

文章编号: 1001-1498(2008)02-0227-08

海南岛热带山地雨林皆伐后不同更新方式对土壤物理性质的影响及恢复研究

骆士寿, 李意德, 陈德祥, 许 涵, 林明献

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 海南岛尖峰岭热带林生态系统定位研究站, 广东 广州 510520)

摘要:通过样地调查和取样测定,运用方差分析、差异显著检验和聚类分析方法,以海南热带山地雨林原始林(0501, 植被类型代码)为对照,对热带山地雨林皆伐后的天然更新林(0502)、皆伐炼山后人工促进天然更新林(0503)和皆伐炼山后种植人工林(0504)等3种次生林的土壤物理差异和恢复程度进行了研究,结果表明:(1)热带山地雨林采伐更新造成土壤密度的增加和表层毛管孔隙度的差异,进而引起总孔隙度的变化,影响0~40 cm土层的最小持水量及20~40 cm土层的毛管持水量;皆伐天然更新措施(0502样地)的土壤质地较好,表层土粒淋洗下移较少,整个剖面土壤毛管孔隙度较高,土体发育良好,具有很强的持水保水能力;皆伐炼山措施(0503和0504样地)使表层土壤易于向下淋溶和淀积,底层毛管孔隙度降低,增加了中层土壤密度并形成明显的淀积层,影响土壤的通气透水性能,容易造成雨季地表径流和旱季底层水分难向上传输;人工造林更新措施(0504样地)造成土壤表层土粒淋洗严重,各层毛管孔隙度降低和中、底土层非毛管孔隙度的减少,中、底土层明显的板结,影响林地的通气透水性能,各种持水保水能力大大降低,容易产生地表径流和存在土壤表层砂化危险。(2)皆伐天然更新林具有与原始林相似的土壤物理性质。人工促进天然更新林土壤属黏壤土至黏土质地,表层毛管孔隙度较大,底层毛管孔隙度最小及持水量递减率明显。人工更新林土壤为砂质黏壤土至黏土,表层土粒淋溶下移和砂化现象明显,中、底土层具有明显淀积层,持水保水能力最低。(3)皆伐迹地天然更新林(0502)和人工促进天然更新林(0503)土壤物理恢复程度较接近原始林,人工更新林(0504)土壤恢复程度明显不及天然更新林,次生林的土壤总孔隙度和持水量恢复较好,土壤颗粒比例较难恢复,表层土壤密度和中层土壤粉黏比的恢复度较差,中层土壤的毛管与非毛管孔隙度之比的恢复度较表层和底层高,皆伐炼山对深层土壤的恢复影响较大。

关键词:热带山地雨林;土壤物理性质;土壤恢复;更新方式

中图分类号: S714.2

文献标识码: A

Study on Differences and Restoration Degrees of the Soil Physical Properties of Tropical Montane Secondary Forest in Hainan Island

LUO Tu-shou, LI Yi-de, CHEN De-xiang, XU Han, LIN Ming-xian

(Research Institute of Tropical Forestry, CAF; Jianfengling Long-term Research Station for Tropical Forest Ecosystems, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: The differences and restoration degree of soil physical properties of the three secondary tropical montane rainforests including natural regeneration forest after clear-cutting (0502), artificial promoting natural regeneration forest with some native plants cultivated (0503), and manmade forest with native plants cultivated after clear-cutting and burning (0504) were compared with virgin tropical montane rainforests (0501) by ANOVA and clustering

收稿日期: 2007-06-13

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“热带森林功能群的研究(30430570)”、国家林业局林业科技支撑计划专题“天然次生林生态恢复与定向经营技术研究(2006BAD03A0402)”和尖峰岭热带林生态系统定位研究内容之一

