

# 石灰石粉对重庆酸雨区马尾松健康状况的改善效果

李志勇<sup>1,2</sup>, 郭永新<sup>1</sup>, 王彦辉<sup>2</sup>, 潘伟<sup>3</sup>, 杜士才<sup>4</sup>, 何萍<sup>4</sup>, 段健<sup>5</sup>

(1 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471003; 2 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; 3 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 4 重庆市林业局, 重庆 401147; 5 重庆市铁山坪林场, 重庆 400026)

**摘要:**以酸沉降影响下重庆市铁山坪的马尾松 *Pinus massoniana* 纯林为研究对象, 采用随机区组设计, 设立在酸化土壤表面一次性撒施石灰石粉 0(对照)、1、2、3 和 4 t·hm<sup>-2</sup> 5 个处理的长期定位观测试验, 比较不同剂量石灰石粉对马尾松健康状况的改善效果。结果表明: 撒施石灰石粉可以降低马尾松叶量损失率, 促进胸径、树高、主轴顶梢长度和细根生长。在施后 1 年左右时间内, 效果以 2 t·hm<sup>-2</sup> 最佳。在以后近 2 年时间内, 效果以 4 t·hm<sup>-2</sup> 最佳, 与对照相比, 胸径和树高生长量分别增加 32.80% 和 77.20%, 差异均达显著水平 ( $P < 0.05$ )。随着撒施石灰石粉后时间的推移, 马尾松健康状况的改善效果随施用量增大而增加。

**关键词:** 重庆; 酸沉降; 马尾松; 石灰石粉; 健康

中图分类号: S718.51; X517

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2008)02-0086-04

## Effect of Limestone Powder Application on Health Conditions of *Pinus massoniana* Plantation in the Acid Rain Region of Chongqing

LI Zhi-yong<sup>1,2</sup>, GUO Yong-xin<sup>1</sup>, WANG Yan-hui<sup>2</sup>, PAN Wei<sup>3</sup>, DU Shi-cai<sup>4</sup>, HE Ping<sup>4</sup>, DUAN Jian<sup>5</sup>

(1 College of Agriculture, He'nan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2 Institute of Forest Ecological Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry,

Key Laboratory of Forest Ecological Environment, The State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

3 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

4 The Forestry Administration of Chongqing City, Chongqing 401147, China;

5 The Tieshanping Forest Farm of Chongqing City, Chongqing 400026, China)

**Abstract:** The effects of limestone powder application on health condition of a *Pinus massoniana* plantation growing on acidified soil were studied by a long-term field permanent experiment, which began in 2004 at Tieshanping Forest Farm of Chongqing City. The experiment included five treatments in a randomized complete block design with three replicates. The five treatments consisted of four different doses each (one-time scattering 1, 2, 3 and 4 t·hm<sup>-2</sup> of finely ground limestone per hectare on the soil surface respectively) and a control. The results showed that all the limestone treatments ameliorated the health condition of the trees of *Pinus massoniana*. During the first year after scattering, the optimal dose was 2 t·hm<sup>-2</sup>. During the latter two years (from 2006 to 2007), the healthiest trees were those growing on the soil amended with the highest limestone dose. Compared with the control, diameter at breast height (DBH) and height of the trees increased by 32.80% and 77.20%, respectively ( $P < 0.05$ ).

**Key words:** Chongqing; acid deposition; *Pinus massoniana*; limestone powder; health

收稿日期: 2007-06-05

作者简介: 李志勇(1965-), 男, 副教授, 博士, E-mail: pphdll@126.com

基金项目: 国家林业局天然林保护工程科技支撑项目(TBKJ2003-04); “十一五”科技部科技支撑计划项目(2006BAD03A1803); 中挪合作项目“Integrated Monitoring Program on Acidification of Chinese Terrestrial Systems”; 科技部社会公益研究专项(2004DIB3J102); 国家林业局森林生态环境重点实验室资助项目

