

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20190828001

http://www.yykxjz.cn/

张新明, 程顺峰. 不同性别口虾蛄形态性状对体重的影响分析及曲线拟合. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 82-91
Zhang XM, Cheng SF. Effect and curve fitting of morphological traits to body weight between male and female mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*). Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 82-91

不同性别口虾蛄形态性状 对体重的影响分析及曲线拟合*

张新明^{1①} 程顺峰²

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

摘要 为研究不同性别口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)生物学性状的相互关系,测量了其全长(TL)、体长(BL)、头胸甲长(CL)、尾扇长(FL)、腹部长(AL)、腹部宽(AW)、大螯长(LL)和体重(Y)共 8 个生物学指标,通过相关分析、通径分析等方法研究其形态性状对体重的影响,利用逐步回归法建立形态性状对体重的回归方程,拟合 7 个形态性状与体重的曲线模型。结果显示,口虾蛄体重的变异系数大于形态性状,雌性、雄性群体尾扇长、腹部宽、大螯长和体重等数量性状的差异极显著($P<0.01$),雌性、雄性和混合群体各数量性状的相关性达到极显著水平($P<0.01$)。在形态性状的相互关系中,对雌性、雄性和混合群体而言,全长和体长的相关系数最大,分别为 0.984、0.993 和 0.988;形态性状和体重的关系中,雌性的全长与体重的相关系数最大(0.973),雄性的体长与体重的相关系数最大(0.974),混合群体的腹部宽与体重的相关系数最大(0.969)。雌性和混合群体对体重直接作用最大形态性状均为腹部宽(通径系数分别为 0.418 和 0.508),雄性的体长对体重的直接作用最大(通径系数为 0.613)。雌性、混合群体的腹部宽对体重的直接决定系数最大(0.175 和 0.258),雄性的体长对体重的直接决定系数最大(0.376)。雌性群体选育时主要考虑全长、腹部宽和头胸甲长,雄性群体主要考虑体长和腹部宽,混合群体主要考虑腹部宽和全长。以形态性状为自变量,体重为因变量建立的雌性、雄性群体和混合群体回归方程分别为 $Y_1 = -48.499 + 0.315X_{TL} + 1.159X_{AW} + 0.186X_{CL}$ ($R^2 = 0.978$)、 $Y_2 = -55.987 + 0.453X_{BL} + 1.152X_{AW}$ ($R^2 = 0.959$) 和 $Y_3 = -51.651 + 1.738X_{AW} + 0.274X_{TL}$ ($R^2 = 0.960$)。研究表明,口虾蛄形态性状与体重之间的最优拟合模型有线性模型、幂函数模型、指数函数模型等,雌性、雄性口虾蛄除全长、腹部长与体重的最优拟合模型类型相同外,其他均不同。

关键词 口虾蛄; 形态性状; 体重; 通径分析; 回归分析; 曲线拟合

中图分类号 S917 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2020)06-0082-10

口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)是我国重要的海洋捕捞产品,其肉味鲜美、营养丰富,2017 年我国口虾蛄捕捞量为 21.91 万 t,比 2016 年减少 7.46% (农业农村部渔业渔政管理局等,2018)。口虾蛄研究主要集中在

* 国家星火计划项目(2015GA740101)、水产养殖技术专业国家教学资源库项目(教职成司函[2019]26 号,编号:2018-01)和首批山东省职业教育名师工作室项目(鲁教师函[2018]1 号,编号 15)共同资助 [This work was supported by the National Starfire Plan (2015GA740101), National Teaching Resource Base for Aquaculture Technology Specialty ([2019]26-2018-01), and the First Batch of Shandong Provincial Vocational Education Masters Studio Project ([2018]1-15)].

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

收稿日期:2019-08-28, 收修改稿日期:2019-10-21

在生物学(张年国等, 2018a、b)、遗传多样性(隋宥珍等, 2016、2019)等方面。

在开展动物遗传育种工作之前, 对其经济性状间的相互关系进行研究是十分必要的(冷晓飞等, 2016)。在水产动物中, 相关分析、通径分析和多元回归分析对相关生物育种工作提供了重要参考。马晓等(2015)采用相关分析、通径分析研究了中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)背甲长、背甲宽、腹甲长、体高和体重的表型相关及不同性状对体重的影响程度。谷伟等(2013)研究了不同性别虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)体长、体高等形态性状对体重的影响。冷晓飞等(2016)分析了不同性别马粪海胆(*Hemicentrotus pulcherrimus*)壳形态性状与体重的相关关系。结果表明, 雌性、雄性马粪海胆在壳性状、体重等经济性状和高径比等生物学性状上差异不显著。肖露阳等(2012)研究发现, 雌性中国蛤蜊(*Macra chinensis*)壳高对软体重的直接作用最大, 雄性蛤蜊的壳高对软体重的直接作用大于活体重对软体重的直接作用。田莹等(2018)研究了布氏蚶(*Arca boucardi*)壳尺寸对体重的影响, 发现壳长对软体重直接作用最大, 壳宽对活体重直接作用最大。全长是影响大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)幼鱼体重的主要因素(王新安等, 2008)。体高是影响许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)体重的主要形态性状(刘阳等, 2019)。马庆华等(2018)研究表明, 雷氏七鳃鳗(*Lampetra reissneri*)雄性群体全长和泄殖孔长与体重呈极显著差异, 雌性群体全长和头长与体重呈极显著差异。董浚键等(2018)研究表明, 翘嘴鲌(*Siniperca chuatsi*)全长和体高对体重的直接作用最大, 单独决定程度最高。形态性状对体重的影响还与生长阶段和体色有关(边力等, 2018; 陈红林等, 2019)。

