

中国蕨科的数量分类研究

郭晓思 徐养鹏

(西北植物研究所, 陕西杨陵 712100)

吴兆洪 ✓

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510550)

Q949.365

摘要 本文用聚类分析的方法, 对中国蕨科23个种代表9个属做了数量分类研究, 通过23 OTUs×37个性状的原始数值矩阵标准化后, 用欧氏距离系数计算相似性, 采用WPGMA法进行聚类分析, 以探索各属之间的系统位置和亲缘关系。其结果与我国植物学家经典分类处理基本上一致, 并对粉背蕨属(*Aleuritopteris*)也做了修正, 认为粉背蕨系(*Ser. Farinosae*)和银粉背蕨系(*Ser. Argenteae*)也可做为两个新属处理比较合理。另外对距离系数和结合线在类群划分中的作用进行了讨论和评价。

关键词 系统位置; 聚类分析; 中国蕨科

蕨科; 数量分类

关于中国蕨科(Sinopteridaceae)的分类, 中外植物分类学家做了不少研究工作, 提出了许多方案和设想。但由于其形态特征表现得错综复杂, 研究起来比较困难, 因此至今对中国蕨科的分类仍然存在着疑难和争议, 其中一些属的划分仍是不清楚或是随意的, 而一些属的系统位置和归属问题也未取得一致的看法^[1]。本文通过对植物形态做统计学处理, 应用数学方法和电子计算机技术, 结合形态学生物分类特征手段, 对中国蕨科进行了定量分析, 试图从数量分类的方法划分我国中国蕨科的类群等级, 探求各类群之间的亲缘关系, 为今后较合理地解决中国蕨科的分类问题提供新的参考依据。

一、研究材料和方法

1. 分类单位、性状的选取: 根据文献记载^[1,2], 中国蕨科有14属约300种, 主要分布于世界热带、亚热带山地, 少数种类达温带。我国有9属60余种。由于在时间和材料等方面都不允许同时研究全部或大部分种, 所以我们作了下面的考虑。

中国蕨科各属也许是由于生境大体相同的缘故, 彼此在形态上的区别是比较细致的, 而且相互之间往往有交叉, 使属的划分造成一些困难。所以选取分类单位时, 主要取自在经典分类上有争议类群中, 选取的种尽可能是该属的代表种。本文以中国蕨的23种为分类运算单位(OTU), 种的名称和编号见表1, 分别隶属9个属。

性状选取, 据表征学派的观点, 选取性状越多越好, 每一性状对分类是同等的重要。有关中国蕨科文献资料中记载的性状都应考虑进去, 特别要注重生长习性、类群形态、生态习性各方面之间区别最明显的性状。我们观察记录100多份标本, 最后反复对比和筛选, 把中国蕨科各属有许多共性性状不予入选, 它们在数量分析上无多大意义。从55个性状中确定出37个进行数量分类, 其中茎2个, 叶23个, 孢子7个, 鳞片4个, 生态习性1个(表2)。性状的观察和记录主要根据西北植物研究所和中国科学院华南植物研究所收藏的标本以及实

表1 用作 OTU 的23个种的编号和名称表
Table 1 Code and name of 23 species employed as OTU

编号 OTU No.	名 称 Species name	编号 OTU No.	名 称 Species name
1	野雉尾金粉蕨 <i>Onychium japonicum</i> (Thunb.) Kze.	13	薄叶碎米蕨 <i>Ch. tenuifolia</i> (Burm.) Trev.
2	黑足金粉蕨 <i>O. contiguum</i> Hope	14	稀叶珠蕨 <i>Cryptogramma stelleri</i> (Gmel.) Prantl
3	栗柄金粉蕨 <i>O. lucidum</i> (Don) Spr.	15	珠蕨 <i>Cr. raddeana</i> Fomin
4	滇西旱蕨 <i>Pellaea mairei</i> Branse	16	华西薄鳞蕨 <i>Leptolepidium caesium</i> (Christ) Hsing et S. K. Wu
5	旱蕨 <i>P. nitidula</i> (Hook.) Bak.	17	华北薄鳞蕨 <i>L. kuhnii</i> (Milde) Hsing et S. K. Wu
6	云南中国蕨 <i>Sinopteris albofusca</i> (Bak.) Ching	18	雪白粉背蕨 <i>Aleuritopteris niphobola</i> (C. Chr.) Ching
7	隐囊蕨 <i>Notholaena hirsuta</i> (Poir.) Desv.	19	裸叶粉背蕨 <i>A. duclouxii</i> (Christ) Ching
8	中华隐囊蕨 <i>N. chnensis</i> Bak.	20	假裸叶粉背蕨 <i>A. nuda</i> Ching
9	同色黑心蕨 <i>Doryopteris concolor</i> (Langsd. et Fisch.) Kuhn	21	银粉背蕨 <i>A. argentea</i> (Gmel.) Fée
10	毛轴碎米蕨 <i>Chielosoria chusana</i> (Hook.) Ching et Shing	22	阔盖粉背蕨 <i>A. platychalamys</i> Ching
11	厚叶碎米蕨 <i>Ch. insignis</i> (Ching) Ching et Shing	23	棕毛粉背蕨 <i>A. rufa</i> (Don) Ching
12	大理碎米蕨 <i>Ch. hancockii</i> (Bak.) Ching et Shing		

