

中国螯虾科虾类(克氏原螯虾和东北螯虾)形态差异及判别分析

韩晓磊,马强,李小蕊,曹昆,徐建荣
(常熟理工学院生物与食品工程学院,江苏常熟 215500)

摘要:运用2种多元统计方法,对江苏地区克氏原螯虾群体和黑龙江地区东北螯虾群体的13个形态比例参数进行比较研究。结果显示:在主成分分析中,雌性群体贡献率分别是主成分1为62.104%、主成分2为14.201%、主成分3为7.959%,累积贡献率为84.264%,而雄性群体贡献率分别是主成分1为77.960%、主成分2为7.837%,累积贡献率为85.797%,其种间形态差异主要取决于躯体不同部位长度和宽度的性状。判别分析中,雌体判别准确率 P_1 为100.0%, P_2 为100.0%,综合判别率为100.0%,雄体判别准确率 P_1 为100.0%,判别准确率 P_2 为100.0%,综合判别率为100.0%。该研究果表明:克氏原螯虾与东北螯虾之间已经远在亚种分类水平以上,与其传统分类学地位相一致,可以通过形态判别分析将两个虾类品种进行区分判别,进一步说明形态差异多元分析在种间鉴定中的可行性。

关键词:克氏原螯虾;东北螯虾;多元分析;形态差异

中图分类号:S917.4

文献标志码:A

论文编号:2010-3763

Morphological Variations Analysis of the Genus *Cambaridae* (*Procambarus clarkii* and *Cambaroides dauricus*) in China

Han Xiaolei, Ma Qiang, Li Xiaorui, Cao Kun, Xu Jianrong

(Department of Biology and Food Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu Jiangsu 215500)

Abstract: Morphological data of *Procambarus clarkii* and *Cambaroides dauricus* collected from Jiangsu and Heilongjiang provinces in China were analyzed. Thirteen proportions of morphological traits were measured from crayfish and the degree of morphological variation among populations by using two multivariate analyses. The results showed that: In the principal component analysis of the female populations, three principal components were constructed, the contributory ratio of the first principal component was 62.104%, the second and the third was 14.201% and 7.959%, respectively, the cumulative contributory ratio was 84.264%. However, for the male populations, two principal components were also constructed, their contributory ratios were 77.960% and 7.837%, respectively, the cumulative contributory ratio was 85.797%, and the morphological variations in different species were mostly induced by differences of different length and width in body. Discriminate analysis indicated that the identification accuracy of female was 100.0% (P_1) and 100.0% (P_2), the total discriminate accuracy was 100.0%. The identification accuracy of male was 100.0% (P_1) and 100.0% (P_2), the total discriminate accuracy was 100.0%. All results supported that coefficient of difference between *C. dauricus* and *P. clarkii* were characterized subspecies, which was consistent with the status of their traditional taxonomy and shows feasibility of multivariate analysis in this study.

基金项目:江苏省水产三项工程项目“克氏原螯虾家系建立与杂交选育”(P2009-19);江苏省高校科研成果产业化推进项目“克氏原螯虾人工繁殖研究及产业化开发”(JHSD07-032);常熟理工学院青年教师科研启动项目“克氏原螯虾种群遗传多样性分析”。

第一作者简介:韩晓磊,男,1981年出生,助理实验师,硕士,主要从事淡水水生生物学研究。通信地址:215500 江苏省苏州市常熟理工学院生物与食品工程学院, E-mail: hanxiaolei0724@163.com。

通讯作者:徐建荣,男,1962年出生,江苏常熟人,教授,博士,主要从事水生生物遗传学研究。通信地址:215500 江苏省苏州市常熟理工学院生物与食品工程学院, E-mail: xujrcs@sohu.com。

收稿日期:2010-12-28,修回日期:2011-02-16。

Key words: *Procambarus clarkii*; *Cambaroides dauricus*; multivariate analysis; morphological variation

