

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

沈佐锐¹, 赵汗青¹, 于新文²

(1. 中国农业大学植物保护学院昆虫系, 北京 100094; 2. 西南林学院动物保护与利用系, 昆明 650224)

摘要: 在科分类阶元上对半翅目、鳞翅目和鞘翅目 8 个科的 23 种昆虫图像中提取的昆虫面积、周长等 11 项数学形态特征进行了统计分析。结果表明, 在科的阶元上 11 项特征可靠性大小依次为 (似圆度、偏心率) > (面积、周长、横轴长、球状性) > (纵轴长、圆形性) > (形状参数、叶状性) > 亮斑数。从数学形态学角度出发, 夜蛾科等 3 个科的亲缘关系远近为夜蛾科与粉蝶科 > 大蚕蛾科与粉蝶科 > 夜蛾科与大蚕蛾科; 鳃金龟等 3 科的亲缘关系远近为鳃金龟科与天牛科、丽金龟科与天牛科 > 鳃金龟科与丽金龟科。

关键词: 数学形态特征; 昆虫分类; 计算机视觉技术; 科阶元

中图分类号: Q964 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296 (2003) 03-0339-06

Use of math-morphological features in insect taxonomy. Ⅲ. At the family level

SHEN Zuo-Rui¹, ZHAO Han-Qing¹, YU Xin-Wen² (1. Department of Entomology, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Department of Forestry Protection, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China)

Abstract: Statistical analysis of 11 math-morphological feature (MMF) (such as area, perimeter, etc.) from images of 23 species of insects of the Pentatomidae, Coreidae, Noctuidae, Saturniidae, Pieridae, Melolonthidae Rutelidae and Cerambycidae families indicates that the ranked reliability of MMF in the identification of insect families is, from high to low: (roundness, eccentricity) > (area, perimeter, X-length, sphericity) > (Y-length, circularity) > (form factor, lobation) > hole number. From the perspective of mathematical morphology, the kinship between the Nuctuidae, Saturniidae and Pieridae can be ranked as follows: Nuctuidae and Pieridae > Saturniidae and Pieridae > Nuctuidae and Saturniidae. Kinship between the Melolonthidae, Rutelidae and Cerambycidae can be ranked as follows: Melolonthidae and Cerambycidae > Rutelidae and Cerambycidae > Melolonthidae and Rutelidae.

Key words: math-morphological feature (MMF); insect classification; computer vision technology; family

在前两文“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”(赵汗青等, 2003a)和“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”(赵汗青等, 2003b)中, 论述了昆虫数学形态特征在目和总科分类阶元上的应用可行性。而科作为昆虫分类上的一个重要阶元, 探讨数学形态学特征在该阶元上的应用亦是很有必要的。我们就面积、周长等 11 项数学形态特征作为科分类阶元特征的可行性和可靠性进行了分析, 并从数学形态学角度对所涉及到的昆虫的亲缘关系做了描述。

1 材料与方法

1.1 供试材料

隶属于半翅目、鳞翅目、鞘翅目的 3 目 8 科的 23 种昆虫, 每种昆虫各取 50 个左右的成虫标本用数码相机获取图像。昆虫的名录见表 1。

1.2 研究方法

研究方法见赵汗青等 (2003a)。提取的特征包括图像中昆虫的面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、偏心率、似圆

度、亮斑数等 11 项。用统计软件 STATISTIC 对不同总科昆虫的数学形态特征进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 23 种昆虫的 11 项数学特征值

提取的特征均值见表 1。

2.2 半翅目蝽科与缘蝽科各项特征值的比较分析

2.2.1 总体分布型的假设检验：由于检验的蝽科和缘蝽科各只包含两个种，因此可以看作它们都符合正态分布。

2.2.2 方差齐性检验：设蝽科和缘蝽科的方差分别为 δ_1^2 , δ_2^2 ; x_1, x_2, s_1, s_2 , 分别为两样本的均值和标准差。检验类型为: $H_0: \delta_1^2 = \delta_2^2 \leftrightarrow H_1: \delta_1^2 \neq \delta_2^2$, 取显著水平 α , 则 $F = s_1'^2/s_2'^2 < F_\alpha$ 及 $F = s_1'^2/s_2'^2 > F_b$ 为 H_0 的拒绝域, 显著水平为 α 。其中, $F_\alpha = 1/F'_b$, F_b 按自由度($n_1 - 1, n_2 - 1$)查表所得临界值, 而 F'_b 为按自由度($n_2 - 1, n_1 - 1$)查表所得的临界值。

