

鼎湖山亚热带森林群落演替对土壤化学性质影响的累积效应研究*

欧阳学军, 黄忠良, 周国逸, 褚国伟, 李 炯, 史军辉, 徐国良

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要: 比较研究了亚热带鼎湖山森林群落演替序列中马尾松林、针阔混交林和季风常绿阔叶林表层(0~20 cm)土壤 pH 值、有机质、全 N、速效 K、交换性 Ca 和 Mg、有效 P、B、Mo、Cu、Fe、Zn 和易还原 Mn 等营养元素的含量及其相关关系, 结果表明: 马尾松林土壤 pH 值显著高于其它两森林土壤; 随着群落的进展演替, 养分在土壤中的累积(Ca 除外)呈不断增加的趋势, 即马尾松林 < 针阔叶混交林 < 季风常绿阔叶林, 不同指标的累积呈现出持续增加(有机质、交换性 Mg、有效 B、Mo、Cu、Fe 和易还原 Mn)、持续递减(交换性 Ca)、先增加再减少(有效 P)和先减少再增加(pH 值、总 N 和有效 Zn)的 4 种变化形式; 土壤养分元素的相关对数对以马尾松林最多。植物对土壤性质的影响累积效应显著, 森林群落的进展演替过程是土壤养分不断积累的过程, 土壤有效养分元素来源也趋多元化。

关键词: 鼎湖山; 森林群落演替; 土壤 pH 值; 土壤养分

中图分类号: Q 948.154; S151.93

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2003)04-0051-04

Accumulative Effects of Forest Community Succession on Soil Chemical Properties in Dinghushan of Tropical China

OU YANG Xue-jun, HUANG Zhong-liang, ZHOU Guo-yi, ZHU Guo-wei, LI Jiong, SHI Jun-hui, XU Guo-liang

(South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650)

Abstract: Comparative studies on the pH value, organic matter, total N, exchangeable Ca and Mg, available K, P, B, Mo, Cu, Fe, Zn, Mn in the 0~20 cm soil layer among the 3 forests, *Pinus massoniana* forest (PMF), pine and broadleaf mixed forest (PBMF), and monsoon evergreen broadleaf forest (MEBF) which consists of a succession series in Dinghushan, south China show that the pH value in PMF soil (4.34 ± 0.09) was distinctly higher than that in PBMF (4.15 ± 0.11) and MEBF (4.19 ± 0.10); As progressive succession proceeded, the organic matter, exchangeable Mg, available B, Mo, Cu, Fe, and Mn in soil were ranked in the order PMF < PBMF < MEBF, but the exchangeable Ca was PMF (2.15 ± 0.35) mmol (Ca^{2+})/kg > PBMF (1.79 ± 0.32) mmol (Ca^{2+})/kg > MEBF (1.42 ± 0.33) mmol (Ca^{2+})/kg). Meanwhile the available P in soil was increasing from PMF (1.96 ± 0.67) g/kg to PBMF (2.60 ± 0.72) g/kg dominantly then decreasing from PBMF to MEBF (2.38 ± 0.87) g/kg, but total N and available Zn were decreasing from PMF to PBMF then increasing from PBMF to MEBF. Their correlation element-couples in the soil under PMF were more than that under others. Plant community could exert an dominantly influence on soil nutrient reserve. With plant community succession progressing, soil nutrients content keep on accumulating and soil nutrient come from multi-source.

