

多元统计分析在森林土壤肥力类型分辨中的应用

MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS TECHNIQUES
APPLICATED IN DIFFERENTIATION OF SOIL FERTILITY

刘创民

李昌哲

Liu Chuangmin

Li Changzhe

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京, 100091)

(The Research Institute of Forestry, CAF, Beijing, 100091)

史敏华

Shi Minhua

(山西省林业科学研究所, 太原, 030012)

(Forestry Institute of Shanxi Province, Taiyuan, China)

梁海英

Liang HaiYing

(北京林业大学, 北京, 100083)

(Beijing Forestry University, Beijing, China)

1 调查方法

调查地为北京门头沟区九龙山, 属太行山砂岩低山区。标准地设置: 分为抽样调查法, 共 35 块标准地; 土壤剖面调查: 森林土壤调查法^[1]; 土壤理化分析: 森林土壤分析法^[2]。数据处理: 多元统计分析法。

2 主成分分析

本文用于主成分运算的土壤剖面数为 35, 环境指标 15 项。其中, 土壤含水量(%) X_8 、容重(g/cm^3) X_9 、土壤孔隙度(%) X_{10} 、有机质(%) X_{12} 、速效 P($\text{mg}/100 \text{ g 土}$) X_{13} 、速效 K($\text{mg}/100 \text{ g 土}$) X_{14} 、全 N 量(%) X_{15} , 均为 0~50 cm 土体内的加权平均值; 坡度($^\circ$) X_1 、海拔(m) X_4 、土层厚度(cm) X_5 、A 层厚度(cm) X_6 、B 层石砾含量(%) X_7 是直接测量值; 坡向 X_1 、部位 X_2 、土壤质地 X_{11} 等非数值指标按经验式建立隶属函数换算成编码^[3,4], 即:

$$\begin{aligned} \text{坡向 } U(X_1) &= \begin{cases} 0.3 (1) & (1) \text{—— 阳坡} \\ 0.5 (2) & (2) \text{—— 半阳} \\ 0.8 (3) & (3) \text{—— 半阴} \\ 1.0 (4) & (4) \text{—— 阴坡} \end{cases} & \text{部位 } U(X_2) &= \begin{cases} 0.1 (1) & (1) \text{—— 山脊} \\ 0.4 (2) & (2) \text{—— 上部} \\ 1.0 (3) & (3) \text{—— 中部} \\ 0.8 (4) & (4) \text{—— 下部} \\ 0.9 (5) & (5) \text{—— 山谷} \end{cases} \\ \text{土壤质地 } U(X_{11}) &= \begin{cases} 0.4 (1) & (1) \text{—— 重壤} \\ 0.8 (2) & (2) \text{—— 轻壤} \\ 1.0 (3) & (3) \text{—— 中壤} \end{cases} \end{aligned}$$

将非数值指标编码后, 可与其它环境属性数值一起列出原始数据矩阵 $X(25, 15)$ (限于篇幅, 表略); 但为了统一指标量纲, 查明它们之间的相关性, 消除指标提供的重叠信息, 须将用标准差对原始数据标准化, 得标准化值 (X'_{ij}) 及矩阵 $X'(35, 15)$; 再计算出相关系数阵 (R) 以及阵的特征值、贡献率和特征向

量。结果如表 1。从表 1 知,第 1 主成分提供的信息量 $>40\%$,第 1 主成分中的土壤含水量负荷量(0.8633)和土壤厚度(0.8582)、土壤有机质(0.8576)是最大的,它们也是森林土壤肥力诸因子中的重要因素。其次为 A 层厚度和坡向。在第 2 主成分中,负荷量最大者莫过于容重和速效 P,其次为速效 K。容重标志着土体内部的孔隙状况,在一定程度上影响着土壤水分及营养状况。在第 3 主成分中,海拔和全 N 负荷量最大。但为了满足变量不相关、且与土壤肥力有密切的联系和较强分辨力的要求,故选用了第 1 主成分中的土壤含水量、土壤厚度、有机质、A 层厚度及坡向,第 2 主成分中的容重、速效 P、速效 K,第 3 主成分的海拔和全 N 量共 10 项作分辨土壤肥力类型的指标,且用以进行聚类分析。

