

# 模糊聚类分析在植被自我修复演替研究中的应用

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:**本文应用模糊聚类分析方法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。研究表明,利用模糊聚类分析,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,即可得到较完整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研究结果基本相同,说明利用模糊聚类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;模糊聚类分析

**中图分类号:**S718.541 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2005)02-0032-04

## Application of Fuzzy Clustering Methodology in the Plant Community Succession

BO 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, Northwest A & F University; 2. The Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

万方数据

**Abstract:** Application of Fuzzy clustering methodology in plant community succession in Loess hilly region is reported in this paper, with the aim of probing into the feasibility of this method in plant community succession. The results showed that the 13 sample plots with 15 species are classified in 5 formations. Combined with restoration period of different phytocoenosis, a relatively complete community succession series has been 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 this method is 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 clustering methodology

植被恢复的重要途径之一,植被自我修复所形成的植物群落具有人工植物群落所不具有的特点<sup>[1]</sup>。近年来,水土保持生态修复工程的实施,以及人工植被建设所面临的问题,植被自我修复在生态环境建设中的地位得到越来越多的重视。但水土保持生态修复目前仍面临较多的问题,如生态修复机理、生态修复的程度、需要的时间、是否需要人工干预、如何干预等。开展植被自我修复过程中的植被

演替过程或规律研究对于回答上述问题具有重要意义。

植被演替的研究方法很多<sup>[2]</sup>,除传统的永久样地观测外<sup>[3]</sup>,通过对植物群落空间变化的观测来替代时间变化序列,也是植被演替研究的最常用且非常有效的方法<sup>[4]</sup>。但空间代时间的研究方法,会面临大量的样方数据处理,并对样地有严格要求。因此,本研究试图在空间代时间研究的基础上,探讨如

收稿日期:2004-07-14 修回日期:2004-11-05

基金项目:中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(B22012900);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)

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。

何利用常规的野外调查资料,结合植物群落分类方法对植被自我修复过程中植被演替规律进行研究。

2 研究方法

2.1 研究区概况

研究区位于典型的黄土高原丘陵区的安塞县,处于黄河中游,属大陆性季风,候。总面积 2 950.33 km<sup>2</sup>。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 到 15 000 t · km<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>。年均降雨量 505.3 mm,降雨量的 63% 发生在 7~9 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。是退耕还林(草)的重点区域。本次调查主要针对该区自然恢复的植物群落,以期对植被自我修复过程中的植被演替过程或规律进行研究。

2.2 样地调查

对安塞(纸坊沟流域)现有植被进行调查,并设置调查样地方 43 个,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。

2.3 分析方法

2.3.1 样地主要物种重要值( $X_{jk}$ )的计算(表 1)  
重要值 = 相对密度 + 相对频度 + 相对优势度。

表 1 安塞部分调查样地各植物种重要值  
Table 1 Plant species importance values of some experimental plots in Ansai County

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
J1	94.17	55.00	107.70	9.75	9.77	4.95	0.00	0.00	0.00	0.00	8.04	0.00	0.00	0.00	2.47
J2	4.32	0.00	44.04	0.00	0.00	0.00	13.75	0.00	51.35	0.00	74.60	0.00	0.00	0.00	17.47
J3	22.28	0.00	102.95	2.67	62.21	0.00	0.00	0.00	53.87	0.00	0.00	0.00	0.00	26.73	12.49
J4	24.89	17.00	146.88	0.00	0.00	11.08	0.00	0.00	28.68	0.00	2.58	0.00	0.00	41.86	0.00
J5	60.31	104.43	40.59	5.58	0.00	0.00	1.86	3.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J6	85.87	96.17	58.71	0.00	0.00	0.00	6.10	1.93	4.02	0.00	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00
J7	2.07	0.00	47.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.42	19.94	50.45	26.14	35.2	1.49	3.19
J8	5.50	0.00	50.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.18	24.20	47.57	6.20	97.96	0.00	0.00
J9	0.00	0.00	118.81	0.00	0.00	0.00	15.17	0.00	51.47	4.18	51.45	0.00	0.00	1.89	5.14
J10	0.00	9.02	31.91	3.23	4.30	0.00	0.00	0.00	43.41	18.07	59.00	10.23	91.27	3.41	4.78
J11	86.27	0.00	3.72	0.00	73.12	18.41	0.00	1.86	0.00	0.00	0.00	15.64	0.00	1.69	3.72
J12	85.89	2.13	0.00	0.00	47.19	38.66	29.08	0.00	1.76	0.00	12.39	17.50	0.00	0.00	0.00
J13	43.24	0.00	0.00	0.00	18.22	31.76	7.28	2.80	0.00	0.00	0.00	9.83	0.00	0.00	0.00

