

文章编号: 1001-1498(2006)05-0574-06

元谋干热河谷不同人工林土壤肥力比较研究

李 昆^{1,2}, 张昌顺^{2,3}, 马姜明^{2,4}, 郑志新²

(1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局云南元谋荒漠生态系统定位研究站, 云南 昆明 650224; 3. 国际竹藤网络中心, 北京 100102; 4. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要: 分析测定元谋干热河谷 3 个试验点 8 种不同人工林地土壤的物理性质、化学性质、酶活性和微生物数量变化, 运用因子分析方法对人工造林后的林地土壤肥力进行综合评价。结果表明, 不同人工林地的土壤肥力均有提高, 尤其小叶型豆科树种及其与非豆科树种的混交林, 对干热河谷退化土壤生态系统的恢复具有重要作用。同时, 呈现出造林时间越长, 土壤生态系统的恢复效果越明显的趋势。但应加强林地土壤管理, 减少和杜绝人为干扰。

关键词: 干热河谷; 人工林; 土壤肥力恢复

中图分类号: S714 文献标识码: A

Comparative Research on Soil Fertility of Different Artificial Plantations in Yuanmou Dry-hot Valley, Yunnan Province

LI Kun^{1,2}, ZHANG Chang-shun^{2,3}, MA Jiang-ming^{2,4}, ZHENG Zhi-xin²

(1. College of Biologic Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Resources Insects, CAF; Yuanmou Desert Ecosystem Research Station of the State Forestry Administration, Kunming 650224,

Yunnan, China; 3. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China;

4. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The paper analyzed the changes of soil physical and chemical properties, enzyme activities and the amount of microbes of 8 different types of artificial forest in 3 experimental sites in Yuanmou County, Yunnan Province. At the same time, comprehensive evaluation of soil fertility in artificial forests was conducted by factor analysis. The results showed that soil fertilities were improved in different artificial forests, especially in little-leaf acacia pure forests and in acacia and non-acacia mixed forests. It was very useful for the recovery of degraded soil ecological system in dry-hot valley. On the other hand, it was found that the time of afforestation and the recovery of soil ecological system have obvious positive correlation. So the authors suggested that it should enhance the management of the soil in artificial forest, and decrease or forbid external disturbance.

Key words: dry-hot valley; artificial forest; recovery of soil fertility

元谋干热河谷是云南省乃至我国生态建设的重点、难点。这里脆弱的生态环境已成为元谋可持续发展的瓶颈, 植被恢复刻不容缓。随着西部大开发和各大林业工程的推进, 元谋干热河谷植

被恢复初现成效。深入研究人工林对林地的培肥效果, 对了解人工林林地土壤矿质营养元素的供应状况、人工林土壤肥力的发展趋势、维持持续立地生产力、恢复生态环境以及对指导生产实

收稿日期: 2005-12-15

基金项目: 国家“十五”攻关项目(2001BA606A-07)和科技部公益性项目(2000DB50164)资助

作者简介: 李 昆(1958—), 云南墨江人, 研究员。

践、调节和改善各种限制因素、加速养分的循环利用速率和最大限度地提高人工林的生产力等都具有深刻的理论和实践意义。众所周知,土壤肥力是多种因子的综合表现^[1~4],孤立地用某个或几个因子来反映人工林土壤肥力状况都是不科学的。因此,需要寻找全面合理的方法评价人工林培肥土壤的作用。而因子分析(Factor Analysis)是主成分分析的推广,它是从研究相关矩阵内部的依赖关系出发,把一些具有错综复杂关系的变量归结为少数几个综合变量的一种多变量统计分析方法^[5]。本文运用因子分析和加乘法原理从土壤物理性质、化学性质、土壤酶活性和土壤微生物分析了干热河谷 8 种主要人工林的培肥效果。

1 试验区概况

试验地设在云南省元谋县盆地内 3 个试验点(小横山、岭庄、磨诃)上,属典型的南亚热带季风干热气候区,光热充足,气候炎热、干湿季分明,有“天然温室”之称;年平均温度为 21.9℃,平均降水量为 630.78 mm,降水集中在 6—8 月,年平均蒸发量约为 3 426.3 mm,年平均无霜期为 350~365 d^[6]。盆地内水土流失十分严重,土林林立,山崩、塌方、滑坡等自然灾害发生频繁,生态环境日趋恶化。

