

文章编号: 1000-0615(2016)08-1173-13

DOI: 10.11964/jfc.20150709986

日本沼虾五群体形态性状对体质量的通径分析

黄有辉¹, 范斌¹, 李一鸣¹, 刘志权¹, 杨洋¹,
吴东蕾¹, 范武江², 赵云龙^{1*}

(1. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200241;

2. 上海市水产研究所, 上海 200433)

摘要: 为筛选出影响日本沼虾体质量的主要形态性状, 以便确定人工选育的理想测定指标, 以太湖、鄱阳湖、白洋淀、微山湖及淀山湖的野生日本沼虾为研究对象, 随机选取各群体90尾虾测定19个形态指标, 采用简单相关分析和通径分析等多元回归分析方法分析各群体对体质量作用较为突出的形态性状, 并进行聚类分析。通径分析结果显示, 太湖群体体长、头胸甲宽、第二步足长、头胸甲高、尾扇长对体质量的通径系数达到极显著, 逐步回归建立其对体质量的回归方程、回归截距及相应的回归系数分别为-9.878、0.075、0.314、0.011、0.320、0.222; 鄱阳湖群体头胸甲长、尾扇长、尾节宽、头胸甲宽、头胸甲高、尾节高、体长性状对体质量的通径系数达到极显著, 回归截距和相应的回归系数分别为-1.618、0.392、-0.280、0.703、0.524、-0.359、0.688、-0.061; 白洋淀群体体长、头胸甲宽、第二步足长和尾扇长对体质量的通径系数达到极显著, 其回归截距和相应的回归系数分别为-4.796、0.082、0.222、0.007、0.136; 微山湖群体头胸甲长、腹节高、第二步足长、腹节宽对体质量的通径系数达到极显著, 其回归截距和相应的回归系数分别为-7.644、0.248、0.329、0.025、0.301; 淀山湖群体体长、第二步足长、头胸甲宽、尾节宽、腹节宽对体质量的通径系数达到极显著, 其回归截距和相应的回归系数为-6.257、0.019、0.018、0.164、0.264、0.162。体长与头胸甲性状在不同群体中都对体质量的作用十分明显。聚类结果显示, 地理位置越接近, 形态上越相似。研究表明, 各个地区被保留的性状与体质量的复相关系数为0.965、0.904、0.902、0.971、0.955, 为影响各自群体体质量的主要自变量。

关键词: 日本沼虾; 形态性状; 相关分析; 通径分析

中图分类号: S 968.22

文献标志码: A

日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)俗称青虾或河虾, 隶属长臂虾科(Palaemonidae)、沼虾属(*Macrobrachium*), 具有食性杂、繁殖力强的特点, 广泛分布于我国各地的江河湖泊中, 是我国重要的淡水食用虾之一。国内外已就日本沼虾发育生物学^[1-4]、生态毒理学^[5-7]、饲料营养学^[8-11]、分子遗传育种^[12-16]等进行过一定的研究。近几年, 随着水产养殖技术日趋成熟, 日本沼

虾人工养殖产业得到了快速发展, 但多数亲本虾来自未经科学选育的自然群体, 遗传品质得不到保障, 造成日本沼虾个体小、抗病性差、性早熟等系列问题。形态特征是遗传育种与种苗繁育工作的重要基础指标, 其中虾的体质量性状直接影响着养殖产业的经济效益, 是实际生产中最受重视的性状之一^[17]。研究体质量性状与其他形态性状之间的关系, 筛选出决定体质

收稿日期: 2015-07-22 修回日期: 2016-05-05

资助项目: 上海市现代农业产业技术体系建设专项[沪农科产字(2015)第5号]

通信作者: 赵云龙, E-mail: ylzhaol@bio.ecnu.edu.cn

量的关键指标,对指导日本沼虾人工选育生产实践具有十分重要的意义。

多元回归分析法已成为近期国内分析水产动物形态性状与体质量关系的常用方法。多元回归和通径分析在指导脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)^[18-19]、罗氏沼虾(*M. rosenbergii*)^[20-21]、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[22]、半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)^[23]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[24-25]、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[26]、底播虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)^[27]、背瘤丽蚌(*Lamprotula lei*)^[28]、斑节对虾(*Penaeus monodon*)^[29]等水产动物良种选育上均有应用。对于日本沼虾,刘凯等^[30]、沈正雄等^[31]、刘军等^[32]、王志铮等^[33]仅对单一地区或养殖群体进行过形态性状与体质量之间的通径分析研究,而对多个地区分析仅赵晓勤等^[34]、姚茜^[35]有过报道,虽然不同地理种群日本沼虾形态上有一定的差异,但所有差异均未达到亚种水平。

本实验以太湖、鄱阳湖、白洋淀、微山湖以及淀山湖日本沼虾自然群体为研究对象,将各群体的形态性状对体质量进行了多元回归分析,通过简单相关分析和通径分析的处理,获取了影响各地理群体体质量的主要形态性状,建立了各地理群体形态性状与体质量间的最优回归方程,分析保留性状对体质量的直接作用和间接作用,以及保留性状单独或两两共同对体质量的决定程度,以期为人工选育不同地理群体的日本沼虾提供较理想的参考测量指标。

1 材料与方 法

1.1 样品来源

实验虾均采自自然群体,采样地为太湖TH(江苏省吴中市光福镇)、鄱阳湖PYH(江西省九江市都昌县)、白洋淀BYD(河北省保定市安新县)、微山湖WSH(山东省济宁市微山县)、淀山湖DSH(上海青浦县西)。每个采样地点随机挑选90尾日本沼虾进行表型测定。

1.2 测量方法

测量方法参考王志铮等^[33]对于日本沼虾的测量方法,共选用19个性状指标,测量性状分为可量和可数性状,主要形态性状如图1所示。将虾体用吸水纸吸干体表水份,电子秤称量其体质量,精确到0.01 g。其余性状使用IP57型数显游标卡尺进行各可量指标的测定,精度为0.02 mm。

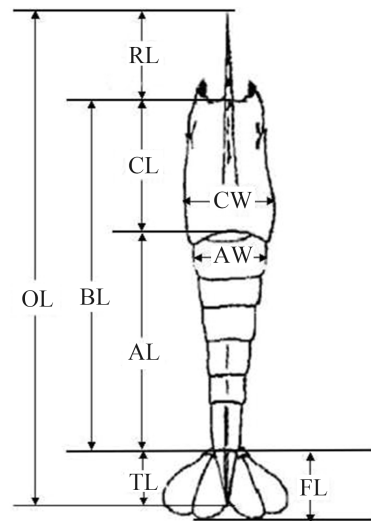


图1 日本沼虾主要形态性状

Fig. 1 Main morphologic characters of *M. nipponense*

可量指标:体质量(BW)、全长(OL)、体长(BL)、额剑长(RL)、第二步足长(P_2L)、眼窝距(ED)、头胸甲长(CL)、头胸甲宽(CW)、头胸甲高(CH)、腹节长(AL)、腹节宽(AW)、腹节高(AH)、尾节长(TL)、尾节宽(TW)、尾节高(TH)、尾扇长(FL)、尾扇宽(FW)。

