

# 四川大沟流域土壤活性铝含量 及其对连香树群落的影响<sup>\*</sup>

潘 开 文

(中国科学院成都生物研究所 成都 610041)

提 要 研究了四川茂县大沟流域不同高度、不同土壤类型的土壤活性铝含量和土壤活性铝含量变化与连香树群落生长的关系,并对土壤活性铝变化原因及产生铝毒的有关问题进行了讨论。

关键词 茂县 大沟流域 土壤活性铝 连香树 活性(Ca+Mg)/Al

分类号 《中图法》Q948. S153. S718

岷江上游退化山地生态系统的植被恢复对该区域的持续发展有重要的现实意义,而植被恢复能否成功的关键因素是:是否有适宜的物种和适宜的土壤养分、水分及气候等理化环境<sup>[1,2]</sup>。在岷江上游茂县大沟流域海拔>2 000 m 的区域内,其气候和水分条件适合云杉林生长,但 60 年代的云杉人工林却逐渐退化且部分死亡,因该区域是四川酸雨分布的边缘区<sup>[3]</sup>,所以其死亡原因可能是因酸雨产生的铝毒所致,这尚需研究和证实。该区域的连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)人工群落目前受损症状并不明显,所以,研究四川茂县大沟流域土壤的活性铝含量及其对连香树生长的影响,不但可为该区域植被恢复提供土壤铝元素养分背景;而且有利于认识连香树的生物生态学特性,为植被恢复提供适宜的物种;并对认识四川省酸雨的分布与蔓延以及现有连香树人工林和其它森林的恢复与救治等都有重要的实践意义。

## 1 研究区概况

研究区位于四川省阿坝藏族羌族自治州茂县大沟流域,λ(E)103°54′~103°56′,φ(N)31°37′~31°44′。地貌为青藏高原东南边缘深切切割,海拔 1 550 m~4 200 m,成土母岩为志留系千枚岩、泥盆系灰岩、千枚岩夹薄层石英岩和寒武系变质岩等。该区域的山脊为岷江流域和涪江流域的分水岭,气候复杂多样,植被、土壤垂直带谱明显。海拔<1 500 m,为新积土,主要有玉米、蔬菜、豆类、苹果、花椒等人工植被;海拔 1 500 m~2 100 m,为褐土(依次为燥褐土、石灰性褐土和淋溶褐土),主要有玉米、豆类、蔬菜、苹果、花椒、油松(*Pinus tabulaeformis*)、华山松(*Pinus armandii*)、连香树等人工植被和辽东栎(*Quercus liaodungensis*)、榛(*Ostryopsis* spp.)等落叶阔叶灌丛;海拔 2 100 m~2 800 m,为棕壤,有云杉(*Picea* spp.)、油松、华山松、连香树等人工林;海拔 2 800 m~3 500 m,为暗针叶林;海拔 3 500 m~4 000 m,为亚高山灌丛草甸。

## 2 研究方法

茂县大沟流域的连香树人工群落种植于 1987 年,主要分布于半阴半阳坡,且处于同一坡向。沿着从低到高的不同海拔梯度,在各种不同生长状况的连香树人工群落中,分别随机布设样方,样方面积为 10 m×10 m,每个随机布设点相邻重复 3 个样方。另选择六十年代人工更新的云杉林做验证材料,该林

<sup>\*</sup>中国科学院“九五”重大攻关项目资助(KZ951-B1-110)和中国科学院成都生物研究所茂县生态站资助。

收稿日期:1998-11-01;改回日期:1998-12-30

也处于半阴半阳坡,但位置上刚好在连香树人工群落的对面,用上述同样的方法布点。在所设的样方中,测定各林木的地径、胸径、树高和冠幅等;在每个样方内,沿样方对角线随机定点、等距离设点挖土壤剖面,取 3 份表层土(0 cm~20 cm)。室内测活性铝、有效钙、有效镁、有机质和 PH<sup>[4]</sup>。

统计性显著检验用卡方( $X^2$ )和相关系数检验判别。 $X^2=\Sigma(\text{实际值}-\text{期望值})^2/\text{期望值}$ ,根据卡方值和自由度查出对应的  $P$ ,若  $P>0.05$ ,则不显著; $P<0.05$ ,则显著; $P<0.01$ ,则极显著<sup>[5,6]</sup>。在本文中,实际值指测定值,期望值指各测定值的平均值。相关系数检验的步骤是:先算出回归方程的相关系数  $r$ ,再根据自由度(回归样本数-2)查出  $r_{0.05}$ 和  $r_{0.01}$ ,若  $r<r_{0.05}$ ,则不显著;若  $r>r_{0.05}$ ,则显著;若  $r>r_{0.01}$ ,则极显著<sup>[7]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土壤活性铝含量

