

# 鼎湖山3种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\*

夏汉平 余清发 张德强

(中国科学院华南植物研究所, 广州, 510650)

**摘要** 主要研究了鼎湖山自然保护区内3种主要林型(季风常绿阔叶林、马尾松针阔叶混交林、马尾松林)下0~60cm土层的酸度、有机质、水解氮、速效磷、钾、交换性钙、镁等几种营养元素的含量状态以及它们的季节动态变化。结果表明,土壤pH值都随着季节变化而逐渐升高,不同林型间的差异是松林>混交林>阔叶林,而且它们都是表层低于中下层。产生上述现象的原因可能是由于植被类型不同导致土壤微生物数量不同的结果。土壤养分含量明显地表现为阔叶林和混交林大于松林,这表明阔叶林和混交林在改良土壤养分方面所具有的优势。在同一剖面内,表层养分的含量明显高于中下层,而中下层之间相差不大。季节变化对速效磷影响最大,对有机质影响最小。养分含量大多在冬季较高。

**关键词:** 森林土壤, 土壤酸度, 土壤养分, 养分动态变化, 鼎湖山自然保护区。

## THE SOIL ACIDITY AND NUTRIENT CONTENTS, AND THEIR CHARACTERISTICS OF SEASONAL DYNAMIC CHANGES UNDER 3 DIFFERENT FORESTS OF DINGHUSHAN NATURE RESERVE

Xia Hanping Yu Qingfa Zhang Deqiang

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510650, China)

**Abstract** The soil acidity and contents of several nutrients, organic matter, hydrolysable N, available P, K, exchangeable Ca, Mg, and their seasonal dynamic changes under 3 different forests, *Pinus massoniana* forest (PMF), pine and broadleaf mixed forest (PBMF), and monsoon evergreen broadleaf forest (MEBF) of Dinghushan Nature Reserve were investigated. Soil pH was ranked in the order PMF > PBMF > MEBF, and increased with soil depth and the seasonal changes. The reason for the above phenomena was probably soil microbes, which had a significant correlation with soil pH. Soil nutrients were the highest in MEBF, second in PBMF, and lowest in PMF. In the same soil profile, they were the high-

\* 中国科学院生态研究网络(CERN)提供资助。

收稿日期: 1995-12-18, 修改稿收到日期: 1996-05-21。

est in the surface horizon, and decreased with depth except exchangeable Ca. The seasonal changes affected significantly available P, but did slightly organic matter.

**Key words:** forest soil, soil acidity, soil nutrients, dynamic changes of nutrients, Dinghushan Nature Reserve

森林土壤是森林生态系统中一个非常重要的组成部分,也一直是土壤和生态工作者研究的重点。广东鼎湖山自然保护区的森林生态系统是我国南亚热带最具代表性的森林生态系统之一,其林下土壤也是南亚热带较为典型的赤红壤和红壤等土类。从50年代初就已开始对鼎湖山森林生态系统进行科学研究<sup>[1]</sup>,迄今已做了大量的工作,然而对该系统土壤部分的研究相对来说要少得多,仅有的一些研究都主要集中在对土壤的本底调查,土壤类型的划分,土壤物理性质以及矿物成分分析等方面<sup>[2-6]</sup>。对不同林型下的土壤养分状况及其差异,尤其是有关土壤酸度和养分季节动态变化的研究至今还是空白。本文即是针对这一方面开展初步研究,以便为今后更系统、深入地研究该保护区的土壤和营养元素的生物地球化学循环提供一些素材。

## 1 试验地概况与研究方法

### 1.1 试验地概况

鼎湖山自然保护区位于东经112°35',北纬23°08'。这里的年降雨量约1900mm,年均温21.4℃,干湿季较明显,4~9月为雨季,10~3月为旱季。最冷月(1月)和最热月(7月)的平均温度分别为12.6℃和28.0℃<sup>[7]</sup>。土壤由泥盆纪厚层变质砂岩、砂页岩发育形成,主要土壤类型有赤红壤、红壤等<sup>[2,3]</sup>。

### 1.2 3个林地概况

本文所研究的土壤均为赤红壤,采自保护区内不同演替序列森林3个最有代表性的林型下。

**1.2.1 马尾松林**(*Pinus massoniana* forest, PMF) 位于保护区东南角过渡区,为1990年建立的试验样地,海拔高50~200m。马尾松是人工种植,在自然条件下发展,因此是一种半自然林型。林龄约50a,林冠稀疏,局部偶见阔叶树种,如大叶桉(*Eucalyptus robusta*),黎蒴(*Castanopsis fissa*)等。

