

不同演替阶段的热带天然林土壤化学性质对比

孟京辉¹, 陆元昌¹, 刘刚^{1,2}, 王懿祥^{1,3}

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 华中农业大学园艺林学学院, 湖北武汉 430070; 3. 浙江林学院环境科技学院, 浙江临安 311300)

关键词:退化天然次生林;演替阶段;土壤化学性质;土壤肥力

中图分类号:S714

文献标识码:A

Comparison Study on Soil Chemical Characteristics in Tropical Natural Forests in Different Succession Stages

MENG Jing-hui¹, LU Yuan-chang¹, LIU Gang^{1,2}, WANG Yi-xiang^{1,3}

(1. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;
2. College of Horticulture and Forestry Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 4300702, Hubei, China;
3. School of Environmental Technology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: In order to understand the dynamic change of soil chemical characteristics along with the succession stages for supporting forest restoration, the soil chemical characteristics in different succession stages were compared and analyzed. The results indicated that with the progress of succession, pH value, available P, and total K showed a decreasing trend while organic matters, total P, total N, alkaline hydrolytic N, and available K showed a trend of increase. The correlation analysis indicated that there was a significant correlation between soil chemical characteristics such as total N, alkaline hydrolytic N, available P and organic matters of different horizon in different succession stages. The correlation analysis somehow signified the main source of soil N and P was organic matters. During the forest restoration process, forest litters should be protected so as to increase soil organic matter and improve soil fertilization.

Key word: degraded secondary forest; succession stage; soil chemical characteristics; soil fertilization

土壤化学性质对土壤养分状况具有重要的影响,是衡量土壤肥力状况的重要依据,是农林业中广泛研究的热点问题^[1-3]。土壤和植被演替之间的关系从时间的维度上,反映了土壤性质随植被演替的变化,是恢复生态学的重要依据。很多学者对土壤性质与植被演替的关系作了研究,比如,张庆费^[2]对浙江天童森林公园植物群落对土壤化学性质的影响的研究表明常绿阔叶林次生演替能增加土壤有机物质含量,促进土壤有机物质的矿化和再合成作用,而土壤化学

性状的改善,也为常绿阔叶林的进展演替奠定了基础;宋洪涛^[3]等对滇西北黄栌林演替过程中土壤化学性质的变化分析后认为在不同的植被演替阶段,其林地土壤的化学性质与之相响应,随着其植被的正向演替,林地土壤各项化学指标均向良性发展。

截至2006年,海南岛天然林约合66万hm²,由于海南岛原始天然林的长期的不合理利用,导致大量的低质量的天然次生林的产生,绝大多数为采伐或者干扰后天然更新起来的次生林^[4-7]。如何恢复

收稿日期:2010-03-03

基金项目:国家自然科学基金课题“热带天然次生林近自然经营基础研究(30671679)”和国家“十一五”科技支撑计划“天然林区人工林近自然化改造技术”专题(2006BAD03A04-03)

作者简介:孟京辉(1980—),男,博士生,研究方向为森林可持续经营。Email:Jinghui_meng@hotmail.com

这些天然次生林,对海南省的生态经济建设具有至关重要的意义。本研究选取海南天然次生林到原始林 3 个演替阶段,对其各个阶段土壤的 pH 值、有机质、全 N、有效 N、全 P、有效 P、全 K、速效 K 等因子进行对比分析,旨在揭示演替和土壤化学性质之间的动态规律,为热带次生林恢复提供理论依据。

1 研究地区概况

研究区域位于海南岛白沙县(109°02′~109°42′E,18°56′~19°29′N),东临琼海,西接昌江市,北抵儋州市,南临乐东市,面积约为 2 117.73 km²,境内 41.9% 为山地,其中海南最高山鹦歌岭位于该县南部。海南最大的河流南渡河的源头流经白沙。白沙属于热带湿润季风性气候,年降水量在 1 800~2 400 mm,并且 70%~80% 的降水集中在 5 到 10 月。年平均气温 21.9~23.4℃,最高温度 35~37℃,最低温度 5~6℃。

