

重庆酸雨区人工木荷林对土壤化学性质的影响

李志勇^{1 2 3} 陈建军² 王彦辉^{3*} 于澎涛³ 杜士才⁴ 何萍⁴ 段健⁵

(1 河南科技大学农学院, 河南洛阳 471003) (2 华南农业大学农学院, 广州 510642)

(3 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091)

(4 重庆市林业局, 重庆 401147) (5 重庆市铁山坪林场, 重庆 400026)

摘要 在属于酸雨区的重庆市铁山坪林场,选择在马尾松(*Pinus massoniana*)纯林火烧迹地上人工营造的木荷(*Schima superba*)纯林,采用钻取土芯法调查木荷对土壤化学性质的影响,并与毗邻的同时造林但未遭受火烧的马尾松纯林比较。结果表明,木荷纯林0~20和20~60 cm土层的pH值分别为3.61和3.77,盐基饱和度分别为4.68%和7.92%,而马尾松纯林的pH值分别为3.78和3.88,盐基饱和度分别为9.25%和16.32%。与马尾松纯林相比,木荷纯林土壤的交换性盐基离子(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+})和全磷含量普遍低,而酸性阳离子 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 和 H^+ 含量明显偏高($p < 0.05$)。结果说明,并非木荷作为阔叶林对酸化土壤的改良作用就好于作为针叶林的马尾松,木荷纯林导致了土壤酸化加剧,养分非常缺乏。因此,在酸雨区土壤酸化条件下,如果采用木荷营造防火林带或者进行马尾松纯林改造时,不宜集中大片营造木荷纯林,以避免对土壤环境产生不利影响。

关键词 酸雨 火烧迹地 木荷 马尾松 pH值 盐基饱和度

EFFECTS OF *SCHIMA SUPERBA* PLANTATIONS ON SOIL CHEMICAL PROPERTIES IN THE ACID RAIN REGION OF CHONGQING, SOUTHWESTERN CHINA

LI Zhi-Yong^{1 2 3}, CHEN Jian-Jun², WANG Yan-Hui^{3*}, YU Peng-Tao³, DU Shi-Cai⁴, HE Ping⁴, and DUAN Jian⁵

¹College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China, ²College of Agronomy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China, ³Key Laboratory of Forest Ecology Environment of the State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China, ⁴the Forestry Administration of Chongqing City, Chongqing 401147, China, and ⁵the Tieshanping Forest Farm of Chongqing City, Chongqing 400026, China

Abstract Aims In recent decades, frequent fires have destroyed large areas of coniferous *Pinus massoniana* forests in Chongqing, Southwestern China. *Schima superba*, a fire-resistant broadleaved tree species, has been widely planted on the burned areas. *S. superba* is thought to improve soil properties; however, little information is available from plantations exposed to acid deposition. Our objective was to examine the effects of *S. superba* plantations on soil chemical properties in the acid rain region.

Methods We investigated soil chemical properties of a pure *S. superba* plantation planted on a burned area of a former pure *P. massoniana* plantation in the Tieshanping Forest Farm of Chongqing City using a soil core method. Results were compared with those from an adjacent unburned pure *P. massoniana* plantation, which was planted at the same time as the burned pure *P. massoniana* plantation.

Important findings For 0–20 and 20–60 cm soil layers in the *S. superba* plantation, average pH values were 3.61 and 3.77 and average base saturation (BS) values were 4.68% and 7.92%, respectively. For these two soil layers in the *P. massoniana* plantation, average pH values were 3.78 and 3.88 and average BS values were 9.25% and 16.32%, respectively. Compared with the *P. massoniana* plantation, contents of exchangeable base cations (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+}) and total P were generally lower in the soil of the *S. superba* plantation, but contents of exchangeable Al^{3+} , Fe^{3+} and H^+ were significantly higher ($p < 0.05$). This study suggested that the *S. superba* plantation accelerated soil acidification. Therefore, in the acid rain region of Chongqing, large areas of pure *S. superba* plantations should be avoided when using *S. superba* for establishment of fire-resistant forest belts or for regeneration and transformation of pure *P. massoniana* planta-

收稿日期: 2007-07-16 接受日期: 2008-01-10

基金项目: 国家林业局天然林保护工程科技支撑项目(TBKJ2003-04) 科技部“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD03A1803) 中挪合作项目、中国林业科学研究院中央级公益性科研院所项目(CAFYBB200700X) 科技部社会公益研究专项(2004DIB3J102) 和国家林业局森林生态环境重点实验室资助项目

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: wangyh@caf.ac.cn

E-mail of the first author: pphdll@126.com

tions.