作者简介: 骆士寿(1963—),男,高级工程师,主要从事热带林生态学研究。E-mail: luots@126.com

analysis The results are as follows: (1) Cutting of tropical rainforests and the following regeneration caused the increasing of bulk density and the differences of surface layer capillary porosity, which resulted in the total porosity changed Both of them influenced the minimum water-holding capacity of 0—40 cm soil layer and the capillary water-holding capacity of 20—40 cm soil layer Measures with natural regeneration after clear-cutting had a better soil texture, few top soil particles washed and illuviated by drip, higher capillary porosity, well developed soil and strong water-holding capacity Measures with clear-cutting and burning made the top soil being washed and illuviated easily, the capillary porosity of substrate soil decreased, the bulk density of middle stratum soil increased and illuviate lamination being shaped, the capabilities of surface flow in the rainy season and air exchange and water penetration being weaken All of these changes caused the difficulty to transfer water from under soil in the dry season Artificial plantation measure (0504) made the top soil particles being washed and illuviated severely, the capillary porosity of all soil strata and anti-capillary porosity of subsoil decreased, subsoil harden obviously, air exchange and water penetration capacity being influenced, and water-holding decreased remarkably All of them resulted in surface flow and sand-conversion possibilities (2) 0502 had similar physical characteristics with 0501. However, the soil of 0503 belonged to clay loam to clay texture categories, with bigger capillary porosities of top soil and least of under stratum soil, and obvious decreasing of water-holding rate The soil of 0504 belonged to sandy clay loam to clay texture categories, with top soil particles washed and illuviated obviously, which formed accumulation horizon in substratum and low water-holding capacity (3) The restoration degree of 0502 and 0503 were closed to 0501. However, 0504 was distinctly less than 0502 and 0503. The technical step of clear-cutting and controlled burning badly affected rehabilitation degree of substrata soil properties The easy restoration physical indices of the secondary forests were total porosity, and water-holding capacity, contrary to the difficult restoration index-soil particle proportion Restoration degree of bulk density of top soil and slit/clay ratio of middle soil layer were poor Ratio of capillary and anti-capillary of middle soil layer was higher than that in top soil and under layer soil Therefore, clear-cutting and burning influenced the deep soil significantly

Key words: tropical montane rainforest; soil physical property; soil restoration; regeneration method

原始林经过台风、林火、病虫害等严重自然干扰以及不同程度的采伐木材、刀耕火种、烧炭、毁林种果、放牧等人为干扰,引起森林生态系统结构和功能的变化,形成次生林、疏林、灌丛、草地和人工林等不同退化程度的次生植被类型。随着干扰的结束,次生植被群落向进展演替发展或由于过度干扰而继续逆行演替,表现为整个生态系统的恢复或退化过程。在这过程中,生态因子与群落演替互动,群落内物种间及其与环境构成不同的生态格局,形成特定的功能群并发挥不同形式和程度的功能,体现不同干扰作用的差异及退化生态系统恢复程度^[1]。

森林过度采伐利用是造成原始林退化的主要原因,在热带林采伐利用方面,国外注重可持续利用和减低对环境的影响研究^[2];国内学者开展了热带林采伐方式与更新演替、采伐迹地生态变化研究^[3-4],研究了:刀耕火种对土壤微生物和土壤肥力的影响^[5],热带半落叶季雨林游耕地的

小气候、水土流失、地力变化^[6-7],择伐、皆伐和轮歇等人工干扰方式对热带森林群落植物多样性的影响,不同土地利用方式对土壤微生物数量和多样性的影响^[8-9],并对不同次生植被类型的土壤肥力状况进行排序^[10],对热带雨林区皆伐迹地人工纯林的土壤性质进行研究,推测其土壤生态恢复的可能性^[11];也有学者从群落结构、生物多样性的调查资料来研究热带人工林群落生态功能的恢复^[12]。对退化系统如何进行正确诊断与定性或定量评价,是研究退化生态系统时首先遇到和必须解决的问题,国内外对于土壤退化(或恢复)评价也有报道,大多是论述评价指标体系和评价方法,或先是根据植被覆盖类型和土地利用类型人为划分为不同退化等级作为参照剖面,再将研究对象的土壤数据与参照剖面对比归类,赋值计算退化综合指数,具有地域局限性和人为主观性,未达到真正意义的定量评价^[13-15]。在同一区域同时开展不同热带山地次生雨林生

态恢复的研究极少,对其土壤的差异性及恢复程度的研究未见报道。本文以海南岛热带雨林及相应的退化生态系统为对象,于 2005 年 5—6 月对 1964 年以来不同恢复程度次生林土壤理化性质差异进行研究,以探求不同退化程度天然林生态系统分异特征及其恢复潜力,为热带林保护和生态建设提供科学依据。

1 试验区概况及样地设置

海南岛尖峰岭热带山地雨林(18°40'N, 108°49'E),海拔 700~900 m,属热带季风气候,全年干湿季明显,5—10 月为雨季,年均气温 19.7℃,年均降水量 2 651.6 mm,年均相对湿度 88%,年辐射总量 4 938.56 MJ·m⁻²。成土母岩主要是含大量粉红色长石斑晶的似斑状花岗岩,土壤为砖黄壤,土层深厚,具有完整的剖面结构。该区是中国主要热带林区之一,20 世纪 50 年代开始大面积采伐利用天然林,过度的利用以及原始的游耕农业使原始热带森林退化,从 60 年代起该林区开始采伐方式与更新演替的研究和实践^[3];1993 年尖峰岭林区率先停止森林的商业采伐,随后开展天然林保护工程,森林植被及环境进一步恢复并存在不同采伐更新的植被类型和群落类型的次生林。

本试验在 3 块不同恢复途径的次生林中各设置 1 块样地,进行植被调查(另文发表)和土壤分析,在原始林中设置 1 块样地为对照。这 4 个样地的直线距离约在 3 km 范围之内,海拔高度相近,其自然条件(气候、土壤类型等)基本相同。样地基本情况如下:

0501 样地:10 000 m²,原始林,未经采伐,乔木层以厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*(Hance) Hensl)、大叶白颜(*Gironnieria subaequalis* Planch)、粗毛野桐(*Mallotus hookerianus*(Seem.) Muell Arg)、毛荔枝(*Nephelium topengii*(Merr) H. S. Lo)为主,各层间均有较好的树种储备和较稳定的群落结构。

0502 样地:6 200 m²,为 1964 年皆伐后在未受任何人为干扰情况下的天然更新次生林,乔木层以越南白锥(*Castanopsis tonkinensis* Seem.)占优势,其次为鸭脚木(*Schefflera octophylla*(Lour) Hams)、拟赤杨(*Alniphyllum fortunei*(Hensl) Makino),幼树层和下木层优势种较明显,群落处在演替的中期阶段。

0503 样地:3 000 m²,为 1980 皆伐后炼山,在天然更新早期人工种植少量属演替后期的乡土树种如鸡毛松(*Dacrycarpus imbricatus* B1)、陆均松(*Dacrydium pierrei* Hickel)等,成为人工促进天然更新林,乔木层以木荷(*Schinus superba* Gardn et Champ.)、陆均松和双叶黄杞(*Engelhardtia unijuga* Chun ex P. Y. Chen)等为主,幼树层以鸡毛松、大叶白颜、柬埔寨子楝树(*Decaspermum montanum* Ridl)等为主,下木层和幼苗层的种类储备较丰富,群落处于演替的近中期阶段。

0504 样地:1 200 m²,人工林,1980 年皆伐炼山处理后种植杉木(*Cunninghamia lanceolata*(Lamb) Hook)纯林,此后经多次抚育和补植楝叶吴茱萸(山苦楝)(*Evodia meliifolia*(Hance) Benth)和闽粤栲(*Castanopsis fissa*(Champ. ex Benth) Kehd et Wils)等,群落各层次均以杉木为优势种,乔木层种类较少,幼树层优势种类有拟赤杨等阳性树种,下木层还有丛花山矾(*Symplocos poilanei* Guill)、琼桂润楠(*Machilus foonchevii* S. Lee)和海南杨桐(*Adinandra hainanensis* Hayata)等,林下更新种类较少,群落处于恢复的初期。

2 研究方法

2.1 土壤取样调查

将每块样地分别划分为 10 m × 10 m 的小样方,再根据每样地面积大小按“之”字形或“田”字形选取 5~10 个小样方分别挖土壤剖面,按表层(0~20 cm)、中层(20~40 cm)和底层(40~60 cm)挖取土壤环刀和分析样品。0501、0502、0503、0504 样地的土壤剖面数分别为 10、10、6、5 个。

2.2 土壤物理性质测定及分析

土壤物理性质测定包括土壤密度、机械组成、质地、孔隙度和水分物理性质等,按《中国生态系统研究网络观测与分析标准方法》^[16]进行分析。

2.3 数据分析

2.3.1 土壤物理指标数据处理和差异分析 各样地每项物理性质平均值为重复剖面表层、中层和底层所测数值的总体平均数,各样地每层平均值为本层所测重复剖面数值平均。所有数据用 Microsoft Excel 和 SAS 软件处理,对各样地测定数据进行方差分析、平均数双样本异方差假设 t 检验来分析各样地土壤物理性质特征。

2.3.2 土壤物理指标恢复度计算 以综合指数法对土壤恢复度进行评价,即以原始林各土壤物理指标为基准计算次生林土壤的相对退化距离^[14-15,17]。先采用公式(1)进行无量纲转化,即相对退化距离计算,然后将相对退化距离按公式(2)转换成相对恢复度,最后据公式(3)计算出各物理性指标相对恢复度的几何平均数作为土壤恢复度综合指数,并以指数高低评价土壤恢复程度。

$$DDR_i = |D_0 - D_i| / D_0 = |1 - D_i / D_0| \quad (1)$$

$$RR_i = 1 - DDR_i \quad (2)$$

$$SI = \sqrt[n]{(RR_i)} \quad (3)$$

式(1)~(3)中:DDR_i为相对退化距离,D₀为原始林土壤某一指标数量值,D_i为次生林土壤该指标的数量值,RR_i为某指标相对恢复度,SI为土壤恢复度综合指数,为连乘符号,n为参与评价的指标数。对生态恢复为正效应的指标,当D₀ - D_i = 0时,则表示该指标无退化,即式中DDR_i = 0;对于生态效应呈正态分布的指标如粉黏比、毛管孔隙与非毛管孔隙比,其相对退化距离直接按公式(1)计算。