目前, 对口虾蛄形态性状和体重的相关性研究较少, 已有文献仅研究了体重与头胸甲长、体长、全长、尾扇长、腹宽等 2 个单一性状之间的关系(徐善良等, 1996; 林月娇等, 2008; 蒋霞敏等, 2000; 徐海龙等, 2010; 盛福利, 2009)。而对口虾蛄形态性状和体重之间的多元分析还未见报道。本研究对口虾蛄全长、体长、头胸甲长、尾扇长、腹部长、腹部宽、大螯长和体重之间的相关性进行通径分析, 建立回归方程, 并且建立口虾蛄单一性状和体重的最优模型, 以期为口虾蛄的种质选育工作提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

口虾蛄采捕于山东省日照海域, 从供选样本中筛

选体重较大的样本 104 尾开展实验(雄性 54 尾, 雌性 50 尾), 样本平均体重为(26.49±8.15) g, 平均体长(118.86±11.39) mm。

1.2 方法

用游标卡尺(测量精度为 0.02 mm)分别测量每尾口虾蛄的全长(TL)、体长(BL)、头胸甲长(CL)、尾扇长(FL)、腹部长(AL)、腹部宽(AW)、大螯长(LL)等指标。利用电子天平(称量精度为 0.01g)分别称量每尾口虾蛄的体重(Y)。

各生物学指标界定, 参考盛福利(2009)的测度标准。全长: 从头胸甲额剑前端至身体末端的直线长度; 体长: 从眼柄基部至尾节 V 字形凹陷处的长度; 头胸甲长: 从眼柄基部至头胸节末端的长度; 腹部宽: 第 4 腹节的宽度; 腹部长: 腹部第一节至最后一节的长度; 尾扇长: 从尾扇基部至尾扇末端的长度; 大螯长: 第二颚足上螯的长度; 体重: 吸去体表水分后的湿重。

1.3 数据处理

使用 SPSS 17.0 软件进行形态性状和体重之间的相关性分析和多元回归分析, 计算通径系数, 将研究样本分为混合、雄性和雌性群体, 计算各群体的平均数, 进行雌性、雄性差异显著性检验和数据的多态性检验; 从供选样本中另外随机选取 50 尾口虾蛄, 利用回归方程进行雌性和雄性结果检验; 使用 Excel 电子表格计算变异系数, 进行通径分析和决定系数分析。

2 结果与分析

2.1 口虾蛄各样本的数据

分别测量每尾口虾蛄全长、体长、头胸甲长、尾扇长、腹部长、腹部宽、大螯长和体重, 测量结果见表 1 和表 2。从表 1 可以看出, 混合群体口虾蛄各测量值无显著差异($P>0.05$), 经过 K-S 正态性检验, 数据呈正态分布。体重的变异系数在 30%左右, 而形态性状的变异系数在 10%左右, 说明口虾蛄体重的选择潜力较大。各形态参数的数据大小趋势为全长>体长>腹部长>头胸甲长>腹部宽>尾扇长>大螯长。从表 2 可以看出, 总体上雌性群体口虾蛄各平均数小于雄性群体(腹部长除外), 统计分析结果显示, 雌性、雄性群体头胸甲长、尾扇长、腹部宽、大螯长和体重等性状达到差异显著或极显著水平($P<0.05$ 或 $P<0.01$), 而全长、体长和腹部长等差异并不显著($P>0.05$)。

表1 口虾蛄数据测量结果
Tab.1 Quantitative traits of *Oratosquilla oratoria*

性状参数 Trait parameters	全长 TL	体长 BL	头胸甲长 CL	尾扇长 FL	腹部长 AL	腹部宽 AW	大螯长 LL	体重 Y
平均值 Mean (mm)	123.12	118.86	31.18	23.38	51.01	25.55	20.34	26.49
标准差 Standard deviation	11.89	11.39	3.05	2.76	5.90	2.79	2.21	8.15
变异系数 Coefficient of variation (%)	9.66	9.58	9.77	11.80	11.57	10.94	10.88	30.77
正态性检验 Normal test	K-S	0.72	0.77	1.02	0.59	0.59	0.78	1.00
	Sig.	0.68	0.60	0.25	0.88	0.88	0.58	0.27

表2 口虾蛄雌性和雄性群体的性状参数
Tab.2 Traits of parameters of male and female *Oratosquilla oratoria*

性别 Sex	性状参数 Trait parameters	全长 TL	体长 BL	头胸甲长 CL	尾扇长 FL	腹部长 AL	腹部宽 AW	大螯长 LL	体重 Y
雌性 Female	平均值 Mean (mm)	121.20	117.46	30.36	22.31	51.48	24.50	19.60	23.73
	标准差 Standard deviation	11.27	11.11	2.78	2.62	5.88	2.46	2.02	6.78
	变异系数 Coefficient of variation (%)	9.30	9.46	9.16	11.74	11.43	10.04	10.28	28.59
雄性 Male	平均值 Mean (mm)	124.90	120.17	31.93	24.38	50.57	26.52	21.03	29.06
	标准差 Standard deviation	12.28	11.59	3.11	2.52	5.94	2.75	2.18	8.53
	变异系数 Coefficient of variation (%)	9.83	9.64	9.74	10.34	11.74	10.37	10.38	29.35
	<i>t</i>	-2.02	-1.64	-2.93	-4.36	0.24	-4.37	-4.45	-3.74
	显著性 Significance	0.05	0.11	0.01	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00

2.2 口虾蛄各性状间的相关系数分析

口虾蛄各性状之间极显著相关($P < 0.01$) (表3)。从形态性状的相关性来看, 雌性、雄性、混合群体全长和体长的相关系数均为最大, 分别为 0.984、0.993 和 0.988; 雌性群体头胸甲长和腹部长之间的相关系数最小(0.660); 对雄性和混合群体而言, 大螯长和腹部