可数指标:额剑上刺数(NUS)、额剑下刺数(NLS)。

腹节长为头胸甲后缘至最后一节腹节的距离,第二步足长为将其拉直从基部至指节前端的直线距离,尾扇宽为尾扇张开的最大宽度。

1.3 分析方法

整理各性状测定结果,计算出各性状的平均值、标准差以及变异系数,初步获得各性状表型参数统计量。在SPSS 19.0中,分别进行各性状间简单相关分析、形态性状各指标对体质量的通径分析和决定系数的计算,为校正样品规格差异对形态参数的影响,将形态数值转换成长度,高度以体长为基数,宽度以头胸甲宽为基数的比例参数,欧式最短距离进行聚类分析。数据分析方法参照杜家菊等^[36]的方法,分析5个野生群体各形态性状对其体质量的直接作用和间接作用,经逐步回归分析方法中的逐步引入—剔除法,剔除偏回归系数不显著的性状,根据被保留的性状计算复相关系数并建立各地群体形态估计体质量的最优多元回归方程。

2 结果与分析

2.1 五个湖泊野生日本沼虾各表型性状参数估计值

微山湖群体的体质量均值最大, 为4.864 g, 而太湖和微山湖群体的体质量均值都在4.8 g以上, 由均值可以看出, 太湖和微山湖群体日本沼虾的体型较大, 而5个群体均为体质量性状的变异系数最大, 体质量仍有很大的提高潜力(表1)。

2.2 性状间的简单相关分析

对5个群体野生日本沼虾各形态性状之间进行简单相关性分析, 在每个群体中, 除额剑上刺数和额剑下刺数外, 其余形态性状与体质量性状均呈极显著性相关($P<0.01$), 说明所选取的

形态性状对于研究其与体质量之间的相关分析是极其有意义的。从相关程度来看, 各群体形态性状与体质量之间均为显著正相关, 但各群体中相关系数最大的性状却不尽相同, 太湖、淀山湖、白洋淀群体与体质量相关系数最大的性状是体长(BL), 分别为0.967、0.929和0.920, 鄱阳湖和微山湖群体则是头胸甲长(CL), 分别为0.897和0.976, 但在各群体中与体质量相关程度较大的前3个性状之间相差并不大(表2~表4)。

2.3 各形态性状对体质量影响的通径分析及回归方程的建立

根据通径分析原理, 借助SPSS 19.0软件分别获得5个日本沼虾群体各形态性状对体质量的通径系数。经逐步引入剔除法, 进行显著性检验, 剔除未达到显著水平的性状($P>0.05$), 分析

表 1 五群体野生日本沼虾各形态性状的表型参数

Tab. 1 Phenotypic parameters of five groups of the morphological characters of wild *M. nipponense*

指标 index	TH		PYH		BYD		WSH		DSH	
	均值±标准 差/cm mean±SD	变异系数/% coefficient of variation	均值±标准 差/cm mean±SD	变异系数/% coefficient of variation	均值±标准 差/cm mean±SD	变异系数/% coefficient of variation	均值±标准 差/cm mean±SD	变异系数/% coefficient of variation	均值±标准 差/cm mean±SD	变异系数/% coefficient of variation
BW	4.808±2.331	48.472	2.245±1.031	45.935	2.721±0.954	35.069	4.864±1.943	39.941	3.219±1.123	34.882
OL	71.693±10.147	14.153	53.237±8.916	16.748	58.703±6.918	11.784	74.669±9.735	13.037	64.621±6.415	9.927
BL	57.978±13.468	13.468	43.400±7.636	17.593	47.597±5.588	11.740	60.979±8.220	13.480	52.451±5.047	9.622
RL	14.382±2.632	18.300	10.596±1.785	16.849	11.295±1.608	14.234	14.168±1.989	14.037	12.986±1.843	14.193
P ₂ L	68.314±32.455	47.509	47.957±16.254	33.893	49.440±16.790	33.961	57.573±8.721	15.147	52.957±15.55	29.363
ED	3.273±0.550	16.796	2.075±0.477	22.959	2.364±0.383	16.194	3.042±0.507	16.655	3.306±0.945	28.589
CL	18.311±3.070	16.764	13.661±2.394	17.524	15.438±1.973	12.779	19.231±2.716	14.121	16.664±2.249	13.498
CW	10.398±1.660	15.958	8.078±1.473	18.230	8.934±1.101	12.322	11.405±1.592	13.962	9.520±1.246	13.089
CH	11.558±1.741	15.060	8.900±1.501	16.866	9.777±1.331	13.612	12.056±1.772	14.695	10.522±1.338	12.712
AL	30.031±3.586	11.943	22.293±4.262	19.119	24.318±2.813	11.567	31.778±4.387	13.805	29.610±4.829	16.309
AW	9.421±1.331	14.128	6.888±1.356	19.691	7.839±0.954	12.166	10.120±1.718	16.975	8.606±1.067	12.394
AH	9.674±1.319	13.639	7.116±1.376	19.336	8.199±1.327	16.181	9.835±1.935	19.673	8.555±1.032	12.065
TL	10.287±1.316	12.793	7.829±1.099	14.043	8.570±1.012	11.812	10.380±1.334	12.849	9.621±0.950	9.873
TW	3.410±1.455	42.671	2.345±0.484	20.651	2.570±0.425	16.541	3.349±0.533	15.905	2.880±0.433	15.368
TH	2.030±0.490	24.126	1.532±0.380	24.795	1.463±0.331	22.630	1.926±0.368	19.080	1.831±0.375	20.494
FL	11.651±1.694	14.540	8.992±1.220	13.563	9.543±1.239	12.979	11.972±1.911	15.966	10.785±1.35	12.520
FW	18.277±3.233	17.690	12.817±2.805	21.882	15.293±2.700	17.655	20.558±3.006	14.622	17.335±2.644	15.250
NUS	12.733±1.118	8.7790	12.340±0.649	5.258	12.450±0.872	7.003	13.089±1.149	8.775	12.354±1.763	14.269
NLS	3.100±0.681	21.983	2.943±0.456	15.505	3.133±0.430	13.739	3.357±0.520	15.482	3.508±0.937	26.726

表 2 太湖与鄱阳湖野生日本沼虾测定群体各表型间的相关系数

Tab. 2 The phenotypic correlation coefficient among the traits of Tai Lake populations and Poyang Lake populations of *M. nipponense*