3 结果与分析

3.1 不同次生林土壤物理性质特征

3.1.1 机械组成和质地 各研究样地的土壤机械组成及质地见表1。由表1可见:0501、0502样地的土壤含有较多的砂粒(2~0.05 mm),黏粒(<0.002 mm)较少,属砂质黏壤土质地;0503样地土壤砂粒较少,黏粒、粉粒和砾石较多,土壤属少砾黏壤土质地;0504样地土壤砂粒和黏粒较多,土壤为砂质黏壤土。从不同深度土壤机械组成看,土壤黏粒和粉粒含量随深度而增加。0501样地表层土壤为砂质壤土,体现优良的土壤质地,各土层质地均一;0502各层次土壤质地均一,与0501相比表层稍为黏重;0503和0504样地土壤较黏重,深层土壤尤其明显,与0503相比,0504样地土壤表层砂化现象较明显。这体现原始林和皆伐天然更新林土壤质地较好,干扰较为强烈的皆伐炼山更新林土壤颗粒的淋溶淀积作用明显,尤其是皆伐炼山营造人工林还存在土壤表层砂化危险。

表 1 不同样地土壤机械组成及质地

样地号	土壤深度/cm	机械组成/%			质地(美国制)	
		>2 mm	2~0.05 mm	0.05~0.002 mm		
0501	0~20	0.00	62.84	18.52	18.65	砂质壤土
	20~40	0.00	59.99	18.80	21.21	砂质黏壤土
	40~60	0.00	58.18	13.72	28.11	砂质黏壤土
	0~60	0.00	60.33	17.01	22.66	砂质黏壤土
0502	0~20	0.00	56.15	21.91	21.94	砂质黏壤土
	20~40	0.00	52.31	18.32	29.37	砂质黏壤土
	40~60	6.48	50.27	14.34	35.39	少砾砂质黏壤土
	0~60	2.16	52.91	18.19	28.90	砂质黏壤土
0503	0~20	0.00	36.68	26.27	37.05	黏壤土
	20~40	0.00	37.71	23.80	38.49	黏壤土
	40~60	30.48	36.82	16.26	46.93	多砾黏土
	0~60	10.16	37.07	22.11	40.82	少砾黏壤土
0504	0~20	0.00	47.72	21.72	30.56	砂质黏壤土
	20~40	0.00	44.75	19.09	36.15	砂质黏壤土
	40~60	9.95	41.57	15.48	42.95	少砾黏土
	0~60	3.32	44.68	18.76	36.55	砂质黏壤土

3.1.2 土壤密度 测定结果显示:各样地土壤密度为1.32~1.36 g·cm⁻³,大小顺序为0504>0502>0503>0501,原始林最轻,人工杉木林最大。经方差分析,各样地在α=0.05水平差异不显著(P=0.787),表明森林采伐更新造成土壤密度增加,但差异不显著。各样地土壤密度均随土壤深度的增加而增大,表层土壤密度大小顺序为0502>0504>0503>0501,中层为0504>0502>0501>0503,底层为0503>0504>0502>0501(图1)。每层土壤密度方差分析显示样地间差异不显著(表层、中层和底层的P值分别为0.412、0.182和0.477),表明采伐更新增大表层土壤密度,皆伐天然更新林(0502)表层土壤淋洗下移较少,皆伐炼山更新林(0503和0504)增加了中层和底层的土壤密度。

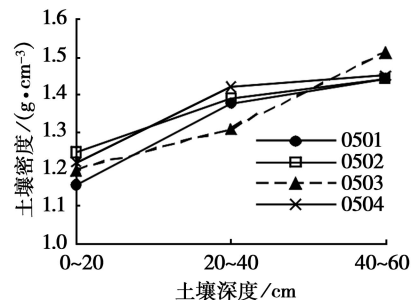


图 1 样地不同深度土壤密度

3.1.3 土壤孔隙度 土壤孔隙度直接表征土壤的通气状况及土壤水分功能。由图2、3可见,样地土壤平均总孔隙度为44.73%~48.36%,毛管孔隙度

为 34.95% ~ 40.42%,非毛管孔隙度为 7.32% ~ 10.02%。在 4 个样地中,0504 样地的土壤毛管孔隙度最小而非毛管孔隙度最大,0503 样地的土壤总孔隙度最大。方差分析 ($\alpha = 0.05$ 水平)表明:样地间土壤总孔隙度和毛管孔隙度均差异显著 (P 分别为 0.018 和 0.008),毛管孔隙度的显著差异主要表现在 0503 样地与其它样地间的表层土壤 (表 2),而样地间其它相同层次的毛管孔隙度差异不显著 (中层和底层 P 值分别为 0.053 和 0.079);样地间非毛管孔隙度差异不显著 ($P = 0.054$),同层次非毛管孔隙度差异也不显著 (表层、中层和底层 P 值分别为 0.273、0.903 和 0.089),而总孔隙度在表层差异