本区土壤为地带性燥红土、褐红土和黄棕土。林下主要植被有苦刺(*Sophora viciifolia* Hance)、车桑子(*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq)、余甘子(*Phyllanthus emblica* L.)、扭黄茅(*Heteropogon contortus* (L.) Beauv.)、三芒草(*Aristida adscensionis* L.)等^[7]。

2 研究方法

2.1 样地设置及试验材料

在小横山试验点上选取了相似立地条件下的 6 种不同类型 13 年生人工林样地 26 块(3 块荒山对照),其人工林类型为:赤桉(*Eucalyptus camaldulensis* Dehu) 新银合欢(*Leucaena leucocephala* (Lam.) Dewit)混交林、赤桉(*E. camaldulensis* Dehu) 苏门答腊金合欢(*Acacia glauca* (L.) Moench)混交林、苏门答腊金合欢纯林、新银合欢纯林、赤桉纯林和柠檬桉(*E. citriodora* Hook) 新银合欢混交林,分别用 1、2、3、4、5、6 表示;在磨诃试验点上选取了相似立地条件下的 6 年生印楝(*Azadirachta indica* A. Juss)人工纯林样地 6 块(3 块荒山对照),6 年生印

楝纯林用 7 表示;在岭庄试验点上选取了相似立地条件下的 13 年生大叶相思(*A. auriculiformis* A. Cunn)人工纯林样地 5 块(2 块荒山对照),13 年生大叶相思林用 8 表示。

2.2 采样及测定方法

2004 年雨季(8 月 10 日)按“S 形布点,先在 0~20 cm 土层用环刀分层取样,以测定土壤密度、孔隙度和土壤水分指标,再用无菌袋采集其土样,最后将相同林分的土样混合(相应对照地的土样也混合),以测其土壤化学性质^[8];土壤酶活性采用周礼恺编的《土壤酶学》中的方法测定^[9]。细菌用牛肉汁蛋白质琼脂培养基平板混菌法培养;真菌用马氏琼脂培养基平板混菌法培养;放线菌用高氏 1 号培养基平板混菌法培养^[10]。

2.3 统计分析方法

采用 SPSS 统计软件对各项数据进行因子分析^[11]。

3 结果与分析

3.1 土壤肥力变化

3.1.1 土壤物理性质的变化 土壤及时满足植物对水、肥、气、热要求的能力称为土壤肥力^[2]。虽然土壤肥力是众多因子的综合,但土壤物理性质直接影响着土壤的透水、透气及养分在土壤胶体中的运输。因此,土壤物理性质是土壤肥力一个重要的方面。

由表 1 看出,营造人工林后,土壤物理性质明显优于对照地荒地。具体表现为,土壤密度降低了 4.05%~15.61%,土壤密度是表征土壤物理结构的一个重要指标。由于林木枯落物及其根系的作用,林地变得疏松,其透气、透水性能均有不同程度的提高,总孔隙度提高了 7.56%~24.31%,毛管孔隙度提高了 4.69%~30.01%,土壤饱和含水量增加了 16.52%~51.83%,毛管持水量提高 17.63%~45.48%,土壤田间持水量提高了 16.8%~45.89%,一定程度上降低了土壤水分蒸发。说明干热河谷营造人工林,对改善土壤物理性质效果明显。排除对照的基础性差异,苏门答腊金合欢纯林改良土壤物理性质效果较佳,其土壤密度最小,总孔隙度、毛管孔隙度及土壤水分等指标的改善均高于其他林分,各类混交林的改良效果也比较好,而赤桉纯林和印楝纯林的土壤物理性质改良作用较差。

3.1.2 土壤化学性质的变化 土壤 pH 值是影响

土壤肥力的重要因素之一,也是影响土壤生态系统的一个重要指标^[12,13]。土壤微生物的活动、有机质的分解、营养元素的释放与转化、土壤酶活性的高低等都与土壤 pH 值有关。而土壤养分是地质大循环和生物小循环共同作用的结果,其含量的高低直接影响林分的生产力。

