

# 北亚热带天然次生林封山育林 对土壤肥力质量的影响

马少杰, 李正才\*, 周本智, 格日乐图, 孔维健, 安艳飞

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** 以北亚热带受损天然次生林为研究对象, 探讨了封山育林对土壤肥力质量的影响。研究表明: (1) 从植被恢复的时间对土壤养分变化的影响来看, 有机质、全氮、水解氮的平均值增幅分别为 56.14%, 79.41%, 91.07%, 差异达到显著水平; 速效磷, 速效钾, 速效 Ca 和速效 Mg 平均值增幅分别为 20.00%, 31.80%, 20.79%, 2.65%, 差异未达到显著水平。而各土壤养分元素, 在其土壤剖面上, 增加幅度又有不同程度的差异。(2) 不同封山育林年限下, 各养分元素在其剖面层次上的分布趋势基本一致: 随深度增加, 其含量减少。(3) 土壤养分变化具有明显的表聚性。对 0~20 cm 土层土壤养分的线性相关分析表明, 土壤有机质、全氮、水解氮、速效钾、速效 Ca 与速效 Mg 两两之间线性显著或极显著相关, 而速效磷与除速效钾以外的其他土壤养分(速效磷与速效钾显著相关,  $r=0.71$ ) 相关性不显著。(4) 土壤肥力因子主成分分析结果表明, 封育 40 年的植物群落土壤肥力高于 20 年的群落。可见, 北亚热带天然次生林封育有助于改善土壤肥力状况; 而土壤质量的改善, 又为天然次生林的进展演替奠定了基础。

**关键词:** 北亚热带; 天然次生林; 封山育林; 土壤肥力

中图分类号: S714.8; S158.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)02-0328-07

## Effects of Hill Closing for Forestation on Soil Fertility Quality in North Subtropical Areas

MA Shao-jie, LI Zheng-cai\*, ZHOU Ben-zhi,  
GERi Le-tu, KONG Wei-jian, AN Yan-fei

(Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, China)

**Abstract:** This paper deals with the effects of hill closing for forestation on soil fertility quality in north subtropical areas. The results show that: (1) Vegetation restoration had a significant effect on soil nutrient dynamics. In general, soil nutrient contents increased as progressive succession proceeded, and significant changes occurred in soil organic matter (SOM), total N, hydrolysis N, and the average values of those indexes increased by 56.14%, 79.41%, 91.07% respectively; while no significant change in available P, available K, available Ca and available Mg, the average values of those indexes increased by 20.00%, 31.80%, 20.79%, 2.65% respectively. However, on the soil profiles, the increasing degrees of soil element-couples varied at different levels. (2) In different hill closing years, the changing tends of soil element-couples were nearly the same: on the whole, it decreased with increasing of soil depths. (3) Soil nutrients tended to accumulate

收稿日期: 2010-06-03 修回日期: 2011-01-28

基金项目: 中央级公益性科研院所基金资助项目(RISF060701) 和中国林业科学研究院院长基金项目(CAFYBB2008006)

作者简介: 马少杰(1985—), 女, 硕士生, 主要从事森林生态研究, E-mail: mashair6@163.com; \* 通讯作者: 李正才, 副研究员, 博士, E-mail: lizccaf@126.com。

in the surface layer. Statistical analysis in the surface layer(0-20 cm) showed that SOM, total N, hydrolysis N, available K, available Ca and available Mg were extremely significantly or significantly correlated with each other, but didn't show correlation with available P and other soil nutrients( excluding available K, available P and available K, Which were significantly correlated,  $r=0.71$ ). (4) The result of principal component analysis indicated that soil fertility of 40 years community is higher than that of 20 years community. The results suggested that hill closing for forestation could help improve soil fertility; on the other hand, the improvement of soil fertility could also provide better prerequisite for secondary forest.

