

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200806001

http://www.yykxjz.cn/

张新明, 程顺峰. 鹰爪虾形态性状和体重的通径分析及灰色关联分析. 渔业科学进展, 2022, 43(1): 153-162
ZHANG X M, CHENG S F. Path analysis and gray correlation analysis of morphological traits to body weight of *Trachypenaeus curvirostirs*. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(1): 153-162

鹰爪虾形态性状和体重的通径分析 及灰色关联分析*

张新明^{1,2①} 程顺峰³

(1. 日照职业技术学院海洋工程学院 山东 日照 276826; 2. 日照市海洋生物工程技术研究中心
山东 日照 276826; 3. 青岛农业大学生命科学学院 山东 青岛 266109)

摘要 为探究鹰爪虾(*Trachypenaeus curvirostirs*)形态性状和体重的关系,本研究测定了体重(Y)及全长(X_1)、体长(X_2)、头胸甲长(X_3)、头胸甲宽(X_4)、头胸甲高(X_5)、第1腹节长(X_6)、第1腹节宽(X_7)、第1腹节高(X_8)、第6腹节长(X_9)、第6腹节宽(X_{10})、第6腹节高(X_{11})、尾节长(X_{12})、尾扇长(X_{13}) 13个形态性状,通过通径分析和灰色关联分析等方法研究了各性状之间的关系。结果显示,雌性鹰爪虾各生物学指标均大于雄性,雌、雄群体各性状之间均呈极显著正相关关系($P < 0.01$),体长(X_2)与体重的相关系数均最大(分别为0.972和0.969);通径分析和决定系数分析发现,雌、雄群体体长(X_2)对体重的直接影响和直接决定系数均最大(通径系数分别为0.443和0.519),雌、雄群体对体重间接作用最大的形态性状分别为第1腹节宽(X_7) (作用系数之和为0.750)和尾节长(X_{12}) (作用系数之和为0.887),雌性群体体长(X_2)和头胸甲高(X_5)的共同决定系数最大(0.167),雄性群体全长(X_1)和体长(X_2)的共同决定系数最大(0.248)。采用逐步回归法建立雌、雄群体形态性状与体重的多元回归方程分别为 $Y_1 = -14.563 + 0.133X_2 + 0.374X_7 + 0.282X_5 + 0.225X_{13}$ ($R^2 = 0.978$)、 $Y_2 = -7.947 + 0.092X_2 + 0.309X_4 + 0.203X_{10} + 0.036X_1 - 0.087X_{12}$ ($R^2 = 0.980$)。雌性群体形态性状与体重的关联系数平均值在0.868~0.941之间,雄性群体的平均值在0.793~0.906之间,从同一形态性状来看,雌性群体与体重量关联系数的平均值均大于雄性群体。雌、雄群体体长(X_2)与体重的关联度均为最高。通径分析结果和灰色关联分析结果并不完全相同,综合比较分析得出,在进行鹰爪虾选育时,雌、雄群体以体长(X_2)作为主要选择性状,雌性群体辅助选择头胸甲高(X_5)和第1腹节宽(X_7);雄性群体辅助选择头胸甲宽(X_4)和全长(X_1)。

关键词 鹰爪虾; 形态性状; 体重; 通径分析; 灰色关联分析

中图分类号 S917 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2022)01-0153-10

鹰爪虾(*Trachypenaeus curvirostirs*)是一种广温、高盐、营底栖生活的虾类,从东非、南亚、澳大利亚

* 国家星火计划项目(2015GA740101)、国家教学资源库项目(教职成司函[2019]26号,编号2018-01)、山东省职业教育名师工作室项目(鲁教师函[2018]1号,编号15)和山东省高等学校青创人才引育计划项目(S190007170001)共同资助
[This work was supported by National Starfire Plan (2015GA740101), National Teaching Resource Base for Aquaculture Technology Specialty ([2019]26-2018-01), the First Batch of Shandong Provincial Vocational Education Masters Studio Project ([2018]1-15), and Youth Innovation Talent Induction Project in Colleges and Universities of Shandong Province (S190007170001)]

① 通讯作者: 张新明, 副教授, E-mail: zxm9706@163.com

收稿日期: 2020-08-06, 收修改稿日期: 2020-09-19

到东亚一带及我国四大海域均有分布,是我国重要的捕捞品种之一(张树德等,1992)。2019年鹰爪虾捕捞产量约为24万t,相比于2015年下降了约12.6万t,资源量急剧减少(农业农村部渔业渔政管理局等,2020)。目前,关于鹰爪虾的研究主要集中在养殖生物学(吴长功等,2000、2001;周岭华等,1999;张树德,1990;张玉钦等,2017)、捕捞(阎永祥等,1996)、资源分布(宋海棠等,2004;叶孙忠等,2012)、保鲜与加工(李玉环等,2001;曹荣等,2009)、分子生物学(Zhu et al, 2019;王在照等,2002)和酶活性质(林瑞环等,2021)等方面。关于鹰爪虾繁育和养殖方面的研究较少。凡守军等(1999)攻克了鹰爪虾的人工育苗技术,培育出10万尾仔虾,并进行了养殖实验。开展鹰爪虾遗传育种学方面的研究对于提高其养殖产量和选择效率、促进养殖产业的发展具有重要价值。

运用通径分析法开展动物形态性状和体重关系的研究是动物育种中常用的方法。梁健等(2020)采用通径分析方法分析了不同地理群体的菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)表型性状对软体重的作用效果,结果显示,影响体重的主要因素分别为壳宽、壳长和壳高。林先鑫等(2019)对企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*)的研究结果显示,当以湿重为选育目标时,6月龄和8月龄幼贝分别以壳宽和壳高为首选性状。张龙等(2019)研究表明,克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)头胸甲长是影响其体重的主要形态性状。吴水清等(2019)研究表明,15月龄云龙石斑鱼(*Epinephelus moara*♀×*Epinephelus lanceolatus*♂)的体高对体重的影响最大。李莉等(2019)研究显示,18月龄大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)的全长和体高对体重具有决定作用。