$F_{0.05}(1, 1) = 161 = F_b, F_{0.05}(1, 1) = 161 = F'_b, F_\alpha = 0.006211$ 。分别计算得出蝽科、缘蝽科面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度、偏心率及亮斑数等 11 项数学形态特征的 F 值分别为 0.24, 0.08, 0.06, 0.09, 0.003, 0.72, 4.07, 319.62, 0.88, 5.05 和 0。

形状参数、亮斑数和圆形性的 F 拒绝 H_0 , 因此两科的这 3 项特征方差非齐性, 其余特征方差齐性。

2.2.3 总体均值差异显著性检验：① 对面积、周长、横轴长、纵轴长、叶状性、球状性、似圆度和偏心率用方差齐性的正态总体均值差异显著性检验的小样本法。分别计算面积、周长、横轴长、纵轴长、叶状性、球状性、似圆度和偏心率等 8 项特征的 T 值, 结果依次为 0.0217, -0.2939, 0.1025, -0.1396, 1.8869, 1.7266, -0.7094 和 -2.229。取 $\alpha = 0.05$, 查表得 $t_\alpha(n_1 + n_2 - 2) = t_{0.05}(2 + 2 - 2) = 4.303$ 。各项特征的 T 值绝对值均小于 $t_{0.05}(2) = 4.303$, 因此蝽科和缘蝽科的面积、周长、横轴长、纵轴长、叶状性、球状性、似圆度和偏心率总体均值没有显著差异。

② 对形状参数、圆形性和亮斑数用方差非齐性的差异显著性检验。计算不同特征的 T 值, 各 T 值依次是 -1.475, 2.5339 和 0.0707; 各项 ν 值均为 1; 相应的 $t_{0.05}(\nu)$ 均为 12.706。3 项特征的 T 值绝对值均

小于 $t_{0.05}(\nu)$ 。因此两科的形状参数、圆形性、亮斑数差异不显著。

通过对蝽科和缘蝽科 11 项形态特征的检验可知, 两个科的 11 项数学形态特征总体均值差异都不显著。也就是说, 针对这两个科而言, 11 项特征均不适宜作为科阶元的分类特征。

蝽科与缘蝽科由于本研究各自只包含了两个种类, 因此不做聚类分析。

2.3 鳞翅目夜蛾科、大蚕蛾科和粉蝶科各项特征值的比较分析

2.3.1 总体分布型的假设检验：在总科的比较分析中, 已经对夜蛾总科、蚕蛾总科做了假设检验, 这两个总科的各项特征遵从正态分布。由于检验的夜蛾总科只包含夜蛾科 1 科; 蚕蛾总科只包含大蚕蛾 1 科, 因此对两个总科的检验相当于对夜蛾科和大蚕蛾科的检验, 所以两科各项特征的总体分布型也遵循正态分布。现只需要对粉蝶科进行检验。

对粉蝶科的总体分布假设检验分析, 面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度、偏心率和亮斑数等 11 项数学形态特征的 D 值依次为 0.4176, 0.2812, 0.3034, 0.4038, 0.2264, 0.1506, 0.182, 0.3328, 0.6428, 0.1664 和 0.3966。各项特征的 D 值均小于 $D_{0.05} = 0.866$, 表明 11 项特征均符合正态分布。

2.3.2 方差齐性检验：分别计算得面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度、偏心率、亮斑数的 χ^2 , 结果依次为 6.4944, 2.977, 0.8874, 0.5673, 2.4121, 1.6244, 4.9601, 0.5243, 0.1563, 0.0323 和 7.146。各项特征的 χ^2 值均小于 $\chi_{0.05}^2(3 - 1) = 7.815$, 所以不能拒绝 H_0 , 即三科的各项特征方差齐性。