注:k-植物名称,i=1,2,...,15,植物名称依次为:猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、赖草(*Leymus scalinus*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza dahurica*)、糙叶黄耆(*Astragalus scaberrimus*)、二裂叶委陵菜(*Potentilla bifurca*)、小藟(*Cirsium segetum Bunge*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、地锦草(*Euphorbia humifusa*)、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(*Bothriochloa ischaemum*)、委陵菜(*Potentilla chinensis*) ;j-样地号,j<sub>i</sub>=1,2,...,13。

2.3.2 不同样地的模糊聚类分析 ① 数据的标准化处理:在定义相似系数矩阵之前,要先对原始数据进行变换处理,以表 1 中的重要值作为原始数据矩阵  $X = (x_{jk})_{13 \times 15}$ ,然后对原始数据进行标准化处理。

$$x_{jk} = \frac{x_{jk} - \bar{x}_k}{J_k} \quad (k = 1, 2, \dots, 15) \tag{1}$$

$$\bar{x}_k = \frac{1}{13} \sum_{j=1}^{13} x_{jk}; S_k = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{13} (x_{jk} - \bar{x}_k)^2} \tag{2}$$

式中: $\bar{x}_k, S_k$  为样地 在第 k 个指标上的均值与标准差,经 DPS 数据统计分析软件运算得到标准化数据(表 2)<sup>[5]</sup>。

② 模糊相似关系矩阵计算:采用欧氏距离系数计算模糊相似关系矩阵  $R = (d_{ij})_{13 \times 13}$ ,R 为对称阵(表 3),其计算过程也是应用 DPS 数据处理系统完

成<sup>[5]</sup>。欧氏距离系数计算公式为:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^{13} (x_{ik} - x_{jk})^2} \tag{3}$$

式中:i,j=1,2,...,13。 $x_{ik}$  是表 1 中的第 i 行第 k 列的数据, $x_{jk}$  是表 1 中的第 j 行第 k 列的数据。

③ 聚类分析:为了对 13 个样地植物群落进行模糊聚类划分,它们之间标定的关系还需要满足等价关系,即要对 R 进行改造,以得到模糊等价关系矩阵。具体方法如下:

$$R^{2u} = (r_{ij}^{2u})_{13 \times 13}, \text{其中 } r_{ij}^{2u} = \bigvee_{k=1}^n (r_{ik}^u \wedge r_{kj}^u);$$
$$n = 13; i, j = 1, 2, \dots, 13. \tag{4}$$

分别令  $u = 1, 2, 4, 8$ ,即计算了矩阵  $R^2, R^4, R^8, R^{16}$ ,经比较验证  $R^8 = R^{16}$ ,则  $R^* = R^{16}$ ,即 R 的传递闭包即为包含 R 的最小模糊等价关系矩阵。它

具有了对称性,自反性和相传递性(表4)。

表2 安塞部分调查样地各植物种重要值标准化处理

Table 2 Standardization of plant species importance values of some experimental plots in Ansai County

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
J1	1.45	0.87	1.05	2.69	-0.26	-0.23	-0.63	-0.60	-1.03	-0.56	-0.57	-0.76	-0.42	-0.46	-0.24
J2	-0.99	-0.57	-0.29	-0.54	-0.63	-0.60	0.91	-0.60	0.94	-0.56	1.82	-0.76	-0.42	-0.46	2.52
J3	-0.50	-0.57	0.95	0.34	1.73	-0.60	-0.63	-0.60	1.04	-0.56	-0.85	-0.76	-0.42	1.60	1.60
J4	-0.43	-0.13	1.87	-0.54	-0.63	0.23	-0.63	-0.60	0.07	-0.56	-0.76	-0.76	0.42	2.76	-0.70
J5	0.53	2.17	-0.36	1.31	-0.63	-0.60	-0.43	2.23	-1.03	-0.56	-0.85	-0.76	-0.42	-0.46	-0.70
J6	1.22	1.95	0.02	-0.54	-0.63	-0.60	0.05	0.87	-0.88	-0.56	-0.72	-0.76	-0.42	-0.46	-0.70
J7	-0.70	-0.57	-0.23	-0.54	-0.63	-0.60	-0.63	-0.60	1.06	1.63	0.95	2.24	-0.42	-0.34	-0.11
J8	-1.05	-0.57	-0.15	-0.54	-0.63	-0.60	-0.63	-0.60	1.28	2.10	0.85	-0.04	2.35	-0.46	-0.70
J9	-0.95	-0.57	1.28	-0.54	-0.63	-0.60	1.07	-0.60	0.95	-0.10	0.99	-0.76	-0.42	-0.31	0.25
J10	-1.10	-0.34	-0.55	0.53	-0.46	-0.60	-0.63	-0.60	0.64	1.43	1.26	0.42	2.16	-0.19	0.18
J11	1.23	-0.57	-1.14	-0.54	2.15	0.77	-0.63	0.81	-1.03	-0.56	-0.85	1.04	-0.42	-0.33	-0.01
J12	1.22	-0.52	-1.22	-0.54	1.16	2.29	2.64	-0.60	-0.96	-0.56	-0.41	1.25	-0.32	-0.46	-0.70
J13	0.07	-0.57	-1.22	-0.54	0.06	1.77	0.19	1.53	-1.03	-0.56	-0.85	0.37	-0.42	-0.46	-0.70