表 1 显示,土壤中活性铝含量随海拔升高逐步增加,海拔的差异实际上反映了水热的差异,而水热的差异产生了土壤垂直带谱。一般说来,高海拔的土壤活性铝含量更高。就该区域主要的土壤类型而言,棕壤的活性铝含量是淋溶褐土的 1.7~2.5 倍。PH 值与活性铝含量之间的消长关系不明显,如淋溶性褐土和棕壤的 PH 都为 5.5,但其活性铝分别为 1.26g/kg 和 2.98g/kg。

表 1 土壤活性铝含量  
Table 1 The content of available Al in the top soil

土 类 Type of soil	物 种 Species	海 拔 Altitude(m)	PH	(活性铝 g/kg)/标准误差 Available Al/Standard error
淋溶性褐土 <sup>1)</sup>	连香树、薯蓣 <sup>2)</sup>	1840	5.00	1.40/0.01
淋溶性褐土	连 香 树	1850	5.50	1.26/0.02
淋溶性褐土	连 香 树	1900	5.00	1.55/0.03
棕壤 <sup>3)</sup>	连香树、大黄 <sup>4)</sup>	2100	5.50	2.98/0.02
棕 壤	连 香 树 <sup>5)</sup>	2100	5.50	2.98/0.02
棕 壤	连 香 树	2140	5.60	2.29/0.03
棕 壤	连 香 树	2150	5.60	2.57/0.04
棕 壤	云杉 <i>P. asperata</i>	2200	5.20	3.14/0.02

1) *Leachal cinnamon soil*; 2) *Dioscorea spp.* 3) *Brown earth*; 4) *Rheum palmatum*; 5) *Cercidiphyllum japonicum*

#### 3.2 土壤活性铝含量对连香树生长的影响

将表 2 中的数据进行相关系数检验,发现土壤中的活性铝含量的高低与连香树生长量之间的线形关系为显著。如仅以活性铝与平均地径两者的线形回归为例,通过将表 2 中的活性铝和平均地径两列数据进行简单的回归,得出其  $r$  为 0.8304, $>r_{0.05}$ ( $r_{0.05}=0.7545$ <sup>[7]</sup>)。这说明在土壤活性铝含量为 1.40~2.98 g/kg 时,土壤活性铝含量对连香树的生长有正面影响;即有土壤活性铝含量越高,其生长状况越好的趋势。但是,表 2 中的数据也有不符合上述趋势的地方,如在海拔 1 800 m~1 900 m 范围内,似有土壤活性铝含量越低连香树生长效果越好的趋势,在海拔 2 100 m~2 200 m 范围内,似有土壤活性铝含量越高连香树生长越好的趋势。虽然这些反常现象从数学上说在误差允许范围内,但却有不同寻常的生物生态学含义,即:土壤中活性铝含量过高过低都不利于连香树的生长,尤其当活性铝含量高时,其抑制植物根的生长及水分和 Ca、Mg 离子的吸收,降低光合作用;与植物细胞内的有机酸、三磷酸腺苷和脱氧核糖核酸等重要的生物高分子螯合,严重干扰植物正常的生理代谢;与钙调节蛋白结合使之失去调节许多重要酶活性的作用,引起代谢紊乱和失调,出现细胞和组织伤害的综合征状,最终导致植物死亡<sup>[8]</sup>。这从土壤活性铝含量值为最大和最小的样地中,连香树生长效果都不为最好的结果得到佐证,如在表 2 中,当活性铝含量最大值为 2.98 g/kg 时,连香树群落平均高为 5.98 m,尚不及土壤活性铝为

1.26 g/kg 时的连香树群落的平均高度。所以, 仅以土壤活性铝含量的高低来评价活性铝对连香树生长的影响就显得不足。海拔 1 800 m ~ 1 900 m 和 2 100 m ~ 2 200 m 之间样地的连香树生长及土壤活性铝含量之间的卡方检验  $P < 0.01$ , 表明海拔对连香树生长和对土壤活性铝含量的影响为极显著。这是因为连香树为亚热带常绿与落叶阔叶混交林中的树种, 喜阴湿的环境, 而文中所列的海拔范围内, 仅较高海拔区域才为连香树的海拔最适生区<sup>[9]</sup>, 所以, 海拔对连香树的生长有影响。海拔的升高, 使热量降低、湿度增大, 这些生态环境因子的变化导致土壤脱硅富铝化增强, 从而使土壤的活性铝含量增加, 所以, 海拔对土壤中的活性铝含量同样有影响。这可从处于高海拔的棕壤的活性铝含量大于处于低海拔的褐土的活性铝含量(表 1)的结论中得到验证。