2.3.3 总体均值差异显著性检验：用方差齐性的正态总体均值差异显著性检验的小样本法。

① 夜蛾科与大蚕蛾科: 分别计算夜蛾科与大蚕蛾科面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度、偏心率及亮斑数等 11 项特征的 T 值, 结果依次为 -4.2625, -5.6246, 6.8561, -3.3928, 0.8108, 4.0599, 11.2776, -5.8984, -5.8311, 15.7759 和 -0.3552。取 $\alpha = 0.05$, 查表得 $t_\alpha(n_1 + n_2 - 2) = t_{0.05}(3 + 4 - 2) = 2.571$ 。除形状参数外, 其余特征的 T 值绝对值都大于 $t_{0.05}(6 + 5 - 2) = 2.571$, 拒绝 H_0 , 所以夜蛾科和大蚕蛾科的形状参数平均值总体差异不显著。其余特征均值总体差异显著。

表 1 23 种昆虫的 11 项数学形态特征提取值

Table 1 Eleven math-morphological features extracted from 23 insect species

	昆虫名称 Insect name	面积 A	周长 P	横轴长 XL	纵轴长 YL	形状参数 F	叶状性 B	球状性 S	圆形性 C	似圆度 R	偏心率 E	亮斑数 H
蝽科 Pentatomidae	碧蝽 <i>Palomena angulosa</i> Motschulsky	2 718	215.9	48.3	74.6	1.3685	0.4080	0.4813	4.4155	1.4840	1.5470	1.00
	麻皮蝽 <i>Erthesina fullo</i> (Thunberg)	4 725.7	302.7	60.4	104.5	1.4587	0.3560	0.3292	5.3520	1.6450	1.7310	1.00
缘蝽科 Coreidae	褐奇缘蝽 <i>Derepteryx</i> <i>fuliginosa</i> (Uhler)	5 216.5	378.3	62.2	117.6	2.2014	0.2760	0.2210	4.0697	1.7350	1.9050	1.17
	波原缘蝽 <i>Coreus</i> <i>potanini</i> (Jakovlev)	2 085.4	231.0	41.3	75.1	2.2619	0.3370	0.2964	4.0173	1.5620	1.8230	1.07
夜蛾科 Noctuid-ae	小地老虎 <i>Agrotis ypsilon</i> (Rottemberg)	2 0365.0	932.9	273.5	117.8	3.3151	0.0890	0.1564	5.9004	0.3350	0.4310	10.12
	棉铃虫 <i>Helicoverpa</i> <i>armigera</i> (Hübner)	10 394.0	768.8	188.2	86.0	4.6860	0.0850	0.1510	4.9090	0.3720	0.4410	26.17
	白点雍夜蛾 <i>Oederemia</i> <i>esox</i> Draudt	1 3841.0	717.8	228.4	96.0	2.9797	0.0760	0.1389	5.8736	0.3380	0.4090	1.84
大蚕蛾科 Saturniidae	大蚕蛾 <i>Rhodniū jinkowskii</i> <i>hattoriae</i> Inoue	72 155.0	1 685.0	485.1	124.7	3.1418	0.0480	0.0839	7.7502	0.4420	0.2540	5.20
	丁目大蚕蛾 <i>Aglia tiu</i> Linn.	82 879.0	1 821.0	503.4	147.8	3.2009	0.0690	0.0865	9.3657	0.4260	0.2790	3.40
	黄目大蚕蛾 <i>Caligula anna</i> Moore	103 368.0	2 143.0	561.0	156.4	3.5447	0.0410	0.0721	9.2434	0.420	0.2700	53.17
	猫目大蚕蛾 <i>Salassa</i> <i>thespis</i> Leech.	149 687.0	2 486.0	640.9	178.4	3.2970	0.0500	0.0861	9.7578	0.4640	0.2610	10.63
	菜粉蝶 <i>Pieris</i> <i>rapae</i> Linnaeus	37 948.0	1 206.0	298.0	92.7	2.9014	0.0860	0.1443	6.9228	0.5510	0.3160	7.73
粉蝶科 Pieridae	黄粉蝶 <i>Colias hyale</i> Linnaeus	38 479.0	1 105.0	305.9	105.1	2.5379	0.1100	0.1887	6.8861	0.5260	0.3440	1.22
	山楂粉蝶 <i>Aporia crataegi</i> <i>dilata</i> Verity	54 812.0	1494.0	375.5	117.5	3.2776	0.0640	0.1090	8.2751	0.4950	0.2640	1.39
	尖钩粉蝶 <i>Gonepteryx</i> <i>mahaguru aspasia</i> Ménétriers	60 053.0	1 344.0	377.2	125.4	2.4041	0.1140	0.1981	8.5203	0.5420	0.3210	1.76
鳃金龟甲科 Melolonthidae	棕色鳃金龟 <i>Holotrichia</i> <i>titanis</i> Reitter	5 331.4	303.0	60.7	113.6	1.3733	0.4200	0.4238	5.5543	1.8440	1.8750	1.63
	华北大黑鳃金龟 <i>Holotrichia</i> <i>oblita</i> (Faldermann)	5 252.0	299.6	60.7	113.0	1.3624	0.4220	0.4210	5.5642	1.82800	1.8700	1.57
丽金龟科 Rutelidae	中华弧绿丽金龟 <i>Popillia</i> <i>quadriguttata</i> Fabr.	4 350.3	266.8	59.3	98.0	1.3064	0.4360	0.4919	5.1625	1.5710	1.6520	6.74
	铜绿丽金龟 <i>Anomala</i> <i>corpulenta</i> Motschulsky	4 606.4	275.8	61.3	101.0	1.3186	0.4450	0.5138	5.3419	1.5580	1.6480	2.77
天牛科 Cerambycidae	黄斑星天牛 <i>Anoplophora</i> <i>nobilis</i> (Ganglbauer)	8 011.5	488.4	60.8	167.3	2.3890	0.3490	0.2220	5.0108	2.7430	2.7500	16.20
	松幽天牛 <i>Asemum</i> <i>amurense</i> Eschscholtz	2 402.9	234.4	32.0	91.2	1.8593	0.3630	0.2253	4.1392	2.9910	2.8530	1.37
	榆绿天牛 <i>Chelidonium</i> <i>protosti</i> (Fairmaire)	1 871.9	220.0	27.3	88.7	2.0668	0.4090	0.2228	3.6818	3.2140	3.2650	1.00
	绿翅契天牛 <i>Saperda</i> <i>viridipennis</i> Gressitt	2 700.8	262.0	32.9	98.9	2.0320	0.4110	0.2490	3.9185	3.1760	3.0130	1.35

