

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18440

罗氏沼虾养殖群体表型性状间的相关性及类群差异分析

唐琼英¹, 夏正龙², 蔡缪荧², 谢巨洪¹, 潘月明², 李景芬¹, 杨国梁^{1,2}

1. 湖州师范学院, 浙江省水生生物资源养护与开发技术研究重点实验室, 中国水产科学研究院水生动物繁育与营养重点实验室, 浙江 湖州 313000;

2. 江苏数丰水产种业有限公司, 江苏 高邮 225654

摘要:为研究罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)养殖群体表型性状间的相互关系及不同类群间的性状差异, 本研究对人工养殖的罗氏沼虾雌、雄及“老头虾”3个类群共490个个体的体重、体长、全长等12个表型性状进行了相关分析、形态性状对体重影响的通径分析等。结果表明, 3个类群除上、下额刺数2个可数性状外, 其他9个可量形态性状与体重都呈极显著的正相关($P < 0.01$); 影响体重的关键形态性状在3个类群中各不相同, 但体长、头胸甲长、第二步足长在3个类群中均是影响体重的关键指标; 分别建立了各类群体重与关键形态性状的多元回归方程。聚类分析和主成分分析结果表明, 雌、雄2个类群表型上更为相似, “老头虾”与雌性个体的差异最大。腹部轮廓特征(包括腹长、腹宽、腹高)、全长、体长及第二步足长对3个类群的差异贡献较大。雌性个体腹部发达, “老头虾”则第二步足尤为发达。本研究结果可为罗氏沼虾的选择育种、基础生物学及行业标准的制定提供数据资料。

关键词: 罗氏沼虾; 养殖群体; 形态性状; 相关分析; 通径分析; 选择育种

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)06-1075-11

罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)俗称马来西亚大虾、淡水长臂虾等, 广泛分布于东南亚、印度洋、太平洋的热带和亚热带地区。具有食性广、生长快、肉质鲜美、经济价值高等优点^[1-2]。中国自1976年引进以来, 在江苏、浙江、广东、广西等省进行了大规模推广养殖。目前中国已成为全球罗氏沼虾养殖最多的国家, 养殖产量占世界总产量的60%以上^[3-4]。罗氏沼虾产业迅速发展的同时也面临一系列危机, 如高密度养殖和近亲繁殖导致的种质衰退, 使其生长缓慢、抗逆性差等。因此, 亟待培育出经济性性状改良的新品种。

与动物经济性性状相关的表型性状中, 体重是定向选育的重要指标之一, 而体重与形态性状存在一定的相关性。随着大数据及智能化养殖的快速发展, 体重与形态性状间的相关性分析可作为

智能化图像识别分析的基础数据, 用于构建体重的预测模型, 从而有效地提高育种效果。另外, 相比于体重, 形态性状更为直观、易测, 尤其在大型经济动物中更是如此。因此, 利用形态性状直观易测的优势研究形态性状间的相互关系及各形态性状对体重的影响程度, 对选择育种具有重要意义^[5]。通径分析是一种多元统计分析技术, 它不但可以表述性状间的相关性, 而且能将性状间的相关系数剖分成直接影响和间接影响, 并建立因变量和自变量的最优回归方程^[5-8]。利用通径分析指导经济动物的选择育种已有广泛应用, 如应用于大型动物无角牦牛(*Bos grunniens*)^[9]、鱼类^[10-14]、虾类^[15-18]、贝类^[5, 19]等。另外, 采用通径分析的研究也发现, 不同物种, 甚至是同一物种的不同群体或不同发育阶段, 影响其体重的关键形态性

收稿日期: 2019-01-09; 修订日期: 2019-05-14.

基金项目: 农业农村部现代农业产业技术体系专项资金资助项目(CARS-48); 浙江省农业(水产)新品种选育重大科技专项资金资助项目(2016C02055-2-1).

作者简介: 唐琼英(1976-), 女, 博士, 副研究员, 主要从事水产动物遗传育种研究. E-mail: tangqy@zjhu.edu.cn

通信作者: 杨国梁, 研究员, 从事水产动物遗传育种研究. E-mail: ygl0572@163.com

状会有所不同,这在长肋日月贝(*Amusium pleuronectes*)^[5]、合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)^[19]、日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)^[16]、罗氏沼虾^[20]、日本囊对虾(*Marsipenaeus japonicus*)^[21]等中均有所体现。

罗氏沼虾具有明显的性二态现象,其雄性最大个体全长可达 32 cm,雌性可达 25 cm,它在整个生活史中都表现出个体大小的差异,尤其是成体阶段的雄性,个体差异尤为明显^[22-23]。在产业调研中发现,蓝螯类型的雄性群体中还包含一部分腹部短小、头胸甲和第二步足特别发达的、体色较深蓝的个体,养殖户俗称“老头虾”,其经济价值较低。目前,有关罗氏沼虾不同发育阶段、不同性别、不同螯色群体的形态性状和体重间的通径分析已有一些报道^[20, 24-29],但已有的研究,很少涉及体型特征中宽度或高度性状,且未对“老头虾”类群进行研究。另外,罗氏沼虾行业标准自 2002 年颁布以来^[30],未曾修改,罗氏沼虾产业的快速发展需要制定新的行业标准。本研究在增加“老头虾”这一群体基础上,进一步增加体型特征中宽度和高度性状,采用通径分析,研究罗氏沼虾雌、雄及“老头虾”群体形态性状间的相互关系及形态性状对体重的影响,分析三个类群间表型性状的差异,以便为罗氏沼虾优良品种的选育、基础生物学及行业标准的制定提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用罗氏沼虾样本于 2017 年 11 月采自江苏数丰水产种业有限公司的养殖基地,为公司育种车间当年培育的幼体而养成,共选取 490 个个体。除“老头虾”外,其余个体均从 4 个养殖条件基本一致的池塘中随机选取雌雄样本。“老头虾”个体是根据外形特征从这 4 个养殖塘中挑选出来的特殊雄性个体,其挑选标准为:体色深蓝、外壳坚硬、头胸甲和第二步足发达,第二步足长约为体长的 1.5 倍以上。共计测量雌性个体 216 尾,雄性个体 218 尾,“老头虾”个体 56 尾。所有个体的

