

# 克氏原螯虾形态与体重的通径分析

张 龙,石林林,李艳和

(华中农业大学,农业部淡水生物繁育重点实验室,武汉 430070)

**摘要:**确定影响克氏原螯虾体重的主要形态性状,以期为克氏原螯虾的亲本选育、形态辅助育种提供理论基础。选取了350尾雌性克氏原螯虾和302尾雄性克氏原螯虾,分别测量其体重( $Y$ )、全长( $X_1$ )、头胸甲长( $X_2$ )、头胸甲宽( $X_3$ )、腹节总长( $X_4$ )、第一腹节长( $X_5$ )和第一腹节宽( $X_6$ )。以体重为因变量形态性状为自变量,采用相关分析、多元回归分析和通径分析,计算了雌雄克氏原螯虾各性状间的相关系数,通径系数和决定系数。相关分析结果显示,雌雄克氏原螯虾各性状间相关性皆达到了极显著水平( $P<0.01$ );多元回归分析中,剔除了不显著的形态性状,建立的多元回归方程分别为  $Y_{\text{雌}}=-34.689+10.629X_2+6.479X_3+0.803X_1$ ,  $Y_{\text{雄}}=-33.413+5.727X_2+6.770X_3+2.043X_1+3.045X_6$ ;通径分析结果表明,头胸甲长在雌性克氏原螯虾中对体重的直接作用最大,其次是全长和头胸甲宽,全长和头胸甲宽通过头胸甲长对体重的间接作用较大。在雄性中,也是头胸甲长的直接作用最大,其次是全长和头胸甲宽以及第一腹节宽,第一腹节宽通过头胸甲长、宽和全长对体重的间接作用最大。

**关键词:**克氏原螯虾;形态性状;相关分析;多元回归分析;通径分析

中图分类号:S917.4

文献标志码:A

论文编号:casb18020017

## Path Analysis of Morphological Traits and Body Weight of *Procambarus clarkii*

Zhang Long, Shi Linlin, Li Yanhe

(College of Fisheries, Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding,  
Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University Wuhan 430070)

**Abstract:** To provide a theoretical basis for parent breeding and morphological assisted breeding of *Procambarus clarkii*, the main morphological traits affecting the body weight of *P. clarkii* are determined. A total of 350 female and 302 male *P. clarkii* are selected, and their weight( $Y$ ), full length( $X_1$ ), carapace length( $X_2$ ), carapace width( $X_3$ ), abdomen length( $X_4$ ), first abdomen length( $X_5$ ) and first abdomen width( $X_6$ ) are measured respectively. The body weight is used as dependent variable, and the morphological traits are used as independent variable. The correlation analysis, multiple regression analysis and path analysis are conducted to calculate the correlation coefficients, path coefficients and decision coefficients among morphological traits of *P. clarkii*. The correlation analysis showed that all the correlations were highly significant among the traits of the female and male *P. clarkii* ( $P<0.01$ ). In multiple regression analysis, the morphological traits which did not reach the extremely significant level were eliminated and the multiple regression equations were presented as  $Y=-34.689+10.629X_2+6.479X_3+0.803X_1$  in female *P. clarkii* and  $Y=-33.413+5.727X_2+6.770X_3+2.043X_1+3.045X_6$  in male *P. clarkii*. The results of the path analysis indicated that the carapace length had the greatest direct effect on body weight of female *P. clarkii*, followed by the full length and carapace width which mainly affected body weight indirectly through the carapace length. For the male *P. clarkii*, the carapace length also had the

**基金项目:**国家自然科学基金青年基金项目“基于GBS技术的克氏原螯虾系统地理学研究”(31501858);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“克氏原螯虾抗WSSV相关基因和SNP标记的筛选”(2662016QD009);湖北省第二批现代农业产业技术体系“稻田综合种养创新团队”。

**第一作者简介:**张龙,男,1992年出生,硕士研究生,研究方向:水生动物遗传育种。通信地址:430070 湖北省武汉市洪山区狮子山街1号,Tel:027-87282113,E-mail:239023713@qq.com。

**通讯作者:**李艳和,女,1976年出生,副教授,博士,主要从事水生动物遗传育种。通信地址:430070 湖北省武汉市洪山区狮子山街1号,Tel:027-87282113,E-mail:liyanhe@mail.hzau.edu.cn。

**收稿日期:**2018-02-03,修回日期:2018-03-02。

greatest direct effect on weight, followed by the full length, carapace width, the first abdomen width and the first abdomen width which had the largest indirect effect on weight through the carapace length, carapace width and the full length.