地观察, 也有部分性状来自文献记载^[1-5, 8, 11, 12]。定量性状用统计学, 几何学, 不同度量手段进行度量, 采取平均值计算。

性状的编码分为三种情况处理(表2)二元性状10个, 有序多态性状17个, 数值性状10个。

2. 聚类分析方法: 对本观察的原始记录, 经过编码得到23行(OTUs)×37列(性状)的原始数值矩阵。在该矩阵上进行分析运算, 首先是将原始数值标准化, 计算公式如下:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

$$S_j = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

在式中 X_{ij} 表示原始数值, 矩阵中第 i 个分类单位 ($n = 23$ OTUs), 第 j 个性状 ($m = 37$ 性状) 的数值; 标准化变换以后相应的数值记住作 X'_{ij} ; \bar{X}_j 和 S_j 分别表示第 j 个性状的平均值和标准差。

从已标准化的数据再计算分类单位之间的相似系数 (Similarity coefficient), 本文相似系数采用欧氏距离系数 (Euclidian distance coefficient), 它的计算公式如下:

表 2 聚类分析用的37个性状表

Table 2 37 characters used in cluster analysis

编号 No.	性 状 Characters	编码类型 Code type	编号 No.	性 状 Characters	编码类型 Code type		
1	茎生长习性	Habit of stem growth	B	21	羽片对数	Number of opposite pinnae pairs	N
2	植株高	Height of plant	N	22	未回小羽片顶端形状	Shape of pinnule apex	M
3	叶的分裂情况	Blade division	N	23	1回羽裂的对数	Number of pinna-tisect pinnae pairs	N
4	叶的顶端形状	Shape of leaf apex	M	24	羽片对生或互生	Pinnae opposite or alternate	B
5	叶片长	Blade length	N	25	小羽片分裂情况	Pinnae division	M
6	叶片宽	Blade width	N	26	孢子囊群位置	Position of a group of sporangia	M
7	叶片长/叶片宽	Length width ratio of blade	N	27	孢子囊群形状	Shape of a group of sporangia	M
8	叶片有无毛	Blade hairy or not	B	28	孢子囊环带加厚细胞数	Number of thickened cells in cingulum of sporangium	N
9	叶片形状	Blade shape	M	29	孢子纹饰情况	Ornamentation of spores coat	M
10	叶有无粉末	Leaf powder or not	B	30	囊群盖颜色	Colour of opercule	M
11	叶是否二型	Two-types of leaf or not	B	31	囊群盖质地	Texture of opercule	M
12	叶脉是否羽状	Pinnate veined or not	B	32	囊群盖边缘情况	Margine of opercule	M
13	叶脉是否明显	Clearly veined or not	B	33	鳞片颜色	Colour of scale	M
14	叶脉分裂数	Number of vein division	N	34	鳞片有无光泽	Scale lightness or not	B
15	叶常绿或夏绿	Leaf evergreen or summer-green	B	35	鳞片形状	Scale shape	M
16	叶片质地和光泽	Blade texture and lightness	M	36	鳞片边缘有无锯齿	Scale margine serration or not	B
17	叶片锯齿和芒刺	Blade serrature and spine	M	37	生态习性	Ecological habit	M
18	叶柄颜色	Colour of leaf stalk	M				
19	叶轴与羽轴夹角	Angle between leaf rachis and pinna rachis	N				
20	羽片之间的距离	Distance between pinnae	M				

