

# 渭北黄土高原不同立地上刺槐根系分布特征研究

李 鹏<sup>1</sup>, 李占斌<sup>1</sup>, 赵 忠<sup>2</sup>, 郑良勇<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 采用土钻法对渭北黄土高原地区的主要造林树种刺槐的根系分布特征进行了调查研究。结果表明, 不同立地上的刺槐根系分布特征具有明显的差异, 阳坡立地上的根系密度和生物量均小于阴坡立地; 不同林龄根系分布在深度上没有明显的差异, 但是其根系的生物量和根系密度具有明显的差异。不同立地上刺槐的根系消弱系数 (root extinction coefficient)  $\beta$  值之间也存在明显的差异。阴坡立地的  $\beta$  值均在 0.982 以上, 而阳坡立地上的  $\beta$  值则一般小于 0.982, 说明阴坡立地上的刺槐根系分布深度要大于阳坡立地。其细根 ( $\Phi < 1\text{mm}$ ) 的分布深度大于较粗根系 ( $\Phi < 3\text{mm}$ ) 的分布深度, 有利于刺槐对深层土壤中水分、养分的吸收, 适应干旱环境, 促进地上部分的正常生长。

关键词: 根系生物量; 根系密度; 根系消弱系数; 垂直分布特征; 立地

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2002)05—0015—05

中图分类号: S792.27

## Researches on Root Distribution Characters of *Robinia Pseudoacacia* on Different Sites in Weibei Loess Plateau

LI Peng<sup>1</sup>, LI Zhan-bin<sup>1</sup>, ZHAO Zhong<sup>2</sup>, ZHENG Liang-yong<sup>1</sup>

(1. Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Construction, Chinese Academy of Science and Education Ministry; 2. Forestry College, Northwest Sci-technological University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** Soil drilling method is applied for root distribution characters investigation of the main forestation tree species on the loess plateau. The results indicate that there is obvious difference in the root distribution characters on different sites, both root density and root biomass on southern slope are smaller than that on northern slope. There are no obvious differences in root distribution depth on stand of different age, but root biomass and root density increased with age. Root extinction coefficient  $\beta$ , is one of the most important parameters in determining the vertical distribution depth of tree species. In this study, results showe that the value of  $\beta$  on northern exposition was more than 0.982, while the value of  $\beta$  on southern exposition was less than 0.982, which indicates that the vertical root distribution depth of *Robinia pseudoacacia* on southern ex- position is deeper than that on southren exposition. And the distribution depth of fine roots ( $\Phi < 1\text{mm}$ ) is deeper than that of thicker roots ( $\Phi < 3\text{mm}$ ), which is in favor of the uptake of water and nutrients from deeper layers, helps the trees to adapt the arid environment, and promoted the growth of the upper parts of the tree.

**Keywords:** root biomass; root density; root extinction coefficient; vertical distribution characters; site conditions

### 1 前 言

根系是植被与土壤界面进行物质和能量交换的惟一桥梁, 其形态和分布直接反映林木对立地的利用状况, 它对树木的生长具有决定性的作用<sup>[1]</sup>。长期以来, 人们对植物根系进行了大量的调查研究, 获得了对植物根系生长、分布及其生态意义等不同方面的认

识。同时在实践中, 根系的调查研究方法也有了新的发展(包括水冲洗法、玻璃壁观察法和根系挖掘法等)<sup>[2, 6, 9, 10, 12]</sup>, 但是由于根系的分布特征、生长过程等主要发生在地下, 很难获得全面直观的认识, 因而目前在野外进行植被根系调查时, 采用最为广泛的调查技术依然是土钻法和挖掘法<sup>[2, 6]</sup>。

