

农牧交错区地形土壤因子与植物群落关系研究 ——以丰宁小坝子为例

冯 伟^{1,2}, 张万军¹, 冯学赞¹

(1. 中科院遗传与发育研究所农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100081)

摘 要:对河北丰宁小坝子地区沙地植被恢复过程中植物与土壤环境性质进行了研究,选取 15 个指标,分别代表植被群落、地形因子和土壤性质。利用多元统计方法,对选取的指标进行了主成分分析和典范相关分析。结果表明沙漠化地区在植被恢复初期的植物多样性较低,土壤环境因子与物种多样性存在相关性,植被、地形和土壤因子相互影响;植被特征影响土壤理化性质的动态变化,反过来地形和土壤性质影响植被的分布和数量以及群落的结构。多元统计结果显示,地形、土壤养分与水分表现出较大的因子贡献率。不同因子指标集团的典范相关分析表明,坡位影响植被盖度,物种丰富度与土壤理化性质关系密切。

关键词:恢复沙地;地形因子;土壤性质;植被特征;多元统计

中图分类号:S153;Q948.153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)05-0209-03

The Relationship Between Landform, Soil Characteristics and Plant Community in the Agro-pastoral Ecotone ——An Example from Fengning County, Hebei

FENG Wei^{1,2}, ZHANG Wan-jun¹, FENG Xue-zan¹

(1. Center for Agricultural Resource Research, Institute of Genetic and Development, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021; 2. Graduate School of CAS, Beijing 100081, China)

Abstract: The relationship of plantation, landform factors and soil features in restoration process were researched. 15 indexes were chosen, using multivariate statistical analysis techniques (Principle Component Analysis and Canonical Correspondence Analysis), the complex relationships between the soil properties, plant biodiversity and landform factors were examined. The results showed that plantation diversity was low in early successional stages of restoration process and soil environmental factors related to species diversity. The multivariate statistical analysis elucidated the relationships of three indices (topography, soil and plant). Slope positions were related with layer coverage, while biodiversity was correlated with soil property, soil water and organic matter.

Key words: restored sandlot; landform factor; soil property; plant community; multivariate statistical analysis

决定植物群落结构的主要因素是地形和土壤因子,同时植被特征在一定程度上影响生态系统的生态功能^[1]。在不同的尺度上,植被、地形和土壤因素都密切联系,研究其相互关系有助于了解特定生态系统的功能过程。植物群落处于某一发展阶段,其现有的结构和生物多样性特征是群落动态的具体表现,在较小尺度上,植被和土壤环境因子都表现出较大的空间异质性^[2]。一方面,植被的格局影响土壤环境因子中包括水分、养分的动态变化;另一方面,地形、地貌和坡面因素也影响土壤性质,进而影响植被群落特征。本文以河北丰宁小坝子沙化土地恢复区域为研究对象,选择典型样地调查取样,并利用多元统计方法研究了植被特征、地形因子和土壤理化性质之间的定量关系,探讨该地区植被、土壤环境因素在生态恢复过程中的相互作用。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

试验地设在河北丰宁县小坝子乡,位于丰宁县城以北 45 km 的接坝山区,地理坐标位于 41°22'8" ~ 41°34'6"N, 116°12'49" ~ 119°29'30"E 之间。北连坝上草原,南接冀北山地丘陵区,是高原山区的过渡带,典型的农牧交错区域。试验区年平均气温 2.5 ~ 3.4℃,无霜期 105 d,年平均 4 级以上大风天数 210 d 左右,8 级以上大风天数 65 d 左右,年降雨量 409.3 mm,6 ~ 9 月份降雨量占全年的 75% ~ 80%。土壤以棕壤为主,褐土和潮土为辅,并分布大量的风沙土。土壤有机质含量 0.2% ~ 1.5%,pH 值 7.3 ~ 8.8。植被类型分为高原植被和山地植被两种,高原植被为地带性温带草原植被。以草本

* 收稿日期:2005-09-05

基金项目:中日合作共建“21 世纪中国首都圈环境绿化示范基地”项目;“冀西北农牧交错区风沙治理综合技术开发与示范”项目共同资助

作者简介:冯伟(1980-),男,甘肃酒泉人,在读硕士,研究方向为植被恢复与水文生态。

植物为主,主要种类为针茅、羊草、线叶菊、冷蒿和地椒等,灌丛种类以小叶锦鸡儿、黄花柳、沙棘为主。山地坝缘为山地植被有片状天然白桦林分布,现有植被主要为原始森林破坏后经过封育或天然更新发展起来的次生林,辅以人工林和经济林。长期以来,由于人为的不合理开垦、放牧,使原本脆弱的生态环境遭受极大的破坏,水土流失、植被衰退、土地荒漠化加剧。据 2002 年调查,小坝子乡沙化土地 4 408.6 hm²,其中流动沙地 216.2 hm²,半固定沙地 3 460 hm²,固定沙地 7 32.4 hm²,另有潜在沙化土地 9 808.9 hm²。