灰色关联分析法是衡量因素间关联程度的一种方法,具有所需样本小、方法简便、信息量大等特点(苏胜彦等,2011;刘永新等,2014),在植物育种中广泛应用,在水生动物育种中同样适用。苏胜彦等(2011)进行了3个鲤(*Cyprinus carpio* L.)群体杂交后代生长性状的灰色关联分析。刘永新等(2014)运用灰色关联度分析法研究了牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)形态性状与体重的关系,结果显示,全长、体长、尾柄高和躯干长与体重的关联度最大,是培育高产牙鲆的重要评价指标。

目前,仅有鹰爪虾单一形态性状和体重关系的研究,张树德(1983、1990)和张玉钦等(2017)分别研究了头胸甲长、体长与体重的幂函数关系模型,而未见其他形态性状与体重之间关系的研究。本研究采用通径分析和灰色关联分析方法研究鹰爪虾13个形态性状与体重的关系,并比较这2种方法的结果差异,旨

在为开展鹰爪虾育种工作提供参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验所用鹰爪虾为2020年4月捕获于山东日照近海的野生群体,样本采捕后加冰低温运送至实验室。从鹰爪虾样本中挑选体重较大的108尾(雄性50尾,雌性58尾)进行测量和相关研究,样品的平均体重为(6.141±2.410)g,平均体长为(75.945±8.816)mm。

1.2 实验方法

参考边力等(2013)和蔡晓鹏等(2010)的测量方法,使用精度为0.02mm的游标卡尺逐一测量每尾鹰爪虾的全长(X_1)、体长(X_2)、头胸甲长(X_3)、头胸甲宽(X_4)、头胸甲高(X_5)、第1腹节长(X_6)、第1腹节宽(X_7)、第1腹节高(X_8)、第6腹节长(X_9)、第6腹节宽(X_{10})、第6腹节高(X_{11})、尾节长(X_{12})和尾扇长(X_{13})13个形态性状。使用精度为0.01g的电子天平逐一称量每尾鹰爪虾的重量(Y)。

1.3 数据处理

使用Excel和SPSS17统计学软件进行数据的描述性统计、相关系数、回归分析、通径分析和灰色关联分析,通径分析和灰色关联分析分别参考梁健等(2020)和刘永新等(2014)的研究方法。

2 结果与分 析

2.1 鹰爪虾生物学性状测量结果

鹰爪虾形态性状和体重的测量结果见表1和表2。从表1可以看出,体重的变异系数为39.249%,形态性状的变异系数在11%~18%之间,说明鹰爪虾体重的选择潜力较大。形态性状数据从大到小排列顺序依次为全长(X_1)、体长(X_2)、头胸甲长(X_3)、尾扇长(X_{13})、尾节长(X_{12})、头胸甲高(X_5)、头胸甲宽(X_4)、第1腹节高(X_8)、第1腹节宽(X_7)、第6腹节长(X_9)、第6腹节高(X_{11})、第1腹节长(X_6)和第6腹节宽(X_{10})。从表2可以看出,雌性鹰爪虾各形态性状和体重的指标均大于雄性群体, t 检验结果显示,二者差异极显著($P<0.01$),说明鹰爪虾雌雄差别显著。雌性群体体重的变异系数显著大于雄性群体,雌性群体形态性状的变异系数在6%~15%之间,而雄性群体变异系数在5%~9%之间,说明雄性群体形态性状相对稳定。

2.2 鹰爪虾生物学性状相关分析

由表3可知,鹰爪虾形态性状之间以及形态性状

表 1 鹰爪虾各性状指标的测量结果
Tab.1 Descriptive statistical results of various traits of *T. curvirostirs*

项目 Items	性状 Traits													
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	Y
平均值 Mean/cm	91.462	75.945	20.694	10.466	11.218	7.407	9.829	9.854	9.707	4.924	7.922	11.425	15.468	6.141
标准差 SD	11.121	8.816	3.455	1.927	2.036	0.848	1.620	1.810	1.110	0.727	1.171	1.498	1.814	2.410
变异系数 CV/%	12.159	11.608	16.697	18.413	18.148	11.443	16.478	18.372	11.434	14.757	14.778	13.111	11.728	39.249

表 2 鹰爪虾雌雄群体各性状指标的数据比较
Tab.2 Data comparison of male and female traits of *T. curvirostirs*

性别 Sex	项目 Items	性状 Traits													
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	Y
雌性 Female	平均值 Mean /cm	99.605	82.781	23.404	11.927	12.860	8.012	11.163	11.008	10.543	5.435	8.840	12.461	16.603	8.018
	标准差 SD	8.221	5.526	2.043	1.415	1.223	0.606	0.869	1.699	0.695	0.533	0.667	1.098	1.349	1.662
	变异系数 CV/%	8.254	6.675	8.728	11.866	9.513	7.561	7.787	15.433	6.591	9.803	7.541	8.809	8.123	20.733
雄性 Male	平均值 Mean/cm	82.015	68.014	17.550	8.771	9.313	6.705	8.282	8.516	8.737	4.332	6.857	10.224	14.151	3.963
	标准差 SD	4.676	3.833	1.561	0.567	0.645	0.454	0.550	0.630	0.583	0.396	0.565	0.869	1.333	0.680
	变异系数 CV /%	5.702	5.635	8.895	6.461	6.923	6.768	6.636	7.396	6.677	9.147	8.246	8.502	9.417	17.149
	t	11.05	13.465	13.521	13.313	17.077	10.963	17.847	13.500	12.834	10.621	14.698	10.262	8.239	14.044
	Sig.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3 鹰爪虾各生物学性状的相关系数
Tab.3 Correlation coefficient of biological traits of *T. curvirostirs*