② 夜蛾科与粉蝶科: 分别计算夜蛾科和粉蝶科面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度、偏心率和亮斑数等 11 项特征的 T 值, 结果依次为 $-4.6286, -4.2238, -3.3803,$

$-0.8868, 0.7214, -0.7137, -0.454, -3.5943,$

$-10.2434, 5.3729$ 和 1.5476 。取 $\alpha = 0.05$, 查表得 $t_{\alpha}(n_1 + n_2 - 2) = t_{0.05}(3 + 4 - 2) = 2.571$ 。面积、周长、横轴长、圆形性、似圆度和偏心率的 T 值绝对值

大于 $t_{0.05}(6 + 5 - 2) = 2.571$, 所以夜蛾科和粉蝶科的上述几项特征均值总体差异显著, 其余特征均值总体差异不显著。

③ 大蚕蛾科与粉蝶科: 分别计算大蚕蛾科与粉蝶科面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度、偏心率、亮斑数等 11 项特征的 T 值, 结果依次为 3.0005, 3.778, 5.066, 3.1503, 2.3948, -3.1477, 3.7261, 2.2294, 5.7771, -2.5465, 1.2674。取 $\alpha = 0.05$, 查表得 $t_{\alpha}(n_1 + n_2 - 2) = t_{0.05}(4 + 4 - 2) = 2.447$ 。形状参数、圆形性、亮斑数的 T 值小于 $t_{0.05}(4 + 4 - 2) = 2.447$, 不能拒绝 H_0 , 即大蚕蛾科和粉蝶科形状参数和圆形性均值总体差异不显著。其余各特征的 T 值绝对值大于 $t_{0.05}(4 + 4 - 2) = 2.447$, 拒绝 H_0 , 所以两科的这些特征均值总体差异显著。