M. R. Gale 和 D. F. Grigal (1987) 等人<sup>[3, 4]</sup> 通过

对不同演替阶段不同树种根系的分布特征的研究,提出了一个根系垂直分布模型:

$$Y = 1 - \beta d \quad (1)$$

式中:  $Y$ ——从地表到一定深度的根系生物量累积百分比;  $d$ ——土层深度(cm);  $\beta$ ——根系消弱系数(root extinction coefficient)。 $\beta$ 值越大说明根系在深层土壤中分布的百分比越大,反之 $\beta$ 值越小,则说明有更多的根系集中分布于接近地表的土层中。 $\beta$ 值的大小与根系体积或者根系密度无关,只是说明了根系的垂直分布特征与深度的关系。应用这一公式, M. R. Gale 和 D. F. Grigal(1987)等人成功地对白云杉林地的根系分布状况进行了研究和评价<sup>[4]</sup>。R. B. Jackson 等人<sup>[6]</sup>综合全球 250 多个根系研究的实例,对不同树种的根系分布特征进行了分析。结果认为冻土地带、寒温带针叶林和温带草原地区植被的根系分布剖面最浅,大约有 80% ~ 90% 的根系集中于地表 30 cm 的土层中,其相应的  $\beta$  值分别为 0.913, 0.943 和 0.943; 而沙漠和温带针叶林地区植被的根系分布较深,大约有 50% 的根系集中于地表 30 cm 的土层中,其相应的  $\beta$  值分别为 0.975 和 0.976。此外,通过划分不同树种的耐阴性, R. B. Jackson 等人认为不耐阴树种、中等耐阴树种和耐阴树种的  $\beta$  值分别为 0.95, 0.94 和 0.92, 说明耐阴树种的根系分布较浅。

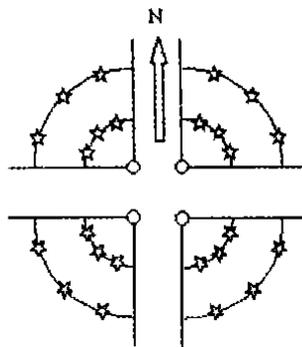
树木年龄和土壤特性对根系的分布和形态的影响可以反映在根系垂直分布特征的差异上。Lyr 和 Hoffmann 在研究中认为<sup>[6, 19]</sup>, 林木一般在苗期就可以达到根系垂直分布的最大值, 刺槐的根系分布在 4 a 时就可以达到 3.7 m 的深度。Coile<sup>[20]</sup>的研究也同样证实, 尽管根系密度随着年龄的增大而增加, 但是在一定年龄就可以达到水平分布和垂直分布的极值。这表明其根系的垂直分布模式也就建立起来了。假设树木根系的分布特征受遗传特征和环境因子的双重控制, 因此在不同立地上的树木根系分布特征是存在差异的, 这种差异的量化表现就是  $\beta$  值的不同。在此假设的基础上, 本研究的目的是通过调查, 确定不同立地上林木根系垂直分布特征, 进而确定其根系消弱

系数(root extinction coefficient)  $\beta$  值, 为黄土高原地区的植被建设提供理论依据。

## 2 材料与方 法

刺槐是渭北黄土高原地区的主要水土保持造林树种之一, 没有明显的主根, 具有巨大的土壤网络能力, 曾经一度被认为是浅根性树种<sup>[22]</sup>。但是近来的研究证实<sup>[5]</sup>, 在黄土高原地区, 刺槐是深根性树种, 其根系在深层土壤中也有较多的分布。同时由于黄土高原地区, 成土母质主要是黄土母质, 且土层深厚, 水分是当地植被生长的主要限制因子, 而坡向是影响水分分布的主要因子。因此在进行立地类型的划分时, 以坡向为主要的参考因子。

在以前研究的基础上, 本研究对渭北黄土高原塬沟壑区阴坡和阳坡立地上生长的刺槐同龄林进行调查(各个样地的基本状况如表 1 所示)。当地的土壤主要是黄绵土, 部分立地或者土壤剖面的一定层次上存在着古红土(又称红胶土)。在各样地内随机选取 30 株样木, 进行每木检尺, 并从中选择出 4 株平均样木。采用 1/4 样圆法对根系进行调查<sup>[1]</sup>, 即在每株样木的不同方位划分出 1/4 营养区作为取样区(图 1)。取样时, 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)用土钻( $\varnothing=6.8$  cm)钻取土样, 直至无根系出现。



为距离树干 0.5 和 1.5 m 处的采样点; O 为样木

图 1 1/4 样圆法根系调查示意图

表 1 渭北地区刺槐根系调查样地概况

序号	地点	坡向	坡度	坡位	土壤	林龄/a	平均树高/m	平均胸径/cm
1	泥河沟	SW	23	中	YLS	15	8.31	8.8
2	泥河沟	E	9	下 <sup>1</sup>	YLS	15	8.85	9.3
3	秦庄沟	E	31	中	OL	24	12.25	15.2
4	秦庄沟	EN	31	中	YLS	24	12.58	16.3
5	秦庄沟	W	33	中	YLS	24	11.91	13.3
6	秦庄沟	WS	26	中	OL	24	11.38	13.2

