

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200413002

http://www.yykxjz.cn/

樊云鹏, 谭建, 栾生, 罗坤, 隋娟, 孟宪红, 陈宝龙, 曹家旺, 孔杰. 四种不同引进群体的凡纳滨对虾种虾形态差异性分析. 渔业科学进展, 2021, 42(5): 62–69

FAN Y P, TAN J, LUAN S, LUO K, SUI J, MENG X H, CHEN B L, CAO J W, KONG J. Morphological differences in four introduced populations of *Litopenaeus vannamei*. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(5): 62–69

四种不同引进群体的凡纳滨对虾种虾 形态差异性分析*

樊云鹏^{1,2} 谭建^{2,3} 栾生^{2,3} 罗坤^{2,3} 隋娟^{2,3}
孟宪红^{2,3} 陈宝龙^{2,3} 曹家旺^{2,3} 孔杰^{2,3①}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东 青岛 266071;

3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 山东 青岛 266071)

摘要 种虾资源的好坏影响着整个凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)产业的发展, 从国外引进不同的种虾群体可以在一定程度改善我国的种虾资源。本研究以凡纳滨对虾种虾(所选种虾均为雌虾, 在12~15月龄之间)为研究对象, 运用聚类分析、主成分分析和判别分析等方法对4种不同来源的引进群体(PRIMO群体、SIS群体、厄瓜多尔群体和API群体)进行形态差异比较分析。结果显示, 各性状的变异系数除了体质量外, 其他均低于15.000%。单因素方差分析结果显示, 在10个性状的比例参数中, 头胸甲宽/头胸甲长和腹部宽/腹部长在4个种虾群体中无显著差异。聚类分析结果显示, PRIMO与SIS群体形态差异最小, 与厄瓜多尔和API群体的趋异程度逐渐增加。主成分分析构建了4个主成分, 累积贡献率为88.861%, 其中, 主成分1、2、3和4的贡献率分别为32.606%、23.982%、17.569%和14.704%。判别分析建立了4种不同来源的引进群体的判别函数, 判别准确率P1为33.3%~67.1%, P2为30.8%~69.5%, 综合判别准确率为52.1%。4个凡纳滨对虾种虾群体在某些性状比例参数上差异显著, 在一定程度上产生了形态差异, 但尚未达到亚种水平。

关键词 凡纳滨对虾; 形态差异; 多元分析

中图分类号 S968.22 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)05-0062-08

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是集约化高产养殖的优良品种, 其养殖产量已达到我国养殖对虾总产量的80%以上(李利冬等, 2017)。种虾环节处于整个凡纳滨对虾产业链的最上游, 我国大部分凡纳滨

* 国家自然科学基金(31702338)、国家自然科学基金联合基金项目(U1706203)、山东省农业良种工程项目(2019LZGC014)、山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019YY001)、财政部和农业农村部现代农业产业技术体系专项(CARS-48)和中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费(20603022018003)共同资助 [This work was funded by National Natural Science Foundation of China (31702338), Joint Fund Project of the National Natural Science Foundation of China (U1706203), Project of Improving Agricultural Varieties in Shandong Province (2019LZGC014), Major Applied Technological Innovation Project of Agriculture in Shandong Province (SD2019YY001), China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-48), and Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, YSFRI, CAFS (20603022018003)]. 樊云鹏, E-mail: 1064152453@qq.com

①通讯作者: 孔杰, 研究员, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2020-04-13, 收修改稿日期: 2020-05-04

对虾种虾从国外公司进口,对国外种虾的依赖严重制约我国凡纳滨对虾产业的健康发展(代平等, 2018)。因此,我国需引进良种亲虾,通过杂交育种的方法建立独立自主的种虾选育体系。不同引进群体在形态上具有一定差异,形态学指标与对虾的出肉率(张倩等, 2018)、生长性状(刘红等, 2016)和繁殖性状(黄永春等, 2016)有一定的关系。多元分析方法是同时对多个变量的观测数据按照一定的处理规则进行简化、分析综合,从而得到诸变量间的关系、相依性和相对重要性等信息的方法(李援越, 2002)。李小双等(2010)运用多元分析法对6个凡纳滨对虾群体的形态差异进行比较和判别分析,4个主成分的累积贡献率为72.58%;不同群体的综合判别准确率为88.33%。孙成波等(2009)采用3种多元分析方法,比较美国4个凡纳滨对虾种群,综合判别准确率为80.25%,雄虾为80.71%;雌虾和雄虾均构建5个主成分,累积贡献率分别为81.182%和79.925%。陈杰等(2007)利用多元分析方法对我国5个淡水湖秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*)的形态进行分析,计算对虾各部位间形态相似性的程度;主成分分析构建的3个雌体和3个雄体的主成分的累积贡献率分别为75.97%和73.63%;综合判别率分别为90.8%和87.8%。冯艺等(2018)运用多元分析法对罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)的15个性状比例进行分析,得到5个主成分,累积贡献率为75.563%,构建了区分不同养殖群体的判别函数,综合判别率达75.900%。Tzeng(2004)通过多元分析法阐明花腹鲭(*Scomber australasicus*)的种群结构,发现了台湾花腹鲭在形态上可划分为3个种群。吴雷明(2016)采用多元分析法研究三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)不同群体外部形态变异时发现,池蝶蚌群体与鄱阳湖群体、洞庭湖群体及养殖群体的外部形态有较大相似性,综合判别率仅为66.00%。马海涛等(2014)利用多元分析法对大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)、星斑川鲈(*Platichthys stellatus*)及其杂交种进行分析,共获得4个主成分,其累积总变异的贡献率为73.49%,综合判别准确率达98.9%。本研究主要运用聚类分析、主成分分析和判别分析,对凡纳滨对虾4个引进群体种虾进行形态差异分析,旨在获得优质凡纳滨对虾种虾资源,并为凡纳滨对虾遗传育种工作提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验材料取自山东省潍坊市邦普种业科技有限公司,2019年选择了其中4个凡纳滨对虾引进群体,