酸沉降影响下的森林衰退及其健康恢复已成为全球倍加关注的问题. 一般认为,由酸沉降引起的土壤酸化及其对植物根系和养分吸收的影响是森林衰退的主要原因<sup>[1]</sup>. 作为应急措施,使用投加石灰来缓解森林土壤酸化的方法首先在德国得到研究并被广泛应用<sup>[2-3]</sup>. 中国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. 由于长期遭受酸沉降严重危害,在重庆市林区占绝对优势的马尾松 *Pinus massoniana* 纯林<sup>[4]</sup>的健康水平很低<sup>[5-6]</sup>. 虽然国内学者对酸化马尾松林地投加石灰或石灰石进行过一些研究<sup>[7-9]</sup>,但鲜见有关多个剂量石灰石粉处理下马尾松健康状况的研究报道. 本研究以酸沉降长期严重影响下的重庆市铁山坪马尾松纯林为对象,设立在酸化土壤表面撒施不同剂量石灰石粉的长期定位观测试验,比较不同剂量石灰石粉对马尾松健康状况的改善效果,旨在为提高重庆市马尾松的健康水平提供科学依据.

## 1 研究地区概况与研究方法

### 1.1 自然概况

研究地区位于重庆市东北方向的江北区铁山坪林场(29°38'N,106°41'E),离市中心约25 km,海拔512~579 m,为亚热带湿润气候,年均气温18℃,年均降水量1100 mm,年均空气相对湿度80%(基于1971—2000年数据统计),土壤为在砂岩上发育的山地黄壤,土层厚度50~80 cm,土壤容重1.25~1.34 g·cm<sup>-3</sup>,土壤孔隙度47%~50%. 受特殊地形及燃煤硫含量较高[*w*(S)为2%~5%]的影响,该区属于我国最早的酸雨区,酸雨的强度大、频率高,降水pH4.0~4.2<sup>[10]</sup>. 由于长期遭受酸沉降影响,土壤酸化和森林受害严重.

### 1.2 样地设置

土壤表面撒施石灰石粉试验在田园山庄后1980年营造的马尾松纯林内进行. 林分生长比较整齐,2004年5月下旬调查时,林龄为26年(包括移栽时苗龄2年),马尾松的密度1192株·hm<sup>-2</sup>,平均高度13.3 m,平均胸径15.5 cm,平均叶量损失率34%. 林内混生少量的木荷 *Schima superba*、杉木 *Cunninghamia lanceolata*、青皮木 *Schoepfia jasminodora* 和石栎 *Lithocarpus glaber*, 林下草本层以蕨类为

主,有狗脊蕨 *Woodwardia japonica* 和黑足鳞毛蕨 *Dryopteris fuscipes* 等. 林地海拔522 m,位于坡度为11°的西北坡的上坡,林地岩石出露率3%,0~60 cm土层的有机质2.53 g·kg<sup>-1</sup>,pH3.74,远低于马尾松最适宜的土壤pH范围(4.5~6.0)<sup>[11]</sup>,交换性阳离子K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Al<sup>3+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Mn<sup>2+</sup>和H<sup>+</sup>分别为0.024、0.084、0.377、0.075、3.660、0.045、0.008和4.260 cmol·kg<sup>-1</sup>,盐基饱和度6.63%,土壤缓冲能力十分有限. 试验设撒施石灰石粉[*w*(CaO)=49.5%,粒径250目]0(对照)、1、2、3和4 t·hm<sup>-2</sup>5个处理(分别用0、1、2、3和4表示). 采用随机区组设计,重复3次,各小区样地面积均为10 m×10 m,重复和小区样地间设置1 m宽隔离带. 各小区样地于2004年5月上旬布设. 石灰石粉于2004年6月5日一次性均匀撒施.

### 1.3 调查方法

2004年5月28日(试验前)、2004年11月17日(生长季末,撒施石灰石粉后165 d)、2005年6月24日(撒施石灰石粉后约1年,384 d)和2007年3月30日(撒施石灰石粉后近3年,1028 d),分别对15个小区样地靠近中心位置共计65株优势木的胸径、树高、叶量损失率和主轴顶梢长度进行观测. 胸径利用固定安装在样树上的钢卷尺测量,树高利用测高仪辅以测竿测量,叶量损失率观测依据欧洲标准,对照健康的标准树作出评价<sup>[12]</sup>,主轴顶梢长度采用估测法测量. 树高、叶量损失率和主轴顶梢长度分别从东、南、西、北4个方位观测4次,取平均值.