表 1 PCA 分析的因子负荷量、特征根及贡献率

Table 1 Factor loading, eigenvalue and message of principal component analysis

主成分 Principal component	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
I	0.71	0.04	-0.32	0.34	0.86	0.79	-0.31	0.86	-0.31
II	0.40	0.01	0.02	-0.05	-0.08	-0.15	-0.28	0.17	-0.66
III	-0.13	-0.24	0.40	0.60	-0.21	0.03	0.16	-0.07	-0.26

主成分 Principal component	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	特征根 Eigenvalue	贡献率 Message
I	0.46	-0.21	0.86	0.41	0.54	0.45	4.67	44.60%
II	0.44	-0.17	0.07	-0.62	-0.58	-0.51	2.14	20.44%
III	0.43	0.55	0.02	0.04	-0.29	0.57	1.93	18.43%

3 聚类分析

本文采用聚类分析中的离差平方和法^[5],使所分出的类内各样本间差异最小,各类间的差异最大。在图中离差平方和约 40 处作异质性划分水平,可将 35 个土壤样本分成 4 个肥力类型(限于篇幅,聚类分析结果谱系图略)。表 2 和表 3 列出了 4 个肥力类型土壤指标的平均值、标准差及土壤地形特点。

表 2 4 个肥力类型土壤指标值的平均值及标准差

Table 2 Mean and standard deviation of soil index of 4 soil fertility types

肥力类型 Soil fertility	土层厚度 (cm) Soil depth	A 层厚度 (cm) A horizon	土壤含水量 (%) content of soil	有机质 (%) Organic matter	速效 P (mg/100 g 土) Available P	速效 K (mg/100 g 土) Available K	全 N 量 (%) Total N
I	43.1±8.1	6.3±2.4	4.91±0.53	1.35±0.48	0.049±0.04	3.18±0.87	0.128±0.160
II	52.3±13.5	9.5±4.8	4.82±0.34	1.90±0.28	0.106±0.02	4.88±1.41	0.156±0.070
III	65.2±11.3	10.8±1.9	7.04±0.61	2.26±0.44	0.095±0.04	4.82±1.42	0.117±0.031
IV	86.5±7.7	28.3±9.7	8.39±0.10	3.10±0.51	0.109±0.05	7.19±2.43	0.167±0.035

表 3 4 个肥力类型土壤地形特点

Table 3 Geographic characteristics of 4 soil fertility types

肥力类型 Soil fertility	样本数 Sample number	海拔(m) Altitude	坡向 Slope direction	坡度 Slope	坡位 Slope position
		<500 >500	阳 半阳 半阴 阴	平 缓 斜 陡 险	上 中 下
I	7	5 2	3 2 2	1 1 3 2	3 4
II	10	9 1	6 4	1 4 2 3	3 4 3
III	11	11 0	4 7	1 3 2 4 1	5 3 3
IV	7	5 2	2 2 3	2 3 2 3 3	2 2

肥力类型 I 主要分布于阳坡, 坡度普遍较陡; 有水土流失现象。土壤类型为山地褐土和山地幼年粗骨褐土。有 4 个肥力类型中属最瘠薄的类型。分布在该类型上的天然次生植被主要为荆条(*Vitex rugosula* var. *heterophylla*) 灌丛和荆条灌草丛。经营上应在保护好现有灌丛植被的基础上, 有计划选择耐旱、耐瘠薄的树种如侧柏(*Platycladus orientalis*) 和栓皮栎(*Quercus variabilis*) 等, 改造和恢复山地土壤条件, 防止进一步的水土流失。

肥力类型 II 本类型多于半阳半阴地段。土壤多为山地褐土。分布在这类型上的植被类型主要是荆条、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)、薄皮木(*Leptodermis oblonga*) 等为主的灌丛。在经营上可栽植紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*) 等阔叶乔灌木种, 提高土壤肥力, 然后再进一步以目的或中性树种取代之。

肥力类型 III 植被类型为三裂绣线菊、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、蚂蚱腿子(*Myrica dioica*) 等为主的阴坡灌木林。在经营上, 可利用其栽植山杏(*Prunus armeniaca*)、五角枫(*Acer truncatum*) 等树种或直接营造疏林结构的水保林, 但在尚未营造新林的情况下, 进行封育, 同样可以起到防止水土流失的作用和提高林地对降雨的调蓄作用。