2 研究方法

2.1 演替阶段划分与基本特性

选择 3 个演替阶段的热带森林的土壤化学性质进行对比分析。这 3 个演替阶段分别为:早期的天然次生林(SF1)、较老的天然次生林(SF2)和原始天然林(PF)。其中天然次生林是在早期的刀耕火种的废弃地上更新而来。

早期天然次生林(SF1),树种 56 种属于 27 个科,主要科为大戟科(Euphorbiaceae)(37.48%),藤黄科(Guttiferae)(9.03%),壳斗科(Fagaceae)(7.77%)。树种中平(*Macaranga denticulate* (Bl.) Muell.-Arg.)在此林分中占据主导地位。较老的天然次生林(SF2),树种 42 种属于 22 个科,主要科为金缕梅科(Hamamelidaceae)(30.01%),樟科(Lauraceae)(17.43%),大戟科(12.00%)。枫香(*Liquidambar formosana* Hance)在此林分中占据主导地位。原始天然林(PF)与天然次生林相比,具有明显的生物多样性,树种共计 111 种分别属于 37 科。主要为壳斗科、胡桃科(Juglandaceae)、茶科(Theaceae)、柿科(Ebenaceae)、藤黄科、桑科(Moraceae)、樟科、梧桐科(Sterculiaceae)、大戟科,林下植物丰富,天然更新良好。研究区域土壤母质属于花岗岩风化物,由于低山自然侵蚀及潮湿气候影响,土壤发育为山地黄红色砖壤土^[8]。

2.2 土壤取样与样品制备

运用次生演替的空间序列代替时间序列的研究

方法,在海拔 350~500 m、坡度 10°~15°,坡向大致为南坡,选取了上述 3 个不同演替阶段的林分。在各典型林分,采用棋盘式布点法,在 SF1 中设立 11 个取样点,SF2 中设立 8 个取样点,PF 中设立 6 个取样点,取样点之间的距离尽可能大,以便保证取样点之间的独立性。土壤剖面可分为如下层次:O 层是由枯枝落叶形成的、未分解或有不同程度分解的有机物质层。A 层是受生物气候或人类活动影响形成的有机质积累和物质淋溶表层。有机质含量高,颜色较暗黑。E 层是硅酸盐粘粒、铁铝等物质明显淋失的漂白淋溶层。B 层是位于 A 层或(若有)E 层之下,硅酸盐粘粒、氧化铁、氧化铝、碳酸盐、其他盐类和腐殖质等物质聚积的淀积层。C 层是位于 B 层或 A 层(在无 B 层时)之下的母质层。R 层即基岩,或称母岩,虽非土壤发生层,但却是土壤剖面的重要组成部分,土壤形成的基础。采样时小心除去土壤表层凋落物,按 A 层和 B 层分别采集土壤,在每个层次不同部位,取 3 次土样,然后混合均匀,装入土壤袋。在实验室,土壤样品在塑料薄膜上或瓷盘内风干,当达到半干状态时,压碎,除石块、残根等杂物,然后铺成薄层,阴凉处风干。取风干样品 100~200 g,放在木板上用圆木棍碾碎,经反复处理使土样全部通过 2 mm 孔径的筛子,将土样混合均匀储于广口瓶内。

土壤样品经过上述处理之后,用于测定土壤 pH 值(电位法,水土比 2.5:1)、有机质(稀释热-重铬酸钾容量法:K₂Cr₂O₇-H₂SO₄)、土壤有效 N(碱解扩散法)、有效 P(盐酸-氟化铵法,其浓度分别为 0.025 mol·L⁻¹ 和 0.03 mol·L⁻¹)、速效 K(1 mol·L⁻¹ NH₄OAc, pH 值 7.0)、全 N(Kjeldahl-N)、全 P、全 K(NaOH 碱熔法)^[9]。

2.3 统计分析

对土壤各化学性质以演替阶段为因素进行单因素方差分析,共有早期天然次生林 SF1、较老天然次生林 SF2 和原始林 PF3 个水平。当差异显著时($p < 0.05$),则进行均值之间的多重比较分析(采用 Fisher's LSD 方法)。土壤有机质和各土壤化学指标采用相关分析,其相关程度采用 Pearson 相关系数进行衡量。