1.2 调查方法与土壤分析

于 2004 年 8 月对小坝子乡植被恢复区进行群落和物种调查,设置标准样地 22 个,样地面积 20 m ×20 m,样地内沿主对角线等间距设置 3 个 5 m ×5 m 灌木样方,每个灌木样方内沿主对角线等间距设置 3 个 1 m ×1 m 草本样方。记录样方内物种的名称、数量、高度等,同时记录群落的地形因子、干扰状况^[3]。

每个样地内土壤为三重重复取样,深度为 0 ~ 30 cm,同时采用便携式 TDR (ECH₂O - 10, Decagon Devices, Inc. Pullman WA USA)测定土壤水分含量。土壤养分的测定为三重重复取平均值。土壤理化性质分析^[4],选取了有机质(重铬酸钾法)、全氮(凯氏定氮法)、全磷(“钼锑抗”比色法)、速效钾(火焰光度法)、速效磷(碳酸氢钠法)、pH 值(5 ~ 1 水土比法)、电导率(电位法)、土壤坚实度(坚实度仪法)、地表粗糙度(风速转化法)^[5]。

2 多元统计方法

2.1 主成分分析

用于主成分分析的样地数目为 22 个,植被指标、地形因子和土壤理化性质指标为 15 个,其中植被指标有:盖度、丰富度;地形因子有:坡位、坡向、坡度;土壤性质指标有:土壤坚实度、地表粗糙度、土壤水分含量、有机质、全氮、全磷、速效钾、速效磷、pH 值、电导率。其中地形因子的非数值指标按经验公式建立隶属函数换算成编码^[6],坡位:上部 0.4,中部 1.0,下部 0.8;坡向:阳坡 0.3,半阳 0.5,半阴 0.8,阴坡 1.0。将非数值编码后,与其它因子属性数值列出原始数据矩阵 $X(22, 15)$,为了统一指标量纲,对原始数据矩阵 X 标准化^[7],得到^[0,1]闭区间内的标准化值矩阵 $X'(22, 15)$ 。利用 SPSS11.0 进行主成分分析,得到矩阵 X 的特征根、贡献率和累积贡献率。

2.2 典范相关分析

本将地形因子、植被因子和土壤性质因子分成 3 个主要的集团,利用典范相关分析方法研究两两集团的相互关系^[8],目的是为了寻找一组指标的线性组合与另一组指标的线性组合,使两者的相关达到最大,这两组指标集团是同一研究对象的不同指标。使用 Statistica 5.5 进行典范相关分析。

3 结果分析

3.1 主成分辨识

由主成分分析后得到 6 个主成分,其提供的信息量分别为 23.9%,15.5%,13.5%,10.5%,9.2%,8.6%(表 1)。其中第一主成分的土壤有机质(0.89)和全氮(0.88)、速效钾(0.68)的负荷量是最大的,反映了土壤肥力的重要性。第二主成分中负荷量较大的土壤坚实度(0.88)和土壤水分含量(0.89),土壤坚实度反映了土壤的质地和孔隙状况。第三主成分坡向(0.90)、第四主成分地表粗糙度(0.88)和第六主成分的坡度(0.90)基本代表了地形因子的负荷量。第五主成

分的植被盖度(0.87)、丰富度(0.80)反映了植被状况。还有。第三主成分的全磷(0.54)和第六主成分速效磷(0.48),也都在一定程度上体现土壤与植被的密切关系。电导率和 pH 通过水肥因子表现出对植被的影响。