2006年10月上旬,采用土钻进行野外根系取样. 土钻内径10 cm、筒长25 cm、全长100 cm. 在各小区样地靠近中心位置分别选取2株马尾松优势木作为样树,于距离每株样树树干1.0 m的半径处在东、南、西、北4个方位各确定1个取样点,进行上层(0~20 cm)和中下层(20~40 cm)根系取样. 将围绕每株样树采集到的同一层次的含根系土壤混合放入编号塑料袋中,带回试验基地室内手工小心弄碎,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,装入编号一致的保鲜袋中,置入-20℃冰柜冷藏保存. 利用图形扫描和分析系统Win-RHIZO对直径≤2 mm的冷藏细根进行长度测定.

数据采用 SPSS12.0 统计软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 对胸径和树高生长的影响

表 1 是不同处理马尾松优势木胸径和树高的阶段生长量。施后 165 d, 除处理 1、4 以外, 处理 2 和 3 的胸径生长量均比对照增加, 其中处理 2 与对照差异显著 ( $P < 0.05$ ); 165 ~ 384 d, 所有石灰石粉处理的胸径生长量均比对照显著增加 ( $P < 0.05$ ), 处理 2 增幅仍最高; 384 ~ 1 028 d, 处理 1、2、3 和 4 的胸径生长量分别比对照增加了 1.88%、6.72%、14.25%

和 32.80%, 处理 4 增幅最高, 后二者与对照差异显著 ( $P < 0.05$ )。

施后 384 d 期间, 与对照相比, 所有石灰石粉处理的树高生长量都增加, 处理 2 增幅最大, 后三者与对照差异显著 ( $P < 0.05$ ); 384 ~ 1 028 d, 处理 1、2、3 和 4 的树高生长量分别比对照增加了 3.92%、14.60%、50.06% 和 77.20%, 处理 4 增幅最大, 后三者与对照差异显著 ( $P < 0.05$ )。可见, 在酸化土壤表面撒施石灰石粉可以促进马尾松胸径和树高生长, 在施后 1 年左右时间内, 效果以  $2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  最佳, 以后随着时间的推移, 效果随石灰石粉施用量增大而增加。

表 1 撒施石灰石粉对马尾松优势木胸径和树高生长的影响<sup>1)</sup>

Tab. 1 Effect of limestone powder application on the increment in DBH and height for dominant tree of *Pinus massoniana*

处理 treatment	不同阶段胸径生长量 DBH increase during different phases /mm			不同阶段树高生长量 height increase during different phases /cm	
				0 ~ 384 d	384 ~ 1 028 d
	0 ~ 165 d	165 ~ 384 d	384 ~ 1 028 d		
0	1.67 ± 0.15b	1.44 ± 0.23a	3.72 ± 0.25a	58.96 ± 10.52a	81.15 ± 19.19a
1	1.39 ± 0.11a	1.99 ± 0.18b	3.79 ± 0.27a	69.45 ± 13.89a	84.33 ± 21.05a
2	2.24 ± 0.14c	2.49 ± 0.17c	3.97 ± 0.19a	89.45 ± 9.38c	93.00 ± 16.63b
3	1.72 ± 0.08b	2.05 ± 0.30b	4.25 ± 0.23b	75.32 ± 11.52b	121.77 ± 22.98b
4	1.66 ± 0.20b	2.25 ± 0.22b	4.94 ± 0.30c	78.13 ± 6.85b	143.80 ± 26.01c

1) 表中数据为平均值 ± 标准误; 同列数据后具不同字母者示差异显著 ( $F$  检验法,  $P < 0.05$ )