表 2 土壤活性铝含量对连香树生长的影响

Table 2 Effect of the content of available Al in the top soil on the growth of *Cercidiphyllum japonicum* communities

海拔(m)	土壤活性铝含量(g/kg)	平均地径(cm)	平均胸径(cm)	平均树高(m)
Altitude	Available Al	Mean basal diameter	Mean DBH	Mean height of tree
1840	1.40	3.4	1.3	2.12
1900	1.55	3.0	1.8	3.40
1850	1.26	5.7	3.6	6.20
2100	2.26	7.8	3.5	3.90
2140	2.29	11.5	6.8	7.00
2150	2.57	11.1	5.1	5.60
2100	2.98	9.7	5.6	5.90

3.3 土壤活性(有效) (Ca+ Mg)/ Al 对连香树生长的影响

表 3 显示, 在海拔因子基本一致的条件下, (Ca+ Mg)/ Al 值越大, 连香树地径、胸径和树高生长越好, 反之则生长较差。因此, (Ca+ Mg)/ Al 值可作为评价 Al 对连香树生长效果的影响的重要指标之一。

表 3 土壤活性(有效) (Ca+ Mg)/ Al 对连香树生长的影响

Table 3 Effect of the content of available (Ca+ Mg)/ Al in the top soil on the growth of *Cercidiphyllum japonicum* communities

海拔(m)	活性(Ca+ Mg)/ Al(g/kg)	平均地径(cm)	平均胸径(cm)	平均树高(m)
Altitude	Available(Ca+ Mg)/ Al	Mean basal diameter	Mean DBH	Mean height of tree
1840	0.8883	3.4	1.3	2.12
1900	0.7668	3.0	1.8	3.40
1850	1.7387	5.7	3.6	6.20
2100	0.8373	7.8	3.5	3.90
2140	1.6697	11.5	6.8	7.00
2150	0.6778	11.1	5.1	5.60
2100	0.6826	9.7	5.6	5.90

4 结论与讨论

1. 棕壤中的活性铝含量高于褐土中的活性铝含量(表 2), 这主要是由于棕壤中全铝含量高于褐土中的全铝含量<sup>[8]</sup>。在偏中性的土壤中, 铝易被固定; 在酸性或碱性较强的土壤中, 铝的活性增强, 使土壤

活性铝增加<sup>[1]</sup>。本文中的土壤活性铝与 PH 值之间的关系不明显，其主要原因在于 Al 在此酸度范围内易于被活化，因而此时活性铝的高低主要取决于其土壤中全铝的含量，而与 PH 值的关系不明显。

2. 通过线形回归后，显示出土壤活性铝含量对连香树生长呈线形的显著影响关系。但同时也发现土壤活性铝过高或过低时，连香树的生长都不是最好，反映了铝对连香树生长的影响有两面性，即适量活性铝对连香树生长有促进作用，不足或过量活性铝对连香树生长有抑制或毒害作用。因而，仅用土壤活性铝含量来评价活性铝对连香树生长的影响就很有局限(表 2)。用  $(Ca+Mg)/Al$  来评价活性铝对连香树生长的影响显得十分有效(表 3)，其值越大，则越利于连香树生长。在  $(Ca+Mg)/Al$  中，当土壤中活性铝一定时，若土壤中有效 Ca、Mg 含量越大，则  $(Ca+Mg)/Al$  值越大，越有利于植物生长；当土壤中有效 Ca、Mg 含量一定时，土壤中活性铝含量越低，则  $(Ca+Mg)/Al$  值越大，越有利于植物生长。这就是文中出现土壤活性铝含量较高或较低时，连香树都有生长状况良好的例证的原因(表 2)，这也是土壤中活性铝含量对连香树生长的影响未达极显著的实质原因(表 2)。对植物生长而言，活性 Ca、Mg 和 Al 之间之所以联系密切，就在于植物体内的 Ca、Mg 和 Al 之间有拮抗作用，植物中的 Ca 和 Mg 能消除体内过多的铝离子，从而避免铝离子的毒害作用<sup>[10]</sup>。

