广西植物 Guihaia 11(2): 135—140. May 1991

利用秆维管束进行中国散生竹类的聚类分析*

高智慧
(浙江省林业科学研究所，杭州 310023)

摘要 本文是应用模糊聚类分析方法研究中国散生竹类分类的一次尝试。分类特征采用了竹秆上、中、下三段各类型维管束数，方法上使用了模糊(Fuzzy)直接聚类分析进行综合分析。经电子计算机运算后，不仅取得了与传统分类基本一致的分类结果，同时也表明这种方法较之其它一些植物数量分类方法简便易行，此外还讨论了一些中国散生竹类分类上的问题。

关键词 中国散生竹类；维管束；Fuzzy 聚类分析

我国散生竹类大都分布在长江流域，波及中南、西南、华北及西北地区，分布范围较广。其形态特征表现得错综复杂，属间界限连续不断，难以划分。利用竹子维管束解剖形态作为区分属、种的工作，国内外学者都做了不少研究，但大多局限于定性描述，而少见定量研究。本文根据秆维管束，使用 Fuzzy 直接聚类分析法对我国散生竹类进行划分，为较合理地解决散生竹在分类上的一些问题，做些有益的探索。

一、研究材料

以中国散生竹的17个种作为分类单位，种的学名和编号见表1。这些种分属12个属，属的范围包括了大部分中国散生竹已发表的属。因供试材料的限制，属下的种尚不完全。但所取的种基本上是该属维管束特征较为典型的代表种。

二、竹子形态特征的数值表示

竹子的形态结构比较复杂，不同地理位置和生态条件下的变异较大，数值性状的建立比较困难。由于竹子秆维管束的解剖形态比较稳定，且在实际工作上易于判断，因此我们取用竹秆上、中、下三段各类型维管束的15个特征作为分类的性状，它们组成了样本容量为17、因子数为15的样本集[1](表2)。

三、数学分析方法

传统的聚类方法以经典集合论为基础，任一个体与类别是一种“非此即彼”的从属关系，这样虽简化了问题，但同时又失掉了相当一部分信息。因为实际上某些个体通常是介于两个以上的类别之间，处理这类问题，传统方法很难取得满意的结果。为此我们采用了 Fuzzy 直接聚类分析方法。通常一个普通分类，要由一个等价关系来确定，一个 Fuzzy 分类，也必须是 Fuzzy 等价关系才能对样品进行分类。现在我们不求等价关系，而是直接从

* 承蒙浙江省林科所温太辉研究员、北京林业大学袁嘉祖副教授斧正，特此一并致谢！

表1 17种散生竹名称表

编号	中 名	学 名
1	大节竹	*Indosasa crassiflora* McClure
2	红舌唐竹	*Sinobambusa rubroligula* McClure
3	满山爆	*S. tootsik* var. *leata* (McClure) Wen
4	唐竹	*S. tootsik* Makino
5	四季竹	*Semiarundinaria lubrica* Wen
6	短穗竹	*Brachystachyum densiflorum* Keng
7	鳗竹	*Phyllostachys stimilosa* Zhou et Lin
8	多毛方竹	*Chimonobambusa armata* (Gamble) Hsueh et Yi
9	广竹	*Pseudosasa longiligula* Wen
10	托竹	*P. contori* (Munro) Keng f.
11	大黄苦竹	*Oligostachyum sulcatum* Wang et Ye
12	苦竹	*Pleioblastus chino* Makino
13	仙居苦竹	*Pl. hisiaenchuensis* Wen
14	御江箬竹	*Indocalamus migoi* (Nakai) Keng f.
15	井岗山寒竹	*Gelidocalamus stellatus* Wen
16	华箬竹	*Sasamorpha sinica* (Keng) Koidz
17	庆元华箬竹	S. *qingyuanensis* Hu

相似关系R中在任意λ水平上对论域$X=\{X_1, X_2, \cdots X_n\}$进行分类。这样可节约计算机的内存和计算时间，有利于Fuzzy 数学的应用和发展。它的步骤大致如下：

1．求模糊关系r_{ij}。r_{ij}表示个体i与个体j之间的关系，可以表示为

$$r_{ij}=\sum_{k=1}^{m}(x_{ik}\sim x_{jk})$$

式中"～"代表一种广义的模糊关系算子。r_{ij}须具有如下特征：（1）$r_{ij}\in[0,1]$，即r_{ij}可以取0到1之间的任意值；（2）$r_{ij}=r_{ji}$；（3）r_{ij}愈大，表示个体i与j之间的关系愈紧密；$r_{ii}=1$。

2．对r_{ij}取水平截集，求出相似类，设截取水平$\lambda\in[0, 1]$，则水平截集

$$r_{\lambda ij}=\begin{cases}1, & 若 r_{ij}\geq\lambda\\ 0, & 若 r_{ij}<\lambda\end{cases}$$