3 结果与分析

3.1 不同演替阶段土壤化学性质比较

3.1.1 不同演替阶段土壤 pH 值的变化 分析可知,在海南热带天然林中,所有演替阶段的土壤的 pH 偏酸性(表 1),这与龙文兴等人^[10]的研究结果

相吻合。在 A 层其 pH 值介于 3.79 ~ 4.68 之间;在 B 层介于 4.05 ~ 4.72 之间,是强烈的淋溶作用的结果。由此可见,在同一演替阶段群落下,从 A 层到 B 层,pH 值呈现出升高的趋势。这是因为土壤上层(A 层)枯落物较多,给土壤真菌的活动提供了较丰

富的资源,而且在酸性条件下,随着土壤温度的升高而使得土壤真菌的活动进一步加强。这促进了枯落物的分解,所分泌的酸性物质也较多,所以在上层(A 层)pH 值较下层(B 层)低。

表 1 热带天然林不同演替阶段的林地土壤性质情况

项目	pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全 N/ (g · kg ⁻¹)	有效 N/ (mg · kg ⁻¹)	全 P/ (g · kg ⁻¹)	有效 P/ (mg · kg ⁻¹)	全 K/ (g · kg ⁻¹)	速效 K/ (mg · kg ⁻¹)
A 层								
SF1(n=11)	4.68 ± 0.33(b)	22.9 ± 7.6(b)	1.12 ± 0.42(a)	127.30 ± 90.33	0.37 ± 0.29	19.331 ± 13.92(b)	15.43 ± 2.85(c)	42.24 ± 21.66(b)
SF2(n=16)	3.92 ± 0.29(a)	43.0 ± 11.8(a)	2.04 ± 0.76(b)	161.58 ± 31.34	0.31 ± 0.02	4.74 ± 2.04(a)	11.87 ± 2.39(b)	143.02 ± 65.03(a)
PF(n=6)	3.79 ± 0.10(a)	41.8 ± 7.6(a)	1.61 ± 0.59(ab)	203.70 ± 51.64	0.30 ± 0.01	6.01 ± 3.05(a)	8.92 ± 0.74(a)	183.67 ± 61.56(a)
B 层								
SF1(n=11)	4.72 ± 0.38(b)	14.6 ± 5.9	0.61 ± 0.30	61.88 ± 8.19(b)	0.22 ± 0.08(b)	17.30 ± 12.01(b)	16.65 ± 2.80(b)	24.75 ± 6.47(b)
SF2(n=16)	4.05 ± 0.17(a)	14.3 ± 8.0	0.93 ± 0.32	95.40 ± 28.16(a)	0.32 ± 0.03(a)	3.28 ± 1.21(a)	13.97 ± 2.32(a)	65.00 ± 33.32(a)
PF(n=6)	4.14 ± 0.24(a)	13.4 ± 4.2	0.74 ± 0.36	82.18 ± 21.8(a)	0.30 ± 0.01(a)	3.81 ± 0.63(a)	11.31 ± 2.14(a)	65.00 ± 33.32(a)

随着植被演替的进展,林地土壤的 pH 值呈现下降的趋势,A 层土壤从演替初期的 4.68 降至演替顶极的 3.79;B 层土壤由演替初期 SF1 的 4.72 降到 SF2 的 4.05,虽然从 SF2 到演替顶极表现出略微的增加趋势,但是总体表现出下降的趋势。同时,方差分析表明,在 A 和 B 层,处于演替早期阶段的 SF1 的 pH 值要明显高于处于较高阶段的 SF2 和顶替阶段的 PF 的 pH 值,这与丁圣彦^[11]、王国宏^[12]等学者的研究结果完全吻合。笔者分析认为,由于随着植被演替的正向进行,植物生长旺盛,群落内优势种变化趋势为中平到枫香,直至演替顶极树种。乔木种类的大量增加使林内凋落物也随之大量增加,分解作用逐渐增强,所分泌的酸性物质也较多,所以土壤 pH 值呈现降低的趋势。

