

中国厚结猛蚁属（膜翅目：蚁科）十三种蚂蚁的形态测量学研究^{*}

张荣娇^{1, 2**} 周雪婷^{1, 2} 唐祺玲^{1, 2} 周善义^{1, 2***}

(1. 广西珍稀濒危动物生态学重点实验室, 桂林 541004; 2. 广西师范大学生命科学学院, 桂林 541004)

摘 要 【目的】为了探索形态测量学方法在蚁科昆虫分类中的应用价值和我国厚结猛蚁属 *Pachycondyla* 种间的系统发育关系, 对国内保存有标本的厚结猛蚁属 13 种进行了形态测量学研究。【方法】选取厚结猛蚁属 13 种各 9 个个体进行测量, 以体长 (TL)、头长 (HL)、头宽 (HW)、触角柄节长 (SL)、前胸背板宽 (PW) 性状特征及头长宽比 (CI)、触角柄节比 (SI) 共 12 个度量特征为变量, 进行主成分分析和聚类分析。【结果】研究表明, 3 个主成分在头长、头宽、头长宽比及触角柄节比有较高的载荷值, 差异显著。聚类结果显示, 13 种厚结猛蚁聚成 4 支: 第 1 支 (短背厚结猛蚁 *P. brevidorsa* (Xu)、拟黑厚结猛蚁 *P. melanaria* (Emery)、红足厚结猛蚁 *P. rufipes* (Jerdon) 和列氏厚结猛蚁 *P. leeuwenhoekii* (Forel)) 与第 2 支 (片突厚结猛蚁 *P. lobocarena* Xu、郑氏厚结猛蚁 *P. zhengi* Xu 和敏捷厚结猛蚁 *P. astuta* Smith) 的相似度最高, 亲缘关系最近; 与第 3 支 (多毛厚结猛蚁 *P. pilosior* (Wheeler)、安南厚结猛蚁 *P. annamita* (André)、邵氏厚结猛蚁 *P. sauteri* (Forel) 和爪哇厚结猛蚁 *P. javana* (Mayr)) 的相似度次之, 亲缘关系较远; 与第 4 支 (中华厚结猛蚁 *P. chinensis* (Emery) 和黄足厚结猛蚁 *P. luteipes* (Mayr)) 相似度最低, 亲缘关系最远。聚类关系与传统分类的结果基本一致: 中华厚结猛蚁与黄足厚结猛蚁外部形态特征相似, 聚为一支; 郑氏厚结猛蚁、敏捷厚结猛蚁、邵氏厚结猛蚁、爪哇厚结猛蚁与片突厚结猛蚁外部形态特征相似, 聚为另一支, 亲缘关系较近。【结论】研究结果证明形态测量学方法具有很好的应用价值, 适用于蚁科昆虫分类研究。**关键词** 厚结猛蚁属, 形态测量, 主成分分析, 聚类分析

Morphometrics of thirteen species of the genus *Pachycondyla* (Hymenoptera: Formicidae) in China

ZHANG Rong-Jiao^{1, 2**} ZHOU Xue-Ting^{1, 2} TANG Qi-Ling^{1, 2} ZHOU Shan-Yi^{1, 2***}

(1. Guangxi Key Laboratory of Rare and Endangered Animal Ecology, Guilin 541004, China;

2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract [Objectives] To explore the value of morphometrics in the classification of the Formicidae and relationships among species in the genus *Pachycondyla* in particular. [Methods] A morphometric study of 9 individuals from 13 species of the genus *Pachycondyla* was conducted. Variation in total length (TL), head length (HL), head width (HW), scape length (SL), pronotal width (PW), cephalic index (CI), and scape index (SI) was analyzed using principal component and cluster analysis. [Results] The highest of the three principal components were head length, head width, cephalic index, and scape index, and differences among species were conspicuous. Cluster analysis showed that 13 species clustered into four clades; the first including 4 species [*P. brevidorsa* (Xu), *P. melanaria* (Emery), *P. rufipes* (Jerdon) and *P. leeuwenhoekii* (Forel)], with highest similarity to the second clade, which was comprised of 3 species (*P. lobocarena* Xu, *P. zhengi* Xu and *P. astuta* Smith), followed by the third clade, with lower similarity, containing 4 species [*P. pilosior* (Wheeler), *P. annamita* (André), *P. sauteri* (Forel), *P. javana* (Mayr)]. The fourth clade, comprised of *P. chinensis* (Emery) and *P. luteipes* (Mayr), had the least similarity

^{*}资助项目 Supported projects :国家自然科学基金项目 (31372248, 31672343) ;科技部科技基础性工作专项重点项目 (2015FY210300)