0 引言

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)和东北螯虾(*Cambaroides dauricus*),均隶属于节肢动物门,甲壳纲,十足目,螯虾科。克氏原螯虾原产于墨西哥北部和美国南部,20世纪30年代末期由日本引入南京,随即遍布与中国各大流域,并成为归化于中国自然水体的一个种^[1-2]。东北螯虾为中国地方种,主要分布于松花江、黑龙江、鸭绿江、图们江和千山附近的水域^[3]。为了更有效和合理利用克氏原螯虾和东北螯虾资源,保证其种质资源的可持续性及其养殖产业的健康发展,对其进行行之有效的区分和鉴别,进而展开种质资源的调查研究就显得尤为重要。

虾类形态上的差异是十分直观的,故运用形态差异分析能够简单快速有效地反应不同种群之间的差异,且已成功应用于水生动物的研究中^[4-8]。该文运用单因素方差分析、主成分分析和聚类分析等方法分析克氏原螯虾和东北螯虾两个种群的形态差异,以期建立形态鉴别克氏原螯虾和东北螯虾种群的方法,从而为进一步研究它们的种质遗传和苗种

选育提供必要的参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料

在2009年5—9月期间,于江苏和黑龙江两个地区天然水域分别采集野生克氏原螯虾和东北螯虾样品。每个群体随机选取成虾50尾以上,其中雌雄各25尾以上,体长均在7 cm以上。

1.2 形态参数测量

用游标卡尺测量每尾虾的全长、体长、头胸甲长、头胸甲宽、腹长、腹宽、尾长和尾宽,精确到0.1 mm;用天平称体质量,精确到0.01g,具体方法参照文献[9]。

1.3 数据统计

实验数据用SPSS 13.0软件包处理:F检验法;聚类分析、主成分分析和判别分析三种多元分析方法,这两种方法是基于同时对多个对象进行考察,对所得数据的分析方法。为消除虾体规格大小对参数值的影响,多元分析中采用以体长为基数或取2个形态参数比值。该研究选取13项形态特征比例参数(表1),数据分别求出各群体13项形态比例参数的平均值,再用

表1 13项克氏原螯虾和东北螯虾形态特征比例参数

体重/体长	全长/体长	头胸甲长/体长	腹节长/体长	尾长/体长	头胸甲宽/体长	腹宽/体长	尾宽/体长	头胸甲宽/头胸甲长	腹宽/腹节长	尾宽/尾长	腹宽/尾宽	头胸甲宽/尾宽
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃

这些平均值作相关分析。

1.3.1 主成分分析 为将多个指标作为小数指标的统计方法,所有数值处理同判别分析方法,先进行校正处理获得9个形态比例性状,通过SPSS 13.0的主成分分析法得出2个综合性指标(即互不关联的2个主成分),以及主成分贡献率和累计贡献率等^[10]。

1.3.2 判别分析 判别分析中,运用逐步判别法进行判别,其中判别准确率的计算参照文献[11]方法。判别准确率的计算方法如下:

$$P_1 = \frac{\text{判别正确的尾数}}{\text{实际尾数}} \times 100\%$$

$$P_2 = \frac{\text{判别正确的尾数}}{\text{实际尾数}} \times 100\%$$

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

式中: A_i 为第*i*个品系判别正确的尾数, B_i 为第*i*个品系的实际尾数, k 为品系数。

1.3.3 差异系数(CD)检验 群体形态差异的差异系数公

式如下:

$$CD = \frac{(M_1 - M_2)}{(S_1 + S_2)}$$

式中 M_1 和 M_2 分别表示两个群体某项性状指标的平均数; S_1 和 S_2 标准差。若 CD 计算值大于1.28,则可视为亚种以上水平的差异;反之,则认为差异未达到亚种水平。