养殖时间为 130~150 d,达性成熟。

1.2 表型性状的测量

对每个个体分别进行体重及形态特征的测量、检视。采用精度为 0.01 g 的电子天平测量体重(total weight, W),称重前将虾体用纱布吸干水分。可量形态性状采用电子数显游标卡尺(精度为 0.01 mm)进行测量。本研究中共包括 9 个可量形态性状:全长(total length, TL)、体长(body length, BL)、头胸甲长(carapace length, CL)、头胸甲宽(carapace width, CW)、头胸甲高(carapace depth, CD)、腹长(abdominal length, AL)、腹宽(abdominal width, AW)、腹高(abdominal depth, AD)、第二步足长(length of second leg, LSL)等。直接计数 2 个可数性状:上额刺数(number of dorsal rostrum teeth, DRT)和下额刺数(number of ventral rostrum teeth, VRT)。形态特征的测量方法参考潘家模^[1]和杨明等^[27]。

1.3 数据分析

雌性、雄性和“老头虾”3 个类群分别采用 Microsoft Excel 2016 对各表型性状基本参数进行统计。各表型性状两两间的相关性分析、各形态性状对体重影响的通径分析采用 IBM SPSS Statistic 25。将体重作为因变量,其他可量形态性状作为自变量,通过回归分析,逐步剔除偏回归系数不显著的形态性状($P>0.05$),保留显著的性状,并用其建立多元回归方程;剖析保留下来的形态性状对体重影响的直接作用(通径系数)和间接作用(间接通径系数)。逐步多元回归分析及间接通径系数的计算参考杜家菊等^[7]。采用 SPSS 对 3 个类群的可量性状进行聚类分析和主成分分析,以了解各类群表型性状差异。聚类分析基于各类群表型性状的平均值,经标准化处理后采用欧氏最短距离系统聚类法构建群体聚类图。对所有个体的可量性状经标准化处理后采用主成分分析,获得对类群差异贡献较大的 2~3 个主成分,计算各主成分的贡献率,并对贡献较大的主成分得分绘制散布图。采用 R 软件包 lsmeans^[31-32]估算每个类群可量性状的最小二乘均值,并对 3 个类群间的均值进行成对比较。

2 结果与分析

2.1 罗氏沼虾各性状参数统计

对罗氏沼虾养殖群体雌、雄及“老头虾”3 个类群表型性状进行统计分析。为比较 3 个重要长度性状所占身体比例, 分析中增加了头胸甲长/体长(CL/BL)、腹长/体长(AL/BL)和第二步足长/体长(LSL/BL)3 个比例性状, 统计结果见表 1。所分析的 15 个性状中, 体重(W)的变异系数在 3 个类群中都较大, 为 20%左右, 其中雄性个体的最大, 达 22.05%。雄性个体的第二步足长(LSL)及第二

步足长/体长的变异系数也都达 20%以上, 是其他两个类群的 2~3 倍。雄性个体的平均体重也最大, 为(37.22±8.21) g, “老头虾”其次(32.15±6.57) g, 雌性个体的最小, 为(28.48±5.69) g。第二步足长在 3 个类群中差异较大, “老头虾”的均值最大, 为(165.38±17.70) mm, 雄性个体其次, 为(122.76±25.21) mm, 雌性个体最小, 仅为(86.80±8.57) mm。“老头虾”第二步足长几乎达体长的 2 倍(最大值为 2.17 mm, 平均值为 1.71 mm), 而雌性个体第二步足长接近或等于体长(比值范围为 0.68~1.04)。

表 1 罗氏沼虾养殖群体雌、雄及“老头虾”个体表型性状的参数估计

Tab. 1 The phenotypic parameters of morphometric traits in the three groups of the cultured *Macrobrachium rosenbergii*

性状 trait	雌性 female (n=216)		雄性 male (n=218)		“老头虾” old male (n=56)	
	$\bar{x} \pm SD$	变异系数/%CV	$\bar{x} \pm SD$	变异系数/% CV	$\bar{x} \pm SD$	变异系数/% CV
体重/g W	28.48±5.69	19.98	37.22±8.21	22.05	32.15±6.57	20.44
全长/mm TL	135.96±7.18	5.28	142.60±9.36	6.56	127.27±8.21	6.45
体长/mm BL	102.04±5.90	5.78	107.54±7.68	7.14	96.57±6.53	6.76
头胸甲长/mm CL	38.16±2.59	6.78	42.23±3.34	7.91	38.11±2.98	7.82
头胸甲宽/mm CW	21.80±1.63	7.47	23.54±1.96	8.35	22.20±2.12	9.53
头胸甲高/mm CD	23.21±1.78	7.66	25.33±2.18	8.61	23.88±2.24	9.38
腹长/mm AL	67.81±4.03	5.95	69.44±5.12	7.38	60.20±4.01	6.66
腹宽/mm AW	20.03±1.51	7.54	20.56±1.59	7.75	17.40±1.82	10.48
腹高/mm AD	22.32±1.76	7.90	21.72±1.53	7.06	18.54±1.77	9.55
第二步足长/mm LSL	86.80±8.57	9.87	122.76±25.21	20.54	165.38±17.70	10.70
上额刺数/个 DRT	12.43±1.00	8.08	12.66±1.03	8.12	12.40±1.02	8.24
下额刺数/个 VRT	11.46±1.02	8.86	11.60±1.02	8.80	11.52±1.04	9.07
头胸甲长/体长 CL/BL	0.37±0.01	3.29	0.39±0.01	3.46	0.39±0.02	5.58
腹长/体长 AL/BL	0.66±0.02	2.41	0.65±0.01	2.20	0.62±0.02	3.30
第二步足长/体长 LSL/BL	0.85±0.06	6.92	1.14±0.24	21.04	1.71±0.15	8.72

注: 体重单位为 g, 长度测量单位为 mm, 上下额刺数单位为个, 变异系数单位为%。各性状简称对应的英文全称分别如下: AD, abdominal depth; AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; DRT, number of dorsal rostrum teeth; LSL, length of second leg; TL, total length; VRT, number of ventral rostrum teeth; W, total weight.

