

黄土丘陵区纸坊沟流域植被自然演替阶段的识别与量化分析^{*}

温仲明¹, 焦 峰¹, 李 静²

(1. 西北农林科技大学 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 武警工程学院, 西安 710086)

摘 要:量化分析和识别自然植物群落所处的状态,对于植被自然恢复人工调控具有重要的指导意义。利用灰色关联分析法(Grey Relational Analysis,简称 GRA 法),通过建立参照系,对安塞 5 个不同恢复时间的自然群落所处的状态进行分析,结果表明,该方法可以比较准确地识别不同自然恢复群落在演替中的位置和状态,5 个自然群落的排序为:沙棘>铁杆蒿>白羊草>赖草>猪毛蒿。就不同指标对识别指标的贡献率看,衡量植被演替程度的指标,如演替指数、演替度贡献率较大。而有机质、含水量、重要值、丰富度指数及恢复度与植被恢复状态的识别指标的关联系数都在 0.5 以上。这表明,除传统的演替指标外,要准确识别植物群落所处的状态,物种之外的其他因素亦具有非常重要的地位。但灰色关联分析法作为一种基于参照系与系列数据间相似度的有效而准确的识别模型,在植被研究中的应用较少,仍需开展较深入的工作。

关键词:自然植物群落; 状态识别; 灰色关联分析

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0040-05

Identification of the Natural Communities in Vegetation Succession Using Grey Relational Analysis in Loess Hilly Region, China

WEN Zhong-ming¹, JIAO Feng¹, LI Jing²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, CAS and MWR, Yangling, Shannxi 712100, China; 2. Armed Poilic Engineering College, Xi 'an 710086, China)

Abstract: Understanding and identification of the natural communities in vegetation succession is of great importance to the acceleration of vegetation succession by human intervention. This paper aims at exploring a new method, Grey Relational Analysis (GRA), to analyze and identify the state of 5 natural communities in vegetation succession in Ansai County, a loess hilly region. In order to do this, a reference system has been established and used as a yardstick to measure these 5 communities' state. The results showed that GRA is effective and accurate in identifying the state of natural communities in vegetation succession. The 5 natural vegetation communities showed an order as follows according to their values: *Hippophae rhamnoides* communities > *tripolium vulgare* communities > *bothriochloa ischaemum* communities > *Leymus scalinus* communities > *Artemisia scoparia* communities. However, the components of indicators have different contributions to the evaluation. The succession indexes contribute more than other indexes. Yet the soil organic matter, soil water content, importance value, richness and restoration degree also have higher conjunction index value (>0.5). This indicates that environmental factors such as soil are as important as succession indexes in determining the state of natural communities in vegetation succession, especially for the human intervention of vegetation succession. However, the Grey Relational Analysis, as a model based on the similarity between the reference system and time series data, was applied in few vegetation science studies, thus needing more further research in the future.

Key words: natural vegetation communities; state identification; Grey Relational Analysis (GRA)

^{*} 收稿日期:2009-06-05

基金项目:国家科技支撑课题——植被优化配置与可持续建设技术(2006BAD09B03);中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(2006HX01);国家自然科学基金项目(40871246)

作者简介:温仲明(1969-),男,博士,副研究员,从事区域植被生态及植被恢复重建等方面的研究工作。E-mail:zmwen@ms.iswc.ac.cn

认识和了解植被自然恢复,对生态恢复重建具有重要的作用。它不仅可以为植被恢复目标的确立提供参考,也可作为植被恢复物种选择、植被恢复评价、植被自然恢复人工调控等提供依据。其中对植物群落在演替过程中的位置和状态的识别,对于植被自然恢复人工调控具有重要的指导意义。目前已有不少研究对植物群落的演替过程进行分析和探讨^[1-8],但是目前对植物群落演替过程的研究,大多都以地表群落物种变化为基础,采用数量生态分析方法^[2]进行研究。对土壤环境等因子的考虑,主要表现在演替动力或演替与环境关系等方面的研究,而在分析演替状态时考虑较少。而实际上植物群落的发展演化过程,不仅是物种的更替过程,也是系统整体结构与功能的恢复过程,其中土壤水分、养分等环境要素都会随植被的发展变化而变化^[9-11]。因此,对植物群落演替进行分析,就不仅仅需要研究由物种变化所体现出的演替过程,也需要了解相应演替阶段的土壤水分、养分等环境要素。该文在常规演替研究的基础上,如演替度、演替指数、恢复度等概念的基础上,进一步将物种生物量、土壤水分、有机质等因子纳入评价指标体系,采用灰色关联法,通过建立参考系,对植物群落的演替进行分析,以在植物群落演替分析方法方面略作探讨。