性状 Traits	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	Y
X ₁	1	0.838**	0.808**	0.716**	0.792**	0.746**	0.838**	0.517**	0.712**	0.762**	0.777**	0.708**	0.769**	0.837**
X ₂	0.966**	1	0.952**	0.829**	0.908**	0.837**	0.915**	0.584**	0.814**	0.858**	0.876**	0.865**	0.880**	0.972**
X ₃	0.722**	0.683**	1	0.839**	0.929**	0.844**	0.917**	0.541**	0.793**	0.860**	0.851**	0.818**	0.893**	0.965**
X ₄	0.829**	0.843**	0.602**	1	0.890**	0.679**	0.816**	0.554**	0.686**	0.822**	0.756**	0.651**	0.788**	0.865**
X ₅	0.778**	0.800**	0.525**	0.795**	1	0.772**	0.881**	0.581**	0.770**	0.868**	0.825**	0.747**	0.838**	0.936**
X ₆	0.812**	0.807**	0.483**	0.804**	0.779**	1	0.843**	0.454**	0.728**	0.842**	0.763**	0.705**	0.775**	0.852**
X ₇	0.838**	0.851**	0.603**	0.821**	0.794**	0.785**	1	0.540**	0.799**	0.859**	0.841**	0.811**	0.889**	0.947**
X ₈	0.848**	0.843**	0.624**	0.774**	0.780**	0.738**	0.833**	1	0.389**	0.522**	0.472**	0.529**	0.496**	0.575**
X ₉	0.800**	0.814**	0.626**	0.704**	0.676**	0.727**	0.708**	0.718**	1	0.707**	0.755**	0.709**	0.765**	0.809**
X ₁₀	0.750**	0.742**	0.458**	0.651**	0.703**	0.733**	0.728**	0.709**	0.675**	1	0.811**	0.719**	0.810**	0.888**
X ₁₁	0.825**	0.827**	0.643**	0.780**	0.743**	0.733**	0.763**	0.771**	0.738**	0.676**	1	0.754**	0.809**	0.881**
X ₁₂	0.805**	0.846**	0.566**	0.729**	0.631**	0.631**	0.671**	0.617**	0.658**	0.515**	0.737**	1	0.787**	0.841**
X ₁₃	0.761**	0.760**	0.525**	0.629**	0.659**	0.622**	0.633**	0.665**	0.705**	0.566**	0.710**	0.659**	1	0.920**
Y	0.961**	0.969**	0.698**	0.896**	0.840**	0.856**	0.887**	0.866**	0.821**	0.799**	0.839**	0.776**	0.756**	1

注: 对角线之上为雌性, 对角线之下为雄性。 **表示极显著相关(P<0.01)

Note: Data above the diagonal are females, below the diagonal are males. ** indicates highly significant correlation (P<0.01)

和体重之间相关性极显著(P<0.01)。从形态性状之间的相关性来看, 雌性群体体长(X₂)和头胸甲长(X₃)的

相关系数最大(0.952),第1腹节高(X_8)和第6腹节长(X_9)的相关系数最小(0.389);雄性群体全长(X_1)和体长(X_2)的相关系数最大(0.966),头胸甲长(X_3)和第6腹节宽(X_{10})的相关系数最小(0.458)。从形态性状和体重的相关性来看,雌性群体体长(X_2)和体重的相关系数最大(0.972),第1腹节高(X_8)和体重相关系数最小(0.575);雄性群体体长(X_2)和体重的相关系数最大(0.969),头胸甲长(X_3)和体重的相关系数最小(0.698)。

2.3 鹰爪虾形态性状对体重影响的通径分析

从表4和表5可以看出,从直接影响来看,雌、雄群体体长(X_2)对体重的直接作用均为最大(通径系数分别为0.443和0.519);从间接影响来看,雌性群体第1腹节宽(X_7)对体重的间接作用最大(作用系数之和为0.750),雄性群体尾节长(X_{12})对体重的间接作用最大(作用系数之和为0.887),形态性状对体重的间接作用之和均大于直接作用(雄性群体体长除外);从两两相互作用来看,雌性群体第1腹节宽(X_7)通过体长(X_2)对体重的影响最大(作用系数为0.405),雄性群体全长(X_1)通过体长(X_2)对体重的影响最大(作用系数为0.501)。除去影响不显著的形态性状,雌性群体保留了体长(X_2)、头胸甲高(X_5)、第1腹节宽(X_7)和尾扇长(X_{13})4个形态性状,雄性群体保留了全长(X_1)、体长(X_2)、头胸甲宽(X_4)、第6腹节宽(X_{10})和尾节长(X_{12})5个形态性状,其中体长(X_2)是二者的共同性状。

2.4 鹰爪虾形态性状对体重影响的决定系数分析

从表6和表7中可以看出,鹰爪虾雌、雄群体体长(X_2)对体重的直接决定系数均最大(决定系数分别为0.196和0.269),雌性群体尾扇长(X_{13})对体重的直接决定系数最小(0.033),雄性群体尾节长(X_{12})对体重的直接决定系数最小(0.012);雌性群体体长(X_2)和头胸甲高(X_5)的共同决定系数最大(0.167),雄性群体全长(X_1)和体长(X_2)的共同决定系数最大(0.248)。

2.5 多元回归方程的构建

以形态性状为自变量、体重为因变量,采用逐步回归方法建立形态性状和体重之间的多元回归方程:

$$Y_1 = -14.563 + 0.133X_2 + 0.374X_7 + 0.282X_5 + 0.225X_{13} \quad (R^2 = 0.978)$$

$$Y_2 = -7.947 + 0.092X_2 + 0.309X_4 + 0.203X_{10} + 0.036X_1 - 0.087X_{12} \quad (R^2 = 0.980)$$