3.1.2 不同演替阶段土壤有机质的变化 对于同一演替阶段的森林类型而言,在垂直剖面上,A 层的土壤有机质要明显高于 B 层土壤有机质,具有明显的“漏斗”效应,例如在 SF1 中,A 层土壤的有机质是 B 层 1.57 倍(表 1)。随着植被演替的进展,尽管 B 层土壤有机质变化并不明显,但是在 A 层土壤有机质含量有增加的趋势,方差分析同样表明 SF2 和 PF 的土壤有机质含量明显高于 SF1。这是由于土壤有机质的主要来源是凋落物,随着演替的进程,凋落增加土壤微生物活动活跃,加速了凋落物的分解,所以有机质呈现增加的趋势。张全发^[13]研究同样表明,土壤有机质随着植物盖度的增加而增加,并且其增加量与立地年龄有线性关系。

3.1.3 不同演替阶段土壤 N 素含量的变化 在 A

层和 B 层,SF2 和 PF 土壤全 N 含量都高于处于演替最早阶段的 SF1(表 1)。可见随着演替进程,土壤全 N 含量呈现出增加的趋势,反映了森林演替对 N 生物积累的促进作用。作为能够直接被植物吸收的有效 N,随着演替的进程呈现增长的趋势。方差分析表明,在 B 层,PF 和 SF2 的有效 N 含量要显著高于 SF1;在 A 层,虽然有效 N 在 3 个演替阶段并没有表现出显著的差异,但是仍然表现出随着演替的进行逐渐增加的趋势。从一定程度上说明,森林演替能够促进碱解 N 的积累。这和张庆费^[2]的研究结果相吻合。

3.1.4 不同演替阶段土壤 P 素含量的变化 在演替过程中,B 层中全 P 的含量呈现增大趋势,方差分析显示 SF2 和 PF 的全 P 含量要明显大于 SF1;而在 A 层中,在 3 个不同演替阶段土壤的全 P 含量(0.3 ~ 0.37 g · kg⁻¹)接近,差异不显著。

就有效 P 而言,无论在哪一个演替阶段,上层(A 层)的有效 P 含量都高于下层(B 层)的有效 P 含量,这是由于 P 属于矿质营养,土壤中速效 P 的基本来源是含 P 的矿物,大部分植物生长所需的 P 是在土壤的表层,植物分解返回的 P 也主要集中在林地的表层,土壤中的 P 被植物吸收之后又以凋落物的形式归还土壤^[3],所以林地土壤上层中的速效 P 含量高于林地下层。

随着演替的进程,作为能够被植物直接吸收利用的有效 P,在 A 层和 B 层都呈现出明显的下降趋势,方差分析表明 SF2 和 PF 有效 P 要明显小于 SF1(表 1)。这是由于土壤 pH 值与速效 P 呈显著正相

关关系^[14-15],而随着演替的进程,土壤 pH 值降低,导致有效 P 也相应降低。

3.1.5 不同演替阶段土壤 K 素含量的变化 土壤全 K 则随着演替过程呈现出减少的趋势(表 1)。方差分析表明,尤其在 A 层中,PF 要显著小于 SF2,而 SF2 要显著小于 SF1。作为植物矿物质营养的速效 K 的变化方向和全 K 截然相反,随着演替的进程,速效 K 呈现明显的上升趋势。且 SF2 和 PF 的速效 K 含量要明显比 SF1 的高。可见,演替对速效 K 具有正效应。这是由于随着演替的进程,土壤有机质呈现增加的趋势,而土壤有机质能够促进含 K 矿物的风化,并减少交换 K 的固定,从而增加土壤速效 K 的含量,此外森林掉落物也能归还土壤 K 素,但是凋落物含 K 相对较低。

3.2 不同演替阶段土壤有机质与养分的相关性

对土壤有机质与土壤 N、P、K 的相关分析(表 2)表明,不同类型林分土壤有机质与土壤 N、P、K 的相关性并不一致。在原始林和 SF2,有机质与土壤全 N 的相关性均达到极显著(B 层)或显著水平(A 层),呈现出明显的线性正相关关系,这和耿玉清^[16]

等人的研究结果相吻合。在 SF2 中,有机质和碱解 N 显著相关,而在原始林中仅在 B 层存在显著相关。在原始林和 SF1 中,有机质和有效 P 仅在 B 层显著相关。