长之间的相关系数最小, 分别为 0.737 和 0.706。从形态性状和体重的相关性来看, 对雌性群体而言, 全长和体重的相关性最大(0.973), 头胸甲长与体重的相关性数最小(0.797); 对雄性群体而言, 体长和体重的相关性最大(0.974), 大螯长与体重的相关性最小(0.804); 对混合群体而言, 腹部宽和体重的相关性最大(0.969), 腹部长与体重的相关性最小(0.827)。

表3 口虾蛄各性状的相关系数
Tab.3 Correlation coefficient of quantitative traits in *Oratosquilla oratoria*

性别 Sex	性状 Traits	全长 TL	体长 BL	头胸甲长 CL	尾扇长 FL	腹部长 AL	腹部宽 AW	大螯长 LL	体重 Y
雌性 Female	全长 TL	1	0.984**	0.740**	0.928**	0.921**	0.935**	0.853**	0.973**
	体长 BL		1	0.669**	0.909**	0.901**	0.902**	0.816**	0.951**
	头胸甲长 CL			1	0.774**	0.660**	0.793**	0.745**	0.797**
	尾扇长 FL				1	0.850**	0.958**	0.868**	0.951**
	腹部长 AL					1	0.856**	0.821**	0.900**
	腹部宽 AW						1	0.859**	0.970**
	大螯长 LL							1	0.875**
	体重 Y								1
雄性 Male	全长 TL	1	0.993**	0.940**	0.941**	0.945**	0.968**	0.834**	0.972**
	体长 BL		1	0.950**	0.942**	0.939**	0.964**	0.803**	0.974**
	头胸甲长 CL			1	0.901**	0.911**	0.921**	0.743**	0.923**

续表 3

性别 Sex	性状 Traits	全长 TL	体长 BL	头胸甲长 CL	尾扇长 FL	腹部长 AL	腹部宽 AW	大螯长 LL	体重 Y
雄性 Male	尾扇长 FL				1	0.879**	0.960**	0.803**	0.940**
	腹部长 AL					1	0.919**	0.737**	0.917**
	腹部宽 AW						1	0.830**	0.966**
	大螯长 LL							1	0.804**
	体重 Y								1
混合群体 Mixed	全长 TL	1	0.988**	0.855**	0.913**	0.907**	0.934**	0.838**	0.956**
	体长 BL		1	0.822**	0.896**	0.902**	0.909**	0.798**	0.940**
	头胸甲长 CL			1	0.849**	0.747**	0.874**	0.764**	0.880**
	尾扇长 FL				1	0.769**	0.962**	0.851**	0.943**
	腹部长 AL					1	0.797**	0.706**	0.827**
	腹部宽 AW						1	0.860**	0.969**
	大螯长 LL							1	0.848**
体重 Y								1	

**：在 0.01 水平上显著相关

**：Indicates significant correlation at 0.01 level

2.3 口虾蛄各形态性状对体重的通径分析

从表 4 可以看出, 雌性和混合群体对体重直接作用最大的形态性状均为腹部宽, 通径系数分别为 0.418 和 0.508, 体长对雄性群体体重的直接作用最大, 通径系数为 0.613。从间接作用总和来看, 尾扇长对雌性和混合群体的间接作用均最大, 作用系数总和分别为 0.952 和 0.917, 头胸甲长对雄性群体的间接

作用最大, 作用系数总和为 0.969。在两两作用中, 雌性和混合群体尾扇长通过腹部宽对体重的间接作用均最大(作用系数分别为 0.400 和 0.489), 雄性全长通过体长对体重的间接作用最大(作用系数为 0.609)。

2.4 口虾蛄各形态性状对体重的决定系数

从表 5 可以看出, 雌性和混合群体腹部宽对体重的直接决定系数均最大(分别为 0.175 和 0.258), 雄性

表 4 形态性状对体重的通径分析
Tab.4 Path analysis of morphological traits to body weight

性别 Sex	形态性状 Morphological traits	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect							总计 Total
				全长 TL	体长 BL	头胸甲长 CL	尾扇长 FL	腹部长 AL	腹部宽 AW	大螯长 LL	
雌性 Female	全长 TL	0.973**	0.157		0.261	0.078	-0.002	0.052	0.391	0.035	0.815
	体长 BL	0.951**	0.265	0.154		0.070	-0.002	0.051	0.377	0.033	0.685
	头胸甲长 CL	0.797**	0.105	0.116	0.177		-0.002	0.038	0.331	0.031	0.692
	尾扇长 FL	0.951**	-0.002	0.146	0.241	0.081		0.048	0.400	0.036	0.952
	腹部长 AL	0.900**	0.057	0.145	0.239	0.069	-0.002		0.358	0.034	0.842
	腹部宽 AW	0.970**	0.418	0.147	0.239	0.083	-0.002	0.049		0.035	0.551
	大螯长 LL	0.875**	0.041	0.134	0.216	0.078	-0.002	0.047	0.359		0.833
雄性 Male	全长 TL	0.972**	0.055		0.609	-0.043	0.036	-0.015	0.336	-0.005	0.917
	体长 BL	0.974**	0.613	0.055		-0.044	0.036	-0.015	0.335	-0.005	0.361
	头胸甲长 CL	0.923**	-0.046	0.052	0.582		0.034	-0.015	0.320	-0.004	0.969
	尾扇长 FL	0.940**	0.038	0.052	0.577	-0.041		-0.014	0.333	-0.005	0.902
	腹部长 AL	0.917**	-0.016	0.052	0.576	-0.042	0.033		0.319	-0.004	0.934
	腹部宽 AW	0.966**	0.347	0.053	0.591	-0.042	0.036	-0.015		-0.005	0.619
	大螯长 LL	0.804**	-0.006	0.046	0.492	-0.034	0.031	-0.012	0.288		0.811