注: <sup>1</sup> 为该样地为坡面整体滑塌后形成的。

用  $\varnothing=0.5$  mm 的筛子将各层土壤进行过筛, 并

拣出所有根系, 编号后装入塑料袋带回实验室。将从

野外带回的各个根样,按  $\varphi < 0.5 \text{ mm}$ ,  $0.5 \text{ mm} < \varphi < 1 \text{ mm}$ ,  $1 \text{ mm} < \varphi < 3 \text{ mm}$  和  $\varphi > 3 \text{ mm}$  的标准分为 4 级。用蒸馏水清洗干净后置入 105 °C 烘箱中,烘干至恒重,再分别称重和记录。将同一样地上 4 株树木在不同方位营养空间上、不同距离上特定径级根系的分布按照下列公式进行合并计算

某土层特定径级根系的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$$\frac{m}{nk} \times \frac{1}{\pi R^2 h} \times 100 \quad (2)$$

式中  $R$  ——土钻半径(0.034 m);  $h$  ——土层厚度(0.1 m);  $m$  ——根重(g);  $n, k$  ——样木总数及样点总数。

距离树干不同距离处特定径级根系的密度( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$$\frac{x_{jil}}{nk} \times \frac{1}{\pi R^2} \times 100 \quad (3)$$

式中  $R$  ——土钻半径(0.034 m);  $h$  ——土层厚度(0.1 m);  $x_{jil}$  ——根系生物量(g), 其中  $n, m$  和  $l$  分别是样木号、样点号和土壤取样的层次编号。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同立地上刺槐根系生物量分布特征

在阳坡立地上,刺槐根系的生物量随着深度的增加而减少。细根( $\varphi < 1 \text{ mm}$ )的分布深度要大于较粗根系( $1 \text{ mm} < \varphi < 3 \text{ mm}$ )的分布深度,说明随着深度的增加,细根相对含量增加,有利于树木吸收深层土壤中的水分和养分(表 2)。

Lyr, H 和 G. Hoffmann 等人<sup>[19]</sup>的研究结果表明,在林分生长早期,林木根系就已经达到较大的分布深度,随着林龄的增加,其分布深度不再有明显的增加,而是根系的密度和生物量有较大的增长,说明在林木生长的早期,其根系的分布模式就已经建立起来了。对不同林龄样地上刺槐根系分布特征的分析结果表明(表 2),成熟林分上刺槐根系的垂直分布深度并没有明显的增加,而根系密度却有明显增加。说明,在黄土高原地区,尽管许多地方的土层较厚,但是林木的根系分布模式在其生长早期就已经建立起来了。与阳坡立地上的刺槐根系分布特征相比,阴坡立地上不同径级根系的根系密度都有明显的增加,特别是在距离树干 1.5 m 处的情况更是如此。这种根系分布特征的趋势表明,在阴坡立地上的刺槐根系在土壤中的分布更加均匀,更加有利于林木对深层土壤中水分和养分的吸收,促进地上部分的生长,进而表现出更高的生产力水平。表 1 中林分的生长的主要指标

——平均树高和平均胸径的差异也说明了这一问题。

表 2 不同立地上刺槐根系生物量和根系密度分布特征

立地类型	距离树干距离/m	根系直径/mm	根系生物量/g	根系密度/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$
阴坡	0.5	$1 < \varphi < 3$	2.18	676.41
		$\varphi < 1$	0.81	251.79
	1.5	$1 < \varphi < 3$	1.56	484.61
		$\varphi < 1$	0.53	165.68
	0.5	$1 < \varphi < 3$	0.90	281.01
		$\varphi < 1$	0.36	110.97
1.5	$1 < \varphi < 3$	1.26	392.14	
	$\varphi < 1$	0.37	115.01	
阳坡	0.5	$1 < \varphi < 3$	1.31	406.28
		$\varphi < 1$	0.84	261.11
	1.5	$1 < \varphi < 3$	1.02	318.00
		$\varphi < 1$	0.36	110.97
	0.5	$1 < \varphi < 3$	0.81	251.01
		$\varphi < 1$	0.38	117.50
1.5	$1 < \varphi < 3$	0.79	246.97	
	$\varphi < 1$	0.28	88.13	