Note: the unit of weight is g, mm for morphometric traits, number for the dorsal and ventral rostrum teeth, and % for coefficient of variation (CV). The full name of each abbreviation of traits is as the following: AD, abdominal depth; AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; DRT, number of dorsal rostrum teeth; LSL, length of second leg; TL, total length; VRT, number of ventral rostrum teeth; W, total weight.

2.2 罗氏沼虾表型性状间的相关性

对罗氏沼虾雌、雄及“老头虾”个体 12 个表型性状间的相关性进行分析。3 个类群的结果都一致表明, 除上、下额刺数(DRT 和 VRT)2 个可数性状外, 其他 9 个可量形态性状与体重都呈极显著正相关, 但相关系数的大小顺序在 3 个类群中有所差异(表格未列出)。雌性个体中, 形态性状与体重相关系数的大小依次为: 体长(BL)>全长(TL)>头胸甲长(CL)>腹长(AL)>头胸甲高(CD)>头胸甲

宽(CW)>第二步足长(LSL)>腹宽(AW)>腹高(AD); 雄性个体中: CD>CW>BL>CL>TL>AW>AL>AD>LSL; “老头虾”个体中: TL>AL>BL>CL>LSL>CD>AW>CW=AD。这 9 个形态性状间, 除雄性个体的第二步足长与腹长、腹宽、腹高为显著正相关外, 其他均为极显著正相关。全长与体长、腹长与全长、腹长与体长、头胸甲宽与头胸甲高、腹宽与腹高的相关系数在 3 个类群中几乎均达 0.90 以上。3 个类群的上、下额刺数目间均为极显著的

正相关,但相关系数较小,为 0.35~0.50。

2.3 罗氏沼虾形态性状对体重的影响

表 2 列出了逐步回归分析得到的每个类群中对体重(因变量)影响显著的形态性状(自变量)的个数及相关系数等参数。由表 2 可知,雌性个体中,有 4 个关键形态性状对体重影响较大,这 4 个性状与体重的相关系数(R)为 0.915,决定系数(R^2)为 0.837;雄性个体中,有 7 个关键形态性状对体重影响较大,相关系数和决定系数分别为 0.976 和 0.952;“老头虾”个体有 5 个关键形态性状对体重的影响较大,相关系数和决定系数分别为 0.960 和 0.921。

表 3 列出了各类群关键形态性状的非标准系数(即偏回归系数)、常量(即方程截距)、标准回归系数(即通径系数)、标准差以及相对应的显著性检验结果。各类群关键形态性状对体重的通径系数几乎都达极显著水平($P<0.01$),只少数几个为显著水平($P<0.05$)。根据表 3,可得各类群多元回归方程如下。

$$\text{雌性个体: } W = -60.715 + 0.172TL + 0.381BL + 0.496CL + 0.091LSL$$

$$\text{雄性个体: } W = -68.502 + 0.220BL + 0.344CL + 0.576CW + 0.377CD + 0.208AL + 0.857AW + 0.101LSL$$

$$\text{“老头虾”个体: } W = -59.143 + 0.220TL + 0.243BL + 1.037CL - 0.724CW + 0.099LSL$$

表 2 罗氏沼虾各类群关键形态性状与体重的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficient between the key traits and weight of *Macrobrachium rosenbergii*

类群 group	自变量个数 number of variables	复相关系数 R multiple R	决定系数 R^2 determinant coefficient R^2	校正后决定系数 adjusted R^2
雌性个体 female	4	0.915	0.837	0.834
雄性个体 male	7	0.976	0.952	0.950
“老头虾”个体 old male	5	0.960	0.921	0.913

表 3 逐步回归分析获得的偏回归系数、标准回归系数及显著性检验结果

Tab. 3 The partial regression coefficients, standardized coefficients and significance resulted from stepwise regression analysis

类群 group	性状 trait	非标准系数 unstandardized coefficient	标准差 SD	标准回归系数 standardized coefficient	t	P
雌性个体 female	常量 constant	-60.715	3.109		-19.530	0.000
	全长 TL	0.172	0.064	0.218	2.714	0.007
	体长 BL	0.381	0.082	0.396	4.676	0.000
	头胸甲长 CL	0.496	0.133	0.225	3.736	0.000
	第二步足长 LSL	0.091	0.027	0.137	3.340	0.001
雄性个体 male	常量 constant	-68.502	1.826		-37.507	0.000
	体长 BL	0.220	0.074	0.206	2.979	0.003
	头胸甲长 CL	0.344	0.090	0.140	3.832	0.000
	头胸甲宽 CW	0.576	0.192	0.138	3.01	0.003
	头胸甲高 CD	0.377	0.178	0.100	2.125	0.035
	腹长 AL	0.208	0.087	0.130	2.391	0.018
	腹宽 AW	0.857	0.211	0.166	4.054	0.000
	第二步足长 LSL	0.101	0.007	0.310	13.78	0.000
“老头虾”个体 old male	常量 constant	-59.143	4.164		-14.204	0.000
	全长 TL	0.220	0.100	0.275	2.208	0.032
	体长 BL	0.243	0.103	0.241	2.358	0.022
	头胸甲长 CL	1.037	0.224	0.470	4.628	0.000
	头胸甲宽 CW	-0.724	0.237	-0.233	-3.056	0.004
	第二步足长 LSL	0.099	0.020	0.267	4.863	0.000

注:各性状简称对应的英文全称分别如下:AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; LSL, length of second leg; TL, total length.

Note: the full name of each abbreviation of traits is as the following: AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; LSL, length of second leg; TL, total length.

