

## 水分生态环境对刺槐细根垂直分布的影响

王迪海, 赵 忠, 薛文鹏, 成向荣

(西北农林科技大学林学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** 采用土钻法, 对安塞县和长武县的刺槐细根面积垂直分布特征进行调查, 结果表明: (1) 刺槐细根的垂直分布与水分生态环境密切相关, 现存的细根密度是对具体生境逐步适应调整的结果。 (2) 刺槐在遗传特性上表现为深根性树种。刺槐细根的垂直分布除了受树种遗传特性的影响, 很大程度上受水分生态环境的影响。 (3) 刺槐细根的垂直分布区域与降雨的补偿深度基本一致, 如果土壤中的水分得不到很好的补偿, 将对刺槐的生长造成很大影响。因此, 黄土高原营造人工林, 应充分考虑降水对土壤含水量的补偿深度和补偿程度, 以水分生态环境中所能容纳的适宜细根密度为依据确定造林密度, 才能使树木达到最大生产力。

**关键词:** 黄土高原; 刺槐; 细根; 水分生态环境

**中图分类号:** S792.27; S718.45

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2005)05-0200-03

## Effect of Soil Water Environment on Vertical Fine Root Distribution of *Robinia pseudoacacia*

WANG Di-hai, ZHAO Zhong, XU Wen-peng, CHEN G Xiang-rong

(College of Forestry, Northwest Sci-tech University of Agriculture & Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract** Method of soil auger was used to research vertical fine root distribution of *Robinia Pseudoacacia* under different climates (Ansai county and Changwu county). The results showed as follows: (1) Vertical fine root density distribution of *Robinia Pseudoacacia* is influenced by soil water condition. The fine root density of *Robinia Pseudoacacia* is decided by the habitat where they live. (2) *Robinia Pseudoacacia* is a deep root tree. The characteristic of vertical fine root density distribution of *Robinia Pseudoacacia* is not only influenced by the heredity characteristic, but also influenced by the soil water condition. (3) The area of vertical fine root distribution of *Robinia Pseudoacacia* is consistent with the area where the soil water can retrieve from rainfall. If the soil water can not retrieved well from rainfall, the tree will not grow well. So on the Loess Plateau, the extent and degree of soil water retrieving from rainfall should be taken into account when planting trees. The density of tree should be decided by the fine root density that is fit to the soil moisture environment in order to exert the best productivity of tree.

**Key words:** Loess Plateau; *Robinia pseudoacacia*; fine root; soil moisture environment

根系(特别是细根)的分布特征是半湿润、半干旱地区人工植被生产力及其稳定性高低的主要决定因素(Stone et al 1991, Jackson et al 1996)。近年来, 有关林木根系的研究已经成为森林培育学研究中的一个热点(Stone et al 1991, Jackson et al 1996, 单建平等 1992, 王文全等 1994, 刘颖等 1995, 李凌浩等 1998, 余新晓等 1996)。赵忠等人(2000)在渭北黄土高原的研究表明, 立地条件对刺槐根系分布特征有明显的影响, 林地土壤水分条件是造成这种影响的关键; 相同立地上不同树种在根系分布特征方面存在着很大的差异。林木一般在苗期就可以达到根系垂直分布的最大值(Lyr 和 Hoffmann 1967)。尽管根系密度随着年龄的增大而增加, 但是在一定年龄就可以达到水平分布和垂直分布的极值(Coile 1936)。根系的垂直分布特征除了受立地条件的影响外, 在很大程度上还受树种遗传特性的影响(Gale 1987)。

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)是黄土高原地区的主要造林树种。就刺槐细根的垂直分布而言, 哪些特征主要受遗传因素的

影响, 表现为遗传特征, 哪些特征主要受环境和立地条件的影响, 表现为环境影响特征, 尚不十分清楚。对于刺槐根系与生态环境的相互作用关系还需进行更多的试验研究。本研究以陕西省渭北黄土高原的长武县(地处暖温带半干旱大陆性季风气候区)和黄土丘陵沟壑区的安塞县(地处暖温带半湿润大陆性季风气候区)为调查地点, 对两地的刺槐细根垂直分布特征进行比较, 研究水分生态环境对刺槐细根垂直分布的影响, 为进一步揭示黄土地区人工林根系与生态环境的相互作用关系提供科学依据。