式中, Y_1 、 Y_2 分别为雌、雄群体体重, X_1 为全长, X_2 为体长, X_4 为头胸甲宽, X_5 为头胸甲高, X_7 为第1腹节宽, X_{10} 为第6腹节宽, X_{12} 为尾节长, X_{13} 为尾扇长。

统计分析结果显示,雌、雄群体回归方程的 F 值分别为593.979和429.578($P < 0.01$)。从表8可以看出,方程的回归截距和偏回归系数均达到显著水平($P < 0.05$)。体长(X_2)对雌性群体体重的决定作用较大,其次是头胸甲高(X_5)和第1腹节宽(X_7);体长(X_2)对雄性群体体重的决定作用较大,其次是头胸甲宽(X_4)和全长(X_1)。

表4 雌性鹰爪虾形态性状和体重的通径分析结果

Tab.4 Path analysis results of morphological traits and body weight of female *T. curvirostirs*

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect					Σ
			X_2	X_5	X_7	X_{13}		
X_2	0.972**	0.443		0.188	0.179	0.161	0.528	
X_5	0.936**	0.207	0.402		0.173	0.153	0.728	
X_7	0.947**	0.196	0.405	0.182		0.163	0.750	
X_{13}	0.920**	0.183	0.390	0.173	0.174		0.738	

注: **表示差异极显著($P < 0.01$),下同

Note: ** indicates highly significant difference ($P < 0.01$). The same as below

表5 雄性鹰爪虾形态性状和体重的通径分析结果

Tab.5 Path analysis results of morphological traits and body weight of male *T. curvirostirs*

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect					Σ
			X_1	X_2	X_4	X_{10}	X_{12}	
X_1	0.961**	0.247		0.501	0.214	0.089	-0.089	0.714
X_2	0.969**	0.519	0.239		0.217	0.088	-0.094	0.450
X_4	0.896**	0.258	0.205	0.438		0.077	-0.081	0.638
X_{10}	0.799**	0.118	0.185	0.385	0.168		-0.057	0.681
X_{12}	0.756**	-0.111	0.199	0.439	0.188	0.061		0.887

表 6 雌性鹰爪虾形态性状对体重的决定系数分析

Tab.6 Determination coefficient between morphological traits and body weight of female *T. curvirostirs*

性状 Traits	X_2	X_5	X_7	X_{13}
X_2	0.196	0.167	0.159	0.143
X_5		0.043	0.071	0.063
X_7			0.038	0.064
X_{13}				0.033

表 7 雄性鹰爪虾形态性状对体重的决定系数分析

Tab.7 Determination coefficient between morphological traits and body weight of male *T. curvirostirs*

性状 Traits	X_1	X_2	X_4	X_{10}	X_{12}
X_1	0.061	0.248	0.106	0.044	-0.044
X_2		0.269	0.226	0.091	-0.097
X_4			0.067	0.040	-0.042
X_{10}				0.014	-0.013
X_{12}					0.012

表 8 鹰爪虾形态性状与体重的回归方程分析

Tab.8 Regression equation analysis of morphological traits and body weight of *T. curvirostirs*

模型 Modle		偏回归系数 Partial regression coefficient		回归系数 Regression coefficient	t	Sig.
		B	标准误差 SE			
雌性 Female	常量 Constant	-14.563	0.565		-25.788	0
	X_2	0.133	0.019	0.443	7.156	0
	X_7	0.374	0.110	0.196	3.394	0.001
	X_5	0.282	0.069	0.207	4.075	0
	X_{13}	0.225	0.059	0.183	3.842	0
雄性 Male	常量 Constant	-7.947	0.287		-27.699	0
	X_2	0.092	0.017	0.519	5.352	0
	X_4	0.309	0.048	0.258	6.425	0
	X_{10}	0.203	0.059	0.118	3.454	0.001
	X_1	0.036	0.012	0.247	2.936	0.005
	X_{12}	-0.087	0.033	-0.111	-2.624	0.012

2.6 鹰爪虾形态性状与体重的灰色关联分析

从表 9 可以看出, 鹰爪虾雌性群体形态性状与体重的关联系数平均值在 0.868~0.941 之间, 雄性群体的平均值在 0.793~0.906 之间, 从同一形态性状来看, 雌性群体与体重关联系数的平均值均大于雄性群体。

从表 10 可以看出, 雌雄群体与体重的关联度最高的形态性状均为体长(X_2), 除此之外, 其余性状和体重的关联度均存在明显不同。雌性群体形态性状与

体重的关联度排序为体长(X_2)、头胸甲长(X_3)、全长(X_1)、第 1 腹节宽(X_7)、头胸甲高(X_5)、头胸甲宽(X_4)、尾扇长(X_{13})、第 6 腹节高(X_{11})、第 6 腹节宽(X_{10})、第 1 腹节长(X_6)、尾节长(X_{12})、第 1 腹节高(X_8)和第 6 腹节长(X_9)。雄性群体形态性状与体重的关联度排序为体长(X_2)、全长(X_1)、头胸甲宽(X_4)、第 1 腹节宽(X_7)、第 6 腹节高(X_{11})、头胸甲高(X_5)、第 1 腹节高(X_8)、第 1 腹节长(X_6)、头胸甲长(X_3)、第 6 腹节宽(X_{10})、尾扇长(X_{13})、第 6 腹节长(X_9)和尾节长(X_{12})。

表9 鹰爪虾形态性状与体重的关联系数

Tab.9 Relational coefficients between morphological traits and body weight of *T. curvirostris*

