

利用翅的数学形态特征对 8 种金龟子进行分类鉴定

苏筱雨¹ 蔡小娜¹ 李阳¹ 沈佐锐² 黄大庄^{1*}

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000;

2. 中国农业大学 IPMist 实验室, 北京 100193)

摘要 为探讨金龟子前翅数学形态特征用于金龟子分类及亲缘关系判别的可行性,以丽金龟科、花金龟科和鳃金龟科 3 个科 8 种金龟子为研究对象,应用 BugShape 1.0 软件提取金龟子右鞘翅偏心率、叶状性、球状性、似圆度、紧凑度和 7 个 Hu 不变矩等 12 项数学形态特征,最后进行方差分析和聚类分析。方差分析结果表明所提取的特征参数在种内无显著差异(Sig>0.01),而在种间差异极显著(Sig<0.01),说明形态特征参数均能用于金龟子分类鉴定。聚类分析结果表明,从数学形态学角度出发,8 种金龟子亲缘关系远近为小青花金龟子与白星花金龟子,大云斑鳃金龟子与华北大黑鳃金龟子,茸毛金龟子与黑绒金龟子的亲缘关系较近,而铜绿丽金龟子与黄褐金龟子与其他种类的亲缘关系较远。

关键词 金龟子;鞘翅;数学形态特征;分类鉴定

中图分类号 S 433.5

文章编号 1007-4333(2016)07-0061-06

文献标志码 A

Using math-morphological characters of wings for classification and identification of eight species of Scarabaeoidea

SU Xiao-yu¹, CAI Xiao-na¹, LI Yang¹, SHEN Zuo-rui², HUANG Da-zhuang^{1*}

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China;

2. IPMist Laboratory, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To investigate the feasibility of using mathematic characteristic of the right wing to classify and distinguish genetic relationship, 8 species of beetles, which belong to Rutelidae, Cetoniidae, and Melolonthidae families, were used as the study object. Twelve mathematic characteristic including eccentricity, leaf, sphere, circle, compactness and movement invariants (Hu1, Hu2 and Hu7) were drawn using BugShape 1.0. The results showed that there were no significant differences within same species, whereas a highly significant difference appeared between different species, indicating that 12 mathematic characteristic can be used for classification and identification. Clustering analysis results manifested that relationship of *Oxyctonia jucunda* and *Potosia brevitarsis*, *Polyphylla laticollis* and *Holotrichia diomphalia*, *Polyphylla laticollis* and *Holotrichia diomphalia* were near respectively, while *Anomala corpulenta* and *Anomala exoleta Faldermann* were far from others.

Keywords scarabaeoidea; shard; math-morphological character; classification and identification

昆虫形态学是昆虫学发展史上最悠久的分支之一,数学形态学是近年来发展起来的计算机应用的分支学科和技术领域,沈佐锐等^[1]将二者结合起来提出昆虫数学形态学的概念并带领中国农业大学 IPMist 实验室开发出软件 Bugvisu 和 BugShape 用

于昆虫分类和识别。于新文等^[2]采用区域面积、偏心率、形状参数、周长、似圆度和叶状性 6 个特征对棉铃虫、玉米螟和黑咬猎蝽 3 种昆虫进行识别,准确率达到 100%。赵汗青等^[3-5]利用 BugVisux 软件提取虫体面积、周长等 11 项数学形态特征对 3 目 19

收稿日期: 2015-10-15

基金项目: 国家林业局“948”项目(2013-4-75)

第一作者: 苏筱雨, 实验师, 主要从事森林病虫害综合治理研究, E-mail: sxy8142477@163.com

通讯作者: 黄大庄, 教授, 主要从事森林病虫害综合治理研究, E-mail: huangdazhuang@126.com

科 34 种昆虫进行研究,论述利用数学形态特征在目、总科及科阶元上进行昆虫分类的可行性。蔡小娜等^[6]利用 BugShape 软件提取 5 总科 8 科 39 种蛾类的前后翅的矩形度、延长度等 13 项与大小和方向无关的数学形态特征,成功实现了对 39 种蛾类的分类鉴定。