肥力类型 IV 本类型主要分布于阴坡, 土壤多为山地淋溶褐土; 植被类型为三裂绣线菊、胡枝子、大果榆(*Ulmus macrocarpa*) 等灌木林以及椴树(*Tilia* sp.)、山杨(*Populus davidiana*) 次生林。可依据不同目的造林利用(如营造华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、油松等用材林或在平缓地段营造山楂(*Crataegus pinnatifida*) 等经济树种); 也可对现有的次生乔、灌木林加强培植和保护。

4 数值分类检验

为检验根据这 10 个主要因子所分类出的 4 个土壤肥力类型的效果, 采用 Fisher 判别^[4]方法建立多维判别函数进行回报与预测。

对参加运算的 35 个样本的判别函数的回报结果, 其拟合率为 100%, 这证明所划分的 4 个土壤肥力类型经数值分类检验是正确的。

5 相关分析

5.1 地形与土壤的典范相关分析^[4]

把地形中的坡向、坡位、坡度、海拔构成一集团, 把土体中的土厚、A 层厚、B 层石砾含量组成另一集团, 把土壤物理性质中的土壤含水量、容重、孔隙度、质地组成一集团, 把土壤化学特性中有机质、速效 P、速效 K、全 N 组为一集团, 用典范分析方法研究两两集团的相互关系。分析结果见表 4。

从表 4 中可看出, 地形与土体两集团的第一典范相关系数为 0.6397, 用 Bartlett 法^[7]作显著性检验表明, 在 $\alpha=0.05$ 的水平上, 仅第一典范相关系数是显著的, 其余都不显著。所以可认为地形与土体两集团相关非常显著。在它们的关系中, u_1 与 v_1 组成的第一对典范变量, u_1 是土体的线性组合, 在该线性组合中土层厚度负荷量最大 0.0074, 起了最重要的作用; 在 v_1 地形的线性组合中, 负荷量最大是坡向。由此可见, 典范变量 u_1 与 v_1 相关, 实质就是土体中的土层厚度与地形因子坡向相关密切, 坡向影响土层厚度。

在地形与土壤物理性质的典范分析中, 第一对典范系数为 0.8962, 仍用 Bartlett 检验, 证明它们的相关性是很显著的。因仅第一对典范相关系数显著, 其余都不显著, 故仅分析第一对典范变量。在物理性质线性组合 u_1 中土壤负荷量最大 0.0987, 其次是土壤容重。在 v_1 地形的线性组合中, 负荷量最大是海拔, 为 0.1742, 其次为坡向 0.1256。因此, 影响土壤水分的因子在很大程度上取决于海拔和坡向。

地形与土壤化学特性关系较为密切, 第一、二对典范系数分别为 0.6635, 0.5377, 经检验在 $\alpha=0.1$ 水平上相关显著。第一对典范变量中, 土化特性的线性组合 u_1 中速效 P 负荷量最大, 其次为土壤有机质, 而海拔、坡向在 v_1 中负荷量最大; 在第二对典范变量中, 海拔与全 N 量的负荷量最大。因此, 速效 P、有机质及全 N 量仍主要受海拔、坡向两因子的影响。

5.2 各特征因子间的简相关系数进一步分析

各因子间的简相关系数见表 5。从表中知, 各因子间都存在着一些正向或负向关系, 并某些两两特征间相关性还较为显著, 坡向与土壤水分相关性最大, 为 0.7754, 其次为有机质及土厚。这说明坡向对这 3 个

因子有很大作用,阴坡土壤水分、有机质含量及土层厚度高于阳坡,坡度、坡位与其它因子相关性均较小,海拔主要与全 N 量、土壤含水量相关稍较紧密,随海拔升高,全 N 量、含水量均呈递增,土层厚度、A 层厚度与有机质、含水量的相关系数均较大,因此,在土壤一般较薄的石质山地上,土层厚度、A 层厚度与土壤肥力(包括水分和养分的总容量)直接有关,而且与速效 P、K 及全 N 量均有一定相关。土层厚度及 A 层厚度既是土壤养分的补源,又是土壤矿质营养元素的贮存库。