营造人工林后,虽然土壤 pH 值变化不显著,但原造林地碱性或弱碱性的土壤有酸性增强态势;不同林分的林地土壤全 P、全 K 和有机质含量均较对照地增加,其它指标的变化各有差异。就不同林分而言,赤桉、苏门答腊金合欢混交林和柠檬桉、新

银合欢混交林的土壤养分含量均较其对照有明显增加,赤桉、新银合欢混交林、苏门答腊金合欢纯林、新银合欢纯林、赤桉纯林和大叶相思纯林,除少数几种养分含量较相应对照低外,其他养分含量均较相应对照增加;而印楝纯林除全 N、全 K、有机质、水解 N 和有效 P 含量高于对照外,其他养分含量则低于对照,这可能与印楝人工林前期生长快,养分消耗多有关。说明在干热河谷植被恢复中,营造豆科与非豆科树种混交林对改善土壤化学性质有明显的效果和重要的意义。

表 1 各林分土壤肥力指标

指标	小横山							磨河		岭庄	
	1	2	3	4	5	6	CK	7	CK	8	CK
土壤密度 / (g · cm ⁻³)	1.66	1.55	1.55	1.47	1.47	1.46	1.73	1.37	1.47	1.41	1.55
总孔隙度 / %	35.78	38.49	41.78	39.68	39.88	39.78	32.08	43.56	40.5	42.57	34.99
毛管孔隙度 / %	30.86	33.62	35.48	31.71	28.57	30.81	27.29	33.58	30.04	31.16	28.90
非毛管孔隙度 / %	4.92	4.87	6.30	7.97	11.31	8.97	4.79	9.98	10.46	11.41	6.09
土壤饱和含水量 / %	21.65	25.55	27.1	27.4	28.21	27.91	18.58	32.09	27.54	30.42	22.79
土壤毛管持水量 / %	18.67	22.38	23	21.71	19.5	21.46	15.81	24.55	20.41	22.15	18.83
土壤田间持水量 / %	18.35	22.03	22.73	21.35	19.17	20.99	15.58	24.28	20.3	21.69	18.57
pH 值	5.79	6.04	5.33	4.63	6.16	6.21	6.04	5.99	6.13	5.47	6.18
全 N / (g · kg ⁻¹)	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6	0.4	0.8	0.9	0.8	0.5
全 P / (g · kg ⁻¹)	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1
全 K / (g · kg ⁻¹)	10.6	9.1	10.5	9.8	8.2	9.9	8.1	9.8	7.1	9.1	6.6
有机质 / (g · kg ⁻¹)	10.8	8.7	10.1	4.4	5.8	11.3	4.0	15.2	10.7	9.1	6.1
水解 N / (mg · kg ⁻¹)	30.97	18.69	42.45	43.05	10.34	24.94	15.46	56.29	42.11	29.31	25.32
有效 P / (mg · kg ⁻¹)	0.08	1.88	1.02	0.57	1.11	1.14	0.92	1.05	0.76	1.36	0.75
有效 K / (mg · kg ⁻¹)	52.01	38.62	42.48	88.67	75.91	40.31	24.59	44.67	52.91	44.34	53.61
交换性 Ca / (mg · g ⁻¹)	0.73	1.09	0.52	0.86	1.33	0.94	0.63	1.27	1.44	0.53	1.25
交换性 Mg / (mg · g ⁻¹)	0.20	0.23	0.08	0.07	0.49	0.20	0.08	0.13	0.16	0.13	0.24
有效 Fe / (mg · kg ⁻¹)	13.71	10.48	10.16	2.93	4.93	10.05	9.56	6.30	7.34	7.89	6.42
有效 Cu / (mg · kg ⁻¹)	0.65	0.73	0.49	0.60	0.57	0.64	0.36	0.56	0.60	0.52	0.42
有效 Mn / (mg · kg ⁻¹)	50.74	37.73	93.95	33.21	23.52	43.17	37.43	11.61	16.01	47.09	20.38
磷酸酶活性 / (酚 mg · g ⁻¹)	10.88	52.95	29.01	32.78	21.76	22.97	26.11	4.84	25.39	39.10	3.67
蔗糖 / (0.1NNa ₂ S ₂ O ₃ mL · g ⁻¹)	0.25	0.34	0.29	0.07	0.20	0.58	0.09	0.31	0.35	0.12	0.15
蛋白酶 / (甘氨酸 mg · g ⁻¹)	5.63	6.46	8.31	6.42	0.24	7.11	4.42	6.91	5.19	9.54	5.37
脲酶 (NH ₃ - N mg · (100 g) ⁻¹)	3.55	0.83	4.48	3.08	1.6	4.74	4.84	3.14	2.14	5.10	2.78
多酚氧化酶 / (0.1NKMnO ₄ mL · g ⁻¹)	3.47	4.44	8.05	4.17	15.4	6.52	4.85	17.06	12.21	1.53	5.00
过氧化氢酶 (红紫脲精 mg · (100 g) ⁻¹)	0.70	0.77	0.81	0.74	0.73	0.70	0.70	0.45	0.70	0.77	0.60
细菌 / (10 ⁶ N · g ⁻¹ (干土))	2.28	4.80	4.27	2.10	2.30	4.71	1.07	1.56	2.18	1.56	2.18
放线菌 / (10 ⁶ N · g ⁻¹ (干土))	0.58	1.22	1.14	1.90	0.59	1.40	1.02	1.33	1.24	0.83	0.52
真菌 / (10 ⁴ N · g ⁻¹ (干土))	7.43	5.15	6.42	6.17	3.19	6.58	1.68	1.47	4.07	2.24	2.67