#### 3.2 不同坡向上刺槐的根系分布参数

研究证实,根系中粗根的主要作用在于对树木的机械支持,而其吸收功能主要由细根完成<sup>[11, 13, 14]</sup>。尽管目前对于细根的定义尚无统一的标准<sup>[14, 16]</sup>,但是直径小于 1 mm 的根为细根是为大多数根系研究者同意的<sup>[7, 11, 14, 16]</sup>。赵忠等人<sup>[21]</sup>在对刺槐根系活力的实验研究中发现,在比较干旱的情况下(土壤含水量小于 7%),较大直径的刺槐根系( $\varphi = 2.5 \text{ mm}$ )依然可以维持比较高的活力水平,也就是说,仍然具有相当的吸收功能,同时为了使结果具有可比性,分别对直径小于 1 mm 和 3 mm 根系的垂直分布特征进行了比较和研究(图 2)。

通过计算和分析可以发现(表 3),不同立地上刺槐根系的累积分布特征符合公式(1)的形式,并且具有较高的相关性。这说明用根系消弱系数  $\beta$  可以较好地描述不同立地上刺槐根系的垂直分布特征,而  $\beta$  值则简单直观地反映了刺槐根系垂直分布的差异。阴坡与阳坡立地上的刺槐根系均表现出了随着深度增加而减少的趋势,大部分根系(总根量的 90% 以上)都集中于地表 0—100 cm 的土层中。其中阴坡立地上的刺槐根系分布深度均大于同一流域阳坡立地上的刺槐根系分布深度,即阴坡立地上刺槐根系分布的消弱系数  $\beta$  值均大于阳坡立地上的  $\beta$  值。这说明阴坡立地上的刺槐根系分布的深度更深,能够更加充分的利用深层土壤水分。

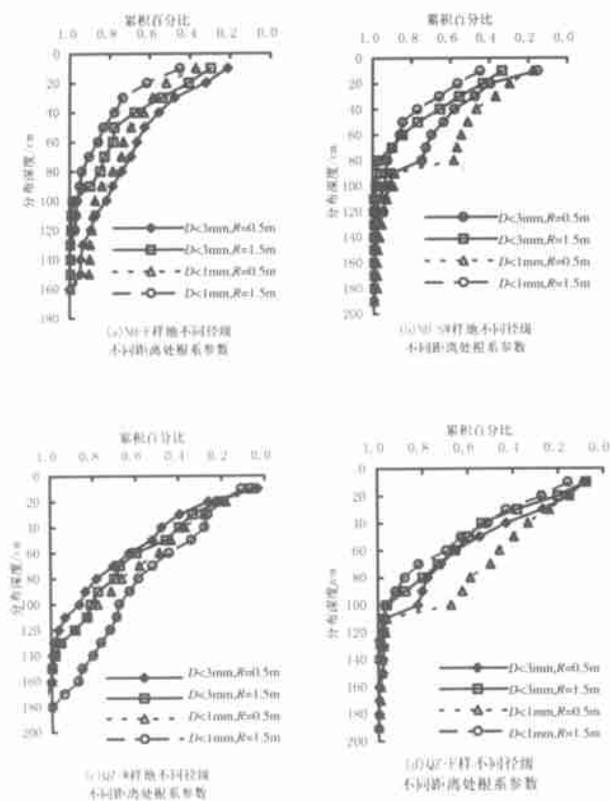


图 2 不同立地上距离树干不同距离处不同径级根系累积生物量百分比

经过对两个地区不同立地上直径小于 1 mm 的根系  $\beta$  值的计算结果表明,在大多数立地上,成熟林

表 3 不同坡向上刺槐的根系分布消弱系数( $\beta$ 值)的变化状况

	阴 坡				阳 坡			
	泥河沟流域东向坡		秦庄沟流域东向坡		泥河沟流域西南向坡		秦庄沟流域西向坡	
	$R = 1.0\text{ m}$	$R = 2.0\text{ m}$	$R = 1.0\text{ m}$	$R = 2.0\text{ m}$	$R = 1.0\text{ m}$	$R = 2.0\text{ m}$	$R = 1.0\text{ m}$	$R = 2.0\text{ m}$
$D < 3$	0.982	0.974	0.982	0.983	0.980	0.974	0.982	0.980
相关系数	0.994	0.992	0.996	0.996	0.992	0.990	0.993	0.995
$D < 1$	0.983	0.968	0.987	0.988	0.984	0.967	0.986	0.981
相关系数	0.989	0.996	0.995	0.985	0.970	0.995	0.971	0.995