性状 trait	BW	OL	BL	RL	P ₂ L	ED	CL	CW	CH	AL	AW	AH	TL	TW	TH	FL	FW	NUS	NLS
BW		0.836**	0.846**	0.601**	0.528**	0.776**	0.897**	0.896**	0.848**	0.813**	0.830**	0.823**	0.852**	0.870**	0.750**	0.707**	0.798**	0.075	0.117
OL	0.949**		0.971**	0.840**	0.336	0.825**	0.961**	0.957**	0.959**	0.954**	0.950**	0.921**	0.901**	0.860**	0.806**	0.901**	0.924**	0.164	0.183
BL	0.967**	0.983**		0.813**	0.395**	0.834**	0.962**	0.957**	0.952**	0.944**	0.952**	0.912**	0.918**	0.884**	0.833**	0.901**	0.903**	0.135	0.171
RL	0.826**	0.908**	0.854**		0.276	0.678**	0.763**	0.738**	0.740**	0.817**	0.791**	0.728**	0.761**	0.687**	0.643**	0.777**	0.748**	0.290	0.232
P ₂ L	0.851**	0.846**	0.829**	0.875**		0.404**	0.449**	0.397**	0.325	0.226	0.255	0.187	0.447**	0.504**	0.374**	0.294	0.278	0.344	0.092
ED	0.672**	0.714**	0.712**	0.648**	0.585**		0.832**	0.828**	0.850**	0.787**	0.813**	0.797**	0.799**	0.803**	0.681**	0.731**	0.816**	0.061	0.095
CL	0.964**	0.971**	0.977**	0.871**	0.876**	0.689**		0.972**	0.966**	0.935**	0.941**	0.912**	0.912**	0.890**	0.779**	0.881**	0.920**	0.166	0.151
CW	0.936**	0.912**	0.923**	0.779**	0.755**	0.657**	0.921**		0.968**	0.938**	0.942**	0.916**	0.906**	0.889**	0.791**	0.883**	0.908**	0.165	0.191
CH	0.949**	0.933**	0.949**	0.775**	0.758**	0.626**	0.945**	0.929**		0.938**	0.948**	0.936**	0.904**	0.878**	0.796**	0.886**	0.929**	0.136	0.175
AL	0.918**	0.940**	0.951**	0.782**	0.698**	0.683**	0.917**	0.911**	0.932**		0.969**	0.923**	0.854**	0.798**	0.788**	0.877**	0.906**	0.125	0.206
AW	0.770**	0.774**	0.792**	0.606**	0.527**	0.510**	0.764**	0.818**	0.834**	0.853**		0.956**	0.882**	0.845**	0.811**	0.884**	0.909**	0.096	0.183
AH	0.706**	0.691**	0.732**	0.471**	0.370**	0.497**	0.701**	0.749**	0.790**	0.790**	0.779**		0.861**	0.837**	0.810**	0.857**	0.915**	0.040	0.207
TL	0.907**	0.903**	0.909**	0.823**	0.791**	0.630**	0.912**	0.855**	0.892**	0.840**	0.746**	0.659**		0.886**	0.761**	0.847**	0.860**	0.087	0.151
TW	0.331**	0.389**	0.363**	0.431**	0.412**	0.091	0.376**	0.313	0.323	0.331**	0.295	0.208	0.463**		0.715**	0.779**	0.824**	0.152	0.165
TH	0.801**	0.777**	0.790**	0.750**	0.779**	0.646**	0.806**	0.719**	0.723**	0.676**	0.475**	0.477**	0.733**	0.311		0.747**	0.761**	0.069	0.166
FL	0.936**	0.921**	0.939**	0.821**	0.840**	0.636**	0.934**	0.863**	0.893**	0.883**	0.746**	0.654**	0.868**	0.363**	0.769**		0.864**	0.150	0.266
FW	0.902**	0.899**	0.899**	0.833**	0.860**	0.600**	0.928**	0.816**	0.852**	0.827**	0.645**	0.599**	0.846**	0.304	0.809**	0.874**		0.078	0.103
NUS	0.159	0.130	0.114	0.071	0.003	0.042	0.100	0.170	0.200	0.131	0.083	0.154	0.227	0.004	0.109	0.063	0.111		0.326*
NLS	0.237	0.236	0.253	0.191	0.175	0.015	0.224	0.234	0.326	0.243	0.189	0.215	0.304	0.083	0.128	0.175	0.178	0.436**	

注: *. 相关系数达到显著水平($P<0.05$), **. 相关系数均达到极显著水平($P<0.01$),下同; 对角线下方为太湖群体相关系数, 上方为鄱阳湖群体相关系数

Notes: *. significant difference ($P<0.05$), **. very significant difference ($P<0.01$), the same below; the correlation coefficient of Tai Lake and Poyang Lake populations is under and above the diagonal line

保留性状对体质量性状的直接作用(通径系数)和间接作用(间接通径系数), 进行复相关分析, 建立各群体的多元回归方程。

太湖群体 日本沼虾太湖群体被保留下来的体长(BL)、头胸甲宽(CW)、第二步足长(P₂L)、头胸甲高(CH)、尾扇长(FL)性状对体质量的直接作用相差不大且直接作用较小, 并没有出现对体质量有明显影响的某一突出性状, 其影响程度为BL>CH>CW>FL>P₂L(表5), 而间接作用相对突出, 且均大于直接作用, 说明日本沼虾太湖群体的体质量主要是通过各个形态性状的相互作用来影响的。根据逐步回归分析结果建立其多元回归方程为 $Y = -9.878 + 0.075X_1 + 0.314X_2 + 0.011X_3 + 0.320X_4 + 0.222X_5$, X_1 、 X_2 、 X_3 、

X_4 、 X_5 分别代表BL、CW、P₂L、CH、FL。

鄱阳湖群体 日本沼虾鄱阳湖群体被保留下来的头胸甲长(CL)、尾扇长(FL)、尾节宽(TW)、头胸甲宽(CW)、头胸甲高(CH)、尾节高(TH)、体长(BL)性状与体质量的通径结果中, 直接作用中较为突出的2个性状为头胸甲长(0.909)和头胸甲宽(0.748), 说明头胸甲长和头胸甲宽是影响鄱阳湖群体体质量的主要因素, 而头胸甲高的间接作用最大(1.407)(表6), 可见头胸甲高主要是通过头胸甲长和宽间接影响体质量的。鄱阳湖群体的多元回归方程: $Y = -1.618 + 0.392X_1 - 0.280X_2 + 0.703X_3 + 0.524X_4 - 0.359X_5 + 0.688X_6 - 0.061X_7$, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 分别代表CL、FL、TW、CW、CH、

表 3 白洋淀与微山湖野生日本沼虾测定群体各表型间的相关系数

Tab. 3 The phenotypic correlation coefficient among the traits of Baiyang Lake populations and Weishan Lake populations of *M. nipponense*