所选种虾均为雌虾,在12~15月龄之间。其中,API群体32尾,厄瓜多尔群体58尾,PRIMO群体85尾,SIS群体36尾,4个群体共计211尾,均为2018年从国外引进种群的后代。

1.2 样品形态参数的测量

将凡纳滨对虾种虾从养殖池中捞出,用纸将水吸干称质量后,把对虾眼标摘下,用标签纸记录眼标号,置于样本下边,同时,放置精确度为0.1 mm的标准对照尺,拍照。用Photoshop CS6软件的标尺工具对样品进行测量。共得到9个性状参数,即体质量(W)、全长(TL)、体长(BL)、头胸甲长(CL)、头胸甲宽(CW)、额剑长(RL)、腹部长(AL)、腹部宽(AW)、扇尾长(FL)。这9个形状参数,包括了对虾体质量、长度、宽度及头胸甲、腹部、尾部特征。

1.3 数据整理与分析

4个种虾群体形态参数数据先用Excel进行初步整理,再用SPSS 23.0软件进行描述统计、单因素方差分析、聚类分析、主成分分析和判别分析。

1.3.1 Excel初步整理 将种虾眼标号和测量数据一一对应输入到Excel表中。为了避免不同种虾虾体规格差异对形态参数值造成影响,将测量数据转化为以体长、头胸甲长、头胸甲宽和腹部长等为基数的10项比例参数,供后续多元分析使用。

1.3.2 描述统计和单因素方差分析 通过SPSS 23.0软件比较平均值中的单因素方差分析程序,运用LSD法比较4个不同凡纳滨对虾引进群体外部形态差异,并将描述性统计结果一并输出。

1.3.3 聚类分析 本研究中选用10个形态特征比例参数,分别为体长/全长、头胸甲长/体长、额剑长/体长、腹部长/体长、尾扇长/体长、头胸甲宽/体长、腹部宽/体长、腹部宽/头胸甲宽、头胸甲宽/头胸甲长、腹部宽/腹部长。分别求出这10项比例参数的平均值,再用分层聚类的欧氏距离最短距离法对这4个引进群体的形态聚类分析(孙琛等, 2016)。

1.3.4 主成分分析 通过SPSS 23.0降维中的因子分析程序,对凡纳滨对虾4个引进群体的10项比例参数进行主成分分析,筛选形态差异较大的主成分,并计算各主成分的贡献率和累积贡献率以及各变量的因子荷载(罗伟等, 2016),再利用以上数据构建主成分分析散点图。

1.3.5 判别分析 通过SPSS 23.0软件,运用逐步判别法,根据费舍尔线性判别函数系数表分别建立4个引进群体的判别函数,用判别准确率和综合判别

准确率验证判别结果(Brzeski *et al.*, 1988)。

$P1 = \text{某群体判别正确的尾数} / \text{该群体实际尾数} \times 100\%$

$P2 = \text{某群体判别正确的尾数} / \text{判入该群体的尾数} \times 100\%$

$$\text{综合判别率} = \frac{\sum_{i=1}^k A_i}{\sum_{i=1}^k B_i}$$

式中, A_i 为第 i 个种群中判别正确的尾数, B_i 为第 i 个种群中的实际尾数, k 为种群数。

1.3.6 差异系数(CD)的计算 群体形态多样性的差异系数公式如下:

$$CD = (M1 - M2) / (S1 + S2)$$

式中, $M1$ 和 $M2$ 分别表示 2 个群体某项性状指标的平均数, $S1$ 和 $S2$ 为标准差。若 CD 值大于 1.28, 则可视作亚种以上水平的多样性差异; 反之, 则认为多样性差异未达到亚种水平(韩晓磊等, 2011)。

2 结果与分析

2.1 描述统计

对 4 个种虾群体的体质量、全长、体长等 9 个表型数据进行描述性统计分析。由表 1 可见, 各性状的变异系数不等, 在 6.500%~15.019% 范围内波动。其中, 体质量的极大值和极小值差值最大, 腹宽的差值最小; 体质量的变异系数最大, 体长的变异系数最小。