B为二元性状, M为有序多态性状, N为数值性状

B=Binary characters, M=Ordered multistate characters, N=Quantitative characters

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^m (X_{ik} - X_{jk})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

每一对分类单位的距离系数都计算出来后得到距离系数矩阵, 在距离系数矩阵上进行分类运算, 采用WPGMA法。具体运算过程在此从略。

由此分类结果得到聚类分析树系图(图1)。

树系图定量地显示出了中国蕨科23种间的分类关系。在种的基础上如何确定数量分类中分类等级, 我们可以根据聚类分析结果, 以类群的结合水平(距离系数)为纵坐标, 类群结合次数为横坐标, 将聚类过程描点, 然后依次连接成阶梯式析线, 称为结合线^[8](图2)。

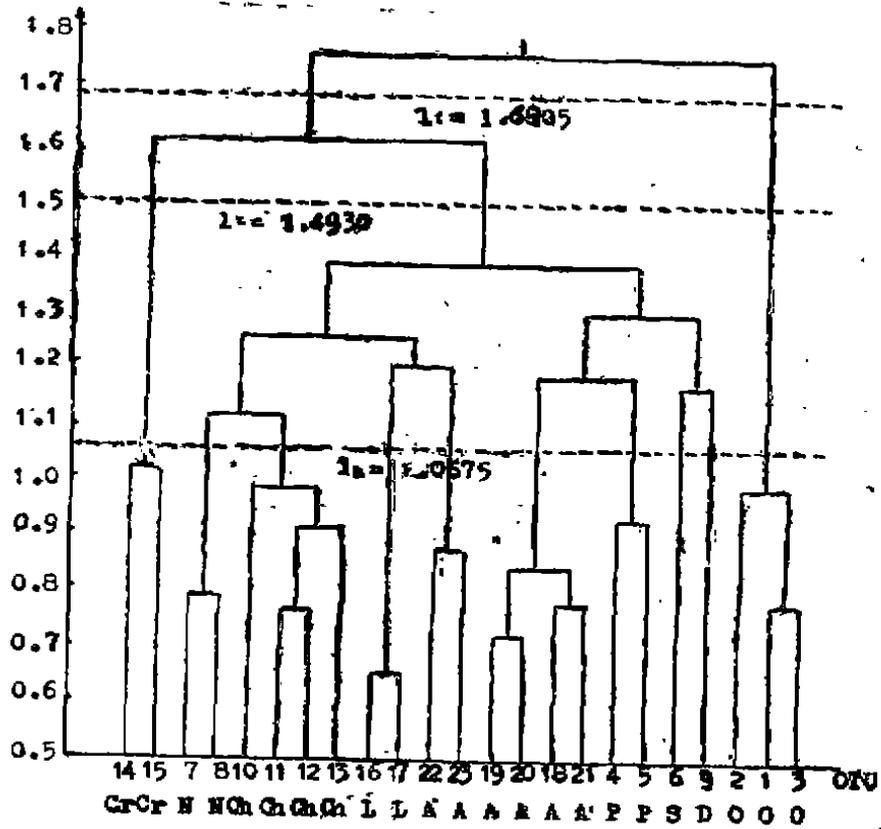


图1 中国蕨科 23 个 OTUs 聚类分析树系图 (距离系数 WPGMA 法)

Fig.1 Dendrogram of cluster analysis for 23 OTUs of *Sinopteridaceae* (Distance coefficient WPGMA)

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Cr 珠蕨属 <i>Cryptogramma</i> | N 隐囊蕨属 <i>Notholaena</i> |
| Ch 碎米蕨属 <i>Cheilosoria</i> | L 薄鳞蕨属 <i>Leptolepidium</i> |
| A 粉背蕨属 <i>Aleuritopteris</i> | P 旱蕨属 <i>Pellaea</i> |
| S 中国蕨属 <i>Sinopteris</i> | D 黑心蕨属 <i>Doryopteris</i> |
| O 金粉蕨属 <i>Onychium</i> | |