各类群关键形态性状对体重的直接作用和间接作用的通径分析结果见表 4。由表 4 可知, 除雄性个体的第二步足长(LSL)和“老头虾”个体的头胸甲长(CL)的直接作用大于间接作用外, 其他都是间接作用大于直接作用。雌性个体中, 4 个自变量全长(TL)、体长(BL)、头胸甲长(CL)及第二步足长(LSL)对因变量体重(W)的直接作用大小顺序是: BL>CL>TL>LSL; 雄性个体中, 7 个自变量头胸甲高(CD)、头胸甲宽(CW)、第二步足长(LSL)、体长(BL)、腹宽(AW)、头胸甲长(CL)、腹长(AL)对体重(W)的直接作用大小顺序为: LSL>BL>

AW>CL>CW>AL>CD。“老头虾”个体中, 5 个自变量全长(TL)、第二步足长(LSL)、头胸甲长(CL)、头胸甲宽(CW)、体长(BL)对体重(W)的直接作用大小顺序为: CL>TL>LSL>BL>CW。

2.4 罗氏沼虾各类群表型差异

基于欧氏最短距离, 对罗氏沼虾 3 个类群 10 个可量性状进行系统聚类(图 1)。结果显示, 罗氏沼虾雌性和雄性群体首先聚在一起, 形成一个分支, 然后再与“老头虾”群体聚在一起, 表明雌性和雄性个体在表型特征上更为相似, “老头虾”与雌性和雄性个体的差异较大。

表 4 罗氏沼虾形态性状对体重影响的通径分析
Tab. 4 The effects of morphometric traits on body weight of *Macrobrachium rosenbergii*

类群 group	性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect									
				总和 Σ	全长 TL	体长 BL	头胸甲长 CL	头胸甲宽 CW	头胸甲高 CD	腹长 AL	腹宽 AW	第二步足长 LSL	
雌性 female	全长 TL	0.877	0.218	0.659		0.369	0.196						0.095
	体长 BL	0.895	0.396	0.500	0.203		0.196						0.100
	头胸甲长 CL	0.852	0.225	0.627	0.189	0.345							0.092
	第二步足长 LSL	0.730	0.137	0.594	0.152	0.290	0.152						
雄性 male	体长 BL	0.894	0.206	0.688			0.125	0.123	0.088	0.124	0.151		0.077
	头胸甲长 CL	0.880	0.140	0.740		0.184		0.119	0.085	0.109	0.140		0.102
	头胸甲宽 CW	0.918	0.138	0.780		0.184	0.121		0.091	0.108	0.145		0.130
	头胸甲高 CD	0.930	0.100	0.830		0.181	0.119	0.126		0.108	0.138		0.158
	腹长 AL	0.836	0.130	0.706		0.197	0.118	0.115	0.083		0.146		0.048
	腹宽 AW	0.845	0.166	0.679		0.187	0.118	0.121	0.083	0.114			0.056
	第二步足长 LSL	0.567	0.310	0.257		0.051	0.046	0.058	0.051	0.020	0.030		
“老头虾” old male	全长 TL	0.919	0.275	0.644		0.221	0.370	-0.124					0.177
	体长 BL	0.870	0.241	0.628	0.252		0.346	-0.126					0.155
	头胸甲长 CL	0.829	0.470	0.359	0.216	0.177		-0.192					0.156
	头胸甲宽 CW	0.562	-0.233	0.795	0.147	0.130	0.387						0.131
第二步足长 LSL	0.750	0.267	0.483	0.182	0.140	0.275	-0.115						

注: 各性状简称对应的英文全称分别如下: AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; LSL, length of second leg; TL, total length.
Note: the full name of each abbreviation of traits is as the following: AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; LSL, length of second leg; TL, total length.

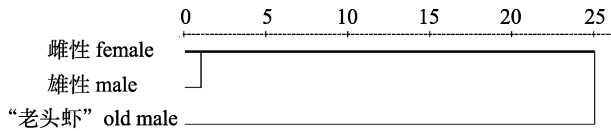


图 1 罗氏沼虾 3 个类群的聚类分析树形图
Fig. 1 Hierarchical dendrogram of three groups of *Macrobrachium rosenbergii*

对罗氏沼虾 3 个类群 10 个可量性状进行主成分分析, 保留特征值大于 1 的主成分, 共获得 2 个主成分。10 个可量性状对 2 个主成分的因子负荷值及各主成分的方差贡献率见表 5。结果显示, 主成分 1 的贡献率为 72.167%, 该主成分主要反映了体型特征包括腹部特征、全长、体长及头胸甲特征等指标对 3 个类群差异的贡献, 其中腹部特征的影响最大, 腹长、腹宽和腹高的负荷值均达 0.9 以上, 其次是全长和体长, 负荷值 0.8 以上。主成分 2 的贡献率为 17.599%, 远小于主成分 1,

表 5 罗氏沼虾 3 个类群可量性状主成分的因子负荷值及主成分贡献率

Tab. 5 Eigenvectors and cumulative contribution rates of two principal components from ten morphometric traits of three groups of *Macrobrachium rosenbergii*

性状 trait	主成分 principal components	
	PC1	PC2
体重 W	0.499	0.836
全长 TL	0.832	0.457
体长 BL	0.807	0.518
头胸甲长 CL	0.624	0.705
头胸甲宽 CW	0.598	0.717
头胸甲高 CD	0.56	0.768
腹长 AL	0.905	0.259
腹宽 AW	0.913	0.212
腹高 AD	0.918	-0.043
第二步足长 LSL	-0.309	0.916
各主成分贡献率(%) proportion of variance (%)	72.167	17.599
累积贡献率(%) cumulative proportion (%)	72.167	89.765

注: 各性状简称对应的英文全称分别如下: AD, abdominal depth; AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; LSL, length of second leg; TL, total length; W, total weight.

Note: the full name of each abbreviation of traits is as the following: AD, abdominal depth; AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; LSL, length of second leg; TL, total length; W, total weight.