相关分析结果一定程度上揭示土壤 N、P、K 的来源,若主要来源于土壤有机质的分解,则相关性显著,若部分或主要来源于成土母质,或以施肥的形式进入土壤,则相关性不明显。SF1 在原来的遗弃的耕地上自然演替仅仅为 15 年,是比较年轻的次生林,所以受到原有农耕时施加肥料的影响。仅有效 P 和土壤有机质相关,而其他化学指标都与土壤有机质不相关,从而证实了 N、P、K 不是来自于土壤有机质的分解,而是受到原来农耕肥料的影响。相比之下,在 SF2 中,土壤有机质和全 N、碱解 N 呈现显著或极显著关系,从一定程度上说明,土壤中的 N 来自有机质的分解。在原始林中,土壤有机质和全 N、碱解 N 以及有效 P 呈现显著或极显著相关关系,从一定程度上说明,有机质的分解是原始林土壤 N 和 P 的来源。

表 2 土壤有机质与土壤化学养分参数的相关系数

林分类型	层次	样本数	全 N	碱解 N	全 P	有效 P	全 K	速效 K
原始林	A	6	0.878 *	0.873	0.026	0.391	0.345	0.424
	B	6	0.969 **	0.816 *	0.578	0.971 **	0.300	-0.876 *
SF1	A	11	0.371	0.114	0.583	0.288	-0.033	-0.240
	B	11	0.406	0.471	-0.271	0.794 **	0.325	-0.088
SF2	A	16	0.767 *	0.857 *	-0.419	0.024	0.201	0.590
	B	16	0.882 **	0.850 *	-0.643	0.297	-0.277	0.199

注: * 表示相关性显著($p < 0.05$), ** 表示相关性极显著($p < 0.01$)。

4 结论与讨论

热带森林虽然较其它森林类型具有更高的生物量,但其生物量主要集中在地上植被中,而土壤中的生物量较少,土壤一般比较贫瘠。热带林一旦破坏,其恢复的难度比其他森林类型大。因此,热带森林土壤的保护,是热带森林可持续经营中最为重要的一个方面。土壤作为植被演替中环境的主要因子,其基本属性和特征必然影响群落演替,同时植物群落的变化会反作用于土壤特性,某一植被演替阶段的群落特征和土壤特征是群落和土壤协同作用的结果。因此,从演替的角度来探讨土壤化学性质的变化,对恢复热带天然次生林具有重要的意义。

就 SF1 而言,在 A 层,仅全 P 和有效 N 与 PF 未表现出显著差异,其他指标均表现出显著差异;在 B

层,仅有机质、全 N 与 PF 未表现出显著差异,其他指标都表现出显著性差异。与 SF1 相比而言,SF2 的土壤性质更接近 PF,在 A 层,仅仅全 K 与 PF 存在显著差异外,其他指标均未存在显著差异;在 B 层,所有指标都未表现出显著差异。结果表明,经过 15 年的天然演替,天然次生林 SF1 的土壤性质与原始林还是存在着显著差异,而经过 30 年的天然演替,SF2 的土壤化学性质已经接近原始天然林。这一结果和 Brown 等^[17]的结果相一致,Brown 等的研究表明热带天然次生林在经历 20~30 年的植被演替后,土壤性质会得到明显的正向发展,并接近原始林。总体而言,在热带天然次生林演替过程中,土壤的化学性质逐步得到改善,土壤肥力呈现出增强的趋势,表现出土壤与森林结构协同进步的趋势。相关分析表明,土壤化学性质的改善与土壤有机质有着密切的联系。在 SF2 和

PF 的关于有机质和土壤化学性质的相关分析中可以看出,有机质和大多数土壤化学性质呈现出显著正相关关系,从而在一定程度上说明土壤有机质对土壤化学性质的重要影响。

相关分析表明,土壤有机质和部分土壤化学性质有着较为密切的联系。就原始林而言,土壤有机质和全 N,在 A 层呈现极显著相关,在 B 层呈现显著相关;土壤有机质和碱解 N 在 B 层呈现显著相关;土壤有机质和有效 P 在 B 层呈现极显著相关。就 SF1 而言,土壤有机质仅和有效 P 在 B 层呈现极显著相关,土壤有机质和其他化学性质相关性并不显著。就 SF2 而言,土壤有机质和全 N,在 A 层呈现显著相关,在 B 层呈现极显著相关;土壤有机质和碱解 N 在 A 层和 B 层都呈现显著相关。上述分析,从一定程度上说明,土壤有机质对部分土壤化学性质具有一定的影响。

