北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究

刘世梁^{1,2} 马克明^{1*} 傅伯杰¹ 康永祥³ 张洁瑜¹ 张育新¹

(1 中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085)

(2 北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875)

(3 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100)

摘 要 地形与土壤因子是决定植物群落结构的主要因素, 同时植物多样性在不同尺度上影响着景观中的流, 植物、地形与土壤三者之间在不同尺度上密切联系, 研究它们之间的关系对于了解生态系统功能过程非常重要。针对东灵山地区异质化景观现状, 在小流域尺度上选取了 76 个 20 m × 20 m 的样地进行调查, 研究选取了 16 个指标, 分别代表地形因子、植物群落与土壤性质。利用多元统计手段, 对选取指标进行了主成分分析、聚类分析与典范相关分析。结果显示土壤、植被、地形因子三者相互影响; 地形因子与土壤理化性质影响着植被的分布格局与群落结构, 反过来群落因子也对土壤的理化因子产生较大的影响。土壤有机质含量是指示土壤肥力的一个敏感指标, 3 种不同肥力类型中, 群落的层盖度与丰富度存在较大的差别, 而决定其分布的地形特点也不相同。不同指标集团的典范相关分析表明, 坡位主要影响乔木层盖度, 海拔高度与全氮相关性密切, 而乔木层物种丰富度与有机质含量关系密切。

关键词 多元统计 地形因子 土壤性质 群落结构

THE RELATIONSHIP BETWEEN LANDFORM, SOIL CHARACTERISTICS AND PLANT COMMUNITY STRUCTURE IN THE DONGLINGSHAN MOUNTAIN REGION, BEIJING

LIU Shi-Liang^{1,2} MA Ke-Ming¹ FU Bo-Jie¹ KANG Yong-Xiang² ZHANG Jie-Yu¹ and ZHANG Yu-Xin¹

(1 Key Laboratory of Systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

(2 Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(3 Northwest Agro-Forestry Sci-Tech University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract Biodiversity pattern impacts on flow of landscapes on different scales, and contrarily landscape and soil characteristics influence plant community structure. Variation in soil resource levels is common and important to plants. At larger spatial scales, the resources available to plants change as the soil type changes, and this variation effects the distribution of plant species. At smaller spatial scales, soil resources continue to show considerable spatial heterogeneity. Small-scale heterogeneity has large impact on performance of individual plants, and hence, on the structure and dynamics of plant populations and communities. It is important to examine their close relationships to understand the process of ecosystems. Many recent studies mainly concentrate on factors influencing plant in grassland or shrub land.

The Donglingshan Mountain is an extension of Xiaowutaishan Mountains and belongs to the broader Taihangshan Mountains. The zonal vegetation of this region is highly fragmented warm temperate-zone deciduous broad-leaved forest. Focused on the landscape heterogeneity of this area, we investigated 76 plots of 20 m × 20 m on a small watershed scale and analyzed the detailed community structure, landform and soil features.

Using multivariate statistical analysis techniques (Principle Component Analysis, Cluster Analysis, Discriminant Analysis and Canonical Correlation Analysis), we examined the complex relationships between the soil properties, plant biodiversity and landscape factors. Soil organic matter is a sensitive factor of soil fertility and the coverage and richness of plants have different features under different soil fertilities. Three community types were distinguished by the arbor species characteristics. Twenty species existed in all plots of type III, but type I and II included sixteen species. The dominant species of type I was maple which accounts for 19.7% of total species in terms of importance value. Second was *Quercus liaotungensis* (19.1%). Type II included *Q.*

收稿日期: 2002-07-10 接受日期: 2002-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(30070141)和中国科学院知识创新项目(KZCX2-405)

感谢北京林业大学张育新、吴建安、白尚斌同学协助野外调查

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: mkm@mail.rcees.ac.cn

liaotungensis (34.8%) and *Betula dahurica* (17.5%). Type III was *B. dahurica* (30.8%) and maple (21.6%). The results also show that high fertility plots often exist on the north-facing and upper slopes.

Canonical correlation analysis was used as large numbers of variables were involved in this study. The analysis elucidated the relationships of three different indices (i.e. topography, soil and plant). Slope positions were closely related with tree layer coverage, while elevation was positively correlated with total nitrogen. The richness of tree layer in biodiversity factors had the greatest influence on soil organic matter.