由以上对 3 科特征均值总体差异显著性检验表明, 夜蛾科和大蚕蛾科除形状参数外, 其余特征均值总体差异均显著; 夜蛾科和粉蝶科面积、周长、横轴长、圆形性、似圆度和偏心率的均值总体差异显著; 大蚕蛾科和粉蝶科的面积、周长、横轴长、纵轴长、叶状性、球状性、似圆度及偏心率均值总体差异均显著。3 个科的形状参数总体平均值差异均不显著, 这说明形状参数特征在科阶元上不适合作为分类特征。3 个科的面积、周长、横轴长、似圆度和偏心率差异均显著, 可以作为 3 个科进行分类时的特征。在科阶元的分类特征, 各项特征的可靠性依次为 (面积、周长、横轴长、似圆度、偏心率) > (纵轴长、叶状性、球状性、圆形性) > 亮斑数 > 形状参数。结果同时说明在 11 项数学形态特征中, 从数学形态特征角度出发, 3 科的亲缘关系远近依次为夜蛾科与粉蝶科 > 大蚕蛾科与粉蝶科 > 夜蛾科与大蚕蛾科。这个结论与 3 个科所在的总科 (夜蛾总科、蚕蛾总科、凤蝶总科) 各项特征均值的差异显著性比较所得出的结论是符合的。

2.3.4 聚类分析: 本研究所采用的夜蛾科、大蚕蛾科的昆虫种类与夜蛾总科、蚕蛾总科的总科重合, 在上一章中已经作了聚类分析, 这里不再分析。图 1、图 2 是对粉蝶科数学形态特征聚类分析的结果。

图 1 和图 2 的结果基本相同, 说明昆虫的形体大小因素对聚类的影响不大, 也就是说, 粉蝶科的几种昆虫形体大小特征差别不是很大。

2.4 鞘翅目鳃金龟科、丽金龟科和天牛科各项特

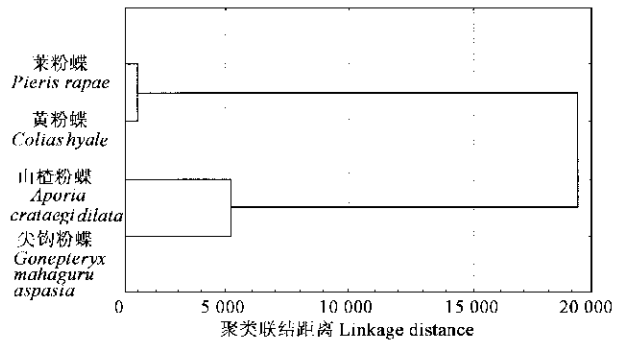


图 1 粉蝶科 4 种昆虫 11 项数学形态特征聚类分析结果

Fig. 1 Result of cluster analysis of 11 math-morphological features of 4 species of Pieridae

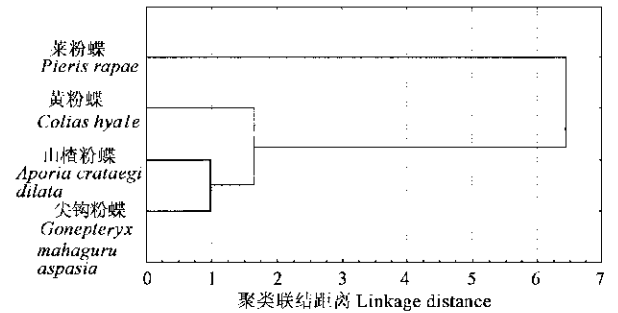


图 2 粉蝶科 4 种昆虫 7 项数学形态特征聚类分析结果

Fig. 2 Result of cluster analysis of 7 math-morphological features of 4 species of Pieridae