**1.2.2 马尾松阔叶混交林**(Pine and broadleaf mixed forest, PBMF) 位于保护区南部二宝峰山腰的过渡区,紧靠核心区,为1980年建立的永久样地,海拔200~400m。该处原为人工种植的马尾松林,后因缺乏管理,先锋性的阔叶树逐渐侵入而成为针叶、阔叶混交林,是马尾松林向季风常绿阔叶林演替发展的一个过渡类型。针阔树的比例随演替阶段的不同而存差异。林中的阔叶树主要有荷木(*Schinus superba*),锥栗(*Castanopsis chinensis*),红皮紫棱(*Craibiodendron kwangtungense*),黎蒴等。

**1.2.3 季风常绿阔叶林**(Monsoon evergreen broadleaf forest, MEBF) 位于保护区的核心区内,海拔250~400m。季风常绿阔叶林是南亚热带代表性植被类型,群落外貌终年常绿,层次结构复杂,优势树种主要有锥栗,荷木,厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*),黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*),鼎湖钓樟(*Lindera chunni*)等。

### 1.3 采样与测定方法

**1.3.1** 在以上3个林型的样地,于1993年的1、4、7、10月(分别代表冬、春、夏、秋),在每个样地各挖10个土壤剖面,按0~20、20~40、40~60cm(以下分别简称表、中、下层),采集土壤样本,风干磨碎装瓶供测试。

**1.3.2** 分析项目为土壤pH值,有机质(O.M.),水解氮(N),速效磷(P)、钾(K),交换性钙(Ca)、镁(Mg)。测定方法:pH值为5:1的水土比,电极测定;有机质为K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-砂浴加热,FeSO<sub>4</sub>滴定;N为碱解蒸馏;P为NH<sub>4</sub>F-HCl浸提,钼锑抗比色;K,Ca,Mg为NH<sub>4</sub>OA c浸提,原子吸收分光光度计测定。

## 2 研究结果

### 2.1 土壤酸度及其季节动态变化

图1为3种林型下不同土壤层次的pH值及其随时间变化的趋势。3种林型土壤整个剖面的pH分别为(年平均±95%置信限):松林4.43±0.03,混交林4.27±0.02,阔叶林4.21±0.03,可见它们都属于强酸

性土壤,而且土壤的酸度都是表层最高,并且随深度增加而逐渐减弱,这与以往测定的鼎湖山土壤pH值的变化趋势是一致的,尽管在数量上稍有差异<sup>[5]</sup>。此外,土壤pH随季节变化也呈明显的规律性,即3个林地都是1月最低,以后随着季节逐步升高。总的来说,土壤的酸度在不同林地、不同土壤层次和不同季节下的变化幅度不是很大。

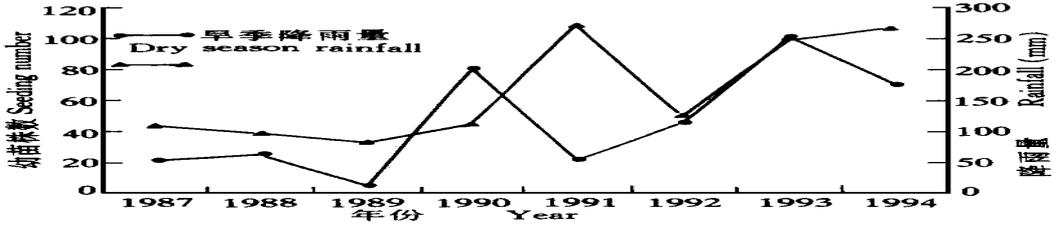


图1 3种林地土壤pH值及其季节动态变化

Fig. 1 The soil pH and its seasonal dynamic changes under 3 different forests

2.2 土壤养分状况及其季节动态变化

以保护区内最具代表性的季风常绿阔叶林为例,把该林下土壤不同层次的有机质和6种速效养分含量按季节变化绘成图2。可以看出:1)除Ca外,其它养分都是表层明显高过中下层,而中层和下层的养分都非常接近;2)除P外,养分的含量普遍是冬季较高,其中有机质表现最稳定,基本上不随季节变化;N随季节有一定程度下降,但幅度不大;P则在雨季明显高于旱季;K和Ca则呈较明显下降趋势;Mg的变化表现不定;3)表层养分的变化幅度普遍大过中下层;4)养分含量总的来说还算比较丰富,表层有机质、N、K含量较高,全年平均分别为47.2g/kg, 173.8mg/kg和64.1mg/kg,但与赵其国等人所测南亚热带季风常绿阔叶林下土壤养分含量的结果相近<sup>[8]</sup>。如果把松林和混交林土壤的养分含量及其动态变化也按图2绘出,所得结果和表现出的规律都与图1非常相似,只是K的变化有些不同,混交林土壤表层的K和中下层的差别不如阔叶林明显,而松林土壤整个剖面K的含量都非常接近,但仍为表层略高。