Key words acid rain, burned area, *Schima superba*, *Pinus massoniana*, pH value, base saturation

DOI: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.03.012

重庆市地处长江上游三峡库区,境内的森林担负着特殊而重要的生态环境保全功能,属于天然林保护工程的重点地区。在重庆市林区,马尾松(*Pinus massoniana*)纯林占绝对优势,面积达 122.2×10^4 hm^2 ,占林分面积的62.1%(滕秀荣,2005)。这里的马尾松纯林多年来存在着严重的酸雨危害及火灾威胁,不仅林地土壤酸化严重和森林健康水平下降(李志勇等,2007;Wang *et al.*,2007),而且防火性能较差,在高温、低湿和少雨的季节极易引发森林火灾(蒋倩英等,1995)。据报道(People's Daily Online,2006)2006年8月31日,重庆市因高温干旱发生的森林火灾烧毁了66 hm^2 的森林。

木荷(*Schima superba*)是我国珍贵的速生用材树种,能适应干旱贫瘠生境(刘春华和吴奇镇,2002)。其叶片厚、革质、含水量大、含油脂少、燃点较高,被认为是优良的防火树种(陈存及和何宗明,1994;陈永瑞等,2003)。因此,重庆市长期重视营造木荷林,特别是在马尾松林发生火灾过后,人们往往出于森林防火的考虑,在火烧迹地上首先选择栽植木荷(王义,2006)。

木荷落叶丰富,枯落物养分含量高,具有较好的改良土壤作用(陈堆全,2001;黄文超和黄丽莉,2004),人们期盼通过栽种木荷达到生产优质木材、增强防火能力和改良酸性土壤的功能,但事实上一直缺乏在酸化土壤上栽植木荷,对土壤化学影响的实测研究。因此,利用木荷造林进行森林恢复与经营的决策缺乏全面的科学基础。另外,虽然国内外近几十年来进行了较多的森林或草原火烧迹地土壤性质的研究(Chandler *et al.*,1983;McNabb & Cromack,1990;沙丽清等,1998;Neary *et al.*,1999;周道玮等,1999;李玉忠等,2003;吕爱锋和田汉勤,2007),但很少有火烧迹地森林更新后土壤性质的研究报道。为了全面了解营造木荷后对酸化土壤化学性质的影响,我们于2004年在重庆市江北区铁山坪林场,选择在马尾松纯林重度火烧迹地上对人工营造的木荷纯林进行土壤化学性质调查,并与毗邻的未遭受火烧的同年营造的马尾松纯林比较,力图为重庆酸雨区利用木荷营造防火林带或进行马尾松纯林改造提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

本研究地区重庆市,为我国最早的酸雨区,受特殊地形及燃煤硫含量较高(2%~5%)等影响,酸雨的强度大、频率高,降水pH值可达4.0~4.2(李霖等,2005)。由于长期受酸雨影响,土壤酸化和森林受害严重。

具体研究地点位于重庆市铁山坪林场(29°38'N,106°41'E),在重庆市的东北方向,离开市中心大约25 km,为亚热带湿润气候,年均气温为18℃,年均降水量为1100 mm,年均空气相对湿度为80%(基于1971~2000年数据统计),研究区域的海拔变化在512~579 m之间,土壤为砂岩上发育的山地黄壤,土层厚度为50~80 cm,土壤容重为1.25~1.34 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,土壤孔隙度为47%~50%。

1.2 研究方法

针对重庆市多年来在马尾松纯林遭受火烧后种植木荷的传统做法,选择在马尾松纯林火烧迹地上人工营造的木荷纯林和与之紧紧相连的未遭受火烧的马尾松纯林进行土壤化学性质的调查和比较。

1992年7月29日,铁山坪林场一片1980年营造的马尾松纯林局部发生火灾,过火面积4.33 hm^2 ,形成重度火烧迹地,乔木、灌木和草本全部死亡,枯落物层几乎全部烧掉。在清除火烧迹地的枯立木后,于1993年11月采用2年木荷苗木人工挖穴造林,穴的长×宽×深为30 cm×30 cm×30 cm,造林后无任何施肥和抚育。2004年5月下旬调查取样时的林龄为13年(包括苗龄2年),尚未间伐,林下草本层有芒萁(*Dicranopteris pedata*)和狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)。作为对照的毗邻未烧马尾松纯林,调查时林龄为26年(包括苗龄2年),尚未间伐,林内混生极少的杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和青冈(*Cyclobanopsis glauca*)。林下草本层以蕨类为主,有狗脊蕨和黑足鳞毛蕨(*Dryopteris fuscipes*)等。2004年5月上旬,分别在木荷纯林和毗邻未烧马尾松纯林内各布设3个样地,面积均为20 m×15 m,各样地海拔均为518 m,样地均为平地,位于东坡的中上部,其林木生长情况见表1。各样地立地相似、空间相近、

