

太行山封育区森林土壤肥力的特性研究

贾志清

(中国林业科学研究院 林业研究所, 北京 100091)

摘要: 通过主成分分析选出 10 个环境指标作为影响封育区森林土壤肥力的关键因子, 采用聚类分析法将封育区土壤肥力划分为 4 个类型, 并对分类结果进行了检验。在对 4 个土壤肥力类型综合评价的基础上, 提出了不同肥力类型的植被恢复措施及其经营利用方向。其分析结果对合理利用、恢复土壤资源及营林有实际指导意义。

关键词: 封育区; 森林土壤; 肥力特性; 植被恢复

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)03-0028-04

中图分类号: S714.8

Forest Soil Fertility Characteristics in Closure Area of Taihang Mountain

JIA Zhi-qing

(Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry Science, Beijing 100091, China)

Abstract Ten environment indicators are selected as key factors influencing forest soil fertility characteristics in closure area by using the method of main composition analysis. Forest soil fertility is divided into four types in closure area by the way of clustering analysis, and the classification result is checked up. On the basis of integrate evaluation on four types of soil fertility, the measures of vegetation restoration and its management utilization direction are given as the different fertility type. There are actual produce meanings of research result to reasonable utilization, soil resource restoration and forest construction.

Keywords closure area; forest soil; fertility characteristics; vegetation restoration

试验区属太行山砂岩低山区, 位于北京市西郊门头沟区华北林业实验中心, 在北纬 $39^{\circ}54' - 39^{\circ}59'$, 东经 $115^{\circ}59' - 116^{\circ}07'$ 之间。海拔在 100~997 m 之间, 气候条件为暖温带大陆东岸半湿润季风气候, 土壤主要是在沙岩风化坡积物上发育起来的山地褐土, 山地土层普遍较薄, 含石量高。由于历史原因和不合理的樵垦, 这里的森林植被受到了反复破坏, 天然森林植被完全退化为灌丛和灌草丛; 土壤也受到了不同程度的侵蚀。因此, 为了森林植被尽快恢复, 就得找出封禁后影响土壤肥力的主导生态因子并作数量化分析、评价; 划分土壤肥力类型, 作为采取后续林业措施的依据, 及对封禁后形成的水土保持天然灌木林的效益进行评价的重要依据。

1 研究方法

(1) 标准样地设置: 采用分类抽样调查法, 共设标准样地 35 块;

(2) 土壤剖面调查: 森林土壤调查法^[1];

(3) 土样理化分析: 森林土壤分析法^[2];

(4) 数据处理与分析方法^[3]: 多元统计分析法、主成分分析法、聚类分析法、Fisher 判别法

2 封育区土壤肥力特性分析

2.1 影响土壤肥力关键因子的确定

本文采用主成分分析方法对试区 35 个土壤剖面、15 个环境指标进行了统计分析。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 ($mg/100g$) X_{13} 、速效 K ($mg/100g$) 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_3 、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 、坡位 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, 即:

$$\text{坡向 } U(X_1) = \begin{cases} 0.3(1) & (1)\text{- 阳坡} \\ 0.5(2) & (2)\text{- 半阳} \\ 0.8(3) & (3)\text{- 半阴} \\ 1.0(4) & (4)\text{- 阴坡} \end{cases}$$

坡位 $U(X_2) =$	0.1(1)	(1) — 山脊
	0.4(2)	(2) — 上部
	1.0(3)	(3) — 中部
	0.8(4)	(4) — 下部
	0.9(5)	(5) — 山谷
土壤质地 $U(X_{11}) =$	0.4(1)	(1) — 重壤
	0.8(2)	(2) — 轻壤
	1.0(3)	(3) — 中壤

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 $X(35, 15)$ (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) 以及矩阵的特征值、贡献率和特征向量(结果见表 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 (0.863 3) 和土壤厚度 (0.858 2)、土壤有机质 (0.857 6) 是最大的,它们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,负荷量最大的是容重和速效 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。已知第 1 主成分的信息量 (44.60%) 最大,含负荷量较大的因子也较多,主要用它作为类型分类的主要依据;而第 2, 3 主成分的信息量 (分别为 20.44%, 18.43%) 较小,所以在分类中只处于辅佐地位。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,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。