^{**}第一作者 First author, E-mail : zhangrongjiao@ioz.ac.cn

^{***}通讯作者 Corresponding author, E-mail : syzhou@mailbox.gxnu.edu.cn

收稿日期 Received : 2016-01-11, 接受日期 Accepted : 2016-01-27

to the others. *P. chinensis* (Emery) and *P. luteipes* (Mayr) were the most closely related species, clustering together in a single clade. *P. zhengi* Xu and *P. astuta* Smith, *P. sauteri* (Forel) and *P. javana* (Mayr) were also quite closely related. [Conclusion] Morphometrics is both relatively easy to apply, and a reliable method, for classifying the Formicidae.

Key words *Pachycondyla*, morphometric measurement, principal component analysis, hierarchical cluster analysis

厚结猛蚁属 *Pachycondyla* 隶属膜翅目 Hymenoptera, 蚁科 Formicidae, 猛蚁亚科 Ponerinae, 是一个大属, 全世界已记载 250 种, 中国有 27 种 (Bolton, 2015)。目前, 厚结猛蚁属种类的鉴定主要根据外部形态特征, 尚未见有关形态测量学研究的报导。

形态测量学 (Morphometrics) 是对形状及其变异的定量描述、分析及解释的科学, 近年来得到了广泛应用 (程起群和李思发, 2004; 李思发等, 2005; 贾婷等, 2009; 楼宝等, 2009; 龚小玲和李思发, 2010; 刘武等, 2010; 冯波和程罗妹, 2011; 杨红和张子慧, 2011; 杨林林等, 2012; 罗会等, 2013; 宋文等, 2013; 孙鹏等, 2014), 并且已经应用到昆虫分类及系统发育的研究领域 (田立超, 2010; 赵冲等, 2013)。在国外, 此方法已应用于膜翅目 Hymenoptera 中的切叶蜂科 Megachilidae 黄斑蜂族 Anthidiini (Güler *et al.*, 2006)、茧蜂科 Braconidae 中的 *Eubazus* 属 (Villemant *et al.*, 2007)、果蝇 *Drosophila virilis*

种团 (Bubliy *et al.*, 2008; Andrade *et al.*, 2009), 以及鳞翅目 Lepidoptera 灰蝶科 Lycaenidae 部分种 (Prieto *et al.*, 2009)。

本研究以厚结猛蚁属 13 种蚂蚁作为研究材料, 选取体长 (TL)、头长 (HL)、头宽 (HW)、触角柄节长 (SL)、前胸背板宽 (PW) 性状特征及头长宽比 (CI)、触角柄节比 (SI) 共 12 个度量特征为变量, 通过主成分分析与聚类分析, 对厚结猛蚁属 13 种蚂蚁进行形态测量学研究, 探讨形态测量学对蚁科昆虫分类的可行性, 为物种鉴定提供新的方法与手段, 并通过聚类分析, 探讨厚结猛蚁属种间的亲缘关系。

1 材料与方法

1.1 研究材料

研究材料有两个来源: 一是作者近年来采集的标本及广西师范大学昆虫标本室的馆藏标本, 二是西南林业大学徐正会教授惠赠的标本。标本信息见表 1。

表 1 厚结猛蚁属 13 种蚂蚁信息
Table 1 Informations of 13 species of *Pachycondyla*

种名 Species	数量 (只) Quantities	采集地点 Localities	采集时间 Date	采集人 Collectors
中华厚结猛蚁 <i>Pachycondyla chinensis</i> (Emery, 1895)	9	广西金秀大瑶山	2014-7	张荣娇
黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i> (Mayr, 1862)	9	广西金秀大瑶山	2014-7	张荣娇
短背厚结猛蚁 <i>Pachycondyla brevidorsa</i> (Xu, 1994)	9	云南保山	1993-3	徐正会
多毛厚结猛蚁 <i>Pachycondyla pilosior</i> (Wheeler, 1928)	9	云南省勐腊县	2012-3	徐正会
红足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla rufipes</i> (Jerdon, 1851)	9	广西金秀大瑶山	2014-7	张荣娇
列氏厚结猛蚁 <i>Pachycondyla leeuwenhoekii</i> (Forel, 1886)	9	云南省勐腊县, 景洪勐养	2012-3	徐正会
安南厚结猛蚁 <i>Pachycondyla annamita</i> (Andr�, 1892)	9	云南勐腊	2002-4	徐正会
邵氏厚结猛蚁 <i>Pachycondyla sauteri</i> (Forel, 1912)	9	广西金秀大瑶山	2014-7	张荣娇
爪哇厚结猛蚁 <i>Pachycondyla javana</i> (Mayr, 1867)	9	广西金秀大瑶山	2014-7	张荣娇
片突厚结猛蚁 <i>Pachycondyla lobocarena</i> Xu, 1996	9	云南省玉龙县, 西畴县	2010-4	徐正会
敏捷厚结猛蚁 <i>Pachycondyla astuta</i> Smith, 1858	9	广西金秀大瑶山	2014-7	张荣娇
郑氏厚结猛蚁 <i>Pachycondyla zhengi</i> Xu, 1996	9	云南省勐腊县	2011-3	徐正会
拟黑厚结蚁 <i>Pachycondyla melanaria</i> (Emery, 1893)	9	云南省河口县, 勐腊县	2012-3	徐正会