从图 2 分析, 类群结合在纵轴上的分布是不均匀的, 第 14、21、22 次结合水平都有一次飞跃式的上升。很明显, 类群的结合被这种不均匀性分为不同的等级, 我们即以结合水平飞跃阶段的中心点为划分类群等级的分界值。可得分界值:

$$I_1 = 1.018 + \frac{1.117 - 1.018}{2} = 1.0675$$

$$I_2 = 1.385 + \frac{1.601 - 1.385}{2} = 1.4930$$

$$I_3 = 1.601 + \frac{1.760 - 1.601}{2} = 1.6805$$

将分界值标在树系图中, 可以清楚看到当结合水平小于 $l_1 = 1.0675$, 类群的归并最终产生第一级类群, 当结合水平小于 $l_2 = 1.4930$ 时产生第二级类群, 当结合水平小于 $l_3 = 1.6805$ 时产生第三级类群。由于我们用的分类单位是种, 参考经典分类研究的结果, 第一级类群就是属, 第二级类群就是亚族及族, 第三级类群就是科。分析结果与经典分类的研究结果基本上一致。

全部数值运算在 IBM-PC 型电子计算机上进行运算完成。

二、结果与讨论

树系图表示出的分类不仅与经典分类有大体一致的结果, 而且有助于解决中国蕨科一些有争议的问题, 同时对过去的分类方法也作了较合理的修正。

1. 粉背蕨属 (*Aleuritopteris*) 问题, 对粉背蕨属的归属问题, 中外学者中存在着一些分歧, 有人主张把粉背蕨作为碎米蕨属 (*Cheilosoria*) 的一个组, 有的

主张作为早蕨属 (*Pellaea*) 的一个组, 也有的主张把本属的一些成员分别归到碎米蕨属和黑心蕨属 (*Doryopteris*) 中。1941年秦仁昌主张恢复粉背蕨属, 并在属下建立了三个系: 薄叶系、银粉蕨系、粉背蕨系。1981年武素功、邢公侠建议将薄叶系作为一个独立的属。因此现在的粉背蕨属仅包括银粉蕨系和粉背蕨系。从树系图看, 薄鳞蕨属 (*Leptolepidium*) 的结合水平是1.203 比分界值 $l_1 = 1.0675$ 大, 因此是可以成为独立属的。而粉背蕨系和银粉蕨系的结合水平分别为 1.203、1.186 也都大于分界值 l_1 。我们认为如薄叶蕨系成为独立属的话则粉背蕨系和银粉蕨系也应该分开, 分别作为两个独立属处理, 这样才比较合理。

2. 早蕨属 (*Pellaea*) 问题: 中外分类学家对我国早蕨属的分类看法很不一致。Hall & Lellinger (Amer. Fern Journ. 57: 127, 1967) 根据囊群盖是边生还是内生, 把本属产我国和尼泊尔、不丹、印度的一些种归入 *Mildella* Trev. 属, 如早蕨 (*Pellaea nitidula* (Hook.) Bak.) 等。而我国学者认为, 国产种类囊群盖是边生的, 干后叶边往往反折, 好象是边内生, 与特产中南美洲的 *Mildella* 属不同, 不宜把国产种类划归该属 [1, 99, 12]。

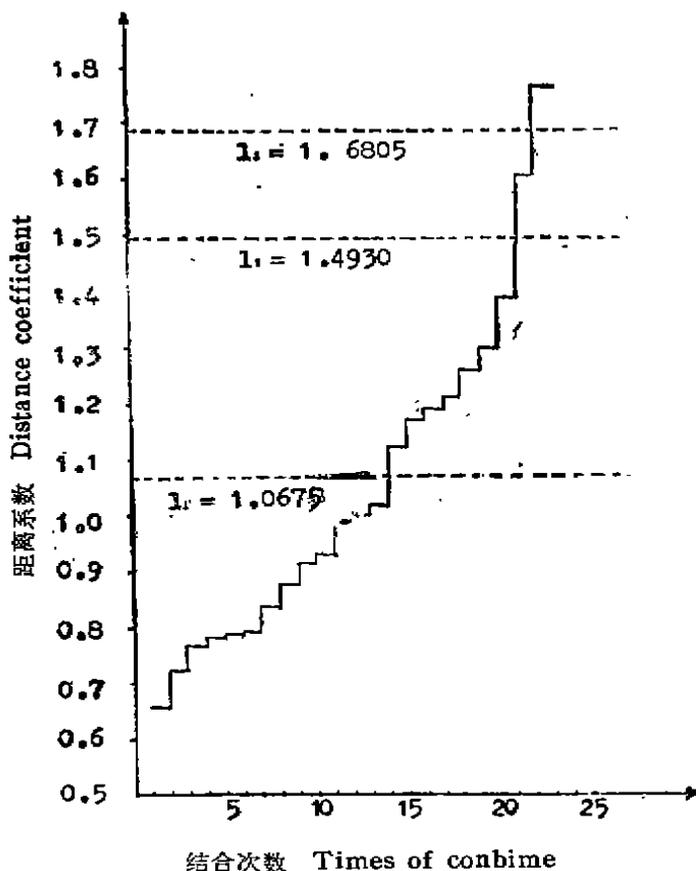


图2 中国蕨科23个OTUs 聚类分析结果的连线
Fig.2 The combined line of the results of cluster analysis for 23 OTUs of *Sinopteridaceae*