密度接近。

2004年5月下旬,采用土钻法进行野外土壤和根系取样。土钻全长100 cm,取样筒长25 cm,内径10 cm。在样地内分别选取4株优势木作为样树,于距离树干1.0 m的半径处在东南西北4个方位各确定1个取样点,按0~20和20~60 cm上、下两个层次取样,在每一样地,将围绕同一株样树采集的同一层次的土壤(含根系)样品混合放入塑料袋中,带回室内后手工小心弄碎,同时分拣出石砾,并用镊子仔细将该树种的活根挑出,放在20目孔径筛内用自来水冲洗干净,然后将其放在干净纸上,待根系表面水分挥发后,将其装入编号的保鲜袋置于-20℃冰箱冷藏保存。野外取样结束后,将冷藏根系样品带回中国林业科学研究院利用图形扫描和分析系统Win-RHIZO对直径 ≤ 2 mm的细根进行特征参数测定,并计算各层次的单位面积的细根长度($m \cdot m^{-2}$)、表面积($m^2 \cdot m^{-2}$)、体积($cm^3 \cdot m^{-2}$)和根尖数(个 $\cdot m^{-2}$)。根系在60℃下烘干至衡重,用万分之一电子天平称量,求得各层次的单位面积的细根干重($g \cdot m^{-2}$)。

将挑出根系的土壤用四分法留足土样,经风干、磨细和过20目孔径筛,取约300 g装入保鲜袋,放在阴凉干燥处保存,以备带回中国林业科学研究院分析。分析前分别把同一样地的围绕4株样树的同一层次的4个风干样品均匀混合。测定各层土壤的交换性阳离子(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 和 H^+)含量及全N、全P、有机质含量和pH值。其中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 和全P用美国热电公司IRIS Intrepid II电感耦合等离子体原子发射光谱仪测定;交换性 H^+ 用滴定法测定;pH值用 $1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ 的KCl浸提,土水比为1:2.5,复合电极法测定;全N用凯氏定氮法测定。测定土壤的交换性阳离子、全N、全P和有机质含量均以干基计。

树木胸径测量采用测树钢围尺。树高测量采用测高仪,辅以测竿测量。树冠叶量损失率观测采用欧洲标准(ICP Project Coordination and Research Center of German Forestry and Forest Products 2002)。树高和叶量损失率分别从东南西北4个方位观测4次后取平均值。

数据采用SPSS12.0统计软件统计分析。

表1 调查样地的概况
Table 1 Survey of the sampling plots

林分 Stand	样地编号 Plot No.	密度 Density (stems \cdot hm $^{-2}$)	优势木 Dominant tree		
			平均高度 Mean height (m)	平均胸径 Mean diameter at breast height (cm)	平均叶量损失率 Mean defoliation percentage (%)
火烧迹地人工木荷纯林 Pure <i>Schima superba</i> plantation on the burned area	1	1 222	5.2	7.8	11
	2	1 278	5.1	7.3	12
	3	1 167	5.5	8.0	5
未烧马尾松纯林 Unburned <i>Pinus</i> <i>massoniana</i> plantation	4	1 167	9.4	14.5	25
	5	1 100	9.9	15.2	10
	6	1 333	9.1	14.1	53

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 值

分析结果(表2)表明,两树种林分都属于强酸性土壤,下层土壤的pH值均高于上层土壤。在比较两类林分时可以看出,木荷纯林的上、下层土壤pH值比马尾松纯林分别低0.17和0.11。表明木荷纯林加重了土壤酸化,因为一般来说火烧迹地由于林木和枯落物燃烧会使得土壤pH值升高(杨玉盛和李振问,1993;陈忠,2006),即如果木荷没有加重土壤酸化时,木荷纯林的土壤pH值应该高于马尾