## 4 结 论

通过对渭北黄土高原淳化县地区不同立地上刺槐根系分布特征的研究分析,可以得出以下结论:

(1) 不同立地上的刺槐根系生物量和根系密度具有较大的差异。阴坡立地上的刺槐根系的生物量和根系密度都大于阳坡立地;对不同林龄根系生物量和根系密度的分析结果表明,随着林龄的增加,根系分布深度没有明显的变化,而根系密度有明显增长,说明根系分布模式在其生长的早期就可以建立起来。

分中(主要指秦庄沟流域,当地的刺槐林分为 24 a 生,而泥河沟流域的只有 10 a),细根( $\varphi < 1\text{ mm}$ )的根系分布消弱系数  $\beta$  值均大于较粗根系( $\varphi < 3\text{ mm}$ )的  $\beta$  值,这进一步说明了阴坡立地上的刺槐对于深层土壤水分的利用能力要大于阳坡立地上的刺槐。泥河沟流域的刺槐林分由于尚处于幼年阶段,故没有表现出相应的规律。

### 3.3 距离树干不同距离处刺槐根系的分布参数

从表 3 中可以看出,距离树干不同距离处刺槐根系的分布参数  $\beta$  值在不同立地上存在着差异。成熟林分中,阴坡立地上的刺槐根系在距离树干 2.0 m 处的分布深度要大于 1.0 m 处的根系分布深度;而阳坡立地上的刺槐根系在距离树干 2.0 m 处的分布深度则小于 1.0 m 处的根系分布深度。这说明在阳坡立地上,距离树干越远,其根系的分布越接近于表层;相反,阴坡立地上的刺槐根系在距离树干 2.0 m 处的分布深度大于 1.0 m 处,说明该立地上的刺槐根系在水平分布方向上具有更大的分布范围。同时,表 2 中的数据也进一步说明了阴坡立地上的根系无论是生物量还是根系密度都大于阳坡立地,进一步说明了在阴坡立地上,刺槐根系能够为树木的生长提供更大的水分、养分空间和更强的供应能力,促进地上部分的生长,表现出更大的立地生产力。这一点从各个样地上林分生长的主要指标——平均树高和平均胸径的差异上可以看出来(见表 1),阴坡立地上刺槐的生产力明显高于阳坡立地。

(2) 在不同立地上,刺槐根系垂直分布参数  $\beta$  值表现出明显差异,在阴坡立地上,根系的  $\beta$  值均大于 0.982,而阳坡立地上的  $\beta$  值则多小于 0.982,说明阴坡立地上根系的分布深度大于阳坡立地,更加有利于根系吸收利用深层土壤水分,促进地上部分的生长。

(3) 在距离树干不同距离处,成熟林分中,阴坡立地上的刺槐根系在距离树干 1.0 m 处的  $\beta$  值分别为 0.982( $D < 3\text{ mm}$ )和 0.987( $D < 1\text{ mm}$ ),小于距离树干 2.0 m 处的 0.983( $D < 3\text{ mm}$ )和 0.988( $D < 1\text{ mm}$ );而在阳坡立地上,距离树干 1.0 m 处的  $\beta$  值

分别为 0.982 ( $D < 3 \text{ mm}$ ) 和 0.986 ( $D < 1 \text{ mm}$ ), 大于距离树干 2.0 m 处的 0.98 ( $D < 3 \text{ mm}$ ) 和 0.981 ( $D < 1 \text{ mm}$ ), 说明阴坡立地上的刺槐根系水平——垂直分布范围大于阳坡立地上的刺槐, 能够为树木的生长提供更大的水分、养分吸收空间, 保证地上部分健康生长的需要。