2.2 单因素方差分析

对 4 个凡纳滨对虾种虾群体的 10 项比例参数进

表 1 凡纳滨对虾性状的描述性统计

Tab.1 Descriptive statistics of characters of *L. vannamei*

性状 Character	极小值 Min.	极大值 Max.	均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV / %
体质量 W /g	35.150	79.120	53.008±7.961	15.019
全长 TL /cm	14.556	21.455	17.854±1.247	6.986
体长 BL /cm	13.877	19.032	15.963±1.038	6.500
头胸甲长 CL /cm	4.111	6.852	5.167±0.467	9.036
头胸甲宽 CW /cm	1.550	3.054	2.401±0.263	10.953
额剑长 RL /cm	4.138	8.296	6.229±0.792	12.716
腹长 AL /cm	9.435	14.109	11.317±0.850	7.511
腹宽 AW /cm	1.530	2.674	2.090±0.208	9.952
尾扇长 FL /cm	1.729	3.387	2.455±0.321	13.082

行单因素方差分析(表 2), 结果显示, 在 4 个种虾群体中, 头胸甲宽/头胸甲长和腹部宽/腹部长无显著差异($P > 0.05$); 在 API 与厄瓜多尔群体中, 体长/全长差异极显著($P < 0.01$); API 与 PRIMO 群体中, 体长/全长、头胸甲长/体长、尾扇长/体长、腹部宽/头胸甲宽差异极显著($P < 0.01$); API 与 SIS 群体中, 腹部宽/头胸甲宽差异极显著($P < 0.01$); 厄瓜多尔与 PRIMO 群体中, 头胸甲长/体长和尾扇长/体长差异极显著($P < 0.01$); 厄瓜多尔与 SIS 群体中, 体长/全长差异极显著($P < 0.01$); PRIMO 与 SIS 群体中, 体长/全长和尾扇长/体长差异极显著($P < 0.01$)。

表 2 凡纳滨对虾 4 个种虾群体性状比例参数的单因素方差分析

Tab.2 One-way ANOVA for the proportion parameters of population characters of four populations of *L. vannamei*

变量 Variable	API	厄瓜多尔 Ecuador	PRIMO	SIS
体长/全长 BL/TL	0.907±0.028 ^{Aa}	0.889±0.028 ^{Bb}	0.889±0.030 ^{Bb}	0.908±0.036 ^{Aa}
头胸甲长/体长 CL/BL	0.329±0.017 ^{Aa}	0.331±0.018 ^{Aa}	0.316±0.018 ^{Bb}	0.325±0.024 ^{ABa}
额剑长/体长 RL/BL	0.380±0.051 ^{Ab}	0.402±0.044 ^{Aa}	0.387±0.042 ^{Aab}	0.390±0.054 ^{Aab}
腹部长/体长 AL/BL	0.696±0.048 ^{Ab}	0.705±0.034 ^{Aab}	0.716±0.044 ^{Aa}	0.715±0.048 ^{Aa}
尾扇长/体长 FL/BL	0.144±0.019 ^{Bb}	0.145±0.014 ^{Bb}	0.166±0.018 ^{Aa}	0.149±0.020 ^{Bb}
头胸甲宽/体长 CW/BL	0.154±0.014 ^{Aa}	0.152±0.017 ^{Aab}	0.148±0.011 ^{Ab}	0.152±0.013 ^{Aab}
腹部宽/体长 AW/BL	0.128±0.015 ^{Ab}	0.131±0.013 ^{Aab}	0.131±0.010 ^{Aab}	0.134±0.010 ^{Aa}
腹部宽/头胸甲宽 AW/CW	0.837±0.094 ^{Bb}	0.866±0.099 ^{ABab}	0.892±0.082 ^{Aa}	0.889±0.087 ^{Aa}
头胸甲宽/头胸甲长 CW/CL	0.467±0.044 ^{Aa}	0.460±0.047 ^{Aa}	0.468±0.035 ^{Aa}	0.466±0.034 ^{Aa}
腹部宽/腹部长 AW/AL	0.184±0.016 ^{Aa}	0.186±0.016 ^{Aa}	0.184±0.015 ^{Aa}	0.188±0.014 ^{Aa}

注: 同行数据上标不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$), 上标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Data within same row with different uppercase letters indicate highly significant difference ($P < 0.01$), and different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

2.3 聚类分析

凡纳滨对虾 4 个种虾群体聚类分析结果见图 1。

由图 1 可以看出, PRIMO 与 SIS 群体先聚在一起, 再与厄瓜多尔群体相聚, 最后与 API 群体聚成一支。PRIMO 与 SIS 群体的欧氏距离最短, 形态最为接近,

