

文章编号: 1000-5692(2001)02-0119-04

# 土壤铝对林木根系的影响

爰芳<sup>1</sup>, 俞元春<sup>2</sup>, 陈萍萍<sup>3</sup>

(1. 南京晓庄学院 科技处, 江苏 南京 210017; 2 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210027;  
3. 江西省景德镇市枫树山林场, 江西 景德镇 333000)

**摘要:** 采用 孔洞根系生长法, 进行铝对杉木和湿地松根系生长影响的研究。结果表明: 土壤中加入铝离子后, 活性铝含量明显增加, pH 值下降; 孔洞中根系生物量与对照比较, 虽无明显差异, 但均表现出铝毒害症状, 根中铝和钙的含量增加。加入钙离子后, 土壤 pH 升高, 土壤中活性铝含量显著下降, 根生长得到改善; 根中铝含量降低, 但钙含量继续升高。这说明铝对杉木和湿地松根系有抑制作用, 而钙对铝有拮抗作用。表 3 参 7

**关键词:** 杉木; 湿地松; 铝; 钙; 根系  
**中图分类号:** S714; X517      **文献标识码:** A

酸沉降是当今世界面临的重要环境问题之一。酸沉降引起土壤酸化, 土壤中铝活化, 使铝从固定态和有机结合态中释放出来, 呈游离的  $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$  等形态, 从而成为酸性土壤中许多植物生长的重要限制因素<sup>[1~3]</sup>。本文采用孔洞根系生长法<sup>[4]</sup>, 进行野外试验, 研究铝的释放及其对林木根系生长的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料来源

1999 年 3 月在江西景德镇枫树山林场 (29°09'~29°35'N, 117°03'~117°37'E) 选取 10 年生生长健壮的杉木和湿地松进行孔洞根系生长试验。土壤为干枚岩发育的红壤, 土壤 pH 值为 4.21 (H<sub>2</sub>O), 林下植被有 榿木 (*Loropetalum chinense*)、铁线蕨 (*Adiantum* sp.) 和铁芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 等。

### 1.2 试验方法

在每株树的周围等距离 (约 1 m) 地钻取直径 10 cm, 深 40 cm 的 7 个孔洞, 分别作为 7 个试验处理, 重复 3 次。各处理如下。

处理 A: 在林下周围取与样地性质相近的土壤, 将杂物去除, 混匀装入大小与洞吻合的尼龙网袋中, 放入洞内, 整理埋好, 作为对照。

处理 B: 在处理 A 的基础上均匀地拌入  $Al_2(SO_4)_3$ , 每克土样加  $Al_2(SO_4)_3$  6.25 mg (铝 1 mg)。

处理 C: 在处理 A 的基础上均匀地拌入  $Al_2(SO_4)_3$ , 每克土样加  $Al_2(SO_4)_3$  12.50 mg (铝 2 mg)。

处理 D: 在处理 A 的基础上均匀地拌入  $Al_2(SO_4)_3$ , 每克土样加  $Al_2(SO_4)_3$  25.00 mg (铝 4 mg)。

处理 E: 在处理 D 的基础上均匀地混入  $CaCO_3$ , 每克土样加  $CaCO_3$  5.00 mg (钙 2 mg)。

收稿日期: 2000-11-24; 修回日期: 2001-03-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(3970607); 国家自然科学基金重点基金资助项目(39630240)

作者简介: 丁爰芳(1969-), 女, 江苏徐州人, 讲师, 硕士, 从事土壤学研究。

处理 F: 在处理 D 的基础上均匀地混入  $\text{CaCO}_3$ , 每克土样加  $\text{CaCO}_3$  10.00 mg(钙 4 mg)。

处理 G: 在处理 D 的基础上均匀地混入  $\text{CaCO}_3$ , 每克土样加  $\text{CaCO}_3$  20.00 mg(钙 8 mg)。

处理后测定每组土壤的 pH 值和各种形态铝的含量。经过一个生长季以后, 将洞挖开, 把网袋取出, 分上下 2 层取土。土壤经处理后测定 pH 和各种形态铝及总铝含量, 观察分析侵入根的形态特征并称重, 采集侵入根测定生物量及钠、钾、镁、钙、磷及铝含量。

### 1.3 样品分析方法

pH 测定用电位法(土液比为 1:2.5)。土壤中各形态铝用黄衍初的连续提取法<sup>[5]</sup>, 即用  $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  KCl 提取土壤中交换态铝 ( $\text{Al}^{3+}$ );  $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{Ac}$  提取单聚体羟基铝 [ $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ] 等,  $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HCl}$  提取酸溶无机铝 [ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ],  $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$  提取腐殖酸铝 (HA-Al), 用铝试剂比色法测定。植物样品全铝、全磷、全钾、全钠、全钙和全镁用硝酸—高氯酸消煮后制备待测液, 铝用铝试剂比色法, 磷用钼蓝比色法, 钠、钾、镁、钙用原子吸收光谱法<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理土壤 pH 值和铝含量变化