金龟子属于无脊椎动物,隶属于昆虫纲、鞘翅目、金龟子科,是危害植物地下根茎部分最严重的、造成经济损失最大的一类土壤害虫^[7],传统形态学分类依靠体色、前胸背板斑纹形状、中胸小盾片颜色及是否具有斑纹、鞘翅斑纹形状、排列、雌雄性生殖器和前足胫节特征等对金龟子进行分类,这不仅要求专业人员具备一定的专业知识与长期的经验积累,而且鉴定工作耗时长、主观性强。如能将数学形态学方法用于金龟子识别鉴定,将形态信息转换为简洁、直观、能进行统计分析的数据,必将扩大昆虫自动识别技术的应用范围,目前应用于数学形态学方法对金龟子进行分类鉴定的研究还未见报道。金龟子前翅性状稳定,且易于测量,特别适合进行形态测量研究。因此,本研究以 3 科 8 种金龟子成虫为研究对象,选取方便获取的金龟子右翅,筛选用于金龟子分类和亲缘关系判别的形态特征,以寻求简洁、高效、准确进行金龟子数字化分类的方法,旨在为快速解决金龟子识别、鉴定、防治等方面的问题,提高农林业害虫管理水平奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

在河北省保定市、河北易县,利用黑光灯诱集法和人工捕捉法相结合采集金龟子标本。将采集到的金龟子浸泡在 75% 酒精中保存。试验涉及丽金龟科、花金龟科和鳃金龟科 3 个科 8 种金龟子,每个种类取 30 个样本,均以它们的右鞘翅为研究对象。具体昆虫名录及样本采集地点见表 1。

表 1 试验所用 8 种金龟子名录

Table 1 List of eight species of beetles

科 Family	名称 Name	采集地 Collecting zone
丽金龟科 Rutelidae	黄褐丽金龟子 <i>Anomala exoleta</i> Faldermann	河北保定
	铜绿丽金龟子 <i>Anomala corpulenta</i>	河北保定
	苹毛丽金龟子 <i>Proagopertha lucidula</i>	河北保定
花金龟科 Cetoniinae	小青花金龟子 <i>Oxycetonia jucunda</i>	河北保定
	白星花金龟子 <i>Liocola brevitarsis</i>	河北保定
鳃金龟科 Melolonthidae	华北大黑鳃金龟子 <i>Holotrichia oblita pald</i>	河北易县
	大云斑鳃金龟子 <i>Polyphylla laticollis</i>	河北易县
	黑绒金龟子 <i>Serica orientalis</i>	河北易县

1.2 图像获取

试验设备有佳能 EOS 5D II 单反相机和镊子等。具体步骤如下:将在酒精中浸泡的金龟子标本取出,置于滤纸上晾干。利用镊子取下完整的金龟子右鞘翅,获取的右鞘翅一定要完整,不能有残缺或裂缝。将标本放置于白色复印纸上,尽量使每张标本摆放位置相同,利用冷光源 OLYMPUS LG-PS2 调整好光线,使采集的图像不能有阴影。借助三脚架调整好相机位置,设置相机分辨率为 2 000 万像素,然后进行拍照并将所有图片保存,以备分析使用。

1.3 图像处理

利用 ToupView 软件将原始图像(图 1(a))转换为灰度图像(图 1(b)),然后再通过阈值分割,平滑去噪处理将图像转换为用于提取数据的二值图像(图 1(c))。