松纯林。

2.2 土壤的交换性阳离子和盐基饱和度

表2列出了木荷纯林和马尾松纯林土壤的交换性阳离子含量和盐基饱和度。与马尾松纯林相比,木荷纯林的上、下层土壤 K^+ 含量分别低57.24%和19.85%,上层差异达显著水平($p < 0.05$);上、下层土壤 Na^+ 分别低9.90%和1.35%;上、下层土壤 Ca^{2+} 分别低40.44%和43.74%,两层差异均达显著水平($p < 0.05$);上层土壤 Mg^{2+} 高5.44%,下层土壤 Mg^{2+} 低63.47%,下层差异达显著水平($p < 0.05$);上、下层土壤交换性盐基总量分别低30.42%和

41.73%。在上、下层土壤中, Al^{3+} 分别高 43.01% 和 38.54%, Fe^{3+} 分别高 72.64% 和 263.25%, H^+ 分别高 46.13% 和 36.30%, Mn^{2+} 分别低 87.93% 和 97.28% 其上下层差异均达显著水平 ($p < 0.05$); 上、下层土壤酸性阳离子总量分别高 44.52% 和 34.51%; 上、下层土壤盐基饱和度分别为 4.68% 和 7.92%, 分别低于马尾松纯林的 9.25% 和 16.32%; 说明木荷纯林的土壤酸化程度比毗邻的马尾松纯林还要严重, 养分非常缺乏。

2.3 土壤全 N、全 P 和有机质

分析结果(表 3)表明, 与马尾松纯林相比, 木荷纯林上层土壤全 N 含量高 6.33%, 下层土壤低

25.39%, 下层差异达显著水平 ($p < 0.05$)。上、下层土壤全 P 含量分别低 29.29% 和 3.32%, 上层差异达显著水平 ($p < 0.05$)。

各林分都是上层土壤有机质含量显著高于下层土壤, 但木荷纯林上、下层土壤有机质含量比马尾松纯林分别高 11.93% 和 25.27%, 下层差异达显著水平 ($p < 0.05$)。因此, 尽管由于木荷纯林的前茬马尾松纯林遭受重度火烧导致了土壤有机质损失及火烧迹地新造木荷纯林的年龄仅是未烧马尾松纯林的一半, 但木荷纯林土壤有机质积累量仍高于马尾松纯林, 表明木荷纯林土壤积累有机质的速度高于马尾松纯林。

表 2 火烧迹地人工木荷纯林和未烧马尾松纯林各层土壤的交换性阳离子、盐基饱和度和 pH 值
Table 2 Contents of exchangeable cations, base saturation and pH values in the soil layers for *Schima superba* plantation on the burned area and unburned *Pinus massoniana* plantation

林分 Stand	土壤层次 Soil layer (cm)	交换性阳离子 Exchangeable cation (cmol(+)·kg ⁻¹)							盐基饱和度 Base saturation (%)	pH (KCl)	
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺			H ⁺
火烧迹地人工木荷 纯林 <i>Schima</i>	0~20	(0.020 2 ± 0.001 9) ^y	(0.084 5 ± 0.001 0) ^y	(0.165 2 ± 0.000 4) ^z	(0.062 4 ± 0.008 7) ^y	(3.118 3 ± 0.011 3) ^y	(0.076 8 ± 0.006 2) ^y	(0.001 7 ± 0.000 3) ^y	(3.575 4 ± 0.012 8) ^y	4.68	(3.61 ± 0.01)
<i>superba</i> plantation on the burned area	20~60	(0.014 7 ± 0.001 3) ^y	(0.102 8 ± 0.002 2) ^y	(0.374 4 ± 0.005 6) ^y	(0.055 0 ± 0.004 9) ^y	(2.929 2 ± 0.008 4) ^y	(0.023 8 ± 0.003 5) ^y	(0.003 0 ± 0.000 6) ^y	(3.395 7 ± 0.010 4) ^y	7.92	(3.77 ± 0.01)
未烧马尾松纯林 Unburned	0~20	(0.047 2 ± 0.003 3) ^y	(0.093 8 ± 0.009 9) ^y	(0.277 3 ± 0.008 4) ^y	(0.059 2 ± 0.009 0) ^y	(2.180 5 ± 0.214 6) ^y	(0.044 5 ± 0.004 4) ^y	(0.014 3 ± 0.002 7) ^y	(2.446 7 ± 0.208 0) ^y	9.25	(3.78 ± 0.01)
<i>Pinus massoniana</i> plantation	20~60	(0.018 4 ± 0.002 5) ^y	(0.104 2 ± 0.003 5) ^y	(0.665 4 ± 0.007 4) ^y	(0.150 5 ± 0.010 2) ^y	(2.114 4 ± 0.009 6) ^y	(0.006 6 ± 0.000 4) ^l	(0.109 7 ± 0.008 7) ^y	(2.491 3 ± 0.009 3) ^y	16.32	(3.88 ± 0.02)