Key words Multivariate statistical analysis, Landform factor, Soil property, Community structure

植被类型和景观性质的变异可以影响到许多自然生态过程,包括土壤养分含量与土壤水热交换等(Fu *et al.*, 2000),研究它们间的关系是了解生态系统结构与功能的一个重要环节。目前这方面研究主要集中在土壤性质在景观中的分异规律及其空间异质性上,研究一般在景观或区域尺度上进行(Benning & Seastedt, 1995)。较小尺度上,土壤同样表现出较大的空间异质性(Jackson & Caldwell, 1993)。早在 1947 年, Watt 就认识到植被格局可以控制微气候与土壤状况,同时也影响相邻斑块中的植被因子之间的相互作用。植被格局影响着土壤水分、养分等过程(Pickett & Cadenasso, 1995),但至今这方面深入的研究仍十分缺乏(Adler *et al.*, 2001)。另一方面,地形、地貌、坡度、海拔等也会对土壤性质产生影响,进而影响植物群落特征。在地形因子,土壤理化性质以及植被类型关系的研究中,多偏重于其中的两个方面(安树青等, 1997; 刘创民等, 1996),但对三者之间的相互作用缺乏深入探讨。本研究从小流域尺度入手,以北京东灵山暖温带阔叶林为研究对象,利用多元统计方法,研究了群落性质、地形因子与土壤理化性质之间的定量关系,旨在探究三者之间的相互作用。

1 研究区域与调查方法

1.1 研究区域

研究地点位于北京市西北的门头沟区东灵山小龙门林场的中国科学院北京森林生态系统定位研究站。东灵山为小五台山余脉,属太行山系砂岩中山区。地貌以山地侵蚀结构类型为主,土壤类型为棕壤。年降雨量为 500 ~ 650 mm。调查的区域为 39°56'58" ~ 39°57'28" N, 115°25'18" ~ 115°25'55" E, 海拔高度范围在 1 252 ~ 1 530 m, 研究区域面积约为 1 km²。典型地带性植被是暖温带落叶阔叶林,主要类型包括辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、桦木林(*Betula* spp.)、山杨林(*Populus davidiana*),及其它落叶阔叶混交林,如椴树(*Tilia* spp.)、槭树(*Acer* spp.)、核桃楸(*Juglans mandshurica*)以及大叶白蜡(*Fraxinus*

rhynchophylla)等。

1.2 调查方法与土壤分析

研究调查了一个典型小流域,标准地设置方法如下:样地面积 20 m × 20 m, 样地内沿主对角线方向等间距设置 3 个 5 m × 5 m 灌木样方,每个灌木样方内沿主对角线方向等间距设置 3 个 1 m × 1 m 草本样方。在乔木样方内,逐株记录乔木树种的名称、胸径、树高、冠幅等;在灌木样方内,记录灌木物种的名称、高度、盖度、冠幅等;草本样方中记录物种名、株高、盖度。同时记录群落的地形因子、干扰状况等。共获得 76 个标准样地。

每个样地内土壤为三重复随机采样,取样深度为 0 ~ 30 cm,同时用便携式 TDR(时域反射仪)进行土壤水分的测定,样地内随机取 9 个样点进行水分测定,取其平均值作为其样地水分含量。土壤养分的测定为三重复取平均值。土样理化分析按照森林土壤分析方法测定,选取了有机质、pH 值、速效磷、速效钾、全氮量(刘光崧, 1996)。

2 数据处理方法

2.1 主成分分析

用于主成分分析的样地数目为 76 个,植被指标、地形因子与土壤性质指标为 16 个,其中土壤因子指标有:土壤重量含水量(SW)、有机质(SOM)、土壤 pH 值(pH)、土壤速效磷(AP)、速效钾(AK)、全氮量(TN),以上土壤指标较好地反映了土壤的肥力水平和土壤之间的变异(刘创民等, 1996);地形因子指标有:坡度(ANG)、海拔(ELE)、坡向(ASP)、坡位(POS);植被指标有乔木层、灌木层、草本层的物种丰富度(RICH1, RICH2, RICH3),乔木层、灌木层、草本层的盖度(COV1, COV2, COV3),乔木层盖度利用乔木冠幅与样地面积之比计算得出(Dai & Osamu, 1996)。其中坡向、坡位等非数值指标按经验公式建立隶属函数换算成编码(刘创民等, 1996)。坡向:阳坡 0.3, 半阳 0.5, 半阴 0.8, 阴坡 1.0;坡位:上坡位 0.4, 中坡位 1.0, 下坡位 0.8。将非数值指标编码后,便可列出与其它环境、群落结构因子属性数值一