$r_{\lambda ij}=1$意味着个体i与个体j在λ水平上为一相似类，记为$(i, j)_\lambda$。

3．对有公共元素的相似类进行合并，消去重复元素。如$(i, j)_\lambda$与$(j, k)_\lambda$能合并成为$(i, j, k)_\lambda$。这样就得到了没有重复元素的等价类。

4．取不同的λ值，重复步骤2，3，即可得到一分级聚类。

本研究的具体运算步骤分为三个：

1．对原始数据进行标准化处理

利用下式进行离差标准化处理：

表2　17种散生竹不同部位维管束特征表[1]

竹种	竹秆部位	各类型维管束数					竹种	竹秆部位	各类型维管束数				
		未分化	半分化	开放型	半开放型	合计			未分化	半分化	开放型	半开放型	合计
大节竹	上	1	0	2	2	5	托竹	上	1	0	1	2	4
	中	1	0	3	1	5		中	1	0	1	2	4
	下	1	1	4	3	9		下	1	1	1	2	5
红舌唐竹	上	1	0	2	4	7	大黄苦竹	上	1	1	2	2	6
	中	1	1	2	3	7		中	1	0	1	4	6
	下	1	1	2	4	8		下	1	1	2	4	7
满山爆	上	1	0	3	2	6	苦竹	上	1	0	2	1	4
	中	1	0	3	7	11		中	1	1	2	1	5
	下	1	0	3	7	11		下	1	2	3	0	6
唐竹	上	1	0	2	3	6	仙居苦竹	上	1	0	2	2	5
	中	1	0	3	4	8		中	1	1	3	1	6
	下	1	0	2	5	8		下	1	2	3	0	6
四季竹	上	1	0	0	3	4	御江箬竹	上	1	0	2	1	4
	中	1	0	0	4	5		中	1	0	2	1	4
	下	1	0	0	7	8		下	2	0	2	1	5
短穗竹	上	1	2	3	1	7	井岗山寒竹	上	1	1	0	3	5
	中	1	1	3	2	7		中	1	2	0	3	6
	下	1	3	4	1	9		下	1	2	0	3	6
鳗竹	上	1	0	3	1	5	华箬竹	上	0	0	0	0	0
	中	0	1	3	1	5		中	1	1	0	3	5
	下	1	1	3	2	7		下	1	1	0	3	5
多毛方竹	上	1	1	2	0	4	庆元华箬竹	上	0	0	0	0	0
	中	1	1	2	0	4		中	1	0	0	3	4
	下	1	0	2	1	4		下	1	0	0	3	4
广竹	上	1	0	1	1	3							
	中	1	0	1	2	4							
	下	1	2	0	3	6							

$$X'_{ij}=\frac{X_{ij}-\overline{X}_j}{\delta_j}$$

$i=1, 2, \cdots 17$；$j=1, 2, \cdots 15$。式中 X_{ij} 为某因子的序列；$\overline{X}_j$ 为某因子序列的平均值，δ_j 为某因子序列的均方差；X'_{ij} 为经标准化处理后的新序列，其平均值为0，方差为1。

2．计算Fuzzy相似关系R

我们采用相关系数公式计算相似系数。它的计算公式如下：

$$r_{ij}=\frac{\sum_{k=1}^{m}(X_{ik}-\overline{X}_i)(X_{ik}-\overline{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m}(X_{ik}-\overline{X}_i)^2\cdot\sum_{k=1}^{m}(X_{jk}-\overline{X}_j)^2}}$$

其中$\overline{X}_i=\frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m}X_{ik}$，$\overline{X}_j=\frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m}X_{jk}$。当 $i\neq k$ 时，式中 X_{ik} 为第 i 个样品第k个因子值，X_{jk} 为第 j 个样品第 k 个因子值。

相似系数 r_{ij} 变化在 $-1\sim+1$ 之间，利用公式 $r'_{ij}=\frac{r_{ij}+1}{2}$ 对相似系数 r_{ij} 进行归一化处理，使 $r_{ij}\in[-1,\ +1]$ 变换到 $r_{ij}\in[0,\ 1]$。显然，相似系数的大小，表示两个种的相似程度，当 $r_{ij}=1$ 时，则 i、j 两个种彼此相等，分类时归属于一类。然后将计算结果排列成Fuzzy 相似矩阵（表３）。