续表 4

性别 Sex	形态性状 Morphological traits	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect							总计 Total
				全长 TL	体长 BL	头胸甲长 CL	尾扇长 FL	腹部长 AL	腹部宽 AW	大鳌长 LL	
混合群体 Mixed	全长 TL	0.956**	0.208		0.218	0.080	0.025	-0.060	0.474	0.012	0.749
	体长 BL	0.940**	0.221	0.206		0.076	0.024	-0.060	0.462	0.011	0.720
	头胸甲长 CL	0.880**	0.093	0.178	0.182		0.023	-0.049	0.444	0.011	0.788
	尾扇长 FL	0.943**	0.027	0.190	0.198	0.079		-0.051	0.489	0.012	0.917
	腹部长 AL	0.827**	-0.066	0.189	0.199	0.069	0.021		0.405	0.010	0.893
	腹部宽 AW	0.969**	0.508	0.194	0.201	0.081	0.026	-0.053		0.012	0.462
	大鳌长 LL	0.848**	0.014	0.174	0.176	0.071	0.023	-0.047	0.437		0.835

表 5 形态性状对体重的决定系数
Tab.5 Determination coefficient of morphological traits to body weight

性别 Sex	性状 Traits	全长 TL	体长 BL	头胸甲长 CL	尾扇长 FL	腹部长 AL	腹部宽 AW	大鳌长 LL
雌性 Female	全长 TL	0.025	0.082	0.024	-0.001	0.016	0.123	0.011
	体长 BL		0.070	0.037	-0.001	0.027	0.200	0.018
	头胸甲长 CL			0.011	0.000	0.008	0.070	0.006
	尾扇长 FL				0.000	0.000	-0.002	0.000
	腹部长 AL					0.003	0.041	0.004
	腹部宽 AW						0.175	0.029
	大鳌长 LL							0.002
雄性 Male	全长 TL	0.003	0.067	-0.005	0.004	-0.002	0.037	-0.001
	体长 BL		0.376	-0.054	0.044	-0.018	0.410	-0.006
	头胸甲长 CL			0.002	-0.003	0.001	-0.029	0.000
	尾扇长 FL				0.001	-0.001	0.025	0.000
	腹部长 AL					0.000	-0.010	0.000
	腹部宽 AW						0.120	-0.003
	大鳌长 LL							0.000
混合群体 Mixed	全长 TL	0.043	0.091	0.033	0.010	-0.025	0.197	0.005
	体长 BL		0.049	0.034	0.011	-0.026	0.204	0.005
	头胸甲长 CL			0.009	0.004	-0.009	0.083	0.002
	尾扇长 FL				0.001	-0.003	0.026	0.001
	腹部长 AL					0.004	-0.053	-0.001
	腹部宽 AW						0.258	0.012
	大鳌长 LL							0.000

体长对体重的直接决定系数最大(0.376)。体长和腹部宽对雌性、雄性和混合群体的共同决定系数均为最大(分别为 0.200、0.410 和 0.204)。

2.5 形态性状对体重的最优化方程及结果验证

利用逐步回归方法建立以形态性状为自变量, 体重为因变量的回归方程:

$$Y_1 = -48.499 + 0.315X_{TL} + 1.159X_{AW} + 0.186X_{CL} \quad (R^2=0.978)$$

$$Y_2 = -55.987 + 0.453X_{BL} + 1.152X_{AW} \quad (R^2=0.959)$$

$$Y_3 = -51.651 + 1.738X_{AW} + 0.274X_{TL} \quad (R^2=0.960)$$

式中, Y_1 、 Y_2 和 Y_3 分别代表雌性、雄性和混合群体体重, X_{TL} 、 X_{AW} 、 X_{CL} 、 X_{BL} 分别代表全长、腹部宽、头胸甲长和体长。

经统计分析, 雌性、雄性和混合群体回归方程的 F 值分别为 673.208、594.129 和 1199.067, 显著性检验呈极显著差异($P < 0.01$)。雌性、雄性和混合群体方程的回归截距均达到显著水平($P < 0.01$), 除雄性头胸甲长偏回归系数为显著水平($P < 0.05$)外, 3 个群体的

偏回归系数均达极显著水平($P < 0.01$)。全长和腹部宽对雌性群体体重的决定作用较大, 其次是头胸甲长; 体长和腹部宽对雄性体重的决定作用较大; 腹部宽和全长对混合群体的决定作用较大。

采用雌性、雄性回归方程分别对 50 只口虾验证表明, 36 只性别判别正确, 判别准确率达 72%。

2.6 口虾形态性状与体重的曲线模型拟合结果

分别以口虾全长、体长、头胸甲长、尾扇长、腹部长、腹部宽和大螯长 7 个形态性状为自变量, 以体重为因变量, 进行曲线模型拟合, 结果见图 1~图 7。从图 1~图 7 可以看出, 雌性、雄性和混合群体口虾拟合模型不完全相同。雌性群体口虾全长、尾扇长与体重的最优拟合模型为幂函数, 头胸甲长、大螯长、腹部宽与体重的最优拟合模型为线性, 体长、腹部长与体重的最优拟合模型为指数函数; 雄性群体口虾全长、体长、头胸甲长、大螯长与体重的最优拟合模型为幂函数, 尾扇长、腹部长、腹部宽与体重的最优拟合模型为指数函数; 混合群体口虾全长、腹部宽与体重的最优拟合模型为幂函数, 头胸甲长、大