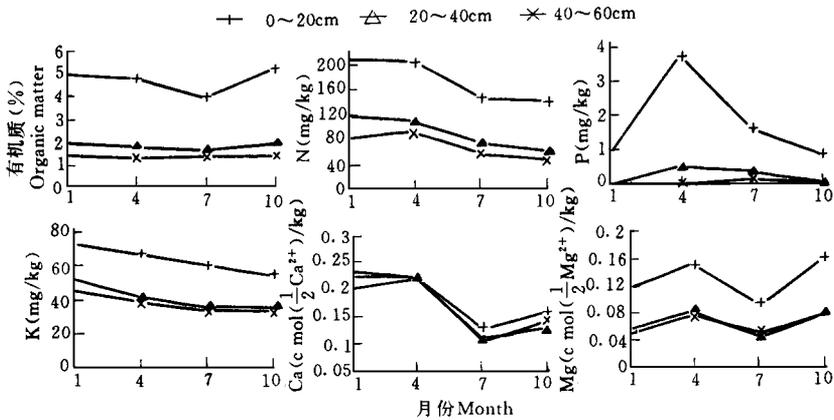


图2 季风常绿阔叶林土壤养分含量及其季节动态变化

Fig. 2 Contents of soil nutrients and their seasonal dynamic changes under MEBF

森林土壤由于受凋落物分解使养分归还以及微生物作用等多种因子的影响,使得其表层的养分含量及其变化都要明显的大于下层,因此观测土壤表层的养分状况就显得更为重要。图3即为3种林地表层土壤养分含量及其季节变化,显然其变化趋势和图2是基本一致的,只是变化幅度更大一些。另外,从图3还可看出,6种养分含量几乎都是阔叶林>混交林>松林;中、下层养分的状况和变化规律也是如此(数据未在文

中展示)。

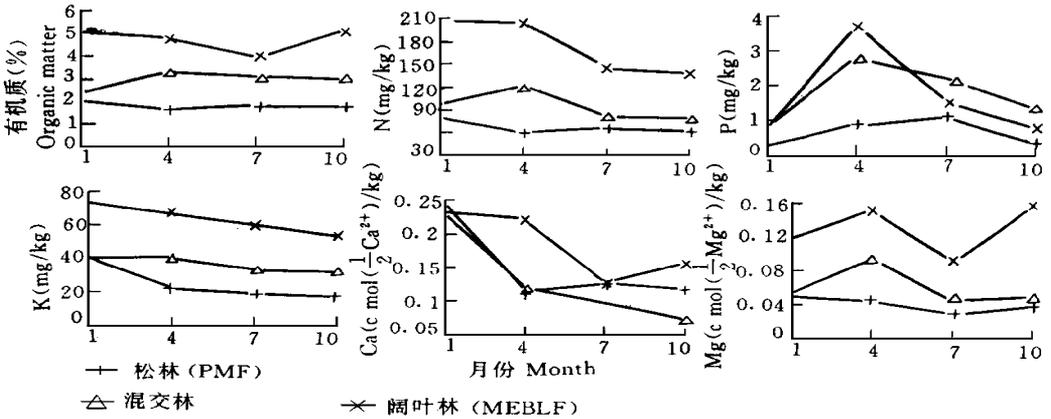


图3 3种林型土壤表层的养分含量及其季节动态变化

Fig. 3 Soil nutrients and their seasonal dynamic changes in surface layers under 3 different forests

2.3 3种林型土壤酸度和各养分之间的相关性及其差异显著性比较

考察养分之间的相关性, 可以了解它们之间相互作用、相互影响的情况。从表1可看出, 土壤表层各养分之间相关程度与整个剖面是基本一致的, 不过整个剖面的相关程度和范围普遍比表层的高, 可能是整个剖面考察的样本数 ( $n=36$ ) 比表层 ( $n=12$ ) 多的缘故。在与其它化学性状的相关程度中, K 是最好的, 尤其在土壤剖面, K 与所有组分都呈极显著相关; 而 Ca 则相反, 与其他组分几乎都不存在相关性。这一现象可能与这2种元素在土壤中的特性有关。K 易移动, 且易与有机质等物质结合, 因而与其他养分相互作用、相互影响的程度较大; Ca 则是土壤中比较稳定的元素, 也不像 K 易与其他组分结合, 因而对其他组分的作用或受其他组分的影响也就弱得多。P 也是易被土壤固定的元素, 因此也和 Ca 差不多, 和其他组分的相关性很差。诸多的研究已证实, 土壤氮和有机质含量甚为密切, 本文也显示二者之间呈显著正相关。