表 4 典范分析结果表

Table 4 Results of canonical analysis

典范相关与变量 Canonical correlation and canonical variates	地形与土体 Physiography and soil body	地形与土壤物理性质 Physiography and physical conditions	地形与土壤化学性质 Physiography and soil chemical properties
第一对典范相关系数 The first canonical correlated coefficient	0.6397	0.8962	0.6635
第一对典范变量 The first canonical variates	$u_1 = 0.0074X_2 - 0.0002X_6$ $-0.0038X_7$ $v_1 = 0.1381X_1 - 0.0088X_2$ $-0.0100X_3 + 0.0916X_4$	$u_1 = 0.0987X_8 - 0.0970X_9$ $0.0068X_{10} + 0.0642X_{11}$ $v_1 = 0.1256X_1 - 0.0102X_2$ $-0.0116X_3 + 0.1742X_4$	$u_1 = 0.2126X_{12} - 1.0853X_{13}$ $0.0249X_{14} - 0.2471X_{15}$ $v_1 = 0.1055X_1 + 0.0615X_2$ $-0.0603X_3 + 0.1183X_4$
第二对典范相关系数 The second canonical correlated coefficient	0.3567	0.3617	0.5377
第二对典范变量 The second canonical variates	$u_2 = -0.0108X_5 + 0.0287X_6$ $-0.0010X_7$ $\hat{v}_2 = -0.0411X_1 + 0.1344X_2$ $-0.0806X_3 + 0.2484X_4$	$u_2 = 0.0389X_8 - 0.5668X_9$ $-0.0491X_{10} + 0.2197X_{11}$ $v_2 = 0.0818X_1 - 0.0870X_2$ $-0.0874X_3 + 0.2437X_4$	$u_2 = -0.0348X_{12} - 0.2307X_{13}$ $-0.0510X_{14} - 2.6265X_{15}$ $v_2 = -0.0216X_1 + 0.0060X_2$ $-0.0824X_3 - 0.3304X_4$

表 5 各特征因子简单相关系数分析表

Table 5 Simple correlation coefficients of factors

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_2	0.56	-0.01	-0.13	0.19	1.00	0.77	-0.24
X_3	0.35	0.13	-0.20	0.25	0.77	1.00	-0.02
X_4	-0.40	0.11	0.17	-0.05	-0.24	-0.02	1.00
X_5	0.78	-0.11	-0.26	0.39	0.73	0.54	-0.28
X_6	-0.29	-0.07	0.03	-0.22	-0.09	-0.20	0.20
X_{10}	0.44	0.07	0.03	0.07	0.20	0.35	-0.03
X_{11}	-0.12	-0.09	-0.01	0.10	-0.38	-0.11	-0.01
X_{12}	0.57	0.13	-0.26	0.25	0.71	0.66	-0.22
X_{13}	0.09	-0.03	0.05	0.03	0.34	0.36	-0.15
X_{14}	0.95	0.11	-0.42	0.02	0.48	0.45	-0.02
X_{15}	0.09	-0.04	0.01	0.46	0.27	0.33	0.06

综合以上相关结果分析表明:地形因子的坡向为主导因子,其次为海拔,它们决定着土壤厚度、土壤水分及有机质,而土层及 A 层厚度又与土壤物理化学特性直接有关,对土壤的营养状况影响很大。所以,在野外进行土壤肥力鉴别时,可直接用坡向、海拔、土层及 A 层厚度来判定土壤肥力,并可用其作为主导因子来进一步划分成地类型。

参 考 文 献

- 1 林业部调查规划院主编,森林调查手册,北京:中国林业出版社,1984,607~704
- 2 国家标准局,森林土壤分析方法(第 2、3 册),北京:中国标准出版社,1988
- 3 袁嘉祖,冯晋臣编,模糊数学及其在林业中的应用,北京:中国林业出版社,1988,33~52
- 4 赵荣慧,沈培元,辽东山区核桃楸人工林立地类型数量分类的研究,生态学报,1988,8(1):51~58
- 5 郎奎健,唐守正编著,IBMPC 系列程序集,北京:中国林业出版社,1989,131~134,142~146
- 6 Webster R. Canonical correlation in pedology: How useful? *J soil sci.*, 1977, (28): 196~221
- 7 北京林学院主编,数理统计,北京:中国林业出版社,1980,162~164