而与厄瓜多尔和 API 群体的趋异程度逐渐增加。

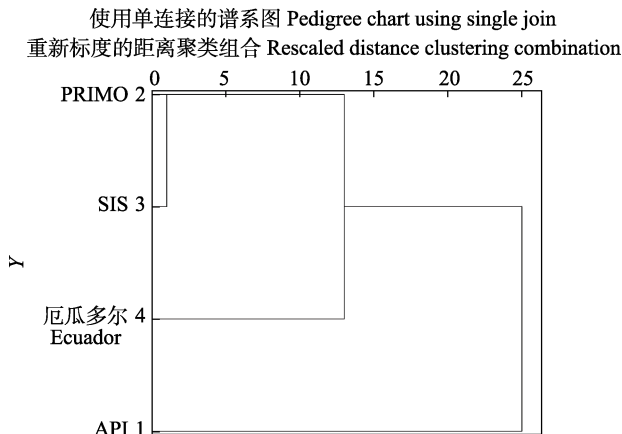


图 1 凡纳滨对虾 4 个种虾群体聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of four populations of *L. vannamei*

2.4 主成分分析

对凡纳滨对虾 4 个种虾群体的 10 项比例参数进行主成分分析，得到各成分的贡献率，提取贡献最大的 4 个主成分，对 4 个种虾群体进行形态归类。从表 3 可知，主成分 1 中头胸甲长/体长和头胸甲宽/体长的负荷值较大，均在 0.700 以上，反映的是凡纳滨对虾头胸甲部分的形态特征；主成分 2 中腹部宽/体长的负荷值较大，反映的是凡纳滨对虾腹部宽度方面的形态特征。由此可以认为，凡纳滨对虾 4 个种虾群体在形态上的差别一定程度上是由头胸甲和腹部的形态特征差别引起的。4 个主成分累积贡献率为 88.861%，其中，主成分 1、2、3 和 4 的贡献率分别为 32.606%、23.982%、17.569% 和 14.704%。

为了更加直观清楚地看到不同种群间形态差异的情况，使用贡献率较高的第 1 主成分和第 2 主成分进行联合制图(图 2)，其中，第 1 主成分和第 2 主成分为相对值(无量纲)。根据各群体的主成分分析散点图，4 个群体形成较为集中的区域，且相互间重合区域较多，两两之间都有交集。其中，PRIMO 与 SIS 和厄瓜多尔群体重叠比例相对较大，与 API 群体重叠比例相对较小，说明 PRIMO 与 SIS 和厄瓜多尔群体在形态上差异相对较小，而与 API 群体形态上差异相对较大，主成分分析结果与聚类分析结果相似。

2.5 判别分析

根据凡纳滨对虾 4 个种虾群体的 10 项比例参数进行逐步判别分析，判别函数的系数见表 4，以此建立 4 个种虾群体的判别函数。

厄瓜多尔群体：

$$Y=2595.649X_1+1467.505X_2+215.679X_3-1465.851$$

表 3 凡纳滨对虾 4 个种虾群体主成分分析的因子负荷矩阵及主成分贡献率

Tab.3 Factor load matrix and principal component contribution rate of principal component analysis for four species of *L. vannamei*

性状 Character	主成分 1 Factor 1	主成分 2 Factor 2	主成分 3 Factor 3	主成分 4 Factor 4
体长/全长 BL/TL	-0.456	0.125	-0.209	-0.763
头胸甲长/体长 CL/BL	0.792	-0.157	0.393	-0.199
额剑长/体长 RL/BL	0.563	0.010	0.419	0.639
腹部长/体长 AL/BL	-0.602	0.592	-0.006	0.276
尾扇长/体长 FL/BL	-0.593	0.295	-0.087	0.470
头胸甲宽 / 体长 CW/BL	0.784	0.428	-0.424	0.003
腹部宽/体长 AW/BL	0.125	0.942	0.288	-0.105
腹部宽/头胸甲宽 AW/CW	-0.601	0.396	0.670	-0.095
头胸甲宽/头胸甲长 CW/CL	0.247	0.577	-0.750	0.145
腹部宽/腹部长 AW/AL	0.585	0.600	0.318	-0.321
贡献率 Contribution rate /%	32.606	23.982	17.569	14.704

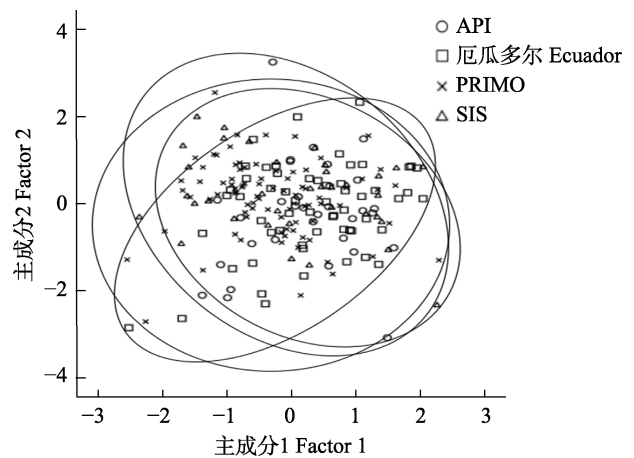


图 2 凡纳滨对虾 4 个种虾群体主成分 1、主成分 2 散布图

Tab.2 Distribution of four populations of *L. vannamei*, factor 2 × factor 1 coordinate

