

# 王东沟不同坡向刺槐细根分布特征研究<sup>\*</sup>

薛文鹏<sup>1</sup>, 赵忠<sup>1</sup>, 李鹏<sup>2</sup>, 曹扬<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100;

2 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 采用土钻法研究了渭北黄土高原主要造林树种刺槐的根系分布特征。结果表明,在以坡向为主要影响因子的立地条件下,刺槐的根系分布特征表现出明显差异。不同径级根系的长度和表面积等主要指标,在土壤中的垂直分布和水平分布均表现出不同的趋变模式。阴坡立地上的细根长度和根系表面积的水平分布(距地面50 cm的土层中)和垂直分布均比阳坡大且较均匀,而阳坡立地上,细根长度和体积表面积均表现出随距树干距离增加而急剧减少的趋势。阴坡立地的刺槐根系较之阳坡立地具有更大的生长潜势。

[关键词] 刺槐; 根系分布特征; 立地条件; 坡向

[中图分类号] S792.270.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)06-0027-06

根系是构成植物体的主要部分,是林木吸收水分和养分的器官,其形态和分布直接反映林木对立地的利用状况,对树木的生长具有决定性作用<sup>[1]</sup>。土壤的物质和能量被林木获取和利用均是通过根系得以实现的。因此,根系的分布特征反映了土壤的物质和能量被利用的可能性以及土地的生产力<sup>[1]</sup>。定量研究林木根系的时空分布特征是构建根系吸水模型、计算根系吸水量不可缺少的环节,对进一步研究根系吸水时空分布规律及其影响机制、农林复合系统中的种间关系等具有重要意义。近年来,有关根系的研究已经成为研究热点,大量研究<sup>[2-7]</sup>证实,根系的分布深度影响林木地下营养空间的大小和其对土壤营养及水分的利用程度,从而直接影响其地上部分的产量高低。根系,特别是细根(fine root)的分布特征及其对干旱的抗御能力是土地生产力,尤其是半湿润、半干旱地区土地生产力高低的主要决定因素<sup>[2,3]</sup>。根系的垂直分布特征除受到立地条件的影响外,在很大程度上还受树种遗传特性的影响。尽管在深层土壤中仅有很少比例的根系存在,但其却对林木的水分吸收发挥着非常重要的作用<sup>[3]</sup>。

树木年龄和土壤特性对根系分布和形态的影响,可以反映在根系垂直分布特征的差异上。据报

道<sup>[6,8]</sup>,林木一般在苗期就可以达到根系垂直分布的最大值,刺槐的根系深度在4年时就可以达到3.7 m。Coile的研究<sup>[9]</sup>也证实,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。

林木根系的数量、组成及其分布,对林木地上部分生产力的影响很大,同时又受到外界环境条件,尤其是土壤环境条件的强烈影响。根系最先感受到土壤中发生的变化,并对此作出反映。在一定程度上根系反应了土壤-植物间物质和能量的交换能力<sup>[8]</sup>。因而,了解不同树种根系的分布特征,确定其对水分和养分的吸收利用能力,对于选择适宜的造林树种,充分发挥造林地的生产力,具有十分重要的意义。本研究旨在通过调查,研究不同坡向刺槐根系的垂直分布特征,进而确定其根系消弱系数(root extinction coefficient),以期为黄土高原地区的植被建设提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地概况

调查地点设在陕西省长武县洪家乡境内的王东沟小流域,该流域处于黄土高原沟壑区中部,海拔

\* [收稿日期] 2002-12-06

[基金项目] 西北农林科技大学科研专项重点资助项目(KD00-15)

[作者简介] 薛文鹏(1977-),男,宁夏中宁人,在读硕士,主要从事林木根系生态研究。E-mail: xuewenpeng@xinhuonet.com

950~1 225 m, 年平均气温 9.1 ℃, 年平均降水量为 584.1 mm, 降水量的年变率较大, 大部分都集中于 7~9 月, 无霜期 171 d。

选择不同坡向上的刺槐林为调查对象, 为保证结果的代表性, 同一立地上调查 2 块样地(表 1)。在样地内随机选取 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>(图 1), 即在每株样木的不同方位划分出 1/4 营养区作为取样区。取样时, 以样木为中心分别在半径 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 m 的弧线上按等距确定 3 个取样点, 分土层(10 cm)用土钻( $\Phi=6.8$  cm)钻取土样, 直达 2.0 m 深处。