1.2 研究方法

1.2.1 蚂蚁针插标本制作 制作步骤:将蚂蚁标本粘在三角纸片上→整姿→加插标签,待用。

1.2.2 图片获取 用 LEICA DFC420 和 LEICA S8APO 立体显微镜对 13 种研究标本的头部正面、身体侧面及身体背面连续拍摄,再用图片合成软件 CMZ 处理,得到清晰照片,并利用 Photoshop (CS5) 进行图片处理,获得图片。

1.2.3 数字化处理 用尼康 SMZ 745 立体变焦立体显微镜对 13 种蚂蚁标本进行测量,选取 12 个性状,测量其性状距离(表 2)。

1.2.4 原始数据标准化 为了消除单位不同可能带来的影响,在进行分析之前对各原始变量进行标准化处理(刘大海等, 2008), 运用 SPSS19.0 软件对原始数据进行标准化分析。

2 结果及分析

对厚结猛蚁属 13 种蚂蚁标本进行形态测量。采自同一巢的蚂蚁,每巢选择 9 个个体测量,每个个体重复 6 次测量,得到其形态特征值范围,精确度为 0.01 mm。每个性状特征对应一组数据(表 3)。

2.1 因子分析

运用 SPSS19.0 软件对厚结猛蚁属 13 种蚂蚁的 12 个形态特征变量进行分析,获得 3 个主成分特征值(表 4)。

2.2 主成分分析

因子分析获得 3 个主成分的负荷值(表 5), 分别设为 a_1 、 a_2 、 a_3 , 将数据输入 SPSS19.0 软件的数据编辑窗口, 使用“Transform”, “Compute Variable”命令, 输入等式“ $T=a/\text{SQRT}(10.893)$ ”, 其中括号内为特征值, 依次计算, 得到特征向量矩阵(表 6)。

由特征向量矩阵就可以计算出 3 个主成分的得分, 主成分的表达式为:

$$Y_1 = 0.2966 \times ZV_1 + 0.3021 \times ZV_2 + 0.3009 \times ZV_3 + 0.1597 \times ZV_4 + 0.2984 \times ZV_5 - 0.103 \times ZV_6 + 0.299 \times ZV_7 + 0.2987 \times ZV_8 + 0.2854 \times ZV_9 + 0.2987 \times ZV_{10} + 0.293 \times ZV_{11} + 0.2981 \times ZV_{12} \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.0139 \times ZV_1 + 0.0009 \times ZV_2 - 0.0079 \times ZV_3 - 0.1206 \times ZV_4 + 0.0273 \times ZV_5 + 0.2612 \times ZV_6 + 0.0212 \times ZV_7 + 0.0236 \times ZV_8 + 0.0767 \times ZV_9 - 0.0194 \times ZV_{10} + 0.0179 \times ZV_{11} + 0.0045 \times ZV_{12} \quad (2)$$

表 2 厚结猛蚁属 13 种蚂蚁的形态性状(参考 Bolton, 1994)

Table 2 Morphological characters of 13 species of *Pachycondyla* (follows from Bolton, 1994)

特征变量 Variable quantities	定义 Definition
体长 Body length (TL)	个体在伸展状态下, 上颚(闭合)顶端至后腹部末端(不含螯针)的总长度
头长 Head length (HL)	头部正面观唇基前缘至后头缘中央的长度。若后头缘凹则以两侧突出部分的连线中央为准。唇基前缘凹者亦同
头宽 Head width (HW)	正面观头部最大宽度, 不包括复眼。通常在复眼之后测得。若复眼极靠近后头缘且后头部明显收缩, 则在复眼之前测得
头长宽比 Cephalic index (CI)	头宽 $\times 100$ /头长
触角柄节长 Scape length (SL)	触角柄节的直线长度, 不包括基部的球状部
触角柄节比 Scape index (SI)	柄节长 $\times 100$ /头宽
前胸背板宽 Pronotum width (PW)	背面观前胸背板的最大宽度, 不包括刺或刺突
胸长 Alitrunk length (AL)	侧面观前胸背板前端收缩处至后侧叶(齿)基部的对角线长度, 或背面观前胸背板最前缘至后侧叶的长度
复眼最大直径 Eyes diameter (ED)	正面观察复眼所测量到的最大直径, 若复眼为椭圆形或卵圆形, 有时也称眼长
上颚长 Mandible length (ML)	上颚闭合时的直线长度
腹柄结长 Petiole node length (PNL)	侧面观腹柄结的最大长度
腹柄结宽 Petiole node width (PNW)	背面观腹柄结的最大宽度