性状 trait	BW	OL	BL	RL	P ₂ L	ED	CL	CW	CH	AL	AW	AH	TL	TW	TH	FL	FW	NUS	NLS
BW		0.956**	0.969**	0.712**	0.556**	0.797**	0.976**	0.951**	0.950**	0.944**	0.959**	0.958**	0.899**	0.874**	0.709**	0.900**	0.840**	-0.015	-0.092
OL	0.909**		0.982**	0.836**	0.555**	0.780**	0.968**	0.959**	0.950**	0.932**	0.937**	0.933**	0.946**	0.884**	0.719**	0.912**	0.851**	-0.005	-0.090
BL	0.920**	0.968**		0.760**	0.510**	0.798**	0.980**	0.958**	0.956**	0.963**	0.961**	0.947**	0.938**	0.886**	0.704**	0.918**	0.858**	-0.007	-0.102
RL	0.757**	0.876**	0.802**		0.517**	0.552**	0.741**	0.764**	0.750**	0.681**	0.673**	0.692**	0.772**	0.697**	0.598**	0.716**	0.691**	0.078	0.001
P ₂ L	0.610**	0.510**	0.489**	0.505**		0.396**	0.566**	0.599**	0.553**	0.466**	0.403**	0.426**	0.457**	0.546**	0.365**	0.376**	0.494**	0.052	-0.123
ED	0.698**	0.687**	0.674**	0.639**	0.516**		0.798**	0.755**	0.749**	0.771**	0.792**	0.761**	0.746**	0.664**	0.596**	0.718**	0.733**	-0.026	-0.140
CL	0.884**	0.917**	0.913**	0.812**	0.583**	0.733**		0.965**	0.969**	0.952**	0.960**	0.942**	0.925**	0.877**	0.716**	0.920**	0.833**	0.006	-0.069
CW	0.912**	0.908**	0.904**	0.765**	0.614**	0.707**	0.894**		0.960**	0.925**	0.938**	0.920**	0.912**	0.857**	0.718**	0.864**	0.837**	0.055	-0.069
CH	0.889**	0.895**	0.921**	0.709**	0.529**	0.653**	0.894**	0.897**		0.939**	0.934**	0.928**	0.905**	0.869**	0.694**	0.901**	0.836**	-0.022	-0.076
AL	0.854**	0.934**	0.931**	0.782**	0.378**	0.642**	0.883**	0.876**	0.875**		0.930**	0.920**	0.881**	0.877**	0.667**	0.888**	0.805**	0.008	-0.071
AW	0.793**	0.855**	0.883**	0.675**	0.222	0.607**	0.811**	0.796**	0.834**	0.903**		0.957**	0.910**	0.858**	0.673**	0.905**	0.812**	-0.003	-0.123
AH	0.658**	0.710**	0.739**	0.499**	0.009	0.458**	0.659**	0.637**	0.706**	0.767**	0.851**		0.912**	0.841**	0.675**	0.920**	0.829**	-0.07	-0.113
TL	0.856**	0.896**	0.888**	0.774**	0.542**	0.626**	0.856**	0.872**	0.844**	0.815**	0.759**	0.631**		0.827**	0.642**	0.885**	0.831**	-0.08	-0.075
TW	0.819**	0.838**	0.850**	0.735**	0.609**	0.589**	0.803**	0.807**	0.765**	0.769**	0.717**	0.539**	0.800**		0.638**	0.848**	0.749**	-0.031	-0.049
TH	0.443**	0.445**	0.458**	0.436**	0.508**	0.466**	0.459**	0.482**	0.401**	0.363**	0.304	0.160	0.535**	0.494**		0.727**	0.647**	0.121	0.076
FL	0.864**	0.855**	0.850**	0.721**	0.541**	0.641**	0.840**	0.836**	0.844**	0.834**	0.775**	0.684**	0.775**	0.751**	0.437**		0.808**	-0.068	-0.071
FW	0.870**	0.846**	0.839**	0.778**	0.608**	0.663**	0.849**	0.869**	0.826**	0.802**	0.726**	0.563**	0.821**	0.714**	0.500**	0.796**		0.000	-0.043
NUS	0.124	0.071	0.142	-0.027	0.008	0.087	0.077	0.079	0.164	0.085	0.150	0.116	0.041	0.092	-0.097	0.043	0.055		0.372**
NLS	0.119	0.140	0.135	0.234	0.159	0.238	0.073	0.165	0.110	0.089	0.072	-0.095	0.119	0.148	0.205	0.065	0.116	0.018	

注: 对角线下方为白洋淀群体相关系数, 上方为微山湖群体相关系数

Notes: the correlation coefficient of Baiyang Lake and Weishan Lake populations is under and above the diagonal line

TH、BL。

白洋淀群体 日本沼虾白洋淀群体被保留下来的体长(BL)、头胸甲宽(CW)、第二步足长(P₂L)和尾扇长(FL)形态性状对体质量的通径分析中, 体长的直接作用最大(0.478), 尾扇长的直接作用最小(0.177), 体长和头胸甲宽的直接作用均大于间接作用(表7), 说明体长和头胸甲宽是影响白洋淀群体体质量的主要因素, 而第二步足长和尾扇长则是通过体长和头胸甲宽来间接影响体质量。建立白洋淀日本沼虾群体回归方程为 $Y = -4.796 + 0.082X_1 + 0.222X_2 + 0.007X_3 + 0.136X_4$, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别代表 BL、CW、P₂L、FL。

微山湖群体 日本沼虾微山湖群体被保留的头胸甲长(CL)、腹节高(AH)、第二步足长

(P₂L)、腹节宽(AW)性状对体质量性状的通径分析中, 头胸甲长的直接作用(0.347)和间接作用(0.628)均为最大(表8), 可见, 头胸甲长性状对体质量的影响较为突出。建立其多元回归方程为 $Y = -7.644 + 0.248X_1 + 0.329X_2 + 0.025X_3 + 0.301X_4$, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别代表 CL、AH、P₂L、AW。

淀山湖群体 日本沼虾淀山湖群体排除不显著性状后保留下的体长(BL)、第二步足长(P₂L)、头胸甲宽(CW)、尾节宽(TW)、腹节宽(AW)性状对体质量性状的通径分析结果中, 体长性状的直接作用最大(0.410), 尾节宽的直接作用最小(0.104)(表9), 所有性状的间接作用均大于各自的直接作用, 说明各性状是通过性状间的相互作用来影响体质量的。建立其多元回归方程为 $Y = -6.257 + 0.019X_1 + 0.018X_2 + 0.164X_3 + 0.264X_4 + 0.16$

表 4 淀山湖野生日本沼虾测定群体各表型间的相关系数

Tab. 4 The phenotypic correlation coefficient among the traits of Dianshan Lake populations of *M. nipponense*

性状 trait	BW	OL	BL	RL	P ₂ L	ED	CL	CW	CH	AL	AW	AH	TL	TW	TH	FL	FW	NUS
OL	0.925**																	
BL	0.929**	0.945**																
RL	0.623**	0.735**	0.581**															
P ₂ L	0.840**	0.747**	0.714**	0.525**														
ED	0.571**	0.555**	0.618**	0.170	0.600**													
CL	0.893**	0.884**	0.888**	0.649**	0.763**	0.497**												
CW	0.884**	0.867**	0.813**	0.703**	0.735**	0.425**	0.798**											
CH	0.891**	0.864**	0.854**	0.601**	0.719**	0.443**	0.828**	0.882**										
AL	0.374**	0.410**	0.548**	-0.035	0.240	0.605**	0.341**	0.139	0.246									
AW	0.847**	0.863**	0.816**	0.685**	0.640**	0.361**	0.790**	0.831**	0.874**	0.189								
AH	0.817**	0.776**	0.780**	0.441**	0.678**	0.407**	0.732**	0.704**	0.788**	0.351**	0.769**							
TL	0.761**	0.758**	0.733**	0.568**	0.610**	0.344**	0.716**	0.734**	0.802**	0.153	0.800**	0.629**						
TW	0.661**	0.576**	0.607**	0.259	0.581**	0.382**	0.570**	0.513**	0.567**	0.328**	0.432**	0.536**	0.406**					
TH	0.407**	0.342**	0.411**	0.076	0.376**	0.322**	0.303	0.304	0.352**	0.456**	0.271	0.378**	0.265	0.520**				
FL	0.789**	0.754**	0.830**	0.335**	0.626**	0.563**	0.689**	0.613**	0.695**	0.634**	0.615**	0.685**	0.550**	0.620**	0.555**			
FW	0.784**	0.766**	0.688**	0.64**	0.669**	0.266	0.701**	0.860**	0.749**	-0.029	0.758**	0.638**	0.657**	0.502**	0.251	0.530**		
NUS	-0.114	0.000	-0.113	0.268	-0.118	-0.275	-0.047	0.067	-0.034	-0.228	0.041	-0.055	-0.149	-0.291	-0.119	-0.231	0.007	
NLS	0.174	0.188	0.218	-0.120	0.115	0.296	0.142	0.068	0.083	0.461**	0.101	0.079	0.005	0.075	0.274	0.153	-0.005	-0.082