显著 ($P = 0.003$),进一步的表层总孔隙度平均数差异检验显示,差异主要是 0503 与其它样地间 (表 2),这表明采伐更新干扰主要造成土壤表层毛管孔隙度的差异,进而引起总孔隙度的变化。

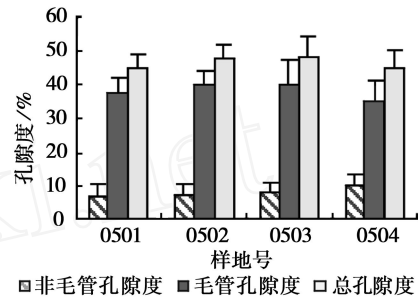


图 2 不同样地土壤孔隙度

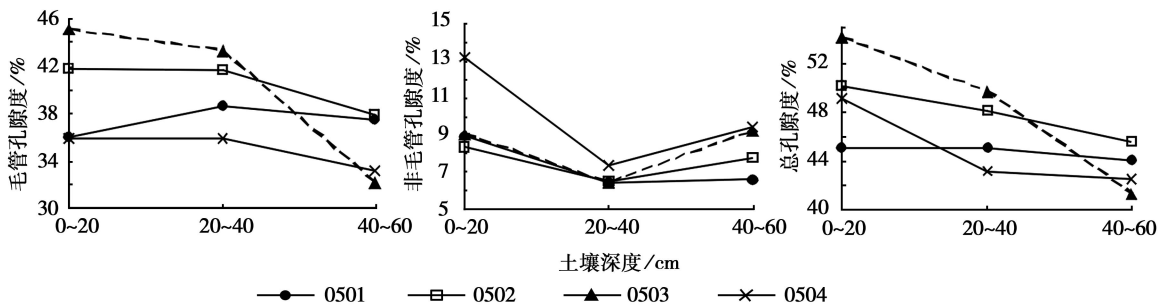


图 3 各样地不同层次的土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度的比较

由图 3 看出:除原始林样地 (0501) 外,各样地的土壤毛管孔隙度、总孔隙度均随土层深度的增加而降低,而土壤非毛管孔隙度均是中层比表层和底层的低,这表明采伐更新造成表层土壤向中层淀积和淋溶,形成明显的淀积层,影响土壤的通气透水性,容易造成雨季地表径流和旱季底层水分难以向上传输。原始林样地中层和底层的土壤毛管孔隙度

大且均比表层高,这是由于表层土壤根系分布特多,腐殖质较多,土层较松所致,表明表层以下土体发育良好,具有很强的持水保水能力。杉木林地 (0504) 各层次土壤毛管孔隙度均较低,持水保水能力最低;人工促进天然更新的样地 (0503) 底层土壤毛管孔隙度最小,此层土壤持水保水能力最低。

表 2 样地表层 (0 ~ 20 cm) 土壤总孔隙度和毛管孔隙度方差分析及差异显著性检验

		总孔隙度				毛管孔隙度					
		平均值差异显著性 (P -value)				平均值差异显著性 (P -value)					
总体方差分析		样地号	0502	0503	0504	总体方差分析		样地号	0502	0503	0504
df	28	0501	0.048*	0.002**	0.148	df	28	0501	0.066	0.007**	0.952
F	5.883	0502		0.007**	0.584	F	4.753	0502		0.034*	0.089
P -value	0.003**	0503			0.028*	P -value	0.009**	0503			0.025*
F crit	2.991					F crit	2.991				

注: *、** 分别指在 0.05 和 0.01 水平上差异显著;平均值差异显著性检验数据为平均数, t 检验的双样本异方差假设的 $P(T < t)$ 双尾值,下同。

3.1.4 土壤贮水特征 从图 4 看出:样地土壤的最大持水量为 33.91% ~ 37.00%,差异不显著 ($P = 0.509$);最小持水量为 24.35% ~ 29.21%,差异显

著 ($P = 0.030$);毛管持水量为 26.30% ~ 30.80%,差异不显著 ($P = 0.125$)。0504 样地的 3 种土壤持水量均最小,表明其贮水保水能力最差。

由图 5 看出:各样地的土壤持水能力随土壤深度的增加而降低,0503 样地从中层至底层的持水量降低率尤其明显;与其它样地相比,0501 样地不同深度土壤的各种持水量变化相对较平缓,深层还能保持较高的持水量。

样地间同层次的持水量方差分析表明:样地间相同层次土壤最大持水量差异均不显著(表层、中层和底层 P 值分别为 0.279、0.080 和 0.271);0503 样地在 0~20 cm 的土壤最小持水量与其它样地间呈