从表 1 可见, 用水做浸提剂和用  $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  KCl 做浸提剂所测 pH 的变化规律相同。7 个处理当中, 处理 A、处理 B、处理 C 和处理 D 随着加入土壤中铝量的增加, 土壤 pH 值下降, 而在加入钙后, 土壤 pH 值又呈上升趋势, 且加入的钙越多, 土壤 pH 值上升幅度越大。这说明铝的加入降低了土壤 pH 值, 而钙的加入又提高了土壤 pH 值。

不同处理土壤中总铝和各形态铝的含量差异很大。总的来看, 处理 A 总铝和各形态铝含量均较低, 随着加入土壤铝量的上升, 总铝和各形态铝均上升; 在土壤加入钙后, 总铝和  $\text{Al}^{3+}$  均下降, 且加入的钙量越大, 下降越显著, 如处理 G 在加入钙后,  $\text{Al}^{3+}$  含量仅及处理 D 的 19%。这说明土壤加入铝后, 不但总铝增加, 对植物有毒害作用的  $\text{Al}^{3+}$  含量也大大提高, 而加入钙后, 总铝虽然减少不明显, 但  $\text{Al}^{3+}$  含量显著降低。

表 1 不同处理孔洞中土壤 pH 值和铝含量

Table 1 pH value and aluminum content of soil in different treatments

浸提剂	处理 A		处理 B		处理 C		处理 D		处理 E		处理 F		处理 G	
	pH	Al/(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	Al/(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	Al/(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	Al/(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	Al/(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	Al/(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	Al/(g·kg <sup>-1</sup> )
H <sub>2</sub> O	4.21		3.85		3.81		3.65		4.09		4.19		4.70	
KCl	3.82	0.43	3.66	0.88	3.60	1.59	3.52	2.48	3.86	2.00	3.98	1.80	4.26	0.47
NH <sub>4</sub> Ac		0.12		0.34		0.37		0.43		0.53		0.61		1.02
HCl		0.77		0.95		1.08		0.92		1.28		1.23		1.73
NaOH		0.26		0.43		0.65		0.91		0.56		0.86		0.94
Σ Al		1.58		2.60		3.69		4.74		4.66		4.50		4.16

### 2.2 不同处理孔洞内根系的生长状况

观察结果和方差分析结果表明: 7 种处理中, 侵入孔洞内根的数量(质量)差异不大(表 2), 处理 B、处理 C 和处理 D 3 组处理没有表现出随铝加入量增加侵入根的数量减少的规律, 处理 E、处理 F 和处理 G 也没有表现出随钙的加入量增高侵入根的数量增加的规律。这可能与根系分布不均匀有关系。

虽然 7 个处理根的数量没有表现出明显的规律, 但侵入根的特征却不同。处理 B 与对照处理 A 相比, 孔洞中根系生长正常, 呈鲜嫩的白色, 有侧根和根毛; 处理 C 与对照处理 A 相比, 根系生长出现不正常, 根尖发黑, 侧根和根毛减少, 出现铝中毒症状; 处理 D 与对照处理 A 相比, 侵入孔洞中的根发黑, 根尖坏死, 没有侧根和根毛, 表现为显著的铝毒症状。

在处理 D 的基础上加入钙能减轻铝中毒症状, 使根系生长较为正常。钙的加入量不同, 减轻铝

毒的程度不同。处理 E 在处理 D 的基础上每克土加入钙 2 mg，根仍然发黑，说明由于加入的钙量较少，减轻铝毒的作用不明显；处理 F 在处理 D 的基础上每克土加入钙 4 mg，侵入孔洞内的根系生长正常，呈鲜嫩的白色，但侧根和根毛仍然较少；处理 G 在处理 D 的基础上每克土加入钙 8 mg，不仅侵入根呈鲜嫩的白色，且有侧根和根毛，但仍不如对照多，说明钙虽然能减轻铝毒，但不能完全消除铝的毒害。

总之，铝的加入对湿地松和杉木根系的生长有抑制或毒害作用，而钙对铝有拮抗作用。其机理和效应，特别是铝对林木根系活力等生理指标的影响尚有待于进一步研究。

2 3 不同处理孔洞中根的离子含量

7 个处理当中，处理 A、处理 B、处理 C 和处理 D 4 组根中铝的含量随加入土壤中铝的增加而增加，在处理 D 中达到最大（表 3）。随着钙的加入，根中铝的含量有所降低，但仍高于处理 A。说明钙的加入虽然能够抑制根对铝的吸收，但不能降低到对照水平。

无论是与对照还是与各相同水平的处理相比，杉木根中铝含量略低于湿地松，由此说明湿地松根系与杉木根系相比更易吸收累积铝。

7 个处理当中，无论是杉木还是湿地松，处理 A、处理 B、处理 C 和处理 D 4 组根中钙的含量随土壤中铝的增加而增加，说明为了缓解铝毒，根加大了对钙的主动吸收。处理 E、处理 F 和处理 G 3 组随着钙的加入，根中钙含量进一步增加，而铝含量则降低，说明钙的加入抑制了根系对铝的吸收。这与曹洪法等人的研究结果有不同之处。他们认为铝对马尾松幼苗吸收钙存在明显的抑制作用，水培溶液中铝浓度愈高，马尾松幼苗中钙含量愈低<sup>[7]</sup>。这可能是因为马尾松幼苗缓解铝毒性能较低，而 10 年生大树能通过主动吸收钙增强缓解铝毒的能力。

