

文章编号: 1001-1498(2009)01-0129-05

## 海南 4种典型林分土壤化学性质比较研究

王海燕<sup>1</sup>, 雷相东<sup>2</sup>, 陆元昌<sup>2</sup>, 周燕华<sup>3</sup>, 何楚林<sup>3</sup>

(1 北京林业大学水土保持学院, 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083;

2 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 3 海南省林业局, 海口 570203)

关键词: 原始林; 天然次生林; 人工林; 森林土壤; 土壤化学性质; 土壤肥力

中图分类号: S714

文献标识码: A

## Comparisons of Soil Chemical Properties under Four Typical Forest Stands in Hainan Province

WANG Hai-yan<sup>1</sup>, LEI Xiang-dong<sup>2</sup>, LU Yuan-chang<sup>2</sup>, ZHOU Yan-hua<sup>3</sup>, HE Chu-lin<sup>3</sup>

(1 College of Soil and Water Conservation, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating

Beijing Forestry University, Beijing 100083 China 2 Institute of Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China

3 Forestry Bureau of Hainan Province, Haikou 570203, Hainan, China)

**Abstract** Soil samples were collected from primary forest, natural secondary forest, *Pinus caribaea* and *Acacia mangium* stands in Baisha County, Hainan Province, for the determination of soil chemical properties including soil pH, organic matter, total and available N, P and K. The effects of soil layers and forest stands on soil chemical properties were compared. Results showed that forest soils in the studied area were strong acidic, with slight or moderate deficiency of available P, and moderate deficiency of available K (except the primary forest). The highest contents of soil total and available nutrients except for available P and total K were found in the primary forest, followed by natural secondary forest and *Acacia mangium* stands, and the lowest in *Pinus caribaea* stands. In soil layer A, except for total N and available P, significant differences were found for organic matter content and very significant differences for soil pH, hydrolyzable N, total P, and total and available K among the four types of forest stand. Similar trend was true for soil layer B. Correlation analysis indicated that soil organic matter content affected the total and available N, P and K in different manner. Soil organic matter had very significant or significant correlation with total N, and significant correlation with hydrolyzable N (only in soil layer B) in primary and natural secondary forests. Significant correlations between organic matter and total N and P were found in *Pinus caribaea* stands, but no significant correlations between organic matter and soil nutrients existed in *Acacia mangium* stands. Some suggestions on forest management were also proposed to improve forest soil quality.

**Key words** primary forest; natural secondary forest; plantation; forest soil; soil chemical properties; soil fertility

保持和提高土壤质量是实现林业可持续发展的前提。森林土壤不仅起着支持和固定林木生长的作用,而且供给林木在生长发育过程中所需要的营养

与环境条件。森林土壤质量是指土壤支撑林业生产所需的肥力高低;容纳、吸收、降解和自净各种环境污染物质能力的强弱,以及促进动植物健康能力大

收稿日期: 2008-06-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号 30671679)和国家“十一五”科技支撑课题(2006BAD03A04)

作者简介: 王海燕(1972—),女,湖北浠水人,副教授,从事植物营养、土壤污染等研究。Email: haiyanwang72@yahoo.com.cn

小的综合量度<sup>[1]</sup>。森林土壤质量评价指标应包含土壤的物理、化学和生物学性质,其中,常用的化学指标有土壤有机质、pH值、N、P和K的全量及其有效量等,这些因子既能很好地反应土壤肥沃程度、稳定性较高且易于调查和测定,在近自然经营的土壤调查中常被采用<sup>[2]</sup>。热带林是地球上生产力最高、生态功能最大的生态系统,但目前在海南海域内仅有少量保护很好的热带原始林,取而代之的是大面积的退化次生林和人工林。关于这些森林的土壤化学性质少见报道<sup>[3-5]</sup>。本文对海南省白沙县原始林、天然次生林、加勒比松(*Pinus caribaea* Morelet)林和马占相思(*Acacia mangium* Willd.)林4种典型林分土壤化学性质进行了测定,比较研究了不同土壤层次、不同林分对土壤化学性质的影响,以期为该区实施近自然森林经营及土壤资源可持续利用提供依据。