表 1 长武县王东沟刺槐根系调查样地概况

Table 1 A brief view of sample areas of survey for root system of *R. p pseudoacacia* at Chunhua county

序号 No.	地点 Place	坡向 Exposition	坡度/(°) Slope	坡位 Position on slope	土壤 Soil	林龄/年 Stand age	平均株高/m Average height	平均胸径/cm Average BHD
1	杏树壕 Xingshuhao	东向 East	16	下位 Under	黄壤土 Loess	20	11	13.7
2	王东村大沟 Wangdongcun dagou	东向 East	20	中下位 Mid-under	黄壤土 Loess	20	13	14.2
3	尚家洼 Shangjiawa	西向 West	18	下位 Under	黄壤土 Loess	25	11	14.3
4	尚家洼 Shangjiawa	西向 West	30	中上位 Mid-over	黄壤土 Loess	25	12	14.0

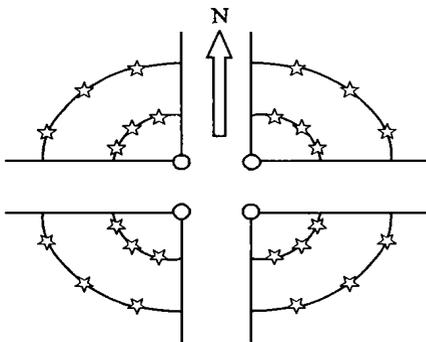


图 1 根系调查示意图

Fig. 1 The schematics of root investigation

## 1.2 根系样品的测定和分析

用  $\Phi=0.5$  mm 的筛子将各层土壤过筛, 并拣出所有根系, 编号后装入塑料袋带回实验室。将野外带回的根样用蒸馏水清洗干净后, 采用加拿大 REGENT 公司生产的根系形态学和结构分析系统 (WINRhizo), 对根系长度(m)、根系表面积( $m^2$ )以及根系体积( $m^3$ )等指标进行测定分析, 根据赵忠等<sup>[5]</sup>所采用的方法计算出主要根系指标的密度。

王佑民等<sup>[10]</sup>的研究证实, 沙棘根系的 1 级根(细根)在根系与土壤间的物质和能量交换中占主导地位, 根系表面积是根系与土壤之间进行营养交换的界面。刘建军<sup>[11]</sup>研究指出, 在生态学研究, 根系表面积是研究水分吸收或养分吸收试验的最重要参数之一。在反映根系生长和分布特征的各项指标中,

根系的表面积与林木生长的关系非常密切, 因为根系与土壤接触面积的大小能够很好地反映林木对土壤环境条件的利用程度。为了更好地反映不同径级根系在林木生长过程中的作用, 本研究采用根系的比表面积( $SA-V$ )描述刺槐不同径级根系的生长及分布特征。 $SA-V$ 的计算公式为:

$$SA-V = \frac{SA}{V}$$

式中,  $SA$  为根系表面积( $m^2$ );  $V$  为根系体积( $m^3$ )。由体积表面积的定义可知, 单位体积根系的比表面积越大, 说明根系与土壤的接触面积越大。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同坡向上的刺槐细根水平分布

大量研究<sup>[2~7, 12]</sup>证实, 细根是林木吸收水分和养分的主要器官。尽管不同的研究人员对细根的划分标准不尽相同, 但是直径小于 1.0 mm 的根系为细根已为大多数人所接受。本试验着重对直径小于 1.0 mm 根系的分布特征进行分析研究。

2.1.1 细根长度的水平分布特征 距地面 50 cm 土层中根系的分析结果如图 2 和图 3 所示。从图 2 和图 3 可以看出, 阴坡立地上的刺槐根系长度远大于阳坡, 并且其分布相对均匀; 而阳坡上的细根长度则表现出随距树干距离增加而急剧减少的趋势。这在一定程度上说明阳坡上的细根更依赖于土壤水分。