表中值为 3 次重复平均值 ± 标准误差, 同一列数据中字母不同者表示差异显著 ($p < 0.05$) Values in the table are means of three replicates ± SE, data with different letters are significantly different ($p < 0.05$) in the same column

表 3 火烧迹地人工木荷纯林和未烧马尾松纯林各层土壤的全 N、全 P 和有机质含量
Table 3 Contents of total N, total P and organic matter in the soil layers for *Schima superba* plantation on the burned area and unburned *Pinus massoniana* plantation

林分 Stand	土壤层次 Soil layer (cm)	全 N Total N (g·kg ⁻¹)	全 P Total P (g·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)
火烧迹地人工木荷纯林 <i>Schima superba</i> plantation on the burned area	0~20	(1.030 2 ± 0.085 3) ^y	(0.272 9 ± 0.007 1) ^y	(26.260 0 ± 1.673 9) ^y
	20~60	(0.697 3 ± 0.052 6) ^y	(0.257 7 ± 0.006 5) ^y	(12.278 7 ± 1.203 9) ^y
未烧马尾松纯林 Unburned <i>Pinus massoniana</i> plantation	0~20	(0.968 9 ± 0.093 1) ^y	(0.385 9 ± 0.012 8) ^y	(23.460 4 ± 2.198 6) ^y
	20~60	(0.934 6 ± 0.072 0) ^y	(0.266 5 ± 0.007 8) ^y	(9.802 1 ± 1.035 1) ^y

表注见表 2 Notes see Table 2

2.4 树木的细根特征

树木根系尤其是作为吸收养分的主要器官细根的数量和分布, 会影响土壤的养分循环和酸化过程, 同时土壤的酸化程度也会影响其根系数量特征(王彦辉 2001)。表 4 给出了 2004 年同期观测的两个树种样地的细根特征。总体来看, 两个树种 0~60 cm 土层单位面积细根的干重、长度、表面积指标很

接近, 虽然木荷纯林的细根体积小于马尾松纯林和细根根尖数大于马尾松纯林。但分土层比较时可以看出, 木荷纯林的细根更加集中在上层土壤, 表现为上层土壤单位面积的细根特征值均是木荷纯林大于马尾松纯林, 下层则相反。这说明木荷利用深层土壤营养的能力低于马尾松, 更加倾向于集中利用上层土壤的营养。

表4 火烧迹地人工木荷纯林和未烧马尾松纯林各层土壤的细根生长特征
Table 4 Growth characteristics of fine roots in the soil layers for *Schima superba* plantation on the burned area and unburned *Pinus massoniana* plantation

林分 Stand	土壤层次 Soil layer (cm)	干重 Dry weight (g·m ⁻²)	长度 Length (m·m ⁻²)	表面积 Surface area (m ² ·m ⁻²)	体积 Volume (cm ³ ·m ⁻²)	根尖数 Root tip number (no.·m ⁻²)
火烧迹地人工木荷纯林 <i>Schima superba</i> plantation on the burned area	0~20	(26.78 ± 0.97) ^y	(153.84 ± 6.83) ^y	(0.384 3 ± 0.015 3) ^y	(77.60 ± 2.67) ^y	(20 701 ± 1 514) ^y
	20~60	(16.89 ± 0.41) ^y	(82.23 ± 4.19) ^y	(0.253 4 ± 0.094 0) ^y	(67.32 ± 3.48) ^y	(12 492 ± 718) ^y
	合计 Total	43.67	236.07	0.637 7	144.92	33 193
未烧马尾松纯林 Unburned <i>Pinus massoniana</i> plantation	0~20	(15.16 ± 0.65) ^y	(85.05 ± 5.10) ^y	(0.258 0 ± 0.013 0) ^y	(63.12 ± 3.71) ^y	(10 016 ± 1 048) ^y
	20~60	(24.48 ± 0.89) ^y	(146.29 ± 7.28) ^y	(0.438 5 ± 0.011 0) ^y	(120.36 ± 3.19) ^y	(13 507 ± 681) ^y
	合计 Total	39.63	231.34	0.696 5	183.48	23 523