表1 3种林型土壤化学性状之间的相关阵

Table 1 Correlation matrix for soil chemical properties in 3 different forests

	表层(0~20cm)						整个土壤剖面(0~60cm)							
	Surface horizons(0~20cm) n=12						Whole soil profiles(0~60cm) n=36							
	pH	M	N	P	K	Ca	Mg	pH	M	N	P	K	Ca	Mg
pH	1.00							1.00						
M	-0.80*	1.00						-0.76*	1.00					
N	-0.81*	0.80*	1.00					-0.82*	0.90*	1.00				
P	-0.51*	0.42	0.47	1.00				-0.57*	0.72*	0.65*	1.00			
K	-0.84*	0.89*	0.95*	0.35	1.00			-0.86*	0.79*	0.89*	0.44*	1.00		
Ca	-0.38	0.26	0.51	0.09	0.57	1.00		-0.38	0.17	0.40	0.03	0.58*	1.00	
Mg	-0.61	0.92*	0.86*	0.42	0.83*	0.36	1.00	-0.61*	0.84*	0.84*	0.54*	0.77*	0.33	1.00

\* 表示相关达1%的极显著水平 Significant level at  $P=0.01$

从图3可知, 不同林型土壤的养分含量是明显不同的。利用方差分析和新复极差法检测, 就可一步证实从图3所得的结论。从表2可看出, 除 Ca 外, 阔叶林地表层养分都极显著地高于松林地; 混交林地的有机质和 N、P、K 也都极显著地高于松林地。这表明阔叶林和针阔混交林在保持土壤养分、增加土壤肥力方面的作用明显强于纯针叶林。然而, 就土壤酸度而言, 松林明显比阔叶林和混交林低, 而阔叶林和混交林之间无极显著差异。

森林土壤表层的理化性状, 尤其是酸度和速效养分易受环境因子的影响, 包括气温、降雨、凋落物归还以及土壤微生物的数量和种类等。从表3可看出, 除有机质外, pH 和速效养分都随季节变化出现了一些

统计上的极显著波动,其中pH、N、P、K和Ca的规律性较明显。pH随季节逐渐升高,N、K、Ca则随季节呈逐步下降的趋势,P的规律性更明显,即在高温雨季(4月、7月)时的含量都极显著地高过低温旱季(1月、10月)。有机质是一个全量,相对来说要稳定得多,所以在一年之内不会出现显著的季节动态变化。

表2 不同林型对土壤表层化学性状影响的差异显著性比较(全年平均)

Table 2 Effects of different forest types on the chemical properties of soil surface layers under 3 different forests

林型 Forest type	pH	O.M.	N	P	K	Ca	Mg
阔叶林	4.10a <sup>+</sup>	4.72a	173.8a	1.66a	64.1a	0.184a	0.132a
M EBF	± 0.40 *	± 0.36	± 15.2	± .44	± 5.1	± 0.029	± 0.013
混交林	4.16a	2.96b	95.3b	1.81a	37.7b	0.130a	0.062b
PBM F	± 0.03	± 0.33	± 8.7	± 0.47	± 3.5	± 0.024	± 0.009
松林	4.39b	1.82c	66.9c	0.66b	25.5c	0.151a	0.043b
PM F	± 0.03	± 0.13	± 5.8	± 0.19	± 4.0	± 0.023	± 0.005

+ 同一列中,不同的字母表示其含量具有极显著差异( $p = 0.01$ )。

Contents with different letters in the same common are statistically different ( $p = 0.01$ ).

\* 平均值 ± 95% 置信限. 下同 Mean ± 95% confidence limit. The same below.

表4为在典型季节里(1月、7月),混交林土壤不同层次的养分含量及其差异显著性比较结果。可以看出,除K和Ca外,表层养分都极显著地高于中下层,而中下层养分基本上都无实质性差异。另外,从该表还可看出,这两个季节对比,pH和6个养分在0~60m土层内的动态变化趋势和显著性差异的程度几乎都是一致的;只是N和Mg差异显著性在中下层出现了小小不同,但它们的变化趋势仍是一致的。季节变化对其余2种林型下的土壤酸度和养分含量的影响亦基本如此。

### 3 讨论

#### 3.1 土壤酸度差异及其季节动态变化的原因

3种林地的pH值都是表层最低,并随深度逐渐升高;而且鼎湖山保护区的大多数土壤都是如此<sup>[6]</sup>。我国西双版纳自然保护区的砖红壤和赤红壤同样有类似的现象<sup>[9]</sup>;Ronse等发现比利时的森林土壤普遍存在表层酸化,且pH值随深度增加逐渐升高的现象<sup>[10]</sup>;Popenoe等也观测到排水不良的栎树林土壤同样存在这一趋势<sup>[11]</sup>。看来,森林土壤表层酸化的现象还相当普遍。