主要反映的是第二步足长、体重及头胸甲特征等指标对差异的贡献, 其中第二步足长的贡献最大, 负荷值为 0.916。两个主成分的累积贡献率为 89.765%, 超过了 85%, 表明可以用这两个主成分来概况罗氏沼虾 3 个类群间的表型差异。

对罗氏沼虾 3 个类群的前 2 个主成分绘制散布图。如图 2 所示, 虽然群体间有少部分重叠区, 但 3 个类群整体上分别聚成了不同的群体, 存在不同程度的分化。“老头虾”群体与雌性和雄性群体间具有明显的差异, 沿着散布图的对角线被分开, “老头虾”群体位于左上方, 雌性和雄性群体位于右下方。雌性和雄性群体在表型上差异较小, 两个类群具有重叠区, 聚类较为紧密, 表明这两个类群在表型性状上分化较小。“老头虾”群体与雄性群体存在少部分重叠区, 但与大部分雄性个体差异均较大, 聚类较远; “老头虾”与雌性群体表型差异最大, 完全不存在重叠区, 分化较为明显。

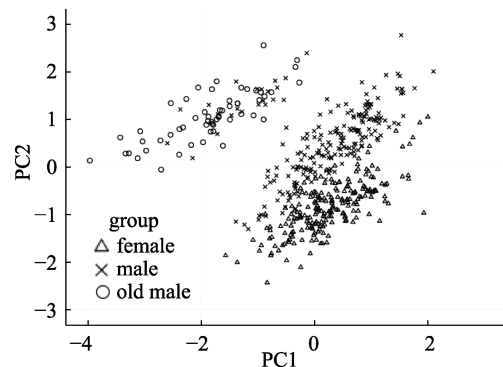


图 2 罗氏沼虾 3 个类群可量性状的主成分 1 和主成分 2 的散布图

Fig. 2 Scatter plot of the first and second principal components of morphometric traits for three groups of *Macrobrachium rosenbergii*

3 个类群 10 个可量性状的最小二乘均值比较结果见表 6。结果表明, 头胸甲宽和头胸甲高在 3 个类群间差异均不显著, 其余性状在三个群体间均具有极显著差异。雌性群体的全长、体长、腹长、腹宽、腹高都最大, 极显著地大于雄性和“老头虾”群体。“老头虾”的体重和第二步足长都极显著大于雌性和雄性群体, 尤其第二步足远大于雌性群体, 但其腹长、腹宽、腹高都极显著小于雌性个体。

表 6 罗氏沼虾 3 个类群 10 个可量性状的最小二乘均值
Tab. 6 Least square means of ten morphometric traits
in three groups of *Macrobrachium rosenbergii*

性状 trait	雌性 female	雄性 male	“老头虾”old male
体重 W	29.90±0.24 ^c	33.80±0.25 ^b	40.00±0.51 ^a
全长 TL	140.40±0.30 ^a	138.00±0.30 ^b	127.90±0.55 ^c
体长 BL	105.77±0.23 ^a	103.70±0.23 ^b	97.12±0.41 ^c
头胸甲长 CL	39.70±0.11 ^b	40.60±0.11 ^a	38.30±0.20 ^c
头胸甲宽 CW	22.70±0.08	22.60±0.08	22.30±0.14
头胸甲高 CD	24.30±0.08	24.20±0.08	24.00±0.14
腹长 AL	70.10±0.18 ^a	67.00±0.18 ^b	60.50±0.33 ^c
腹宽 AW	20.80±0.08 ^a	19.80±0.08 ^b	17.50±0.14 ^c
腹高 AD	23.00±0.09 ^a	21.00±0.09 ^b	18.60±0.17 ^c
第二步足长 LSL	93.60±1.11 ^c	115.70±1.11 ^b	166.40±2.02 ^a

注: 同行数据上标不同表示组间存在极显著差异($P<0.01$)。各性状简称对应的英文全称分别如下: AD, abdominal depth; AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; LSL, length of second leg; TL, total length; W, total weight.

Note: Values in each row with different superscripts are significantly different ($P<0.01$). The full name of each abbreviation of traits is as the following: AD, abdominal depth; AL, abdominal length; AW, abdominal width; BL, body length; CD, carapace depth; CL, carapace length; CW, carapace width; LSL, length of second leg; TL, total length; W, total weight.

3 讨论

3.1 罗氏沼虾表型性状的变异

本研究中, 罗氏沼虾所有个体为 5 月龄左右, 体长变异范围为 7.6 cm~12.9 cm (均值为 10.4 cm), 体重变异范围为 18.12 g~69.49 g (均值为 31.02 g), 远大于 2002 年“罗氏沼虾标准”中 5 月龄(7.27 cm, 10.33 g)或 6 月龄个体的均值(7.95 cm, 12.29 g), 与 7 月龄(9.62 cm, 25.40 g)或 8 月龄的个体均值(10.82 cm, 37.15 g)相当^[30]。第二步足长/体长的值与“标准”中的几乎无差异, “标准”中的雌虾为 0.69~1.14, 雄虾为 1.03~2.04^[30], 本研究中雌虾为 0.68~1.04, 雄虾为 0.83~2.14, “老头虾”(也为一种雄虾)为 1.47~2.17。由此比较可以发现, 经过多年的选育, 罗氏沼虾的生长性能已大大提高。因此, 针对新品种的标准需要制定与颁布。

衡量一个性状, 平均值和标准误是不可避免的。而变异系数(coefficient of variation, CV)是比较两个或多个性状的变异程度, 也是很重要的一个参数。在鱼类中一般体重的变异系数最大, 可

达 20%~60%, 远大于家畜或家禽($CV=7\%~10\%$)^[33]。如在花鲈(*Lateolabrax maculatus*)中, 体重变异系数为 19.77%, 而其他形态性状的变异系数都不超过 10%^[12]; 泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)体重和净体重的变异系数分别为 39.0%和 35.7%^[34]; 翘嘴鲌(*Siniperca chuatsi*)体重的变异系数达 44.275%^[11]。与鱼类类似, 虾类体重的变异系数也较大。如 4 月龄池塘养殖的脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)体重变异系数为 24.39%^[17], 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的为 26.4%~27.38%^[6, 35], 5 月龄罗氏沼虾的达 38.7%^[24], 野生日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)的达 34.88%~48.47%^[36]。本研究对罗氏沼虾 3 个类群的体重、全长等 12 个性状分析的结果表明, 3 个类群体重(W)的变异系数都最大, 为 20%左右, 其中雄性个体的体重变异系数最大, 为 22.05%。该结果与孙海峰等^[29]的结果一致, 暗示在罗氏沼虾的选育中, 体重选育还有提升的潜力。