**Key words:** North Subtropical China; secondary forest; hill closing for forestation; soil fertility

土壤是植物群落的重要环境因子之一,它在对植物群落发生作用的同时,自身发育也受到植物群落的影响<sup>[1]</sup>,植被的演替过程是植被和土壤相互影响和作用的过程<sup>[2]</sup>。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<sup>[3]</sup>。关于北亚热带森林群落的研究有次生森林植被特征分析<sup>[4]</sup>,土壤微生物生物量碳的季节动态<sup>[5]</sup>,土地利用变化对土壤有机碳及储量的影响<sup>[6]</sup>,土壤有效微量元素状况<sup>[7]</sup>,土壤矿物学特征<sup>[8]</sup>,北亚热带花岗岩发育土壤的特性和系统分类<sup>[9]</sup>等,而关于北亚热带东部地区封育对土壤肥力质量的研究还很欠缺。因此,本研究以北亚热带受损天然次生林为研究对象,旨在通过研究次生林自然恢复过程中土壤营养元素的变化规律,探讨植被对土壤肥力的作用,揭示植被恢复过程中土壤肥力的演化机制,拓展北亚热带这方面研究的不足,丰富恢复生态学在北亚热带地区的研究内容。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 试验地区概况

试验区位于浙江省富阳市庙山坞森林生态系统定位研究站,地理位置  $119^{\circ}56' \sim 120^{\circ}02' E, 30^{\circ}03' \sim 30^{\circ}06' N$ ,属北亚热带季风气候,雨量充沛,气候温和,年均气温  $16.2^{\circ}C$ ,年均降水量  $1464\text{ mm}$ ,无霜期  $237\text{ d}$ 。

该地区历史上为森林地带,顶极群落是常绿、落叶阔叶混交林,由于过去对木材、薪炭需求量的增加以及农业活动的发展,本地区天然原始林大多已遭到破坏,森林被砍伐转化为次生林、农业用地和人工林等,现存主要是次生林[以壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、山茶科(Theaceae)和木兰科(Magnoliaceae)植物为主]和人工林,人工林主要栽培杉木[Cunninghamia lanceolata (Lamb.) Hook.]、毛竹[Phyllostachys pubescens (Mazel.) Ohwi]、马尾松(Pinus Massoniana Lamb.)等。

### 1.2 样地选择和基本情况

本研究采用相邻样地比较方法,选择邻近的相同海拔、坡向,成土母质、土壤条件和环境因子基本一致的次生林作为研究对象,两样地次生林均由灌木林(薪炭林)封山育林而来。试验样地的基本情况(表1)。

表1 试验样地基本情况

Tab.1 Basic condition of the experimental plots

管理方式 Management style	主要植物 Dominant plants	平均树高/m Average height	平均胸径/cm Average diameter	立木密度/(株·hm <sup>-2</sup> ) Stock density	郁闭度 Shade density	林龄/a Stand age
封山育林 Hill closing for forestation	壳斗科、木荷、 杉木为主	15.3	12.8	380	0.7~0.8	20
封山育林 Hill closing for forestation	壳斗科、 樟科为主	15.5	13.4	510	0.8~0.9	40

### 1.3 研究方法

在两个不同封育年限的天然次生林内设立面积为  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  的调查样方(各重复3次),进行每木调查(测量树木的树高、胸径、树冠冠幅),计算出平均树高、胸径等样地基本参数。

采用S形布设方法,在各个样地内布设5个点,除去枯枝落叶层后,用5 cm内径的土钻分0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80 cm采集土壤样品;将各个样地的土样按照层次进行分层混合,然后用四分法取出足够样品,自然风干研磨后过土壤筛,以重铬酸钾法测定有机质含量;土壤全氮用凯氏定氮法测定,土壤水解氮用碱解扩散法测定,土壤速效磷用HCl-NH<sub>4</sub>F浸提,酸溶-钼锑抗比色法测定,土壤速效钾、Ca、Mg用乙酸铵浸提,原子吸收光谱法测定。

方差分析和主成分分析采用SPSS16.0统计软件包中的相应程序进行分析比较。基于土壤养分元素的主成分分析,对综合评价 $F$ 进行排序( $F = \sum y_i \text{得分} \times y_i \text{贡献率}$ ,  $y_i$ 代表第 $i$ 个主成分,  $i = 1, 2, \dots$ ),根据 $F$ 值的大小对土壤肥力进行评价<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同封育年限土壤有机质垂直分布的差异