API 群体：

$$Y=2612.997X_1+1465.643X_2+207.112X_3-1479.461$$

PRIMO 群体：

$$Y=2572.180X_1+1450.856X_2+286.905X_3-1449.504$$

SIS 群体：

$$Y=2625.390X_1+1476.763X_2+224.749X_3-1497.568$$

式中， X_1 代表体长/全长， X_2 代表额剑长/体长， X_3 代表尾扇长/体长。

表 4 凡纳滨对虾 4 个种虾群体的判别函数系数

Tab.4 Discriminant function coefficient of four populations of *L. vannamei*

性状 Character	厄瓜多尔 Ecuador	API	PRIMO	SIS
体长/全长 BL/TL	2595.649	2612.997	2572.180	2625.390
额剑长/体长 RL/BL	1467.505	1465.643	1450.856	1476.763
尾扇长/体长 FL/BL	215.679	207.112	286.905	224.749
常数 Constant	-1465.851	-1479.461	-1449.504	-1497.568

将 211 尾样本虾分别代入各个判别函数进行预测分类, 判别结果见表 5。4 个种虾群体判别准确率 P_1 为 33.3%~67.1%, P_2 为 30.8%~69.5%, 综合判别准确率为 52.1%。

2.6 差异系数检验

4 个凡纳滨对虾种虾群体各性状差异系数计算结果见表 6。由表 6 可以看出, 4 个种虾群体各性状比例的差异系数均小于 1.28, 表明种虾各群体之间形态多样性差异上没有达到亚种水平。

表 5 凡纳滨对虾 4 个种虾群体判别分析结果

Tab.5 Discriminant analysis results of four populations of *L. vannamei*

群体 Population	预测分类 Predicted classification /ind.				判别准确率 Identification accuracy /%		综合判别准确率 Total discriminant accuracy /%
	厄瓜多尔 Ecuador	API	PRIMO	SIS	P_1	P_2	
厄瓜多尔 Ecuador	26	10	13	9	44.8	48.1	52.1
API	7	15	5	5	46.9	41.7	
PRIMO	13	2	57	13	67.1	69.5	
SIS	8	9	7	12	33.3	30.8	

表 6 4 个种虾群体各性状差异系数

Tab.6 Difference coefficient in characters of four populations of *L. vannamei*

性状 Character	体长	头胸甲长	额剑长	腹部长	尾扇长	头胸甲宽	腹部宽	腹部宽	头胸甲宽	腹部宽
	/全长 BL/TL	/体长 CL/BL	/体长 RL/BL	/体长 AL/BL	/体长 FL/BL	/体长 CW/BL	/体长 AW/BL	/头胸甲宽 AW/CW	/头胸甲长 CW/CL	/腹部长 AW/AL
差异系数 CD	0.297	0.417	0.232	0.217	0.595	0.240	0.240	0.313	0.098	0.133

注: 差异系数是指差别最大的 2 个种群间的 CD 差值

Note: The difference coefficient refers to the CD difference between the two populations with the largest difference

3 讨论

近些年, 国内苗种生产企业主要从美国对虾改良系统有限公司(SIS)、美国科拿湾海洋资源公司(Kona Bay Marine Resource)、泰国正大(卜蜂)集团(CP)、美国莫洛凯种虾公司(Molokai Broodstock)、美国 PRIMO 种虾公司、OI、印尼环球种虾公司等企业进口种虾; 其中, 市场份额最为突出的是 SIS、科拿湾和正大(代平等, 2018), 近年来, 高抗种虾在国内市场的表现逐步获得了认可。本研究的 4 个种虾群体, PRIMO 和 API 为高抗品系, SIS 为快大品系, 厄瓜多尔种虾为野生群体; 除了厄瓜多尔群体, 其他 3 个品系均来自上述全球知名的种虾供应商。因此, 通过对不同引进群体的种虾形态差异性分析, 可以更好地了解不同品系的特点, 对于遗传育种工作具有十分重要的意义。

描述性统计分析可以更加清晰直观地展示数据

和研究对象的特征, 进而帮助更好地进行进一步的统计分析。单因素方差分析可以用来判断各因素对实验指标的影响是否显著, 可以用这种方法比较不同性状比例间的差异。柴展等(2015)对凡纳滨对虾保种家系的表型性状进行描述性统计分析, 发现保种群体体重的变异系数为 29.28%, 全长变异系数为 8.73%, 体长变异系数为 9.11%, 头胸甲长变异系数为 10.17%, 腹长变异系数为 9.87%。本研究描述性统计结果显示, 凡纳滨对虾 4 个种虾群体体质量、全长、体长等 9 个表型数据, 除了体质量变异系数达到 15.000%以上, 其他表型性状变异系数普遍偏低。与柴展等(2015)研究结果相比, 本研究的性状变异系数都较低, 这可能是与本研究对象为亲虾, 且均已经过人工筛选、将优良的雌虾留作种虾有关。冯艺等(2018)通过单因素方差分析将罗氏沼虾的 15 个性状比例参数进行多重比较, 发现除了第 2 步足指节长/第 2 步足长在 3 个养殖群体之间差异不显著, 其余参数均有不同程度的差