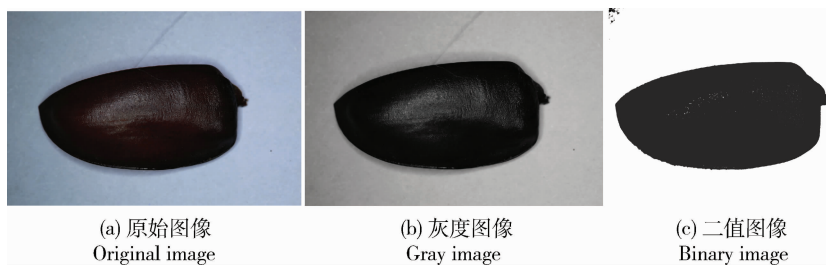


图 1 前翅图像处理

Fig. 1 Image processing of forewing

1.4 特征数据的提取

应用 BugShape 1.0 软件将获取的金龟子右翅图片进行特征数据提取。即自动提取与大小尺度和方向均无关的数学形态特征,其中包括偏心率、球状性、叶状性、紧凑性、似圆度和 7 个 Hu 不变矩等 12 项特征值。各项数学形态特征定义参照文献[8]。

1.5 数据的处理

本试验采用方差分析的方法,分别对 12 个数学形态特征参数进行分析,判断在这 12 个特征参数中

同种及不同种之间是否存在差异($P < 0.05$)。根据方差分析的结果对筛选出的特征参数的均值作为分析变量进行聚类分析,对 8 种金龟子的亲缘关系进行判别。

2 数据分析与结论

利用 BugShipe 1.0 软件提取 8 种金龟子,每种 30 个标本共计 240 组标本的 12 项数学形态特征。表 2 列出本研究所使用的 8 种金龟子的 12 项特征的平均值。

表 2 8 种金龟子 12 个数学形态特征平均值

Table 2 Mean of math-morphological characters of eight species of beetles in three families

数学形态特征参数 Math-morphological characters parameters	黄褐丽金龟子 <i>Anomala exoleta</i> Faldermann	白星花金龟子 <i>Liocola brevitarsis</i>	铜绿丽金龟子 <i>Anomala corpulenta</i>	华北大黑鳃金龟 <i>Holotrichia oblita pald</i>	大云斑鳃金龟 <i>Polyphylla laticollis</i>	小青花金龟子 <i>Oxycetonia jucunda</i>	黑绒金龟子 <i>Serica orientalis</i>	苹毛丽金龟子 <i>Proagopertha lucidula</i>
偏心率 Eccentricity	0.148	0.147	0.148	0.147	0.148	0.148	0.148	0.148
紧凑性 Compactness	0.749	0.716	0.728	0.720	0.718	0.745	0.748	0.749
球状性 Sphere	0.555	0.551	0.552	0.553	0.551	0.554	0.554	0.555
叶状性 Leaf	0.500	0.497	0.498	0.499	0.498	0.500	0.499	0.500
似圆度 Circle	0.843	0.804	0.819	0.809	0.807	0.838	0.842	0.842
Hu1	1.697	1.611	1.643	1.619	1.615	1.685	1.694	1.682
Hu2	5.305	5.139	5.196	5.153	5.143	5.281	5.299	5.274
Hu3	29.685	15.078	16.238	17.103	15.269	19.091	18.739	19.146
Hu4	28.605	13.829	15.108	15.854	13.991	17.931	17.750	18.007
Hu5	58.045	28.662	31.478	32.716	29.183	36.945	36.495	36.955
Hu6	31.638	16.903	18.387	19.077	17.910	21.609	20.805	21.044
Hu7	96.439	29.085	31.502	33.299	29.502	37.190	36.798	37.396