### 1 研究方法

#### 1.1 研究地点

陕西省长武县地处黄土高原沟壑区中部, 位于东经 107° 38' 49" ~ 107° 58' 02", 北纬 34° 59' 09" ~ 35° 18' 37" 之间。属暖温带半湿润大陆性季风气候。海拔 950 ~ 1 225 m, 年平均气温 9.1℃, 年均降水量 584.1 mm, 多集中于 7 ~ 9 月, 干燥指数 1.5 ~ 2.0, 无霜期 171 d。

收稿日期: 2005-05-24

基金项目: 国家自然科学基金(30371150); 教育部博士点基金(20030712002); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-123)资助

作者简介: 王迪海(1967-), 男, 副教授, 研究方向为黄土高原森林植被恢复与信息技术。

表 1 刺槐根系调查样地概况								
序号	地点	坡向	坡度/°	坡位	土壤	林龄	平均高	平均胸径/cm
1	长武县	东北	16	下部	黄 土	20	11	13.7
2	长武县	东北	20	下部	黄 土	20	13	14.2
3	长武县	西南	18	下部	黄 土	25	11	14.3
4	长武县	西南	30	上部	黄 土	25	12	14
5	安塞县	东南	27	上部	黄绵土	23	11.84	14.28
6	安塞县	西南	24	上部	黄绵土	23	6.81	13.22
7	安塞县	东北	35	上部	黄绵土	29	9.07	15.7
8	安塞县	东北	30	下部	黄绵土	29	7.74	18.34
9	安塞县	南	32	下部	黄绵土	29	7.34	18.3
10	安塞县	西南	35	上部	黄绵土	29	8.53	17.26

陕西省安塞县地处陕北黄土丘陵沟壑区, 位于东经 108° 51' 44" ~ 109° 26' 18", 北纬 36° 30' 45" ~ 37° 19' 31" 之间, 属暖温带半干旱大陆性季风气候。平均海拔 1 200 m, 年平均气温 8.8℃, 年均降水量 505.3 mm, 多集中在 7~ 9 月, 干燥指数 1.5~ 2.5, 无霜期 157 d。2003 年 7 月在研究区域内, 选择不同坡向立地上生长的刺槐人工林设临时标准地, 进行刺槐细根垂直分布调查。样地概况见表 1。

1.2 调查方法

根系调查采用土钻(Φ 6.8 cm)在每个样地内按照 1/4 样圆法取样。在各样地内选择 4 株平均样木, 以每株样木为圆心沿顺时针方向在不同的方位选择一个 1/4 扇形区作为取样区。取根样时, 以样木为中心分别在半径 0.5 m 和 1.5 m 的弧线上按等距确定 3 个取样点, 分土层(10 cm)钻取土样, 直至无根系出现。从各土层钻取的土样中收集活根, 编号后带回实验室。将野外带回的根样用蒸馏水清洗干净, 采用加拿大 REGENT 公司生产的根系形态学和结构分析系统(W NRhizo), 测量细根(直径小于 2 mm)根面积(cm<sup>2</sup>)。

土壤含水量调查, 分别在各样木取样区中部距样木 1 m 处, 用大土钻(Φ 9.0 cm)分土层在 0~ 400 cm 深度范围钻取土样, 从地表向下每 20 cm 取土样一次, 装入土样盒, 带回实验室放入 105℃ 烘箱中烘至恒重。

1.3 统计分析

虽然生物量常被作为描绘根分布的重要指标, 但根样品较少时变异较大, 不易揭示处理间的差异, 提供的信息也相对有限(Box 1996, 何维明 2000)。此外, 单位时间内根吸收的水量与根的吸收表面积成正比。细根根面积的大小可以说明细根与土壤接触面积的大小, 这一指标能够更好的反映林木对土壤环境的利用程度。本文将每个取样点作为样点, 将样点中每 10 cm 土层作为样本, 分别不同气候区的阴坡和阳坡立地, 统计分析下列指标: 土壤含水量= 水分重量/鲜土重量 × 100%, 细根面积比例= 某层样本细根面积/总样本细根面积, 累积细根比例= 地表到土层 d 的细根面积比例, 细根密度, 平均细根密度(m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)= 全体样本的平均数。

$$\text{某土层细根密度 (m}^2\text{/m}^3\text{)} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k m}{nk} \cdot \frac{1}{\pi r^2 \cdot h \cdot 10000}$$