表注见表2 Notes see Table 2

3 讨论

本研究在酸雨长期严重影响下的重庆市铁山坪林场,选择了立地相似、空间相近、密度接近的在马尾松纯林火烧迹地上人工营造的木荷纯林和毗邻的未遭受火烧的马尾松纯林,进行了土壤化学性质的调查和比较。结果表明,在马尾松纯林火烧迹地人工营造木荷纯林10年后,木荷纯林0~20和20~60 cm土壤的pH值和盐基饱和度均低于毗邻的未烧马尾松纯林,交换性盐基离子(K⁺、Na⁺、Ca²⁺和Mg²⁺)和全P含量普遍变低,而酸性阳离子(Al³⁺、Fe³⁺和H⁺)含量明显升高。表明木荷纯林导致了土壤酸化加剧和养分缺乏。因为,一般来说火烧后土壤中交换性盐基离子含量增加,酸性阳离子含量降低,pH值升高(杨玉盛和李振问,1993;陈忠,2006),全P含量增加(田昆,1997),而且,由于本研究地点很平坦,6个样地均为平地,皆位于铁山坪林场的坪顶上,加之当地的降雨条件能使植被快速恢复,因此不会发生严重的水土流失(俞新妥和杨玉盛,1992),尽管林木和枯落物的燃烧会导致大量N的气态损失(Dyrness *et al.*, 1989),但盐基离子和P则会以灰分形式保留在平坦的林地上,并随着以后的降雨入渗进入土壤,起到提高土壤pH值和盐基离子含量的作用(王彦辉,2001),即是说如果木荷没有加重土壤酸化和养分缺乏时,木荷纯林的土壤pH值和养分含量则应该高于马尾松纯林。

不同植被利用下土壤酸度的变化是生物酸化的结果(Hallbacken & Tamm, 1986)。木荷纯林土壤酸化加剧和养分缺乏的主要原因可能有以下几方面,

一是林木对养分的吸收、转运和凋落回归的速度不同影响土壤酸度(Krug & Frink, 1983;王兴祥等, 2004)。植物吸收盐基离子时必然伴随着等当量的H⁺释放到土壤溶液中,引起土壤pH值下降(沙济琴等, 1991;王彦辉, 2001)。木荷属于速生树种,具有对K、Na、Ca、Mg和P需求量大特点(罗汝英, 1983;曹汉洋, 1998),由于其较大量的盐基离子吸收而导致了土壤进一步酸化,尤其是调查的木荷林分正处于快速生长的幼林时期(林春梯, 1998),树高、直径生长旺盛,生物量积累迅速。连续观测结果表明2004年5月下旬至2007年9月中旬,木荷纯林的胸径、树高和冠幅的生长量分别为3.66 cm、2.34 m和0.74 m,分别是马尾松纯林对应值的3.51、1.65和2.47倍。因此,尽管木荷落叶丰富,枯落物养分含量高,理论上可能具有提高土壤表层盐基量和pH值及缓解土壤酸化的作用(陈堆全, 2001;黄文超和黄丽莉, 2004),但可能由于实际归还量少于吸收量,客观上造成了土壤的进一步酸化。二是细根(直径≤2 mm)是林木吸收养分的主要器官(梅莉等, 2004),植物细根的根量越大,其吸收的离子数量越多,向土壤溶液中释放的质子量也就越多(王兴祥等, 2004)。本文研究表明,两个树种的根系深度分布差异可能也有一定的影响。木荷的细根集中在上层土壤,下层较少(表4),木荷纯林单位面积的细根干重、长度、表面积、体积和根尖数与马尾松纯林对应值的比值在0~20 cm土层分别为1.77、1.81、1.49、1.23和2.07,在20~60 cm土层分别为0.69、0.56、0.58、0.56和0.92,这说明木荷利用深层土壤营养的能力相对不足,更倾向于集中利用上层土壤

的营养。作为持续集中消耗上层土壤中的 K、Na、Ca 和 Mg 等盐基离子的结果,必然导致根系层的酸化加快(王彦辉,2001)。三是木荷的枯落物分解速度可能相对较慢,不是想象的那样符合阔叶树凋落物分解速度就一定大于针叶树的普遍规律(张太平等,1999)。事实上,2004 年同期调查时火烧迹地人工木荷纯林地的枯落物平均厚度已达 3.00 cm,高于毗邻的未烧马尾松纯林的 2.78 cm,其上、下层土壤的有机质含量也高于毗邻的未烧马尾松纯林,死生物量的累积减缓了营养循环和加剧了酸化速度(王彦辉,2001)。

综合来看,酸化林地上生长的人工木荷纯林的土壤改良效果值得怀疑,因为木荷纯林具有加剧土壤酸化和营养贫瘠的作用,虽然还需要长期、连续、广泛、深入的观测研究才能得出更加准确和全面的结论,但目前至少可以说,木荷纯林在幼龄林阶段提高土壤盐基含量和缓解土壤酸化的作用是极有限的。