## 1 研究区概况

研究区位于海南省白沙黎族自治县。白沙县位于海南省中部偏西,总面积为2 117.73 km<sup>2</sup>。地形为东南高、西北低,山地面积占41.9%。具体实施地点位于白沙县南美村附近,19°8′~19°11′N、109°25′~109°27′E,海拔304~590m。该区属热带季风性气候,年平均气温22.9~24.2℃,年降水量1 400~2 400 mm之间。土壤类型以砖红壤和山地黄壤为主,由花岗岩和砂岩风化形成。

研究的4种林分分别为加勒比松林、马占相思林、天然次生林和原始林。加勒比松纯林(海拔440~520 m,坡度12°~28°),1999年造,造林株行距为1.5 m×1.5 m,林分平均胸径20 cm,平均树高14 m,自2003年始经过数次割脂,割脂强度为50%,林下植被较少,偶有天然更新的阔叶树种,主要为五月茶(*Antidesma fordii* Hemsli)、厚皮树(*Lanena coramandelic* (Houtt.) Merr.)。

马占相思林(海拔345~350 m,坡度15°~20°),1995年造,株行距为1.5 m×1.5 m,林分平均胸径22 cm,平均树高16 m,林下植被丰富,天然更新的阔叶林幼苗,如枫香(*Liquidambar formosana* Hance)、青果榕(*Ficus variegata* Bl var *chlorocarpa* (Benth.) King)、厚皮树、黄毛楸木(*Aralia decaisneana* Hance),有较多分布。林下主要植被有野琵琶(*Dillenia turbinata* Fin et Gagnep)、海南凤尾蕨(*Pteris cadieri* Christ var *hainanensis* (Ching) S. H. Wu)、亮叶猴耳环(*Archidendron lucidum* (Benth.) Nielsen)等。

热带原始林(海拔约580 m),具有高度的树种多样性,达120种,主要为壳斗科(Fagaceae)、胡桃科(Juglandaceae)、茶科(Theaceae)、柿科(Ebenaceae)、藤黄科(Guttiferae)、桑科(Moraceae)、樟科(Lauraceae)、梧桐科(Sterculiaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)等的树种,林下植物丰富,天然更新良好。平均胸径16.4 cm,平均树高为10.5 m。

天然次生林(海拔304~439 m,坡度8°~20°),树种79种,全部为阔叶树种,主要树种有中平(*Macaranga denticulata* (Bl) Muell Arg)、厚皮树、野琵琶、黄毛楸木等,层次丰富,林下幼苗较多。林下植被灌木主要有九节(*Ptychosia rubra* (Lour) Poir)、野牡丹(*Melastoma cordatum* D. Don)、三叉苦(*Euodia lepta* (Spreng) Merr)等,草本主要有海南凤尾蕨等。

## 2 研究方法

采用典型取样方法,对以上4种林分类型,在每个样地选择有代表性的土壤调查地段,各挖取2个土壤剖面,按土壤发生学层次(A、B层)取混合土样,共采集了104个土样。其中:原始林3块样地12个土样;天然次生林9块样地36个土样;加勒比松林8块样地32个土样;马占相思林6块样地24个土样。土壤样品经风干、磨细过筛(1 mm、0.25 mm土壤筛),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:K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)、土壤碱解N(碱解扩散法)、有效P(盐酸-氟化铵法)、速效K(1 mol·L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>OAc, pH值7.0)、全N(Kjeldahl N)、全P、全K(NaOH碱熔法)<sup>[6]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 林分土壤化学性质比较

原始林、天然次生林、加勒比松林和马占相思林4种类型林分土壤A层和B层的化学性质测定结果见表1。

土壤pH值是重要的化学性质指标,影响着养分的有效性。4种类型林分土壤的pH值均呈强酸性,是强烈的淋溶作用的结果,且在土壤A层和B层均表现为:原始林<天然次生林<加勒比松林<马占相思林。说明马占相思具有减弱土壤酸度的作用,这与Li等的研究结果一致<sup>[7]</sup>。