2.1 种内方差分析

通过使用 SPSS 13.0 软件对试验标本所提取

12 项数学形态特征参数进行方差分析,分析的结果如表 3 所示。

表 3 种内方差分析结果

Table 3 Intra-species variance analysis

数学形态特征参数 Math-morphological characters parameters	黄褐丽金龟子 <i>Anomala exoleta</i> Faldermann	白星花金龟子 <i>Liocola brevitarsis</i>	铜绿丽金龟子 <i>Anomala corpulenta</i>	华北大黑鳃金龟 <i>Holotrichia oblita pald</i>	大云斑鳃金龟 <i>Polyphylla laticollis</i>	小青花金龟子 <i>Oxycetonia jucunda</i>	黑绒金龟子 <i>Serica orientalis</i>	苹毛丽金龟子 <i>Proagopertha lucidula</i>
偏心率 Eccentricity	0.705	0.622	0.497	0.497	0.604	0.891	0.671	0.177
紧凑性 Compactness	0.483	0.044	0.452	0.452	0.397	0.505	0.532	0.280
球状性 Sphere	0.720	0.011	0.441	0.441	0.244	0.175	0.613	0.277
叶状性 Leaf	0.835	0.045	0.355	0.355	0.306	0.352	0.587	0.402

表3(续)

数学形态特征参数 Math- morphological characters parameters	黄褐丽 金龟子 <i>Anomala exoleta</i> Faldermann	白星花 金龟子 <i>Liocola brevitarsis</i>	铜绿丽 金龟子 <i>Anomala corpulenta</i>	华北大黑鳃 金龟子 <i>Holotrichia oblita pald</i>	大云斑鳃 金龟子 <i>Polyphylla laticollis</i>	小青花 金龟子 <i>Oxycetonia jucunda</i>	黑绒 金龟子 <i>Serica orientalis</i>	苹毛丽 金龟子 <i>Proagoperta lucidula</i>
似圆度 Circle	0.469	0.036	0.479	0.479	0.402	0.407	0.557	0.282
Hu1	0.607	0.045	0.433	0.433	0.388	0.374	0.502	0.284
Hu2	0.606	0.051	0.423	0.423	0.405	0.429	0.463	0.276
Hu3	0.284	0.033	0.465	0.465	0.823	0.086	0.514	0.975
Hu4	0.253	0.102	0.581	0.581	0.761	0.078	0.517	0.949
Hu5	0.204	0.117	0.368	0.368	0.703	0.015	0.556	0.687
Hu6	0.164	0.226	0.453	0.453	0.3387	0.011	0.562	0.949
Hu7	0.285	0.081	0.497	0.497	0.888	0.181	0.398	0.969

由表3可见,12项数学形态特征 Sig 值均 >0.01 ,
即8种金龟子不同个体各个参数之间无显著差异。

2.2 种间方差分析

8种金龟子种间方差分析结果见表4。

表4 种间方差分析结果
Table 4 Inter-species variance analysis

数学形态特征参数 Math- morphological characters parameters	组内和组间 Between groups and within groups	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	误差 F	概率 Sig.
偏心率 Eccentricity	组间	0.000	7.000	0.000	14.110	0.000
	组内	0.000	152.000	0.000		
	总体	0.000	159.000			
紧凑性 Compactness	组间	0.030	7.000	0.004	232.377	0.000
	组内	0.002	152.000	0.000		
	总体	0.033	159.000			
球状性 Sphere	组间	0.000	7.000	0.000	23.958	0.000
	组内	0.000	152.000	0.000		
	总体	0.000	159.000			
叶状性 Leaf	组间	0.000	7.000	0.000	16.704	0.000
	组内	0.000	152.000	0.000		
	总体	0.000	159.000			
似圆度 Circle	组间	0.040	7.000	0.005	232.931	0.000
	组内	0.003	152.000	0.000		
	总体	0.044	159.000			
Hu1	组间	0.212	7.000	0.030	229.689	0.000
	组内	0.020	152.000	0.000		
	总体	0.232	159.000			