起的原始数据矩阵 $X(76, 16)$, 为了统一指标量纲, 利用标准差对原始数据标准化, 得到标准化值 x_{ij} 及矩阵 $X'(76, 16)$ 。原始数据标准化可以使样本数据压缩到 $[0, 1]$ 闭区间内, 首先求出 i 个样本的第 j 个指标的平均值和标准差。利用以下公式求出原始数据标准化值(洪楠等, 2001):

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}$$

(1)

再运用极值标准化公式, 将标准化数据压缩到 $[0, 1]$ 闭区间内(洪楠等, 2001):

$$X_{ij} = \frac{x'_{ij} - x'_{jmin}}{x'_{jmax} - x'_{jmin}}$$

(2)

其中 x'_{jmax} 与 x'_{jmin} 分别表示 x_{ij} 中最大值和最小值。利用主成分分析, 计算出矩阵 X' 的特征根、贡献率及累积贡献率。主成分分析目的是去掉冗余信息因子, 以提高聚类分析的准确性。

2.2 聚类分析

聚类分析是按照“物以类聚”的原则研究事物分类的一种多元统计分析方法, 按照样本的多元属性定量地确定样本之间存在的相似性或亲疏关系。对 $X'(76, 16)$ 矩阵对 76 个样地聚类(Q 型聚类), 采用的聚类分析方法是离差平方和(Ward's method), 使所分出的类内各样本间差异最小, 各类间的差异最大。在此基础上, 分析不同类别之间其群落结构以

及土壤地形之间的差异。

2.3 典范相关分析

典范相关分析是研究两组指标(变量)间的一种多变量统计分析方法, 其目的是寻找这一组指标的线性组合与另一指标的线性组合, 使两者之间的相关达到最大(即两组典型变量的相关达到最大值)。这两组指标多是同一研究对象的两组不同指标。本研究将地形因子、植物多样性因子和土壤理化因子分成 3 个主要的集团, 利用典范分析方法研究两两集团的相互关系。统计分析在 SAS 软件包中运行(洪楠等, 2001)。

3 结果分析

3.1 主成分辨识

前 5 个主成分提供的信息量分别为 24.7%, 45.5%, 54.8%, 63.3%, 70.2%(表 1), 其中第一主成分中的土壤有机质(0.93)、土壤全氮(0.82)和土壤速效磷(0.82)最大, 这三者也是土壤肥力的重要指示因子; 第二主成分中乔木层物种丰富度(0.79)、灌木层物种丰富度(0.77)和草本层物种盖度(-0.72)的负荷量较大; 同样第三主成分中的坡度(-0.77)、第四主成分中的坡向(0.71)分别代表了地形因子的负荷量。

表 1 主成分(PCA)的因子负荷量、特征根与贡献率
Table 1 Factor loading, eigenvalue and cumulative percentage of principal component analysis