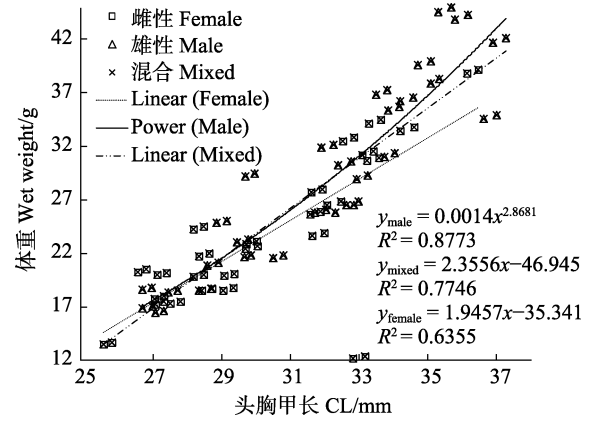


图 3 头胸甲长和体重的关系
Fig.3 Relationship of carapace length (x) and wet weight (y)

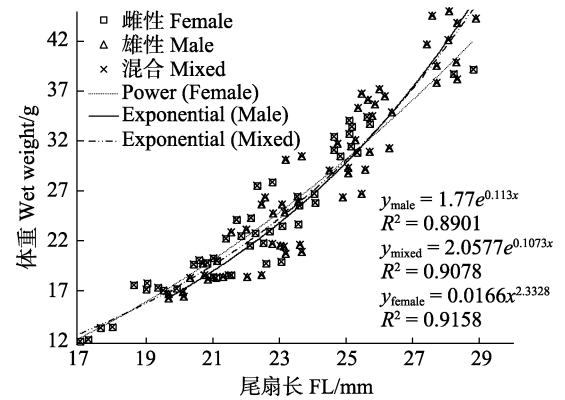


图 4 尾扇长和体重的关系
Fig.4 Relationship of tail fan length (x) and wet weight (y)

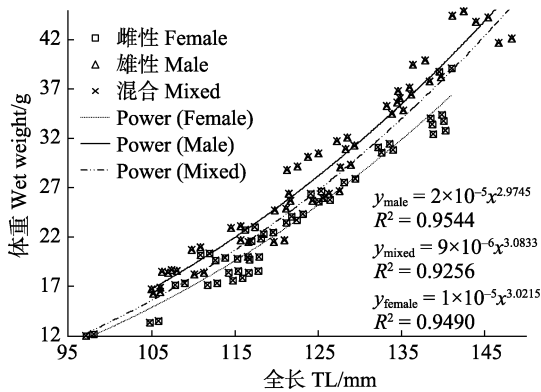


图 1 全长和体重的关系
Fig.1 Relationship of total length (x) and wet weight (y)

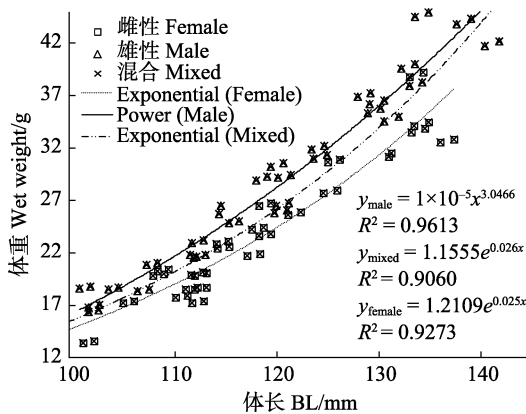


图 2 体长和体重的关系
Fig.2 Relationship of body length (x) and wet weight (y)

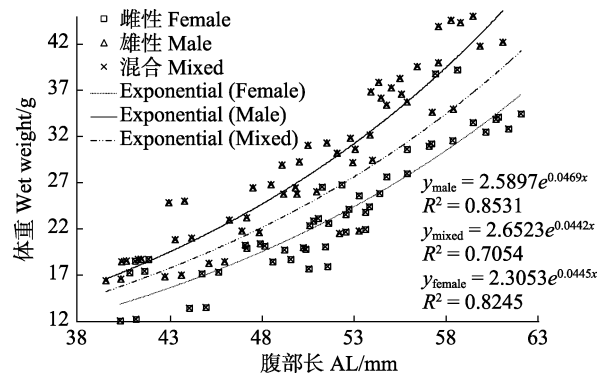


图 5 腹部长和体重的关系
Fig.5 Relationship of abdominal length (x) and wet weight (y)

螯长与体重的最优拟合模型为线性, 体长、尾扇长、腹部长与体重的最优拟合模型为指数函数。

3 讨论

3.1 口虾雌性和雄性群体的生物学差异

自然界中, 许多水产动物如鱼类、龟鳖类和虾蟹

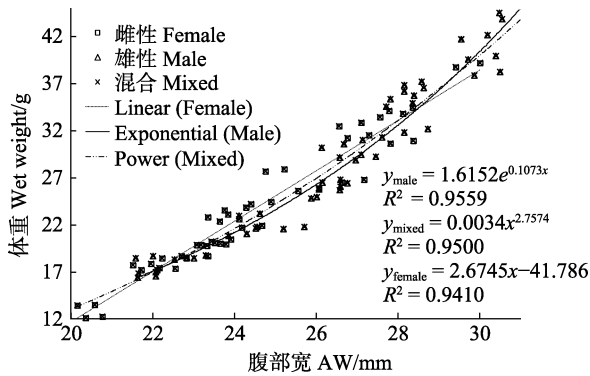


图6 腹部宽和体重的关系

Fig.6 Relationship of abdominal width (x) and wet weight (y)

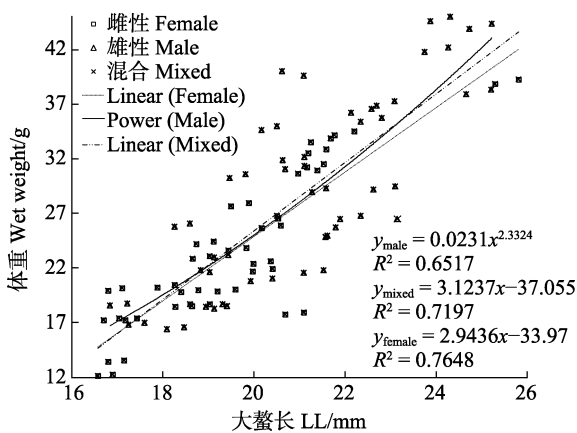


图7 大鳌长和体重的关系

Fig.7 Relationship of large pincers length (x) and wet weight (y)