表３　17种散生竹Fuzzy 相似矩阵（R）

$$\begin{pmatrix}
1 & 0.22 & 0.26 & 0.35 & 0.39 & 0.28 & 0.22 & 0.44 & 0.37 & 0.41 & 0.48 & 0.24 & 0.38 & 0.04 & 0.19 & 0.20 & 0.26\\
 & 1 & 0.49 & 0.65 & 0.21 & 0.17 & 0.48 & 0.23 & 0.25 & 0.35 & 0.23 & 0.40 & 0.19 & 0.34 & 0.27 & 0.22 & 0.17\\
 & & 1 & 0.85 & 0.22 & 0.17 & 0.47 & 0.21 & 0.25 & 0.20 & 0.45 & 0.25 & 0.37 & 0.37 & 0.35 & 0.31 & 0.32\\
 & & & 1 & 0.34 & 0.46 & 0.45 & 0.23 & 0.26 & 0.35 & 0.38 & 0.21 & 0.41 & 0.41 & 0.34 & 0.24 & 0.30\\
 & & & & 1 & 0.18 & 0.28 & 0.26 & 0.28 & 0.34 & 0.30 & 0.11 & 0.12 & 0.41 & 0.24 & 0.19 & 0.30\\
 & & & & & 1 & 0.17 & 0.14 & 0.32 & 0.21 & 0.34 & 0.37 & 0.46 & 0.39 & 0.09 & 0.27 & 0.19\\
 & & & & & & 1 & 0.16 & 0.37 & 0.36 & 0.35 & 0.27 & 0.29 & 0.01 & 0.36 & 0.37 & 0.35\\
 & & & & & & & 1 & 0.50 & 0.15 & 0.38 & 0.42 & 0.21 & 0.28 & 0.48 & 0.10 & 0.16\\
 & & & & & & & & 1 & 0.72 & 0.42 & 0.10 & 0.42 & 0.03 & 0.11 & 0.42 & 0.46\\
 & & & & & & & & & 1 & 0.45 & 0.07 & 0.46 & 0.20 & 0.04 & 0.23 & 0.44\\
 & & & & & & & & & & 1 & 0.24 & 0.28 & 0.37 & 0.07 & 0.30 & 0.37\\
 & & & & & & & & & & & 1 & 0.86 & 0.09 & 0.48 & 0.47 & 0.40\\
 & & & & & & & & & & & & 1 & 0.01 & 0.49 & 0.33 & 0.25\\
 & & & & & & & & & & & & & 1 & 0.32 & 0.47 & 0.09\\
 & & & & & & & & & & & & & & 1 & 0.23 & 0.49\\
 & & & & & & & & & & & & & & & 1 & 0.91\\
 & & & & & & & & & & & & & & & & 1
\end{pmatrix}$$

３．分类

我们根据Fuzzy 相似矩阵R中元素 r_{ij} 之间的相似程度在任意 λ 水平上进行分类，当 λ 由1.0降到0.41时，所分的类由细变粗逐渐归并，形成一个树状聚类图（图１）。

聚类过程如下：

当 $\lambda=1.0$，则 R_λ 为单位矩阵，即一个种为一类，共分17类；

当 $\lambda=0.91$，则相似类有：{16，17}，其余不变，共分16类；

当 $\lambda=0.85$，则相似类有：{３，４}，{12，13}，{16，17}。其余不变，共分14类；

当 $\lambda=0.72$，则相似类有：{９，10}，{12，13}，{16，17}。其余不变，共分13类；

特别是当 $\lambda=0.65$，则相似类有：{2，4}，{3，4}，{9，10}，{12，13}，{16，17}，归并成等价类有：{2，3，4}，{9，10}。{12,13}，{16,17}，其余不变，共分11类；