因子 Factors	主成分 Principal component number				
	I	II	III	IV	V
坡位 Position (POS)	-0.06	0.64	-0.18	-0.02	-0.18
坡向 Aspect (ASP)	-0.02	0.31	-0.32	0.71	0.39
坡度 Gradient (GRA)	-0.02	0.27	-0.77	0.17	-0.23
海拔高度 Elevation (ELE)	0.67	-0.44	0.19	-0.18	0.05
乔木层盖度 Arbor coverage (COV1)	0.03	0.26	0.48	0.33	-0.36
灌木层盖度 Shrub coverage (COV2)	0.29	0.57	-0.16	-0.60	0.19
草本层盖度 Herb coverage (COV3)	-0.16	-0.72	0.25	0.30	-0.34
乔木层物种丰富度 Arbor richness (RICH1)	0.01	0.79	0.30	0.13	-0.05
灌木层物种丰富度 Shrub richness (RICH2)	-0.18	0.77	0.21	0.10	0.02
草本层物种丰富度 Herb richness (RICH3)	0.24	-0.56	-0.15	0.17	0.48
土壤全氮 Total nitrogen (TN)	0.82	0.18	0.23	-0.09	0.06
土壤 pH 值 pH value (pH)	0.64	-0.10	-0.38	0.08	-0.37
土壤速效磷 Available phosphorous (AP)	0.82	0.10	0.02	-0.06	-0.11
土壤速效钾 Available potassium (AK)	0.64	0.23	0.26	0.35	0.34
土壤水分含量 Soil water content (SW)	-0.53	-0.01	0.15	-0.20	0.30
土壤有机质 Soil organic matter (SOM)	0.93	0	-0.01	0.06	-0.03
特征根 Eigenvalue	3.96	3.32	1.49	1.35	1.11
贡献率 % of variance	24.74	20.76	9.32	8.46	6.91
累积贡献率 Cumulative %	24.74	45.50	54.82	63.27	70.18

从表 1 贡献率来看,对于地貌复杂的小流域的土壤、植被分异,第一、第二主成分贡献率都比较低,说明异质化植被景观研究中,由于各个因子受到多种因素的影响,所以因子之间的研究需要考虑其分异,必须全面考虑其三者之间的关系。

3.2 聚类分析

根据聚类分析的结果,选取了各个主成分中负荷量较大的因子,同时选取了与土壤性质有密切联系且具较强分辨率的因子。利用第一主成分选取地形因子指标,由于土壤水分和 pH 值负荷量低,所以选取了土壤有机质、土壤全氮和土壤速效磷 3 个指标,利用第二主成分选择植被指标为草本层盖度、乔木层物种丰富度、灌木层物种丰富度;地形因子选择海拔高度、坡向、坡位、坡度 4 个指标。对所选取的因子进行聚类分析,结果如图 1 所示。在图 1 中以重标距离 15 处作为异质性划分水平,可将 76 个样地分成 3 个类型。结果表明,3 种类型分布的位置差异比较大,结合野外调查资料,相邻样地属于同种类型居多,说明分类比较合理。从景观斑块异质性来看,3 种类型分别代表了不同的样地植被群落,外观差异较大,3 种类型分布主要是五角枫 (*Acer mono*)、辽东栎和棘皮桦 (*Betula dahurica*) 群落类型,其林下灌丛、草本等分布也相应有所不同;从景观分布特点来看,分类结果所处的海拔高度差异最为显著;不同的景观位置和植被类型同样对土壤特性产生较大的影响。实验分析结果表明土壤性质在不同类型中的变异非常大,利用简单的统计分析得出 3 种类型之间的差别和组间差异显著性程度,表 2、表 3、表 4 列出了 3 种不同类型土壤性质指标、植被指标以及地形因子的平均值、标准差。

表 2 结果显示,土壤有机质分为 3 个水平,分别为 $(45.92 \pm 12.00) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(55.88 \pm 12.64) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(84.68 \pm 14.50) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,相差 1.84 倍,而其它的养分元素差别小。这说明土壤有机质的含量是指示土壤肥力因子的一个敏感指标。全氮在 3 种肥力类型中也呈现增加趋势;但速效磷与速效钾的含量在肥力类型 II 中低,而肥力类型 III 中含量高。表 2 中也可以看出,不同肥力类型的样地数目所占的比例也不同。

3 种肥力类型的群落结构特点见表 3,对于层盖度来说,草本层与灌木层之间的差别大于乔木层,这说明灌木与草本的层盖度与土壤肥力有较强的相关性,而灌木层与草本层的盖度呈现相反的趋势。而物种丰富度在 3 种类型中的差别主要是乔木层差异