植被不同恢复年限下,土壤有机质在土壤剖面的分布特征不同,与之相关的研究,得出相似结论<sup>[11-13]</sup>。本研究中,土壤有机质随着土层深度、恢复年限的增加呈现一定的变化趋势:不同封育年限下,土壤有机质在其剖面层次中的分布趋势是一致的,随深度增加,土壤有机质明显减少,20年群落从0~10 cm到70~80 cm土壤有机质减少了84.13%,40年群落则减少了81.35%,其减少幅度也随深度增加而下降,且有趋于稳定的趋势,可进一步推出土壤有机质随深度增加而减少最终趋于稳定,随着封育时间的增加,这种规律更为明显。主要是由于本研究中的群落是以木本植物为主的森林群落,而木本植物是把主要营养物质积累在植物体内和枯落物中,枯落物是其有机物质输入土壤的主要方式之一,枯落物又主要是集中在土壤表面,土壤下层因不能直接接收地表植物残体,其有机质的来源主要依靠上层的淋溶下移和地下部分植物残体分解,所以表现出森林土壤中有机质随深度增加而锐减的特征。

表2 不同封育年限土壤有机质垂直分布特征比较

Tab.2 Characteristics comparison of vertical distribution of SOM in different hill closing years

土壤层次/cm Soil layers	20 a 有机质/(g·kg <sup>-1</sup> ) SOM	40 a 有机质/(g·kg <sup>-1</sup> ) SOM	变化幅度/% Change
0~10	45.64(5.10)	65.52(20.37)	43.56
10~20	20.84(3.07)	38.06(11.35)	82.63
20~30	16.07(1.31)	25.27(2.74)	57.25**
30~40	13.20(2.12)	18.62(3.01)	41.06
40~60	8.97(0.51)	14.18(2.09)	58.08*
60~80	8.08(2.72)	12.45(1.13)	54.08*
均值 Mean	16.03(1.35)	25.03(3.21)	56.14*

括号内数值为标准差; \*\*: 0.01 极显著水平的双尾检验, \* : 0.05 显著水平的双尾检验。

The figure between brackets is standard deviation; \*\*: Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), \* : Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

封育20年到40年,有机质含量在土壤剖面上增幅在41.06%~82.63波动(统计检验结果,20~30 cm土层,增幅达到极显著差异,40~60 cm,60~80 cm则达到显著差异,其他层次差异不显著),0~80 cm土壤有机质的均值增幅为56.14%,达到显著差异。由此可见,次生林封山育林过程,伴随着森林植被恢复的进行,土壤有机质显著积累,与国内外相关报道相一致<sup>[11,14-16]</sup>。植被恢复过程中,植被与土壤相互作用,共同改善群落的生态环境(水、热、光照等),一方面增加了凋落物,细根的生物量;另一方面有利于土壤微生物的活动,增加了凋落物、细根有机质归还到土壤的有机质数量。本研究中,恢复20年的群落中的杉木,其凋落物相对阔叶树种不易分解<sup>[17]</sup>,这也是该群落有机质低于40年群落的原因之一(表2)。

### 2.2 不同封育年限土壤全氮垂直分布的差异

随着封育时间的延长,有机质增加,全N含量也随之显著增加,不同土层增幅不同,在69.28%~

89.86%变化,除0~10 cm土层外,其它土壤层次和0~80 cm均值增幅均达到显著和极显著水平(0~80 cm均值增幅为79.41%,差异显著)。2种不同封育年限下,土壤全氮在其剖面层次中的分布趋势是一致的,随深度增加,土壤全氮明显减少,且减少幅度也在变小,最终全氮含量趋于稳定。土壤全氮随土层深度增加而有规律地降低,这与土壤有机质含量变化趋势是一致的(表3)。

### 2.3 不同封育年限下土壤速效养分的状况

2.3.1 土壤水解氮 土壤有机质是森林土壤氮素最根本的来源,水解氮包括无机的矿物态氮和部分有机质中易分解的,比较简单的有机态氮,它是铵态氮、硝态氮、氨基酸、酰胺和易水解的蛋白质氮的总和<sup>[18]</sup>(表3)。

表3 不同封育年限土壤全氮及水解氮垂直分布特征比较

Tab.3 Characteristics comparison of vertical distribution of soil total N and hydrolysis N in different hill closing years