式中:  $r$ ——土钻半径(0.035 m);  $h$ ——土层厚度(m);  $m$ ——细根面积(m<sup>2</sup>);  $n, k$ ——样木总数及样点总数。

根据这一定义可以知道, 细根密度越大, 说明根系与土壤的接触面越大。

用渐近方程  $y = 1 - \beta^d$  描述细根面积垂直分布( $d$  为土壤深度,  $y$  为累积细根比例,  $\beta$  为深度系数),  $\beta$  越小, 根分布越靠近土壤表面,  $\beta$  越大, 根分布越深(Gale et al 1987)。

2 结果与分析

2.1 长武和安塞水分生态环境比较

由图 1 可以看出, 在 0~ 400 cm 土壤深度范围内, 长武

刺槐林地的土壤水分条件明显好于安塞。长武阴坡刺槐林地的土壤含水量大于阳坡。而与长武不同, 安塞阴坡刺槐林地的土壤含水量略大于阳坡。单因素方差分析结果显示, 安塞阴坡和阳坡的土壤含水量差异不显著, 而长武阴坡和阳坡的土壤含水量差异显著( $P < 0.05$ )。

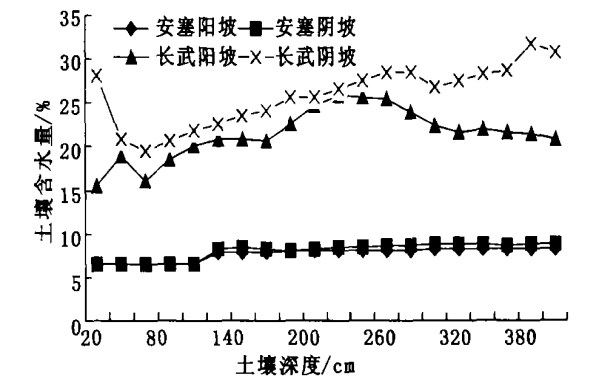


图 1 安塞和长武刺槐林地土壤含水量随土壤深度的变化

2.2 细根密度及其垂直分布曲线

本次刺槐细根垂直分布的调查数据显示, 安塞平均细根深度为 250 cm, 长武为 150 cm, 采用各样点细根密度的平均值绘制了刺槐细根密度随土壤深度变化的曲线(图 2)。由图 2 可以看出, 各土层中安塞刺槐细根密度明显大于长武。由图 2 和表 2 可以看出, 安塞刺槐细根密度随土壤深度的变化为倒“J”型曲线, 可以用指数方程表示, 长武刺槐细根密度随土壤深度的变化为“单峰型”曲线, 可以用多项式表示。

林地土壤水分条件是影响刺槐根系分布的关键因素(赵忠 2000)。单因素方差分析结果显示, 安塞阴坡和阳坡的细根密度差异不显著, 而长武阴坡和阳坡的细根密度差异显著( $P < 0.05$ )。这与两地阴坡和阳坡土壤含水量的方差分析结果相吻合。表 3 中细根密度与土壤含水量的相关分析结果显示, 刺槐细根密度与土壤含水量为显著的负相关关系。这些结果都说明了刺槐细根的分布与林地土壤水分条件密切相关, 林地土壤水分条件影响着刺槐的细根密度。由前面长武和安塞水分生态环境比较已经得出, 安塞较长武降雨量少, 气候干燥, 安塞刺槐林地明显较长武干旱。安塞刺槐细根密度和垂直分布深度大于长武, 有利于从土壤中吸收更多的水分。因此, 安塞刺槐细根的这种垂直分布是受干旱环境的影响而造成的, 是对干旱环境的响应。