类等水产动物生长性别差异明显(罗志嘉等, 2017), 水产动物性别间的外形特征对开展养殖及育种工作有重要意义(王冲, 2013)。本研究中, 口虾蛄雌性群体全长、体长、头胸甲长、尾扇长、腹部宽、大鳌长和体重等7个性状指标的平均值小于雄性群体, 而腹部长平均值则大于雄性群体。统计分析结果表明, 雌性和雄性群体头胸甲长、尾扇长、腹部宽、大鳌长和体重等数量性状差异极显著($P < 0.01$), 其他指标则差异不显著, 说明口虾蛄在某些性状上对于开展性别控制育种可能具有潜在价值。徐海龙等(2010)研究表明, 当体长 > 7.66 cm时, 雄性口虾蛄的体重超过雌性, 与本研究结果相一致。

3.2 口虾蛄形态性状对体重的影响

在选育工作中, 根据性别进行形态性状对体重影响分析, 可以更准确地指导选育工作(马晓等, 2015)。本研究结果显示, 口虾蛄各形态性状与体重之间存在极显著的表型相关($P < 0.01$)。对雌性群体而言, 全长和体重的相关系数最大(0.973); 对雄性群体而言, 体

长和体重的相关系数最大(0.974), 对混合群体而言, 腹部宽和体重的相关系数最大(0.969)。性状间的关系包括直接关系和间接关系, 仅通过各性状表型相关分析, 不能判定各自变量对因变量的影响, 因此, 有必要对性状进行通径分析, 通径分析可以将相关系数分为直接作用和间接作用, 获得对体重有较显著直接作用的形态性状(马晓等, 2015; 谷伟等, 2013; 王新安等, 2008)。

通径分析表明, 对雌性和混合群体而言, 腹部宽对体重的直接作用均为最大, 其次是体长和全长; 尾扇长对体重的间接作用均为最大。对雄性群体而言, 体长对体重的直接作用最大, 其次是腹部宽; 头胸甲长对体重的间接作用最大。

从决定系数的结果来看, 雌性和混合群体腹部宽对体重的直接决定系数均为最大, 其次是体长和全长; 雄性体长对体重的直接决定系数最大, 其次是腹部宽。3个群体的体长和腹部宽共同决定系数均为最大。

上述分析表明, 口虾蛄不同性别群体以及混合群体的形态性状对体重的影响有所差异。雄性群体体长对体重的直接影响大于雌性群体、混合群体, 雄性群体腹部宽对体重的直接影响则小于雌性群体和混合群体。对马粪海胆的研究结果也表明, 雌性马粪海胆壳径对体重的直接影响高于雄性, 而雌性马粪海胆壳高对体重的直接影响小于雄性。因此, 对某些物种进行选择育种时, 要考虑性别带来的影响(冷晓飞等, 2016)。

3.3 影响口虾蛄体重的决定性性状

回归分析表明, 雌性、雄性和混合群体回归方程达到显著或极显著水平, 相关指数分别达到0.978、0.959和0.960, 说明其他性状的影响作用很小, 影响体重的决定性性状已经找到。决定3个群体的共同形态性状是腹部宽, 除此之外, 全长、头胸甲长对雌性体重的决定作用较大, 体长对雄性体重的决定作用较大, 全长对混合群体体重的决定作用较大。分别建立雌性、雄性和混合群体回归方程, 在生产实践中具有重要的指导价值。在研究中还发现, 尽管通径分析和决定系数分析对雌性群体和混合群体而言, 体长的直接影响大于全长, 但未能进入回归方程, 原因是全长和体长之间存在着很强的共线性。

3.4 单一形态性状与体重的拟合模型

曲线拟合模型可以准确反映形态性状与体重之间的关系(刘峰等, 2015; 陈红林等, 2016)。刘峰等(2015)研究12月龄半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)

结果表明, 雌性和雄性群体全长、体高和体厚与体重的最优拟合模型都为幂函数。

本研究中, 形态性状与体重的各拟合模型均差异极显著($P < 0.01$), 说明拟合结果均有意义。形态性状与体重之间的最优拟合模型有线性模型、幂函数模型、指数函数模型等, 口虾蛄雌性、雄性以及混合群体除全长、腹部长与体重的最优拟合模型类型相同外, 其他均不相同, 说明性别不同, 适用的模型也存在差异。对大连近海和青岛近海口虾蛄的研究表明, 雌性和雄性口虾蛄的体重与头胸甲长、体长、全长、腹宽、尾扇长均呈幂函数关系(林月娇等, 2008; 盛福利, 2009)。对黑斑口虾蛄(*Oratosquilla kempii*) (蒋霞敏等, 2000)和黄海北部口虾蛄(徐海龙等, 2010)的研究结果表明, 体长与体重呈幂函数关系, 与本研究结果不同, 可能是由于采样群体的地理差异、规格大小或研究方法差异造成的。陈红林等(2016)研究表明, 8 月龄和 14 月龄牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) 3 个形态性状与体重最优拟合模型分别为线性模型和幂函数模型, 说明生长阶段不同, 拟合模型会有所差异。

模型拟合优度越大, 自变量对因变量的解释程度越高(陈红林等, 2016)。本研究中, 口虾蛄雌性和混合群体的头胸甲长、腹部长、大螯长和雄性大螯长与体重的拟合模型 R^2 均 < 0.85 , 表明这几个性状单独作为自变量不能很好反映体重的变化, 对牙鲆的研究也得出了相似的结果(陈红林等, 2016)。