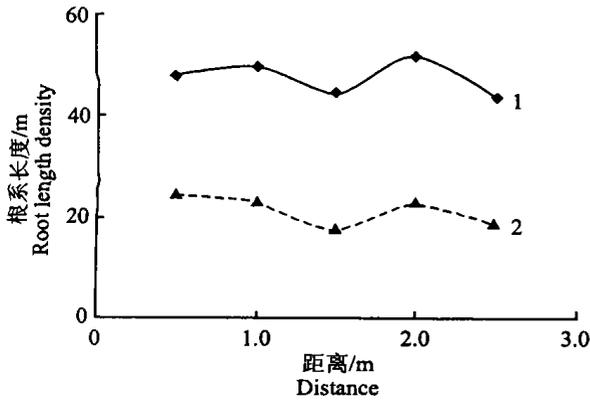


图 2 阴坡立地刺槐根系长度的水平分布特征

1.  $d = 1.0 \text{ mm}$ ; 2.  $d > 1.0 \text{ mm}$

Fig. 2 The root length horizontal distribution characters of *Robinia pseudoacacia* in the north-facing site

1.  $d = 1.0 \text{ mm}$ ; 2.  $d > 1.0 \text{ mm}$

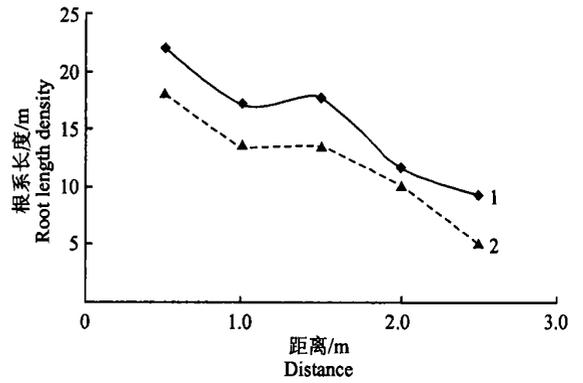


图 3 阳坡立地刺槐根系长度的水平分布特征

1.  $d = 1.0 \text{ mm}$ ; 2.  $d > 1.0 \text{ mm}$

Fig. 3 The root length horizontal distribution characters of *Robinia pseudoacacia* in the south-facing site

1.  $d = 1.0 \text{ mm}$ ; 2.  $d > 1.0 \text{ mm}$

2.1.2 细根体积表面积水平分布特征 从图 4 和图 5 可以看出, 在不同坡向距地面 50 cm 的土层中, 细根的体积表面积表现出与根系长度同样的变化趋势。阴坡上细根的体积表面积随距树干距离的增加

变化不大; 而阳坡上细根表面积随距离树干越远, 表现出越小的变化趋势。这更进一步说明, 在不同立地上, 水分是限制细根生长的重要因子。

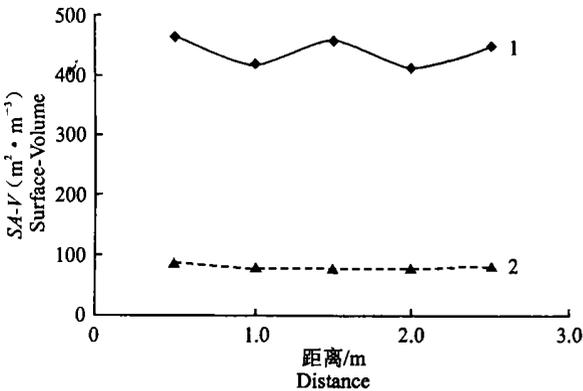


图 4 阴坡立地刺槐根系体积表面积水平分布特征

1.  $d = 1.0 \text{ mm}$ ; 2.  $d > 1.0 \text{ mm}$

Fig. 4 Horizontal distribution characters of the root surface areas of unit volume of *Robinia pseudoacacia* in the north-facing site

1.  $d = 1.0 \text{ mm}$ ; 2.  $d > 1.0 \text{ mm}$

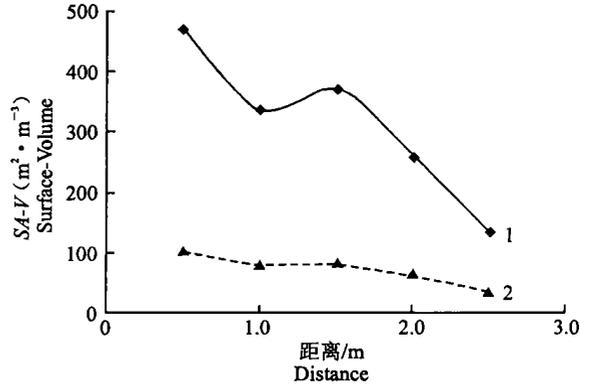


图 5 阳坡立地刺槐根系体积表面积水平分布特征

1.  $d = 1.0 \text{ mm}$ ; 2.  $d > 1.0 \text{ mm}$

Fig. 5 Horizontal distribution characters of the root surface areas of unit volume of *Robinia pseudoacacia* in the south-facing site