2.2 土壤肥力类型的划分

本文采用聚类分析中的离差平方和法,使所分出的类内各样本间差异最小,各类间的差异最大,当离差平方和约 40 处时作异质性划分水平,可将 35 个土壤样本分成 4 个肥力类型。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。

(1) 肥力类型 I 地表只有很薄的腐殖质层,土层干瘠,有机质及营养元素含量偏低,主要分布于阳坡,坡度普遍较陡;存在水土流失现象。土壤类型为山地褐土和山地幼年粗骨褐土。在 4 个肥力类型中属最薄的类型。

表 1 主成分分析的因子负荷量、特征根及贡献率

主成分	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	特征根	贡献率 /%
1	0.71	0.04	-0.32	0.34	0.86	0.79	-0.31	0.86	-0.31	0.46	-0.21	0.86	0.41	0.54	0.45	4.67	44.60
2	0.40	0.01	0.02	-0.05	-0.08	-0.15	-0.28	0.17	-0.66	0.44	-0.17	0.07	-0.62	-0.58	-0.51	2.14	20.44
3	-0.13	-0.24	0.40	0.60	-0.21	0.03	0.16	-0.07	-0.26	0.43	0.55	0.02	0.04	-0.29	0.57	1.93	18.43

表 2 4 个肥力类型土壤指标值的平均值及标准差

肥力类型	土层厚度 / cm	A 层厚度 / cm	土壤含水量 / %	有机质 / %	速效 P / $(\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{g}^{-1})$	速效 K / $(\text{mg} \cdot 100^{-1} \text{g}^{-1})$	全 N 量 / %
I	43.1 ± 8.1	6.3 ± 2.4	4.9 ± 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

肥力类型	样本数	海拔 / m		坡 向				坡 度				坡 位				
		< 500	> 500	阳	半阳	半阴	阴	平	缓	斜	陡	险	上	中	下	
I	7	5	2	3	2	2		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		4	1		5	3	3
IV	7	2	5		1	2	4				2	2	2	3	2	2

分布在该类型上的天然次生植被主要为荆条 (*Vitis nugundo* 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。

(2) 肥力类型 II。土表有较薄或中等的腐殖质层,土层厚一般约为 50 cm。本类型多为半阳半阴地段,土壤多为山地褐土。分布在这种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 coggygia*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 等阔叶乔木树种,提高土壤肥力,然后再进一步以目的或中性树种取代之。

(3) 肥力类型 III。土层厚度约有 65 cm,土壤水分条件稍好,保水固土较强,腐殖质层发育较好,自然肥力高。植被类型为三裂绣线菊、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、蚂蚱腿子 (*Myriopholis 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。

(4) 肥力类型 IV。该类型主要分布于阴坡,土壤多为山地淋溶褐土;有机质及全 N 含量均较高,土层

深厚,腐殖质丰富,水分条件较好,自然肥力高,但海拔偏高。植被类型为三裂绣线菊、胡枝子、大果榆 (*Ulmus macrodarpa*) 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木、灌木林加强培植和保护。

2.3 检验划分结果

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 判别方法建立三维判别函数进行回报与预测。

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 个土壤肥力类型是符合实际的,经数值分类检验是正确的。

2.4 各特征因子相关分析

在土壤肥力分类中,主要是根据了土壤理化性质来划分。但土壤理化性质不容易直观判定,所以弄清各因子间的相互关系特别是地形与土壤的关系,对于在野外直观简易判别土壤肥力的好坏很重要。

2.4.1 地形与土壤的典范相关分析 把地形中的坡向、坡位、坡度、海拔构成一集团,土体中的土厚 A 层、厚 B 层、石砾含量组成一集团,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,土壤化学特性中的有机质、速效 P、速效 K、全 N 为一集团。用典范分析方法研究两两集团的相互关系 (表 4)。