3.1.3 土壤酶活性的变化 土壤中一切生化反应,实际都是在酶的参与下进行的,土壤酶活性的高低反映了土壤中各种生化反应进行的程度和方向。大量研究表明,土壤酶活性与土壤理化性质、水热状况、碳水化合物含量、吸收性复合体特征以及营林抚育措施等密切相关,是土壤肥力的一个重要指标^[14]。

对不同树种人工林地的测定结果表明,不同树种林地的不同土壤酶活性变化不一。苏门答腊金合欢林分除脲酶活性较对照低外,其他酶的活性均高于对照荒地;其他林分除少数(如脲酶等)酶活性外,其余酶活性指标也都优于各自的对照地荒地。同时,除赤桉纯林的蛋白酶、印楝纯林的过氧化氢酶外,其它林地的此二项指标均较相应对照高,说明人工林对提高和改善干热河谷退化土壤的酶活性具有重要作用。

不过,赤桉、新银合欢、赤桉、苏门答腊金合欢、新银合欢和大叶相思人工林的土壤多酚氧化酶活性较相应对照有所降低。多酚氧化酶活性的降低会导致林地土壤酚类物质积累,有可能引起地力衰退,对此应予以重视。从整体来看,苏门答腊金合欢人工林对提高土壤酶活性效果较佳,赤桉、苏门答腊金合欢混交林也有较好效果;大叶相思纯林则较差,不仅多酚氧化酶活性低于对照,脲酶活性还高于对照,而脲酶活性增强会导致土壤 NH_4^+ 的积累,从而加剧土壤中氮的挥发和 NO_2^- 的积累。

3.1.4 土壤微生物的变化 微生物参与土壤有机质的分解、腐殖质的合成、养分转化和加速土壤的发育与形成,因此,土壤微生物组成及其数量的变化,一般反映了林地土壤肥力的变化^[15]。

试验表明,林地土壤微生物变化因树种而异。赤桉、苏门答腊金合欢、苏门答腊金合欢、新银合欢和柠檬桉、新银合欢等人工林地的土壤细菌、真菌和放线菌数量均较其对照高,而印楝和大叶相思林地的细菌和真菌,赤桉和赤桉、新银合欢林地的放线菌数量较相应对照荒地低,尤其印楝和大叶相思纯林,其微生物总数均较各自对照少。其原因可能与树种生物学特性及林下土壤裸露、干燥,叶片厚大不易分解,容易被河谷风吹出林地有关。由于缺少有效养分的归还,且水土流失又严重,使得林地微环