表 1 4 种类型林分土壤 A 层和 B 层的化学性质测定结果

化学性质	土壤层次	原始林 (n=6)	天然次生林 (n=18)	加勒比松林 (n=16)	马占相思林 (n=12)
土壤 pH 值	A	3.99(0.10) <sup>a</sup>	4.36(0.49) <sup>b</sup>	4.71(0.32) <sup>bc</sup>	5.00(0.78) <sup>c</sup>
	B	4.14(0.24) <sup>ac</sup>	4.44(0.46) <sup>c</sup>	4.71(0.34) <sup>bc</sup>	5.03(0.68) <sup>b</sup>
有机质 / (g·kg <sup>-1</sup> )	A	41.8(7.6) <sup>ab</sup>	31.4(13.8) <sup>b</sup>	27.1(7.3) <sup>b</sup>	33.7(4.4) <sup>b</sup>
	B	13.4(4.2) <sup>a</sup>	14.5(6.6) <sup>a</sup>	19.7(7.3) <sup>ab</sup>	20.6(7.4) <sup>b</sup>
全 N / (g·kg <sup>-1</sup> )	A	1.6(0.6) <sup>a</sup>	1.5(0.7) <sup>a</sup>	1.2(0.3) <sup>a</sup>	1.7(0.4) <sup>b</sup>
	B	0.7(0.4) <sup>a</sup>	0.7(0.3) <sup>a</sup>	0.7(0.2) <sup>a</sup>	1.2(0.3) <sup>b</sup>
碱解 N / (mg·kg <sup>-1</sup> )	A	203.70(51.64) <sup>a</sup>	140.16(74.28) <sup>b</sup>	66.10(14.54) <sup>c</sup>	123.18(63.64) <sup>b</sup>
	B	82.18(21.83) <sup>a</sup>	73.71(23.71) <sup>a</sup>	52.32(18.09) <sup>b</sup>	69.82(18.77) <sup>a</sup>
全 P / (g·kg <sup>-1</sup> )	A	0.30(0.01) <sup>a</sup>	0.35(0.22) <sup>a</sup>	0.25(0.19) <sup>a</sup>	0.71(0.46) <sup>b</sup>
	B	0.30(0.01) <sup>a</sup>	0.26(0.08) <sup>a</sup>	0.18(0.14) <sup>a</sup>	0.53(0.25) <sup>b</sup>
有效 P / (mg·kg <sup>-1</sup> )	A	6.01(3.05)	13.19(12.81)	12.07(12.91)	6.79(4.49)
	B	3.81(0.63)	11.40(11.46)	9.44(11.26)	4.86(3.07)
全 K / (g·kg <sup>-1</sup> )	A	8.9(0.7) <sup>a</sup>	13.9(3.2) <sup>b</sup>	17.3(3.4) <sup>c</sup>	13.5(3.5) <sup>b</sup>
	B	11.3(2.1) <sup>a</sup>	15.5(2.9) <sup>b</sup>	17.1(4.0) <sup>b</sup>	15.0(3.7) <sup>b</sup>
速效 K / (mg·kg <sup>-1</sup> )	A	183.67(61.56) <sup>a</sup>	84.68(67.22) <sup>b</sup>	34.87(11.03) <sup>bc</sup>	71.01(60.08) <sup>b</sup>
	B	77.78(29.33) <sup>a</sup>	41.70(29.53) <sup>bc</sup>	23.98(6.74) <sup>b</sup>	32.70(20.46) <sup>b</sup>

注: 括号里的数字为标准差; 同一行上标有相同字母者表示差异不显著 ( $P < 0.05$ )。

森林土壤养分状况反映了森林对土壤的影响结果, 又是衡量土壤肥力好坏的主要因素<sup>[8]</sup>。土壤有机质是土壤质量的主要指标。它是土壤养分的源与库, 并能改善土壤的理化性状, 促进土壤生物活动。同时, 土壤有机质含量还影响着土壤 N、P 的全量和有效量。4 种类型林分土壤 A 层的有机质含量表现为: 加勒比松林 (27.1 g·kg<sup>-1</sup>) < 天然次生林 (31.4 g·kg<sup>-1</sup>) < 马占相思林 (33.7 g·kg<sup>-1</sup>) < 原始林 (41.8 g·kg<sup>-1</sup>); 全 N 均值为 1.2~1.7 g·kg<sup>-1</sup>, 全 P 均值为 0.25~0.71 g·kg<sup>-1</sup>, 而全 K 均值为 8.9~17.3 g·kg<sup>-1</sup>, 远高于全 N、P 含量; 碱解 N 和速效 K 的含量均表现为: 加勒比松林 < 马占相思林 < 天然次生林 < 原始林; 而有效 P 的含量较低, 表现为: 原始林 < 马占相思林 < 加勒比松林 < 天然次生林, 但各林分间差异不显著。按照我国森林土壤养分贫瘠化等级的划分标准<sup>[9]</sup>, 4 种类型林分土壤的养分状况为: 有效 P 处于轻度或中度贫瘠, 速效 K 除原始林以外处于中度贫瘠。这也是热带地区土壤的一个重要特征。