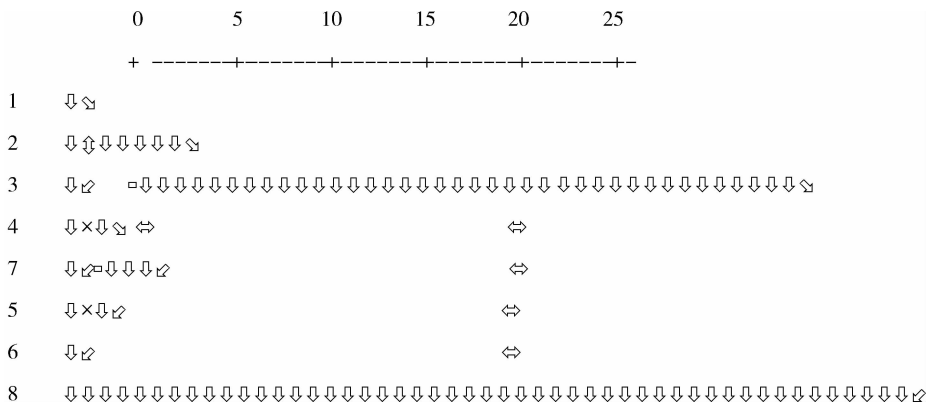
表 4(续)

数学形态特征参数 Math- morphological characters parameters	组内和组间 Between groups and within groups	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	误差 F	概率 Sig.
Hu2	组间	0.807	7.000	0.115	222.233	0.000
	组内	0.078	152.000	0.000		
	总体	0.885	159.000			
Hu3	组间	4306.628	7.000	615.232	15.115	0.000
	组内	6186.528	152.000	40.700		
	总体	10493.157	159.000			
Hu4	组间	4425.050	7.000	632.150	13.765	0.000
	组内	6980.291	152.000	45.923		
	总体	11405.342	159.000			
Hu5	组间	6384.347	7.000	912.049	26.434	0.000
	组内	5244.376	152.000	34.502		
	总体	11628.723	159.000			
Hu6	组间	4220.127	7.000	602.875	12.797	0.000
	组内	7160.808	152.000	47.110		
	总体	11380.935	159.000			
Hu7	组间	128413.171	7.000	18344.738	3.587	0.001
	组内	777269.880	152.000	5113.617		
	总体	905683.052	159.000			

由表 4 可见,8 种金龟子的 12 项数学形态特征 Sig 值均小于 0.01,说明偏心率、球状性、叶状性、紧凑性、似圆度和 Hu1-Hu7 等 12 项形态特征在不同种类之间差异极显著。对金龟子右鞘翅所提取的 12 项特征参数均能用于金龟子的分类。

2.3 聚类分析

由方差分析结果可知 12 项数学形态特征均能用于金龟子分类,利用 12 项数学形态特征均值作为分析变量对 8 种金龟子进行聚类分析,分析结果如图 2 所示。



1. 苹毛丽金龟子 *Proagopertha lucidula*; 2. 小青花金龟子 *Oxycetonia jucunda*; 3. 黑绒金龟子 *Serica orientalis*; 4. 大云斑鳃金龟子 *Polyphylla laticollis*; 5. 华北大黑鳃金龟子 *Holotrichia obliquata*; 6. 铜绿丽金龟子 *Anomala corpulenta*; 7. 白星花金龟子 *Liocola brevitarsis*; 8. 黄褐丽金龟子 *Anomala exoleta* Falderman.

图 2 8 种金龟子聚类分析结果

Fig. 2 Dendrogram of eight species of beetles

如图2所示,从聚类分析结果可见,小青花金龟子与白星花金龟子,大云斑鳃金龟子与华北大黑鳃金龟子,苹毛金龟子与黑绒金龟子亲缘关系较近,而铜绿丽金龟子与黄褐金龟子与其他种类亲缘关系较远。

