

文章编号: 1001-1498(2008)04-0516-07

窄冠刺槐根系的研究

张 鹏, 兰再平*, 马 可

(中国林业科学研究院世界银行项目办公室, 北京 100091)

摘要: 2006年10月用全挖法和分层分段挖掘法,研究了窄冠刺槐根系的分布特征、根系生物量以及不同密度林分根系空间分布特征。结果表明:窄冠刺槐个体根系水平分布在株间可达到6.6m,在行间可达到5.0m;主根可深达2m以上,侧根垂直分布集中在10~40cm土层内。窄冠刺槐根系生物量占全株生物量的16.82%,主根、侧根的生物量在根系生物量中分别占87.13%、12.87%。窄冠刺槐林分根系生物总量和根总长分别为6160.2~10940.55 kg·hm⁻²和970.35~1607.4 km·hm⁻²,并呈现出根系生物总量和根总长与林分密度成正相关的规律。在垂直方向上,林分根系中直径D<15mm的根主要分布在地下0~20cm土层内,而直径D>15mm的根主要分布在地下20~40cm土层内;在水平方向上,直径D>5mm的根数量随距树干距离增加而减少,而直径D<1mm的根数量则随距树干距离增大而增大,主要集中分布在距树干0.5~1.5m范围内。

关键词: 窄冠刺槐;林分;根系;形态特性;分布特征;生物量

中图分类号: S792.27

文献标识码: A

Study on Root System of Narrow-Crown Clone of Black Locust

ZHANG Peng, LAN Zai-ping, MA Ke

(World Bank Loan Project Office, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: A study was made on the distribution characteristics and biomass of individual tree root system as well as root distribution characteristics of stands in different densities of the narrow-crown clone of black locust (*Robinia pseudoacacia* cl. Zhaiguan), by using the methods of digging out whole root system of the individual and digging out root pieces in different vertical and horizontal locations in the soil of the stands. The result showed that the root distribution between the individual trees and tree lines extended horizontally to 6.6 m and 5 m respectively; and the taproot vertically extended to 2 m below the ground surface with its lateral roots mainly distributing in the soil from 10 cm to 40 cm below the ground surface. The biomass of whole root system accounted for 16.82% of the biomass of whole individual tree, with the biomass of taproot and lateral root taking about 87.13% and 12.87% of the biomass of whole root system. The total biomass and length of the roots of Zhaiguan clonal stands were 6160.2-10940.55 kg·hm⁻² and 970.35-1607.4 km·hm⁻² respectively, and showed a positive relation with the stand densities. In vertically, the roots with diameter less than 15 mm mainly distributed in the soil from 0 to 20 cm below the ground surface, while the roots with diameter more than 15 mm mainly distributed in the soil from 20 to 40 cm below the ground surface. In horizontally, the biomass and length of the roots with diameter equal to or more than 5 mm decreased while the biomass and length of the roots with diameter less than 1 mm increase with the increasing of distance from tree stem in the stand. The roots with diameter less than 1 mm mainly distributed horizontally from

收稿日期: 2007-05-15

基金项目: 林业新技术新产品中间试验项目([2004]13号)

作者简介: 张鹏(1982—),男,四川都江堰人,硕士研究生。

*通讯作者

0.5 m to 1.5 m away from the tree stem in the soil of the stand

Key words: narrow-crown Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) clone; stand; root system; morphologic characteristics; distribution characteristics; biomass

林木根系有利于其从土壤中吸收水分和养分。前人已经对林木根系做了大量的调查研究,包括根系的形态、分布及生物量等^[1-2]。这些年来,随森林生物量研究的发展,林木根系生物量调查研究也得到了发展^[3-10]。林木的根系发育,除受遗传影响外,还受立地条件、年龄及树种混交的影响,在这些方面也有较多的报道^[11-25],对刺槐根系的研究也较多^[26-30]。