土壤层次/cm Soil layers	全氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total N			水解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Hydrolysis N		
	20 a	40 a	变化幅度/% Change	20 a	40 a	变化幅度/% Change
0~10	1.53(0.21)	2.59(0.77)	69.28	115.53(16.11)	210.73(72.81)	82.40
10~20	0.85(0.14)	1.55(0.34)	82.35*	75.87(3.71)	134.06(34.81)	76.70*
20~30	0.69(0.07)	1.31(0.29)	89.86*	48.17(16.84)	89.32(15.48)	85.43*
30~40	0.56(0.06)	0.96(0.10)	71.43**	40.09(5.91)	69.23(7.60)	72.69**
40~60	0.48(0.06)	0.89(0.03)	85.42**	26.15(1.32)	62.42(8.50)	138.70*
60~80	0.42(0.03)	0.77(0.10)	83.33**	25.28(6.23)	51.41(3.54)	103.36**
均值 Mean	0.68(0.07)	1.22(0.20)	79.41*	47.82(3.15)	91.37(12.71)	91.07*

土壤水解氮和土壤有机质、全氮密切相关,水解氮含量随着土壤有机质含量或全氮含量的增高而增加<sup>[19]</sup>。张俊华<sup>[11]</sup>对黄土高原的研究表明,弃耕地土壤水解氮含量的变化和土壤有机质、土壤全氮的变化相同,随着弃耕时间的延长,整个土层土壤水解氮含量呈逐渐增加的趋势。本研究得出相似结论:不同封育年限下,土壤水解氮在其剖面层次中的分布趋势是一致的,随土层加深而逐渐减少,且减少幅度也在变小,最终其含量趋于稳定。次生林植被恢复条件下,土壤水解氮增幅非常明显,不同土层增幅不同,最小为72.69%,最大甚至达到138.70%,除0~10 cm土层外,其它土壤层次及0~80 cm均值增幅均达到显著和极显著水平(0~80 cm均值增幅为91.07%,差异显著)。

2.3.2 土壤速效磷和速效钾 从表4可以看出,次生林恢复过程中,土壤速效磷含量呈现出增加的趋势,不同土层变化不一致,其含量比有机质、全氮、水解氮增加的缓慢,在70~80 cm甚至出现负增长,增幅在各层均未达到显著水平(0~80 cm均值增幅为20.00%,差异不显著)。土壤速效磷在剖面的分布呈现出随土层增加,其含量不断减少。这与郝文芳<sup>[12]</sup>关于黄土丘陵沟壑区弃耕地的研究结论相同,在0~5 cm、5~10 cm土层,土壤速效磷含量远高于10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm土层,0~5 cm和5~10 cm土层土壤速效磷含量接近,10~20 cm、20~40 cm和40~60 cm土层土壤速效磷含量差别小。

在不同封育年限下,土壤速效钾在土壤剖面的分布特征与速效磷的相似:次生林恢复过程中,土壤速效钾含量呈现出增加的趋势,不同土层变化不一致,其变化比有机质、全氮、水解氮增加的缓慢,但比速效磷的快很多,增幅在各层均未达到显著水平(0~80 cm均值增幅为31.80%,差异不显著),且增幅逐层减少;随土层增加,其含量变小。虽然森林凋落物能归还土壤钾素,但钾在植物体中移动性强,凋落物含钾量相对较低。不过,土壤有机质能促进含钾矿物的风化,并减少交换性钾的固定,从而增加土壤速效钾的含量<sup>[20]</sup>。

2.3.3 土壤速效Ca和速效Mg 随着封育时间延长,土壤速效Ca其均值呈现增加趋势(变幅为20.79%),不同土层增加幅度变化很大,在10~20 cm土层,增幅达到105.29%,而在20~30 cm、40~60 cm、60~80 cm土层,出现负增长,各层增幅均未达到显著水平(0~80 cm均值增幅20.79%,差异不显著)。随着土壤深度不断增加,速效Ca含量先急剧下降,后波动下降。

表4 不同封育年限土壤速效磷和速效钾垂直分布特征比较

Tab.4 Characteristics comparison of vertical distribution of soil available P and available K in different hill closing years