方差分析表明: 在土壤 A 层, 除全 N 和有效 P 外, 4 种类型林分间土壤有机质含量呈显著差异 ( $P < 0.05$ ), 土壤 pH 值、碱解 N、全 P、全 K 及速效 K 差异达极显著水平 ( $P < 0.01$ ); 在土壤 B 层, 除有效 P 外, 4 种类型林分间有机质含量呈显著差异, 其他指标差异均达极显著水平。

除土壤 pH 值和全 K 外, 各林分土壤有机质、全 N、碱解 N、全 P、有效 P、速效 K 含量均为土壤 A 层

明显高于土壤 B 层, 说明土壤养分具有明显的表聚性, 主要原因为森林土壤表层的有机质和 N 素大多来源于枯落物的分解, 并受枯落物分解速率制约<sup>[10]</sup>。土壤 pH 值随土层深度增加而呈增加趋势, 这与庞学勇等人的研究结果一致<sup>[11]</sup>。林地全 K 含量在土壤 B 层较高, 可能是因为: 在热带多雨的气候条件下, K 元素极易从土壤 A 层淋溶至 B 层; 另外, 土壤母岩矿物中可能含有大量的 K。

除有效 P 和全 K 外, 原始林土壤的养分全量及有效量均为最高, 天然次生林和马占相思人工林次之, 而加勒比松人工林最低。这是因为, 原始林中累积了大量枯落物, 海南省独特的气候条件利于林地枯落物的分解, 因而其土壤有机质和全 N、碱解 N、速效 K 等的含量高; 而加勒比松人工林种植前实施清林过程, 灌木、草本被清除, 林下植被较少, 林地生物归还能力较低, 导致土壤肥力下降。

马占相思人工林土壤全 N、全 P 的含量高于天然次生林, 分析其原因可能与树种特性及人为经营活动(施肥、抚育、垦复等措施)有关; 但天然次生林土壤的有效养分含量较高。如马占相思人工林的全 P 含量平均为天然次生林的 2 倍, 而其有效 P 含量仅为天然林的 1/2, 说明在人工林培育过程中, 可能施用了 P 肥, 但施肥效果并不佳, 主要是由于 P 易被土壤固定, 施用的 P 肥不能迅速转化为树木可以吸收利用的有效 P; 此外, 施肥时期与施肥工艺水平还不适合海南省的热带环境。

树木种类及生长状况、林下植被、枯落物数量及

化学组成等直接影响土壤养分的贮量及其有效性<sup>[12]</sup>。马占相思作为一个多用途的固 N 树种,其林分下土壤有机质、全 N、全 P、碱解 N、速效 K 含量均高于加勒比松林地,仅全 K 和有效 P 含量例外。而加勒比松纯林中,由于枯落物长期由单一树种所提供,且枯落物以针叶为主,分解归还缓慢,造成土壤养分的全量和有效量低。因此,针叶、阔叶树种应适当的搭配进行混交,不但可以解决有机质含量低的问题,还可以缓和快速生长和营养不足的矛盾。

### 3.2 土壤有机质与养分的相关性分析

根据森林土壤养分元素动态变化规律,有机质含量与土壤全 N、全 P、碱解 N、有效 P 含量等分别呈不

同程度的正相关<sup>[10, 13-14]</sup>。对土壤有机质与土壤 N、P、K 的相关分析(见表 2)表明,不同类型林分土壤有机质与土壤 N、P、K 的相关性不尽一致。在原始林和天然次生林中,有机质与土壤全 N 的相关性均达到极显著或显著水平,与碱解 N 的相关性仅在 B 层呈显著相关,与速效 K 的相关性在不同土层表现不一致;在加勒比松林,有机质与土壤 A 层 N、P 的全量呈显著相关;而在马占相思林,有机质与土壤养分的相关性均未达到显著水平。相关分析结果也一定程度上表明了土壤 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。