境不利现有微生物的生存繁殖。一般具小型叶片的豆科树种对增加干热河谷土壤有机质有明显作用^[16],因而,柠檬桉、新银合欢、赤桉、苏门答腊金合欢、苏门答腊金合欢和新银合欢等林地对增加土壤微生物数量效果明显。

3.2 土壤肥力综合评价

3.2.1 土壤肥力因子隶属度值与权重、负荷量的计算 土壤肥力是土壤物理性质、土壤化学性质、土壤酶活性和土壤微生物等指标的综合反映。据此,本研究根据各单项肥力指标的代表性和对植被影响的主导性,选择土壤表层(0~20 cm)各肥力因子的数据,建立不同人工林土壤肥力评价指标体系。

由于土壤肥力因子变化具有连续性,故各评价指标采用连续性质的隶属度函数,并从主成分因子负荷量值的正负性,确定隶属度函数分布的升降性,这与各因子对植被的效应相符合。对于 pH 值、土壤密度采用降型分布函数^[16],即

$$F(X_i) = (X_{i\max} - X_{ij}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (1)$$

而对土壤养分因子和生物因子,采用升型函数^[16],即:

$$F(X_i) = (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (2)$$

其中 $F(X_i)$ 表示各肥力因子的隶属度值, X_{ij} 表示各肥力因子值, $X_{i\max}$ 和 $X_{i\min}$ 分别表示第 i 项肥力因子中的最大值和最小值。根据式(1)和(2)计算了各处理土壤肥力因子的隶属度值(表 2)。

以往研究普遍采用专家打分来确定各单项肥力指标的权重系数。为避免人为影响,本文运用 SPSS 软件对各处理土壤肥力因子的隶属度值进行因子分析,以计算公因子方差确定权重系数^[17]。因子分析结果,前 6 个公因子对于总方差的累积贡献率达 88.58%,再经公因子旋转得公因子载荷矩阵,通过计算得土壤各肥力指标的公因子方差,其值表示对土壤肥力总体变异的贡献,据此确定各指标权重值(表 2)。