土壤层次/cm Soil layers	速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Available P			速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Available K		
	20 a	40 a	变化幅度/% Change	20 a	40 a	变化幅度/% Change
0~10	10.62(12.03)	11.24(9.12)	5.84	80.00(34.64)	120.00(10.00)	50.00
10~20	2.19(0.71)	4.27(1.65)	94.98	43.33(15.28)	66.67(11.55)	53.87
20~30	1.60(0.21)	1.60(0.39)	0.00	36.67(20.82)	50.00(10.00)	36.35
30~40	1.05(0.50)	1.40(0.35)	33.33	26.67(20.82)	33.33(15.28)	24.97
40~60	0.74(0.28)	1.07(0.26)	44.60	30.00(10.00)	33.33(10.41)	11.10
60~80	0.73(0.43)	0.70(0.27)	-4.11	23.33(12.58)	25.00(8.66)	7.16
均值 Mean	2.30(1.60)	2.76(1.31)	20.00	36.67(16.65)	48.33(6.88)	31.80

表5 不同封育年限土壤速效钙和速效镁垂直分布特征比较

Tab.5 Characteristics comparison of vertical distribution of soil available Ca and available Mg in different hill closing years

土壤层次/cm Soil layers	速效钙/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Available Ca			速效镁/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Available Mg		
	20 a	40 a	变化幅度/% Change	20 a	40 a	变化幅度/% Change
0~10	71.42(25.41)	103.57(74.96)	45.02	12.50(0.63)	14.02(5.75)	12.16
10~20	15.50(4.86)	31.82(18.18)	105.29	5.29(0.43)	8.44(3.37)	59.55
20~30	23.08(10.31)	14.65(6.99)	-36.53	4.68(0.56)	4.67(1.45)	-0.21
30~40	14.48(5.08)	18.96(6.93)	30.94	3.55(0.84)	3.58(1.38)	0.85
40~60	19.16(1.18)	18.84(4.67)	-1.67	4.03(0.52)	3.29(0.82)	-18.36
60~80	18.82(6.26)	17.71(7.88)	-5.90	4.12(0.79)	3.10(0.80)	-24.76
均值 Mean	25.06(7.09)	30.27(12.46)	20.79	5.29(0.49)	5.43(1.46)	2.65

土壤速效 Mg 含量随封育时间的变化规律与速效 Ca 的类似,均值呈现增加趋势(含量均值变幅为 2.65%,差异不显著),不同土层增幅变化很大,0~40 cm 在 -0.21%~59.55% 变化,40~80 cm 呈现负增长,各土层差异均不显著。随着土壤深度增加,速效 Mg 含量先急剧下降,然后,20 年群落波动明显,40 年群落变化较为平缓。土壤母质的风化和凋落物养分的归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<sup>[21]</sup>。随着植被恢复年限增加,土壤的熟化程度增强,土壤中钙离子和镁离子被大量淋洗,但凋落物分解不仅补给了这部分缺失,还使速效 Ca 和 Mg 含量整体有所增加。

#### 2.4 植被恢复过程中养分变化的相关性

植被恢复过程中,土壤养分具有表聚性,表层土壤养分变化最能反映各养分间的相关性<sup>[22]</sup>。对 0~20 cm 土层土壤养分的线性相关分析表明,土壤有机质、全氮、水解氮、速效钾、速效 Ca 与速效 Mg 两两之间线性显著或极显著相关,而速效磷与除速效钾以外的其他土壤养分(速效磷与速效钾显著相关, $r=0.71$ )相关性不显著(表6)。可见,植被恢复过程中土壤养分含量的增加,与土壤养分间的相关性不无关系。

#### 2.5 土壤肥力主成分分析

对表征土壤肥力的 7 个因子进行主成分分析,结果表明,封育 20 年,前两个主成分( $y_1, y_2$ )的方差贡献率分别为 80.12%,9.42%,累积贡献率为 89.54%;封育 40 年,前两个主成分( $y_1, y_2$ )的方差贡献率分别为 82.79%,12.24%,累积贡献率已达 95.03%(要求累积贡献率达到 85%以上)。因此,前两个主成分足以代替原始因子所代表的全部信息。由综合评价值  $F = \sum(y_i \text{得分} \times y_i \text{贡献率}) (i=1,2)$ ,求得封育 20 年和 40 年群落的  $F$  得分值, $F(40 \text{年}) > F(20 \text{年})$ ,封育 40 年的植物群落土壤综合肥力高于