表 5 太湖日本沼虾群体各性状对体质量影响的通径分析

Tab. 5 Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight of Tai Lake populations

性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect					
			∑	BL	CW	P ₂ L	CH	FL
BL	0.967**	0.252	0.713		0.206	0.129	0.227	0.151
CW	0.936**	0.224	0.712	0.233		0.118	0.222	0.139
P ₂ L	0.851**	0.156	0.694	0.209	0.169		0.181	0.135
CH	0.949**	0.239	0.709	0.239	0.208	0.118		0.144
FL	0.936**	0.161	0.774	0.237	0.193	0.131	0.213	

2X₅, X₁、X₂、X₃、X₄、X₅分别代表BL、P₂L、CW、TW、AW。

复相关分析 5个群体被保留下来的形态性状与体质量之间的复相关分析中,太湖群体被保留下来的5个形态性状对体质量的复相关指数为0.965,鄱阳湖群体被保留下来的6个形态性状对体质量的复相关指数为0.904,白洋淀群体

被保留下来的4个形态性状对体质量的复相关指数为0.902,微山湖群体被保留下来的4个形态性状对体质量的复相关指数为0.971,淀山湖群体被保留下来的5个形态性状对体质量的复相关指数为0.955(表10)。表明各群体保留的性状与体质量存在极为密切的关系,这些性状均为相应群体影响体质量的主要性状。

表 6 鄱阳湖日本沼虾群体各性状对体质量影响的通径分析

Tab. 6 Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight of Poyang Lake populations

性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect							
			Σ	CL	FL	TW	CW	CH	TH	BL
CL	0.897**	0.909	0.024		-0.292	0.294	0.763	-0.504	0.197	-0.434
FL	0.707**	-0.331	1.072	0.8011		0.257	0.693	-0.462	0.189	-0.406
TW	0.870**	0.330	0.574	0.8099	-0.258		0.698	-0.458	0.181	-0.399
CW	0.896**	0.748	0.148	0.883	-0.292	0.293		-0.505	0.200	-0.431
CH	0.848**	-0.522	1.407	0.878	-0.293	0.290	0.760		0.201	-0.429
TH	0.750**	0.253	0.526	0.708	-0.247	0.236	0.621	-0.416		-0.376
BL	0.846**		1.333	0.874	-0.298	0.292	0.751	-0.497	0.211	

表 7 白洋淀日本沼虾群体各性状对体质量影响的通径分析

Tab. 7 Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight of Baiyang Lake populations

性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect				
			Σ	BL	CW	P ₂ L	FL
BL	0.920**	0.478	0.444		0.232	0.061	0.151
CW	0.912**	0.257	0.224	0.432		0.076	0.148
P ₂ L	0.610**	0.124	0.254	0.234	0.158		0.096
FL	0.864**	0.177	0.282	0.406	0.215	0.067	

表 8 微山湖日本沼虾群体各性状对体质量影响的通径分析

Tab. 8 Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight of Weishan Lake populations

性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect				
			Σ	CL	AH	P ₂ L	AW
CL	0.950**	0.347	0.628		0.309	0.064	0.255
AH	0.958**	0.328	0.302	0.327		0.048	0.254
P ₂ L	0.556**	0.113	0.247	0.566	0.140		0.107
AW	0.959**	0.266	0.360	0.960	0.314	0.046	

表 9 淀山湖日本沼虾群体各性状对体质量影响的通径分析

Tab. 9 Path analysis of the effects of morphometric traits on body weight of Dianshan Lake populations

性状 trait	相关系数 correlation coefficient	直接作用 direct effect	间接作用 indirect effect					
			Σ	BL	P ₂ L	CW	TW	AW
BL	0.929**	0.410	0.518		0.182	0.148	0.063	0.125
P ₂ L	0.840**	0.255	0.585	0.293		0.134	0.060	0.098
CW	0.884**	0.182	0.700	0.333	0.187		0.053	0.127
TW	0.661**	0.104	0.556	0.249	0.148	0.093		0.066
AW	0.847**	0.153	0.694	0.335	0.163	0.151	0.045	

表 10 形态性状与体质量的复相关分析

Tab. 10 The multiple-correlation coefficients of morphometric traits on the body weight

群体 population	复相关系数R multiple R	复相关指数R ² R square	校正后复相关指数R ² adjusted R square	标准误差 std.error of the estimate
太湖 Tai Lake	0.982	0.965	0.961	0.459
鄱阳湖 Poyang Lake	0.951	0.904	0.889	0.344
白洋淀 Baiyang Lake	0.950	0.902	0.895	0.309
微山湖 Weishan Lake	0.985	0.971	0.969	0.345
淀山湖 Dianshan Lake	0.977	0.955	0.952	0.248

2.4 形态性状对体质量的决定程度分析

每个群体中对体质量直接作用显著的性状单独或两两共同对体质量的决定系数见表11~表15, 对角线上列出的是每个形态性状对体质量单独的决定系数, 对角线上方列出的是两两形态性状共同对体质量的决定系数。不同群体中对体质量决定系数最大的单独性状不尽相同, 太湖、白洋淀和淀山湖群体最大的是体长, 分别为0.064、0.228、0.168, 鄱阳湖和微山湖群体最

表 11 太湖群体形态参数对体质量的决定系数

Tab. 11 Determinant coefficients of morphometric traits on body weight of Tai Lake populations

性状 trait	BL	CW	P ₂ L	CH	FL
BL	0.064	0.104	0.065	0.114	0.076
CW		0.050	0.053	0.099	0.062
P ₂ L			0.024	0.057	0.042
CH				0.057	0.069
FL					0.026

表 12 鄱阳湖群体形态参数对体质量的决定系数

Tab. 12 Determinant coefficients of morphometric traits on body weight of Poyang Lake populations

性状 trait	CL	FL	TW	CW	CH	TH	BL
CL	0.826	-0.530	0.534	1.322	-0.917	0.358	-0.789
FL		0.110	-0.170	-0.437	0.306	-0.125	0.269
TW			0.109	0.439	-0.302	0.119	-0.263
CW				0.560	-0.756	0.299	-0.646
CH					0.272	-0.210	0.448
TH						0.064	-0.190
BL							0.203