性别 Sex	项目 Items	性状 Traits												
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃
雌性 Female	最大值 Max	1.000	1.000	0.997	0.997	0.999	0.997	1.000	0.998	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997
	最小值 Min	0.448	0.827	0.825	0.494	0.764	0.663	0.764	0.333	0.634	0.688	0.609	0.598	0.670
	均值 Mean	0.926	0.941	0.935	0.916	0.920	0.888	0.925	0.877	0.868	0.895	0.903	0.885	0.904
	标准差 SD	0.088	0.043	0.046	0.081	0.064	0.086	0.058	0.108	0.091	0.077	0.080	0.087	0.058
雄性 Male	最大值 Max	0.997	0.998	0.989	0.991	0.995	0.988	1.000	1.000	0.994	0.996	0.999	0.987	0.994
	最小值 Min	0.748	0.714	0.345	0.542	0.562	0.505	0.505	0.586	0.516	0.487	0.462	0.487	0.334
	均值 Mean	0.885	0.906	0.809	0.850	0.822	0.814	0.833	0.816	0.794	0.806	0.828	0.793	0.801
	标准差 SD	0.070	0.073	0.130	0.112	0.131	0.113	0.106	0.111	0.119	0.136	0.122	0.134	0.125

表10 鹰爪虾形态性状与体重的灰色关联度

Tab.10 Gray relational degree between morphological traits and body weight of *T. curvirostris*

性别 Sex	项目 Items	性状 Traits												
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃
雌性 Female	关联度 Relational degree	0.926	0.941	0.935	0.916	0.920	0.888	0.925	0.877	0.868	0.895	0.903	0.885	0.904
	关联序 Relational order	3	1	2	6	5	10	4	12	13	9	8	11	7
雄性 Male	关联度 Relational degree	0.885	0.906	0.809	0.850	0.822	0.814	0.833	0.816	0.794	0.806	0.828	0.793	0.801
	关联序 Relational order	2	1	9	3	6	8	4	7	12	10	5	13	11

3 讨论

3.1 鹰爪虾雌、雄群体的生物学性状比较

统计分析显示,雌、雄鹰爪虾形态性状和体重之间存在显著的生长差异($P<0.01$),雌性鹰爪虾各形态性状和体重指标均大于雄性群体。从体重指标来看,雌性群体的变异系数较大;从形态性状指标上看,雄性群体相对稳定,而雌性群体的变异系数较大。张新明等(2020)研究表明,解放眉足蟹(*Blepharipoda liberate* Shen)测量的12个形态指标以及2个重量指标雌性个体大于雄性个体($P<0.01$)。不同性别中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)成蟹头胸甲长、头胸甲宽、体高差异极显著($P<0.01$) (唐永成等, 2019)。小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)雌性个体的体重、体长、头长、躯干长、尾柄长及尾柄高均显著大于雄性个体(刘峰等, 2017)。棘胸蛙(*Paa spinosa*)部分形态性状及体重的测量值均雄性显著大于雌性($P<0.05$),在生长速度和体型可塑性上存在较为明显的性别差异(斯烈钢等, 2015),因此,对于雌雄差异较大的动物

在进行育种选择时应将雌、雄群体分开来研究。

3.2 影响鹰爪虾体重的主要形态性状

相关系数是变量间直接关系和间接关系的综合体现,通径分析能够解释各个自变量对因变量的相对重要性,比相关分析更准确(李玉虎等, 2014)。本研究发现,鹰爪虾各形态性状之间呈极显著的正相关关系($P<0.01$),雌、雄群体与体重相关性最大的共同性状是体长(X_2),这与张树德(1983)和张玉钦等(2017)的研究结果相一致。通径分析结果显示,雌、雄群体体长(X_2)对体重的直接作用均为最大;雌、雄群体对体重的间接影响最大的形态性状分别是第1腹节宽(X_7)和尾节长(X_{12});从两两作用来看,雌、雄群体其他形态性状均通过体长对体重的影响最大。决定系数结果显示,鹰爪虾雌、雄群体体长(X_2)对体重的直接决定系数均最大,雌性群体体长(X_2)和头胸甲高(X_5)的共同决定系数最大,雄性群体全长(X_1)和体长(X_2)的共同决定系数最大(0.248)。逐步回归分析结果显示,除去影响不显著的形态性状,雌性群体保留了体长(X_2)、头胸甲高(X_5)、第1腹节宽(X_7)和尾扇长(X_{13})

4 个形态性状, 雄性群体保留了全长(X_1)、体长(X_2)、头胸甲宽(X_4)、第 6 腹节宽(X_{10})和尾节长(X_{12}) 5 个形态性状, 雌、雄群体构建的回归方程的 R^2 分别为 0.978 和 0.980, 表明上述保留形态性状是影响鹰爪虾体重的主要形态性状, 其他形态性状的影响很小, 对雌性群体体重决定作用最大的形态性状是体长(X_2), 其次是头胸甲高(X_5)和第 1 腹节宽(X_7); 对雄性群体体重决定作用最大的形态性状也是体长(X_2), 其次是头胸甲宽(X_4)和全长(X_1)。

上述结果表明, 影响雌、雄群体体重的形态性状表现出性别差异, 对其他虾类的研究也得出相似的结论。冯建彬等(2019)研究表明, 日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)在选育时, 雌虾主要选择全长、体长、腹部长以及头胸甲高和头胸甲宽等形态性状, 雄虾主要选择全长和头胸甲高。影响雌、雄克氏原螯虾体重最重要的因素是头胸甲长, 其次, 第 1 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(张龙等, 2019)。