### 2.2 对叶量损失率和主轴顶梢长度的影响

表 2 是不同处理马尾松优势木在不同时间的叶量损失情况和主轴顶梢长度生长表现。施后第 384 d, 与对照相比, 所有石灰石粉处理的叶量损失率都下降, 处理 2 下降最多, 处理 1、2 和 4 的主轴顶梢明显变长 ( $P < 0.05$ ), 其长度十分接近。施后第 1 028 d (马尾松开始生长后不久), 与对照相比, 处理 1、2、3 和 4 的叶量损失率分别比对照下降了 1.24%、6.51%、7.10% 和 10.70%, 处理 4 下降最多, 后三者与对照差异显著 ( $P < 0.05$ ), 主轴顶梢长度都增加, 其中处理 4 与对照差异显著 ( $P < 0.05$ )。可见, 在酸化土壤表面撒施石灰石粉可以降低马尾松叶量损失率和促进主轴顶梢长度生长, 在施后 1 年左右时间内, 效果以  $2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  最佳, 以后随着时间的推移, 效果随石灰石粉施用量增大而增加。

### 2.3 对细根生长的影响

处理 0 ~ 4 的马尾松样树在 0 ~ 60 cm 土层单位土体活细根总长度分别为  $795.33 \pm 89.08$ 、 $955.66 \pm 75.31$ 、 $1 037.04 \pm 104.34$ 、 $1 149.71 \pm 86.66$  和  $1 292.58 \pm 94.50 \text{ m} \cdot \text{m}^{-3}$ , 处理 1、2、3 和 4 的细根长度密度分别比对照增加了 8.55%、12.35%、16.18%

和 20.06%, 处理 3 和 4 与对照差异显著 ( $P < 0.05$ )。可见, 在酸化土壤表面撒施石灰石粉可以促进马尾松细根生长, 效果随石灰石粉施用量增大而增加。

表 2 撒施石灰石粉对马尾松优势木叶量损失率和主轴顶梢长度的影响<sup>1)</sup>

Tab. 2 Effect of limestone powder application on defoliation percentage and length of top twig for dominant trees of *Pinus massoniana*

处理 treatment	叶量损失率 defoliation percentage/%		主轴顶梢长度 length of top twig/cm	
			384 d	1 028 d
	384 d	1 028 d		
0	45.15 ± 5.14b	50.20 ± 5.29b	20.56 ± 2.66a	4.20 ± 0.88a
1	42.62 ± 6.02a	48.96 ± 3.85b	23.55 ± 3.71b	5.17 ± 1.91a
2	39.32 ± 4.78a	43.69 ± 4.01a	23.78 ± 4.08b	5.31 ± 0.92a
3	40.90 ± 5.91a	43.10 ± 6.10a	20.75 ± 4.90a	5.42 ± 0.76a
4	41.01 ± 3.66a	39.50 ± 2.22a	24.00 ± 4.19b	6.55 ± 0.38b

1) 表中数据为平均值 ± 标准误; 同列数据后具不同字母者示差异显著 ( $F$  检验法,  $P < 0.05$ )

## 3 讨论与结论

本研究以酸沉降长期严重影响下的重庆市铁山坪马尾松纯林为对象, 设立在酸化土壤表面撒施不

同剂量石灰石粉的长期定位观测试验,调查比较了不同剂量石灰石粉对马尾松健康状况的改善效果.近3年的研究表明,撒施石灰石粉可以降低马尾松叶量损失率,促进胸径、树高、主轴顶梢长度和细根生长.马尾松健康水平的提高与施用石灰石粉后土壤交换性  $\text{Ca}^{2+}$  增加和土壤酸度降低有密切关系<sup>[13]</sup>.不同时期不同处理马尾松健康状况的改善效果表现出差异,这与石灰石粉施用量、当地降雨状况及  $\text{Ca}^{2+}$  在土壤中的移动有关.施后0~384 d期间,重庆市雨量丰富,有助于加快撒入的石灰石粉的溶解和  $\text{Ca}^{2+}$  的移动,使上层(0~20 cm)土壤交换性  $\text{Ca}^{2+}$  增加、酸度降低及细根的生长量和活力增加.因此,施后短时间内,林地上层土壤化学性质的改善对于马尾松地上健康水平的提高起主要的作用.然而,  $1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的效果不明显,可能是因为施用量过少,3和  $4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的效果不及  $2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的明显,可能是由于过量施用导致了土壤中磷的有效性降低<sup>[14]</sup>和针叶中磷含量降低<sup>[6]</sup>的缘故,比较而言,  $2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的施用量适中,效果最佳.