表 3 厚结猛蚁属 13 种蚂蚁的形态测量数据 (mm)

Table 3 Morphometric measurement data of 13 species of *Pachycondyla* (mm)

种类 Species	体长 TL	头长 HL	头宽 HW	头长宽比 CI	触角柄节长 SL	触角柄节比 SI	前胸背板宽 PW	胸长 AL	复眼最大直径 ED	上颚长 ML	腹部结长 PNL	腹部结宽 PNW
中华厚结猛蚁 <i>P. chinensis</i>	4.2-4.6	0.95-1.06	0.85-0.93	87-89	0.88-0.98	100-105	0.6-0.7	1.38-1.50	0.14-0.18	0.53-0.58	0.29-0.33	0.45-0.50
黄足厚结猛蚁 <i>P. luteipes</i>	4.0-4.4	0.90-1.03	0.88-0.94	89-93	0.88-0.93	96-106	0.65-0.68	1.35-1.40	0.16-0.18	0.50-0.55	0.23-0.28	0.48-0.54
短背厚结猛蚁 <i>P. brevidorsa</i>	3.6-4.0	0.91-0.98	0.83-0.86	88-92	0.78-0.80	93-97	0.60-0.63	1.25-1.30	0.14-0.15	0.45-0.50	0.21-0.25	0.45-0.50
多毛厚结猛蚁 <i>P. pilosior</i>	4.8-5.0	1.08-1.10	0.96-0.98	88-91	0.76-0.78	78-82	0.73-0.75	1.45-1.50	0.05-0.06	0.60-0.63	0.33-0.35	0.56-0.59
红足厚结猛蚁 <i>P. rufipes</i>	14.5-16.5	3.10-3.50	2.75-3.15	89-94	2.40-2.80	86-90	2.45-2.75	4.80-5.20	0.50-0.60	1.80-2.20	1.00-1.20	1.80-2.10
列氏厚结猛蚁 <i>P. leeuwenhoekii</i>	7.2-8.8	1.70-1.90	1.50-1.70	88-94	1.35-1.45	79-90	1.15-1.30	2.35-2.70	0.25-0.30	1.00-1.10	0.60-0.70	0.95-1.10
安南厚结猛蚁 <i>P. annamita</i>	5.6-6.0	1.25-1.33	1.13-1.17	87-92	0.88-0.93	76-80	0.87-0.90	1.77-1.80	0.12-0.13	0.75-0.83	0.45-0.47	0.73-0.80
邵氏厚结猛蚁 <i>P. sauteri</i>	7.9-9.9	1.65-2.20	1.53-2.05	91-98	1.15-1.70	75-85	1.10-1.40	2.30-3.00	0.18-0.30	1.20-1.35	0.45-0.60	0.85-1.10
爪哇厚结猛蚁 <i>P. javana</i>	10.2-11.9	2.55-2.80	2.35-2.75	91-98	1.95-2.15	78-84	1.60-1.85	3.25-3.80	0.30-0.35	1.56-1.75	0.75-0.85	1.30-1.50
片突厚结猛蚁 <i>P. lobocarena</i>	9.3-10.4	2.03-2.35	1.88-2.23	89-98	1.70-1.90	85-95	1.40-1.60	2.80-3.25	0.25-0.33	1.20-1.40	0.55-0.70	0.95-1.15
敏捷厚结猛蚁 <i>P. astuta</i>	13.5-16.0	3.0-3.60	2.80-3.60	93-100	2.53-3.07	83-90	1.87-2.27	4.0-4.73	0.37-0.47	1.73-2.33	0.80-0.93	1.53-1.80
郑氏厚结猛蚁 <i>P. zhengi</i>	12.0-13.8	2.65-3.15	2.33-3.10	88-98	2.10-2.55	81-94	1.65-2.00	3.55-4.40	0.35-0.44	1.65-1.95	0.65-0.80	1.30-1.55
拟黑厚结猛蚁 <i>P. melanaria</i>	8.75-9.0	1.50-1.70	1.33-1.35	79-90	1.25-1.27	92-95	0.83-0.85	2.50-2.70	0.10-0.11	0.50-0.60	0.45-0.47	0.50-0.55