表 2 土壤有机质与土壤养分的相关系数

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
天然次生林	A	18	0.797*	0.315	0.117	-0.330	-0.381	0.728*
	B	18	0.552	0.538*	-0.268	0.439	0.062	0.081
加勒比松林	A	16	0.614	0.394	0.526*	0.084	-0.059	-0.025
	B	16	0.177	-0.086	0.042	-0.210	0.130	0.336
马占相思林	A	12	0.475	0.567	-0.421	-0.447	-0.376	0.547
	B	12	0.174	-0.031	0.297	0.101	0.185	0.016

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

海南省白沙县森林土壤呈强酸性,有效 P 处于轻度或中度贫瘠,速效 K 除原始林以外处于中度贫瘠。应实施有效技术措施,改善土壤养分有效性,维持土壤生产力和可持续利用。

除有效 P 和全 K 外,原始林土壤的养分全量及有效量均为最高,天然次生林和马占相思人工林次之,而加勒比松人工林最低。在土壤 A 层,除全 N 和有效 P 外,4 种类型林分间土壤有机质含量呈显著差异 ( $P < 0.05$ ),土壤 pH 值、碱解 N、全 P、全 K 及速效 K 差异达极显著水平 ( $P < 0.01$ );在土壤 B 层,除有效 P 外,4 种类型林分间有机质含量呈显著差异,其他指标差异均达极显著水平。

不同类型林分土壤有机质与土壤 N、P、K 的相关性不尽一致。在原始林和天然次生林中,有机质与土壤全 N 的相关性均达到极显著或显著水平,与碱解 N 的相关性仅在 B 层呈显著相关,与速效 K 的相关性在不同土层表现不一致;在加勒比松林,有机质与土壤 A 层 N、P 的全量呈显著相关;而在马占相思林,有机质与土壤养分的相关性均未达到显著水

平。一定程度上反映了不同类型林分土壤大量养分元素的主要来源。

人工针叶纯林的枯落物分解缓慢,不利于养分的释放和再利用,导致土壤有机质和养分含量低,本研究再次证明了这一点。建议在营造人工林或改造现存的人工林时,按照不同的生态位引入本土的天然树种,注入自然的成分,并尽可能地使林分接近当地天然植被的自然发生,模仿原始林的植被组成,使林分处于近自然经营的状态,便可发挥出天然林的一些优势,实现土壤养分的良性循环,将有利于森林土壤资源的可持续利用。

### 参考文献:

- [1] 曹志洪, 史学正. 提高土壤质量是实现我国粮食安全保障的基础 [J]. 科学新闻周刊, 2001, 46: 9-10
- [2] 陆元昌. 近自然森林经营的理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 16-21-22
- [3] 杨小波, 张桃林, 吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系 [J]. 生态学报, 2002, 22 (2): 190-196
- [4] 杨小波. 海南次生植被与其土壤性质的关系探讨 [J]. 土壤, 2003, 35 (5): 429-434
- [5] 骆士寿, 李意德, 陈德祥, 等. 海南岛热带山地鸡毛松人工林的土壤性质研究 [J]. 海南大学学报, 自然科学版, 2005, 23 (4):

340-346

- [ 6 ] 鲍士旦. 土壤农化分析 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [ 7 ] Li Zhíán, Cao Yusong. Acid buffering capacity of forest litter from some important plantation and natural forests in south China [ J ]. *Acta Botanica Sinica* 2003, 45 ( 12 ): 349- 355
- [ 8 ] 姜培坤, 李生荣. 千岛湖地区天然次生林地枯落物与土壤状况的调查分析 [ J ]. *浙江林学院学报*, 1999, 16 ( 3 ): 260- 264
- [ 9 ] 赵其国. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控 [ M ]. 北京: 科学出版社, 2002 42
- [ 10 ] 庞学勇, 刘 庆, 刘世全, 等. 川西亚高山云杉人工林土壤质量性状演变 [ J ]. *生态学报*, 2004, 24 ( 2 ): 261- 267
- [ 11 ] 庞学勇, 包维楷. 岷江柏林下土壤养分特征及种群间差异分析 [ J ]. *山地学报*, 2005, 23 ( 5 ): 596 - 605
- [ 12 ] 陈爱玲, 游水生, 林德喜. 阔叶林地在不同更新方式下土壤理化性质的变化 [ J ]. *浙江林学院学报*, 2001, 18 ( 2 ): 127- 130
- [ 13 ] 杨承栋, 张万儒. 卧龙自然保护区森林土壤有机质的研究 [ J ]. *土壤学报*, 1986 23 ( 1 ): 30- 38
- [ 14 ] 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