决定土壤有机质的重要因子是森林凋落物与凋落物的分解能力。热带森林是物种多样性最高的陆地生态系统。Connell^[18]指出原始天然林一旦被干扰,物种多样性将会变低,但是随着自然演替的进行,物种多样性呈现上升的趋势。本研究中,随着演替的进行,物种多样性逐步升高,乔木种类增加并且生长更加旺盛,这就使得森林凋落物的种类和数量也得到增加。再次,由于热带雨林的潮湿高温的环境因素,使得微生物种类繁多并且更加活跃,加速了枯落物的分解,土壤有机质得到增加,从而进一步使土壤化学性质得到改良。因此在次生林恢复的过程中,要有意识地保护林内凋落物,增加其林地土壤有机质的含量,从而使得土壤朝着正向发展,使整个立地质量得到改善。

此次研究只选择了 15 年、30 年的天然次生林和原始林作为不同的演替阶段,演替阶段的取样较少,很难准确地把握演替对土壤化学性质的影响,但是从一定意义上反映了土壤化学性质随着演替阶段的发展的大体趋势,选取更多的演替阶段,从而系统而准确地解释土壤化学性质与演替阶段的关系,值

得进一步探讨。

参考文献:

- [1] 李志洪,赵兰波,窦森. 土壤学[M]. 北京:化学工业出版社,2005
- [2] 张庆费,由文辉,宋永昌. 浙江天童植物群落演替对土壤化学性质的影响[J]. 应用生态学报,1999,10(1): 19-22
- [3] 宋洪涛,张劲峰,田昆,等. 滇西北亚高山地区黄栌林植被演替过程中的林地土壤化学响应[J]. 西部林业科学,2007,36(2): 65-70
- [4] 邓燧,陈秋波,刘建波. 海南省热带天然林保护和补偿现状及缺陷分析[J]. 热带农业科学,2007,27(2): 72-76
- [5] 丁易. 海南岛退化热带森林植被恢复生态学研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2006
- [6] 林媚珍,张镜铨. 海南岛热带天然林动态变化[J]. 地理研究,2001,20(6): 703-712
- [7] 李意德,陈步峰,周光益,等. 中国海南岛热带森林及其生物多样性保护研究[M]. 北京:中国林业出版社,2002
- [8] 陈富富,杨秀森. 中国海南岛热带天然林可持续经营[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000
- [10] 龙文兴,杨小波,吴庆书,等. 五指山热带雨林黑桫欏种群及其所在群落特征[J]. 生物多样性,2008,16(1): 83-90
- [11] 丁圣彦. 常绿阔叶林演替系列群落下土壤性质的比较[J]. 河南大学学报:自然科学版,1999,29(3): 92-96
- [12] Wang Guohong. Plant traits and soil chemical variables during a secondary vegetation succession in abandoned fields on the Loess Plateau [J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(8): 990-998
- [13] 张全发,郑重,金义兴. 植物群落演替与土壤发展之间的关系[J]. 武汉植物学报,1990,8(4): 321-334
- [14] 郭彦军,倪郁,韩建国. 农牧交错带人工种草对土壤磷素有效性的影响[J]. 草业学报,2010,19(2): 169-174
- [15] 蔡晓布,钱成,张永青,等. 秸秆还田对西藏中部退化土壤环境的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(4): 411-415
- [16] 耿玉清,余新晓,孙向阳,等. 北京八达岭地区油松与灌丛林土壤肥力特征的研究[J]. 北京林业大学学报,2007,29(2): 50-54
- [17] Brown S, Lugo A E. Tropical secondary forests[J]. Tropical Ecology, 1990, 6:1-32
- [18] Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs[J]. Science, 1978, 199: 1302-1310