现在根据分类结果,从树系图可以看出,广布秦岭以南的早蕨与产于云南、贵州及陕西的滇西早蕨(*Pellaea mairei* Brause)的结合水平是0.930,而明显小于属的分界值 l_1 ,因此我国早蕨属的种类应该仍然是早蕨属的成员,不能像Hall & Lellinger那样将早蕨属的许多亚洲种类划入*Mildella*属。这一结果与我国学者的意见是一致的。

3. 中国蕨科各属之间的亲缘关系问题:从树系图中可以看出,除珠蕨属(*Cryptogramma*)金粉蕨属(*Onychium*)外,中国蕨科其它属的亲缘关系是较密切的。O. Christensen和秦仁昌教授曾指出中国蕨属(*Sinopteris*)可能是粉背蕨属的祖先,并对各属之间可能的亲缘关系和演化上的密切联系作出了合乎逻辑的推论。他们的论证和我们现在的结果是相吻合的。

4. 珠蕨属的去留问题:珠蕨属是不是中国蕨科的合理成员,至今仍有争议。Pichi Sermolli (Webbia 17: 299, 1963)从中国蕨科分裂出3个属:珠蕨属、金粉蕨属和中美洲的*Llavea*属组成珠蕨科(*Cryptogrammaceae*)。但秦仁昌认为,金粉蕨属和珠蕨属的亲缘性并很不密切,而*Llavea*属是一个单种属,很特殊,看来是一个分类位置未定的属,可能自成一个科,同其它两属并无密切亲缘关系^[9]。现在根据数量分类结果,珠蕨属与其它属的结合水平是1.601 小于 $l_3 = 1.6805$ 科的界值,所以珠蕨属应是中国蕨科的成员,不能成立珠蕨科。但因其结合值大于 $l_2 = 1.4930$,我们认为在中国蕨科内成立一个珠蕨族(下辖珠蕨属)是比较合适的。从树系图中也可看出金粉蕨属和珠蕨属的亲缘性是不密切的。

5. 金粉蕨属问题:中外学者对金粉蕨属的研究表明,金粉蕨属与中国蕨科其它各属在形态上有很大的差别,怀疑金粉蕨属可能不是中国蕨科的合理成员。现在从树系图中可以看到,金粉蕨属与其它属的亲缘关系是疏远的,结合水平是1.760,明显高于第三级科的分界值 $l_3 = 1.6805$,所以应把它从中国蕨科中分出。这个结果与一些经典分类研究的意见相吻合。秦仁昌认为金粉蕨属更接近凤尾蕨科(*Pteridaceae*)这个问题有待于进一步的研究。

6. 有关数量分类方法:距离系数用于数量分类学由来已久^[13-16],特别是常用的欧氏距离系数(Euclidian distance coefficient)被称为分类学距离(Taxonomic distance)。它与相关系数组成相似性度量的两个基本指标。

距离系数的运算方法比较多,比较完整,并且能够承受较大的干扰,其运算结果稳定、直观,是相似性系数中最重要的一种方法^[10]。本文采用距离系数WPGMA法进行聚类分析,使中国蕨科各属之间的明显差异表现出来。较好地解决当前中国蕨科的分类问题,并对一些有争议或疑难的属重新进行了认识。所以数量分类是解决植物分类问题的一种有效途径,只要精选性状,分类单位之间的相似性度量,距离系数确为一把好“尺子”。