窄冠刺槐 (*Robinia pseudoacacia* cl Zhaiguan)^[31]是 1992 年从普通刺槐类型中选出的新的刺槐优良无性系,并于 2005 年被国家林木品种审定委员会认定为国家级林木良种(良种编号:国 R-SC-RP-004-2005)。它具有生长快、干形好、分枝角度小和托叶刺小等优良性状。由于窄冠刺槐是新选育出的刺槐优良品种,且前人研究的刺槐 (*Robinia pseudoacacia* Linn) 根系基本都集中在黄土区,研究根系分布特征^[26-28]以及毛细根分布^[26-27,29-30],关于窄冠刺槐根系以及在风沙土立地条件下根系分布的研究至今还是一片空白,因此,为了全面系统地揭示窄冠刺槐新品种根系生物学特性以及不同密度林分根系在风沙土立地条件下的空间分布特征,为将来窄冠刺槐的造林、经营管理以及推广应用提供科学依据,于 2006 年 10 月对窄冠刺槐根系生物学特征以及林分根系分布特征进行了调查研究。

1 自然条件及林分概况

研究地点位于河南省濮阳市濮阳林科所林场,地处黄泛平原,年平均气温 13.4℃,年降水量 652 mm,无霜期 205 d。试验林于 1997 年春天栽植,面积为 0.33 hm²,栽植株行距分别为 2 m × 3 m、2 m

× 4 m、3 m × 4 m,平均胸径分别为 12.1、13.3、14.7 cm,平均树高分别为 12.9、14.6、15.7 m。林下植被灌木稀少,以草本植物为主,平均盖度 30% 左右。窄冠刺槐各密度林分土壤类型为风沙土。林下枯枝落叶层厚度约 2 cm,腐殖质层不明显,淋溶层厚度约 70 cm,再往下就是沙土母质层,在土壤 1.5~2 m 处有 20 cm 左右厚的胶泥层分布。

2 研究方法

2.1 全挖法^[32-33]

于 2006 年 10 月,在窄冠刺槐株行距 3 m × 4 m 林分中挖掘 1 株优势木的完整根系,测量其水平分布范围和垂直分布范围。测量主根长度、1 级侧根数量、基部直径、根长、深度、方位、与地面夹角以及 2 级、3 级侧根数量和根长。

分别对主根、1 级、2 级以及 3 级(含以下)侧根称取生物鲜质量,并分别取样带回实验室在 105℃ 温度下烘干,称其质量。

2.2 分层分段挖掘法^[30]

在窄冠刺槐 3 种密度林中分别选择 4 株标准木,分别在 4 株标准木与相邻木的株间(东西向)、行间(南北向)以及西南向和西北向 2 个斜对角方向(图 1)挖掘 50 cm 宽的沟直到相邻树木基部,分土层(0~20、20~40 cm)分段(每段 50 cm 长)取土。将各层土壤用 1 mm 孔径的筛子过筛,拣出所有根系,按 $D < 1$ mm, 1 mm $< D < 5$ mm, 5 mm $< D < 10$ mm, 10 mm $< D < 15$ mm 和 $D > 15$ mm 的标准分为 5 级,并测量每级所有根系鲜质量和根长,并从每个级别根系中取样烘干测干质量。

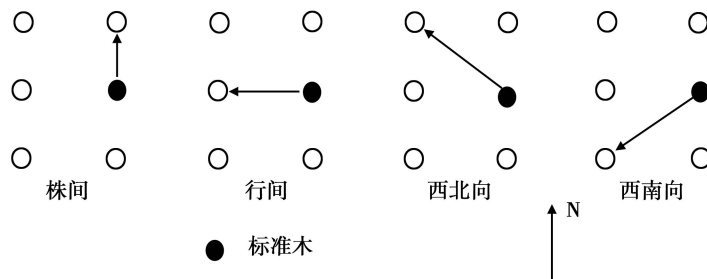


图 1 林分根系挖掘示意图

3 结果与分析

3.1 窄冠刺槐个体根系总体分布范围

株行距 3 m ×4 m 林分优势木树高 16.4 m, 胸径 17 cm, 冠幅东西 4.8 m, 南北 4.4 m。其根系在水平方向上, 东西向 (行间) 可达到 6.6 m, 南北向 (株间) 可达到 5.0 m, 斜对角方向水平分布 4.9 m 左右; 垂直方向上, 主根深度可达到 2.1 m 以上, 侧根分布较浅, 绝大部分根系分布在地表下 10~40 cm 的土层内, 再往下只有少量细根分布, 占总根量的比例极小。窄冠刺槐根系分布如图 1 (水平) 和图 2 (垂直) 所示。