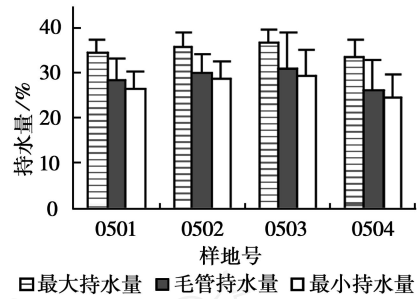


图 4 不同样地 0~60 cm 平均土壤持水量

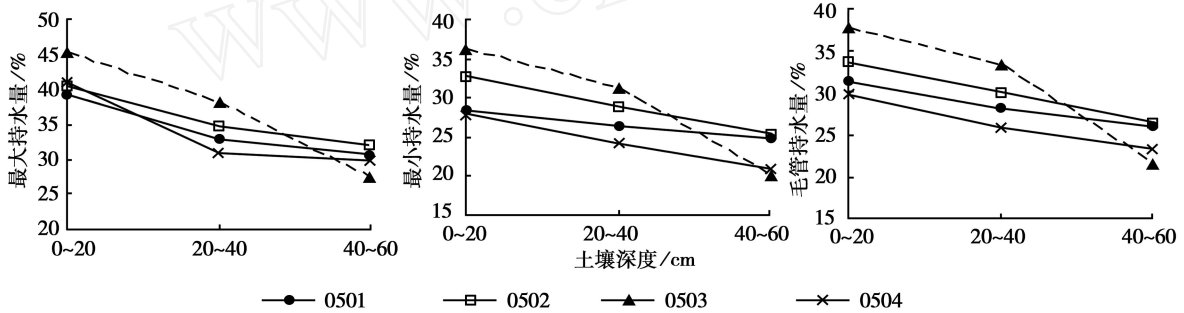


图 5 各样地不同土壤深度土壤持水量

显著或极显著差异 (P 分别为 0.047、0.007 和 0.003),而在 20~40 cm 与 0501 样地呈显著差异 ($P=0.019$) (表 3、4)。样地间 0~60 cm 的整个剖面总体上毛管持水量差异不显著,但样地间 20~40 cm 土壤的毛管持水量存在显著差异 ($P=0.047$),主要是 0503 样地与 0501 样地间的差异 ($P=0.033$) (表 5)。这表明不同更新方式主要影响 0~40 cm 土层的最小持水量和 20~40 cm 土层的毛管持水量。

表 3 样地表层 (0~20 cm) 土壤最小持水量方差分析及差异显著性检验

总体方差分析	平均值差异显著性 (P -value)				
	样地号	0502	0503	0504	
df	28	0501	0.062	0.003**	0.883
F	5.080	0502		0.007**	0.180
P -value	0.007**	0503			0.047*
F crit	2.991				

表 4 样地中层 (20~40 cm) 土壤最小持水量方差分析及差异显著性检验

总体方差分析	平均值差异显著性 (P -value)				
	样地号	0502	0503	0504	
df	28	0501	0.082	0.019*	0.533
F	3.741	0502		0.172	0.202
P -value	0.024*	0503			0.078
F crit	2.991				

表 5 样地中层 (20~40 cm) 土壤毛管持水量方差分析及差异显著性检验

总体方差分析	平均值差异显著性 (P -value)				
	样地号	0502	0503	0504	
df	28	0501	0.206	0.033*	0.540
F	3.059	0502		0.127	0.308
P -value	0.047*	0503			0.104
F crit	2.991				

3.2 土壤物理性质恢复度

采伐更新对森林生态系统的作用程度取决于干扰的频率、强度、空间范围和形状,而森林对干扰的反应表现在许多方面:有植被结构的重组或形成新的植被^[14],也有包括土壤养分、土壤微生物、动物与菌根的生态恢复。限于研究的主体、角度、方法、目的等差异,制定评价恢复的标准较复杂,通常将恢复后的生态系统与未受干扰的生态系统进行比较^[18];也有学者提出了包括土体厚度、机械组成、土壤水分、土壤密度和大小孔隙比等物理退化指标^[19-20],或先根据植被覆盖类型和土地利用类型人为划分为不同退化等级作为参照剖面,再进行研究对象的对应归类^[17]。本研究利用次生林与原始林之间的土壤物理性质的相对恢复度综合指数,对土壤恢复程度进行了初步的统计评价(表 6)。

表 6 各样地土壤物理指标恢复度及恢复综合指数

样地号	土壤深度 /cm	密度	粉 /黏	总孔隙度	毛管 /非毛管	最大持水量	毛管持水量	最小持水量	物理恢复综合指数
0501	0~20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	20~40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	40~60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0~60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0502	0~20	0.92	0.99	1.00	0.76	1.00	1.00	1.00	0.95
	20~40	0.99	0.70	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	0.94
	40~60	1.00	0.83	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	0.95
	0~60	0.97	0.84	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	0.96
0503	0~20	0.96	0.71	1.00	0.76	1.00	1.00	1.00	0.91
	20~40	1.00	0.70	1.00	0.89	1.00	1.00	1.00	0.93
	40~60	0.95	0.71	0.94	0.62	0.89	0.82	0.81	0.81
	0~60	0.99	0.72	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.95
0504	0~20	0.94	0.72	1.00	0.67	1.00	0.95	0.98	0.89
	20~40	0.97	0.60	0.96	0.81	0.94	0.91	0.92	0.86
	40~60	0.99	0.74	0.97	0.62	0.97	0.89	0.85	0.85
	0~60	0.97	0.68	1.00	0.68	0.99	0.92	0.92	0.87