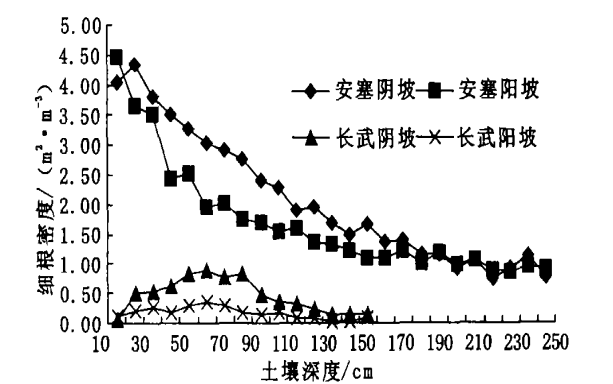


图 2 安塞和长武刺槐细根密度随土壤深度的变化

但是, 由图 2 可以看出, 在安塞和长武都表现出阴坡细根密度总体上大于阳坡。表 3 中平均细根密度数据也表明, 无论在安塞还是长武, 阴坡平均细根密度大于阳坡。这表明不能简单地认为随着土壤水分可利用性降低, 植物为了吸收

更多的水分而相应地增大细根密度。根据生态因子与森林植物相互作用的基本规律可以得出,在具体的生存环境中,树木有一个与之相适应的细根密度,小于这个细根密度,树木难以正常生长,大于这个细根密度,超出正常需要的细根要么受干旱环境的限制吸收不到水分,要么吸收的水分已成为多余的部分(树木已不需要),并且多余的细根为了存活还要消耗一定的干物质,这对于树木得不偿失。因此,安塞与长武、阳坡与阴坡刺槐细根密度的差异说明,现存的细根密度是对具体生境逐步适应调整的结果。

表 2 安塞和长武刺槐细根密度与土壤深度的回归模型

	回归模型	相关系数 $R^2$
安塞(阴坡)	$Y = 4.6162e^{-0.0722X}$	0.9631
安塞(阳坡)	$Y = 3.2772e^{-0.0596X}$	0.881
长武(阴坡)	$Y = 0.0022X^3 - 0.0644X^2 + 0.505X - 0.3713$	0.9253
长武(阳坡)	$Y = 0.0007X^3 - 0.0193X^2 + 0.1378X - 0.001$	0.8062

Y: 细根密度( $m^2/m^3$ ); X: 土壤深度(cm)

### 2.3 深度系数和细根的垂直分布区域

表 3 中渐近方程的相关系数表明,刺槐累积细根比例与土壤深度具有较大的相关性,可以用渐近方程  $y = 1 - \beta^x$  来描述。R. Gale 和 D. F. Grigal(1987)的研究结果认为,  $\beta$  值可以说明种根系分布的深浅,  $\beta$  越小,根分布越靠近土壤表面,  $\beta$  越大,根分布越深。从表 3 中所列的  $\beta$  值可看出,安塞阳坡、安塞阴坡、长武阴坡和长武阳坡的  $\beta$  值比较接近(在 0.984~0.990 之间),这表明刺槐在遗传特性上表现为深根性树种。然而,安塞和长武平均细根密度的明显差异(安塞平均细根深度为 250 cm,长武为 150 cm)和不同水分生态环境中  $\beta$  值的差异说明,水分生态环境对刺槐细根的垂直分布深度有较大影响。这表明刺槐细根的垂直分布除了受树种遗传特性的影响,很大程度上受水分生态环境的影响。

用渐近方程  $y = 1 - \beta^x$  计算得出含 90% 细根面积的细根深度。由表 3 中含 90% 细根面积的细根深度可以看出,安塞阳坡刺槐细根主要分布在 0~229.1 cm,安塞阴坡主要分布在 0~208.1 cm,长武阳坡主要分布在 0~142.8 cm,长武阴坡主要分布在 0~152.4 cm。

根据杨文治等人(1994)对黄土高原地区造林土壤水分生态分区的研究结果,长武处在暖温带半湿润区土壤水分准均衡补偿人工乔灌木适生区,经雨季土壤水分恢复期,土壤湿度恢复到田间持水量水平的层次 100~150 cm,只是在丰水年份,土壤水分恢复深度才可延伸到 2 m。安塞处在暖温带半干旱区土壤水分周期亏缺人工灌乔林适生区,区内土壤水分年内循环有周期亏缺现象,经过雨季土壤水分恢复期,2 m 土层的土壤湿