3.2.2 土壤肥力综合指标值计算 根据模糊数学中的加乘法原则,求得土壤肥力综合评价指标 $IFI^{[17]}$ 。

$$IFI = W_i \times F(X_i)$$

式中, W_i 表示各肥力因子的权重向量; $F(X_i)$ 表示各肥力因子的隶属度值;计算结果如表 3。

表 2 各肥力因子的隶属度值、公因子方差和权重值

指标	小横山						磨诃		岭庄		公因子 方差	权重	
	1	2	3	4	5	6	CK	7	CK	8			CK
土壤密度	0.19	0.50	0.50	0.72	0.72	0.75	0.00	1.00	0.72	0.89	0.50	0.927	0.038
总孔隙度	0.32	0.56	0.84	0.66	0.68	0.67	0.00	1.00	0.73	0.91	0.25	0.988	0.040
毛管孔隙度	0.44	0.77	1.00	0.54	0.16	0.43	0.00	0.77	0.34	0.47	0.20	0.816	0.033
非毛管孔隙度	0.02	0.01	0.23	0.48	0.98	0.63	0.00	0.78	0.86	1.00	0.20	0.910	0.037
土壤饱和含水量	0.23	0.52	0.63	0.65	0.71	0.69	0.00	1.00	0.66	0.88	0.31	0.984	0.040
土壤毛管持水量	0.33	0.75	0.82	0.68	0.42	0.65	0.00	1.00	0.53	0.73	0.35	0.872	0.035
土壤田间持水量	0.32	0.74	0.82	0.66	0.41	0.62	0.00	1.00	0.54	0.70	0.34	0.876	0.036
pH值	0.27	0.11	0.56	1.00	0.03	0.00	0.11	0.14	0.05	0.47	0.02	0.862	0.035
全 N	0.60	0.20	0.60	0.20	0.20	0.40	0.00	0.80	1.00	0.80	0.20	0.787	0.032
全 P	0.40	0.40	0.40	0.80	1.00	0.80	0.40	0.20	0.20	0.40	0.00	0.976	0.040
全 K	1.00	0.63	0.98	0.80	0.40	0.83	0.38	0.80	0.13	0.63	0.00	0.770	0.031
有机质	0.61	0.42	0.54	0.04	0.16	0.65	0.00	1.00	0.60	0.46	0.19	0.981	0.040
水解 N	0.45	0.18	0.70	0.71	0.00	0.32	0.11	1.00	0.69	0.41	0.33	0.801	0.032
有效 P	0.00	1.00	0.52	0.27	0.57	0.59	0.47	0.54	0.38	0.71	0.37	0.969	0.039
有效 K	0.43	0.22	0.28	1.00	0.80	0.25	0.00	0.31	0.44	0.31	0.45	0.977	0.040
交换性 Ca	0.23	0.62	0.00	0.37	0.88	0.46	0.12	0.82	1.00	0.01	0.79	0.975	0.040
交换性 Mg	0.31	0.38	0.02	0.00	1.00	0.31	0.02	0.14	0.21	0.14	0.40	0.612	0.025
有效 Fe	1.00	0.70	0.67	0.00	0.19	0.66	0.62	0.31	0.41	0.46	0.32	0.851	0.035
有效 Cu	0.78	1.00	0.35	0.65	0.57	0.76	0.00	0.54	0.65	0.43	0.16	0.809	0.033
有效 Mn	0.48	0.32	1.00	0.26	0.14	0.38	0.31	0.00	0.05	0.43	0.11	0.834	0.034
磷酸酶活性	0.15	1.00	0.51	0.59	0.37	0.39	0.46	0.02	0.44	0.72	0.00	0.869	0.035
蔗糖酶	0.35	0.53	0.43	0.00	0.25	1.00	0.04	0.47	0.55	0.10	0.16	0.909	0.037
蛋白酶	0.58	0.67	0.87	0.66	0.00	0.74	0.45	0.72	0.53	1.00	0.55	0.831	0.033
脲酶	0.63	0.00	0.85	0.53	0.18	0.92	0.94	0.54	0.31	1.00	0.46	0.961	0.039
多酚氧化酶	0.12	0.19	0.42	0.17	0.89	0.32	0.21	1.00	0.69	0.00	0.22	0.727	0.030
过氧化氢酶	0.69	0.89	1.00	0.81	0.78	0.69	0.69	0.00	0.69	0.89	0.42	0.775	0.032
细菌	0.32	1.00	0.86	0.28	0.33	0.98	0.00	0.13	0.30	0.13	0.30	0.862	0.035
放线菌	0.04	0.51	0.45	1.00	0.05	0.64	0.36	0.59	0.52	0.22	0.00	0.142	0.006
真菌	1.00	0.62	0.83	0.79	0.29	0.86	0.04	0.00	0.44	0.13	0.20	0.943	0.038

表 3 土壤肥力综合指标值 (IFI)

林分 指标	小横山						磨诃		岭庄		
	1	2	3	4	5	6	CK	7	CK	8	CK
IFI	0.430	0.532	0.612	0.521	0.469	0.606	0.192	0.578	0.509	0.547	0.280
与对照相比 /%	224.0	277.1	318.8	271.4	244.3	315.6	100.0	113.6	100.0	195.4	100.0

虽然从上述各类林地土壤肥力的具体指标考察,其数值有增有减,不过,多元统计分析结果显示,这些林地土壤肥力综合指标值均高于相应对照荒地。其中,苏门答腊金合欢土壤肥力综合指数 (IFI=0.612) 最高,柠檬桉-新银合欢混交林次之 (IFI=0.606),赤桉-新银合欢混交林的 IFI 值较低 (IFI=0.430)。充分说明,干热河谷的植被恢复不仅改善了地表生态环境,对促进退化土壤生态系统的恢复也具有重要作用,尤其采用苏门答腊金合欢、

