

## 模糊聚类 and 排序在植被演替研究中的综合应用

卜耀军<sup>1</sup>, 温仲明<sup>2</sup>, 焦峰<sup>2</sup>, 焦菊英<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:** 应用模糊聚类 and 主成分分析 (PCA) 对黄土高原丘陵沟壑区植物群落演替进行研究, 以探讨该方法在植被演替研究中的可行性。研究结果表明, 利用模糊聚类分析 and 主成分分析, 可以将 13 个样地客观地划分为 5 个群系。结合不同群系的恢复时间, 即可判定随时间变化而呈现出的植物群落演替序列: 猪毛蒿群落- 赖草群落- 长芒草群落- 铁杆蒿群落- 沙棘群落。该演替序列与传统的的结果基本相同, 说明利用模糊聚类分析 and 主成分分析方法研究植被演替是可行的。同时该方法数学上较为严格, 且计算简单、运算量小、精度较高、可在计算机上运算, 可大大提高植物群落演替研究的定量化水平, 在植被演替中具有较好的应用价值。

**关键词:** 黄土高原丘陵沟壑区; 植被自我修复; 植物群落; 模糊聚类; 排序

**中图分类号:** X176; D159

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2005)01-0007-03

## The Comprehensive Application of Fuzzy Aggregation Analysis and Ordination in the Plant Community Succession

BU Yao-jun<sup>1</sup>, WEN Zhong-ming<sup>2</sup>, JIAO Feng<sup>2</sup>, JIAO Ju-ying<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry;

2. Institute of Soil and Water Conservation of Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The research on the fuzzy classification analysis and principal component analysis (PCA) in plant community succession in loess hilly region was reported, with the aim of probing into the feasibility of this method in plant community succession studying. The results showed that the 13 sample plots with 15 species were classified into 5 classes. Combined with time the restoration of different communities takes, a community succession series was established: *Artemisia scoparia* community - *Leymus scalinus* community - *Stipa bungeana* community - *Artemisia gmelinii* community - *Hippophae rhamnoides* community. This succession series is consistent with the results got by traditional ways, showing that these methods are applicable in the plant community succession studies. Moreover this method has strict mathematic meaning with simple calculation and high precision and can be operated in computer, thus improving the quantification of plant community succession studies. Therefore this method has high values in plant succession studies.

**Key words:** loess hilly region; natural restoration of vegetation; plant community; fuzzy cluster analysis; ordination

### 1 研究区概况

研究区位于黄土高原丘陵区的安塞县, 处于黄河中游, 属大陆性季风气候。北与靖边毗邻, 东与子长、延安相连, 南与甘泉接壤, 西与志丹相依。东西宽约 36 km, 南北长约 92 km, 总面积 2 950.33 km<sup>2</sup>。该区属典型的黄土高原丘陵沟壑区, 水土流失严重。全县 94% 的土地受到水土流失的影响, 土壤侵蚀模数为 4 000~15 000 t/(km<sup>2</sup>·a)。年均降雨量为 505.3 mm, 降雨年内分配不均, 降雨量的 63% 发生在 7、8、9 三个月。而且北部较干旱, 年均降雨为 425 mm, 南部年均降雨量为 587.7 mm。植被从南到北逐渐由落叶阔叶林过渡到

落叶灌木和草地, 为森林草原过渡带。该区水土流失严重, 是退耕还林(草)的重点区域。

### 2 材料与方法

#### 2.1 材料收集

通过对安塞(纸坊沟流域)现有植被进行调查, 并在此调查地设置样方 43 个, 经筛选保留其中 13 个用于分类, 共包括灌木 12 个种, 样地的设置采用典型取样法, 灌木样方 4 m × 4 m, 草本样方 1 m × 1 m。记录的主要项目有: 灌木的盖度、株数、高度、株(丛)幅等; 草本植物的盖度、频度、多度、株(丛)数等。

收稿日期: 2004-10-08

基金项目: 本研究受中国科学院“西部之光”(B22012900)人才培养计划项目资助; 中国科学院知识创新工程重要方向(KZCX3-SW-421)国家自然科学基金项目(40301029)资助

作者简介: 卜耀军(1978-), 男, 陕西绥德人, 在读硕士, 主要研究方向: 环境生物学与生态环境工程。

以灌草种的重要值为属性, 组建 13 个样地 12 个树种的主要物种重要值的计算: 重要值= 相对密度+ 相对频度+ 相对原始数据矩阵(见表 1), 作为聚类 and 排序的基础。不同样地优势度。