3 结论与讨论

通过研究发现8种金龟子12项数学形态特征参数在种内无显著差异,种间方差分析结果表明,12项数学形态特征值存在显著差异,12项参数均可用于金龟子分类。聚类分析结果表明小青花金龟子和白星花金龟子2种花金龟科金龟子亲缘关系较近,大云斑鳃金龟子和华北大黑鳃金龟子2种鳃金龟科金龟子亲缘关系较近,这和传统形态学分类一致。但苹毛金龟子和黑绒金龟子聚到一类,铜绿丽金龟子和黄褐金龟子与其他几种金龟子距离较远,但传统分类学中苹毛金龟子、铜绿丽金龟子和黄褐金龟子同属于丽金龟科,本研究结果和传统分类学结果不相符。这可能是由于所选种类不足,也可能是由于选取部位太单一,蔡小娜等^[9]用前翅的数学形态特征对6科的蛾类进行鉴定,回归和交叉判别正确率为90.9%和81.8%,用前后翅的数学形态特征进行分析则把回归和交叉判别正确率提高到100%和87.9%。所以今后的研究应增加更多的金龟子种类,还可以结合金龟子的前胸背板、后翅、足和生殖器等传统分类学常用分类特征进行数学形态特征提取,力求使识别分类结果更加准确。

参 考 文 献

[1] 沈佐锐,于新文.昆虫数学形态学研究及其应用展望[J].昆虫学报,1998,41:141-148
Shen Z R, Yu X W. Research and application of mathematical insect morphology[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 41: 141-148 (in Chinese)

[2] 于新文,沈佐锐,高灵旺,李志红.昆虫图像几何形状特征的提取技术研究[J].中国农业大学学报,2003,8(3):47-50
Yu X W, Shen Z R, Gao L W, Li Z H. Feature measuring and extraction for digital image of insects[J]. *Journal of China*

Agricultural University, 2003, 8(3): 47-50 (in Chinese)

[3] 沈佐锐,赵汗青,于新文.数学形态学在昆虫分类学上的应用研究.Ⅲ在科阶元上的应用研究[J].昆虫学报,2003,46(3):339-344
Shen Z R, Zhao H Q, Yu X W. Use of math-morphological features in insect taxonomy. Ⅲ At the family level[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46(3): 339-344 (in Chinese)

[4] 赵汗青,沈佐锐,于新文.数学形态学在昆虫分类学上的应用研究.Ⅱ在总科阶元上的应用研究[J].昆虫学报,2003,46(2):201-208
Zhao H Q, Shen Z R, Yu X W. Use of math-morphological features in insect taxonomy. Ⅱ At superfamily level[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46(2): 201-208 (in Chinese)

[5] 赵汗青,沈佐锐,于新文.数学形态学在昆虫分类学上的应用研究.Ⅰ在目级阶元上的应用研究[J].昆虫学报,2003,46(1):45-50
Zhao H Q, Shen Z R, Yu X W. Use of math-morphological features in insect taxonomy. Ⅰ At the order level[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46(1): 45-50 (in Chinese)

[6] 蔡小娜,黄大庄,沈佐锐,高灵旺.蛾翅数学形态特征用于夜蛾分类和鉴定的可行性研究[J].昆虫学报,2012,55(5):596-605
Cai X N, Huang D Z, Shen Z R, Gao L W. Feasibility of math-morphological characters of wings for classification and identification of noctuid moths (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55(5): 596-605 (in Chinese)

[7] 刘广瑞,章有为,王瑞.中国北方常见金龟子彩色图鉴[M].北京:中国林业出版社,1997
Liu G R, Zhang Y W, Wang R. *Color Illustration of Common Beetle in North China*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997 (in Chinese)

[8] 蔡小娜,基于数字图像的主要蛾类害虫分类识别研究[D].保定:河北农业大学,2013
Cai X N. Classification research on moths based on digital images[D]. Baoding: Agriculture University of Hebei, 2013 (in Chinese)

[9] 蔡小娜,高灵旺,黄大庄,王志刚,沈佐锐.利用翅的数学形态特征对蛾类昆虫进行分类鉴定的系统研究:在科级阶元上的应用[J].中国农业大学学报,2013,18(5):96-103
Cai X N, Gao L W, Huang D Z, Wang Z G, Shen Z R. Systematic research on the classification of moths using math-morphological characters of wings; Family level[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18(5): 96-103 (in Chinese)

责任编辑:苏燕