本文首次将灰色关联分析法运用到虾类形态性状和体重的研究中, 结果表明, 雌性群体与体重关联系数的平均值均大于雄性群体。雌、雄群体体长(X_2)与体重的关联度均为最高。关联度越高, 说明形态性状与体重的关系越近, 因此, 体长对体重的影响最大。雌性群体其他与体重关联度较高的形态性状有头胸甲长(X_3)、全长(X_1)、第 1 腹节宽(X_7)和头胸甲高(X_5)等, 雄性群体有全长(X_1)、头胸甲宽(X_4)、第 1 腹节宽(X_7)和第 6 腹节高(X_{11})等。形态性状与体重的关联系数存在性别差异, 刘峰等(2017)对小黄鱼的研究也得出了相似的结论。

3.3 不同分析方法的比较

通径分析法是研究动物形态性状和体重关系最常用的方法之一。灰色关联分析适用于数据量较少的样本, 同时也能较好地量化分析目标性状之间的相关关系(黄小林等, 2019)。本研究运用通径分析和灰色关联分析对鹰爪虾形态性状与体重的关系进行研究, 结果表明, 2 种分析方法在虾类研究中同样适用。采用通径分析方法, 雌性群体保留了体长(X_2)、头胸甲高(X_5)、第 1 腹节宽(X_7)和尾扇长(X_{13}) 4 个形态性状, 雄性群体保留了全长(X_1)、体长(X_2)、头胸甲宽(X_4)、第 6 腹节宽(X_{10})和尾节长(X_{12}) 5 个形态性状。采用灰色关联分析法得出雌性群体与体重的关联度较高的 5 个形态性状有体长(X_2)、头胸甲长(X_3)、全长(X_1)、第 1 腹节宽(X_7)和头胸甲高(X_5), 雄性群体有体长(X_2)、全长(X_1)、头胸甲宽(X_4)、第 1 腹节宽(X_7)和第 6 腹节

高(X_{11})。不同分析方法以不同理论来研究因素与结果之间的作用关系, 得出的结果并不完全一致。尽管 2 种方法得到的形态性状对体重的影响顺序不完全相同, 但 2 种方法对雌性群体来说都含有体长(X_2)、头胸甲高(X_5)和第 1 腹节宽(X_7) 3 个性状, 雄性群体都含有体长(X_2)、全长(X_1)和头胸甲宽(X_4) 3 个性状, 且对体重影响最大的形态性状均为体长。因此, 在实际工作中, 应根据不同目的综合考虑各种因素的影响, 选用合适的统计学方法, 或利用 2 种以上方法进行比较使用, 从而确定影响目标性状的关键因子(刘永新等, 2014; 谭才钢等, 2015; 刘阳等, 2019)。

综合分析 2 种方法, 在进行鹰爪虾选育时, 雌、雄群体以体长(X_2)作为主要选择性状, 雌性群体辅助选择头胸甲高(X_5)和第 1 腹节宽(X_7); 雄性群体辅助选择头胸甲宽(X_4)和全长(X_1)。

参 考 文 献

- BIAN L, ZHONG S P, LIU H T, *et al.* Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for 2-month-old *Marsupenaeus japonicus*. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2013, 52(3): 427–432 [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. 厦门大学学报(自然科学版), 2013, 52(3): 427–432]
- Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2020. Beijing: China Agriculture Press, 2020 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2020 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2020]
- CAI X P, YOU X X, ZENG F R, *et al.* Analysis on morphological variations among five populations of *Marsupenaeus japonicus* from coastal areas of China. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(3): 478–486 [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. 中国水产科学, 2010, 17(3): 478–486]
- CAO R, XUE C H, LI Z J, *et al.* Effect of cooking technology on quality of peeled shrimp and remnant microorganism analysis. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(8): 212–215 [曹荣, 薛长湖, 李兆杰, 等. 鹰爪虾虾仁煮制工艺研究及残留微生物分析. 食品工业科技, 2009, 30(8): 212–215]
- FAN S J, ZHOU L H, YU K J, *et al.* Studies on breeding and propagation techniques for *Trachypenaeus curvirostris*. Marine Sciences, 1999(3): 1–3 [凡守军, 周令华, 于奎杰, 等. 鹰爪虾人工繁殖技术研究. 海洋科学, 1999(3): 1–3]