表 1 安塞部分调查样地各植物种重要值

<i>i</i>	<i>J</i> = 1	<i>J</i> = 2	<i>J</i> = 3	<i>J</i> = 4	<i>J</i> = 5	<i>J</i> = 6	<i>J</i> = 7	<i>J</i> = 8	<i>J</i> = 9	<i>J</i> = 10	<i>J</i> = 11	<i>J</i> = 12	<i>J</i> = 13
1	94.17	4.32	22.28	24.89	60.31	85.87	15.01	2.07	5.50	0.00	86.27	85.89	43.24
2	55.00	0.00	0.00	17.00	104.43	96.17	0.00	0.00	0.00	9.02	0.00	2.13	0.00
3	9.75	0.00	2.67	0.00	5.58	0.00	0.00	0.00	0.00	3.23	0.00	0.00	0.00
4	4.95	0.00	0.00	11.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.41	38.66	31.76
5	0.00	13.75	0.00	0.00	1.86	6.10	0.00	0.00	15.17	0.00	0.00	29.08	7.28
6	0.00	51.35	53.87	28.68	0.00	4.02	54.42	60.18	51.47	43.41	0.00	1.76	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.94	24.20	4.18	18.07	0.00	0.00	0.00
8	8.04	74.60	0.00	2.58	0.00	3.87	50.45	47.57	51.45	59.00	0.00	12.39	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.14	6.20	0.00	10.23	15.64	17.50	9.83
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.52	97.96	0.00	91.27	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	26.73	41.86	0.00	0.00	1.49	0.00	1.89	3.41	1.69	0.00	0.00
12	2.47	17.47	12.49	0.00	0.00	0.00	3.19	0.00	5.14	4.78	3.72	0.00	0.00

说明: *i*- 植物名称, *i*= 1, 2, ..., 12, 植物名称依次为: 猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、赖草(*Leymus scalinus*)、糙叶黄耆(*Astragalus scaberrius*)、小薊(*Cirsium segetum* Bunge)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、芨芨蒿(*Artemisia annua*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、猪毛菜(*Salsola ruthenica*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、白羊草(*Bouteloua ischaemum*)、委陵菜(*Potentilla chinensis* Ser); *j*- 样地号, *j*= 1, 2, ..., 13。

2.2 模糊聚类与排序

采用欧氏距离 ( $d_{ij}$ ) 计算样本间的相异系数:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2$$

式中: *i*, *j*= 1, 2, ..., 13; *m*= 12。  $x_{ik}$ = 表 1 中的第 *i* 行第 *k* 列的数据,  $x_{jk}$ = 表 1 中的第 *j* 行第 *k* 列的数据。选择标准化转化和采用欧氏距离计算模糊相似关系矩阵 *R*, 并对模糊相似矩阵用求传递闭包的方法加以改造, 得到模糊分类关系结果, 在模糊分类关系基础上, 给定不同置信水平的  $\lambda$  值, 求  $\lambda$  截阵  $R_\lambda$ , 找出 *R* 的  $\lambda$  显示, 逐渐归并, 得到动态性的聚类分析结果, 可绘成聚类谱系图(图 1), 并用主成分分析(PCA)方法对 13 个样地进行排序。其整个计算过程是应用 DPS 数据处理系统完成<sup>[5]</sup>。

3 结果与分析

3.1 群落的模糊聚类分析

对 13 个样地的 12 种植物重要值进行标准化转化和欧氏距离法进行聚类, 结果用模糊聚类谱系图表示(图 1):

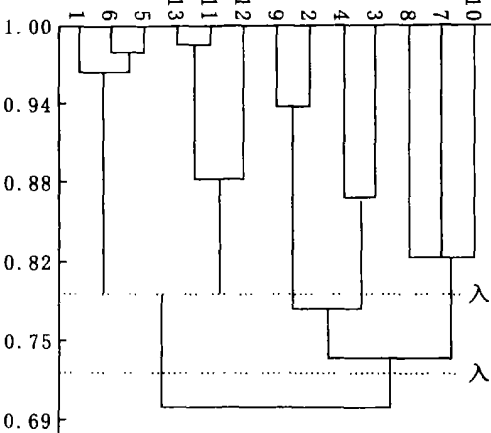


图 1 植物群落模糊聚类谱系图

根据模糊聚类谱系图即可对群系进行划分。但确定划类时, 选择水平截值  $\lambda$  并没有客观统一的标准, 需结合具体调

查的实际情况, 以及植被的组成、结构、以及群落动态特征、生态外貌、立地条件和环境条件加以综合考虑。根据实际调查, 本文选择  $\lambda=0.80$  作为截值划分群系的标准, 据此, 所有群落样方分为 5 类(图 1): I= {3, 4}, II= {10, 7, 8}; III= {2, 9}; IV= {12, 11, 13}; V= {5, 6, 1}。根据群落建群种, 得到相应 5 个群系:

- I = {3, 4}- 长芒草群系;
- II = {10, 7, 8}- 沙棘群系;
- III = {2, 9}- 铁杆蒿群系;
- IV = {12, 11, 13}- 猪毛蒿群系;
- V = {5, 6, 1}- 赖草群系。

如若取  $\lambda=0.71$ , 所有群落聚合成两个群系, 第一类为: I = {3, 4, 10, 7, 8, 2, 9} 沙棘群系, 即为  $\lambda=0.72$  时, I + II + III 之和; 第二类为: II = {12, 11, 13, 5, 6, 1} 猪毛蒿群系, 即为  $\lambda=0.80$  时, IV + V 之和。显然当  $\lambda=0.71$  时所得结果太片面, 而且与实际情况不相符, 原因是该区地处森林和草原的过渡区, 属于半干旱的黄土丘陵区, 植被演替类型兼有草原区与森林区的特征, 具有较多的过渡特征。但当  $\lambda=0.80$  时, 利用模糊聚类分析能将不同类型的群落样方归类, 得出与实际观测相符的分类结果。

3.2 群落的主成分分析

图 2 是根据主成分分析的结果绘制的第 1、2 主成分二维排序图。排序图上, 相距越近的点所代表的群落越相似。图 2 中表示的各样地位置基本上反映了群落间相似性的程度, 分为 5 个群系(用虚线表示, 数字表示样地号):

- I = {3, 4}- 长芒草群系;
- II = {10, 7}- 沙棘群系;
- III = {2, 9}- 铁杆蒿群系;
- IV = {12, 11, 13}- 猪毛蒿群系;
- V = {5, 6, 1}- 赖草群系。

这与聚类分析结果十分相近。但在局部细节上, 一些样地所处位置又表现出分类的模糊性。例如样方 8 和(10, 7)本来在一起构成沙棘群系, 但样方 8 的位置却相对疏远。这种现象反映出群落类型的分异性, 是符合实际情况的。排序的结果既为分类提供了参照, 同时又通过第 1、2 主成分反映了

环境梯度的变化。沿第 1 主分量( $Y_1$  轴)从左至右依次分布着以赖草、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿等为建群种的群落,反映出环境的养分和水分条件由差到好的梯度变化。沿第二主分量( $Y_2$  轴)从下至上分布着以长芒草、沙棘等为建群种的群落,大体上反映了生境中的热量条件由少到多的梯度变化。

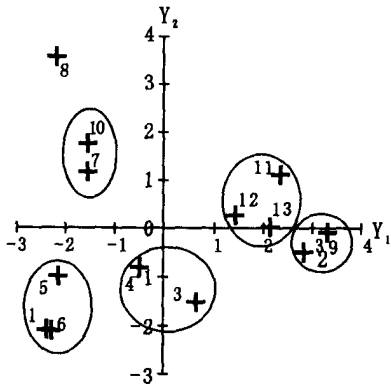


图 2 主成分分析第一、二主成分二维排序图

3.3 植被自我修复过程中的植被演替过程分析

综合聚类和排序的结果,并参照样地的实际情况,最终将 13 个样地划分为 5 个群系(数字为样地号):

- I = {3, 4}- 长芒草群系;
- II = {10, 7, 8}或{10, 7}- 沙棘群系;
- III= {2, 9}- 铁杆蒿群系;
- IV= {12, 11, 13}- 猪毛蒿群系;
- V = {5, 6, 1}- 赖草群系。