**Keywords:** *Procambarus clarkii*; morphological traits; correlation analysis; multiple regression analysis; path analysis

## 0 引言

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)是淡水螯虾的一个种,在动物分类学上隶属于十足目(Decapoda)、螯虾亚目(Astacidea)、螯蛄科(Cambaridae)、原螯虾属(*Procambarus*)<sup>[1]</sup>。克氏原螯虾在中国广泛分布于江苏、安徽、浙江、江西、湖北、台湾等20多个省、市、自治区<sup>[2]</sup>,常见于湖泊、沟渠、沼泽和稻田等水域<sup>[3]</sup>。因其虾肉味道鲜美,营养价值高而具有巨大的经济价值<sup>[4]</sup>。据《2017中国渔业统计年鉴》统计,克氏原螯虾2016年产量为850000 t,较2015年增幅达17.85%。但近年来,病害、近亲繁殖以及生存环境的污染给克氏原螯虾的养殖带来了严重的威胁<sup>[5]</sup>,因此有必要选育具有优质性状的克氏原螯虾。

目前,关于克氏原螯虾的研究,主要集中在病害、养殖、营养及入侵生物学等方面<sup>[6-9]</sup>,形态学上的研究近年才开始,且形态学的研究主要集中在种内不同群体的形态差异上<sup>[10-14]</sup>,有关形态性状与体重的相关性研究鲜有报道。体重是遗传育种和苗种繁育的重要依据,是选育优质品种最直接的目标性状之一<sup>[15]</sup>,但在实际选育过程中,仅仅依靠体重进行选育还不够准确,因此需要其他形态性状进行间接选择,以便于选择出具有选育潜力的克氏原螯虾。本研究分别测量了350尾雌性克氏原螯虾和302尾雄性克氏原螯虾的性状参数,分析了形态性状与体重的相关性,建立了主要形态性状与体重的多元回归方程,旨在为克氏原螯虾的亲本选择和形态辅助育种提供理论依据。

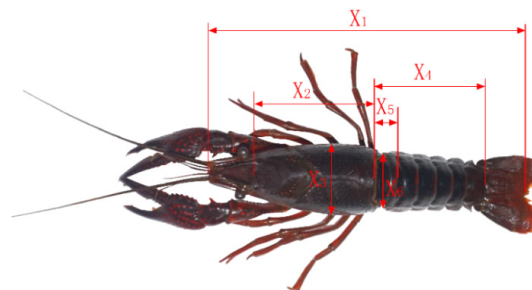
## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本研究所用实验材料为从四川,重庆,湖北,湖南,江西,河南,安徽,江苏,浙江以及上海等地采集的形态完整(如螯肢、腹肢完整且对称)的野生克氏原螯虾共652尾,其中雌性350尾,雄性302尾。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 测量方法** 用游标卡尺测量每尾克氏原螯虾的全长( $X_1$ )、头胸甲长( $X_2$ )、头胸甲宽( $X_3$ )、腹节总长( $X_4$ )、第一腹节长( $X_5$ )和第一腹节宽( $X_6$ ),精度为0.01 mm,测量位点见图1。用吸水纸擦干克氏原螯虾表面后,用电子天平称量体重( $Y$ ),精度为0.01 g。



$X_1$  全长;  $X_2$  头胸甲长;  $X_3$  头胸甲宽;  $X_4$  腹节总长;  $X_5$  第一腹节长;  $X_6$  第一腹节宽

图1 克氏原螯虾形态测量位点

**1.2.2 分析方法** 用EXCEL对克氏原螯虾各性状测量数据进行初步整理,得到平均值、标准差和变异系数,获得各性状参数统计量。运用SPSS 23.0对各性状间进行相关分析,采用多元回归分析剔除掉对体重性状不显著的形态性状,对显著的形态性状进行通径分析并计算决定系数。