Key words: Dinghushan; forest community succession; pH value; soil nutrient

植被和土壤是生态系统中相互影响、相互作用的重要组成部分。土壤为植被的存在和发展提供必要的物质基础, 植被的出现及其演替, 反过来也将影响土壤的形成和发育。植被演替与土壤性质演变之间的关系是生态学研究的重要内容^[1], 也是林业工作者在人工林地力普遍衰退的困难面前, 不得不重视的课题。通过研究群落演替过程中土壤营养元素含量等性质的变化规律, 认识植被对土壤肥力的作用, 预防物质元素失衡现象的发生, 揭示群落演替过程中土壤肥力的演化机制, 为森林生态系统管理和持续利用提供理论依据。

处于亚热带的鼎湖山具有从初级到近似顶级的森林群落演替系列, 为亚热带森林群落演替理论的形成提供了良好基地^[2,3], 也为植被演替与土壤性质演变关系研究提供条件。以往的研究者已经对该系统的土壤进行了许多研究, 主要包括: 土壤本底调查, 土壤类型的划分, 土壤理化性质及矿物成分分析以及土壤大量养分

* 收稿日期: 2003-07-04

基金项目: 中国科学院创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-120), 广东省基金重点项目(010567)和中国生态系统研究网络(CERN)鼎湖山站监测项目资助

作者简介: 欧阳学军, 男, 生于 1973 年, 助理研究员, 博士。主要从事生态系统营养循环和水化学方面的研究, 已发表论文 10 余篇。

季节动态^[4,5]。本文从森林群落演替过程中森林植被类型对表层土壤营养条件影响的累积效果差异出发,探讨土壤营养状况在群落演替过程中的变化规律,补充该系统及南亚热带这方面研究的不足。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

研究地建立在广东省肇庆市鼎湖山自然保护区(N 23°10', E 112°34')内,该区面积 1 145 hm²,属南亚热带季风气候,年平均气温 21.0℃,年平均相对湿度为 80%,年平均降雨量为 1 927.3 mm,干湿季明显,4~9 月为雨季,10~3 月为旱季。最冷月(1 月)和最热月(7 月)的平均气温分别为 12.6℃和 28.0℃^[6]。土壤由不同颜色、硬度与质地的砂岩、砂页岩、页岩和石英砂岩发育而成,主要土壤类型为赤红壤和红壤,所研究的 3 种森林林下土壤均为赤红壤^[4],并且都在东南坡,坡度 30°~40°。

1.2 演替系列不同演替阶段 3 种森林概况

本文研究的 3 种森林群落处在群落演替进程中 3 个不同阶段^[2,3]。马尾松林林地海拔 50~200 m,为 1960 年前人工种植的单种马尾松林,以后在自然状况下发展,马尾松是现有唯一的乔木层,林下灌木丰富,主要为桃金娘、三叉苦等,偶见如荷木等阔叶树种幼苗,现处在南亚热带森林群落演替的初级阶段。针阔叶混交林林地海拔 100~250 m,是人工种植的马尾松群落被先锋阔叶树种入侵后自然发展演变而成,是马尾松群落向季风常绿阔叶林演替发展的一个中间过渡类型,针叶树是马尾松,阔叶树种主要有荷木、锥栗、红皮紫椴、藜蒴等,针阔比例约 4:6。季风常绿阔叶林林地海拔 250~400 m,是有近 400 年记录保护历史的南亚热带地带性植被类型,整个群落处于由阳性植物占优势的森林向中生性和耐阴性植物占优势的演替顶极群落类型演变的最后阶段^[3],群落外貌终年常绿,垂直结构复杂,群落优势树种主要有锥栗、荷木、厚壳桂、黄果厚壳桂、鼎湖钓樟等。

1.3 采样与分析

1998 年 7 月用直径 2 cm 的土钻按近似网格法在以上 3 个森林群落内采集 0~20 cm 土壤 20 个,每个样品为每个位置点直径 1 m 范围内的 7 钻土混合而成。土壤风干后去掉可见根系和碎石后磨碎装瓶供测试。

测试项目和方法:土壤 pH 值为 5~1 水提,pH 计(S-2)测定;有机质为 K₂Cr₂O₇-砂浴加热,FeSO₄ 滴定;全 N 用过硫酸钾氧化,紫外分光光度法测定;有效 P 为 NH₄F-HCl 浸提,钼锑抗比色;速效 K、交换性 Ca 和 Mg、有效 Cu、Fe、Zn 和易还原 Mn 用 NH₄OAc 浸提,原子吸收分光光度计测定;有效 B 用甲亚胺比色法测定;有效 Mo 用草酸-草酸铵浸提,硫氰酸钾比色法测定。全部结果以 105℃恒重为基准。