1.  $d = 1.0 \text{ mm}$ ; 2.  $d > 1.0 \text{ mm}$

2.2 不同坡向刺槐细根的垂直分布

2.2.1 细根长度垂直分布特征 从表 2 可以看出, 阴坡立地上的根系分布比阳坡明显要深, 且根长密度大。在阳坡立地上, 距树干不同距离的根系较多地分布在 10~70 cm 的表层土壤中; 而阴坡立地上的刺槐根系分布较深, 在 20~120 cm 深度内分布较多。这说明阳坡立地上的刺槐更加依赖于天然降水。

进一步分析还可发现, 在阳坡立地上, 距离树干 0.5 m 处的根系长度最大, 说明根系主要集中在距树干较近的空间; 而在阴坡立地上, 距离树干 0.5, 1.0, 1.5 和 2.0 m 处根系分布较多, 这说明在阴坡立地上, 刺槐的根系具有更大的水分、养分吸收空间。

2.2.2 细根表面积垂直分布特征 不同立地上, 刺

槐细根的比表面积具有类似于细根长度的变化趋势。从表 3 可以看出, 阴坡立地上, 距树干不同距离的细根比表面积较阳坡的大。阳坡立地上刺槐细根的比表面积在表层土壤中的分布较多。由于受水分亏缺的影响, 在阳坡立地上的细根主要集中在土壤

表层; 而阴坡立地上, 刺槐细根分布在较深的土壤中, 20~120 cm 土层的细根比表面积值较大。这一结果表明, 刺槐细根在阴坡立地上有更大的水分和营养空间。

表 2 不同坡向刺槐细根( $d=1.0$  mm)长度垂直分布特征

Table 2 Length vertical distribution characters of the fine root ( $d=1.0$  mm) of

*Robinia pseudoacacia* in slopes with different directions

m

土层 深度/cm Soil horizon	距树干距离/m Distance from tree									
	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
	阴坡 North- facing site	阳坡 South- facing site								
0~10	0.41	3.12	2.46	1.13	2.30	0.24	0.49	0.89	3.66	3.70
10~20	9.59	3.94	15.78	5.36	8.48	4.18	16.23	0.61	7.40	1.16
20~30	11.74	5.49	3.29	3.64	6.25	2.41	13.90	2.16	11.15	0.11
30~40	11.95	2.37	11.34	2.05	18.38	5.98	10.27	4.36	12.89	2.55
40~50	14.22	6.99	16.81	4.98	9.30	4.70	10.98	3.56	8.44	1.69
50~60	22.56	9.73	12.17	5.18	26.02	3.07	18.18	1.59	8.49	6.32
60~70	16.49	2.47	18.58	3.11	12.98	6.45	9.38	2.68	11.75	0.94
70~80	13.20	2.53	10.56	4.13	10.94	1.37	4.10	1.14	7.50	2.98
80~90	14.24	3.76	9.06	1.41	5.38	0.50	2.70	3.80	6.09	0.81
90~100	7.46	9.75	3.46	2.30	9.54	1.46	5.33	1.28	3.84	2.98
100~110	5.70	2.05	8.71	1.22	3.20	0.28	4.40	1.10	4.11	1.90
110~120	2.27	2.34	5.90	0.75	8.06	0.75	5.33	0.41	3.76	-
120~130	5.34	0.26	3.72	0.91	0.50	0.15	3.51	0.00	1.18	-
130~140	4.16	0.52	5.45	1.18	1.01	0.00	1.75	0.08	1.18	-
140~150	4.49	1.40	6.28	1.49	2.23	0.82	0.81	0.00	1.34	-
150~160	2.27	0.56	1.89	0.40	2.91	0.45	4.12	-	0.62	-
160~170	4.45	0.15	2.77	0.00	1.11	-	1.76	-	2.47	-
170~180	0.00	0.00	4.08	0.00	2.28	-	2.63	-	5.68	-
180~190	11.20	0.26	4.74	0.13	6.75	-	4.29	-	11.72	-
190~200	1.98	0.12	0.58	-	2.74	-	3.84	-	-	-