20年的群落,说明次生林自然恢复有利于土壤综合肥力的提高(表7)。

表6 0~20 cm 土层土壤养分的相关性

Tab.6 The correlation of soil nutrients in the 0-20 cm soil layer

土壤养分 Soil nutrients	有机质 SOM	全氮 Total N	水解氮 Hydrolysis N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	速效钙 Available Ca	速效镁 Available Mg
有机质	1.000 0						
全氮	0.959 6**	1.000 0					
水解氮	0.940 6**	0.927 4**	1.000 0				
速效磷	0.242 4	0.199 5	0.047 1	1.000 0			
速效钾	0.796 2**	0.782 7**	0.698 5*	0.706 5*	1.000 0		
速效钙	0.849 9**	0.751 1**	0.831 9**	0.112 5	0.649 3*	1.000 0	
速效镁	0.937 8**	0.842 **	0.848 8**	0.207 1	0.719 9**	0.925 5**	1.000 0

表7 土壤肥力因子主成分分析结果

Tab.7 The result of principal components analyse of soil fertility

封育年限/a Hill closing years	主成分 Component principal	特征根 Eigen values	贡献率/% Percent of capacity	累计贡献率/% Cumulative percentage	主成分得分 Component score	F 得分 F score
20	$\gamma_1$	5.608 6	80.12	80.12	1.113 7	0.905 0
	$\gamma_2$	0.659 6	9.42	89.54	0.135 3	
40	$\gamma_1$	5.795 0	82.79	82.79	1.08 8	0.942 1
	$\gamma_2$	0.856 6	12.24	95.03	0.339	

### 3 讨论

(1) 本研究中,土壤速效磷在剖面上的分布随土层增加,其含量不断减少的趋势。郝文芳<sup>[12]</sup>的研究结果与之相似:在0~5 cm、5~10 cm 土层,土壤速效磷含量远高于10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层;张俊华<sup>[11]</sup>则认为土壤速效磷在剖面的分布较为复杂,没有表现出明显的规律性。土壤速效磷含量的变化是一个十分复杂的问题,对于非耕作土壤,其含量除与土壤不同形态磷间的动态平衡有关外,还受母质、土壤、气候、风化程度、淋溶作用以及全磷含量等因素的影响<sup>[12]</sup>。因而,次生林植被恢复过程中,速效磷含量变化规律尚待进一步研究。

(2) 本研究中,次生林恢复过程中,土壤速效钾含量呈现出增加的趋势。司彬<sup>[23]</sup>关于黔中喀斯特植被恢复的研究认为土壤中速效钾含量逐渐上升,在次生乔林阶段达到最大,然后下降,速效钾含量在顶级群落阶段达到整个演替过程的最低值。这也表明本研究的群落并未到达顶级群落,群落正处于不断积累速效钾等有效养分的演替阶段。郝文芳<sup>[12]</sup>认为弃耕地土壤速效钾含量总的变化趋势是随着弃耕时间的增加,土壤速效钾呈逐渐增加的趋势,但以0~5 cm、5~10 cm 土层变化明显,其它土层变化微弱;在0~60 cm 土层内,随着土层深度的加深,速效钾含量呈减少的趋势。而本研究中,在土壤剖面上并未呈现这种规律。张俊华<sup>[11]</sup>则认为植被对土壤速效钾的影响因类型不同而异,草地和黄刺玫林地使土壤速效钾略有增加,沙棘和油松林土壤速效钾与农田相比有大幅度的降低,其中沙棘林降低31.0%,油松林降幅更大,达40.8%。除天然草地外,黄刺玫、沙棘和油松等木本植物均使剖面中下层的土壤速效钾减少。可见植被恢复过程中,速效钾含量的变化与植被类型、演替阶段等因素有关。

(3) 本研究中,次生林恢复过程中,土壤速效磷、速效钾、速效Ca和速效Mg含量增幅均未达到显著性差异。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<sup>[21]</sup>。这就进一步说明本研究中次生林自然恢复时间,未达到森林演替使土壤养分显著变化的时间限度。因而,应继续对该地区次生林进行研究,特别是植被自然恢复对土壤有效养分的积累呈现显著变化