- FENG J B, MA K Y, LI J L. Path analysis of the effects of morphological attributes on body mass in *Macrobrachium nipponense*. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(2): 219–226 [冯建彬, 马克异, 李家乐. 日本沼虾养殖群体主要形态性状对体质量的通径分析. 上海海洋大学学报, 2019, 28(2): 219–226]
- HUANG X L, ZHANG D G, LIN H Z, *et al.* Gray incidence degree analysis of relationship between morphometric traits and body weight in speckled spinefoot *Siganus guttatus* cultured in a cage. Fisheries Science, 2019, 38(1): 61–66 [黄小林, 张栋国, 林黑着, 等. 网箱养殖点篮子鱼形态性状与体质量灰色关联分析. 水产科学, 2019, 38(1): 61–66]
- 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. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(1): 58–66 [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. 上海海洋大学学报, 2019, 28(1): 58–66]
- LI Y H, ZENG M Y, XU H. Study on preservation effect of natural preserving agent Op-Ca on *Trachypenaeus curvirostris*. Food Science, 2001, 22(1): 78–79 [李玉环, 曾名勇, 徐洪. Op-Ca 保鲜剂对鹰爪糙对虾的保鲜效果. 食品科学, 2001, 22(1): 78–79]
- LI Y H, ZHANG Z H, SONG Q Q, *et al.* Effect of growth traits on body weight of the new breeds of *Litopenaeus vannamei*. Journal of Tropical Biology, 2014, 5(4): 307–311 [李玉虎, 张志怀, 宋芹芹, 等. 凡纳滨对虾新品系体形性状对其体质量的影响. 热带生物学报, 2014, 5(4): 307–311]
- LIANG J, WANG J J, GUO Y J, *et al.* Correlation and path analysis of phenotypic traits in different geographical groups of Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Fisheries Science, 2020, 39(1): 40–47 [梁健, 王俊杰, 郭永军, 等. 不同地理群体菲律宾蛤仔表型性状的相关性与通径分析. 水产科学, 2020, 39(1): 40–47]
- LIN R H, ZHAO L, CAO R, *et al.* Comparative analysis of the biochemical properties of phenoloxidase isolated from *Euphausia superba* and *Trachypenaeus curvirostris*. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 124–131 [林瑞环, 赵玲, 曹荣, 等. 南极磷虾与鹰爪糙对虾酚氧化酶生化性质对比分析. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 124–131]
- LIN X X, DENG Z H, CHEN M Q, *et al.* Path analysis of morphological traits to wet weight of *Pteria penguin* at different ages. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(9): 2088–2094 [林先鑫, 邓正华, 陈明强, 等. 两种贝龄企鹅珍珠贝形态性状对湿重的通径分析. 南方农业学报, 2019, 50(9): 2088–2094]
- 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*). Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(1): 131–137 [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. 上海海洋大学学报, 2017, 26(1): 131–137]
- LIU Y X, LIU Y J, ZHOU Q, *et al.* Grey relational analysis between main growth traits and body weight in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(2): 205–213 [刘永新, 刘英杰, 周勤, 等. 牙鲆主要生长性状与体质量的灰色关联度分析. 中国水产科学, 2014, 21(2): 205–213]
- LIU Y, HAN H Z, WANG T T, *et al.* Phenotypic analysis of the main morphological traits and body weight of black rockfish (*Sebastes schlegelii*). Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 117–125 [刘阳, 韩慧宗, 王腾腾, 等. 许氏平鲈体质量与形态性状的表型特征分析. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 117–125]
- SI L G, FU Y, LI H P, *et al.* Sex-related differences reflected in the effect of morphological traits on body weight and net body weight of an economic animal, *Paa spinosa* in streams of Siming Mountains. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(3): 679–686 [斯烈钢, 富裕, 李鸿鹏, 等. 四明山脉溪流区水产经济动物棘胸蛙(*Paa spinosa*)成体形态性状对体质量和净体质量影响效应的性别差异. 海洋与湖沼, 2015, 46(3): 679–686]
- SONG H T, YU C G, YAO G Z. Study on biomass distribution and variation of *Trachypenaeus curvirostris* in the East China Sea. Marine Fisheries, 2004, 26(3): 184–188 [宋海棠, 俞存根, 姚光展. 东海鹰爪虾的数量分布和变动. 海洋渔业, 2004, 26(3): 184–188]
- SU S Y, DONG Z J, QU J Q, *et al.* Grey correlated degree analysis of growth trait of hybrids from 3 common carp (*Cyprinus carpio* L.) varieties and prediction on body weight of offspring from multiple crosses. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(1): 20–26 [苏胜彦, 董在杰, 曲疆奇, 等. 3个鲤群体杂交后代生长性状的灰色关联及复合杂交后代的体重预测分析. 水产学报, 2011, 35(1): 20–26]
- TAN C G, LIU B S, ZHANG D L, *et al.* Analysis of grey relationship between morphological traits and body weight of pearl oyster (*Pinctada fucata*). South China Fisheries Science, 2015, 11(2): 35–40 [谭才钢, 刘宝锁, 张东玲, 等. 合浦珠母贝主要形态性状与体质量的灰色关联分析. 南方水产科学, 2015, 11(2): 35–40]
- TANG Y C, PENG J, ZHAO Y L, *et al.* Morphological attributes and quality parameters of different sexes of *Eriocheir sinensis* cultured in a pond. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(6): 114–120 [唐永成, 彭姣, 赵运林, 等. 池养中