1 研究区概况

研究区位于安塞纸坊沟流域(105°51'44" - 109°26'18" E, 36°22'40" - 36°32'16" N)。海拔 997 ~ 1 731 m。地形复杂,梁峁连绵,沟壑纵横,全县水土流失面积 2 832 km²,占总面积的 96%,是黄河中游水土流失重点县之一,也是西北典型生态环境脆弱区。气候属暖温带半干旱气候区,年平均降水量 500 mm 左右,且分布不均匀,降雨集中。年平均蒸发量 1 000 mm,无霜期 160 ~ 180 d,年日照时数 2 352 ~ 2 573 h, 10 积温 2 866 °C,年均气温 8.9 °C。土壤以黄绵土为主,约占总面积的 95% 左右^[12]。植被类型属于森林草原带。

2 研究方法

2.1 评价方法选择的依据

对群落的量化分析,是群落生态学研究的重要内容。其中本文对植被自然恢复状态的分析,除常用的植物群落演替的指标外,也将物种数量变化、优势物种生物量、土壤水分、有机质等因子纳入评价指标体系,以对植物群落所处的阶段或状态做出综合分析判断,为人工调控提供科学依据,与单纯的植

被演替研究略有不同。由于该评价过程既涉及有定量因子,也有非定量的因子,并且评价本身需要一定的参照系统,因此本文采用灰色关联系统分析法进行分析。灰色关联分析法(Grey Relational Analysis,简称 GRA 法)是系统分析方法之一,具有高度的逻辑性、系统性、简洁性与实用性的特点,且较为成熟,是进行系统分析应用较多的一种评价方法^[13]。

2.2 评价指标体系的建立

根据灰色关联分析法及评价指标选择的原则,选择 8 个指标,具体为 X_1 ——优势种地上生物量(g/m²); X_2 ——Margalef 物种丰富度指数 R ; X_3 ——重要值; X_4 ——恢复度 RD ; X_5 ——演替指数; X_6 ——演替度; X_7 ——土壤平均含水量(%); X_8 ——土壤有机质含量(%)。在此基础上,建立了植物群落演替阶段的评价指标体系灰色系统模型。

2.3 数据获取与处理

根据分析要求,选择黄土丘陵区植被自然恢复过程中的 5 个群落进行取样分析,具体群落类型为猪毛蒿群落、赖草群落、铁杆蒿群落、白羊草群落和沙棘群落,均为自然植物群落。每个群落重复 5 个采样(点),样地选择要求立地条件尽量一致。草本群落样方面积为 1 m × 1 m,灌木群落样方面积为 5 m × 5 m。土壤有机质采样分 0 - 20 cm、20 - 40 cm 和 40 - 60 cm 三个层次混合后,采用重铬酸钾容量法 - 外加热法进行分析;土壤水分测定深度为 5 m,采样间隔为 20 cm,用烘干法测定,测定温度 105 °C;生物量采用烘干法,在 80 °C 下烘生物样至恒重;其它指标则利用样方物种组成数据计算。

2.4 灰色关联分析

(1) 若对 m 群落进行评价,指标体系由 n 个评价技术指标组成,则每个群落的所有指标实测值就构成了一个数据列。记作:

$$x_i(k) = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\} \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

并对实测值采用均值法进行无量纲化处理。

(2) 参考数据列的选取。选择 m 个群落中的 n 个单项指标实测值的最优值组成灰色关联分析的参考数据列,记为: $x_0(k) = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$ 。参照系中的最优值,不一定是数据序列中的最大值,而是系统状态最优时该指标的值。对部分指标,可能越小越好,而有的指标是越大越好。就本文而言,各指标都是正向系列数据,即指标数据越大,则系统越优。

(3) 差序列的计算。

$$_i(k) = |x_i(k) - x_0(k)|$$

并且从中找出最小绝对差值 \min 和最大绝对差值 \max :

$$\min = \min_i [\min_k x_i(k)]; \quad \max = \max_i [\max_k x_i(k)]$$

(4) 关联系数的计算。

$$i(k) = \frac{\min + R \cdot \max}{i(k) + R \cdot \max}$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n)$$