相关系数 $r$ 的计算见公式(1)。通径系数 $P_i$ 的计算见公式(2)。单一自变量和2个变量对因变量的决定系数分别见公式(3)、(4)。

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

$$P_i = b_{xi} \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_y} \quad \dots\dots\dots (2)$$

其中, $b_{xi}$ 为自变量偏回归系数, $\sigma_{x_i}$ 为自变量的标准差, $\sigma_y$ 为因变量的标准差。

$$d_i = P_i^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$d_{ij} = 2r_{ij}P_iP_j \quad \dots\dots\dots (4)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 各性状参数统计量

克氏原螯虾各性状的平均值、标准差及变异系数如表1,可见雌性在各性状参数的平均值上均略大于雄性。雌雄克氏原螯虾性状变异系数皆为体重>第一腹节宽>腹节总长,雌雄克氏原螯虾体重性状的变异系数分别为44.81%和39.36%,表明克氏原螯虾的重量性状的选择潜力远大于其他形态性状。

表1 克氏原螯虾各性状参数统计量

性状	雌性			雄性		
	平均值	标准差	变异系数/%	平均值	标准差	变异系数/%
Y/g	20.39	9.14	44.81	18.52	7.29	39.36
X <sub>1</sub> /mm	86.00	12.94	15.05	81.24	9.86	12.14
X <sub>2</sub> /mm	32.95	5.26	15.97	31.23	4.32	13.82
X <sub>3</sub> /mm	20.31	3.38	16.63	19.38	2.81	14.48
X <sub>4</sub> /mm	31.36	4.65	14.82	29.30	3.73	12.72
X <sub>5</sub> /mm	5.99	0.94	15.73	5.63	0.81	14.41
X <sub>6</sub> /mm	14.90	2.57	17.27	14.22	2.14	15.09

2.2 对体重性状的正态检验

对雌雄克氏原螯虾的体重性状进行正态性检验, 本研究中雌雄克氏原螯虾的样本量均大于 40, 属于大样本, 因此采用 Kolmogorov-Smirnov Test 对体重性状进行检验, 结果显示雌雄克氏原螯虾体重性状的统计量分别为 0.044 和 0.046, 显水平分别为 Sig.=0.184>0.05 和 Sig.=0.200>0.05(表 2), 所以雌雄克氏原螯虾的体重性状 Y 均服从正态分布, 可以进行相关性分析和回归分析。

2.3 各性状间的相关分析

克氏原螯虾各性状间的相关分析结果显示雌雄克氏原螯虾各性状间均呈极显著相关( $P<0.01$ )(表 3)。其中各形态性状与体重性状的相关性中, 雌雄克氏原

螯虾结果一致, 均为头胸甲长>全长>头胸甲宽>第一腹节宽>腹节总长>第一腹节长。从相关强度上看<sup>[16]</sup>, 雌性中所有形态性状与体重性状呈高度相关( $0.8<r<1$ ); 雄性中, 头胸甲长、全长和头胸甲宽与体重呈高度相关( $0.8<r<1$ ), 第一腹节宽、腹节总长和第一腹节长与体重呈显著相关( $0.5<r\leq 0.8$ )。相关性分析表明所选取克氏原螯虾的形态性状的变化能引起体重性状变化, 具有实际意义。

2.4 形态性状与体重性状的回归分析

以体重为因变量, 形态性状为自变量, 运用 SPSS 23.0 进行逐步回归分析, 参照显著性检验结果(表 4)。在雌性的回归分析中, 剔除了腹节总长( $X_4$ )、第一腹节长( $X_5$ )和第一腹节宽( $X_6$ ); 在雄性的回归分析中, 剔除

表2 克氏原螯虾体重正态检验

性状	性别	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		统计量	自由度	显著水平	统计量	自由度	显著水平
Y	雌	0.044	350	0.184	0.987	350	0.004
	雄	0.046	302	0.200	0.986	302	0.004