本研究通过相关系数分析、通径分析及多元回归法分析研究了口虾蛄 3 个群体的形态性状与体重的相互关系, 结果表明, 在选择雌性口虾蛄时, 主要考虑全长、腹部宽和头胸甲长; 在选择雄性口虾蛄时, 主要考虑体长和腹部宽, 混合群体选择时主要考虑腹部宽和全长。

参 考 文 献

- Bian L, Liu G, Zhang QW, *et al.* Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight for *Thamnaconus septentrionalis* at different size. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(5): 50–57 [边力, 刘刚, 张庆文, 等. 不同规格绿鳍马面鲀形态性状对体重影响的通径分析. *渔业科学进展*, 2018, 39(5): 50–57]
- Chen HL, Si ZX, Du JX, *et al.* Correlation and path coefficient analysis of the morphometric traits and body weight for the four color patterns of Oujiang color common carp. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(5): 110–116 [陈红林, 司周旋, 杜金星, 等. 四种体色瓯江彩鲤形态性状与体质量的相关性与通径分析. *渔业科学进展*, 2019, 40(5): 110–116]
- Chen HL, Tian YS, Liu F, *et al.* Path analysis and curve estimates of morphometric traits and body weight of *Paralichthys olivaceus* at different growth stages. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(1): 64–76 [陈红林, 田永胜, 刘峰, 等. 不同时期牙鲆形态性状对体重影响的通径分析及曲线拟合研究. *中国水产科学*, 2016, 23(1): 64–76]
- Dong JJ, Sun CF, Tian YY, *et al.* Correlation analysis of the main morphological traits and body weight of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and morphological traits between males and females. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 76–84 [董浚键, 孙成飞, 田园园, 等. 翘嘴鲌主要形态性状与体重的相关性及雌雄形态性状差异分析. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 76–84]
- Gu W, Hu G, Xu GF, *et al.* Mathematical analysis of morphometric attribute effects on body weight for both genders of two-year-old rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Northeast Agricultural University*, 2013, 44(3): 108–113 [谷伟, 户国, 徐革锋, 等. 不同性别虹鳟形态性状对体重的影响效果分析. *东北农业大学学报*, 2013, 44(3): 108–113]
- Jiang XM, Zhao QS, Wang CL. Analysis on morphological parameters of *Oratosquilla kempii*. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni (Natural Science)*, 2000, 39(z1): 268–270 [蒋霞敏, 赵青松, 王春琳. 黑斑口虾蛄的形态参数关系的分析. *中山大学学报(自然科学版)*, 2000, 39(z1): 268–270]
- Leng XF, Zhang Y, Zhang WJ, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Fisheries Science*, 2016, 35(4): 359–363 [冷晓飞, 张艳, 张伟杰, 等. 不同性别马粪海胆壳形态性状对体质量的影响效果分析. *水产科学*, 2016, 35(4): 359–363]
- Lin YJ, Liu HY, Xu HL, *et al.* Morphometry of mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Dalian coast. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2008, 23(3): 215–217 [林月娇, 刘海映, 徐海龙, 等. 大连近海口虾蛄形态参数关系的研究. *大连水产学院学报*, 2008, 23(3): 215–217]
- Liu F, Chen SL, Liu XF, *et al.* Correlation and path coefficient analysis for body mass and three morphometric traits in the half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(4): 94–102 [刘峰, 陈松林, 刘肖峰, 等. 半滑舌鳎 3 个形态性状与体质量的相关及通径分析. *海洋学报*, 2015, 37(4): 94–102]
- Liu Y, Han HZ, Wang TT, *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. 许氏平鲷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]
- Luo ZJ, Wang P, Peng N, *et al.* Progress in growth sexual dimorphism of animals in aquaculture. *Chinese Journal of Fisheries*, 2017, 30(6): 56–60 [罗志嘉, 王佩, 彭娜, 等. 水产动物生长性别差异研究进展. *水产学杂志*, 2017,