注:表中符号同表1。

表3 模糊相似关系矩阵R

Table 3 Fuzzy similarity relation matrix R

样地号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
J1	1.00												
J2	0.23	1.00											
J3	0.50	0.60	1.00										
J4	0.49	0.31	0.74	1.00									
万方数据	0.76	0.14	0.26	0.34	1.00								
J6	0.74	0.35	0.39	0.55	0.94	1.00							
J7	0.24	0.57	0.41	0.38	0.18	0.37	1.00						
J8	0.16	0.46	0.33	0.34	0.13	0.31	0.79	1.00					
J9	0.48	0.89	0.68	0.68	0.35	0.58	0.71	0.67	1.00				
J10	0.37	0.62	0.46	0.36	0.28	0.36	0.82	0.99	0.69	1.00			
J11	0.45	0.23	0.53	0.31	0.50	0.62	0.44	0.18	0.32	0.32	1.00		
J12	0.21	0.16	0.12	0.10	0.13	0.40	0.25	0.01	0.32	0.11	0.72	1.00	
J13	0.43	0.32	0.35	0.42	0.65	0.71	0.46	0.30	0.48	0.38	0.89	0.77	1.00

表4 模糊等价关系矩阵R\*

Table 4 Fuzzy equivalence relation matrix R\*

样地号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
J1	1.00												
J2	0.58	1.00											
J3	0.58	0.68	1.00										
J4	0.58	0.68	0.74	1.00									
J5	0.76	0.58	0.58	0.58	1.00								
J6	0.76	0.58	0.58	0.58	0.94	1.00							
J7	0.58	0.71	0.68	0.68	0.58	0.58	1.00						
J8	0.58	0.71	0.68	0.68	0.58	0.58	0.82	1.00					
J9	0.58	0.89	0.68	0.68	0.58	0.58	0.71	0.71	1.00				
J10	0.58	0.71	0.68	0.68	0.58	0.58	0.82	1.00	0.71	1.00			
J11	0.71	0.58	0.58	0.58	0.71	0.71	0.58	0.58	0.58	0.58	1.00		
J12	0.71	0.58	0.58	0.58	0.71	0.71	0.58	0.58	0.58	0.58	0.77	1.00	
J13	0.71	0.58	0.58	0.58	0.71	0.71	0.58	0.58	0.58	0.58	0.89	0.77	1.00

④ 模糊聚类。对满足传递性的模糊等价关系矩阵R\*进行聚类处理,给定不同置信水平的λ值,

求R\*阵,找出R\*的λ显示,得到普通的分类关系。当λ=1时,每个样地自成一类,随λ的降低,由细

到粗逐渐归并,最后得到动态聚类谱系图<sup>[5]</sup>(图1)。本文分别取截值 $\lambda = 1.00, 0.91, 0.83, 0.74, 0.66, 0.57$ ,对13个样地进行了模糊聚类划分。

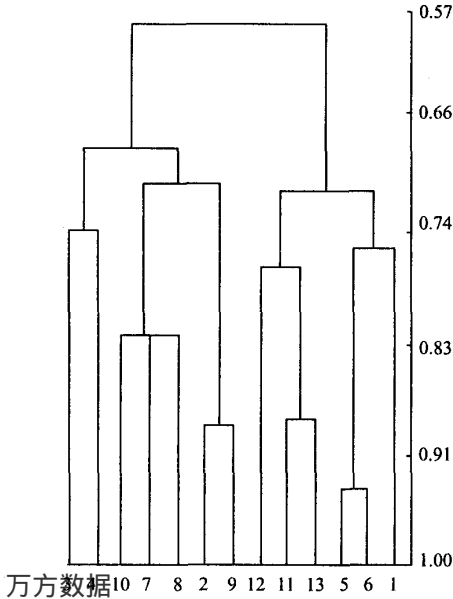


图1 植物群落模糊聚类谱系图

Fig. 1 Fuzzy clustering pedigree diagram of plant communities

### 3 结果与分析

#### 3.1 植物群落分类结果

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。根据理论与实践经验分析结果,本文选择 $\lambda = 0.72$ 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(*Stipa bungeana*)群系;