最大,草本层差异最小。

从差异较大的乔木层物种丰富度来看,肥力 I 的所有类型乔木种类共计为 20 种,其在每个样地中数目的平均值为 7.29,肥力 II 与 III 皆为 16 种,平均值差异较大,为 4.23 和 5.09。肥力 I 的主要优势种为五角枫,占肥力 I 所有乔木物种总株数的 19.7%,其次是辽东栎,占 19.1%;再次是棘皮桦(12.7%)和山杨(11.8%)。肥力 II 的优势种为辽东栎,占 34.8%,其次分别是棘皮桦(17.5%)、山杨(17.3%)、五角枫(15.2%),肥力 III 的优势种为棘

图 1 东灵山 76 个样地聚类结果
Fig.1 The dendrogram result of cluster analysis of 76 plots using Ward method

表 2 3 种肥力类型土壤指标值的平均值与标准差
Table 2 Mean and standard deviation of soil index of three soil fertility types

肥力类型 Soil fertility types	样地数目 Plot number	土壤 pH 值 Soil pH(5:1)	土壤水分含量 Soil water content	土壤有机质 SOM(g·kg ⁻¹)	土壤全氮 TN(g·kg ⁻¹)	土壤速效磷 AP(ppm)	土壤速效钾 AK (ppm)
I	21	6.37 ± 0.14	16.73 ± 1.95	45.92 ± 12.00	2.53 ± 0.40	9.86 ± 1.56	300.33 ± 76.57
II	23	6.46 ± 0.16	16.68 ± 3.67	55.88 ± 12.64	2.55 ± 0.35	9.61 ± 1.13	241.52 ± 43.93
III	32	6.58 ± 0.16	16.46 ± 2.84	84.68 ± 14.50	3.45 ± 0.45	14.63 ± 3.97	303.44 ± 60.13
F 值 F value		5.12*	0.03 ^{ns}	29.13**	23.81**	17.89**	5.72**

SOM, TN, AP, AK: 同表 1 See Table 1 ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$ ns: 无显著差异 No significant difference

表 3 3 种肥力类型土壤的群落结构特点
Table 3 Biodiversity features of three soil fertility types

肥力类型 Soil fertility types	层盖度 Layer coverage			层物种丰富度 Species richness of the layer level		
	乔木层 Tree	灌木层 Shrub	草本层 Grass	乔木层 Tree	灌木层 Shrub	草本层 Grass
I	0.58 ± 0.11	0.75 ± 0.14	0.22 ± 0.13	7.29 ± 1.30	13.95 ± 1.99	18.19 ± 2.91
II	0.57 ± 0.06	0.48 ± 0.18	0.62 ± 0.16	4.23 ± 1.22	9.50 ± 1.39	17.64 ± 2.06
III	0.56 ± 0.12	0.76 ± 0.16	0.29 ± 0.14	5.09 ± 1.11	10.38 ± 1.61	17.38 ± 1.94
F 值 F value	0.08 ^{ns}	4.31*	29.23**	19.78**	23.99**	0.37 ^{ns}

*, **, ns: 见表 2 See Table 2

表 4 3 种肥力类型的景观特点
Table 4 Landscape features of three soil fertility types

肥力类型 Soil fertility types	海拔高度 Elevation (m)	不同坡位上样地数目 Plot numbers of each slope position			不同坡向上样地数目 Plot numbers of different aspects				坡度 Gradient (°)
		上 Up	中 Middle	下 Down	阳 Sunny	半阳 Semi-sunny	半阴 Semi-shady	阴 Shady	
I	1 309 ± 28	2	8	11	10	8	3		34.73 ± 1.83
II	1 406 ± 46	16	5	2	8	11	4		31.34 ± 1.65
III	1 429 ± 36	14	11	7	14	10	6	2	32.33 ± 2.19
F 值 F value	20.56**								4.62*

*, **, ns: 见表 2 See Table 2

皮桦,占30.8%,五角枫为 21.6%,山杨(14.3%)。

地形特点的分类可以看出,肥力低的 I 型其下坡位占的比例最高,阴坡位的比例最低,坡度也最陡,这主要是因为下坡位水土侵蚀比较严重,导致肥力低于另外两种类型。另外,由表 4 中还可以看出,中上坡位肥力要高,而且肥力高的类型一般在阴坡分布的比重也大。