异,表明对这 3 个养殖群体间的形态差异研究具有较大意义。本研究对 4 种凡纳滨对虾种虾的 10 项比例参数进行单因素方差分析,发现除了头胸甲宽/头胸甲长和腹部宽/腹部长这 2 项比例参数在 4 个群体间无显著差异外,其他 8 项比例参数在 4 个群体间均有不同程度的差异,表明研究这 4 个凡纳滨对虾种虾群体同样具有较大意义。两两间比较群体间差异显著性,发现 PRIMO 与 API 群体间有 4 项比例参数差异极显著,与 SIS 和厄瓜多尔群体有 2 项比例参数差异极显著; SIS 与厄瓜多尔群体间有 1 项比例参数差异极显著; SIS 与 API 群体间有 1 项比例参数差异极显著;厄瓜多尔与 API 群体间有 1 项比例参数极显著。由此可以初步判断, PRIMO 与 API 群体间形态差异最大,与厄瓜多尔和 SIS 群体次之,这与聚类分析结果一致。

聚类分析是将不同群体进行初步归类,量化群体间的差异程度,分析群体间亲缘关系的远近,将具有共同特点的群体聚集在一起。孙成波等(2009)运用欧氏距离的最短距离系统聚类法,分析凡纳滨对虾 4 个种群的归属情况,发现 Kona Bay 种群与 Molokai 种群的欧式距离最短,形态最为接近,而与 SIS 种群和 OI 种群的趋异程度逐渐增加。在本研究中,同样采用欧式最短距离法,发现 PRIMO 与 SIS 群体先聚在一起,再与厄瓜多尔群体相聚,最后与 API 群体聚成一支。说明在形态上, PRIMO 与 SIS 群体更为接近,与 API 群体差异相对较大。

主成分分析是考察多个变量间相关性的一种多元统计方法,主成分分析可以用少数几个主成分来揭示多个变量间的内部结构。本研究通过主成分分析法将凡纳滨对虾 10 项比例参数综合成 4 个主成分,得出 4 个主成分累积贡献率达 88.861%,符合累积贡献率大于或等于 85% 的要求,说明本研究中这 4 个种虾群体间的形态多样性差异大部分可由这 4 种相互独立的因子来概括。其中,主成分 1 贡献率为 32.606%,主要反映的是对虾头胸甲部分的形态特征;主成分 2 贡献率为 23.982%,主要反映的是对虾腹部宽度方面的形态特征,这与使用同样多元分析法对凡纳滨对虾(李小双等, 2010)和日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*) (赵晓勤等, 2006)的结果相似,表明对虾头胸部与腹部的形态多样性差异是区别这 4 种凡纳滨对虾的主要根据。李小双等(2010)曾对 6 个凡纳滨对虾群体进行形态差异分析,主成分分析显示, 4 个主成分累积贡献率为 72.58%,其中,主成分 1 基本上反映的是头胸甲部分的形态特征,主成分 2 反映的是腹部的形态差别。赵晓勤等(2006)也运用多元分析方法对 4 个日本沼虾群体的 10 项形态比例参数进行主成分分析,获得 4 个主成分,累积贡献率为 64.80%,

进一步观察对总变差贡献率最大的主成分 1,基本上反映的是头胸甲的形态特征,主成分 2 主要取决于腹部宽/体长、腹部宽/头胸甲宽、腹部宽/腹部长 3 个指标,即腹部的形态特征。从主成分分析的散点图可以看出, PRIMO 与 SIS 和厄瓜多尔群体重叠区相对较大,与 API 群体重叠区相对较小,说明 PRIMO 与 SIS 和厄瓜多尔群体形态差异相对较小,而与 API 群体形态差异相对较大,这与聚类分析的结果相似。但是,从整体上看,凡纳滨对虾 4 个种虾群体在第 1、2 主成分的散布图中相互都存在较大重叠(图 2),表明整体上形态分化不存在极显著差异。

判别分析是根据研究对象的各种特征值,通过建立判别函数,对各种群进行判别分类,得到各种群的归属情况(孙成波等, 2009)。判别结果显示, 4 个种虾群体判别准确率 P_1 为 33.3%~67.1%, P_2 为 30.8%~69.5%,综合判别准确率为 52.1%,其中, SIS 群体误判率最高。总体上,与赵晓勤等(2006)在不同群体日本沼虾 81.7%的综合判别率和李朝霞等(2006)在不同群体中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*) 70.67%的综合判别率相比,这 4 个种虾群体判别准确率不是很高,可能是由于这 4 种群体血缘关系较近。