征的比较分析

2.4.1 总体分布型的假设检验: 鳃金龟科和丽金龟科分别只分析了两个种, 因此总体型可以看作是正态分布。对天牛科的总体分布假设检验分析, 面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度、偏心率和亮斑数等 11 项特征的 D 值依次为 0.4521, 0.3616, 0.484, 0.635, 0.2128, 0.3778, 0.4124, 0.3690, 0.1114, 0.4714 和 0.3650。各项特征的 D 值均小于 $D_{0.05} = 0.866$, 表明 11 项特征均符合正态分布。

2.4.2 方差齐性检验: 面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度、偏心率和亮斑数的 χ^2 值依次为 ($c = 1.3556$) 6.1044, 5.5597, 7.8405, 6.5459, 7.6155, 7.4643, 4.3825, 7.5514, 5.5755, 10.978 和 7.1215。除偏心率外, 各项特征的 χ^2 值均小于 $\chi_{0.05}^2(3 - 1) = 7.815$, 不能拒绝 H_0 , 所以 3 科的特征除偏心率外均值方差齐性。

2.4.3 总体均值差值检验: (1) 对于三个科的面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度和亮斑数用方差齐性的正

态总体均值差异显著性检验的小样本法。

① 鳃金龟科与丽金龟科：分别计算面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度和亮斑数等 10 项特征的 T 值，结果依次为 6.069, 6.2449, 0.2388, 8.8982, 6.7666, -4.0554, -7.2847, 3.4193, 26.5541 和 -1.5893。取 $\alpha = 0.05$, 查表得 $t_{\alpha}(n_1 + n_2 - 2) = t_{0.05}(2 + 2 - 2) = 4.303$ 。面积、周长、纵轴长、形状参数、球状性和似圆度的 T 值绝对值均大于 $t_{0.05}(2) = 4.303$, 因此鳃金龟科和丽金龟科的面积、周长、横轴长、纵轴长、叶状性、球状性、似圆度和偏心率总体均值具有显著差异。

② 鳃金龟科与天牛科：分别计算面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度和亮斑数等 10 项特征的 T 值，结果依次为 0.7193, 0.0008, 1.9505, 0.0624, -4.337, 2.3927, 19.8179, 3.1547, 7.3906 和 -0.6024。取 $\alpha = 0.05$, 查表得 $t_{\alpha}(n_1 + n_2 - 2) = t_{0.05}(2 + 4 - 2) = 2.776$ 。形状参数、球状性、圆形性和似圆度的 T 值绝对值大于 $t_{0.05}(2 + 4 - 2) = 2.776$, 因此鳃金龟科和天牛科的形状参数、球状性、圆形性和似圆度总体均值差异显著。

③ 丽金龟科与天牛科：分别计算面积、周长、横轴长、纵轴长、形状参数、叶状性、球状性、圆形性、似圆度和亮斑数等 10 项特征的 T 值，结果依次为 0.3404, -0.3163, 4.0911, 0.4293, -4.6701, 2.3783, 23.1812, 2.4295, -9.0743 和 -0.0392。取 $\alpha = 0.05$, 查表得 $t_{\alpha}(n_1 + n_2 - 2) = t_{0.05}(2 + 4 - 2) = 2.776$ 。横轴长、形状参数、球状性和似圆度的 T 值绝对值大于 $t_{0.05}(2 + 4 - 2) = 2.776$, 因此丽金龟科和天牛科的横轴长、形状参数、球状性和似圆度总体均值差异显著。

(2) 对于三科的偏心率，是用方差非齐性的差异显著性检验。

① 鳃金龟科与丽金龟科：计算得 $T = 80.7483$, $\nu = 1$, $t_{0.05}(\nu) = t_{0.05}(1) = 12.706$, $T > t_{0.05}(\nu) = 12.706$, 所以两科的偏心率总体均值差异显著。