3.3 典范相关分析

把地形中的海拔(X_1)、坡位(X_2)、坡向(X_3)、坡度(X_4)构成第一集团,把植被因子中的乔木层、灌木层、草本层的盖度(Y_1, Y_2, Y_3)与物种丰富度(Y_4, Y_5, Y_6)构成第二集团,把土壤理化性质因子中的土壤含水量(Z_1)、pH 值(Z_2)、土壤有机质(Z_3)、土壤全氮(Z_4)、土壤速效磷(Z_5)、速效钾(Z_6)构成第三集团,用典范相关分析方法来研究两两之间的相互

关系。分析结果见表 5。

从表 5 可以看出,地形因子与植被因子的第一对典范相关系数是 0.636,显著性检验表明,在显著性 5%的水平上,仅第一典范相关系数是显著相关的,其余的都不显著。地形因子与土壤因子两集团的第一对典范相关系数是 0.665,第一典范相关系数相关极为显著,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 0.568。其中地形因子与植被因子标准化典型系数(Standardized canonical coefficients)公式如下(洪楠等, 2001):

$$V_1 = -0.42X_1 + 0.48X_2 + 0.48X_3 + 0.11X_4 \quad (3)$$

$$W_1 = 0.53Y_1 - 0.19Y_2 - 0.2Y_3 - 0.14Y_4 + 0.38Y_5 + 0.57Y_6 \quad (4)$$

地形与土壤因子公式如下:

表 5 典范相关分析结果
Table 5 Result of canonical correlation analysis

典范相关与变量 Canonical correlation and canonical variables	特征值 Eigenvalue	百分比 Proportion	累积百分比 Cumulative	典型相关系数 Canonical correlation	p 值 p > F
地形与植被因子	0.678	0.709	0.709	0.636	<0.001
Landscape and biodiversity factors	0.181	0.190	0.898	0.392	0.259
地形与土壤因子	0.791	0.679	0.679	0.665	<0.001
Landscape and soil conditions	0.290	0.249	0.928	0.474	0.076
植被与土壤因子	0.476	0.451	0.451	0.568	0.005
Biodiversity and soil features	0.359	0.340	0.791	0.514	0.081

$V_1' = 1.1X_1 + 0.6X_2 + 0.14X_3 - 0.06X_4$ (5)

$W_1' = 0.01Z_1 + 0.55Z_2 + 0.44Z_3 + 0.88Z_4$
 $- 0.14Z_5 - 0.03Z_6$ (6)

植被与土壤因子的公式如下：

$V_1'' = -0.17Y_1 - 0.52Y_2 - 0.35Y_3 + 0.65Y_4$
 $+ 0.4Y_5 + 0.13Y_6$ (7)

$W_1'' = -0.06Z_1 - 0.45Z_2 - 0.79Z_3 + 0.15Z_4$
 $+ 0.52Z_5 + 0.77Z_6$ (8)

由公式(3)、(4)可看出,地形因子中坡位与坡向载荷量较大,植被因子中乔木层盖度与草本层的物种丰富度载荷量较大;说明坡位与坡向对植被因子影响最大,主要影响乔木层盖度(洪楠等,2001)。公式(5)、(6)中,海拔高度载荷量最大,对土壤因子影响最大,而土壤因子中全氮含量的载荷量最大。说明海拔高度与土壤全氮相关密切,全氮的含量很大程度上取决于海拔高度的影响,两者的线性回归结果也显示出较高的相关系数: $R^2 = 0.50$, $p < 0.01$ 。对于土壤与植被因子相关性来说,乔木层的物种丰富度与土壤有机质有非常大的相关性($R^2 = 0.42$, $p < 0.05$),同时速效钾也有着较大的载荷量($R^2 = 0.32$, $p < 0.05$)。

4 讨 论

作为群落结构的一个重要指标,人类已经对物种多样性及其随地理梯度、海拔高度和群落演替阶段等因素的变化有所了解。目前许多研究者对地形因子影响土壤性质做了较深入的探讨(刘创民等,1996),地形影响着土壤的形成,土壤肥力的高低也同时影响着生物群落的构成,微地貌的景观特征,如方向性、坡面的形状、坡度、坡位也会对群落结构产生影响。较小尺度异质化景观的生物多样性和地形辨识必须在大量的调查资料或者地理信息资料的基础上获得(William *et al.*, 1998)。本研究表明,在北京东灵山地区,下坡位、坡度陡、阳坡处的土壤肥力