森林土壤致酸的因素很多,包括土壤本身的理化性状,土壤生物的种类与数量以及当地的气候条件等。但对某一具体土壤而言,其酸度成因和动态变化通常都只有一种或少数几种主要因子的影响。然而,由于各个因子之间的相互作用,往往又很难识别哪种致酸机制是最主要的<sup>[12,13]</sup>。Sollins等人认为土壤中 $H^+$ 的浓度主要由金属离子决定,即由土壤风化释放金属离子,凋落物中金属离子的归还以及根系吸收它们的多少来决定<sup>[13]</sup>。本文研究的是同一地点的同一土壤,因而土壤本身的理化性状和气候条件对酸度的影响应该是一致的。虽然pH和有机质、N、K等成分之间呈极显著负相关(表1),但并不能因此就说主要是这几种成分左右了土壤的pH。这是因为:1)有可能是酸度影响有机质、N、K等,即pH值的上升或下降使得有机质、N、K等养分含量减少或增加,而不是反过来;Ronse他们就发现,随着土壤的逐渐酸化,有机质含量也逐步增加<sup>[10]</sup>;本文的结果亦是如此;2)钾是一种碱基离子,土壤中 $K^+$ 的含量降低, $H^+$ 就应该上升,而本文中K和pH呈负相关。如果就此认为是K含量的降低导致了pH的升高,则显然是与酸碱平衡理论不符的,因此不能说是K影响了土壤酸度。由此可推断,导致3种林型土壤pH不同的主要因子应该是生物因素。生物因素又以植物和微生物为主。植物的影响主要是植物的种类和密度,种类和密度的不同会导致凋落物量及其本身的酸碱度不同,以及根系分泌物和根系对土壤阴阳离子吸收不平衡而产生的酸碱差异等。一般来说,针叶树的凋落物中含有大量的单宁、树脂和木质素等,这些物质很难分解,分解后又产生酸性物

质,抑制土壤微生物活动,致使土壤变得酸、瘦、瘠、薄<sup>[4]</sup>。本文中马尾松林地的pH极显著地高于混交林和阔叶林。看来,植物种类可能也不是使这3种林型土壤酸度产生显著性差异的最直接因子。土壤微生物常常是森林土壤——尤其是土壤表层——酸化的主要因子,因为土壤微生物活动可产生一些酸性较强的有机酸,如草酸等<sup>[12]</sup>。日本京都北部的棕色森林土壤表层酸化现象相当明显<sup>[15]</sup>,Funakawa等就认为这主要是微生物硝化作用的结果<sup>[16]</sup>。鼎湖山自然保护区阔叶林土壤的微生物量要明显多于针叶林,而且微生物数量随季节呈现很有规律的变化,即一年内冬季最高,以后逐渐降低<sup>[17,18]</sup>。把这2种林型下的不同季节的微生物量<sup>[17]</sup>(表5)与土壤表层pH值(表3)和整个土层(0~60cm)pH的平均值(表5)作比较,就会发现它们之间都呈极显著负相关(相关系数分别为-0.90和-0.97,  $p < 0.01$ )。由此看来,鼎湖山不同林型土壤pH值之间的差异及其随季节变化的规律很可能就是由土壤微生物所致,即微生物量越多,土壤就变得越酸,这也解释了为何3个林地表层的pH值明显低于中、下层,因为中、下层的微生物量要比表层少得多。至于致酸机理是否因为微生物分泌了有机酸或是因为硝化作用产生 $H^+$ ,尚待进一步研究。当然,导致不同林地微生物量明显不同的根本原因还是由于林型不同所致,因为微生物水平的差异,与它们各自的林冠的密度和相应凋落残谢有机能源物质的丰缺密切相关<sup>[17]</sup>。因此,可以说,3种林地pH之间的差异及其季节动态变化的直接原因很可能就是微生物引起的,而间接原因则是林型的不同和季节变化所致。