II = (10, 7, 8)——沙棘(*Hippophae rhamnoides*)群系;

III = (2, 9)——铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)群系;

IV = (12, 11, 13)——猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)群系;

V = (5, 6, 1)——赖草(*Leymus scalinus*)群系。

这样将不同类型的群落样方归为5类,得出与实际观测相符的分类结果。这5个群系随着时间的变化,就构成了一个较为完整的植被演替系列:猪毛蒿群落→赖草群落→长芒草群落→铁杆蒿群落→沙棘群落,这一演替系列与朱志诚<sup>[6,7]</sup>等人的研究结论基本相同。

如若取 $\lambda = 0.66$ ,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 $\lambda = 0.72$ 时, IV + V之和。显然当 $\lambda = 0.66$ 时所得结果太片面,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。 $\lambda = 0.72$ 时,利用模糊聚类分析仍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,与实际情况最能吻合,分类结果最佳。

#### 3.2 植被自我修复过程中的植被演替过程

根据模糊聚类分析结果,参考各群落类型的恢复时间(表5),可以看出,随植被恢复年限的延长,植物群落类型也发生相应变化。其随时间的变化,就构成了较为完整的植被演替序列。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<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-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、简化、系统化,同时出使植物群落演替的研究逐步由定性转向定量。(下转第182页)

阻燃材料来说,除在整个燃烧过程必须尽量少地释放出热量以外,还要求在火灾开始阶段必须尽量少地释放出热量。

#### 参考文献:

- [1] 李坚主编. 木材科学[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1994. 76-105.
- [2] 黄晓东,刘雁. 福建市场常见装饰装修板材燃烧热释放率研究[J]. 西北林学院学报,2002,17(2):79-82.
- [3] 黄晓东,刘雁. 橡树、米槠、木荷板材燃烧热释放率研究[J]. 林产工业,2001,28(1):17-19.
- [4] 王强. 世纪之交,关于火灾的思考[J]. 上海消防,1997(11):11-12.

- [5] 武利民. 涂料技术基础[M]. 北京:化学工业出版社,1999. 215-264.
- [6] 骆介禹. 木材阻燃的概况[J]. 林产工业,2000,27(2):7-9.
- [7] 中国火灾大典编辑委员会编. 中国火灾大典(下卷)[M]. 上海:上海科技出版社,1997. 5418.
- [8] “我国阻燃技术的现状及相关政策的研究”课题组. 建筑行业的阻燃技术现状[J]. 阻燃材料与技术,1995(3):6-9,14.
- [9] 黄晓东. 南方几种常见树种燃烧热释放率研究[J]. 福建林学院学报,2000,20(2):136-139.
- [10] 夏志远. 木材工业实用大全. 胶粘剂卷[M]. 北京:中国林业出版社,1996. 76-81.
- [11] 李绍雄. 聚氨酯胶粘剂[M]. 北京:化学工业出版社,1998. 12-22.

(上接第 35 页)

表 5 主要植物群系与恢复时间

Table 5 Main plant formation and recovery time

群 落	恢复年限/a
猪毛蒿( <i>Artemisia scoparia</i> )群落	1~5
赖草( <i>Leymus scalinus</i> )群落	4~9
长芒草( <i>Stipa bungeana</i> )群落	5~11
铁杆蒿( <i>Artemisia gmelinii</i> )群落	9~17
沙棘( <i>Hippophae rhamnoides</i> )群落	20~40

## 4 结论

用 Fuzzy 聚类的“传递闭包”法对典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。由于模糊聚类分析的“传递闭包”方法是在等价关系基础上进行的,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。

以模糊等价关系为基础的模糊聚类分析,可根据不同要求,选择不同的  $\lambda$  值,把模糊集合转换为普通集合,得到相应的聚类结果。在实际应用中,需结合具体调查的实际情况,以及植被的组成、结构、

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。如在本研究中,当  $\lambda = 0.72$  时,上述群落可以分为 5 个群系,而当  $\lambda = 0.66$  时,所有群落则聚合成两个群系。

利用模糊聚类分析法研究植物群落演替评价分类问题,首先要采用恰当的聚类统计量,建立被分类对象间客观的相似关系,同时聚类统计公式的选择对分类结果也有直接影响,因此对已有聚类统计量的应用,应根据具体情况决定。

#### 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,刘钟龄. 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. 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.