施后1年至2005年底,当地雨量依然丰富,有利于石灰石粉继续溶解和  $\text{Ca}^{2+}$  向中下层(20~60 cm)土壤移动,使中下层土壤化学环境和细根健康状况得到改善.2006年10月上旬对根系的调查表明,处理1、2、3和4中下层活细根长度密度分别占0~60 cm活细根总的长度密度的52.04%、53.74%、56.74%和61.18%,对照最低(45.15%).随后,2006年春季至最近一次观测期间,研究地区持续严重干旱<sup>[15]</sup>导致试验林地上层细根大量死亡.2007年3月底的调查表明,各处理小区上层细根死亡率(死细根长度占死细根和活细根的总长度的百分比,下同)都在35%以上,没有死亡细根的活力显著下降,而中下层细根死亡率都在8%以下.因此,施后384~1 028 d,马尾松地上健康状况的改善效果随石灰石粉施用量的增大而增加主要是由于各处理中下层细根健康状况的差异所致.

致谢:文献查阅得到了厦门大学博士研究生李涛的帮助,在此深表谢意!

#### 参考文献:

- [1] ULRICH B. Waldsterben: Forest decline in West Germany[J]. Environmental Science and Technology, 1990, 24: 436-441.
- [2] HÜTTL R F, ZÖTTL H W. Liming as a mitigation tool in Germany's declining forests—reviewing results from former and recent trials[J]. Forest Ecology and Management, 1993, 61: 325-338.
- [3] KREUTZER K, WEISS T. The Höglwald field experiments—aims, concept and basic data[J]. Plant and Soil, 1998, 199: 1-10.
- [4] 滕秀荣. 重庆市森林资源现状及经营策略[J]. 林业调查规划, 2005, 30(6): 73-76.
- [5] WANG Yan-hui, SOLBERG S, YU Peng-tao, et al. Assessments of tree crown condition of two masson pine forests in the acid rain region in south China[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 242: 530-540.
- [6] 李志勇, 王彦辉, 于澎涛, 等. 酸沉降影响下重庆马尾松林的健康监测及调控技术研究[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 54-59.
- [7] 杜晓明, 刘厚田. 酸性土壤抗铝处理对土壤特性及马尾松幼苗生长的影响[J]. 环境科学研究, 1994, 7(2): 55-58.
- [8] 杜晓明, 田仁生. 重庆南山马尾松衰亡与铝中毒[J]. 环境科学研究, 1996, 9(6): 21-25.
- [9] 黄永梅, 段雷, 靳腾, 等. 投加石灰石和菱镁矿对酸化土壤上马尾松(*Pinus massoniana*)林的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 786-792.
- [10] 李霖, 刘征涛, 舒俭民, 等. 中国中南部典型酸雨区森林土壤酸化现状分析[J]. 中国环境科学, 2005, 25(增刊): 77-80.
- [11] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [12] 德国林业和林产品研究中心 ICP 项目协调中心. 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[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2002: 31-38.
- [13] 孟赐福, 傅庆林, 水建国, 等. 浙江中部红壤施用石灰对土壤交换性钙、镁及土壤酸度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2): 129-136.
- [14] FÖLSCHER W J, BARNARD R O, BORNMAN J J, et al. Growth of wheat with heavy lime applications[J]. Tropical Agriculture (Trinidad), 1986, 63(2): 133-136.
- [15] 毛留喜, 钱拴, 侯英雨, 等. 2006年夏季川渝高温干旱的生态气象监测与评估[J]. 气象, 2007, 33(3): 83-88.

【责任编辑 李晓卉】