表3 季节变化对表层土壤酸度和养分状况影响的差异显著性比较

Table 3 Effects of season change on acidity and nutrients in surface soils

月份Month	1月Jan.	4月Apr.	7月July	10月Oct	
pH	松林 PM F	4.30b ± 0.06*	4.42a ± 0.03	4.40a ± 0.05	4.43a ± 0.06
	混林 PBM F	4.16a ± 0.03	4.19a ± 0.08	4.11a ± 0.07	4.18a ± 0.06
	阔叶林 M EBF	3.99b ± 0.09	4.04b ± 0.04	4.18a ± 0.05	4.20a ± 0.05
O.M.	松林 PM F	1.98a ± 0.33	1.64a ± 0.29	1.82a ± 0.27	1.82a ± 0.26
	混林 PBM F	2.33a ± 0.28*	3.32a ± 0.79	3.12a ± 0.80	3.07a ± 0.82
	阔叶林 M EBF	4.99a ± 0.66	4.78a ± 0.76	3.96a ± 0.65	5.18a ± 0.98
N	松林 PM F	78.2a ± 18.4	59.4a ± 9.9	66.8a ± 10.7	63.2a ± 7.7
	混林 PBM F	96.3ab ± 9.1	122.1a ± 13.0	82.0b ± 18.3	80.8b ± 20.3
	阔叶林 M EBF	206.8a ± 35.2	203.2a ± 25.3	145.1b ± 22.3	139.9b ± 20.0
P	松林 PM F	0.28b ± 0.26	0.85ab ± 0.44	1.15a ± 0.43	0.35b ± 0.24
	混林 PBM F	0.80c ± 0.19	2.86a ± 1.24	2.23ab ± 1.21	1.36bc ± 0.59
	阔叶林 M EBF	0.82b ± 0.21	3.41a ± 0.85	1.61b ± 0.61	0.79b ± 0.19
K	松林 PM F	40.7a ± 11.5	23.1b ± 4.6	19.8b ± 3.4	18.5b ± 2.9
	混林 PBM F	41.5a ± 8.1	41.4a ± 7.0	34.4a ± 8.4	33.5a ± 6.9
	阔叶林 M EBF	73.5a ± 11.2	67.5ab ± 13.6	60.3ab ± 10.2	55.0b ± 5.3
Ca	松林 PM F	0.243a ± 0.049	0.115b ± 0.019	0.127b ± 0.022	0.119b ± 0.043
	混林 PBM F	0.228a ± 0.058	0.120b ± 0.011	0.102bc ± 0.019	0.072c ± 0.027
	阔叶林 M EBF	0.231a ± 0.047	0.221ab ± 0.062	0.127b ± 0.022	0.158ab ± 0.088
Mg	松林 PM F	0.051a ± 0.009	0.047a ± 0.007	0.032a ± 0.008	0.041a ± 0.020
	混林 PBM F	0.053b ± 0.009	0.097a ± 0.014	0.048b ± 0.011	0.052b ± 0.02
	阔叶林 M EBF	0.119bc ± 0.012	0.153ab ± 0.033	0.092c ± 0.018	0.163a ± 0.024

\* 同一行内,不同的字母表示其含量具有极显著差异( $P = 0.01$ ,表4同)。Contents with different letters in the same row are statistically different( $P = 0.01$ ). The same in Table 4

### 3.2 土壤养分含量差异及其季节动态变化的原因

3种林地土壤养分含量最明显的现象是阔叶林>混交林>松林。这与对其它森林土壤研究的结果是一致的<sup>[19-21]</sup>。森林土壤养分的主要来源是土壤母岩母质的风化和凋落物养分的归还。众多的研究已经证明,凋落物在森林生态系统的物质循环和能量转化,尤其是向土壤归还养分方面所起的作用是十分明显的<sup>[8,19-24]</sup>。如果把鼎湖山季风常绿阔叶林和松林的凋落物向土壤归还的养分量作个比较(表6),就可发现阔叶林每年养分归还量要比松林大得多<sup>[23,24]</sup>。虽然本文所测定的5种营养元素是其有效值而非全量,但有

效养分的多少在很大程度上受其全量的影响, 因此, 可以说, 很可能主要是由于上述原因, 导致了松林土壤养分含量明显低于阔叶林和混交林。

表4 针阔叶混交林下不同层次的土壤酸度和养分含量的差异显著性比较

Table 4 Comparison of soil acidity and nutrients of different layers under PBMF

		采样深度 Depth (m)		
		0~ 20	20~ 40	40~ 60
pH	1月 January	4.16 ± 0.03b	4.27 ± 0.04a	4.28 ± 0.04a
	7月 July	4.11 ± 0.07b	4.29 ± 0.04a	4.27 ± 0.08a
O.M.	1月 January	2.33 ± 0.28a	1.09 ± 0.16b	0.80 ± 0.13b
	7月 July	3.12 ± 0.80a	1.05 ± 0.16b	0.87 ± 0.16b
N	1月 January	96.3 ± 9.1a	61.7 ± 9.1b	43.4 ± 11.3c
	7月 July	82.0 ± 18.3a	38.6 ± 7.7b	32.8 ± 7.1b
P	1月 January	80 ± 0.19a	痕迹 b	痕迹 b
	7月 July	2.23 ± 1.21a	0.59 ± 0.29b	0.35 ± 0.25b
K	1月 January	41.5 ± 8.1a	34.0 ± 9.5a	41.3 ± 11.7a
	7月 July	34.4 ± 8.4a	26.8 ± 6.6a	27.5 ± 8.4a
Ca	1月 January	0.228 ± 0.058a	0.225 ± 0.046a	0.222 ± 0.051a
	7月 July	0.102 ± 0.019a	0.096 ± 0.031a	0.114 ± 0.050a
Mg	1月 January	0.053 ± 0.009a	0.040 ± 0.007a	0.042 ± 0.009a
	7月 July	0.048 ± 0.011a	0.027 ± 0.005b	0.028 ± 0.008b