式中: R ——分辨系数, $R \in [0.1, 0.5]$ 。

(5) 关联度的计算。

$$i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n i(k) \cdot w(k)$$

式中: $w(k)$ ——各评价指标的权重, 表示对应指标的重要程度。

$$\sum_{k=1}^n w(k) = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

2.5 指标权重确定

由于以往在灰色关联分析法中各指标权重是通过特尔斐法来求得的, 评分专家的经验很重要, 由于各个专家对每个指标重要性的理解不一样, 导致打分的随意性较强, 另外还有用信息论中熵的概念来求算指标权重的, 但是该方法算得的权重分布存在着均衡化的缺陷, 因而在一定程度上影响了评价结果的精度^[14]。为了更客观、真实地计算各指标的重要性, 本研究引入变异系数法来求算评价指标的权重。其计算步骤为

(1) 构造评价指标矩阵

$$X = [x_{ij}] \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

表 2 各评价指标的权重值

指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
权重	0.0001	0.0005	0.0026	0.0064	0.5283	0.3581	0.0275	0.0765

利用表 1 的原始数据, 根据灰色关联分析的建模方法进行计算, 在计算过程中需要对数据进行无量纲化处理, 通常无量纲化处理的方法有均值法和

矩阵中, x_{ij} 表示第 j 个群落第 i 个指标的值。

(2) 计算第 i 个评价指标的变异系数, 公式为

$$i = D / \overline{x_i}$$

式中: i ——第 i 个评价指标的变异系数; $\overline{x_i}$ ——第 i 个评价指标的平均值; D ——第 i 个评价指标的均方差, 其计算公式为

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (x_i - \overline{x_i})^2}$$

(3) 计算第 i 个评价指标的权重 A_i , 公式为

$$A_i = i / \sum_{i=1}^m i$$

2.6 灰色关联分析计算

根据灰色建模理论和程序以及植被恢复序列, 以安塞县的 5 个群落 8 个指标的原始数据作为样本, 进行相关分析(表 1)。

表 1 主要植物群落评价指标原始数据

指标	猪毛蒿	赖草	铁杆蒿	白羊草	沙棘林
X_1	25.40	51.12	85.6	26.94	354.15
X_2	34.12	35.62	37.53	50.22	33.23
X_3	66.24	119.96	196.63	105.42	80.77
X_4	0.08	0.14	0.20	2.23	0.28
X_5	4.44	4.85	6.55	7.77	9.00
X_6	135.54	212.24	364.68	387.71	519.39
X_7	13.62	8.10	6.46	6.34	6.96
X_8	3.53	6.42	12.50	10.91	6.42

运用变异系数法可以求得各个指标的权重值(表 2)。

初值法两种, 为了反映与最一般情况的比较效果, 本研究采用均值法进行处理, 分辨系数 R 取 0.5, 无量纲化结果见表 3。

表 3 各群落评价指标无量纲化结果

最优序列	指 标	主要植物群落				
		猪毛蒿	赖草	铁杆蒿	白羊草	沙棘林
3.26	X_1	0.234	0.471	0.788	0.248	3.26
1.317	X_2	0.895	0.934	0.984	1.317	0.871
1.728	X_3	0.582	1.054	1.728	0.926	0.71
3.805	X_4	0.137	0.239	0.341	3.805	0.478
1.38	X_5	0.681	0.744	1.004	1.191	1.38
1.603	X_6	0.418	0.655	1.126	1.197	1.603
1.642	X_7	1.642	0.976	0.779	0.764	0.839
1.571	X_8	0.444	0.807	1.571	1.371	0.807

表 4 各群落评价指标差序列					
指标	猪毛蒿	赖 草	铁杆蒿	白羊草	沙棘林
X ₁	3. 026	2. 789	2. 472	3. 012	0
X ₂	0. 422	0. 383	0. 333	0	0. 446
X ₃	1. 146	0. 674	0	0. 802	1. 018
X ₄	3. 668	3. 566	3. 464	0	3. 327
X ₅	0. 699	0. 636	0. 376	0. 189	0
X ₆	1. 185	0. 948	0. 477	0. 406	0
X ₇	0	0. 666	0. 863	0. 878	0. 803
X ₈	1. 127	0. 764	0	0. 2	0. 764