表 3 不同坡向刺槐细根体积表面积垂直分布特征比较

Table 3 Vertical distribution characters of the fine root surface areas of unit volume

of *Robinia pseudoacacia* in slopes with different directions

m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

土层 深度/cm Soil horizon	距树干距离/m Distance from tree									
	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5	
	阴坡 North- facing site	阳坡 South- facing site								
0~10	8.65	68.91	19.62	12.29	23.61	9.11	8.25	25.62	16.71	8.38
10~20	57.45	84.30	113.44	94.18	99.58	84.77	29.25	20.05	56.42	38.21
20~30	114.22	81.96	43.94	17.72	77.47	22.81	137.68	32.60	86.20	9.86
30~40	115.38	95.39	87.93	91.05	125.00	117.10	114.77	77.08	151.17	40.85
40~50	166.61	137.45	153.24	120.54	132.90	135.68	120.54	100.86	136.35	35.07
50~60	175.14	151.11	134.00	106.13	161.41	58.23	165.83	61.59	109.07	86.31
60~70	179.68	58.74	163.30	54.05	164.95	112.70	110.58	70.65	134.26	37.69
70~80	163.58	90.38	125.11	72.12	103.17	67.46	114.55	41.54	116.44	70.07
80~90	98.49	109.77	172.78	49.04	94.45	11.35	77.72	68.85	109.71	37.70
90~100	82.27	95.61	59.98	78.24	178.39	54.68	60.73	30.23	81.05	39.19
100~110	51.12	49.01	124.42	31.45	62.98	10.33	71.54	25.96	81.51	29.92
110~120	40.99	95.22	68.88	11.25	75.87	59.72	77.81	19.49	50.53	-

续表 3 Continue Table 3

120 ~ 130	77.06	8.75	82.00	37.21	13.27	10.01	56.60	0.00	22.90	-
130 ~ 140	40.76	16.44	87.30	54.77	27.78	0.00	59.50	9.19	12.31	-
140 ~ 150	51.47	25.81	48.21	36.92	39.66	20.35	36.39	0.00	20.86	-
150 ~ 160	49.61	25.32	30.07	36.25	34.78	10.39	47.56	-	22.40	-
160 ~ 170	31.10	8.39	84.20	0.00	35.45	-	24.20	-	96.10	-
170 ~ 180	0.00	0.00	45.50	0.00	46.75	-	27.05	-	85.84	-
180 ~ 190	44.30	11.93	32.59	16.84	80.88	-	94.76	-	59.69	-
190 ~ 200	26.37	15.92	102.17	-	83.87	-	86.67	-	-	-

### 3 结论与讨论

本试验结果表明, 刺槐根系(细根)的分布特征在不同坡向的立地上表现出明显的差异。阴坡立地上刺槐细根的生物量明显大于阳坡, 阴坡立地上刺槐细根长度和比表面积均比阳坡大, 并且其分布相对均匀; 而阳坡上的细根长度和根系比表面积, 表现出随距树干距离增加而急剧减少的趋势。这在一定程度上说明, 阳坡上的细根更依赖于土壤水分, 水分是限制细根生长的重要因子。

树木根系的垂直分布与树种、树龄、土壤水分、土壤养分和物理性质(通气、机械阻力等)、地下水位等有关, 树木或林分大部分根系位于 50 cm 土层以上, 且多集中于枯落物层和 10 cm 以上矿质土壤表层<sup>[12]</sup>。Fischer 等<sup>[13]</sup>的研究证实, 细根垂直分布还与树木耐旱性有关, 受干旱胁迫症状最明显的树种在深土层的细根生物量最小。在混交林中, 为适应对水分和养分的竞争, 不但不同种类细根的空间分布不同, 而且在生长及养分、水分吸收的时间上也有差异<sup>[13]</sup>。

在不同坡向立地上, 刺槐细根长度和单位体积根系表面积的垂直分布特征也有明显的差异性。阴坡立地上, 刺槐根系分布均比阳坡上深。阴坡立地上刺槐的根系长度和单位体积表面积均比阳坡上大, 且阳坡上根系分布主要集中在表层, 而阴坡上根系分布较深, 主要集中在 20 ~ 120 cm 的营养空间。这说明土壤水分在一定程度上影响刺槐根系的生长分布, 刺槐在阴坡具有更大的生长潜势。