表5 不同林地土壤微生物量和土壤酸度的差异及其季节变化

Table 5 Differences and seasonal changes of microbial biomass and acidity in 2 forest soils

月份 Month	针叶林 Coniferous forest		阔叶林 Broad-leaved forest	
	微生物量 (Cm g/100g) Microbial biomass	pH	微生物量 (Cm g/100g) Microbial biomass	pH
1	45.80	4.36 ± 0.04	68.23	4.10 ± 0.06
4	44.47	4.47 ± 0.07	65.64	4.17 ± 0.05
7	44.61	4.43 ± 0.03	61.72	4.25 ± 0.04
10	35.75	4.48 ± 0.05	55.14	4.31 ± 0.03
平均 Mean	42.93	4.43 ± 0.03	62.78	4.21 ± 0.03

表6 鼎湖山不同林地凋落物养分归还的比较 (kg/hm<sup>2</sup>.a)

Table 6 Comparison of litterfall nutrients' return to soil by 2 different forests

林型 Forest type	凋落物 Litterfall	N	P	K	Ca	Mg
松林 <sup>a</sup> PMF	5900	43.54	1.69	16.06	10.92	2.65
阔叶林 <sup>b</sup> MEBF	9200	129.7	6.0	43.2	31.3	12.9

a 包括凋落物和林下生物量两部分, 引自文献[23]。

Including 2 parts, litterfall and understory production, from reference 23.

b 仅为凋落物量, 引自文献[24]。Only litterfall, from reference 24.

就某一具体的营养元素在土壤剖面的分布而言, 不同的研究材料和地区可能会产生不同的结果。吴志

东等人认为杉木纯林可使土壤获得大量的钙<sup>[19]</sup>; 张家武等则发现马尾松纯林土壤的速效磷含量高于马尾松-火力楠混交林<sup>[20]</sup>。养分在土壤剖面层次中的分布在不同的生态系统中也不尽相同。例如, Popenoe 等发现可交换性钙在栎树林和针叶林下都随土层深度增加而下降, 但在草原土壤剖面中几乎是上下一致的, 而交换性钾在他们所研究的几个系统中都是表层显著地高于下层<sup>[11]</sup>。本文则发现, 相交换性钙的含量在3种林下的土壤剖面中都是一致的, 不会随土层深度的增加而变化; 钾的变化则是, 在阔叶林地, 表层极显著地高于中下层, 在混交林地, 表层高于中下层, 但没有统计上的差异, 在松林地, 则整个剖面的含量几乎都是相同的。导致同一元素在不同林地的土壤剖面分布不同的原因还有待进一步研究。

迄今, 对森林生态系统植物体内营养元素的季节动态变化研究得较多, 而有关土壤养分在这方面的研究报道却极少<sup>[25]</sup>。这可能是由于元素在土壤内的季节变化远不如在植物体内的变化幅度大。本文的研究结果表明, 速效养分在土体内的季节动态变化同样是相当明显的。和土壤酸度一样, 影响养分动态变化的因子很多, 也同样难以识别哪个是最主要因子。在本研究中, 各养分的季节动态变化的趋势和幅度都不尽相同, 但同一养分在同一剖面(表4)和在3个林型中(图2, 3)的季节变化基本上都是一致的, 这表明养分的季节动态变化可能不是受植被类型的影响, 而是受其他因子的影响。以速效磷为例, 它的变幅在所有养分中是最大的, 但它易被土壤和微生物固定, 所以含量又非常低。在冬季(1月), 由于温度较低, 土壤磷难以活化, 而且这时的微生物数量最多(表5), 自然有相当一部分磷还被微生物固定。在春(4月)、夏季(7月), 雨水明显增多, 气温也大幅度升高, 部分被土壤固定的磷得以释放出来, 加之微生物量下降, 部分微生物磷也被矿化; 尽管春夏为植物生长旺季, 要从土壤中吸收大量的养分, 但由于土壤、微生物和凋落物中释放出的磷远多于根系吸收的磷, 因而土壤的速效磷仍大幅度升高。进入秋季(10月), 雨水明显减少, 土壤的固磷作用又得以加强, 加之植物在春夏季吸走了相当一部分速效磷, 结果磷的含量又明显回落。引起其他养分季节动态变化的原因和磷差不多, 只不过有机质、氮、钾等养分被土壤和微生物固定的强度比磷要弱得多, 因而这几种养分都是在冬季含量较高, 后可能是因植物根系的吸收而呈现出随季节逐渐下降的趋势。养分含量在冬季较高还可能与凋落物的季节动态变化有关。凋落物的凋落高峰大多出现在每年的7~10月<sup>[22-24]</sup>, 可能这段时间的凋落物经过3~5个月的缓慢分解后进入冬季, 这时在大量的微生物作用下, 分解加速, 养分得到较快释放, 从而使得土壤养分含量明显增加。尽管该保护区阔叶林下表层土壤的速效氮(铵态氮+硝态氮)含量是秋季最高, 冬季最低, 但毕竟无机氮只是水解氮的一个组成部分, 而且其总变化幅度很小<sup>[26]</sup>, 所以它还不足以左右水解氮的季节变化趋势。