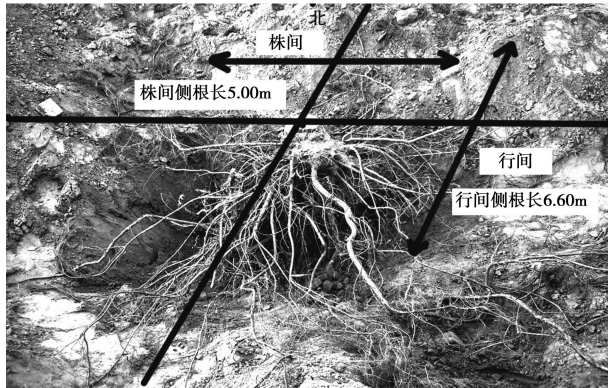


图 2 窄冠刺槐根系水平分布

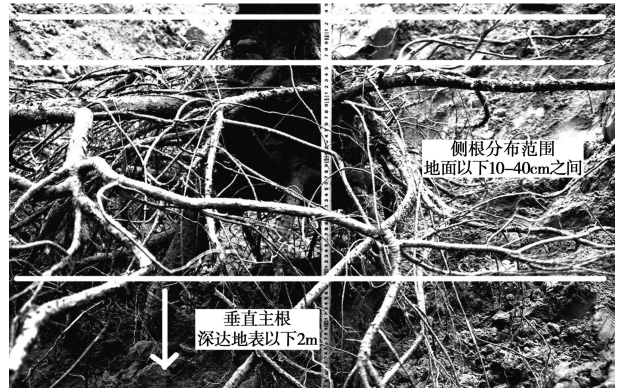


图 3 窄冠刺槐根系垂直分布

3.2 个体根系分布特性及侧根分布规律

3.2.1 1级侧根分布特征

(1) 1级侧根的垂直与水平分布规律 对挖掘出的根系进行观察, 可比较清晰的观察到窄冠刺槐根系的分布情况。1级侧根着生在主根的部位主要是在地表以下 7~35 cm, 而且 1级侧根与地面的夹角都很小, 基本保持水平。以东向为 X 轴 (正向), 将根系分布平面按逆时针分为 4 个象限, 1级侧根数量分别为 12、9、6、6 根, 以第 1 象限 (东北方向) 居多。

(2) 1级侧根粗度、长度及其数量分布 从图 4 可看出, 1级侧根数量为 33, 按径级划分, 基部直径在 1 cm 以下的仅有 1 根, 长 1.9 m; 基部直径为 1~2 cm 的有 15 根, 根长为 1.1~3.3 m; 基部直径为 2~3 cm 的有 14 根, 根长范围为 1.1~3.3 m; 基部直径在 3 cm 以上的有 3 根, 根长为 2.9~4 m。按根长划分, 根长 1~2 m 的有 20 根, 直径 0.9~2.9 cm; 根长 2~3 m 的有 7 根, 直径范围 1.4~3.0 cm; 根长 3 m 以上的有 6 根, 直径 1.5~3.7 cm; 所有 1级侧根根总长为 70.85 m。由图 4 可以看出, 各点分布没有明显规律, 1级侧根粗度和长度并无相关性。

3.2.2 2级侧根分布特征 着生在 1级侧根上的 2级侧根数量为 867 根, 根总长约为 247.43 m。根长在 0.5 m 以下的有 737 根, 占 2级侧根总数 85.01%; 根

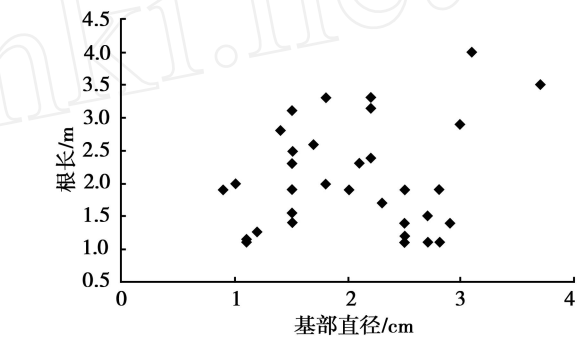


图 4 窄冠刺槐 1级侧根数量分布

长 0.5~1 m 的有 91 根, 占 10.50%; 根长 1~1.5 m 的有 23 根, 根长 1.5~2.0 m 的有 11 根, 根长在 2 m 以上的有 5 根, 分别占 2级侧根总数的 2.65%、1.27% 和 0.58% (图 5)。