表3 克氏原螯虾各性状间相关系数

性状	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
Y	1.000	0.912**	0.943**	0.911**	0.837**	0.810**	0.849**
X <sub>1</sub>	0.879**	1.000	0.951**	0.905**	0.928**	0.858**	0.889**
X <sub>2</sub>	0.888**	0.928**	1.000	0.930**	0.871**	0.854**	0.883**
X <sub>3</sub>	0.839**	0.818**	0.848**	1.000	0.823**	0.818**	0.834**
X <sub>4</sub>	0.739**	0.875**	0.779**	0.700**	1.000	0.823**	0.852**
X <sub>5</sub>	0.704**	0.760**	0.748**	0.669**	0.660**	1.000	0.799**
X <sub>6</sub>	0.782**	0.834**	0.801**	0.731**	0.747**	0.727**	1.000

注:\*\*表示极显著水平( $P<0.01$ ), 对角线上方为雌性克氏原螯虾各性状间相关系数, 对角线下方为雄性克氏原螯虾各性状间相关系数。

了腹节总长( $X_4$ )和第一腹节长( $X_5$ )。建立的雌雄克氏原螯虾形态性状与体重性状的最优回归方程如下:

$$Y_{雌}=-34.689+10.629X_2+6.479X_3+0.803X_1 \quad R^2=0.898$$

..... (5)

$$Y_{雄}=-33.413+5.727X_2+6.770X_3+2.043X_1+3.045X_6$$

$R^2=0.830$  ..... (6)

形态性状与体重性状回归的方差分析是对回归方程显著性的检验,雌性显著性检验的 $F$ 值为1021.543,显著性水平为0.000;雌性显著性检验的 $F$ 值为369.478,显著性水平为0.000(表5),表示回归线型整

体解释变异量达到显著水平,所建立的回归方程成立。

2.5 主要形态性状对重量性状的通径分析

在回归分析剔除差异不显著的形态性状之后,可得到形态性状对体重性状的相关系数和通径系数,并计算得到间接通径系数(表6)。

在雌性中,头胸甲长的直接作用最大,其次是头胸甲宽,直接作用最小的是全长;间接作用中,头胸甲宽和全长的间接作用较大,且头胸甲宽和全长通过头胸甲长的间接作用远比通过其他性状的间接作用大。因此,头胸甲长是影响雌性克氏原螯虾体重最重要的一

表4 克氏原螯虾形态性状与体重性状的回归系数检验

性别	因变量	自变量	回归系数	标准误差	标准回归系数	t-统计量	P值
雌	Y	截距	-34.689	1.052		-32.980	0.000
		$X_2$	10.629	1.126	0.612	9.439	0.000
		$X_3$	6.479	1.282	0.239	5.055	0.000
		$X_1$	0.803	0.397	0.114	2.024	0.044
雄	Y	截距	-33.413	1.457		-22.928	0.000
		$X_2$	5.727	1.188	0.339	4.821	0.000
		$X_3$	6.770	1.186	0.261	5.708	0.000
		$X_1$	2.043	0.518	0.276	3.943	0.000
		$X_6$	3.045	1.484	0.090	2.052	0.041

表5 克氏原螯虾表型与体重性状回归分析的方差分析

性别	因变量	指标	平方和	自由度	均方	F	P值
雌	Y	回归	26190.345	3	8730.115	1021.543	0.000
		残差	2956.918	346	8.546		
		总计	29147.263	349			
雄	Y	回归	13320.832	4	3330.208	369.478	0.000
		残差	2676.944	297	9.013		
		总计	15997.776	301			

表6 形态性状对重量性状的通径分析

性别	性状	相关系数	直接作用 (通径系数)	间接作用(间接通径系数)				
				$\Sigma$	$X_2$	$X_3$	$X_1$	$X_6$
雌性	$X_2$	0.943**	0.612	0.33		0.222	0.108	
	$X_3$	0.911**	0.239	0.672	0.569		0.103	
	$X_1$	0.912**	0.114	0.798	0.582	0.216		
雄性	$X_2$	0.888**	0.339	0.549		0.221	0.256	0.072
	$X_3$	0.839**	0.261	0.579	0.287		0.226	0.066
	$X_1$	0.879**	0.276	0.603	0.315	0.213		0.075
	$X_6$	0.782**	0.090	0.693	0.272	0.191	0.230	