表 13 白洋淀群体形态参数对体质量的决定系数

Tab. 13 Determinant coefficients of morphometric traits on body weight of Baiyang Lake populations

性状 trait	BL	CW	P ₂ L	FL
BL	0.228	0.222	0.058	0.144
CW		0.066	0.039	0.076
P ₂ L			0.015	0.024
FL				0.031

表 14 微山湖群体形态参数对体质量的决定系数

Tab. 14 Determinant coefficients of morphometric traits on body weight of Weishan Lake populations

性状 trait	CL	AH	P ₂ L	AW
CL	0.120	0.214	0.044	0.177
AH		0.108	0.032	0.167
P ₂ L			0.013	0.024
AW				0.071

表 15 淀山湖群体形态参数对体质量的决定系数

Tab. 15 Determinant coefficients of morphometric traits on body weight of Dianshan Lake populations

性状 trait	BL	P ₂ L	CW	TW	AW
BL	0.168	0.149	0.121	0.052	0.102
P ₂ L		0.065	0.068	0.031	0.050
CW			0.033	0.019	0.046
TW				0.011	0.014
AW					0.023

大的是头胸甲长, 分别为0.826、0.120, 这与简单相关分析结果和通径分析结果相符, 说明长度性状对体质量的决定作用较为突出。单独的决定系数和两两共同决定系数的总合等于总的

决定系数, 各形态性状对体质量总的决定系数与相关指数 R^2 数值基本相等, 表明本实验所列性状是影响体质量的主要性状。

2.5 日本沼虾五个群体的形态遗传分布

剔除与体质量性状相关性不显著的性状, 将形态性状转换成以体长、头胸甲宽为基数的比例参数, 对5个群体形态特征进行聚类分析。5个群体中太湖群体和淀山湖群体的形态最为接近, 白洋淀群体与微山湖群体聚为一支, 而后二者聚为一支, 鄱阳湖群体单为一支。

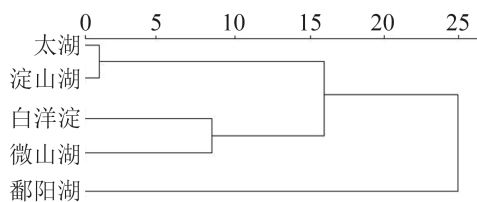


图2 日本沼虾五群体形态聚类分析图

Fig. 2 Cluster dendrogram of five populations of *M. nipponense*

3 讨论

简单相关系数反映的是两个变量之间相互关系的综合, 并不能反映出两个变量之间的内在本质联系, 而通径分析中的通径系数表示的就是自变量对因变量的直接作用, 可以反映出性状之间真正的本质关系。然而由于回归方程所选的自变量个数和性质的不同, 通径系数就会有所变化, 选择的自变量的数量越多, 结果会越可靠, 相应的统计分析就会越复杂^[25]。本研究选用了18个形态参数对体质量进行分析, 虽然不同群体对体质量相关系数最大的性状不尽相同, 除鄱阳湖群体外, 白洋淀、微山湖、太湖和淀山湖群体对体质量的主要性状之间相差不大, 而鄱阳湖群体对体质量的主要相关性状为头胸甲性状。鄱阳湖为我国第二大淡水湖, 与长江水系相通, 且鄱阳湖地处华中, 其生境与华东、华北有较大差异, 可能是造成鄱阳湖群体与其余群体差异的主要原因。

对各性状分析发现, 5个地区日本沼虾的体质量性状的变异系数均为最大, 说明体质量性状在良种选育上具有很大的潜力。除额剑上刺数和额剑下刺数外, 所有性状对体质量的相关

系数均达到极显著水平, 这与刘凯等^[30]分析长江下游日本沼虾形态对体质量的影响的结果相符, 说明额剑上刺数和下刺数两性状对日本沼虾的体质量不具有影响力, 可在选育高品质种虾过程中不考虑二者的影响。经过通径显著性检验后, 达到极显著水平的性状没有都被保留下来, 并且各个群体被保留的性状有所不同, 说明不同地理群体的日本沼虾其形态模型并不完全一样, 呈现出地区差异。我国地域辽阔, 不同地区呈现出不同生境, 即使同一河流的不同水段其生境也有所不同, 因此在不同地区的良种选育上应因地制宜。但体长、头胸甲的性状(长、宽、高)、第二步足长等主要性状在5个群体中都有出现, 只是在不同群体中对体质量的作用程度不同, 可能与各地群体所处的生境不同有关, 这与王志铮等^[33]在分析养殖日本沼虾形态性状对体质量的影响时发现的雌虾头胸甲长、头胸甲宽、体长和头胸甲高, 雄虾体长、头胸甲长和头胸甲宽为最优性状基本相符。与张成松等^[18]在筛选脊尾白虾、孙苗苗等^[29]在筛选斑节对虾时确定的影响体质量的主要性状也基本相符, 说明主要性状在虾类筛选中基本上是通用的。

复相关系数是测量一个变量与其他多个变量之间线性相关程度的指标, 复相关系数越大, 表明变量之间的线性相关程度越密切。刘小林等^[25]认为, 在表型简单相关分析的基础上进行的通径系数分析, 只有当复相关指数或各自变量对依变量的单独决定系数及两两共同决定系数的总 R^2 大于或等于0.85时, 才表明影响因变量的主要自变量已经找到。本研究中太湖、鄱阳湖、白洋淀、微山湖、淀山湖群体保留的形态性状对体质量的复相关指数和决定系数均大于0.85。因此, 可以说各群体被保留的形态性状是影响体质量的主要形态性状, 并建立了各地较为理性的多元回归方程。从单独性状对体质量的决定系数来看, 体长、头胸甲长是在选育时应重点参考的指标。

5个群体的日本沼虾经过欧式最短距离聚类, 从形态学水平上看, 太湖群体与淀山湖群体的日本沼虾在外形上最为相似, 其次微山湖群体与白洋淀群体的日本沼虾的形态结构相似, 揭示形态相似群体在遗传特征上有较多的共同之处。聚类结果与各种群地理距离相符。

在选择育种过程中要尽量避免它们之间的杂交,为了体现杂种优势,应尽量挑选遗传距离较远的品种进行杂交选育。在日本沼虾人工选育实际应用过程中,应针对不同地区的群体做相应的统计分析,以便能够筛选出最佳的形态性状,提高育种效率。

参考文献:

- [1] 陈琰,朱琴,陈辉,等.日本沼虾胚胎发育的形态及组织学观察[J].上海海洋大学学报,2012,21(1):33-40.
Chen Y, Zhu Q, Chen H, *et al.* The morphological and histological observation of embryonic development in the oriental river prawn *Macrobrachium nipponense*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(1): 33-40(in Chinese).
- [2] Bai H K, Qiao H, Li F J, *et al.* Molecular characterization and developmental expression of vitellogenin in the oriental river prawn *Macrobrachium nipponense* and the effects of RNA interference and eyestalk ablation on ovarian maturation[J]. Gene, 2015, 562(1): 22-31.
- [3] 李红,赵云龙,王群,等.日本沼虾胚胎发育不同阶段主要生化成分的变化[J].水产学报,2003,27(6):545-549.
Li H, Zhao Y L, Wang Q, *et al.* Variations in biochemical composition during embryonic development of *Macrobrachium nipponense*[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(6): 545-549(in Chinese).
- [4] Jin S B, Jiang S F, Xiong Y W, *et al.* Molecular cloning of two tropomyosin family genes and expression analysis during development in oriental river prawn, *Macrobrachium nipponense*[J]. Gene, 2014, 546(2): 390-397.
- [5] 邹李昶,任夙艺,王志铮,等.氨氮急性胁迫对日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)死亡率、耗氧率及窒息点的影响[J].海洋与湖沼,2015,46(1):206-211.
Zou L C, Ren S Y, Wang Z Z, *et al.* Acute effects of ammonia exposure on mortality, oxygen consumption, and suffocation point in freshwater shrimp *Macrobrachium nipponense*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(1): 206-211(in Chinese).
- [6] 王志铮,任夙艺,赵晶,等. Zn^{2+} 对日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)的急性致毒效应[J].海洋与湖沼,2013,44(1):235-240.
Wang Z Z, Ren S Y, Zhao J, *et al.* Acute toxic effects of Zinc on freshwater shrimp *Macrobrachium nipponense*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(1): 235-240(in Chinese).
- [7] Wang A L, Wang W N, Wang Y, *et al.* Effect of dietary vitamin C supplementation on the oxygen consumption, ammonia-N excretion and Na^+/K^+ ATPase of *Macrobrachium nipponense* exposed to ambient ammonia[J]. Aquaculture, 2003, 220(1-4): 833-841.
- [8] 秦钦,蔡永祥,陈校辉,等.不同规格日本沼虾饲料蛋白最适含量研究[J].饲料研究,2010(4):53-55.
Qin Q, Cai Y X, Chen X H, *et al.* The optimum content of protein feed in different specifications of *Macrobrachium nipponense*[J]. Feed Research, 2010(4): 53-55(in Chinese).
- [9] 赵卫红,王资生,张余霞,等.雌二醇对日本沼虾肝胰腺的脂肪酸含量及组织结构的影响[J].海洋渔业,2014,36(6):542-548.
Zhao W H, Wang Z S, Zhang Y X, *et al.* Effects of estradiol on fatty acid composition and tissue structure of hepatopancreas in *Macrobrachium nipponense*[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(6): 542-548(in Chinese).
- [10] Ding Z L, Zhang Y X, Ye J Y, *et al.* An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in the diet of *Macrobrachium nipponense*: growth, nonspecific immunity, and resistance to *Aeromonas hydrophila*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 44(1):295-301.
- [11] 王军花,曹春玲,任杰,等.鄱阳湖日本沼虾肌肉营养成分分析[J].南昌大学学报(理科版),2011,35(4):380-383.
Wang J H, Cao C L, Ren J, *et al.* Muscle nutrient components analysis of shrimp, *Macrobrachium nipponense*, from Poyang Lake[J]. Journal of Nanchang University(Natural Science), 2011, 35(4): 380-383(in Chinese).
- [12] 夏建海,范武江,王晓清,等.3个不同地理日本沼虾天然群体遗传多样性的SSR分析[J].湖南师范大学自然科学学报,2014,37(4):23-28.
Xia J H, Fan W J, Wang X Q, *et al.* Genetic diversity in three different natural populations of *Macrobrachium nipponense* revealed by SSR markers[J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2014, 37(4): 23-28(in Chinese).
- [13] 李瀚声,冯建彬,谢楠,等.日本沼虾太湖群体和鄱阳