- 华绒螯蟹不同性别形态及质量差异分析. 渔业科学进展, 2019, 40(6): 114–120]
- WANG Z Z, XIANG J H. Molecular cloning and sequence analysis of cDNAs encoding partial putative molt-inhibiting hormone from the shrimp *Trachypenaeus curvirostris*. Journal of Fisheries of China, 2002, 26(6): 487–492 [王在照, 相建海. 编码鹰爪虾蜕皮抑制激素基因的 cDNA 片段的克隆和序列分析. 水产学报, 2002, 26(6): 487–492]
- WU C G, XIANG J H, LIU R Y. Oocyte activation and cleavage in *Trachypenaeus curvirostris*. Acta Zoologica Sinica, 2000, 46(1): 64–70 [吴长功, 相建海, 刘瑞玉. 鹰爪虾卵子激活及卵裂的研究. 动物学报, 2000, 46(1): 64–70]
- WU C G, ZHOU L H, XIANG J H, *et al.* The ultrastructure of *Trachypenaeus curvirostris* spermiogenesis. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(6): 621–626 [吴长功, 周岭华, 相建海, 等. 鹰爪虾精子形成的超微结构研究. 海洋与湖沼, 2001, 32(6): 621–626]
- WU S Q, LUO H Y, ZHANG Z, *et al.* Principal component and path analysis of phenotypic traits of Yunlong grouper with different month ages. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(5): 680–687 [吴水清, 罗辉玉, 张哲, 等. 不同月龄云石斑鱼表型性状的主成分与通径分析. 大连海洋大学学报, 2019, 34(5): 680–687]
- YAN Y X, WANG M C, PAN S D. Experimental study on technological innovation on stow net for catching stimpson. Journal of Fisheries of China, 1996, 20(3): 257–262 [阎永祥, 王民诚, 潘生弟. 山东省近海鹰爪虾张网及其捕捞技术的改革试验. 水产学报, 1996, 20(3): 257–262]
- YE S Z, ZHANG Z L, YE Q T, *et al.* The quantitative distribution and biological characteristics of *Trachypenaeus curvirostris* in the northeast Fujian outer-sea. Journal of Fujian Fisheries, 2012, 34(2): 141–146 [叶孙忠, 张壮丽, 叶泉土, 等. 闽东北外海鹰爪虾数量的时空分布及其生物学特性. 福建水产, 2012, 34(2): 141–146]
- ZHANG L, SHI L L, LI Y H. Path analysis of morphological traits and body weight of *Procambarus clarkii*. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(18): 148–153 [张龙, 石林林, 李艳和. 克氏原螯虾形态与体重的通径分析. 中国农学通报, 2019, 35(18): 148–153]
- ZHANG S D, SONG A Q. *Trachypenaeus curvirostris* and its fishery. Bulletin of Biology, 1992(11): 12–14 [张树德, 宋爱勤. 鹰爪虾及其渔业. 生物学通报, 1992(11): 12–14]
- ZHANG S D. Notes on the biology of *Trachypenaeus curvirostris* Stimpson from Bohai and Huanghai Seas. Marine Sciences, 1983(5): 33–36 [张树德. 渤、黄海鹰爪虾生物学的初步研究. 海洋科学, 1983(5): 33–36]
- ZHANG S D. Preliminary study on population structure of *Trachypenaeus curvirostris* (Stimpson) in Huanghai and Bohai Seas. Acta Ecologica Sinica, 1990, 10(2): 145–149 [张树德. 黄渤海鹰爪虾 *Trachypenaeus curvirostris* (Stimpson) 种群结构特征的初步研究. 生态学报, 1990, 10(2): 145–149]
- ZHANG X M, CHENG S F, ZHANG M. Analysis of the influence of the morphological characteristics on the weight characteristics of *Blepharipoda liberate* Shen. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(1): 62–73 [张新明, 程顺峰, 张敏. 解放眉足蟹形态性状对重量性状影响的效果分析. 中国水产科学, 2020, 27(1): 62–73]
- ZHANG Y Q, TIAN T F, GU B X, *et al.* Preliminary study on the composition of spawning population of *Trachypenaeus curvirostris*. Shandong Fisheries, 2017, 34(6): 7–10 [张玉钦, 田同峰, 顾本学, 等. 鹰爪虾产卵群体组成的初步研究. 齐鲁渔业, 2017, 34(6): 7–10]
- ZHOU L H, ZHANG X J, XIANG J H. Study on number and karyotype of a marine shrimp *Trachypenaeus curvirostris*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1999, 30(3): 250–254 [周岭华, 张晓军, 相建海. 鹰爪虾染色体数目与核型的研究. 海洋与湖沼, 1999, 30(3): 250–254]
- ZHU P, LUO P, WANG P L, *et al.* The complete mitochondrial genome of *Trachypenaeus Curvirostris* (Stimpson, 1860). Mitochondrial DNA Part B: Resources, 2019, 4(2): 2834–2835

(编辑 马瑾艳)

Path Analysis and Gray Correlation Analysis of Morphological Traits to Body Weight of *Trachypenaeus curvirostirs*

ZHANG Xinming^{1,2①}, CHENG Shunfeng³

(1. Department of Marine Engineering, Rizhao Polytechnic, Rizhao, Shandong 276826, China;

2. Rizhao Marine Biological Engineering Technology Research Center, Rizhao, Shandong 276826, China;

3. College of Life Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract Thirteen morphological traits: Total length (X_1), body length (X_2), carapace length (X_3), carapace width (X_4), carapace height (X_5), first abdominal segment length (X_6), first abdominal segment width (X_7), first abdominal segment height (X_8), sixth abdominal segment length (X_9), sixth abdominal segment width (X_{10}), sixth abdominal segment height (X_{11}), tail segment length (X_{12}), and tail fan length (X_{13}) were measured to explore the relationship between the morphological traits and body weight (Y) of *Trachypenaeus curvirostirs*. The relationship between the traits was studied using path analysis and gray correlation analysis. The results showed that the biological indicators values of females were greater than those of males. There was a highly significant positive correlation between the traits of females and males ($P < 0.01$), and the correlation coefficients of X_2 to Y were the highest (0.972 and 0.969, respectively). Path analysis and determination coefficient analysis showed that X_2 had the highest direct effect (path coefficients: 0.443 and 0.519, respectively) and direct determination coefficient on Y for the females and males, X_7 (sum of indirect determination coefficients = 0.750) and X_{12} (0.887) had the highest indirect effect on Y for the females and males respectively. The co-determination coefficient of X_2 and X_5 was the highest (0.167) for the females, while that of X_1 and X_2 was the highest (0.248) for the males. The stepwise regression method was used to establish multiple regression equations for morphological traits and Y in both female and male populations. The equations were $Y_1 = -14.563 + 0.133X_2 + 0.374X_7 + 0.282X_5 + 0.225X_{13}$ ($R^2 = 0.978$) and $Y_2 = -7.947 + 0.092X_2 + 0.309X_4 + 0.203X_{10} + 0.036X_1 - 0.087X_{12}$ ($R^2 = 0.980$), respectively. The average correlation coefficient of morphological traits to Y for females was between 0.868 and 0.941, and that of the males was between 0.793 and 0.906. For the same morphological traits, the average value of the correlation coefficient and Y for the females was greater than that of the males. The correlation degree was the highest between X_2 and Y for the males and females. The results of the path analysis and gray correlation analysis were not exactly the same. A comprehensive comparative analysis showed that during *T. curvirostirs* breeding, X_2 can be used as the main selective trait for males and females. X_5 and X_7 , X_4 and X_1 can be used as assisted selective traits for females and males, respectively.

Key words *Trachypenaeus curvirostirs*; Morphological traits; Body weight; Path analysis; Gray correlation analysis

① Corresponding author: ZHANG Xinming, E-mail: zxm9706@163.com