由表 6 看出:皆伐更新次生林的土壤总孔隙度和持水量恢复较好,土壤颗粒比例较难恢复;从不同土壤深度看,表层土壤密度和 中层土壤粉黏比的恢复度较差,中层土壤的毛管与非毛管孔隙度之比的恢复度较表层和底层的高,皆伐炼山对深层土壤的恢复影响较大(0503、0504 样地);从样地看,皆伐天然更新林(0502)和人工促进更新林(0503)土壤恢复度较高(综合指数达 95% 以上),人工更新林(0504)土壤恢复度较低(综合指数仅 87%)。对 4 个样地 7 项土壤物理指标的相对恢复度进行最短距离法的聚类分析(图 6)显示:0502 和 0503 的欧氏最短距离值 0.430 2,距离较近,在最短距离值 0.671 0 下可与 0501 归作一类,0504 明显地为另一类,这显示人工更新林在土壤物理恢复程度上明显不及天然更新林。从类间聚类结果对应参试样地实际情况看,0502、0503 土壤物理性质指标值较为接近,属天然更新成份的同类林分,扩大距离至 0.671 0,则 0502、0503 与 0501 原始林在土壤颗粒比例、孔隙比例和各种持水量等指标相接近,与 0504 人工更新林存在明显区别。此外,从样地调查的植物种多样性指数、重要值、林分结构和外貌特征等指标看,聚类结果较为合理和切合实际。

4 结论与讨论

(1) 热带山地雨林不同次生林土壤物理性各具特征:皆伐天然更新林(0502)具有与原始林(0501)

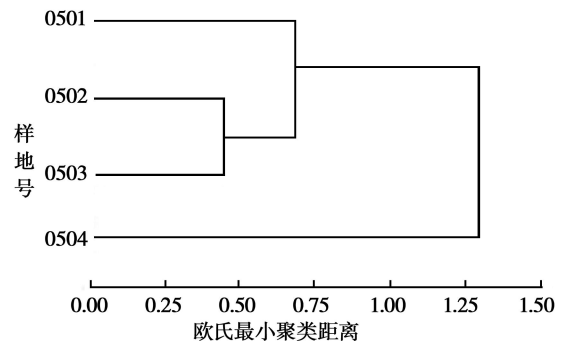


图 6 4 块样地 7 项土壤物理指标相对恢复度聚类分析结果

相似的砂质壤土质地,各层土壤质地较均一,表层土壤较少被淋溶,表层和 中层毛管孔隙度较大且变化平缓,样地非毛管孔隙度、土壤最大持水量、最小持水量和毛管持水量与原始林接近,不同深度土壤各种持水量变化相对较为平缓,深层持水能力强;人工促进天然更新林(0503)土壤黏粒、粉粒和石砾较多,属黏壤土至少砾黏土质地,土壤较黏重,深层土壤尤其明显,土壤总孔隙度和表层毛管孔隙度较大,底层毛管孔隙度最小及持水保水能力最低,中层以下土壤持水量降低率尤其明显;人工更新林(0504)土壤砂粒和黏粒较多,为砂质黏壤土至黏土,土壤较黏重,表层土粒淋溶下移和砂化现象比 0503 样地明显,增大中、底土层的土壤密度,具有明显淀积层,各层次土壤毛管孔隙度均较低,样地土壤持水保水能力最低。

(2) 更新方式对土壤物理性能影响不一:热带山地雨林采伐更新造成土壤密度增加和表层毛管孔

隙度的差异,进而引起总孔隙度的变化,影响 0~40 cm 土层的最小持水量和 20~40 cm 土层的毛管持水量;皆伐天然更新措施(0502 样地)土壤质地较好,表层土粒淋洗下移较少,整个剖面土壤毛管孔隙度较高,土体发育良好,具有很强的持水保水能力;皆伐炼山措施(0503 和 0504 样地)增大表层土壤淋溶和向下淀积,底层毛管孔隙度降低,增加了中层的土壤密度并形成明显的淀积层,影响土壤的通气透水性能,容易造成雨季地表径流和旱季底层水分难向上传输;人工造林更新措施(0504 样地)造成土壤表层土粒淋洗严重,各层毛管孔隙度降低和中、底土层非毛管孔隙度的减少,中、底土层明显的板结,影响林地的通气透水性能,各种持水保水能力大大降低,容易产生地表径流和存在土壤表层砂化危险。