表 4 厚结猛蚁属 13 种蚂蚁 12 个形态性状的特征值
Table 4 The eigen values of 12 characters of 13 species of *Pachycondyla*

主成分 Principal component	特征值 Eigen value	贡献率 (%) Contribution rate	累积贡献率 (%) Cumulative contribution rate
第一主成分 First principal component	10.011	83.428	83.428
第二主成分 Second principal component	0.994	8.286	91.715
第三主成分 Third principal component	0.787	6.558	98.273

表 5 厚结猛蚁属 13 种蚂蚁的形态特征主成分的负荷值
Table 5 Loading of principal components on the morphological characteristics of 13 species of *Pachycondyla*

变量 Variable quantities	负荷值 Load value		
	第一主成分 First principal component	第二主成分 Second principal component	第三主成分 Third principal component
体长 TL	0.979	0.046	- 0.020
头长 HL	0.997	0.003	0.020
头宽 HW	0.993	- 0.026	0.079
头长宽比 CI	0.527	- 0.398	0.748
触角柄节长 SL	0.985	0.090	0.115
触角柄节比 SI	- 0.340	0.862	0.375
前胸背板宽 PW	0.987	0.070	- 0.102
胸长 AL	0.986	0.078	- 0.054
复眼最大直径 ED	0.942	0.253	- 0.028
上颚长 ML	0.986	- 0.064	0.022
腹柄结长 PNL	0.967	0.059	- 0.199
腹柄结宽 PNW	0.984	0.015	- 0.109

表 6 特征向量矩阵
Table 6 The feature vector matrix

特征变量 Variable quantities	Y_1	Y_2	Y_3
体长 TL	0.2966	0.0139	- 0.0061
头长 HL	0.3021	0.0009	0.0061
头宽 HW	0.3009	- 0.0079	0.0239
头长宽比 CI	0.1597	- 0.1206	0.2266
触角柄节长 SL	0.2984	0.0273	0.0348
触角柄节比 SI	- 0.1030	0.2612	0.1136
前胸背板宽 PW	0.2990	0.0212	- 0.0309
胸长 AL	0.2987	0.0236	- 0.0164
复眼最大直径 ED	0.2854	0.0767	- 0.0085
上颚长 ML	0.2987	- 0.0194	0.0067
腹柄结长 PNL	0.2930	0.0179	- 0.0603
腹柄结宽 PNW	0.2981	0.0045	- 0.0330

$$Y_3 = -0.0061 \times ZV_1 + 0.0061 \times ZV_2 + 0.0239 \times ZV_3 + 0.2266 \times ZV_4 + 0.0348 \times ZV_5 + 0.1136 \times ZV_6 - 0.0309 \times ZV_7 - 0.0164 \times ZV_8 - 0.0085 \times ZV_9 + 0.0067 \times ZV_{10} - 0.0603 \times ZV_{11} - 0.033 \times ZV_{12} \quad (3)$$

式中, ZV 为标准化后的变量, 负荷值的绝对值越大, 贡献也越大。式 (1) 第一主成分中的头长 HL 与头宽 HW 有较高的负荷值, 表明 Y_1 主要是由头长 HL 与头宽 HW 决定的; 式 (2) 第二主成分中的触角柄节比 SI 有较高的负荷值, 表明 Y_2 主要是由触角柄节长 SL 与头宽 HW 的比值, 即触角柄节比 SI 决定的; 式 (3) 第三主成分中的头长宽比 CI 有较高的负荷值, 表明 Y_3 主要是由头宽 HW 与头长 HL 的比值, 即头比 CI 决定的。由此看来, 厚结猛蚁属昆虫以头长 HL、头宽 HW、头长宽比 CI 及触角柄节比 SI 作为形

态鉴定依据是科学合理的。根据 3 个主成分得分绘制出厚结猛蚁属 13 种蚂蚁的散点图 (图 1), 能明显区分 13 种蚂蚁。

2.3 聚类分析

由主成分分析抽提出 3 个主成分, 在 98.273% 程度上反映了厚结猛蚁属 13 种蚂蚁的信息, 而且头长 HL、头宽 HW、头长宽比 CI 和触角柄节比 SI 这 4 个变量的贡献率最大。基于类平均法进行系统聚类分析, 其聚类结果如图 2 所示:

由图 2 可知, 厚结猛蚁属 13 种蚂蚁聚成了 4 大支。第一大支包括 4 种: 短背厚结猛蚁 *P. brevidorsa* (Xu) 与拟黑厚结猛蚁 *P. melanaria*

(Emery) 先聚成一小支, 红足厚结猛蚁 *P. rufipes* (Jerdon) 与列氏厚结猛蚁 *P. leeuwenhoekii* (Forel) 聚成另一小支, 两小支再聚为一大支; 第二大支包括 3 种: 片突厚结猛蚁 *P. lobocarena* Xu、郑氏厚结猛蚁 *P. zhengi* Xu 和敏捷厚结猛蚁 *P. astuta* Smith; 第三大支包括 4 种: 多毛厚结猛蚁 *P. pilosior* (Wheeler) 与安南厚结猛蚁 *P. annamita* (André) 先聚成一小支; 邵氏厚结猛蚁 *P. sauteri* (Forel) 与爪哇厚结猛蚁 *P. javana* (Mayr) 聚成另一小支; 两小支再聚为一大支; 第 4 大支包括 2 种: 中华厚结猛蚁 *P. chinensis* (Emery) 与黄足厚结猛蚁 *P. luteipes* (Mayr)。它们之间的关系为: 第一大支与第二大支的

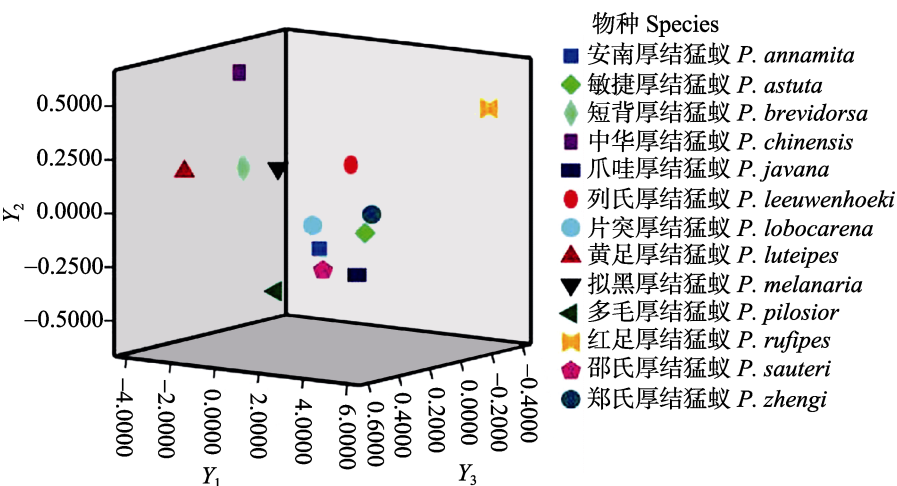


图 1 主成分得分散点图
Fig. 1 The scatter diagram of the score of the three main components