新银合欢、木豆、山毛豆等豆科树种,并选择适宜的乔木树种营造混交林,将加速该地区退化土壤生态系统的恢复和生态环境建设。

4 结论与讨论

(1) 选择适宜树种在干热河谷人工恢复植被后,其林地土壤的密度最小,总孔隙度、毛管孔隙度及土壤水分等土壤物理性质有较大改善,尤以苏门答腊金合欢、新银合欢及其有关混交林的改良效果

较佳。

(2) 各类人工植被对提高土壤养分含量效果比较明显,尤其是土壤全 P、全 K 和有机质含量提高幅度最大。同时,除赤桉纯林和柠檬桉、新银合欢混交林地外,其他林地的土壤 pH 值有降低趋势。

(3) 各树种对林地土壤酶活性的影响存在差异。苏门答腊金合欢纯林对提高土壤酶活性效果最佳,其次是苏门答腊金合欢与新银合欢与桉树营造的各类混交林,纯林的作用相对较差,尤其是大叶相思纯林,比造林时间更短的印楝纯林还差。但对于有些林地土壤多酚氧化酶活性降低的问题应予以重视,以防因酚类物质的积累影响林地肥力的提高。土壤微生物数量总是与林地的土壤有机质有紧密联系,赤桉、苏门答腊金合欢混交林对提高土壤微生物的作用最大,反映出营造混交林,尤其是选用小叶豆科树种,对恢复干热河谷退化土壤生态系统具有重要意义。另外,人工林地的土壤管理,是促进枯枝落叶分解,提高土壤有机质和林下植物多样性的重要技术措施,对此应加以重视。

(4) 不同林地的土壤肥力综合分析表明,人工植被对干热河谷退化土壤生态系统的恢复有明显效果,各林地土壤肥力综合指标值均较各自对照高,尤以 13 年生苏门答腊金合欢林效果最佳。但退化土壤的恢复需要一定的时间,而且已恢复的植被应尽量减少或杜绝再次人为干扰破坏。

参考文献:

- [1] 江泽普,韦广泼,谭宏伟. 广西红壤果园土壤肥力演化与评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 312~318
- [2] 北京林业大学. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社, 1996
- [3] 杨瑞吉,杨祁峰,牛俊义. 表征土壤肥力主要指标研究进展[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(1): 86~91
- [4] 骆伯胜,钟继洪,陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究[J]. 土壤, 2004, 36(1): 104~106, 111
- [5] 唐守正. 多元统计分析方法[M]. 北京:中国林业出版社, 1986: 20~36
- [6] 纪中华,李建增,沙毓沧. 金沙江干热河谷退化土地植被恢复模式及效益研究[J]. 中国水土保持, 1999(7): 27~29
- [7] 金振洲,欧晓昆. 干热河谷植被[M]. 昆明:云南大学出版社, 2000: 141~230
- [8] 国家标准局. 中华人民共和国国家标准森林土壤分析[M]. 北京:标准出版社, 1988
- [9] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京:科学出版社, 1987: 263~281
- [10] 李阜棣. 土壤微生物学试验技术[M]. 北京:中国农业出版社, 1996: 1~318
- [11] 薛薇. SPSS 统计分析方法与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2004: 326~348
- [12] 卢元添. 酸雨危害森林情况综述[J]. 福建林学院学报, 1989, 9(4): 398~401
- [13] Johnson D W. Atmospheric deposition, forest nutrient status and forest decline: Implications of the integrated forest study[A]. In: Forest Decline in the Atlantic and Pacific Region[M]. Berlin: Springer Verlag, 1993: 66~88
- [14] Li Y(李勇). Discuss on soil enzyme activities and soil fertility[J]. Soil Bulletin (in Chinese)(土壤通报), 1989, 26(4): 190~192
- [15] 阎德仁,刘永军,王晶莹. 落叶松人工林土壤微生物含量的研究[J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(3): 46~50
- [16] 李昆,曾觉民. 元谋干热河谷地区不同造林树种对土壤的改良作用研究[J]. 西南林学院学报, 1999, 19(3): 161~164
- [17] 顾峰雪,潘晓玲,潘伯荣,等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被土壤肥力变化[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1179~1188
- [18] 骆伯胜,钟继洪,陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究[J]. 土壤, 2004, 36(1): 104~106, 111