表 4 地形与土壤典范分析结果

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

地形与土体两集团的第一典范相关系数为 0.6397,显著性检验表明,在 $T = 0.05$ 的水平上,仅第一典范相关系数显著。所以地形与土体两集团相关非常显著。 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,负荷量最大的是坡向。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,这和我们在野外观察结果相符。并从表 5 知,它们呈正相关,说明阴坡土壤保存得较好,这主要是因为阴坡植被茂密,生长良好,有利于防止土壤的流失和侵蚀。

在地形与土壤物理性质的典范分析中,第一对典范系数为 0.896 2,显著性检验表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 中土壤含水量负荷量最大(0.0987),其次是土壤容重。在 v_1 地形的线性组合中,负荷量最大的是海拔(0.174 2),其次为坡向(0.125 6)。因此,影响土壤水分的因子在很大程度上是取决于海拔和坡向,这和野外实际情况吻合。高海拔比低海拔土壤湿度要大,阴坡好于阳坡,阳坡土壤湿度小,保水性差。特别是在研究区 600 m 以上的阴坡灌木林及次生林内,保水良好,土壤湿度远比低海拔阳坡要大。

地形与土壤化学性关系较为密切,第一、二对典范系数分别为 0.663 5,0.537 7,经检验在 $T=0.1$ 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 2 个因子的影响。

2.4.2 各特征因子间的简相关系数分析 各因子间的简相关系数见表 5

表 5 各特征因子简相关系数分析

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_5	0.56	-0.01	-0.13	0.19	1.00	0.77	-0.24
X_6	0.35	0.13	-0.20	0.25	0.77	1.00	-0.02
X_7	-0.40	0.11	0.19	-0.05	-0.24	-0.02	1.00
X_8	0.78	-0.11	-0.26	0.39	0.73	0.54	-0.28
X_9	-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

从表 5 中可知,各因子间都存在着一些正向和负向关系,并且某些两两特征间相关性还较为显著,这证明了各因子间并非正交性特征。坡向与土壤水分相关性最大,为 0.775 4,其次为有机质及土厚。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 层厚度与土壤肥力直接有关,而且与速效 P、K 及全 N 量均有一定线性相关。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。

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,并可用它们作为主导因子来地一步细划分成立地类型。

3 结 论

第一主成分信息量最大(44.60%),其中土层厚度、A 层厚度、坡向及土壤有机质、土壤含水量是影响土壤肥力的主导因子。通过聚类分析,封禁后土壤肥力分为 4 类。

肥力类型 I 地表只有很薄的腐殖质层,土层干瘠,有机质及营养元素偏低,主要分布于阳坡,坡度普遍较陡,有水土流失现象,对于此类型在经营利用上应在保护好现有灌丛植被的基础上,有计划的选择耐旱、耐瘠薄的树种如侧柏和栓皮栎等,形成疏林—天然灌草复层植被,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 土表有较薄或中等的腐殖质层,土层厚一般约为 50 cm,该类型多为半阳半阴地段,可栽植紫穗槐、黄栌、刺槐等阔叶乔灌木种,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 土层厚度约有 65 cm,土壤水分条件稍好,保水固土较强,腐殖质层发育较好,自然肥力高,对于此类型在经营利用上可栽植山杏、五角枫等树种或直接营造疏林结构的水保林。

肥力类型 IV 土层深厚,有机质及全 N 含量均较高,腐殖质丰富,水分条件较好,自然肥力高,但海拔偏高,该类型主要分布于阴坡,在经营利用上可依据不同目的进行造林,如营造华北落叶松、油松等用材林或在平缓地段营造山楂等经济树种,也可对现有的次生乔、灌木林加强培植和保护。

[参 考 文 献]

- [1] 林业部调查规划院主编.森林调查手册[M].北京:中国林业出版社,1984.
- [2] 国家标准局.森林土壤分析方法[M]第二、三册.北京:中国标准出版社,1988.
- [3] 袁嘉祖,冯亚臣.模糊数学及其在林业中的应用[M].北京:中国林业出版社,1988.