### 参考文献

- [1] 赵忠,李鹏,王乃江.渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征的研究[J].应用生态学报,2000,11(1):37-39
- [2] 余新晓,张建军,朱金兆.黄土地区防护林生态系统土壤水分条件的分析与评价[J].林业科学,1996,32(4):289-296
- [3] 赵忠,李鹏.渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J].水土保持学报,2002,16(1):96-99
- [4] 杨文治,马玉玺,等.黄土高原地区造林土壤水分生态分区研究[J].水土保持学报,1994,8(1):1-9
- [5] Gale M R, Grigal D E. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status [J]. Can J For For, 1987, (17): 829-834
- [6] K H M Muller, S W agner. Fine root dynamics in gaps of Norway spruce stands in the German Ore Mountains [J]. Forestry, 2003, 76(2): 149-158
- [7] L yr, H, G Hoffmann. Growth rates and growth periodicity of tree roots [J]. Int Rev. For Res, 1967, 2: 181-236
- [8] Coile, T S D. Distribution of forest tree roots in North Carolina Piedmont soils [J]. J. For, 1936, 35: 247-257
- [9] Gale M R, Grigal D E. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status [J]. Can J For For, 1987, (17): 829-834
- [10] Box J E. Modern methods for root investigations [A]. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U (eds). Plant roots: the hidden half [M]. New York: Marcel Dekker, Inc, 1996: 193-233

度只恢复到 15% 左右,相当于田间持水量的 70%~80%。

表 3 安塞和长武刺槐细根垂直分布特征

	安塞		长武	
	阴坡	阳坡	阴坡	阳坡
$\beta$	0.989	0.990	0.985	0.984
渐近方程的相关系数/ $R^2$	0.983	0.977	0.874	0.910
平均细根深度/ $(m^2 \cdot m^{-3})$	2.07	1.70	0.46	0.17
含 90% 细根面积的细根深度/cm	208.1	229.1	152.4	142.8
细根密度与土壤含水量的相关系数	-0.875**	-0.770**	-0.762**	-0.517*

对比刺槐细根的主要分布区域和降雨对土壤水分的补偿深度可以看出,刺槐细根的主要分布区域与降雨的补偿深度基本一致,如果土壤中的水分得不到很好的补偿,将对刺槐的生长造成很大影响。因此,黄土高原营造人工林,应充分考虑降水对土壤水分的补偿深度和补偿程度,以水分生态环境中所能容纳的适宜细根密度为依据确定造林密度,才能使树木达到最大生产力。

### 3 结论与讨论

安塞地处暖温带半干旱大陆性季风气候区,长武地处暖温带半湿润大陆性季风气候区,安塞刺槐林地明显较长武干旱。通过两地刺槐细根密度垂直分布特征的比较得出:

(1) 刺槐细根的垂直分布与水分生态环境密切相关。安塞刺槐细根密度和细根垂直分布深度明显大于长武,并且安塞刺槐细根密度随土壤深度的变化与长武也有差异。但是,在安塞和长武都表现出阴坡细根密度总体上大于阳坡。虽然刺槐细根密度与林地土壤含水量为显著的负相关关系,但是,安塞与长武、阳坡与阴坡刺槐细根密度的差异说明,现存的细根密度是对具体生境逐步适应调整的结果。

(2) 刺槐在遗传特性上表现为深根性树种。然而,安塞和长武平均细根密度的明显差异和不同水分生态环境中  $\beta$  值的差异说明,水分生态环境对刺槐细根的垂直分布深度有较大影响。这表明刺槐细根的垂直分布除了受树种遗传特性的影响,很大程度上受水分生态环境的影响。

(3) 安塞阳坡刺槐细根主要分布在 0~229.1 cm,安塞阴坡主要分布在 0~208.1 cm,长武阳坡主要分布在 0~142.8 cm,长武阴坡主要分布在 0~152.4 cm。刺槐细根的垂直分布区域与降雨的补偿深度基本一致,如果土壤中的水分得不到很好的补偿,将对刺槐的生长造成很大影响。因此,黄土高原营造人工林,应充分考虑降水对土壤水分的补偿深度和补偿程度,以水分生态环境中所能容纳的适宜细根密度为依据确定造林密度,才能使树木达到最大生产力。