个因素。

在雄性中,头胸甲长的直接作用最大,其次是全长、头胸甲宽和第一腹节宽;间接作用中,第一腹节宽的间接作用最大,其次是全长、头胸甲宽和头胸甲长,第一腹节宽通过头胸甲长、宽和全长起作用,但头胸甲长、宽和全长通过第一腹节长起的作用却非常小。可见影响雄性克氏原螯虾体重性状的形态性状中,头胸甲长、宽和全长是非常重要的因素。

2.6 形态性状对体重性状的决定程度

决定系数能够反应形态性状对体重性状的影响程度,在雌性中,单一性状对体重性状决定程度最高的是头胸甲长,其次是头胸甲宽;共同决定程度中,头胸甲长和其他性状的共同决定程度高于其他性状间的共同决定程度(表7),说明头胸甲长对雌性体重性状有重要影响。

在雄性中,在单一性状决定程度最高的也是头胸甲长,其次是全长、头胸甲宽和第一腹节宽;共同决定程度中同雌性一样,也是头胸甲长的决定程度最大,说明头胸甲长在雄性克氏原螯虾中对体重性状也有着重要影响(表7)。

表7 形态性状对体重的决定系数

性别	性状	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
雌	$X_1$	0.013	0.133	0.049	
	$X_2$		0.375	0.272	
	$X_3$			0.057	
雄	$X_1$	0.076			
	$X_2$	0.174	0.115		
	$X_3$	0.118	0.150	0.068	
	$X_4$	0.041	0.050	0.034	0.008

注:对角线上的数值表示单一性状对体重的决定系数,非对角线上的数值表示两性状对体重的决定系数。

3 讨论与结论

3.1 影响克氏原螯虾体重主要形态性状的确定

相关分析是两变量相关性的综合体现,其不仅包含变量的直接作用,也包含了其他变量的间接影响,因此,单独的相关分析带有一定的片面性<sup>[17]</sup>。多元回归分析可以剔除对因变量不显著的自变量,以消除变量间的混淆。通径分析具有相关分析和多元回归分析的优点,并能有效克服它们的不足,可真实反应自变量与

因变量的关系。并且通径分析可区分出直接作用和间接作用,能够全面的反应变量间的关系。

相关分析表明雌雄克氏原螯虾各形态性状与体重性状表现出高度相关,但通径分析结果显示,头胸甲长对雌性克氏原螯虾的体重直接影响最大,其次为头胸甲宽和全长,雄性也是头胸甲长对体重的直接影响最大,其次为全长、头胸甲宽和第一腹节宽,其它形态性状对雌雄克氏原螯虾体重的影响很小。张小谷等<sup>[18]</sup>对克氏原螯虾形态与体重关系分析的结果表明,全长、头胸甲长和头胸甲宽是影响雌性克氏原螯虾体重的重要因素,全长和头胸甲宽是影响雄性克氏原螯虾体重的重要因素。张敏莹等<sup>[19]</sup>对太湖秀丽白虾的通径分析指出影响太湖秀丽白虾体重的主要形态是体长、腹长和额剑长;刘凯等<sup>[20]</sup>认为全长、体长和第二步足长是影响长江下游日本沼虾体重的主要因素。张成松等<sup>[21]</sup>的研究表明,体长、头胸甲宽、头胸甲高和第一腹节宽是影响脊尾白虾体质量的主要自变量。本研究的结果与张小谷的研究结果基本一致,与张敏莹、刘凯和张成松等的研究结果存在差异,主要原因可能是不同种类的虾形态上存在差异。

3.2 所采样品及克氏原螯虾性别对实验结果的影响

克氏原螯虾入侵中国已有数十年,在这数十年的繁衍与迁徙中,克氏原螯虾受到不同水域气候、水环境等因素的影响,不同地区的克氏原螯虾在形态上可能会有所不同。因此,本研究所采克氏原螯虾来自全国不同水域,包括长江水系上游干流、长江水系中游支流、长江水系下游支流、鄱阳湖、洞庭湖、太湖和梁子湖等,采样地点覆盖中国10个省的23个市、县,尽可能多的收集不同地区克氏原螯虾的形态特征,以期全面、准确的反应克氏原螯虾各形态性状与体重的关系。当然,多个克氏原螯虾种群可能也是与上述其它研究者结果存在差异的原因之一。