2 结果与分析

2.1 群落演替过程中土壤 pH 值和养分含量的变化特征

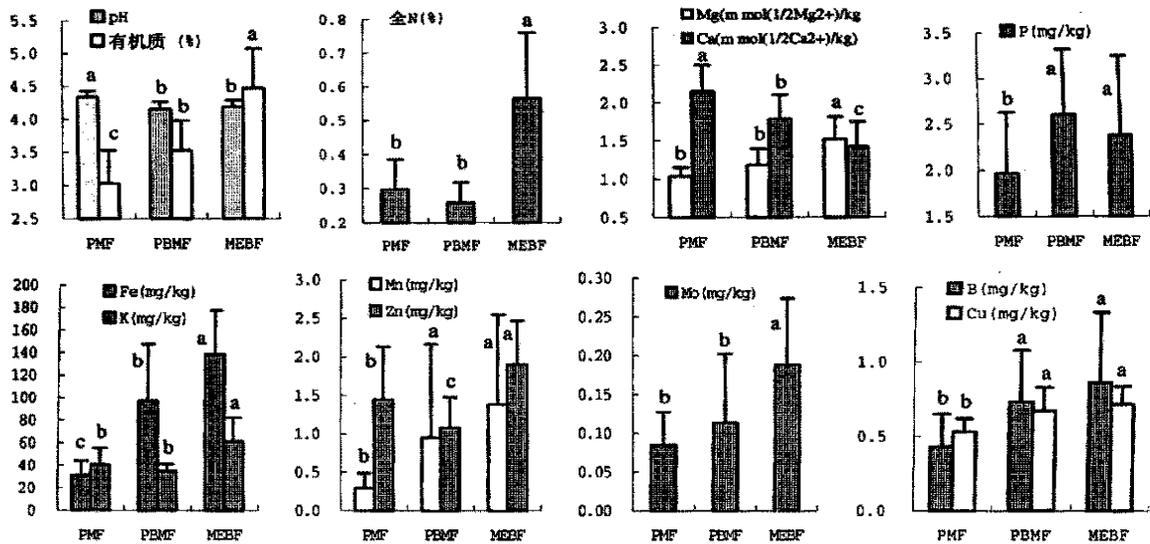
用平均值作比较,随着群落演替,土壤 pH 值和养分含量表现出以下 4 种变化类型。

第 1 类是以有机质、有效 Mg 和有效微量养分 B、Mo、Cu、Fe、Mn 为主体,其特征是随着群落从初级阶段的马尾松林演替到成熟的季风常绿阔叶林,土壤中含量逐渐增加(图 1),其含量混交林土壤是马尾松林土壤的 1.16~3.19 倍,季风常绿阔叶林土壤是马尾松林土壤的 1.36~4.65 倍。例如有机质,其含量从马尾松林土壤的(3.03±0.50)%,增加到混交林土壤的(3.52±0.46)%和季风常绿阔叶林土壤的(4.47±0.61)%,总增加 1.47 倍。Fe、Mn 增幅最大,混交林和季风常绿阔叶林土壤有效 Fe 是马尾松林土壤的 3.14 倍和 4.48 倍,Mn 是 3.19 倍和 4.65 倍。反映了土壤有机质和微量元素的累积过程。

第 2 类以交换性 Ca 为代表,其特征是随着群落的进展演替,土壤含量逐渐减少(图 1)。其在混交林土壤(1.79±0.32) mmol($\frac{1}{2}$ Ca²⁺)/kg)和季风常绿阔叶林土壤(1.42±0.33) mmol($\frac{1}{2}$ Ca²⁺)/kg)分别比马尾松林土壤(2.15±0.35) mmol($\frac{1}{2}$ Ca²⁺)/kg)减少了 17% 和 34%。