(3)不同次生林土壤物理性恢复度各有差异:皆伐迹地天然更新林(0502)和人工促进天然更新林(0503)土壤物理恢复较好,恢复程度较接近原始林;人工更新林(0504)土壤恢复程度明显不及天然更新林。3 个次生林样地土壤物理指标中恢复较好的有总孔隙度和持水量,大小顺序均是 0502 > 0503 > 0504,较难恢复的有土壤粉黏比,大小顺序是 0502 > 0503 > 0504。3 个样地表层土壤密度恢复较低,而中层土壤的毛管与非毛管孔隙度之比的恢复度较高。皆伐炼山对深层土壤孔隙度和持水量的恢复影响较大。

(4)由于不同次生林的更新措施和植被恢复程度等存在差异,且对不同层次土壤性质影响程度不一样,所以样地间土壤性质差异辨析既要从每个样地多样点的整个剖面测试数据统计比较,也要从样地间土壤剖面相同层次间及同一样地中不同层次土壤间作统计比较,这样能较大限度地找出样地间土壤差异所在,避免样地剖面统计平均值掩盖了土层间的差异,而层次间土壤性质、恢复作用大小的差异往往是由更新措施、植被恢复程度等影响所致,所以,在森林土壤退化度或恢复度的综合评价上,应选取多深的土壤剖面深度和怎样体现层次作用值得进一步研究。

参考文献:

[1] Attwill P.M. The disturbance of forest ecosystems: the ecological ba-

sis for conservative management [J]. forest ecology and management, 1994, 63: 247 - 300

[2] A Ivarado E, Sandberg D V. Longing in tropical forest: literature review on ecological impacts [EB/OL]. 2001: <http://www/fs.fed.us/pnw/fera>

[3] 蒋有绪,卢俊培. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统 [M]. 北京:科学出版社,1991: 235 - 283

[4] 曾永泉. 海南岛刀耕火种迹地的生物地球化学特征和生态环境质量的研究 [J]. 中山大学学报(自然科学)论丛, 1986 (7): 55 - 67

[5] 张萍. 刀耕火种对土壤微生物和土壤肥力的影响 [J]. 生态学杂志, 1996, 15 (3): 64 - 67

[6] 卢俊培. 海南岛尖峰岭半落叶季雨林生态效应的研究 IV - 游耕农业的地力分析 [J]. 林业科学研究, 1988, 1 (1): 25 - 31

[7] 中国林业科学研究院热带林业研究所, 林业研究所联合课题组. 海南岛尖峰岭热带林生态系统研究(续) V. 游耕农业的生态后果. 更新与演替. 简要结论 [J]. 林业科学研究, 1988, 1 (5): 467 - 471

[8] 施济普,朱 华. 三种干扰方式对西双版纳热带森林群落植物多样性的影响 [J]. 广西中外文, 2002, 22 (2): 129 - 135

[9] 张 萍,刀志灵,郭辉军,等. 高黎贡山不同土地利用方式对土壤微生物数量和多样性的影响 [J]. 云南植物研究, 1999 (增刊): 84 - 89

[10] 杨小波. 海南次生林植被与其土壤性质的关系探讨 [J]. 土壤, 2003, 35 (5): 429 - 434

[11] 骆士寿,李意德,陈德祥,等. 海南岛热带山地鸡毛松人工林等土壤性质研究 [J]. 海南大学学报:自然科学版, 2005, 23 (4): 340 - 346

[12] 曾觉民. 西双版纳热带人工林群落结构及生态功能恢复的研究 [J]. 云南林业科技, 2002 (3): 23 - 45

[13] 孙 波,赵其国. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法 [J]. 地理科学进展, 1999, 18 (2): 118 - 128

[14] 章家恩,徐 琪. 退化生态系统的诊断特征及其评价指标体系 [J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8 (2): 215 - 220

[15] 徐 琪,章家恩,董元华. 三峡地区土壤生态退化评价——以秭归县为例 [J]. 世界科技研究与发展, 2000, 22 (增刊): 16 - 22

[16] 刘光崧. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法 - 土壤理化分析与剖面描述 [M]. 北京:中国标准出版社, 1996: 5 - 23

[17] 杨林章,徐 琪. 土壤生态系统 [M]. 北京:科学出版社, 2006: 147 - 150

[18] 任 海,彭少麟,陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学 [J]. 生态学报, 2004, 24 (8): 1760 - 1768

[19] 章明奎,徐建明. 造林方式对红壤养分流失和肥力质量的影响 [J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2000, 26 (6): 649 - 652

[20] 杨玉盛,陈光水,谢锦升. 南方林业经营措施与土壤侵蚀 [J]. 水土保持通报, 2000, 20 (6): 55 - 59