陈守良等提出用结合线划分分类等级,在本文各属关系复杂的情况下仍取得了满意结果。该方法简单易行,直观,结合线所在位置的意义明瞭等优越性再次得到了验证。

迄今数量分类被用于蕨类植物分类上才刚刚开始^[7],本文用聚类分析数学手段对中国蕨科做了部分定量分析的尝试。从研究结果看,最终结果与经典分类的结果基本上是相符的。但这并不意味着仅仅是对形态分类结果的依赖和检验,而是在系统位置及分类性状的选取上都提供了新的依据。在中国蕨科的研究过程中,我们发现性状的选取,是数量分类极为重要的环节,精选性状与否,直接影响分类结果。所以在数量分类中就要处理大量的标本和查阅大量文献。我们认为数量分类对蕨类植物分类是有帮助的,它赋予对分类过程的本质

和分类判断的本质以更为深刻的洞察力。今后还得在数学方法上、性状分析等方面做进一步的探索, 对分类等级的确定和系统发育研究提供有参考价值的佐证。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1983: 西藏植物志, 1: 47—91, 科学出版社。
- [2] 中国科学院北京植物研究所形态室孢粉组, 1976: 中国蕨类植物孢子形态, 155—170, 科学出版社。
- [3] 中国科学院植物研究所、中国科学院西北植物研究所, 1974: 秦岭植物志, 2: 57—72, 科学出版社。
- [4] 中国科学院华南植物研究所, 1964: 海南植物志, 1: 78—81, 科学出版社。
- [5] 中国科学院植物研究所, 1972: 中国高等植物图鉴, 1: 156—164, 科学出版社。
- [6] 陈守良等, 1983: 中国散生竹类的数量分类和确定分类等级的探讨。植物分类学报, 21(2): 113—119。
- [7] 吴兆洪, 1988: 我国蕨类植物研究的历史和现状。广西植物, 8(2): 169—178。
- [8] 武素功, 1981: 中国粉背蕨属的研究。植物分类学报, 19(1): 57—74。
- [9] 秦仁昌, 1978: 中国蕨类植物科属的系统排列和历史来源。植物分类学报, 16(3): 1—20。
- [10] 徐克学, 1982: 浅谈分类学的数学方法。植物分类学报, 20(4): 502—509。
- [11] 谢寅堂, 1985: 秦岭蕨类植物资料补编, 西北植物学报, 5(1): 83—94。
- [12] 秦仁昌、邢公侠, 1990: 中国植物志, 3(1): 97—173, 科学出版社。
- [13] Heincke, F. 1898: *Naturgeschichte des Herings, I. Die Lokalformen und die Wanderungen des Herings in den europäischen Meeren*, Abh. Deutsch. Seefischerei-Vereins, 2, i-cxxxvi, 1-223.
- [14] Roulf, F. J. & R. R. Sokal, 1965: The coefficient of correlation and distance-in numerical taxonomy, *Univ. Kansas Sci. Bull.*, 45: 3—27.
- [15] —— & P. H. A. Sneath, 1963: *Principles of numerical taxonomy*, Freeman, San Francisco.

A NUMERICAL TAXONOMY OF THE FAMILY SINOPTERIDACEAE

Guo Xiaosi and Hsu Yangpen

(Northwestern Institute of Botany, Shanxi, Yangling 712100)

Wu Shiewhung

(South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650)

Abstract By means of numerical taxonomic method, 9 genera, 23 species of the family Sinopteridaceae were studied. Through standardizing an original data matrix with 23 OTUs×37 characters, we used the Euclidian distance coefficient as similarity measure and utilized WPGMA as cluster analysis method, the results were shown as follows.

(1) The genus *Aleuritopteris* should not be combined with the genus *Cheilosoria*, *Pellaea* or *Doryopteris*, but ser. *Argentae* and ser. *Farinosae* of *Aleuritopteris* should be divided into 2 new genera. The genus *Leptolepidium* should be considered as a separate genus.

(2) Some *Pellaea* species from China should be kept in the genus *Pellaea* and should not be merged into the genus *Midella*.

(3) In dendrogram of the cluster analysis on the species of the family *Sinopteridaceae*, the genera systematic position and relationship between them were clear. The result was in agreement with the opinion of R. C. Ching's from morphological taxonomical study in *Sinopteridaceae*.

(4) The genus *Cryptogramma* should belong to *Sinopteridaceae*, but it might be a genus of the tribe *Cryptogramma* and should not be treated as a family, *Cryptogrammaceae*.

(5) The genus *Onychium* should not be referred to *Sinopteridaceae* and should be removed out the family.

(6) On numerical method, we discussed and evaluated the distance coefficient. The combined line were satisfactorily applied to divide taxa.

Key words systematic position; cluster analysis; *Sinopteridaceae*