通过差序列运算求出: $\min = 0$, $\max = 3. 668$, 经过一系列计算最终得出了 5 个群落和 8 个主要指标的灰色关联系数见表 5。

3 结果与分析

3.1 植被群落状态分析与判定

植物群落所处的状态,取决于物种组成、物种生物量、土壤水分、有机质等因素,对其状态的分析,需要有相应的参照系或参考系。如果参考系列具有代表性,就可以通过灰色关联分析,对植物群落所处的状态进行合理的分析。本文根据各指标对植物群落

状态的指示意义,选择了相应的参考序列值,作为量化评定植物群落状态的依据(表 5)。据表 5,与参照序列比较,沙棘群落的综合得分最高,达到 96.3,猪毛蒿群落的得分最低,为 53.01,说明沙棘群落在所选群落中,与参考系列最接近,即该群落在该演替序列中应该属于发育较好的类型,向其它群落类型转化的可能性极少。据实际调查,在森林草原带,该群落基本上属于演替的顶级群落或次顶级群落,具有相当的稳定性。而猪毛蒿群落相对沙棘群落来讲,与参考系列的关联度为 0.53,从演替角度讲,尚处于演替的前期阶段,具有进一步向其它群落发展的潜力。进一步对 5 个关联度值进行排序就得到了关联序,它反映了不同植物群落在该环境条件下,在群落演替发展过程中的位置,排序结果为:沙棘>铁杆蒿>白羊草>赖草>猪毛蒿。据此可以基本判定不同群落在演替阶段中的位置及其发展演替趋向。赖草群落过一定的时间可以向白羊草、铁杆蒿群落演替,白羊草、铁杆蒿群落可以向沙棘群落演替。资料表明,铁杆蒿、白羊草群落在森林草原区,也属于分布较广的稳定群落,其向沙棘等灌丛演替需要很长的时间,若要加快这一自然演替进程,就需要采取适当的人工干预措施。

表 5 各群落的评价指标关联系数						
最优序列	指 标	主要植物群落				
		猪毛蒿	赖 草	铁杆蒿	白羊草	沙棘林
0. 52	X ₁	0. 38	0. 40	0. 43	0. 38	1. 00
0. 74	X ₂	0. 61	0. 71	0. 68	1. 00	0. 70
0. 75	X ₃	0. 62	0. 73	1. 00	0. 70	0. 64
0. 55	X ₄	0. 41	0. 42	0. 45	1. 00	0. 47
0. 84	X ₅	0. 72	0. 74	0. 83	0. 91	1. 00
0. 80	X ₆	0. 69	0. 66	0. 79	0. 82	1. 00
0. 76	X ₇	1. 00	0. 73	0. 68	0. 68	0. 70
0. 77	X ₈	0. 62	0. 71	1. 00	0. 80	0. 71
	关联度	0. 53	0. 57	0. 68	0. 66	0. 96
	综合得分	53. 01	57. 36	67. 64	66. 01	96. 30

3.2 植被群落状态判定各指标分析

虽然上述评估过程采用的各个指标对客观评价植物群落状态具有重要作用,但是不同的指标对于植物群落状态的综合评估的贡献是有所不同的。分析不同指标的贡献率,可满足在实践中存在数据不易获得、实验条件较差等条件下的植物群落状态的评估(可以仅选择贡献率教导的指标)。为此将 8 个评价指标的关联系数求平均值(相当于贡献率),并且按从大到小进行排序,结果是:演替指数>演替度

>有机质含量>土壤平均含水量>重要值>Margalef 物种丰富度指数 R >恢复度 RD >优势种地上生物量。这些值可以说明其在判定植物群落状态过程中的重要程度。演替指数和演替度的关联系数最大且接近,因此,演替指数和演替度是评价的主要指标。从生态学的角度考虑,演替指数能判断群落所处的不同演替阶段,即处于演替初级阶段的群落演替指数小,处于顶级群落的演替指数大,处于演替中间阶段的群落演替指数间于初级阶段和顶级阶段之

间。很明显,这 5 个群落是不同恢复时间的群落,它们构成了一个由简单群落向顶级群落发展的系列。演替度是描述一个群落演替程度的指标,一般草本群落的顶级演替度为 300~400,如果偏离这个值,说明它离顶级群落还需要一段时间。