4 结 论

在重庆酸雨区的马尾松纯林火烧迹地上采用 2 年生苗木营造木荷纯林 10 年后,土壤酸化加剧,养分非常缺乏。因此,在利用木荷营造防火林带或者改造马尾松纯林时,要注意不能集中大片营造木荷纯林,如果需要营造木荷纯林,需要选择土壤酸度较低立地,并应在林木生长过程中尤其是进入速生期后,及时追施 P、K、Ca 和 Mg 肥,以减缓土壤酸化。

参 考 文 献

- Cao HY (曹汉洋) (1998). Research on nutrient status of pure Chinese fir, masson pine, *Schima superba* and mixed forests. *Journal of Nanjing Forestry University* (南京林业大学学报), 22, 45 - 48. (in Chinese with English abstract)
- Chandler C, Cheney P, Thomas P, Traub L, Williams D (1983). *Fire in Forestry*. John Wiley & Sons, New York.
- Chen CJ (陈存及), He ZM (何宗明) (1994). Study on the fire-resistance of 37 species of coniferous and broadleaf trees and its appraisal. *Fire Safety Science* (火灾科学), 3, 42 - 51. (in Chinese with English abstract)
- Chen DQ (陈堆全) (2001). Studies on the decomposition of *Schima superba* litter and on the law of it on the soil effect. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology* (福建林业科技), 28, 35 - 38. (in Chinese with English abstract)
- Chen YR (陈永瑞), Liu YF (刘允芬), Lin YM (林耀明), Li JY (李家永), Zhang HZ (张宏志) (2003). Hydrological process and nutrient dynamics of *Schima superba* stand in Qianyanzhou experimental area, Jiangxi Province. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 39, 145 - 150. (in Chinese with English abstract)
- Chen Z (陈忠) (2006). Effects of fire on major forest ecosystem processes: an overview. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 17, 1726 - 1732. (in Chinese with English abstract)
- Dymess CT, van Cleve K, Levison JD (1989). The effect of wild fire on soil chemistry in four forest types in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research*, 19, 1389 - 1396.
- Hallbacken L, Tamm CO (1986). Changes in soil acidity from 1927 to 1982 - 1984 in a forestry area of Southeast Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1, 219 - 232.
- Huang WC (黄文超), Huang LL (黄丽莉) (2004). Investigation on the effect of the mixed plantation of *Pinus massoniana* and *Schima superba*. *Forest Research* (林业科学研究), 17, 316 - 320. (in Chinese with English abstract)
- ICP Project Coordination and Research Center of German Forestry and Forest Products (Translated by Wang YH (王彦辉)) (2002). *A Manual of Methodology and Criteria of Sampling, Evaluation, Monitoring and Analysis of Forest Exposed to Air Pollution* (空气污染对森林影响的统一采样、评价、监测和分析的方法与标准手册). China Science and Technology Press, Beijing, 31 - 83. (in Chinese)
- Jiang QY (蒋倩英), Liu D (刘德), Yu Q (余庆), Liao DX (廖代秀) (1995). Analyses of weather conditions of forest fires of Chongqing City. *Journal of Sichuan Meteorology* (四川气象), 15(4), 17 - 19. (in Chinese)
- Krug EC, Frink CR (1983). Acid rain on acid soils: a new perspective. *Science*, 221, 520 - 525.
- Li J (李霁), Liu ZT (刘征涛), Shu JM (舒俭民), Gao JX (高吉喜), Tang DG (汤大钢) (2005). Analysis on the forest soil acidification status quo in typical acid rain areas of Central and South China. *China Environmental Science* (中国环境科学), 25 (Suppl.), 77 - 80. (in Chinese with English abstract)
- Li YZ (李玉忠), Zhu TC (祝廷成), Li JD (李建东), Zhou DW (周道玮) (2003). Effect of prescribed burning on grassland nitrogen gross mineralization and nitrification. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 14, 223 - 226. (in Chinese with English abstract)
- Li ZY (李志勇), Wang YH (王彦辉), Yu PT (于澎湃), Zhang ZJ (张治军) (2007). Health monitoring and regulation measures of *Pinus massoniana* forests of Chongqing exposed to acid deposition. *Ecology and Environment* (生态环境), 16, 54 - 59. (in Chinese with English abstract)
- Lin CD (林春佛) (1998). A study on growth and development of artificial *Schima superba* forests. *Forest Science and Technology* (林业科技通讯), (11), 19 - 21. (in Chinese)
- Liu CH (刘春华), Wu QZ (吴奇镇) (2002). Structure and soil fertility of mixed *Pinus massoniana* and *Schima superba* forest. *Protection Forest Science and Technology* (防护林科技), (4), 19 - 21. (in Chinese with English abstract)

