010,17(3):478-486.
- [11] 边力,钟声平,刘洪涛,等. 两月龄日本囊对虾形态性状对体质量的通径分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2013,52(3):427-432.
- [12] Thomas M M. Age and growth, length - weight relationship and relative condition factor of *Penaeus semisulcatus* de Haan[J]. Indian Journal of Fisheries,1975,22(2):133-142.
- [13] Deboski P, Dobosz S, Robak S, et al. 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[J]. Archives of Polish Fisheries,1999,7(2):237-243.
- [14] Rhodes C P, Holdich D M. Length - weight relationship, muscle production and proximate composition of the fresh water crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) [J]. Aquaculture, 1984, 37(1):107-123.
- [15] Turker H, Eversole A G. Evaluation of nondestructive method for determining body composition of crayfish [J]. Journal of Shellfish Research,1998,17(1):339-343.
- [16] Caputi N, Brown R S, Phillips B F, et al. Predicting catches of the western rock lobster (*Panulirus cygnus* selective) based on indices of puerulus and juvenile abundance [R]. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea,1995:287-293.
- [17] 杜家菊,陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报,2010,45(2):4-6.
- [18] 罗建仁,白俊杰,朱新平. 水产生物繁育技术[M]. 北京:化学工业出版社,2011:305-306.
- [19] 陈国宏,张勤. 动物遗传原理与育种方法[M]. 北京:中国农业出版社,2009:106-108.
- [20] 董宏标,苏永全,毛勇,等. 日本囊对虾 2 种形态变异类型群体形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2014,53(2):289-296.
- [21] 李鸿鹏,富裕,任凤艺,等. 舟山近海日本囊对虾野生群体与越冬养成群体形态性状对体重和肉重影响的比较[J]. 海洋与湖沼,2015,46(5):1218-1227.
- [22] 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.