第 3 类以有效 P 为代表,其特征是在群落演替过程中,土壤中含量先逐渐增加,到一定阶段后又逐渐减少(图 1)。例如,演替中间阶段的混交林土壤中有有效 P 含量(2.60±0.72) mg/kg 比成熟的季风常绿阔叶林土壤(2.38±0.87) mg/kg 和较初阶段的马尾松林(1.96±0.67) mg/kg 都高。

第 4 类以 pH 值、总 N 和有效 Zn 为主体,其特征是在群落演替过程中,土壤含量先逐渐减少,到一定阶段后又逐渐增加(图 1)。混交林土壤比马尾松林土壤减少 4.3%~25.5%,而季风常绿阔叶林土壤比混交林土壤增加 1%~118%。其中,pH 值由马尾松林土壤的 4.34±0.09 减至混交林的 4.15±0.11,再增至季风常绿阔叶林的 4.19±0.1,减幅显著,增幅很小,而总 N 和有效 Zn 的增幅是减幅的 3~10 倍,反映了总体上增加的趋势。



注: PMF 马尾松林, PBMF 针阔叶混交林, MEBF 季风常绿阔叶林; 不同字母表示其含量存在显著差异 ($p = 0.05$)。

图 1 演替过程中 3 森林土壤 pH 值与养分含量变化及差异显著性 ($n = 20$)

上述表明, 土壤中 pH 值和养分含量在森林群落的演变过程中具有不同的变化形式, 反映了不同元素生物地球化学性质的差异, 以及森林土壤对不同营养累积方式和维系的差异。F 检验显示, 3 种群落土壤除有效 Zn 在 0.05 水平上显著, 其它各项均在 0.01 水平以上显著。新复极差法检验表明, 演替初级阶段的马尾松林土壤和成熟的季风常绿阔叶林土壤 pH 值与所有养分含量均存在显著差异, 马尾松林土壤和混交林土壤除了总 N、有效 K、Mg、Mo 不存在显著差异外, 其它各项都存在显著差异, 混交林和季风常绿阔叶林土壤除了 pH 值、有效 P、Cu、B、Mn 外, 其它各项也存在显著差异。而有机质、有效 Ca、Fe、Zn 在 3 种森林土壤含量间均存在显著性差异(图 1)。差异显著性分析说明, 森林影响土壤养分含量是一个渐进的累积过程, 只有在达到一定的阶段后才会产生显著的变化。

表 1 演替过程中 3 种森林土壤 pH 值与养分含量显著相关对汇总表 ($p = 0.05$)

2.2 演替过程中土壤 pH 值和养分含量间的相关性变化特征

养分之间的相关关系反映了它们之间相互作用、相互影响状况。从总体上看(表 1), 在演替初期的马尾松林土壤呈显著性相关的养分对(不包括 pH 值和有机质)最多, 在 55 个相关对中有 17 对呈显著相关, 约占 31%, 而混交林和季风常绿阔叶林土壤只有 9 对和 10 对, 要少得多。其中, 大量

	马尾松林		混交林		季风常绿阔叶林	
	大量元素	微量元素	大量元素	微量元素	大量元素	微量元素
pH	P	Fe		Fe, B, Zn	P	Fe, B
有机质	N		P	Cu, Mn		
N	OM, K, Ca, Mg	B, Cu, Zn			Mg	B
P	PH	B, Zn, Fe	OM	B, Zn	pH	Fe
K	N, Mg			Mn		
Ca	N, Mg	Cu, Zn		Mn	Mg	Mn
Mg	N, K, Ca	Cu		Cu, Mn	Ca, N	B, Fe, Mn
B	N, P	Zn, Fe	pH, P	Zn, Fe	pH, N, Mg	Fe
Mo						
Cu	N, Ca, Mg	Zn	OM, Mg			
Zn	N, P, Ca	B, Cu	pH, P	Fe, B		Mn
Fe	pH, P	B	pH	B, Zn	pH, P, Mg	B
Mn			OM, K, Ca, Mg		Ca, Mg	Zn