差异系数(CD)检验的是某一个或某几个形态特征在群体间的差异程度;一般用于亚种的识别(武云飞, 2004)。若 $CD > 1.28$,则认为群体之间的差异达亚种水平; $CD < 1.28$ 则认为差异属于不同种群的差异,即 1.28 是亚种分化的阈值(蒙彦晓等, 2018)。本研究凡纳滨对虾 4 个种虾群体间各比例性状的差异系数均小于 1.28,差异均未达到亚种的水平。

形态学分析在群体的划分上一直起着重要的作用,可以作为其他遗传标记分析的辅助手段,准确分析不同群体间遗传多样性,还需将形态分析、生化分析和分子标记手段相结合(李小双等, 2010)。本研究所用 3 种多元分析方法从不同角度反映了群体间的形态学差异,这些方法是独立的、不能相互替代的。本研究通过描述统计、单因素方差分析和 3 种多元分析法,根据形态特征数据,对凡纳滨对虾 4 个引进群体进行了形态学研究,阐明了 4 种群体间的形态差异,为凡纳滨对虾的选择育种提供了可供参考的基础数据。

参 考 文 献

- BRZESKI V J, DOYLE R W. A morphometric criterion for sex discrimination in tilapia. The second international symposium on tilapia in aquaculture. ICLARM Conference Proceeding. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, and International Center of Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, 1988, 439-444

- CHAI Z, LUAN S, LUO K, *et al.* Correlation analysis of fillet yield with phenotypic traits for families from conservation population of *Litopenaeus vannamei*. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(6): 63–70 [柴展, 栾生, 罗坤, 等. 基于家系水平的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)保种群体出肉率与表型性状的相关性分析. *渔业科学进展*, 2015, 36(6): 63–70]
- CHEN J, GUO H, CHEN L Q, *et al.* Morphological variation of different Chinese geographic populations of white shrimp (*Exopalaemon modestus* Heller). *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2007(2):72–78 [陈杰, 郭慧, 陈立侨, 等. 中国秀丽白虾不同地理群体的形态变异. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2007(2): 72–78]
- DAI P, KONG J, LUAN S. Introduction and analysis of germplasm resources of *Litopenaeus vannamei* in China. *Scientific Fish Farming*, 2018, 34(1): 3–5 [代平, 孔杰, 栾生. 我国凡纳滨对虾种质资源引进与分析. *科学养鱼*, 2018, 38(1): 3–5]
- FENG Y, CHEN W Q, YANG H, *et al.* Morphological variation in three *Macrobrachium rosenbergii* cultivated populations. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2018, 47(11): 124–129 [冯艺, 陈文强, 杨虹, 等. 罗氏沼虾 3 个养殖群体形态差异分析. *河南农业科学*, 2018, 47(11): 124–129]
- HAN X L, MA Q, LI X R, *et al.* Morphological variations analysis of different geographic populations of *Procambarus clarkia*. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(3): 82–87 [韩晓磊, 马强, 李小蕊, 等. 不同地区克氏原螯虾群体的形态差异分析. *水生生态学杂志*, 2011, 32(3): 82–87]
- HUANG Y C, ZHENG W G, HE X X, *et al.* Comparison of morphological characteristics, fecundity and hatchability on two breeding groups of *Litopenaeus vannamei* broodstock. *Journal of Fisheries Research*, 2016, 38(2): 96–101 [黄永春, 郑伟刚, 何晓雄, 等. 2 个凡纳滨对虾选育群体亲虾形态特征及其产卵量、孵化率的比较. *渔业研究*, 2016, 38(2): 96–101]
- LI L D. *Fisheries statistics of the China Society of Fisheries*. Sun L, Han X Editor in Chief, *China Fisheries Yearbook*, China Agriculture Press, 2017, 161–162 [李利冬. 中国水产学会渔业统计. 孙林, 韩旭主编, 中国渔业年鉴, 中国农业出版社, 2017, 161–162]
- LI X S, CUI Q M, YUAN C Y. Discriminant analysis and morphological variations among six populations of *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(6): 87–91 [李小双, 崔青曼, 袁春营. 凡纳滨对虾 6 群体的形态差异及判别分析. *水生生态学杂志*, 2010, 3(6): 87–91]
- LI Y Y. The multivariate analysis methods applying in the domain of ecology. *Journal of Guizhou University (Agricultural and Biological Science)*, 2002, 21(3): 215–218 [李援越. 多元分析法在生态学研究中的应用. *贵州大学学报(农业与生物科学版)*, 2002, 21(3): 215–218]
- LI Z X, LI J, WANG Q Y, *et al.* The comparison of morphological characteristics in selected new variety “Huanghai No.1” and the wild population of shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(3): 384–388 [李朝霞, 李健, 王清印, 等. 中国对虾“黄海 1 号”选育群体与野生群体的形态特征比较. *中国水产科学*, 2006, 13(3): 384–388]
- LIU H, HAO M, KONG D D, *et al.* Effects of morphometric traits on body weight in different groups of Pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fisheries Science*, 2016, 35(5): 466–472 [刘红, 郝敏, 孔丹丹, 等. 不同种群凡纳滨对虾形态性状对体质量的影响. *水产科学*, 2016, 35(5): 466–472]
- LUO W, LI W H, PANG Y Y, *et al.* Principal component analysis of pollution in freshwater fish ponds. *Fisheries Science*, 2016, 35(2): 136–141 [罗伟, 李文红, 庞洋洋, 等. 淡水鱼塘水体污染的主成分分析. *水产科学*, 2016, 35(2): 136–141]
- MA H T, HAN C H, TENG Z J, *et al.* Morphological analysis to *Scophthalmus maximus*, *Platichthys stellatus* and their hybrid. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(6): 1380–1386 [马海涛, 韩承慧, 滕照军, 等. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)、星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)及其杂交种的形态学分析. *海洋与湖沼*, 2014, 45(6): 1380–1386]
- MENG Y X, WANG G H, XIONG D M, *et al.* The validity of subspecies of *Brachymystax lenok tsinlingensis* Li based on morphological difference analysis. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(3): 550–560 [蒙彦晓, 王桂华, 熊冬梅, 等. 基于形态学差异探讨秦岭细鳞鲴亚种有效性问题. *水生生物学报*, 2018, 42(3): 550–560]
- SUN C B, CHEN G L, TONG H R, *et al.* Morphological differences of four imported *Litopenaeus vannamei* groups from the United States. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(1): 27–32 [孙成波, 陈国良, 童汉荣, 等. 美国 4 个凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)种群形态差异与判别分析. *海洋与湖沼*, 2009, 40(1): 27–32]
- SUN C, WANG Z L, LIU F, *et al.* Analysis of morphological variation among four geographic populations of *Larimichthys polyactis*. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2016, 35(3): 186–194 [孙琛, 王肇霖, 刘峰, 等. 小黄鱼 4 个地理群体形态差异分析. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2016, 35(3): 186–194]
- TZENG T D. Morphological variation between populations of spotted ackerel (*Scomber australasicus*) of Taiwan. *Fisheries Research*, 2004, 68: 45–55
- WU L M. A preliminary study of the correlation between pearl mussel strain and non-nucleated pearl color and size. *Doctoral Dissertation of Shanghai Ocean University*, 2016 [吴雷明. 珍珠蚌种质与所产无核珍珠颜色及大小相关性初步研究. 上海海洋大学博士研究生学位论文, 2016]
- WU Y F. *Systems biology*. Beijing: China Ocean University Press, 2004, 90 [武云飞. 系统生物学. 北京: 中国海洋大学出版社, 2004, 90]
- ZHANG Q, WANG Q C, YU Y, *et al.* Correlation of