2 结果与分析

2.1 主成分分析

2.1.1 雌性群体 在主成分分析中,选用了方差贡献率较大的三个主成分,其贡献率分别是主成分1为62.104%、主成分2为14.201%、主成分3为7.959%,累积贡献率为84.264%。三个主成分累积贡献率较高,包含了其总变异的绝大部分,表明可以用这三个相互独立的因子来概括雌虾群体间的形态差异。在主成分1中, X_4 、 X_6 、 X_7 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{12} 和 X_{13} 6个变量影响最大;在主成分2和主成分3中, X_5 的变量影响最大(表2)。进一步分析对总变差贡献率最大的主成分1,发现它主要取决于头胸甲宽、腹宽和尾宽三个形态指标,即主成分

1基本上反映的是身体宽度的形态特征,由此可以认为,克氏原螯虾和东北螯虾雌性群体在形态上的差别很大程度上是由身体不同部位宽度的形态差别引起的。

2.1.2 雄性群体 在主成分分析中,选用方差贡献率较大的三个主成分,其贡献率分别是主成分1为77.960%、主成分2为7.837%,累积贡献率为85.797%。两个主成分累积贡献率较高,包含了其总变异的绝大部分,表明可以用这两个相互独立的因子来概括雄虾群体间的形态差异。在主成分1中, X_5 、 X_6 、

X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 和 X_{11} 7个变量影响最大;在主成分2中, X_3 和 X_4 两个变量影响最大(表2)。对总变差贡献率最大的主成分1进行深入分析,发现它主要取决于头胸甲宽、腹宽、尾宽、体长、头胸甲长、腹长和尾长几个形态指标,即主成分1基本上反映的是身体宽度和身体长度的形态特征,由此可以认为,克氏原螯虾和东北螯虾雄性群体在形态上的差别很大程度上是由身体不同部位长度和宽度的形态差别引起的。

2.1.3 群体散布图分析 图1和图2分别为四个地区克氏原螯虾雌、雄性群体的主成分1和主成分2的散布

表2 克氏原螯虾与东北螯虾雌性和雄性群体形态特征因子负荷矩阵及主成分贡献率

形态比例参数	雌性群体主成分			雄性群体主成分	
	1	2	3	1	2
体重/体长 X_1	-0.963	-0.035	0.033	-0.718	0.087
全长/体长 X_2	-0.869	0.015	0.079	-0.925	0.113
头胸甲长/体长 X_3	-0.836	-0.049	0.166	-0.547	<u>0.596</u>
腹长/体长 X_4	<u>0.819</u>	0.005	-0.362	0.336	<u>0.755</u>
尾长/体长 X_5	-0.424	<u>0.899</u>	-0.040	<u>0.833</u>	0.139
头胸甲宽/体长 X_6	<u>0.625</u>	0.248	0.430	<u>0.990</u>	0.073
腹宽/体长 X_7	<u>0.948</u>	0.099	0.118	<u>0.989</u>	0.075
尾宽/体长 X_8	-0.788	0.195	0.351	<u>0.991</u>	0.078
头胸甲宽/头胸甲长 X_9	<u>0.918</u>	0.155	0.072	<u>0.990</u>	0.070
腹宽/腹长 X_{10}	<u>0.547</u>	0.166	<u>0.678</u>	<u>0.989</u>	0.066
尾宽/尾长 X_{11}	-0.053	-0.934	0.282	<u>0.977</u>	0.095
腹宽/尾宽 X_{12}	<u>0.977</u>	0.027	-0.23	-0.958	-0.082
头胸甲宽/尾宽 X_{13}	<u>0.913</u>	0.012	-0.015	-0.941	-0.107
贡献率/%	62.104	14.201	7.959	77.960	7.837
合计/% Total		84.264		85.797	

注:□表示负荷值大于0.500000,并作为主因子。

图,其中“主成分1”和“主成分2”为相对值(无量纲)。可以看出,克氏原螯虾和东北螯虾雌、雄性群体间不重叠部分,主成分1即能将两个物种完全分开。由此可见,克氏原螯虾和东北螯虾在形态上差别较大,通过形态特征即可将其完全分开。