营养元素间的相关, 也以马尾松林土壤中对数最多, 10 对中占了 5 对, 而在混交林土壤没有任何显著相关对(不包括 P 与有机质的显著相关), 季风常绿阔叶林土壤只有 Mg-Ca 和 Mg-N 两个相关对。大量与微量元素也是以马尾松林土壤中对数最多, 30 对中占了 9 对, 另两森林土壤有 6 对。微量营养元素间的显著相关对在 3 种林型土壤中基本相同, 15 对中占了 2 对或 3 对。

有效微量元素 Mo 在 3 个阶段土壤中都不与 pH 值和其它养分出现相关对。有效 B- 有效 Fe 和 pH 值- 有效 Fe 是在 3 个阶段森林土壤中都出现的相关对。在马尾松林土壤中总 N 与其它 12 项化学性状中的 7 项存在显著相关, 是相关程度最好的成分。在季风常绿阔叶林土壤中相关程度最好的 Mg, 它与其他 5 项呈显著相关。在季风常绿阔叶林土壤中的有机质、K 和 Cu, 在混交林土壤中 N 和在马尾松林土壤中的 Mn 都不与其它测定的成分显著相关。

3 讨论

植物群落一方面主要通过改变群落内的水热环境, 影响土壤的发育条件并间接影响土壤的理化性质; 另一

方面通过凋落物和根系作用参与土壤的形成过程来改变土壤理化性质。植物的根系主要分布于土壤表层。因此,采集 0~20 cm 的土壤来研究,基本能反映植被对森林土壤的影响。

研究的 3 个森林群落分布在同一气候和地质背景条件下,处于明显不同的演替阶段,它们表层土壤间的 pH 值、有机质和有效养分含量存在显著差异,反映了不同植被对土壤改良作用的累积效果存在差异,这在其它研究中有相似的结果^[1]。说明在南亚热带的鼎湖山植被对土壤的改良效果也是不可忽视的。

在森林群落的演替过程中,不同演替阶段群落下表层土壤中有有机质和有效养分含量随着演替表现出 4 种变化方式:有些不断增多,有些不断减少,有些先增再减,有些先减再增,这说明由于化学元素自身性质的差异,植被在改良土壤的过程中,对不同成分有不同的作用方式,导致有不同的累积结果。然而,随着群落的进展演替,对于大多数成分来讲,在土壤中的累积仍然是不断增加的,即土壤养分含量是季风常绿阔叶林>针阔叶混交林>马尾松林。即使是那些在演替过程中先减再增的成分,在最后近似顶级群落的土壤中,也是最高的;先增后减的,在季风常绿阔叶林和针阔叶混交林土壤(均比马尾松林土壤高)间也不存在显著差异,都展现出同样的变化趋势。这与早期的研究^[5]以及其他土壤研究的结果是一致的^[1]。说明森林群落的进展演替过程也是土壤养分不断积累的过程。

土壤有效 Ca 含量随群落的演替显著减少,这在以前的研究中并未出现^[5]。pH 值的差异不能解释这种现象,因为 Ca 与 pH 值并不相关,且季风常绿阔叶林和针阔叶混交林土壤 pH 值不存在显著差异,而 Ca 存在(见图 1)。凋落物养分 Ca 归还量季风常绿阔叶林几乎是马尾松林的 3 倍^[5],也无法解释土壤有效 Ca 含量显著减少,这种现象可能与凋落物分解速率有关。在研究的演替系列森林的凋落物分解速率是季风常绿阔叶林>针阔叶混交林>马尾松林,并存在显著差异^[7],凋落物分解越快,养分淋溶也越快。其原因或许与不同植物对 Ca 的喜好程度有关,植物对 Ca 的偏好使土壤交换性 Ca 含量减少,因为马尾松体内 Ca 含量(针叶 2.61 g/kg,树干 0.99 g/kg^[8])比季风常绿阔叶林植物平均 Ca 含量(叶 1.18%,干 0.45%^[9])低。具体原因有待进一步研究。