但除此之外,各群落有机质、含水量、重要值、丰富度指数及恢复度与植被恢复潜力的关联系数都在 0.5 以上,说明它们对认识植物群落亦具有较大的贡献率,也是评价植被恢复状态的重要因素。根据研究,土壤有机质、氮素等随着演替呈现明显的表层富集效应,因此,它们也是植被生态系统演化的重要组成部分。从植被自然恢复人工调控的角度讲,这些因素对选择合适的物种与调控措施具有重要意义。因此,它们和演替指数与演替度指标一起,构成了评价植被自然恢复状态的指标体系。

上述分析表明,植物群落状态的量化分析,既可以利用少量的几个贡献率大的指标判定,也可以采用多指标综合评判。但环境因素对植被自然恢复过程的人工干预具有重要作用,因此,如果在条件许可的情况下,采用多因素对植物群落状态进行量化分析,无疑具有更重要的实践意义。

4 结 语

如前所述,植被演替过程的量化分析已有较多的方法,如基于相似性或距离的判别等^[2-3]。但这些方法主要基于群落的物种组成,较少考虑土壤养分、水分等环境要素,对植物群落的量化分析不够全面。本文针对此问题,综合考虑有机质、含水量等土壤环境要素,结合重要值、丰富度指数及恢复度与植被恢复潜力等指标,采用灰色关联分析法(Grey Relational Analysis,简称 GRA 法)对安塞 5 个不同恢复时间的自然群落状态进行了量化分析,结果表明,该方法可以比较准确地识别不同自然恢复群落在演替中的位置和状态,各群落的基本排序为:沙棘>铁杆蒿>白羊草>赖草>猪毛蒿。就不同指标的贡献率看,衡量植被演替程度的指标,如演替指数、演替度贡献率较大,但有机质、含水量、重要值、丰富度指数及恢复度与植被恢复状态的识别指标的关联系数都在 0.5 以上。这表明,除传统的演替指标外,要准确识别植物群落所处的状态,物种之外的其他因素亦具有非常重要的地位。灰色关联法作为基于参照系

与系列数据间相似度的有效而准确的识别模型^[15-16],为系统的综合评判提供了较好的量化工具,但作为一种尝试,本研究仍需更深入的研究。

参考文献:

- [1] 邹厚远,程积民.黄土高原草原植被的自然恢复演替及调节[J].水土保持研究,1998,5(1):126-138.
- [2] 张金屯.群落演替的数量分析方法[J].山西大学学报:自然科学版,1994,17(4):457-463.
- [3] 查普曼 S B.植物生态学的方法[M].阳含熙,译.北京:科学出版社,1980.
- [4] 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.
- [5] 周灿芳.植物群落动态研究进展[J].生态科学,2000,19(2):53-59.
- [6] 李文龙,李自珍,王刚,等.沙坡头地区人工植物群落演替动态的定量研究[J].兰州大学学报:自然科学版,2001,37(5):98-104.
- [7] 张继义,赵哈林,张铜会,等.科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态[J].植物生态学报,2004,28(1):86-92.
- [8] 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.
- [9] 程积民,万惠娥.中国黄土高原植被建设与水土保持[M].北京:中国林业出版社,2002.
- [10] 王国宏.黄土高原自然植被演替过程中的植物特征与土壤元素动态[J].Acta Botanica Sinica,2002,44(8):990-998.
- [11] 张金发,郑重.植物群落演替与土壤发展之间的关系[J].武汉植物学研究,1990,8(4):325-334.
- [12] 温仲明,焦峰,张晓萍,等.纸坊沟流域近 60 年来土地利用景观变化的环境效应[J].生态学报,2004,24(9):1903-1909.
- [13] 虞晓芬,傅玳.多指标综合评价方法综述[J].统计与决策,2004(11):119-121.
- [14] 时光新,尹成信.基于熵的小流域治理效益评价模型及其应用[J].水土保持通报,1999,19(5):38-40.
- [15] Chen H H, Tsai P J. Grey relational analysis of dried roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2005, 29 (3/4): 228-245.
- [16] Lin T C C. Grey relation analysis of carbon dioxide emissions from industrial production and energy uses in Taiwan [J]. Journal of Environmental Management, 1999, 56(4):247-257.