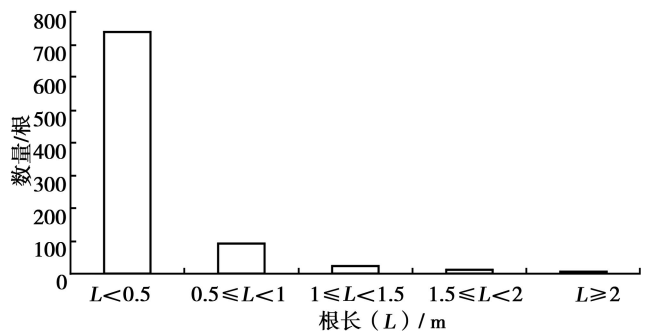


图 5 窄冠刺槐不同根长 2级侧根数量分布

3.2.3 3级侧根分布特征 着生在 2级侧根上的 3级侧根约为 2 538根,根总长约为 420.15 m。几乎全为根长在 0.5 m以下的根系,其数量有 2 404根,占 3级侧根总数 94.72%;根长 0.5~1.0 m的有 111根,占 4.37%;根长 1.0~1.5 m的有 18根,根长 1.5~2 m的有 4根,根长 2 m以上的有 1根,三者总共才占不到 1%的比例(图 6)。

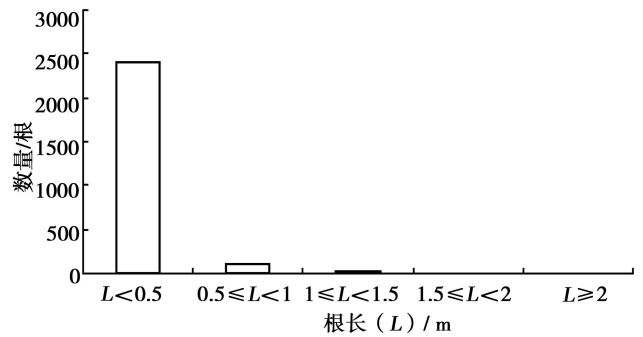


图 6 窄冠刺槐不同根长 3级侧根数量分布

3.3 窄冠刺槐个体根系生物量

将根系样品带回实验室在 85 温度下烘干称质量后,按含水率换算求得根系各部分生物干质量(表 1)。

表 1 窄冠刺槐单株根系生物质量

项目	根桩及主根	1级侧根	2级侧根	3级(及以下)侧根	合计
鲜质量 /kg	39.5	6.1	1.4	0.4	47.4
干质量 /kg	23.7	2.9	0.5	0.1	27.2
占干质量比例 /%	87.13	10.66	1.84	0.37	100.0

根桩及主根占根系生物干质量的比例为 87.13%,1级、2级和 3级侧根根系生物干质量占根系总生物干质量的比例分别为 10.66%、1.84%和 0.37%。

3.4 不同密度林分根系总量及根长

3.4.1 根总量 由表 2可以看出:3个林分中,株行距 3 m ×4 m和 2 m ×4 m林分的根系生物量比较接近,分别为 7 160.4、6 160.2 kg · hm⁻²,而株行距 2 m ×3 m密度林分的根系生物总量远比这 2个林分的大,为 10 940.55 kg · hm⁻²。

各径级根系的生物质量也是株行距 3 m ×4 m和 2 m ×4 m林分的比较接近,均比 2 m ×3 m林分的小,尤其体现在 D < 1 mm根系和 D = 15 mm根系上,这 2个林分 D < 1 mm的吸收根根系生物质量分别是 120、100.05 kg · hm⁻²,2 m ×3 m的林分高达 180 kg · hm⁻²。

3.4.2 根总长 由表 3看出:3个密度林分根系根总长差异以及各径级根系根总长差异与根系生物质量差异相同,表现为 3 m ×4 m和 2 m ×4 m林分相对比较接近,而 2 m ×3 m林分则远比这 2个密度林分的大。