在虾类形态与体重的相关研究中,大多数都忽略掉了雌雄之间的形态差异<sup>[19,22-25]</sup>。但是,有研究<sup>[10-12,26]</sup>表明雌雄形态的主成分和个体判别方程有所不同,说明雌雄形态可能存在差异,这种差异可能会导致影响雌雄克氏原螯虾体重的形态性状产生差异。本研究中,将克氏原螯虾分为雌雄2个群体进行实验,以此消除雌雄形态差异带给实验结果来的影响。实验结果表明影响雌雄克氏原螯虾体重的形态性状确实存在差异:影响雌性克氏原螯虾体重的形态性状中头胸甲长>头胸甲宽>全长,而在雄性中是头胸甲长>全长>头胸甲宽>第一腹节宽,由此可以看出影响雌雄克氏原螯虾体重最重要的因素是头胸甲长,但第二重要因素雌雄

却相反,此外第一腹节宽对雄性克氏原螯虾有明显影响,但在雌性中却表现不明显。

### 3.3 需要进一步研究的问题

通径分析时,一般认为相关指数 $R^2$ 或者两两性状决定系数的总和大等于0.85时,才算找到了影响因变量的主要自变量。在本研究中,雌性克氏原螯虾全长、头胸甲长和头胸甲宽对体重的相关指数为0.898,因此可以认为这3个性状是影响雌性克氏原螯虾的主要性状;雄性克氏原螯虾全长、头胸甲长、头胸甲宽和第一腹节宽对体重的相关指数为0.830,略小于0.85,说明本实验测量的形态指标数偏少,除了这几个性状外还有一些性状对雄性克氏原螯虾的体重有比较大的影响,比如螯肢,克氏原螯虾螯肢大而有力,在其觅食、打洞、争斗过程中都发挥了巨大的作用。克氏原螯虾高举双螯做出攻击态势时,需要一定体重保持身体平衡,因此,螯肢可能会对克氏原螯虾体重有一定影响。

此外,何铜等<sup>[27]</sup>对凡纳滨对虾的研究以及唐瞻杨等<sup>[28]</sup>对尼罗罗非鱼的研究表明不同月龄水产动物的形态主成分不同,安丽等<sup>[22]</sup>对“黄海1号”中国明对虾的研究表明不同月龄的对虾影响其体重的形态性状也不同。本实验未考虑月龄差异,所采样品均为野生克氏原螯虾,无法准确鉴定其月龄。月龄差异是否会影响克氏原螯虾形态性状与体重的关系需进一步研究。

本研究中,雌雄克氏原螯虾各形态性状与体重性状的相关系数均达到了极显著水平( $P<0.01$ ),但在多元回归分析中,雌性克氏原螯虾剔除了与因变量不显著的腹节总长、第一腹节长和第一腹节宽;雄性克氏原螯虾则剔除了腹节总长和第一腹节长。进一步的通径分析表明,在雌性中,头胸甲长对体重的影响最大,其次是头胸甲宽和全长,其通径系数分别为0.612,0.239和0.114;在雄性中,头胸甲长对体重的影响最大,其次为全长、头胸甲宽和第一腹节宽,其通径系数为0.339,0.276,0.261和0.090。以上结果可为克氏原螯虾亲本选择和形态辅助育种提供理论依据。