2.2 判别分析

对雌、雄群体的13个比例性状的判别F检验的结果表明,判别效果均较好($P < 0.01$),其中雌体判别准确率 P_1 为100.0%,判别准确率 P_2 为100.0%,综合判别率为100.0%;雄体判别准确率 P_1 为100.0%,判别准确率 P_2 为100.0%,综合判别率为100.0%(表3)。雌、雄判别分析结果表明,判别准确率均达到极高水平,以下为克氏原螯虾和东北螯虾雌、雄群体判别方程式。

雌性判别函数如下:

$$\text{克氏原螯虾群体: } Y = 0.294X_1 + 463.296X_{12} - 328.056$$

$$\text{东北螯虾群体: } Y = 6.488X_1 + 943.875X_{12} - 297.007$$

雄性判别函数如下:

克氏原螯虾群体:

$$Y = -1080.661X_6 + 1226.651X_8 + 594.737X_9 - 3046.555$$

东北螯虾群体:

$$Y = -30.347X_6 + 84.563X_8 + 49.057X_9 - 27.368$$

表3 克氏原螯虾和东北螯虾群体判别结果

群体类型	雌性判别准确率/%		雄性判别准确率/%	
	P_1	P_2	P_1	P_2
克氏原螯虾	100.0	100.0	100.0	100.0
东北螯虾	100.0	100.0	100.0	100.0
合计/%	100.0		100.0	