② 鳃金龟与天牛科：计算得 $T = 11.2963$, $t_{0.05}(\nu) = t_{0.05}(3) = 3.182$, $T > t_{0.05}(\nu) = 3.182$, 所以次两科的偏心率总体均值差异显著。

③ 丽金龟与天牛科：计算得 $T = 13.5811$, $t_{0.05}(\nu) = t_{0.05}(3) = 3.182$, $T > t_{0.05}(\nu) = 3.182$, 所以两科的偏心率总体均值差异显著。

由以上检验可知，鳃金龟科、丽金龟科和天牛科的形状参数、球状性、似圆度和偏心率总体均值差异显著，在科阶元上可以作为三个科的分类特征。在作为科阶元分类特征对三个科进行分类时，各项特征的可靠性大小为（形状参数、球状性、似圆度、偏心率）>（面积、周长、横轴长、纵轴长、圆形性）>（叶状性、亮斑数）。三个科从数学形态特征角度出发的亲缘关系远近为鳃金龟科与天牛科、丽金龟科与天牛科 > 鳃金龟科与丽金龟科。

2.4.5 聚类分析：图 3、图 4 是对天牛科数学形态特征的聚类分析结果。鳃金龟科、丽金龟科由于本研究各自只包含了两个种类，因此不做聚类分析。图 5 和图 6 是对 8 科昆虫的特征进行聚类分析的结果。

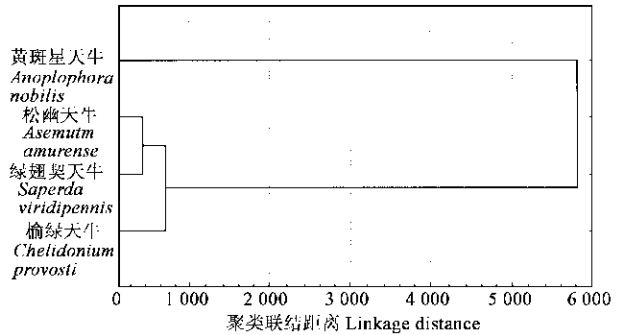


图 3 天牛科 4 种昆虫 11 项数学形态特征聚类结果
Fig. 3 Result of cluster analysis of 11 math-morphological features of 4 species of Cerambycidae

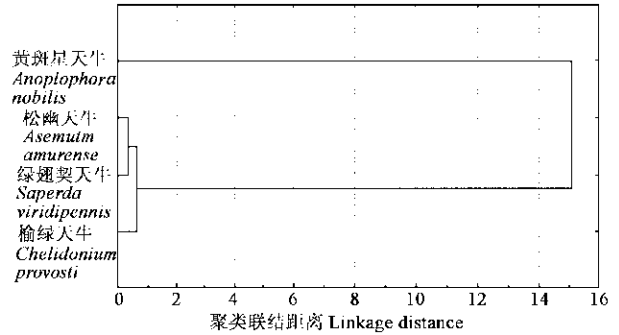


图 4 天牛科 4 种昆虫 7 项数学形态特征聚类结果
Fig. 4 Result of cluster analysis of 7 math-morphological features of 4 species of Cerambycidae

图 3、图 4 的聚类结果相同，说明形体大小对聚类影响较小。也说明天牛科的 4 种昆虫形体大小差别不大。

从图 5 和图 6 可以看出，无论是考虑昆虫形体大小与否，聚类结果显示，按 4 个类群分类时，

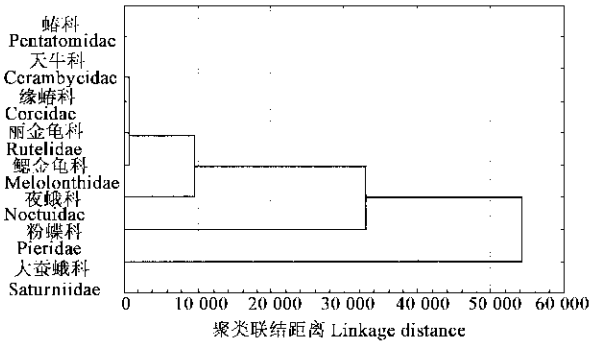


图5 8科11项数学形态特征聚类分析结果

Fig. 5 Result of cluster analysis of 11 math-morphological features of 8 families