- Luo RY (罗汝英) (1983). *Forest Soil* (森林土壤学). Science Press, Beijing, 203 – 208. (in Chinese)
- Li AF (吕爱锋), Tian HQ (田汉勤) (2007). Interaction among climatic change, fire disturbance and ecosystem productivity. *Journal of Plant Ecology* (Chinese Version) (植物生态学报), 31, 242 – 251. (in Chinese with English abstract)
- McNabb DH, Cromack K Jr (1990). Effects of prescribed fire on nutrients and soil productivity. In: Walstad JD, Radosevich SR, Sandberg DV eds. *Natural and Prescribed Fire in Pacific Northwest Forests*. Oregon State University Press, Corvallis, 125 – 142.
- Mei L (梅莉), Wang ZQ (王政权), Cheng YH (程云环), Guo DL (郭大立) (2004). A review: factors influencing fine root longevity in forest ecosystems. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 28, 704 – 710. (in Chinese with English abstract)
- Neary DG, Klopatek CC, DeBano LF, Folliott PF (1999). Fire effects on below-ground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51 – 71.
- People's Daily Online (2006). Fire ravages forest in Chongqing. http://english.people.com.cn/200609/01/eng_20060901_298753.html
- Sha JQ (沙济琴), Zheng DX (郑达贤), Fang ZG (方祖光), Xie JR (谢皎如), Huang YX (黄义雄) (1991). The decline in soil pH values under the *Casuarina equisetifolia* trees and its effect on availability of trace elements Cu, Zn, B, Mo. *Journal of Fujian Normal University* (Natural Science Edition) (福建师范大学学报(自然科学版)), 7(4), 113 – 120. (in Chinese with English abstract)
- Sha LQ (沙丽清), Deng JW (邓继武), Xie KJ (谢克金), Meng Y (孟盈) (1998). Study on the change of soil nutrient before and after burning secondary forest in Xishuangbanna. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 22, 513 – 517. (in Chinese with English abstract)
- Teng XR (滕秀荣) (2005). Status quo of forest resources and management strategy in Chongqing City. *Forest Inventory and Planning* (林业调查规划), 30(6), 73 – 76. (in Chinese with English abstract)
- Tian K (田昆) (1997). A Study on the variations of phosphorus content in fire slash. *Journal of Southwest Forestry College* (西南林学院学报), 17, 21 – 25. (in Chinese with English abstract)
- Wang XX (王兴祥), Li QM (李清曼), Cao H (曹慧), He YQ (何园球), Zhang TL (张桃林) (2004). Preliminary discussion on red soil acidification induced by plant and its mechanism. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 35, 73 – 77. (in Chinese with English abstract)
- Wang YH (王彦辉) (2001). *Responses of Acidified Forest Ecosystem Under Environmental Changes* (酸化森林生态系统对环境变化的响应). Huawen Press, Beijing, 191 – 243. (in Chinese)
- Wang YH, Solberg S, Yu PT, Myking T, Vogt RD, Du SC (2007). Assessments of tree crown condition of two masson pine forests in the acid rain region in South China. *Forest Ecology and Management*, 242, 530 – 540.
- Wang Y (王义) (2006). Restoration of vegetation is considered on the burned area of the urban district of Chongqing City. http://news.xinhuanet.com/environment/2006-09/14/content_5089228.htm
- Yang YS (杨玉盛), Li ZW (李振问) (1993). Forest fire and soil fertilities. *World Forestry Research* (世界林业研究), (3), 35 – 42. (in Chinese with English abstract)
- Yu XT (俞新妥), Yang YS (杨玉盛) (1992). Forest fire and water and soil loss. *World Forestry Research* (世界林业研究), (3), 30 – 35. (in Chinese with English abstract)
- Zhang TP (张太平), Ren H (任海), Peng SL (彭少麟), Yu ZY (余作岳) (1999). The ecological and biological characteristics of *Pinus elliottii*. *Ecologic Science* (生态科学), 18(2), 8 – 12. (in Chinese with English abstract)
- Zhou DW (周道玮), Zhang BT (张宝田), Guo P (郭平), Yue XQ (岳秀泉), Tian HY (田洪艳) (1999). Variation of some characters of Songnen grassland after firing in different seasons. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 10, 549 – 552. (in Chinese with English abstract)