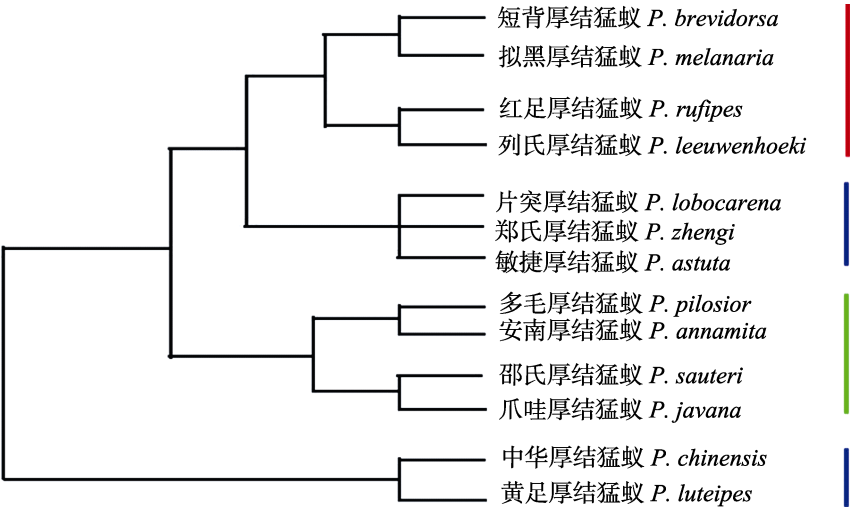


图 2 厚结猛蚁属 13 种蚂蚁系统聚类图
Fig. 2 Cluster analysis of 13 species of *Pachycondyla*

相似度最高,亲缘关系最近;与第三大支的相似度次之,亲缘关系较远;与第四大支的相似度最低,亲缘关系最远。

3 讨论

以厚结猛蚁属 13 种蚂蚁作为研究材料,选取 12 个性状特征值作为变量,每个变量作为一个因子,运用“降维”的模式进行研究,即当因子间具备一定相关性时,通过研究众多因子之间的内部依赖关系,提取出 3 个主成分,再用 3 个主成分去描述 12 个变量之间的关系,通过因子分析、主成分分析及聚类分析进行形态测量学研究,运用 SPSS19.0 软件对厚结猛蚁属 13 种蚂蚁进行因子分析和主成分分析。结果表明:厚结猛蚁属 13 种蚂蚁在 12 个性状变量上确实存在差异,表现在头长 HL、头宽 HW、头长宽比 CI 及触角柄节比 SI 这 4 个变量上。依据 3 个主成分得分绘制散点图,能明显区分出 13 种蚂蚁。因此,运用形态测量学方法对蚁科昆虫进行物种分类鉴定是可行的,具有重要理论和实用价值,可为分类鉴定提供新的方法。

对厚结猛蚁属 13 种进行系统聚类分析,所得结果与主成分散点图结果相一致,与传统的形态分类的结果相吻合。中华厚结猛蚁、黄足厚结猛蚁及短背厚结猛蚁外形特征相似;郑氏厚结猛蚁和敏捷厚结猛蚁外形特征相似;邵氏厚结猛蚁、爪哇厚结猛蚁和片突厚结猛蚁外形特征相似;安南厚结猛蚁与列氏厚结猛蚁外形特征相似。在聚类时,外形特征相似的种类都聚在一起,只有个别种出现分散间杂聚类的情况,如短背厚结猛蚁并没有与中华厚结猛蚁及黄足厚结猛蚁聚为一类,却与拟黑厚结猛蚁聚为一类,其原因有待进一步研究。

致谢:感谢西南林业大学徐正会教授惠赠大量研究用标本及在标本鉴定过程中给予的无私指导。

参考文献 (References)

Andrade CAC, Vieira RD, Ananina G, Klaczko LB, 2009. Evolution of male genitalia morphological variation of the aedeagi in a

natural population of *Drosophila mediopunctata*. *Genetica*, 135(1): 13–23.

Bolton B, 2015. An online catalog of the ants of the world [EB/OL]. [2015-5-15]. <http://www.antcat.org/>.

Bubliy OA, Tcheslavskaja KS, Kulikov AM, Lazebny OE, Mitrofanov VG, 2008. Variation of wing shape in the *Drosophila virilis* species group (Diptera: Drosophilidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 46(1): 38–47.

Cheng QQ, Li SF, 2004. Morphological discrimination between two populations of *Coilia ectenes*. *Marine Science*, 28(11): 39–43.

[程起群, 李思发, 2004. 刀鲚和湖鲚种群的形态判别. 海洋科学, 28(11): 39–43.]

Gong XL, Li SF, 2010. Comparative discriminant analysis of morphological traits among six Eels of *Anguilla*. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 35(3): 562–567. [龚小玲, 李思发, 2010. 鳗鲡属六种鱼类形态判别研究. 动物分类学报, 35(3): 562–567.]

Feng B, Cheng LM, 2011. Identifying *Leiognathus brevirostris* stocks by geometric morphometrics. *Journal of Shanghai Ocean University*, 20 (5): 677–681. [冯波, 程罗妹, 2011. 几何形态学方法区分短吻鲷地方种群的研究. 上海海洋大学学报, 20(5): 677–681.]

Güler Y, Aytekin AM, Çağatay N, 2006. Systematical studies on Anthidiini (Hymenoptera: Megachilidae): A geometric morphometric approach. *Acta Entomologica Sinica*, 49(3): 474–483.

Jia T, Lin AQ, Wang R, Zhu WL, Xiao CH, Liu CY, Meng LH, Lian X, Wang ZK, 2009. Pilot study of *Tupaia belangeri* from Yunnan Province based on morphometrics of the skulls and mandible. *Acta Theriologica Sinica*, 29(3): 259–268. [贾婷, 林爱青, 王睿, 朱万龙, 肖彩虹, 刘春燕, 孟丽华, 练硝, 王政昆, 2009. 云南不同地区中緬树鼩头骨形态特征的比较. 兽类学报, 29(3): 259–268.]

Li SF, Wang CH, Cheng QQ, 2005. Morphological variations and phylogenesis of four strains in *Cyprinus carpio*. *Journal of Fisheries of Chinese*, 29(5): 606–611. [李思发, 王成辉, 程起群, 2005. 红鲤四品系的形态差异和种系关系. 水产学报, 29(5): 606–611.]