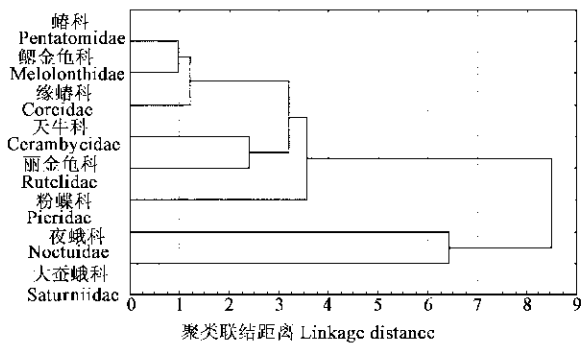


图6 8科7项数学形态特征聚类分析结果

Fig. 6 Result of cluster analysis of 7 math-morphological features of 8 families

鳞翅目与鞘翅目都分开了，并且半翅目的两个科距离也比较近，这与我们现在认可的分类系统是一致的。但是就鞘翅目而言，两种聚类分析有所差别，考虑形体大小因素的聚类分析得出的结果是鳃金龟科与丽金龟科的关系较近，天牛科于两者关系较远，这个结果与现在所用的分类系统一致；在不考虑形体大小因素时，聚类分析结果则是天牛科于丽金龟科关系近。由此可见，在鞘翅目的分类中，形体大小因素在科一阶元上是应该予以考虑的。也就是说，面积、周长、横轴长和纵轴长具备了一定的作为分类特征的潜力，这与对这些特征进行统计分析的结果是一致的。

3 结论与讨论

综合对蝽科与缘蝽科、夜蛾科与大蚕蛾科及粉蝶科、鳃金龟科与丽金龟科及天牛科总体均值的比较分析可以得出，在科的阶元上11项特征可靠性大小依次为（似圆度、偏心率）>（面积、周长、横轴长、球状性）>（纵轴长、圆形性）>（形状

参数、叶状性）>亮斑数。这说明，似圆度和偏心率比较适合作为科阶元上的分类特征，而亮斑数则不适合作为科阶元上的分类特征。

本文及前面两篇论文论述了数学形态学特征在不同昆虫分类阶元上的应用，并从数学形态学角度探讨了同阶元昆虫之间的亲缘关系远近。这种关系的正确与否，一要靠增加研究种类，使研究的种类更能反映昆虫间本来的自然规律，还有一条途径就是从分子生物学的角度出发，在基因水平上研究这些昆虫的亲缘关系。数学形态学结合分子生物学，无疑更能揭示不同昆虫间的真实进化关系。近来在著名杂志 Nature 上有文章用形态和分子两个方面论述了节肢动物之间的关系（Giribet *et al.*, 2001），可见这方面的研究在国际上已引起了重视。我们将在种阶元水平上继续研究。同时，由于本研究侧重于数学形态特征在昆虫分类上的应用，因此不同昆虫之间的进化关系有待于今后进一步研究。

参 考 文 献 (References)

- Giribet G, Edgecombe G D, Wheeler W C, 2001. Arthropod phylogeny based on eight molecular loci and morphology. *Nature*, 413 (13): 157–161
- Zhao H Q, Shen Z R, Yu X W, 2003a. Use of math-morphological features in insect taxonomy. I. At the order level. *Acta Entomol. Sin.*, 46 (1): 45–50. [赵汗青, 沈佐锐, 于新文, 2003a. 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. 昆虫学报, 46 (1): 45–50]
- Zhao H Q, Shen Z R, Yu X W, 2003b. Use of math-morphological features in insect taxonomy. II. At superfamily level. *Acta Entomol. Sin.*, 46 (2): 201–208. [赵汗青, 沈佐锐, 于新文, 2003b. 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. 昆虫学报, 46 (2): 201–208]