表 2 不同株行距林分各径级根生物总量

株行距 / (m ×m)	深度 /cm	根系直径 (D) /mm					合计
		D < 1	1 ≤ D < 5	5 ≤ D < 10	10 ≤ D < 15	D = 15	
3 ×4	0~20	79.95	390.00	460.05	540.00	1 490.10	2 960.10
	20~40	40.05	160.05	319.95	340.05	3 340.20	4 200.30
2 ×4	0~20	70.05	469.95	450.00	349.95	2 160.15	3 500.10
	20~40	30.00	180.00	259.95	300.00	1 890.15	2 660.10
2 ×3	0~20	109.95	340.05	250.05	349.95	3 070.20	4 120.20
	20~40	70.05	289.95	409.95	400.05	5 650.35	6 820.35

表 3 不同株行距林分各径级根系根总长

株行距 / (m ×m)	深度 /cm	根系直径 (D) /mm					合计
		D < 1	1 ≤ D < 5	5 ≤ D < 10	10 ≤ D < 15	D = 15	
3 ×4	0~20	382.35	298.35	38.25	15.30	8.40	742.65
	20~40	187.95	94.65	21.15	8.85	10.20	322.80
2 ×4	0~20	348.45	284.40	40.65	11.25	9.75	694.50
	20~40	143.40	95.85	18.45	7.95	10.20	275.85
2 ×3	0~20	677.55	290.70	27.75	8.40	14.70	1 019.10
	20~40	343.50	171.15	33.45	12.75	27.45	588.30

3.5 林分各径级根系单位面积根总量及根总长的垂直分布

图 7、8 所示, $D < 15$ mm 根系主要分布在 0 ~ 20 cm 土层内, 而 $D \geq 15$ mm 根系主要分布在 20 ~ 40 cm 土层内, 随根系直径增大, 这些根系在上层土壤分布的比例逐渐降低。在 0 ~ 20 cm 土层内, $D < 1$

mm、1 mm $D < 5$ mm、5 mm $D < 10$ mm、10 mm $D < 15$ mm、 $D \geq 15$ mm 根长和根质量占该径级根总长和根总质量的比例分别是 67.6% 和 65.02%; 70.71% 和 65.58%; 59.4% 和 53.96%; 54.17% 和 54.38%; 40.78% 和 38.18%。

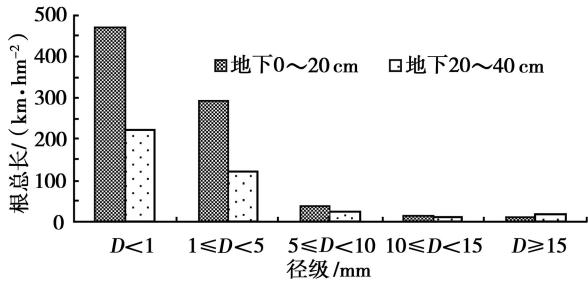


图 7 林分各径级根系根总长的垂直分布

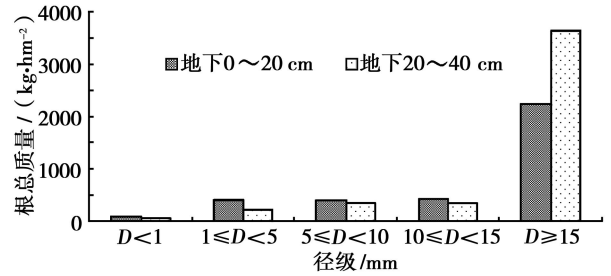


图 8 林分各径级根系根总质量垂直分布

3.6 林分各径级根系单位面积根总量及根总长的水平分布

在 0 ~ 40 cm 范围内, 株行距 3 m × 4 m 林分各径级根系单位面积 (1 m²) 根总量 (g) 及根总长 (m) 的水平分布如图 9 ~ 12。

3.6.1 株间水平分布 在株间水平方向, $D < 1$ mm 径级根系的单位面积根总量及根总长随距树干距离增大而增大, 并在距树干 1/2 株距左右达到最大值; $D \geq 1$ mm 径级根系的单位面积根总量及根总长都随距树干距离增大而有不同程度的减小, 在距树干

处分布最多 (图 9、10)。

3.6.2 行间水平分布 在行间水平方向, 随距树干距离的增大, $D < 1$ mm 根系的单位面积根总量及根总长呈现先增大后减小的趋势, 在距树干 0.5 ~ 1 m 范围内根系分布达到最大值; $1 \leq D < 5$ mm 根系的单位面积根总量及根总长呈现先减小后增大的趋势, 在距树干 1 ~ 1.5 m 范围内分布最少; $D \geq 5$ mm 径级根系的单位面积根总量及根总长都随距树干距离增大而有不同程度的减小, 在距树干处分布最多 (图 11、12)。