3.2 罗氏沼虾形态性状间的相关性及对体重的影响

相关系数可以反映两个变量间相关关系的密切程度。已报道的表型性状中, 一般是体长与体重的相关系数最高。本研究相关分析结果表明, 罗氏沼虾除上、下额刺数 2 个可数性状外, 其他 9 个可量形态性状与体重都呈极显著正相关, 但相关系数的大小顺序在 3 个类群中各不相同。另外, 这 9 个形态性状间, 除雄性个体的第二步足长与腹长、腹宽、腹高为显著正相关外, 其他均为极显著正相关。全长与体长、腹长与全长、腹长与体长、头胸甲宽与头胸甲高、腹宽与腹高的相关系数在 3 个类群中几乎均达 0.90 以上。本研究结果与其他虾类的结果较为一致, 如凡纳滨对虾^[6]及日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)^[36]的额刺数与体重相关程度也很小, 但其他表型性状间均有很强的相关性。

体重受多个形态性状的影响, 识别影响体重的主要形态性状, 对良种选育具有重要意义。相关系数能反映两个变量之间相关关系的密切程度, 但不能反映两个变量内在的本质联系, 而通

径系数则可以反映性状间真正的本质关系。通过通径分析,可以识别影响因变量的关键自变量,这在鱼类^[11-12, 34]、虾类^[6, 8, 35-36]、贝类^[19]等水产动物中均有报道。如日本沼虾中,体长和头胸甲长对体重的影响较为显著^[36]。本研究对罗氏沼虾雌、雄及“老头虾”3个类群的通径分析表明,影响体重的关键形态性状在3个类群中各不相同,但体长、头胸甲长、第二步足长在3个类群中均是影响体重的关键指标。通径分析结果也表明,几乎每个性状对体重的直接作用都小于间接作用,表明这些关键性状共同影响着体重。这种现象在其他鱼类如小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)^[10]、翘嘴鲌(*Siniperca chuatsi*)^[11]、花鲈(*Lateolabrax maculatus*)^[12]或虾类如脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)^[17]、日本沼虾^[34]等物种中也普遍存在。

3.3 罗氏沼虾 3 个类群间的表型差异

聚类分析是对不同群体进行初步归类,量化群体间的差异程度^[37]。本研究聚类分析树形图结果表明,罗氏沼虾雌、雄及“老头虾”3个类群中,雌、雄2个类群聚类在一起,表型更为相似,“老头虾”与这两个群体差异较大。主成分分析是一种使用最为广泛的数据降维算法,通过正交变换将原来多个彼此相关的指标转换为新的、个数较少且相互独立的综合性指标,该方法与聚类分析在种群差异研究中应用较为广泛^[19, 33, 37-38]。本研究对罗氏沼虾3个类群的主成分分析结果表明,腹部轮廓特征(包括腹长、腹宽和腹高)对3个类群差异的贡献较大,其次是全长和体长,第二步足长的贡献也较大。主成分1和主成分2散布图表明,雌、雄2个类群表型上更为相似,“老头虾”与雌性的差异最大,二者主成分散点图完全不存在重叠区,这与聚类分析的结果较为一致。

基于10个可量性状的最小二乘均值,对3个类群进行两两比较的分析结果表明,雌性个体在全长、体长及腹部轮廓上极显著大于其他两个类群,暗示雌性个体在腹部生长上具有明显优势,而“老头虾”的第二步足极显著大于雌、雄个体,表明“老头虾”第二步足最为发达。这些特征与主成分分析中识别出的对群体差异贡献大的特征较为一致。

罗氏沼虾达性成熟后,具有明显的性二态现象。雌性为后期的抱卵繁殖做准备,会将其获得的能量主要分配至腹部的快速生长上,使其腹部更为发达,形态上表现为腹长占体长的比例增加,第1~3腹侧甲延长加宽,形成抱卵腔^[1-2],从而使其腹宽和腹高变大。雄性个体则为占领更多的繁殖空间、吸引配偶,会分配较多的能量至具有打斗和辅助繁殖的第二步足及具有保护功能的头胸甲生长。“老头虾”是一类特殊的雄性个体,其第二步足较正常雄虾更为发达,为体长的1.5倍以上。“老头虾”的腹部短小,体色也较为深蓝;头胸甲坚硬,故有养殖户也称之为“铁壳虾”。“老头虾”形成的原因可能与其性腺发育早有关,性成熟后生长缓慢,蜕壳次数少,将更多的能量投入到头胸甲和第二步足的生长发育。但“老头虾”形成的真正原因,还需结合分子等方面的证据进行深入分析。

4 结论

本研究对人工养殖的罗氏沼虾雌、雄及“老头虾”3个类群共490个个体的体重、体长等12个表型性状进行了相关分析、形态性状对体重的通径分析。与2002年制定的“罗氏沼虾标准”中的性状比较结果显示,经过多年的选育,罗氏沼虾的生长性能已大大提高,针对新品种的标准需要制定与颁布。本研究中罗氏沼虾3个类群体重的变异系数都最大,表明体重选育还有可提高的潜力。性状间相关分析结果显示,除上、下额刺数2个可数性状外,其他9个可量形态性状与体重都呈极显著正相关,但相关系数的大小顺序在3个类群中各不相同。通径分析表明,影响体重的关键形态性状在3个类群中各不相同,但体长、头胸甲长、第二步足长在3个类群中均是影响体重的关键指标,并分别建立了各类群体重与关键形态指标的多元回归方程。通径分析结果也显示,几乎每个性状对体重的直接作用都小于间接作用,表明这些关键性状共同影响体重。聚类分析和主成分分析表明,雌、雄2个类群表型上更为相似,“老头虾”与雌性的差异最大。腹部轮廓特征、全长、体长及第二步足长对3个类群差异贡献较大。雌性个体腹部发达,“老头虾”则第二步足尤为发