较低,而中上坡位肥力要高。典范相关分析进一步表明在地形因子中,坡位主要影响乔木层盖度,海拔高度与全氮相关性密切。土壤性质与群落结构之间的数量关系,一般通过生物多样性指标来获得,其数量关系研究目前多通过多元线性回归进行分析,吴彦等(2001a; 2001b)在研究四川亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性与土壤理化性质之间关系的研究中得出了不同的土壤因子与生物多样性指标线性相关公式。本研究利用主成分-聚类方法可以消除不同因子之间的重叠信息,同时揭示出因子分类中不同的群落结构特征,具有较高的可信度。典范相关则是将指标分类统一化,研究不同集团之间的相关性。研究结果表明土壤有机质的含量是指示土壤肥力的一个较好的指标,在以有机质含量划分的3种肥力类型中,草本层与灌木层的层盖度之间有着较大的差别,而物种丰富度的主要表现是乔木层之间差异较大。同时乔木层物种丰富度与有机质的含量有较为密切的负相关性。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。

参 考 文 献

Adler, P. B., D. A. Raff & W. K. Lauenroth. 2001. The effect of grazing on the spatial heterogeneity of vegetation. *Oecologia*, **128**: 465 ~ 479.
An, S. Q. (安树青), Z. F. Wang (王峥嵘), Z. L. Liu (刘志礼), B. G. Hong (洪必恭) & R. L. Zhao (赵儒林). 1997. Effects of soil factors on species diversity in secondary forest communities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**: 45 ~ 50. (in Chinese with English abstract)
Benning, T. L. & T. R. Seastedt. 1995. Landscape-level interactions between topo-edaphic features and nitrogen limitation in tall-grass prairie. *Landscape Ecology*, **10**: 337 ~ 348.
Dai, N. & M. Osamu. 1996. Soil disturbance regime in relation to micro-scale landforms and its effects on vegetation structure in a hilly area in Japan. *Plant Ecology*, **133**: 191 ~ 200.
Fu, B. J., L. D. Chen, K. M. Ma, H. F. Zhou & J. Wang. 2000. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the Loess Plateau in northern Shaanxi, China. *Catena*,

- 39: 69 ~ 78.
- Hong, N. (洪楠) & J. Hou (侯军). 2001. Tutorial of SAS for Windows. Beijing: Publishing House of Electronics Industry. 444. (in Chinese)
- Jackson, R. B. & M. M. Caldwell. 1993. Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants. *Journal of Ecology*, **81**: 683 ~ 692.
- Liu, G. S. (刘光崧). 1996. Soil physical and chemical analysis and description of soil profiles. Beijing: Standards Press of China. 50 ~ 112. (in Chinese)
- Liu, C. M. (刘创民), C. Z. Li (李昌哲), M. H. Shi (史敏华) & H. Y. Liang (梁海英). 1996. Multivariate statistical analysis techniques applicated in differentiation of soil fertility. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **16**: 444 ~ 447. (in Chinese with English abstract)
- Pickett, S. T. A. & M. L. Cadenasso. 1995. Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. *Science*, **269**: 331 ~ 334.
- Watt, A. S. 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology*, **35**: 1 ~ 22.
- William, F. N., K. Keith & V. A. Peter. 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. II. A landscape perspective. *Conservation Biology*, **12**: 371 ~ 379.
- Wu, Y. (吴彦), Q. Liu (刘庆), Q. H. Chen (陈庆恒), C. M. Zhao (赵常明) & Y. K. Qiao (乔永康). 2001a. Quantitative analysis of species diversity and soil factors in 30a subalpine coniferous plantations at different altitudes. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* (应用与环境生物学报), **7**: 408 ~ 415. (in Chinese with English abstract)
- Wu, Y. (吴彦), Q. Liu (刘庆), Y. K. Qiao (乔永康), K. W. Pan (潘开文), C. M. Zhao (赵常明) & Q. H. Chen (陈庆恒). 2001b. Species diversity changes in subalpine coniferous forests of different restoration stages and their effects on soil properties. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **25**: 648 ~ 655. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 陈灵芝 责任编辑: 周玉荣