morphometric attributes to net weight and fillet yield of *Litopenaeus vannamei*. *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. 海洋与湖沼, 2018, 49(3): 653–661]

ZHAO X Q, NI J, CHEN L Q, *et al.* Analysis of morphological variations among four populations of *Macrobrachium nipponensis*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(2): 224–229 [赵晓勤, 倪娟, 陈立侨, 等. 日本沼虾 4 种群的形态差异分析. 中国水产科学, 2006, 13(2): 224–229]

(编辑 冯小花)

Morphological Differences in Four Introduced Populations of *Litopenaeus vannamei*

FAN Yunpeng^{1,2}, TAN Jian^{2,3}, LUAN Sheng^{2,3}, LUO Kun^{2,3}, SUI Juan^{2,3}, MENG Xianhong^{2,3}, CHEN Baolong^{2,3}, CAO Jiawang^{2,3}, KONG Jie^{2,3①}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao, Shandong 266071, China;

3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract The quality of ovigerous female resources affects the development of the *Litopenaeus vannamei* industry, and the introduction of different ovigerous female groups from abroad can improve the ovigerous female resources in China. However, it is important to analyze the morphological characteristics of the introduced populations to breed high-propagation and high-growth *L. vannamei* and obtain high-quality germplasm. Here, cluster analysis, principal component analysis, and discriminant analysis are used to analyze the morphological differences of four imported *L. vannamei* populations. The coefficient of variation for each trait was less than 15.000%, except body weight. One-way analysis of variance (ANOVA) showed no differences in carapace width / carapace length and abdomen width / abdomen length among the four populations. Cluster analysis showed minimal differences between the PRIMO and SIS groups, and the degree of differentiation between the Ecuador and API groups gradually increased. Four principal components were constructed by principal component analysis, and the cumulative contribution rate was 88.861%. The contribution rate of principal component 1 was 32.606%, principal component 2 was 23.982%, principal component 3 was 17.569%, and principal component 4 was 14.704%. Discriminant analysis established discriminant functions for the four groups, and the discriminant accuracy P_1 was 33.3%~67.1%, P_2 was 30.8%~69.5%, and the comprehensive discriminant accuracy was 52.1%. The coefficient of difference for each trait ratio of the four ovigerous female populations was less than 1.28, indicating morphological differences among the four *L. vannamei* populations. However, the morphological differences did not reach sub-species levels.

Key words *Litopenaeus vannamei*; Morphological differences; Multivariate analysis

① Corresponding author: KONG Jie, E-mail: kongjie@ysfri.ac.cn