- 30(6): 56–60]
- Ma QH, Li J, Xu L, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight of Asiatic brook lamprey *Lampetra reissneri* and gender distinguish. *Chinese Journal of Fisheries*, 2018, 31(5): 19–28 [马庆华, 李军, 徐磊, 等. 嫩江雷氏七鳃鳗的形态性状对体质量的相关性及雌雄形态性状差异分析. *水产学杂志*, 2018, 31(5): 19–28]
- Ma X, Wang XQ, Xiong G, *et al.* Effect of morphological traits on body weight of female and male *Pelodiscus sinensis*. *Freshwater Fisheries*, 2015, 45(1): 93–97 [马晓, 王晓清, 熊钢, 等. 不同日龄池塘养殖中华鳖形态性状对体重的影响. *淡水渔业*, 2015, 45(1): 93–97]
- Ministry of Agriculture and Rural Fisheries and Fisheries Administration, National Aquatic Technology Extension Station, China Fisheries Society, 2018 *China Fisheries Statistical Yearbook*. Beijing: China Agriculture Press, 2018 [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. 2018 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2018]
- Sheng FL. Study on the fishery biology of *Oratosquilla oratoria* in the coastal waters of Qingdao. Master's Thesis of Ocean University of China, 2009 [盛福利. 青岛近海口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 渔业生物学的初步研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2009]
- Sui YZ, Liu LW, Xu KD, *et al.* Population genetic structure of mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* based on the partial mitochondrial DNA cytochrome *b* gene. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2019, 34(3): 355–361 [隋宥珍, 刘连为, 徐开达, 等. 基于线粒体 Cyt *b* 基因的口虾蛄种群遗传结构研究. *大连海洋大学学报*, 2019, 34(3): 355–361]
- Sui YZ, Zhou YD, Lu ZH, *et al.* Genetic diversity of mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*) populations in the East China Sea. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, 51(2): 291–300 [隋宥珍, 周永东, 卢占晖, 等. 东海海域口虾蛄种群遗传多样性. *动物学杂志*, 2016, 51(2): 291–300]
- Tian Y, Hao SK, Wang YF, *et al.* Morphometric correlation and regression of shell size and body weight of *Arca boucardi* Reeve. *Chinese Journal of Fisheries*, 2018, 31(6): 18–22 [田莹, 郝寿康, 王艺霏, 等. 布氏蚶 (*Arca boucardi*) 壳尺寸和体质量性状的相关性与回归分析. *水产学杂志*, 2018, 31(6): 18–22]
- Wang C. Comparison and path analysis of important economic traits between genders of scallop *Chlamys farreri*. *Fisheries Science*, 2013, 32(8): 441–446 [王冲. 栉孔扇贝不同性别间重要经济性状比较及通径分析. *水产科学*, 2013, 32(8): 441–446]
- Wang XA, Ma AJ, Xu K, *et al.* Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(3): 540–545 [王新安, 马爱军, 许可, 等. 大菱鲆幼鱼表型形态性状与体重之间的关系. *动物学报*, 2008, 54(3): 540–545]
- Xiao LY, Ma GF, Guo WX, *et al.* Correlation and path analysis to quantitative traits of *Mactra chinensis* in different sexes. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(29): 115–119 [肖露阳, 马贵范, 郭文学, 等. 不同性别中国蛤蜊数量性状的相关与通径分析. *中国农学通报*, 2012, 28(29): 115–119]
- Xu HL, Zhang GF, Qiao XT, *et al.* Relationship between body length and body weight in mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Northern Yellow Sea. *Fisheries Science*, 2010, 29(8): 451–454 [徐海龙, 张桂芬, 乔秀亭, 等. 黄海北部口虾蛄体长及体质量关系研究. *水产科学*, 2010, 29(8): 451–454]
- Xu SL, Wang CL, Mei WX, *et al.* The relations of the morphological parameter of *Oratosquilla oratoria*. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 1996, 15(1): 15–20 [徐善良, 王春琳, 梅文囊, 等. 口虾蛄形态参数关系的研究. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 1996, 15(1): 15–20]
- Zhang NG, Pan GP, Zhou WY, *et al.* A preliminary study on first feeding and early growth of larval *Oratosquilla oratoria*. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2018a, 38(5): 76–82 [张年国, 潘桂平, 周文玉, 等. 口虾蛄幼体开口饵料及早期生长的初步研究. *广东海洋大学学报*, 2018a, 38(5): 76–82]
- Zhang NG, Pan GP, Zhou WY. Reproductive characteristics and early development of *Oratosquilla oratoria*. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018b, 34(36): 133–139 [张年国, 潘桂平, 周文玉. 口虾蛄的繁殖特性及早期发育研究. *中国农学通报*, 2018b, 34(36): 133–139]

(编辑 冯小花)

Effect and Curve Fitting of Morphological Traits to Body Weight Between Male and Female Mantis Shrimp (*Oratosquilla oratoria*)

ZHANG Xinming¹①, CHENG Shunfeng²

(1. Department of Marine Engineering, Rizhao Polytechnic, Rizhao Marine Biological Engineering Technology Research Center, Rizhao 276826; 2. College of Life Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109)

Abstract To study the correlation of biological traits between male and female mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*), eight biological indicators, total length (TL), body length (BL), carapace length (CL), tail fan length (FL), abdominal length (AL), abdominal width (AW), large pincers length (LL), and wet weight (Y) were measured. The influence of morphological traits on body weight was studied using correlation analysis and path analysis. The regression equations representing the effect of morphological traits on body weight were established using the stepwise regression method, and the curve models of seven shape traits and body weight were fitted. The results showed that the variation coefficient of body weight was greater than that of the morphological traits, and quantitative traits such as FL, AW, LL, and Y were significantly different between male and female *O. oratoria* ($P < 0.01$). The correlation of the quantitative traits reached a very significant level ($P < 0.01$) among the female, male, and mixed populations. In the relationship of morphological traits, the correlation coefficients of TL to BL were largest in the female group, the male group, and the mixed group (0.984, 0.993, and 0.988, respectively); regarding the relationship of morphological traits to body weight, the correlation coefficient of TL to body weight was highest in the female group (0.973), the correlation coefficient of BL to body weight was largest in the male group (0.974), and the correlation coefficient of AW to body weight was largest in the mixed population group (0.969). The greatest direct effect on body weight in females and mixed populations was AW (diameter coefficients of 0.418 and 0.508, respectively), and the direct effect on body weight was the greatest in male BL (diameter coefficient, 0.613). The direct determination coefficient of AW to body weight was the highest in the female group and the mixed population group (0.175 and 0.258, respectively), and the direct determination coefficient of BL to body weight was the highest in the male group (0.376). TL, AW, and CL are mainly considered for the female population, BL and AW are mainly considered for the male population, whereas AW and TL are mainly considered for the mixed population. The regression equations of female, male, and mixed populations with morphological traits as independent variables and body weight as dependent variables are: $Y_1 = -48.499 + 0.315X_{TL} + 1.159X_{AW} + 0.186X_{CL}$ ($R^2 = 0.978$), $Y_2 = -55.987 + 0.453X_{BL} + 1.152X_{AW}$ ($R^2 = 0.959$), and $Y_3 = -51.651 + 1.738X_{AW} + 0.274X_{TL}$ ($R^2 = 0.960$). The optimal fitting models of morphological traits to body weight of *O. oratoria* include the linear model, power function model, and exponential function model. The same types of optimal fitting models are used except for TL, AL between male and female *O. oratoria*; in addition, nothing else is the same. This study can provide a theoretical basis for the selection of *O. oratoria*.

Key words *Oratosquilla oratoria*; Morphological trait; Body weight; Path analysis; Regression analysis; Curve fitting

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