当 $\lambda=0.50$，由相似类归并成等价类有：{2，3，4}，{8，9，10}，{12，13}，{16，17}，其余不变，共分11类；

当 $\lambda=0.49$，则等价类有：{2,3,4}，{8,9,10}，{12,13,15,16,17}，其余不变，共分9类；

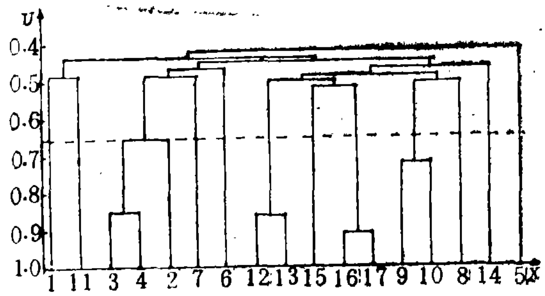

图 1　树状聚类图

当 $\lambda=0.48$，则归并后的等价类有：{1，11}，{2，3，4，7}，{8，8，10，12，13，15，16，17}，其余不变，共分 6 类；

当 $\lambda=0.46$，则等价类有：{1，11}，{2，3，4，6，7，8，9，10，12，13，14，15，16，17}，{5}，共分 3 类；

当 $\lambda=0.45$，则等价类有：{1，2，3，4，6，7，8，9，10，11，12，13，14，15，16，17}，{5}，共分 2 类；

当 $\lambda=0.41$，则等价类有：{1，2，3，4，5，6，7，8，9，10，11，12，13，14，15，16，17}，共 1 类。

由树状聚类图可以看出，当 $\lambda=0.65$时，散生竹的17个种可归并为12个属，Fuzzy 直接聚类分析的结果与经典分类基本上一致。

全部数值运算以 BASIC 语言编写程序，在 Sharp pc-1500 电子计算机上进行运算。

四、分析与讨论

根据 Fuzzy 直接聚类分析结果（表 3 和图 1），我们可以得出以下几个初步结论：

1．茶秆竹属 *Pseudosasa* 与苦竹属 *Pleioblastus* 的系统地位问题。国内外一些竹子分类学者主张把这两个属并入青篱竹属 *Arundinaria* [6]，我们认为这是不恰当的。因为这两个属秆维管束解剖形态的 Fuzzy 相似系数（*R*）平均为0.27，小于这次分类的最小 Fuzzy 相似系数（*R*）= 0.41〔即（*R*）为0.41时，所列种均归为一类〕。由于我国产茶秆竹属竹种基本上属于 *Arundinaria*，则我国产苦竹属竹种或应并入广义的巴山木竹属 *Bashania*（温太辉，1986）[3]，或单独成立一个属（陈守良等，1983）[4]。

2．短穗竹 *Brachystachyum densiflorum* Keng 的问题。有的竹子分类学者认为短穗竹应独立成为短穗竹属 *Brachystachyum*，有的主张将其并入业平竹属 *Semiarundinaria* 内[5]。现从表 3 可以求得这两个属的（*R*）为0.18，远小于这次分类的最小 Fuzzy 相似系数（*R*），因此这两个属应该分开，短穗竹属应独立存在，这与陈守良等[4]（1983）的研究结果基本一致。

3．箬竹属 *Indocalamus* 与赤竹属 *Sasa*（包括 *Sasamorpha*）的区分问题。由于这两个属营养体形态十分相似，且现又发现其分布也较相似，故较难区分。秆维管束 Fuzzy 直接聚类分析表明，这两个属的（*R*）平均为0.29，远小于这次分类的最小 Fuzzy 相似系数（*R*），因此通过秆维管束解剖就可轻易区分这两个属。

此外，利用秆维管束进行中国散生竹类的Fuzzy直接聚类分析，是应用模糊(Fuzzy)数学进行植物数量分类的初步尝试，可以看出，这种方法的研究结果与经典分类基本上一致，且较之其它一些数量分类方法简便易行得多。

植物数量分类的正确与否，在于特性的选取是否准确完善。我们选用竹秆不同部位维管束解剖特征作为散生竹类分类的特性，虽然取得较为满意的结果，但若再增加其它的主要代表性状，分类的结果也许会更令人满意。因为进行植物数量分类时，一方面，在使用数学方法的同时也要结合生物分类的实际意义；另一方面，需要检查原始特性选择得是否合理，反映各级类群的性状是否适当地被取用，否则，可能会出现分类上的混乱。

目前，用定量分析研究的方法大量地研究植物分类仅仅只是开始，对于分类等级的确定、原始特性的选取等等，都有待进一步的探索研究。

参考文献

〔1〕温太辉等，1985：中国竹类维管束解剖形态的研究初报（之二）。竹子研究汇刊，4（1）：28—37。

〔2〕袁嘉祖等，1985：北京地区林木气候的聚类分析。北京林业，（1，2）：18—29。

〔3〕温太辉，1986：中国竹亚科的几个分类问题。竹子研究汇刊，5（2）：10—17。

〔4〕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。

〔5〕王正平等，1980：关于我国散生竹的分类问题。植物分类学报，18（3）：283—291。

〔6〕朱政德等，1980：青篱竹属及其在中国的分布。南京林产工业学院学报，（30）：21—27。

THE CLUSTER ANALYSIS ON CHINESE BAMBOOS WITH LEPTOMORPH RHIZOMES BY USING THE VASCULAR BUNDLE IN CULM SEGMENTS

Gao Zhihui

(Zhejiang Forestry Institute, Hangzhou 310023)

Abstract This paper deals with the application of the Fuzzy methods in classification of Chinese bamboos with leptomorph rhizomes taxonomical research. Characters of the vascular bundle in bamboo culm segments from 3 different height, the upper, the middle, and the lower, were used. The Fuzzy direct cluster analysing method was used to conduct comprehensive analysis. The classification results being identical with traditional classification was obtained, and this method was proved as well to be much simpler than other numerical taxonomic methods. Besides, some problems in classification of Chinese bamboos with leptomorph rhizomes were discussed.

Key words Chinese bamboos with leptomorph rhizomes; vascular bundles; Fuzzy cluster analysis