### 参考文献

- [1] 何琦瑶,汪开毓,刘韬,等. 湖北省潜江地区克氏原螯虾白斑综合征PCR诊断及组织病理学观察[J]. 水产学报,2018,42(1):131-140.
- [2] 李艳和. 克氏原螯虾在中国的入侵遗传学研究[D]. 武汉:华中农业大学,2013.
- [3] 蔡凤金,武正军,何南,等. 克氏原螯虾的入侵生态学研究进展[J]. 生态学杂志,2010,29(1):124-132.
- [4] 邹节新,汪雁,钟永亮,等. 鄱阳湖克氏原螯虾的分布现状及其群体外部形态聚类分析[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(3):415-421.
- [5] 李喜莲,李飞,朱俊杰,等. 基于SSR标记的克氏原螯虾种质资源遗传多样性研究[J]. 华中农业大学学报,2016,35(2):63-68.
- [6] Yi S K, Li Y H, Shi L L, et al. Novel Insights into Antiviral Gene Regulation of Red Swamp Crayfish, *Procambarus clarkii*, Infected with White Spot Syndrome Virus [J]. Genes, 2017, 8(11):320.
- [7] 周鑫. 淡水小龙虾高效养殖模式攻略[M]. 北京:中国农业出版社,2015.
- [8] Li Y H, Guo X W, Cao X J, et al. Population genetic structure and post-establishment dispersal patterns of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in China [J]. PLOS ONE, 2013, 7:1-8.
- [9] 刘襄河,孔江红. 克氏原螯虾的营养需求研究进展[J]. 科学养鱼, 2017(4):24-26.
- [10] 韩晓磊,马强,李小蕊,等. 不同地区克氏原螯虾群体的形态差异分析[J]. 水生生态学杂志,2011,32(3):82-87.
- [11] 郑友,胡火根,唐建清,等. 不同水域克氏原螯虾群体的形态差异分析[J]. 南昌大学学报:理科版,2014,(1):96-102.
- [12] 张萌,白俊,金辉,等. 不同地理群体的克氏原螯虾形态差异多元分析[J]. 南昌大学学报:理科版,2016,40(2):188-196.
- [13] 韩晓磊,马强,李小蕊,等. 中国螯虾科虾类(克氏原螯虾和东北螯虾)形态差异及判别分析[J]. 中国农学通报,2011,27(11):61-65.
- [14] Simona Đ, Martina J, Aleksandra M, et al. Morphometric variations among *Astacus astacus* populations from different regions of the Balkan Peninsula [J]. Zoomorphology, 2017,136(1):19-27.
- [15] 佟广香,匡友谊,许凌雪,等. 哲罗鲑形态性状与体重的相关性分析[J]. 水产学杂志,2011,24(2):31-36.
- [16] 冯岩松. SPSS 22.0 统计分析应用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2015.
- [17] 王新安,马爱军,许可,等. 大菱鲂幼鱼表型形态性状与体重之间的关系[J]. 动物学报,2008,54(3):540-545.
- [18] 张小谷,王建民,曹烈,等. 克氏原螯虾形态性状与体重的关系[J]. 南昌大学学报:理科版,2010,34(2):195-199,204.
- [19] 张敏莹,刘凯,段金荣,等. 太湖秀丽白虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 中国农学通报,2010,26(21):417-421.
- [20] 刘凯,张敏莹,段金荣,等. 长江下游日本沼虾形态特征及主要性状对体重的影响[J]. 云南农业大学学报:自然科学版,2011,26(5):645-652.
- [21] 张成松,李富花,相建海. 脊尾白虾形态性状对体质量影响的通径分析[J]. 水产学报,2013,37(06):809-815.
- [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(5):779-786.
- [23] 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):15-22.
- [24] 李洋,刘萍,李健,等. 脊尾白虾形态性状对体重的相关性及其通径分析[J]. 渔业科学进展,2012,33(6):59-65.
- [25] 邓平平,戴习林,臧维玲,等. 罗氏沼虾形态性状对体重的影响[J]. 江苏农业科学,2012,40(7):205-211.
- [26] 黄有辉. 日本沼虾不同地理种群形态学及多样性研究[D]. 上海:华东师范大学,2016.
- [27] 何铜,刘小林,杨长明,黄皓,相建海. 凡纳滨对虾各月龄性状的主成分与判别分析[J]. 生态学报,2009,29(04):2134-2142.
- [28] 唐瞻杨,肖俊,李莉萍,等. 尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)不同月龄性状的主成分与判别分析[J]. 海洋与湖沼,2012,43(02):288-293.