表 1 主成分(PCA)的因子负荷量、特征根与贡献率

因 子	主成分					
	1	2	3	4	5	6
坡 位	- 0.632	0.352	- 0.411	0.388	0.096	- 0.151
坡 向	- 0.047	- 0.024	0.901	- 0.079	0.105	- 0.137
坡 度	- 0.183	0.109	0.148	- 0.082	0.018	- 0.903
植被盖度	0.014	0.024	0.068	- 0.022	0.871	- 0.24
丰富度	0.231	0.053	0.009	0.095	0.800	0.422
土壤坚实度	- 0.012	0.880	- 0.019	0.032	0.134	- 0.074
地表粗糙度	- 0.197	- 0.124	- 7E- 04	0.879	0.051	0.154
水分含量	- 0.155	0.896	- 0.181	- 0.017	0.065	0.075
有机质	0.899	- 0.142	- 0.005	0.002	- 0.059	0.233
全 氮	0.882	0.077	- 0.157	0.133	0.065	- 0.041
全 磷	0.223	0.449	0.540	0.449	- 0.26	0.241
速效钾	0.678	0.118	0.129	- 0.220	0.285	0.049
速效磷	- 0.182	0.033	0.417	- 0.614	0.009	0.480
pH 值	- 0.079	- 0.590	- 0.227	0.235	0.157	0.190
电导率	- 0.547	0.379	- 0.508	0.196	- 0.144	0.181
特征根	3.588	2.318	2.032	1.582	1.376	1.291
贡献率/ %	23.92	15.46	13.55	10.54	9.18	8.61
累积贡献率/ %	23.92	39.38	52.92	63.46	72.64	81.25

3.2 典范相关分析

将地形因子中的坡位、坡向、坡度构成第一集团,植被盖度和丰富度构成第二集团,土壤理化性质的土壤坚实度、地表粗糙度、土壤含水量、有机质、全氮、全磷、速效钾、速效磷、pH 值和电导率构成第三集团,用典范相关分析方法来研究两两集团的相互关系^[7]。分析结果见表 2。

表 2 典范相关分析结果

典范相关与变量	特征值	百分比	累积百分比	典型相关系数	P 值
地形与植被因子	0.438	0.362	0.362	0.662	0.089
	0.033	0.206	0.568	0.180	0.743
地形与土壤因子	0.752	0.416	0.416	0.867	0.062
	0.593	0.288	0.704	0.770	0.182
植被与土壤因子	0.501	0.546	0.546	0.708	0.905
	0.142	0.277	0.823	0.377	0.987

由表 2 可以看出地形因子与植被因子的第一对典范相关系数为 0.662,显著性检验表明,在显著性 5%水平上,其相关系数都表现出较显著相关。地形因子与土壤因子的第一对典范相关系数为 0.867,较为显著,其余的不显著。植被与土壤集团也表现出同样的趋势,其第一典范相关系数为 0.708。其中,地形与植被因子典型系数公式如下:

$$y = - 0.28x_1 - 0.14x_2 - 0.99x_3$$
$$z = - 0.33x_4 + 0.65x_5$$

地形与土壤因子公式如下:

$$\hat{y} = - 0.99x_1 + 0.48x_2 - 0.18x_3$$
$$\hat{z} = - 0.32x_6 - 0.43x_7 - 0.49x_8 + 0.66x_9 + 0.39x_{10} + 0.12x_{11} + 0.55x_{12} + 0.38x_{13} + 0.03x_{14} - 0.83x_{15}$$

植被与土壤因子公式如下:

$$y = 0.11x_4 + 0.91x_5$$
$$z = 0.03x_6 + 0.21x_7 + 0.2x_8 + 0.38x_9 + 0.24x_{10} + 0.08x_{11} + 0.52x_{12} + 0.02x_{13} + 0.14x_{14} - 0.18x_{15}$$

4 讨论

对于群落结构和物种多样性的影响因素,许多的学者已从地理梯度、海拔高度、地形因子和群落演替阶段等因素开展了大量的研究^[9]。国外学者有关定量研究荒漠植物群落的组成、分布及其与环境因子之间关系的报道已屡见不鲜,而国内也有许多学者应用数量分类和排序的方法研究了我国干旱区荒漠植物群落与环境的关系^[10-13]。

丰宁小坝子地区处于农牧交错区和生态脆弱区,由于人类活动的干扰,大量土地沙化退化,为此开展的植被恢复与演替研究有重要意义。植被与其生存的立地环境(土壤水分、含盐量、酸碱度)之间是一种相互依赖和制约的关系^[14],有研究指出,越是相对贫瘠的土壤,越是容易受到植被的影响^[15]。

参考文献:

- [1] 刘世梁,马克明,傅伯杰,等.北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究[J].植物生态学报,2003,27(4):496-502.
- [2] Jackson, R B, M M Caldwell. Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants[J]. Journal of Ecology, 1993, 81: 683-692.
- [3] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [4] 刘光菴. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [5] 刘明义,宋志超. 沙地土壤风蚀动力因子分析[J]. 中国水土保持,2000,(7):28-30.
- [6] 刘创民,李昌哲,等. 多元统计分析在森林土壤肥力类型分辨中的应用[J]. 生态学报,1996,16:444-447.
- [7] 洪楠,候军. SAS 软件应用指南[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [8] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京:中国科学出版社,1995.
- [9] 赵丽娅,赵哈林. 我国沙漠化过程中的植被演替研究概述[J]. 中国沙漠,2000,(20):7-14.
- [10] 刘庆,周立华. 青海湖北岸植物群落与环境因子关系的初步研究[J]. 植物学报,1996,38(11):887-894.
- [11] 王孝安. 安西荒漠植被的多元分析[J]. 植物学报,1997,39(5):461-466.
- [12] 潘代远,孔令韶,金启宏. 新疆呼图壁盐化草甸群落的 DCA, CCA 及 DCCA 分析[J]. 植物生态学报,1995,19(2):115-127.
- [13] 陈仲新,张新时. 毛乌素沙化草地景观生态分类与排序的研究[J]. 植物生态学报,1996,20(5):423-437.
- [14] 陈鹏,初雨,顾峰雪. 绿洲-荒漠过渡带景观的植被与土壤特征要素的空间异质性分析[J]. 应用生态学报,2003,14(6):904-908.
- [15] Perez F L. The influence of organic matter addition by caulescent andean rosettes on surficial soil properties[J]. Geoderma, 1992, 54:151-171.

(上接第 208 页)

(2) 经验方程 $y = A \cdot S^{-B}$ 对实验地土壤水分特征曲线有良好的模拟性,相关系数较高。各林地不同土层之间拟合方程差异不大,A 值在 0~20 cm 土层较小,且在 20~80 cm 内随深度增加有减小趋势,亦即 0~20 cm 土层持水能力较小,20 cm 以下土层持水能力有随深度增加而减小的趋势。

(3) 在各不同林地之间,以天然次生林地土壤持水能力最高,其余依次为油松×刺槐、侧柏×刺槐、侧柏、油松、灌草地、刺槐,混交林地土壤持水能力好于纯林,纯林中以刺槐林地的土壤持水能力最差,而灌草地持水能力也较差。

(4) 土壤供水能力的顺序为侧柏×刺槐>次生林>刺槐>油松>侧柏>油松×刺槐>灌草地,同一立地条件下底层土>表层土。混交林、次生林的供水性能相对较好,灌草地

参考文献:

- [1] 王孟本,柴宝峰,李洪建,等.黄土区人工林的土壤持水力与有效性状况[J]. 林业科学,1999,(2):1-11.
- [2] 吴文强,李吉跃,张志明,等.北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):51-55.
- [3] 张小泉,张清华.太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J]. 林业科学,1994,30(3):193-200.
- [4] 杨文治. 林草植被建设的土壤养分和水分环境[A]. 黄土高原植被建设与可持续发展[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [5] 华孟,王坚. 土壤物理学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993.
- [6] 陈志雄,汪仁真. 中国几种土壤的持水性质[J]. 土壤学报,1979,16(3):277-281.
- [7] 沈思渊,席承藩. 淮北主要土壤持水性能及其与颗粒组成的关系[J]. 土壤学报,1990,27(1):34-42.
- [8] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [9] 吴文强,李吉跃,张志明,等.北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):51-55.

本研究表明,坡位、坡向、土壤有机质、土壤含水量等因素对植被状况有较大影响,典范相关分析进一步表明,在地形因子中,坡位和坡向影响植被的种类和盖度,并对地表粗糙程度和土壤水分含量有影响。土壤因子中,地表状况、土壤水分、土壤有机质、全氮等因素植被群落的物种多样性相关性密切。本文采用了多元统计的方法,消除了不同因子之间的重叠信息,并将指标分类统一化以研究各因素之间的关系。以上结论表明,土壤、植被、地形因子三者互相作用,地形因子影响着植被的结构特点,而土壤因子对物种多样性也产生影响,反过来群落结构也影响着土壤的理化因子。由于小坝子沙化区的生态恢复过程处在初期,植被群落的物种状况和土壤条件略有改善,但是复杂的土壤变化和植被的组成及环境因素密切相关,恢复仍处于不稳定状态,需要长期的监测研究。

相对较低,而纯林介于二者之间。

(5) 根据实验地原状土测定的毛管孔隙最大持水量值确定有效水上限,造林树种的永久凋萎点- 20×10^5 Pa 作为有效水下限,将树木的暂时凋萎点- 10×10^5 Pa 作为易效水与难效水的分界线,将不同林地土壤水分有效性进行分级。

(6) 除了 9、10 月份灌草坡、荒草坡 0~40 cm,10 月份油松×刺槐林地 20~40 cm 土层土壤水分含量处于无效水状态外,其余林分在 7~10 月期间各个土层均处于有效水范围内,0~80 cm 有效水储量在 24.27~70.47 mm 之间,以油松×刺槐储值最大,侧柏×刺槐林地最小。实验区在生长季中的土壤水分含量能够保证植物生长需要。