3. 德国著名生态学家 Ulrich 指出，在酸性土壤中，若活性  $(Ca+Mg)/Al < 1$ ，则群落根系功能受害，Al 毒成为森林生态系统的限制因子<sup>[11]</sup>。在表 3 中，大多数连香树人工群落土壤的  $(Ca+Mg)/Al$  都  $< 1$ ，但总体而言，连香树人工群落受害症状不明显，因而，可以初步得出连香树是耐铝植物的结论。根据该区域云杉林表土的活性 Ca、Mg 和 Al 测定值。计算出  $(Ca+Mg)/Al$  值为 0.9627，该值  $< 1$ 。说明铝毒是该区的云杉林死亡和衰退的一个原因。

4. 铝毒已成为该区域森林生长的限制因子，铝毒究竟是如何产生的？若铝毒是由于酸雨产生，那么标志着四川的酸雨正逐步向西蔓延，危害青藏高原东缘的森林生态系统，进而将对青藏高原东缘这一生物多样性中心产生深远的不利影响。因而铝毒的成因和防治以及铝毒对该区域持续发展的影响等都将成为当前值得研究的课题。

参 考 文 献

1 潘开文，刘照光. 保留带与造林带的小气候和水分比较研究. 应用与环境生物学报, 1998, 4(3): 298~304  
2 潘开文，刘照光. 暗针叶林采伐迹地几种人工混交群落乔木层结构及动态. 应用与环境生物学报, 1998, 4(4): 327~324  
3 叶强，陈攀红. 四川盆地降水酸化范围及其发展趋势预测. 四川环境, 1992, 11(2): 59~63  
4 刘光崧主编. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996  
5 杨纪珂，孙长鸣，汤旦林编著. 应用生物统计. 北京: 科学出版社, 1983  
6 R. G. D. 斯蒂尔, J. H. 托里著(杨纪珂，孙长鸣译). 数理统计的原理和方法. 北京: 科学出版社, 1979  
7 北京农业机械化学学院主编. 应用数学. 北京: 农业出版社, 1979  
8 廖自基编. 微量元素的环境化学及生物效应. 北京: 中国环境科学出版社, 1992  
9 潘开文，刘照光. 10 年生连香树人工群落生物量研究. 应用与环境生物学报, 1999, 5(2): 待刊  
10 孙羲主编. 农业化学. 上海: 上海科学技术出版社, 1980  
11 陈放鸣，林小五. 近代森林—环境问题与森林养分循环研究进展. 安徽农业大学, 21(1): 67~70

作者简介 潘开文，男，30 岁，助理研究员，博士(获中国科学院沈阳应用生态研究所生态学博士学位)。主要从事恢复生态学与发展研究，已发表论文 10 余篇。现主持中国科学院“九五”重大项目子专题一个，并作为主要参研人员，参加了“九五”期间的国家及院部级重大和重点项目 2 项。

THE CONTENT OF AVAILABLE AL OF THE TOP SOIL  
AND ITS EFFECT ON THE GROWTH OF *CERCIDIPHYLLUM*  
*JAPONICUM* COMMUNITIES IN DAGOU BASIN IN SICHUAN

PAN Kaiwen

(Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041)

Abstract

Vegetation rehabilitation was of importance to sustainable development in degraded mountainous areas on the upper branch of Minjiang river, and favorable species and site were the key limited factors to vegetation rehabilitation. Therefore, the studies on site characteristic and plant growth were significant important to vegetation rehabilitation in those areas. The content of available Al of the top soil and its effect on the growth of *Cercidiphyllum japonicum* communities in Dagou Basin in Sichuan were studied, based on systematic sampling along different elevation and chemical analysis in the paper. The results indicated that, 1. The content of available Al of brown earth and cinnamon soil was 2.57 ~3.14g/kg and 1.26 ~1.55 g/kg, respectively. 2. The relationships between the content of available Al of the top soil and the growth of *Cercidiphyllum japonicum* tree were significant linear correlation. 3. The bigger the available (Ca+Mg)/Al Value is, the faster the growth of *Cercidiphyllum japonicum* tree is, and vice versa. 4. The most values of the available (Ca+Mg)/Al were less than 1, therefore, Al intoxication was the limited factor of development healthily of forest ecosystem in the areas.

**Key words** Dagou Basin in Mao County, available Al in top soil, *Cercidiphyllum japonicum* community, available (Ca+Mg)/Al