的时间尺度进行深度研究。

(4) 植物群落一方面通过改变群落内的水热环境,影响土壤发育的条件进而改变土壤的理化性质;另一方面通过凋落物和根系的作用参与土壤的形成来改变土壤的理化性质。研究的森林群落选择邻近的相同环境因子,地质条件基本一致的次生林,对其进行封育,它们土壤间的有机质和有效养分含量存在显著差异,反映了封育对土壤养分的累积效果,说明在北亚热带次生林自然恢复对土壤改良作用是不可忽视的。由于该定位站研究历史较短,本研究仅对2个不同封育年限的次生林进行了比较分析。因此,继续开展次生林植被恢复过程中,土壤有机质、全氮、水解氮、速效磷,速效钾,速效Ca和速效Mg等的变化研究,对于丰富封山育林植被自然恢复对土壤养分等的变化影响具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 苏智先,王仁卿. 生态学概论[M]. 北京: 高等教育出版社,1993: 88-91.
- [2] 韩兴国,黄建辉,姜治平. 关键种概念在生物多样性保护中的意义与存在的问题[J]. 植物学通报,1995,15(1): 9-14.
- [3] 卢其明,林琳,庄雪影,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.
- [4] 安树青,赵儒林. 中国北亚热带次生森林植被的特征分析[J]. 南京大学学报: 自然科学版,1991,27(2): 323-331.
- [5] 王国兵,阮宏华,唐燕飞,等. 北亚热带次生栎林与火炬松人工林土壤微生物生物量碳的季节动态[J]. 应用生态学报,2008,19(1): 37-42.
- [6] 李正才,徐德应,傅懋毅,等. 北亚热带土地利用变化对土壤有机碳垂直分布特征及储量的影响[J]. 林业科学研究,2007,20(6): 744-749.
- [7] 曾曙才,谢正生,俞元春,等. 北亚热带森林土壤有效微量元素状况研究[J]. 生态学报,2002,22(12): 2141-2146.
- [8] 傅桦,丁瑞兴. 我国北亚热带白浆化土壤矿物学特性的研究[J]. 土壤学报,1997,34(3): 246-255.
- [9] 黄承武,徐盛荣. 我国北亚热带花岗岩发育土壤的特性和系统分类[J]. 土壤通报,1997,28(2): 55-58.
- [10] 陈永强,吕军,柳云龙. 侵蚀红壤肥力退化评价指标体系研究[J]. 水土保持学报,2001,15(2): 72-76.
- [11] 张俊华,常庆瑞,贾科利,等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4): 38-41.
- [12] 郝文芳,梁宗锁,陈存根,等. 黄土丘陵沟壑区弃耕地群落演替与土壤性质演变研究[J]. 土壤肥料科学,2005,21(8): 226-231.
- [13] 刘鸿雁,黄建国. 缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化[J]. 应用生态学报,2005,16(11): 2041-2046.
- [14] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(12): 2292-2296.
- [15] Rhoades C C, Miller S P, Shea M M. Soil properties and soil nitrogen dynamics of prairie-like forest openings and surrounding forests in Kentucky's Knobs Region[J]. Am Midland Nat, 2004,152(1): 1-11.
- [16] Johannes M H K, David T. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment[J]. Ecology, 2000, 81(1): 88-99.
- [17] Aerts R, Chapin III F S. The mineral nutrition of wild plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns[J]. Advances in Ecological Research, 2000, 30: 1-67.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社,1978: 62-78.
- [19] 陕西省土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社,1992: 410-468.
- [20] 张祖荣,古德洪. 重庆四面山次生植被不同演替阶段土壤理化性质的比较研究[J]. 林业科学研究,2008,33(6): 21-25.
- [21] 欧阳学军,黄忠良,周国逸,等. 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[J]. 水土保持学报,2003,17(4): 51-54.
- [22] 温仲明,焦峰,刘宝元,等. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 应用生态学报,2005,16(11): 2025-2029.
- [23] 司彬,姚小华,任华东,等. 黔中喀斯特植被恢复演替过程中土壤理化性质研究[J]. 江西农业大学学报,2008,30(6): 1122-1125.