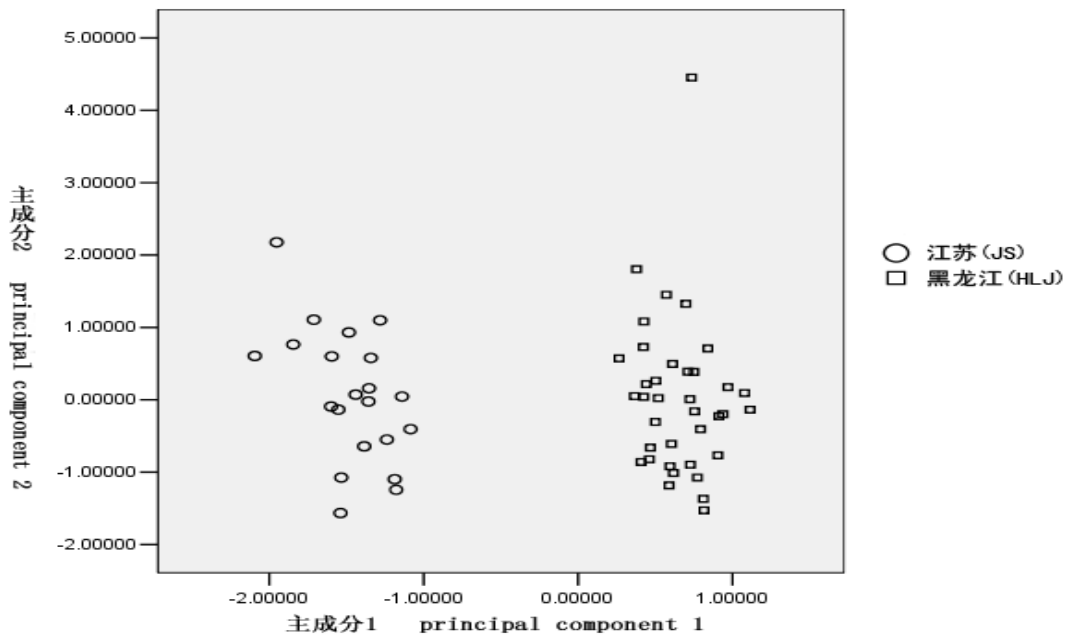


图1 克氏原螯虾和东北螯虾雌性群体主成分1和主成分2散布图

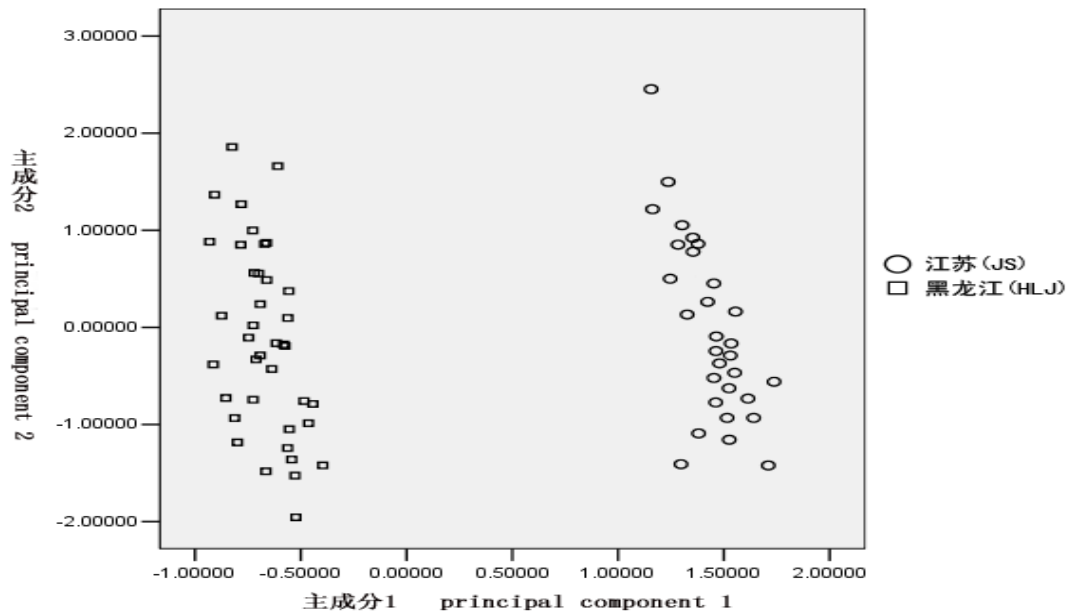


图2 4个克氏原螯虾雄性群体第1、2主成分散布图

2.3 差异系数(CD)检验结果及分析

由表4可以看出,经单因子方差检验,克氏原螯虾和东北螯虾群体间13项形态比例参数差异都达到极显著($P < 0.01$),且两个群体间的形态差异较大,差异系数绝大部分都大于1.28,达到亚种以上分类水平,与其传统分类学地位相一致。

3 讨论

该研究采用主成分分析和判别分析两种多元分析方法,对克氏原螯虾和东北螯虾的13项形态比例参数进行分析,从不同角度反映了不同种间的形态差

异。采用多变量形态度量学进行水生动物物种分类的研究已有大量报道^[4-8],但在虾类研究中还鲜有涉及。

主成分分析是把许多参数综合成少数因子来说明不同种群的差异大小,并可根据不同群体的主成分值找出各群体在各主成分值上差异较大的参数^[10]。在该研究中雌性群体和雄性群体的主成分累积贡献率分别为84.264%和85.797%,包含了其总变异的绝大部分,说明可以用这几个相互独立的因子来概括不同种间的形态差异。主成分结果表明躯体不同部位(包括头胸甲部、腹部和尾部)的长度和宽度是决定两个不同