- 湖群体杂交F₁生长性能比较研究[J]. 淡水渔业, 2011, 41(1): 43-47.
- Li H S, Feng J B, Xie N, *et al.* Comparison on growth performance among F₁ groups of diallel crosses of *Macrobrachium nipponense* from Taihu Lake and Poyang Lake populations[J]. Freshwater Fisheries, 2011, 41(1): 43-47(in Chinese).
- [14] 许凡, 王婷婷, 陈太丰, 等. 日本沼虾野生群体与养殖群体杂交、回交后代的形态特征和生产性能[J]. 水产科学, 2011, 30(4): 215-220.
- Xu F, Wang T T, Chen T F, *et al.* The morphological characters and growth performance of hybrid and backcross progenies from crosses between wild and cultured prawn *Macrobrachium nipponensis*[J]. Fisheries Science, 2011, 30(4): 215-220(in Chinese).
- [15] 姜虎成, 冯建彬, 丁怀宇, 等. 淮河水系日本沼虾群体遗传结构和系统演化的线粒体COI序列分析[J]. 动物学杂志, 2012, 47(2): 73-84.
- Jiang H C, Feng J B, Ding H Y, *et al.* Genetic structure and phylogeography of natural *Macrobrachium nipponense* populations in Huaihe River based on mitochondrial COI sequence[J]. Chinese Journal of Zoology, 2012, 47(2): 73-84(in Chinese).
- [16] 苏翔, 汪桂玲, 冯建彬, 等. 鄱阳湖日本沼虾15个群体遗传多样性的微卫星分析[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 2007-2013.
- Su X, Wang G L, Feng J B, *et al.* Genetic diversity of 15 *Macrobrachium nipponense* populations in Poyang Lake based on microsatellite analysis[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(9): 2007-2013(in Chinese).
- [17] 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.
- Dong S R, Kong J, Wan C K, *et al.* Path analysis of effects of morphometric attributes on body weight of *Fenneropenaeus chinensis*[J]. Marine Fisheries Research, 2007, 28(3): 15-22(in Chinese).
- [18] 张成松, 李富花, 相建海. 脊尾白虾形态性状对体重影响的通径分析[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 809-815.
- 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(in Chinese).
- [19] 杨磊, 赵晶, 杨鹏, 等. 池养脊尾白虾形态性状对体重的影响效应[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2012, 31(3): 191-196.
- Yang L, Zhao J, Yang P, *et al.* Effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of *Exopalaemon carinicauda*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science), 2012, 31(3): 191-196(in Chinese).
- [20] 杨世平, 刘慧玲, 江博杰, 等. 不同整色罗氏沼虾形态性状对体重的影响[J]. 热带生物学报, 2014, 5(3): 208-219.
- 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(in Chinese).
- [21] 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.
- Deng P P, Dai X L, Zang W L, *et al.* Effects of morphometric attributes on body weight of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Fisheries Science of Jiangsu, 2012, 40(7): 205-211.(in Chinese).
- [22] 何小燕, 刘小林, 白俊杰, 等. 大口黑鲈形态性状对体重的影响效果分析[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 597-603.
- He X Y, Liu X L, Bai J J, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attribute on body weight of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(4): 597-603(in Chinese).
- [23] 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[J]. 海洋学报, 2015, 37(4): 94-102.
- Liu F, Chen S L, Liu X F, *et al.* Correlation and path coefficient analysis for body mass and three morphometric traits in the half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*)[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 37(4): 94-102(in Chinese).
- [24] 吴立峰, 张吕平, 沈琪, 等. 凡纳滨对虾不同家系的形态性状对体重的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2010(2): 37-48.
- Wu L F, Zhang L P, Shen Q, *et al.* The effects of morphometric traits on body weight of different families of *Litopenaeus vannamei*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010(2): 37-48(in Chinese).
- [25] 刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳滨对虾形态性状对体重的影响效果分析[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 857-862.
- 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(in Chinese).
- [26] 王新安, 马爱军, 庄志猛, 等. 红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)形态性状对体重的影响效果[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(1): 135-140.
- Wang X A, Ma A J, Zhuang Z M, et al. Effects of morphometric attributes on body weight of *Takifugu rubripes*(Temminck et schlegel)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(1): 135-140(in Chinese).
- [27] 杜美荣, 刘毅, 蒋增杰, 等. 底播虾夷扇贝数量性状的相关性和通径分析[J]. 水产科学, 2015, 34(1): 8-13.
- Du M R, Liu Y, Jiang Z J, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits in bottom-cultured Yesso Scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. Fisheries Science, 2015, 34(1): 8-13(in Chinese).
- [28] 张根芳, 张文府, 方爱萍, 等. 养殖条件下不同年龄背瘤丽蚌(*Lamprotula leai*)数量性状的相关与通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(5): 1115-1121.
- Zhang G F, Zhang W F, Fang A P, et al. Correlation and path analysis of quantitative traits of different-age *Lamprotula leai* in artificial breeding[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2014, 45(5): 1115-1121(in Chinese).
- [29] 孙苗苗, 陈百尧, 杨其彬, 等. 斑节对虾形态性状对体重影响的分析[J]. 海洋科学, 2013, 37(5): 50-54.
- Sun M M, Chen B Y, Yang Q B, et al. Effects of morphological characters on body weight of *Penaeus monodon*[J]. Marine Sciences, 2013, 37(5): 50-54(in Chinese).
- [30] 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, 2011, 26(5): 645-651.
- Liu K, Zhang M Y, Duan J R, et al. Morphological characteristic of *Macrobrachium nipponensis* in lower reaches of the Yangtze River and effects of main morphological factors on body weight[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2011, 26(5): 645-651(in Chinese).
- [31] 沈正雄, 樊均德, 许勤智, 等. 铜仁锦江日本沼虾形态性状对体重的回归分析[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(2): 85-89.
- Shen Z X, Fan J D, Xu Q Z, et al. Regression analysis of effects of morphometric traits on body weight for *Macrobrachium nipponense*[J]. Journal of Hydroecology, 2014, 35(2): 85-89(in Chinese).
- [32] 刘军, 龚世园, 何绪刚, 等. 武湖日本沼虾形态参数间关系的研究[J]. 水利渔业, 2004, 24(6): 17-19.
- Liu J, Gong S Y, He X G, et al. Study on the relationship between the morphological parameters of *Macrobrachium nipponensis* in Wuhu Lake[J]. Reservoir Fisheries, 2004, 24(6): 17-19(in Chinese).
- [33] 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.
- 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(in Chinese).
- [34] 赵晓勤, 倪娟, 陈立桥, 等. 日本沼虾4种群的形态差异分析[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 224-229.
- Zhao X Q, Ni J, Chen L Q, et al. Analysis of morphological variations among four populations of *Macrobrachium nipponensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 224-229(in Chinese).
- [35] 姚茜. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)5个群体形态学及遗传结构的比较研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
- Yao Q. Comparative studies on morphology and populations genetic structure among five populations of *Macrobrachium nipponense*[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008(in Chinese).
- [36] 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.
- Du J J, Chen Z W. Method of path analysis with SPSS linear regression[J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6(in Chinese).

Path analysis for the correlations between morphological traits and body weight in five *Macrobrachium nipponense* populations

HUANG Youhui¹, FAN Bin¹, LI Yiming¹, LIU Zhiquan¹, YANG Yang¹,
WU Donglei¹, FAN Wujiang², ZHAO Yunlong^{1*}

(1. School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

2. Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China)

Abstract: In order to determine the influence of the main morphological traits on body weight of *Macrobrachium nipponense*, and to screen the optimal and measurable indices for artificial breeding of *M. nipponense*, the correlations between morphometric attributes and body weight of *M. nipponense* were explored using correlation analyses, path analyses and regression analyses. Ninety individuals from each of five populations (Tai Lake, Poyang Lake, Baiyang Lake, Weishan Lake and Dianshan Lake) were randomly sampled for the measurements of their body weight and 18 morphometric attributes, including the body length, overall length, rostrum length, second pereopod length, distance between eyes, carapace length, carapace width, carapace height, first abdominal segment height, first abdominal segment width, abdomen length, telson length, telson width, telson height, fantail length, fantail width, number of upper frontal eminencespin and number of lower frontal eminence spin. Correlation coefficients among all variables were calculated. Path coefficients were calculated by setting the body weight as a dependent variable and other attributes as independent variables via stepwise elimination. The path coefficients showed that: (1) five morphometric attributes of the Tai Lake population (body length, carapace width, second pereopod length, carapace height, fantail length) significantly correlated to body weight. A multiple regression equation of the five attributes was established, where the regression intercept and regression coefficients were $-9.878, 0.075, 0.314, 0.011, 0.320, 0.222$, respectively. (2) seven morphometric attributes of the Poyang Lake population (carapace length, fantail length, telson width, carapace width, carapace height, telson height, body length) correlated significantly to body weight, where the regression intercept and regression coefficients were $-1.618, 0.392, -0.280, 0.703, 0.524, -0.359, 0.688, -0.061$, respectively. (3) four morphometric attributes of the Baiyang Lake population (body length, carapace width, second pereopod length, fantail length) significantly correlated to body weight, where the regression intercept and coefficients were $-4.796, 0.082, 0.222, 0.007, 0.136$, respectively. (4) four morphometric attributes of the Weishan Lake population (carapace length, first abdominal segment height, second pereopod length, first abdominal segment width) significantly correlated to body weight, where the regression intercept and coefficients were $-7.644, 0.248, 0.329, 0.025, 0.301$. (5) five morphometric attributes of the Dianshan Lake population (body length, second pereopod length, carapace width, telson width, first abdominal segment width) significantly correlated to body weight, where the regression intercept and coefficients were $-6.257, 0.019, 0.018, 0.164, 0.264, 0.162$, respectively. It is obviously that the body length and carapace traits in different populations have great effect on the body weight. High multiple-correlation coefficients of the reserved morphometric traits on the body weight in each population were greater than 0.85 (Tai Lake $R^2=0.965$, Poyang Lake $R^2=0.904$, Baiyang Lake $R^2=0.902$, Weishan Lake $R^2=0.971$, Dianshan Lake $R^2=0.955$). The main attributes of each population effecting the body weight were confirmed. The clustering results showed that the closer the geographical location, the more similar the shape in terms of the morphological traits.

Key words: *Macrobrachium nipponense*; morphological traits; correlation analysis; path analysis

Corresponding author: ZHAO Yunlong. E-mail: ylzhao@bio.ecnu.edu.cn

Funding projects: Construction Program of Shanghai Modern Agricultural Industry Technology System