达。本研究结果可为罗氏沼虾的选择育种、基础生物学、标准制订等提供参考资料。

参考文献:

- [1] Pan J M. New technology for the culture of the giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*)[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1994: 1-40. [潘家模. 罗氏沼虾养殖新技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 1-40.]
- [2] Pan J M. Technology for the culture of the giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*)[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1997: 1-27. [潘家模. 罗氏沼虾养殖技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997: 1-27.]
- [3] Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018: 30-35. [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. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 30-35.]
- [4] FAO. FishStatJ-Software for fishery and aquaculture statistics time series[CP/OL]. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>.
- [5] Deng Z H, Chen M Q, Li Y N, et al. Correlation and path analysis between the morphological traits and the main economic traits of *Amusium pleuronectes* from 5 regions[J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2018, 8(2): 17-28. [邓正华, 陈明强, 李有宁, 等. 5个地区长肋日月贝形态性状对主要经济性状的相关性和通径分析[J]. 中国渔业质量与标准, 2018, 8(2): 17-28.]
- [6] 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. [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.]
- [7] Du J J, Chen Z W. Using the SPSS method to realize path analysis of linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6. [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.]
- [8] Zhang C S, Li F H, Xiang J H. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Exopalaemon carinicauda*[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 809-815. [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(6): 809-815.]
- [9] Pei J, Wang H B, Chu M, et al. Analysis of effects of body sizes on the weight of polled yak[J]. Biotechnology Bulletin, 2018, 34(6): 102-108. [裴杰, 王宏博, 褚敏, 等. 无角牦牛体尺性状对体重影响的通径分析[J]. 生物技术通报, 2018, 34(6): 102-108.]
- [10] Liu F, Chen L, Lou B, et al. Correlation and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(3): 655-662. [刘峰, 陈琳, 楼宝, 等. 小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(3): 655-662.]
- [11] Dong J J, Sun C F, Tian Y Y, et al. Correlation analysis of the main morphological traits and body weight of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and morphological traits between males and females[J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(2): 76-84. [董浚键, 孙成飞, 田园园, 等. 翘嘴鳊主要形态性状与体重的相关性及雌雄形态性状差异分析[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 76-84.]
- [12] Hu Y B, Wen H S, Zhang M Z, et al. Analysis of effects of morphological traits on body weight of spotted sea bass (*Lateolabrax maculatus*)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(2): 38-48. [胡彦波, 温海深, 张美昭, 等. 花鲈形态性状对体质量的影响效果[J]. 中国海洋大学学报, 2018, 48(2): 38-48.]
- [13] Chen H L, Tian Y L, Liu F, et al. Path analysis and curve estimates of morphometric traits and body weight of *Paralichthys olivaceus* at different growth stages[J]. 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[J]. 中国水产科学, 2016, 23(1): 64-76.]
- [14] Bian L, Liu C L, Chen S Q, et al. Path analysis of effects of morphometric traits on body weight in spotted halibut *Verasper variegatus* at different growth stages[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(6): 1168-1175. [边力, 刘长琳, 陈四清, 等. 不同生长期圆斑星鲽形态性状对体重影响的通径分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1168-1175.]
- [15] An L, Liu P, Li J, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric traits on body weight for *Fenneropenaeus chinensis* named "Yellow Sea No. 1"[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 779-786. [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.]
- [16] Wang Z Z, Wu Y T, Yang L, et al. Effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of *Macrobrachium nipponensis*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 612-618. [王志铮, 吴一挺, 杨磊, 等. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)形态性状对体重的影响效应[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 612-618.]
- [17] Zhang C S, Li F H, Xiang J H. Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Exopalaemon carinicauda*[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 809-815. [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(6): 809-815.]
- [18] Zhang Q, Wang Q C, Yu Y, et al. Correlation of morphometric attributes to net weight and fillet yield of *Litopenaeus*