(4) 在各个立地上, 直径小于 1 mm 的根系分布参数  $\beta$  值大于相应的直径小于 3 mm 的根系分布参数。说明细根的分布深度要大于较粗根系, 有利于根系对土壤水分和养分的吸收利用。

## 5 讨 论

大量的研究和实践证实, 根系与林木地上部分的生长有密切的关系, 而地上部分的生长状况也会影响根系的生长<sup>[18]</sup>。根系的分布特征与营林密度之间的关系也是造林工作者关心的主要问题之一<sup>[17]</sup>。根据树种根系的分布特征确定适当的造林密度可以从本质上反映林木生长的实际状况和造林地的状况。在黄土高原地区, 植被生长所需要的水分主要来自降水, 而天然降水的利用效率又取决于土壤对于雨水的拦蓄能力和林木对土壤水分的利用程度, 其中林木对水分的利用程度主要反映在根系的垂直分布特征和水平分布特征上<sup>[2,6]</sup>。有限的土壤水分承载力是进行植被建设的主要限制因素之一, 因此深入研究当地植被根系的分布特征, 并将其与当地的植被建设联系起来, 对于加快植树种草, 促进当地的生态建设, 形成良性循环, 进而提高当地生态系统的自我维持能力和抗干扰能力, 具有重要的实践意义。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 王文全, 王世绩, 刘雅荣, 等. 粉煤灰田立地上杨、柳、榆、刺槐根系的分布和生长特点[J]. 林业科学, 1994, 30(1): 25—33.
- [ 2 ] Stone E L, Kalisz P J. On the maximum extent of tree roots[J]. For. Ecol. Manage, 1991(46): 59—102.
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] Gale M R, Grigal D E, Harding R B. Soil productivity index of site quality for white spruce plantations [J]. Soil Sci Soc Am J, 1991(55): 1701—1708.
- [ 5 ] 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.
- [ 6 ] Jackson R B, Canadell J, Mooney H A. A global analysis of root distribution for terrestrial biomes[J]. Oecologia, 1996 180: 389—411.
- [ 7 ] Farrish K W. Spatial and temporal fine-root distribution in three Louisiana forest soil[J]. Soil Sci Soc Am J. 1991(55): 1752—1757.
- [ 8 ] 宋长贵, 张献义. 深翻对杉木根系的影响[J]. 湖北林业科技通讯, 1992(4): 1—3.
- [ 9 ] 黄瑞冬, 赵君实. 植物根系研究方法进展[J]. 沈阳农业大学学报, 1991, 22(3): 164—168.
- [ 10 ] 廖兴其. 根系研究方法评述[J]. 世界农业, 1995(7): 23—24.
- [ 11 ] 刘建军. 林木根系生态研究综述[J]. 西北林学院学报, 1998, 13(3): 74—78.
- [ 12 ] W. 伯姆. 根系研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [ 13 ] 陈金林, 许新建, 姜志林, 等. 空青山次生栎林细根周转[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(1): 6—10.
- [ 14 ] 单建平, 陶大立. 国外对树木细根的研究动态[J]. 生态学杂志, 1992, 11(4): 46—49.
- [ 15 ] 吕士行, 余雪标. 杉木造林密度与根系生长的关系[J]. 林业科技通讯, 1990(11): 1—3.
- [ 16 ] Marshall J D, Waring R H. Predicting fine root production and turnover by monitoring root starch and soil temperature[J]. Can J For Res, 1985, 15: 791—800.
- [ 17 ] 孙时轩. 造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [ 18 ] 董长贵. 不同土壤条件下欧洲赤松和西伯利亚落叶松根系的形成[J]. 国外林业, 1995, 25(1): 5—9.
- [ 19 ] Lyr H, Hoffmann G. Growth rates and growth periodicity of tree roots[J]. Int. Rev. For. Res., 1967, 2: 181—236.
- [ 20 ] Coile T S. 1936. Distribution of forest tree roots in North Carolina Piedmont soils[J]. J. For. 35: 247—257
- [ 21 ] 赵忠, 李鹏, 王乃江. 渭北主要造林树种根系抗旱性研究[J]. 水土保持研究 2000, 7(1): 92—94.
- [ 22 ] 刘秉正, 王幼民, 李凯荣, 等. 人工刺槐林改良土壤的初步研究[J]. 西北林学院学报, 1987, 2(1): 48—57.