Liu DH, Li N, Cao Y, 2008. SPSS15.0 Statistic Analysis from Instruction to Master. Beijing: Tsinghua University Press. 72. [刘大海, 李宁, 晁杨, 2008. SPSS15.0 统计分析从入门到精通. 北京: 清华大学出版社. 72.]

Liu W, Clarke R, Xing S, 2010. Geometric morphometric analysis of the early Pleistocene hominin teeth from Jianshi, Hubei Province, China Science: China Earth Science, 40(6): 724–736. [刘武, Clarke R, 邢松, 2010. 湖北建始更新世早期人类牙齿几何形态测量分析. 中国科学: 地球科学, 40(6): 724–736.]

- Lou B, Gong XL, Mao GM, Shi HL, 2009. Analysis on morphological differences of *Paralichthys olivaceus* in Qingdao and Zhoushan. *Journal of Shanghai Ocean University*, 18(1): 14–20. [楼宝, 龚小玲, 毛国民, 史会来, 2009. 青岛和舟山褐牙鲆群体形态差异分析. 上海海洋大学学报, 18(1): 14–20.]
- Luo H, Liu BS, Li HJ, Huang GJ, Fan SG, Yu DH, Morphological variations and discriminant analysis on four populations of *Pinctada fucata*. *Canton Agriculture Science*, 40(12): 171–174. [罗会, 刘宝锁, 黎火金, 黄桂菊, 范嗣刚, 喻达辉, 2013. 合浦珠母贝不同地理种群的形态差异和判别分析. 广东农业科学, 40(12): 171–174.]
- Luo YT, Yang YJ, 2007. SPSS Statistic Analysis from Basis to Practice. Beijing: Electronic Industry Press. 285–300. [罗应婷, 杨玉娟, 2007. SPSS 统计分析从基础到实践. 北京: 电子工业出版社. 285–300.]
- Prieto CG, Munguira ML, Romo H, 2009. Morphometric analysis of genitalia and wing pattern elements in the genus *Cupido* (Lepidoptera, Lycaenidae): are *Cupido minimus* and *C. carswelli* different species. *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 56(1): 137–147.
- Song W, Wang YZ, Zhu DM, Nie ZL, Wang WM, 2013. Morphological variation and discriminant analysis of three geographical populations of freshwater bream *Megalobrama skolkovii*. *Chinese Journal of Fisheries*, 26(4): 1–7. [宋文, 王艺舟, 祝东梅, 聂竹兰, 王卫民, 2013. 三个地理种群鲂的形态差异与判别分析. 水产学杂志, 26(4): 1–7.]
- Sun P, Ma B, Zhao WG, 2014. Morphological variation and discriminant analysis in four geographical populations of loach *Barbatula nuda*. *Chinese Journal of Fisheries*, 27(2): 14–17. [孙鹏, 马波, 赵文阁, 2014. 北方须鳅 4 个地理种群的形态差异与判别分析. 水产学杂志, 27(2): 14–17.]
- Tian LC, 2010. Study on classification of Cerambycinae from China based on hind wing and genitalia. Master thesis. Chongqing: Southwestern University. [田立超, 2010. 中国天牛亚科昆虫基于后翅和生殖器的分类研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Villemant C, Simbolotti G, Kenis M, 2007. Discrimination of *Eubazus* (Hymenoptera, Braconidae) sibling species using geometric morphometrics analysis of wing venation. *Systematic Entomology*, 32(4): 625–634.
- Yang H, Zhang ZH, 2011. The geometric morphometric research on the skull of *Apodemus draco* and *Apodemus peninsulae*. *Sichuan Journal of Zoology*, 30(5): 691–695. [杨红, 张子慧, 2011. 中华姬鼠与大林姬鼠头骨的几何形态学研究. 四川动物, 30(5): 691–695.]
- Yang LL, Jiang YZ, Liu ZL, Lin N, Li SF, Cheng JH, 2012. Analysis of beak morphology of *Loligo beka* in the East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 42(10): 51–57. [杨林林, 姜亚洲, 刘尊雷, 林楠, 李圣法, 程家骅, 2012. 东海太平洋褶柔鱼角质颚的形态学分析. 中国海洋大学学报, 42(10): 51–57.]
- Zhao C, Wang XF, Chen D, Wang XW, Xue D, Ren GW, 2013. Morphological variations of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) from different geographical populations in China. *Acta Entomologica Sinica*, 56(12): 452–463. [赵冲, 王秀芳, 陈丹, 王新伟, 薛冬, 任广伟, 2013. 不同地理种群烟蚜形态特征差异分析. 昆虫学报, 56(12): 452–463.]