### 参 考 文 献

- 1 张宏达等. 广东高要鼎湖山植物群落之研究. 中山大学学报, 1955, (3): 159~ 225
- 2 黎祥祥. 广东高要鼎湖山附近之土壤. 中山大学学报, 1959, (1): 30~ 43
- 3 何宜庚. 广东省鼎湖山自然保护区的土壤. 华南师范大学学报, 1983, (1): 87~ 97
- 4 张秉刚, 卓慕宁. 鼎湖山自然保护区不同林型下土壤的物理性质. 热带亚热带森林生态系统研究, 1985, 3: 1~ 10
- 5 唐进宣, 李淑仪等. 用热分析法研究鼎湖山土壤的粘粒矿物. 热带亚热带土壤科学, 1993, 2(3): 147~ 153
- 6 何金海, 陈兆其等. 鼎湖山自然保护区之土壤. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, 1: 25~ 37
- 7 黄展帆, 范征广. 鼎湖山的气候. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, 1: 11~ 16
- 8 赵其国, 王明珠等. 我国热带亚热带森林凋落物及其对土壤的影响. 土壤, 1991, 23(1): 8~ 15
- 9 汪家 等. 西双版纳自然保护区土壤考察报告. 见西双版纳自然保护区综合考察报告集. 昆明: 云南科技出版社, 1987. 58~ 87
- 10 Ronse A, Temmeman L D *et al* Evolution of acidity, organic matter content, and CEC in uncultivated soils of North Belgium during the past 25 years *Soil Science*, 1988, 146(6): 453~ 460
- 11 Popenoe J H, Bevis K A *et al* Soil-vegetation relationships in Franciscan Terrain of Northwestern California *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56: 1951~ 1959
- 12 Pallant E and Riha S J. Surface soil acidification under red pine and Norway spruce *Soil Science Society of America Journal*, 1990, 54: 1124~ 1130

- 13 Sollins P, Grier C C *et al*. The enternal element cycles of an old-growth Douglas ecosystem in western Oregon. *Ecological Monographs*, 1980, **50**(3): 261~ 285
- 14 王正周. 针阔混交林的生态优势. *植物杂志*, 1992, **19**(3): 34~ 35
- 15 Hirai H, A raki S *et al*. Characteristics of brown forest soils developed on the paleozoic shale in northern Kyoto with reference to their pedogenetic process. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1988, **34**(2): 157~ 170
- 16 Funakawa S, Hirai H *et al*. Speciation of Al in soil solution from forest soils in northern Kyoto with special reference to their pedogenetic process. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1993, **39**(2): 281~ 291
- 17 邓邦权, 吕禄成. 鼎湖山自然保护区不同植被土壤微生物的生物量与生物营养物质的库贮量. *热带亚热带森林生态系统研究*, 1990, **7**: 113~ 118
- 18 蚁伟民, 傅声雷等. 鹤山人工林和鼎湖山自然林土壤微生物生物量的研究. *生态学报*, 1995, **15**(增刊A 辑): 141~ 147
- 19 吴志东, 彭福泉等. 我国南亚热带几种人工林的生物物质循环特点及其对土壤的影响. *土壤学报*, 1990, **27**(3): 250~ 260
- 20 张家武, 廖利平等. 马尾松火力楠混交林凋落物动态及其对土壤养分的影响. *应用生态学报*, 1993, **4**(4): 359~ 363
- 21 李昌华. 杉木人工林和阔叶杂木林土壤养分平衡因素差异的初步研究. *土壤学报*, 1981, **18**(3): 255~ 261
- 22 Brown S, Lenart M *et al*. Structure and organic matter dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China. *Biotropica*, 1995, **27**(3): 276~ 289
- 23 Mo J M, Brown S *et al*. Nutrient dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China. *Biotropica*, 1995, **27**(3): 290~ 304
- 24 屠梦照, 姚文华等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物的特征. *土壤学报*, 1993, **30**(1): 34~ 41
- 25 张万儒, 黄雨霖等. 四川西部冷杉林下森林土壤动态的研究. *林业科学*, 1979, **15**(3): 178~ 193
- 26 郁梦德, 莫江明等. 离子交换树脂法测定鼎湖山季风常绿阔叶林土壤有效氮的初步研究. *热带亚热带植物学报*, 1995, **3**(4): 44~ 48