土壤母质的风化和凋落物养分的归还还是森林土壤有效养分的主要来源。很多研究已经证明,凋落物养分归还向土壤提供养分的作用十分明显。然而,植物群落通过改变群落内的水热环境,进而影响土壤的发育条件并间接影响土壤理化性质的研究并不多见。另外,不同群落内温湿度间也存在显著差异^[10],土壤颗粒组成也是影响土壤肥力的重要因素^[11]。

元素含量相关关系的现象在土壤、植物体^[12,13]以及水体中都存在。元素的相关关系与元素相似性质、共同的来源以及生物化学功能上的相似性有关,某种(或某些)元素的缺乏会影响元素间的相关性^[12]。本研究中对马尾松林向季风常绿阔叶林演替的过程中,土壤有效养分元素相关对呈减少的趋势,可能会从养分元素来源找到部分解释。3 种森林土壤母质基本上相同,但马尾松林树种类型简单,对养分需求比较一致,因此,由植物引起土壤风化获得养分比较一致,而来源于凋落物归还的养分,主要是马尾松的凋落物,也是比较一致的。而混交林和季风常绿阔叶林植物种类丰富,对养分需求和凋落物养分归还都多样化、复杂化,因此,元素相关性也就越不明显。土壤有效元素相关性分析可能说明,随着群落的演替,群落土壤养分的来源更加多元化,一定程度上显示了群落自肥功能更趋稳定。当然,元素之间的关系十分复杂^[13],要揭开各元素间的相关机理,尚需更多研究。

参考文献

- [1] 卢其明,林琳,等.车八岭不同演替阶段植物群落土壤特性的初步研究[J].华南农业大学学报,1997,18(3):48-52
- [2] 王伯荪,马曼杰.鼎湖山自然保护区森林群落的演变[J].热带亚热带森林生态系统研究,1982(1):142-156
- [3] 彭少麟著.南亚热带森林群落动态学[M].北京:科学出版社,1996:57-71
- [4] 何金海,陈兆其,梁永奕.鼎湖山自然保护区之土壤[J].热带亚热带森林生态系统研究,1982(1):25-38
- [5] 夏汉平,等.鼎湖山不同林型下的土壤酸度和养分含量差异及其季节动态变化特性[J].生态学报,1997,17(6):645-653
- [6] 黄展帆,范征广.鼎湖山的气候[J].热带亚热带森林生态系统研究,1982(1):11-16
- [7] 张德强,叶万辉,余清发,等.鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究[J].生态学报,2000,20(6):36-42
- [8] 莫江明, Brown S, 孔果辉,等.鼎湖山马尾松林营养元素的分布和生物循环特征[J].生态学报,1999,19(5):635-640
- [9] 莫江明,等.鼎湖山亚热带常绿阔叶林植物营养元素分配格局研究[J].热带亚热带植物学报,2000,8(3):198-206
- [10] 欧阳学军,黄忠良,周国逸,等.鼎湖山 4 种主要森林温湿度差异分析[J].热带亚热带植物学报,2003,11(1):53-58
- [11] 谭军,钟继洪,骆伯胜,等.广东坡地红壤颗粒组成状况的研究:III 土壤颗粒组成与土壤理化性质的关系[J].热带亚热带土壤科学,1998,7(2):102-105
- [12] Garten Jr C T. Correlations between concentrations of elements in plants[J]. Nature, 1976, 261: 686-688
- [13] 侯爱敏,彭少麟,周国逸.广东鼎湖山马尾松年轮元素含量及其相关性研究[J].生态学杂志,2002,21(1):6-9