- vannamei*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2018, 49(3): 653-661. [张倩, 王全超, 于洋, 等. 凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 形态性状与净肉重和出肉率的关系[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(3): 653-661.]
- [19] Wang Y Z, Deng Z H, Wang Y, et al. Correlation and path analyses of quantitative traits in different shell color F6 lines of pearl oyster (*Pinctada fucata*)[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(5): 988-997. [王祚哲, 邓正华, 王雨等. 合浦珠母贝不同壳色选育系 F6 数量性状的相关性和通径分析[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 988-997.]
- [20] Yang S P, Liu H L, Jiang B J, et al. Effects of morphometric traits on body weight of *Macrobrachium rosenbergii* with different clamp colors[J]. *Journal of Tropical Biology*, 2014, 5(3): 208-219. [杨世平, 刘慧玲, 江博杰, 等. 不同螯色罗氏沼虾形态性状对体质量的影响[J]. 热带生物学报, 2014, 5(3): 208-219.]
- [21] Li H P, Fu Y, Ren S Y, et al. Comparison in the effect of morphological traits on body weight and meat weight of *Marsipenaes japonicus* from wild and overwintered cultivated groups in Zhoushan offshore regions[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 46(5): 1218-1227. [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殖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] New M B, Valenti W C, Tidwell J H, et al. *Freshwater Prawns: Biology and Farming*[M]. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing, 2009: 18-20.
- [23] Priyadarshi H, Das R, Pavan-Kumar A, et al. Silencing and augmentation of IAG hormone transcripts in adult *Macrobrachium rosenbergii* males affects morphotype transformation[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2017, 220: 4101-4108.
- [24] Deng P P, Dai X L, Zang W L, et al. Effects of morphological traits on body weight of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(7): 205-211. [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.]
- [25] Lalrinsanga P L, Pillai B R, Patra G, et al. Length weight relationship and condition factor of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879) based on developmental stages, culture stages and sex[J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2012, 12: 917-924.
- [26] Lalrinsanga P L, Pillai B R, Patra G, et al. Yield characteristics and morphometric relationships of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879)[J]. *Aquaculture International*, 2014, 22(3): 1053-1066.
- [27] Yang M, Ding F J, Dai X L, et al. Preliminary study on morphometric relationships of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* raised in earthen pond[J]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2016, 6(4): 52-59. [杨明, 丁福江, 戴习林, 等. 池养罗氏沼虾形态参数之间关系的初步研究[J]. 中国渔业质量与标准, 2016, 6(4): 52-59.]
- [28] Yang M, Ding F J, Dai X L. Length-length, length-weight relationships and condition factor of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man 1879) cultured in earthen pond at high density[J]. *Asian Fisheries Science*, 2016, 29(4): 164-177.
- [29] Sun H F, Liu G X, Jiang L Y. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Journal of Aquaculture*, 2018, 39(7): 48-54. [孙海峰, 刘国兴, 蒋连玉. 罗氏沼虾的形态性状对体重的相关性分析[J]. 水产养殖, 2018, 39(7): 48-54.]
- [30] Zhang T L, Tang Z S, Xiong C X. Giant freshwater prawn[S]. *Aquatic Industry Standards of the People's Republic of China*, 2002, SC 1054—2002. [张天来, 唐章生, 熊传喜. 罗氏沼虾[S]. 中华人民共和国水产行业标准, 2002, SC 1054-2002.]
- [31] Lenth R V. lsmeans: Least-squares means. R package version 2.22[CP/OL]. <https://cran.r-project.org/package=lsmeans>.
- [32] Lenth R V. Least-squares means: the R package lsmeans[J]. *Journal of Statistical Software*, 2016, 69(1): 1-33.
- [33] Zeng C. Morphological and genetic analysis of the growth traits of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*)[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012. [曾聪. 团头鲂生长相关性状的形态和遗传分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.]
- [34] Yuan X Y, Fu Y, Yang C, et al. Association analysis of morphometric traits with body weight and net weight of *Misgurnus anguillicaudatus* cultured in paddy fields[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2017(1): 88-95. [袁向阳, 富裕, 杨程, 等. 稻田养殖泥鳅形态性状与体质量、净体质量关联分析的研究[J]. 海洋湖沼通报, 2017(1): 88-95.]
- [35] 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*[J]. *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[J]. 热带生物学报, 2014, 5(4): 307-311.]
- [36] 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. [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.]
- [37] Ma A J, Wang X A, Sun Z B, et al. Morphological variations among three different populations of *Takifugu rubripes*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(1): 166-172. [马爱军, 王新安, 孙志宾, 等. 红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*) 三个不同群体的形态差异分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 166-172.]
- [38] Guo H, Chen L Q, Yang G L, et al. Morphological variations analysis among eight populations of cultivated and

wild and hybridization in *Macrobrachium rosenbergii* [J].
Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(4): 530-535.

[郭慧, 陈立侨, 杨国梁, 等. 不同罗氏沼虾种群形态差异的比较研究[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 530-535.]

Correlation and difference of phenotypic traits among cultured groups of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*

TANG Qiongying¹, XIA Zhenglong², CAI Miuying², XIE Juhong¹, PAN Yueming², LI Jingfen¹, YANG Guoliang^{1,2}

1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Aquatic Resources Conservation and Development; Key Laboratory of Aquatic Animal Genetic Breeding and Nutrition, Chinese Academy of Fishery Sciences; College of Life Science, Huzhou University, Huzhou 313000, China;
2. Jiangsu Shufeng Prawn Breeding Co. LTD, Gaoyou 225654, China

Abstract: The giant freshwater prawn (GFP) *Macrobrachium rosenbergii* is one of the largest freshwater shrimps in the world, widely distributed in the tropical and subtropical regions of Southeast Asia, the Indian Ocean, and the Pacific Ocean. It has become an important cultured species in China since its introduction because of its wide diet, high growth rate, and high economic value. However, the GFP shows slower growth and poor resistance primarily resulting from an inbreeding depression and farming at high density. One male morphotype named as “old males” or “old blue claw” is present commonly among blue claw males, exhibiting developed second legs and carapace with a dark blue body color, and its economic value is very low. Therefore, improved varieties are urgently needed through selective breeding. The body weight is one of the most important traits for selective breeding, which are closely correlated with morphometric traits. To investigate the correlation and differences in phenotypic traits among cultured groups of *M. rosenbergii*, a correlation analysis among 12 phenotypic traits, stepwise multiple regression, and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits were performed on 490 individuals of *M. rosenbergii* selected from Jiangsu Shufeng Prawn Breeding Co. Ltd. representing three cultured groups: females, males, and old males. Compared with the phenotypic traits in the industry standard published in 2002, the growth performance of the present GFP variety has been greatly improved after years of breeding, and a new industry standard for the new variety should be developed and published. The results of correlation analysis and path analysis showed that 1) except for numbers of dorsal and ventral rostrum teeth, the coefficients between the other nine traits and body weight showed extremely significant positive correlations ($P < 0.01$); 2) the key morphometric traits attributed to body weight were different in different groups, but body length, carapace length, and length of second leg were the key traits in the three groups. We estimated the multiple regression equations for each group according to the key traits. For each group, the direct effect of each key morphometric trait on body weight was less than the total indirect effects through the other key traits. The hierarchical cluster analysis and principal component analysis showed that females and males clustered together, and their morphometric traits were similar; the highest variation existed between females and old males. Abdominal characters (including abdominal length, abdominal width, and abdominal depth), total length, body length, and length of second leg contributed the most to the differences among the three groups. Among the three groups, females show advantages in the growth of the abdomen, whereas old males have more developed second legs. The present study can provide data for reference not only for the selective breeding of *M. rosenbergii* but also for its basic biology and the development of industry standard.

Key words: *Macrobrachium rosenbergii*; cultured group; morphometric trait; correlation analysis; path analysis; selective breeding

Corresponding author: YANG Guoliang. E-mail: ygl0572@163.com