表4 克氏原螯虾与东北螯虾群体之间差异较大的特征

形态比例参数	群体类型		差异系数
	克氏原螯虾	东北螯虾	
体重/体长 X_1	4.6702±0.3197	1.6946±0.3587	4.390
全长/体长 X_2	1.5775±0.1219	1.3947±0.0792	0.998
头胸甲长/体长 X_3	0.5322±0.0348	0.4702±0.0190	1.152
腹长/体长 X_4	0.3167±0.0231	0.3819±0.0215	1.460
尾长/体长 X_5	0.1724±0.0130	0.1538±0.0147	0.730
头胸甲宽/体长 X_6	0.2335±0.0092	0.2490±0.0083	1.840
腹宽/体长 X_7	0.2020±0.0102	0.2529±0.0211	2.537
尾宽/体长 X_8	0.4767±0.0182	0.4281±0.0194	1.290
头胸甲宽/头胸甲长 X_9	0.4401±0.0276	0.5300±0.0205	2.095
腹宽/腹长 X_{10}	0.6409±0.0549	0.6636±0.0602	2.155
尾宽/尾长 X_{11}	2.7738±0.1436	2.8011±0.2187	0.818
腹宽/尾宽 X_{12}	0.4240±0.0211	0.5906±0.0390	3.150
头胸甲宽/尾宽 X_{13}	0.4901±0.0185	0.5830±0.0366	1.695

虾类种间形态分类的主要依据,可以通过以上特征对其进行判别及种间鉴定。

Harrell 等^[12]认为,利用形态测量性状及可数性状作为种和杂种间分类的判别分析,以错判率小于5%为判别效果非常好,错判率在5%~10%为良好,错判率在10.01%~20%为可接受,而错判率大于20%则判别无效。该研究判别分析结果显示,通过建立了较为简单的雌性和雄性判别函数,只需测量5个形态参数代入判别公式,克氏原螯虾和东北螯虾雌、雄个体的判别准确率均能够达到100.0%。因此,可以认为,判别分析方法对两种虾类种间的判别效果非常好,可以有效的对其进行区分判别。

根据 Mayr 等^[13]提出的判定生物种群分化程度的标准及 CD 值大小来看,克氏原螯虾与东北螯虾之间差异系数大部分都远大于1.28,可见其种间的形态差异较大,揭示克氏原螯虾和东北螯虾之间已经远在亚种分类水平以上,与其的传统分类学地位相一致。同样证明形态学方法在虾类种间的比较和划分研究中最直观、也是最基本的研究方法之一。

参考文献

[1] David M H. Biology of freshwater crayfish [M]. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2002.

[2] 刘其根,李应森,陈蓝荪.克氏原螯虾的生物学[J].水产科技情报,2008,35(1):21-23.

[3] 中国药用动物志协作组.中国药用动物志[M].天津:科技出版社,1983.

[4] 蔡鸣俊,张敏莹,曾青兰.鲂属鱼类形态度量学研究[J].水生生物学报,2001,25(6):631-635.

[5] 杨秀平,张敏英,刘焕章.中国似鲂属鱼类的形态变异及地理分化研究[J].水生生物学报,2002,26(3):282-285.

[6] 廖锐,区又君,勾效伟,等.黄唇鱼、大黄鱼、丁氏鱼或和棘头梅童鱼的形态差异和判别分析[J].大连水产学院学报,2009,24(4):305-310.

[7] 姚景龙,陈毅峰,李堃,等.中华鲃与前臀鲃的形态差异和物种有效性[J].动物分类学报,2006,31(1):11-17.

[8] 魏开建,熊邦喜,赵小红,等.五种蚌的形态变异与判别分析[J].水产学报,2003,27(1):13-18.

[9] 王克行.虾蟹类增养殖学[M].北京:中国农业出版社,1997.

[10] 张尧庭,方开泰.多元统计分析引论[M].北京:科学出版社,1982.

[11] 李思发,李晨虹,李家乐.尼罗罗非鱼品系间形态差异分析[J].动物学报,1998,44(4):450-457.

[12] Harrell R M, Dean J M. Pterygiophore interdigitation patterns and morphometry of larval hybrids of *Morone* species [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1987, 116: 719-727.

[13] Mayr E, Linsley E G, Usinger R L. Methods and principles of systematic zoology [M]. New York and London: Mc Graw Hill, 1953.