王佑民等<sup>[10]</sup>的研究证实, 沙棘根系的 1 级根

(细根)在根系与土壤间的物质和能量交换中占主导地位, 根系表面积是根系与土壤营养交换的界面。刘建军<sup>[11, 14]</sup>的研究表明, 在生态学研究, 根系表面积是研究水分吸收或养分吸收试验的最重要参数之一, 在反映根系生长和分布特征的各项指标中, 根系表面积与林木生长的关系非常密切, 因为根系与土壤接触面积的大小, 能够更好地反映林木对土壤环境条件的利用程度。

长期以来, 人们对于植物根系的分布特征, 尤其是根系的垂直分布特征进行了大量的研究<sup>[1, 2, 5, 8, 14, 15]</sup>, 并且逐渐从定性到定量、从静态向动态过渡, 不断加深对根系生长、分布和生理生态意义的认识。强大的根系是地上部分良好生长的决定因素, 并且实践中证实, 采用不同的营林措施, 可以有效地促进林木地上部分的生长<sup>[15~18]</sup>, 提高林地生产力。但是, 对林木根系水平方向分布特征的研究, 仍然有待于进一步加深, 特别是将植被的根系在水平方向和垂直方向的分布特征与当地的环境条件(包括社会环境和自然环境)等联系起来, 进而为当地的植被建设提供理论上的依据和技术上的指导, 这方面的研究尤其显得不足, 还需进一步努力。在黄土高原地区, 有限的土壤水分承载力是植被建设的主要限制因素之一, 深入探讨根系在生态系统中的作用, 进一步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, 提高当地生态系统的自我维持能力和抗干扰能力, 并形成良性循环, 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, 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, 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 ] Farrish K W. Spatial and temporal fine-root distribution in three Louisiana forest soil[ J ]. Soil Sci Soc Am J, 1991, 55: 1752– 1757.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] 廖其兴. 根系研究方法评述[ J ]. 世界农业, 1995, ( 7 ): 23– 24.
- [ 9 ] Coile T S. Distribution of forest tree roots in North Carolina Piedmont soils[ J ]. For J, 1936, 35: 247– 257.
- [ 10 ] 王佑民, 刘秉正. 黄土高原防护林生态特征[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1994. 57.
- [ 11 ] 刘建军. 秦岭油松、锐齿栎根系生态研究[ M ]. 西安: 西北大学出版社, 2002. 36.
- [ 12 ] 李凌浩, 林 鹏, 邢雪荣. 武夷山猕猴桃根生物量和生长量研究[ J ]. 应用生态学报, 1998, 9( 4 ): 337– 340.
- [ 13 ] Sabina Fischer, Silvio Brienza Jr, Konrad Vielhauer, et al. Root distribution in enriched fallow vegetations in NE Amazonia, Brazil[ A ]. Proceedings of the third shift workshop manaus[ C ]. Reinhard Lieberei University of Hamburg, 1998. 181– 184.
- [ 14 ] 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.
- [ 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 ] 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.
- [ 18 ] 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.

## Researches on root distribution characteristics of *Robinia pseudoacacia* stand in Wangdonggou on different site conditions

XUE Wen-peng<sup>1</sup>, ZHAO Zhong<sup>1</sup>, LI Peng<sup>2</sup>, CAO Yang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Forestry, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

<sup>2</sup> Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** By using soil-drilling method, this research investigated the root distribution characters of *Robinia pseudoacacia* in Weibei loess plateau. The results indicated that there were remarkable differences in both the vertical and horizontal root distribution patterns of *Robinia pseudoacacia* on slopes with different directions. And the root distribution patterns of main root indexes, such as root length and surface areas of unit volume of different diameter, changed both in vertical and horizontal directions. Fine root length and surface areas of unit soil volume in the north-facing site are much greater and more equal than that in the south-facing site in vertical and horizontal directions. With horizontal distance increasing, fine root length and surface areas of unit soil volume in the south-facing site are decreasing greatly. The growing potentiality of *Robinia pseudoacacia* in the north-facing site is much better than that in the south-facing site.

**Key words:** *Robinia pseudoacacia*; root distribution; site condition; slope directions