表 3 不同处理孔洞内根的离子含量

Table 3 Ion content of roots in different treatments

处理	杉木根中元素含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )						湿地松根中元素含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )					
	Al	Ca	K	Na	Mg	P	Al	Ca	K	Na	Mg	P
处理 A	5.70	1.50	6.70	0.10	1.30	0.60	8.60	1.00	0.10	0.40	0.40	0.40
处理 B	6.50	0.20	3.60	0.10	1.20	0.50	9.50	1.20	2.50	0.20	0.60	0.40
处理 C	8.50	1.60	3.90	0.10	1.90	1.00	11.00	1.70	2.20	0.20	0.70	0.40
处理 D	9.50	2.00	4.60	0.10	1.00	0.40	11.20	2.30	3.60	0.30	0.90	0.50
处理 E	7.20	2.10	5.90	0.30	1.40	0.70	10.50	2.70	3.80	0.30	0.80	0.50
处理 F	6.30	2.40	5.20	0.30	1.20	0.50	10.10	2.90	5.90	0.30	0.60	1.30
处理 G	5.90	4.10	8.60	0.20	1.30	0.70	9.60	1.20	4.20	0.10	0.80	0.50

3 结论

加入铝离子后，土壤中交换态铝的含量大大提高，pH 值降低，生长洞内的根系数量虽然变化不明显，但表现为铝毒症状，且随土壤中加入铝的增加，铝毒症状加重。加入钙离子后，在 pH 值升高的同时，交换态铝含量显著下降，根系生长随钙加入量的增加而显著改善，说明铝对湿地松和杉木根系的生长有抑制或毒害作用，而钙对铝有拮抗作用。

在试验研究中发现加入钙后根系生长虽然得到改善，侧根和根毛增加，但仍不如对照，由此说明

钙虽可缓解铝毒,但不能完全消除铝的毒害。

孔洞中土壤交换态铝含量愈高,根中铝含量也愈高。不同树种吸收铝作用不同,湿地松根中铝含量高于杉木。孔洞中铝的增加促进了根对钙的吸收,钙的加入进一步提高了根对钙的吸收,这可能是植物缓解铝毒的一种机制。

孔洞根系试验法研究铝对林木生长的影响存在局限性,如由于根系分布的不均匀性使研究铝对根系生物量的影响造成困难,因此可以进一步做盆栽试验研究铝对林木生长的影响。铝对林木根系活力等生理指标的影响也有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Cronan C S, April R, Bartlett R J, *et al.* Aluminum toxicity in forests exposed to acidic deposition, the AIBIOS results [J]. *Water Air Soil Poll.* 1989, **48**: 181—192.
- [2] 冯宗炜. 酸雨对生态系统的影响——西南地区酸雨研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [3] 田仁生, 刘厚田. 酸性土壤中铝及其植物毒性[J]. 环境科学, 1990, **11** (6): 41—45.
- [4] 高吉喜, 曹洪法. 土壤中铝对马尾松影响的试验研究[J]. 林业科学, 1991, **27** (6): 649—651.
- [5] 黄衍初, 曲长菱. 土壤中铝的溶出及形态研究[J]. 环境科学, 1996, **17** (1): 57—59.
- [6] 国家标准局. 森林土壤分析分法[S]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [7] 曹洪法, 高吉喜, 舒俭民. 铝对马尾松幼苗影响的研究[J]. 生态学报, 1992, **12** (3): 239—242.

## Effects of aluminum in soil on the tree root growth

DING Ai-fang<sup>1</sup>, YU Yuan-chun<sup>2</sup>, CHEN Ping-ping<sup>3</sup>

(1. Office of Scientific Research, Nanjing Xiaozhuang College, Nanjiang 210017, Jiangsu, China; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjiang Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. Fengshushan Forest Farm of Jiangxi, Jingdezhen 333000, Jiangxi, China)

**Abstract:** The effect of aluminum in the soil on the root system growth of Chinese fir and slash pine (*Pinus elliottii*) was studied by the hole root system growth method. The result revealed that the content of exchangeable aluminum in soil increased greatly and soil pH value decreased when aluminum was added into soil. There was little difference on the root biomass between different aluminum treatments, but aluminum influenced the root growth clearly. If aluminum was added associate with calcium, soil pH value and the content of exchangeable aluminum in the soil decreased greatly. Root growth was also improved. The amount of aluminum and calcium absorbed by tree roots increased with increasing of the amount of aluminum added to soil.

**Key words:** Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*); slash pine (*Pinus elliottii*); aluminum; calcium; root system