同时参考各群落类型的恢复时间(见表 2),即可根据植被恢复年限,判定在植被过程中不同演替时期所出现的植物群落类型,从而建立起相应的植被演替序列。根据表 5,该区植被恢复演替主要包括 4 个阶段:(1)先锋群落阶段:该演替阶段优势种为未能被耕耘消灭的杂草,当耕种停止时,首先形成优势植物群落,优势种为猪毛蒿;(2)多年生禾草群落阶段:随着植物群落演替的进行,土壤条件发生变化,其它物种开始侵入,如赖草等,随着演替的进一步进行,长芒草逐渐成为该阶段的优势种;(3)多年生蒿类群落阶段:由于土壤的改善,铁杆蒿等多年生蒿类在群落中的数量逐渐增加,并取代禾草群落成为优势的群落类型;(4)灌木疏林草原阶段:此阶段优势种为沙棘。所观测到的植物群落演替系列为:猪毛蒿群落- 赖草群落- 长芒草群落- 铁杆蒿群落- 沙棘群落。由于自然灌木疏林较少,在调查过程中没有对此进行调查,因此,该研究结果主要反映了该区灌草群落的演替过程。这一演替过程与朱志诚(1993)<sup>[6,7]</sup>等人的研究结论基本相同,说明利用模糊聚类分析和主成分分析研究植被演替是可行的。它不仅真实地反映了黄土高原丘陵沟壑区的基本植物群落演替系列,同时,对进一步深入研究划分群落的基本单位

参考文献:

[1] 史敏华,李新平. 晋西黄土丘陵沟壑区植被自然恢复及技术对策[J]. 干旱区研究, 2003, 20(2): 139- 143

[2] 熊文愈,骆林川. 植物群落演替研究概述[J]. 生态学进展, 1989, 6(4): 229- 235

[3] 郝敦元,刘钟岭. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究- 群落演替的数学模型[J]. 植物生态学报, 1997, 21(6): 503- 511.

[4] 区智,李先琨,等. 桂西南岩溶植被演替过程中的植物多样性[J]. 广西科学, 2003, 10(1): 63- 67.

[5] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其DPS数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 592- 600

[6] 朱志诚,黄可. 陕北黄土高原森林草原地带植被恢复演替初步研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 1993, 16(1): 94- 100

[7] 朱志诚. 陕北黄土高原森林区植被恢复演替[J]. 西北林学院学报, 1993, 8(1): 87- 94

——群丛提供了依据和参考价值,从而使植物群落演替的研究工作趋于客观化、简明化、系统化,同时也使植物群落演替的研究逐步由定性转向定量。

表 2 主要植物群系与恢复时间

群落	恢复年限/a
猪毛蒿群落	1~ 5
赖草群落	4~ 9
长芒草群落	5~ 11
铁杆蒿群落	9~ 17
沙棘群落	20~ 40

4 结论与讨论

(1) 本文利用模糊聚类分析和主成分分析,可以将 13 个样地客观地划分为 5 个群系:

- I = {3, 4}- 长芒草群系;
- II = {10, 7, 8}或{10, 7}- 沙棘群系;
- III= {2, 9}- 铁杆蒿群系;
- IV= {12, 11, 13}- 猪毛蒿群系;
- V = {5, 6, 1}- 赖草群系。

这与客观实际情况基本一致。同时主成分分析较好地反映了环境养分条件、水分条件、热量条件的梯度变化及群落间的相似程度。

(2) 本文应用模糊聚类分析和主成分分析方法对黄土高原丘陵沟壑区的灌草群落类型进行划分。其结果表明,不同的聚合策略及排序方法均能得到较为客观的分类结果,而且各种方法的结果具有很大的相似性。说明这些方法在黄土高原丘陵沟壑区是适用的。这些方法是群落分类的重要辅助工具,当待分类的样本数量较多时,其优越性尤其突出。其次,各种分类方法的结果又不完全一致,每一种方法均存在着与客观实际不一致之处,这表明各种方法都有其优点,也都存在着不足。因此,仅采用一种方法很难得出正确的结果,而必须采用多种方法相互参照,对比分析,集中其合理部分,扬弃其不足,以获得满意的结果。最后,任何数量分类方法都不可避免地存在局限性和机械性,均离不开研究人员的主观分析和判断。因此,采用数量分类和定性分析相结合的方法,是群落类型划分的最佳技术路线。

(3) 用模糊聚类分析和主成分分析法对黄土高原丘陵沟壑区植物群落演替与常规的调查结果基本吻合。只要野外收集资料准确、全面、数据处理得当,利用模糊聚类和主成分分析结合生态学知识对研究植物群落演替是可行的。由于模糊聚类分析和主成分分析在数学上较为严格,且计算简单、运算量小、精度较高、可在计算机上运算,分类较为合理,为植物群落演替提供了较好的定量研究方法。