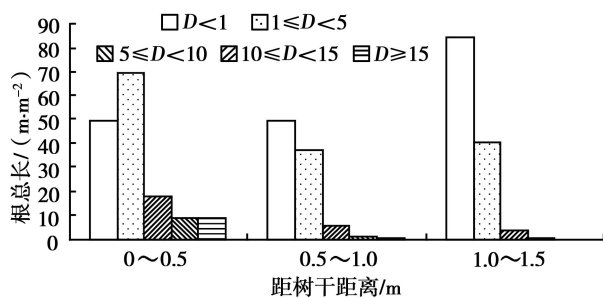


图 9 株行距 3 m × 4 m 林分各径级根系根总长株间水平分布

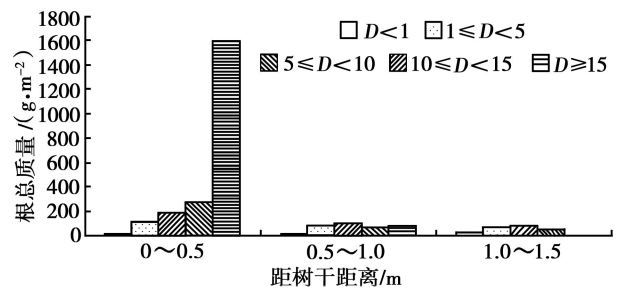


图 10 株行距 3 m × 4 m 林分各径级根系总质量株间水平分布

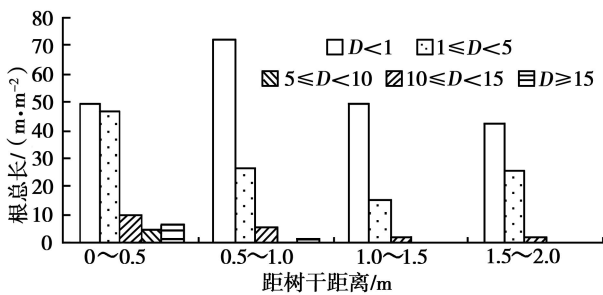


图 11 株行距 3 m × 4 m 林分各径级根系总长行间水平分布

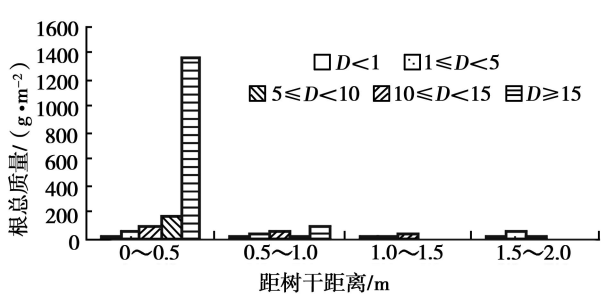


图 12 株行距 3 m × 4 m 林分各径级根系总质量行间水平分布

3.6.3 斜对角水平分布 在斜对角方向,随距树干距离的增大, $D < 1$ mm 根系和 $1 \text{ mm} < D < 5$ mm 根系变化趋势相同,其单位面积根总量及根总长变化都呈现先增大后减小再增大的趋势,在距树干

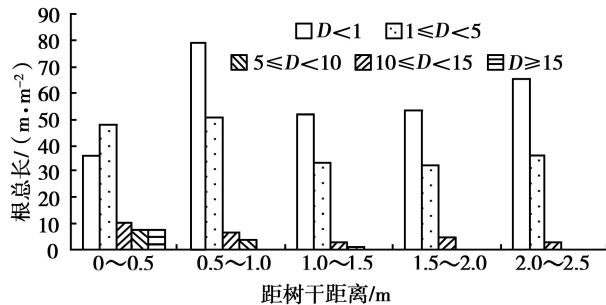


图 13 株行距 3 m × 4 m 林分各径级根系总长的斜对角水平分布

对株行距 2 m × 4 m 林分和 2 m × 3 m 林分作了同样的调查研究,结果与 3 m × 4 m 林分类似,本文不再作详尽的说明。

4 结论

(1) 9年生窄冠刺槐根系水平分布东西向(行间)可达到 6.6 m,南北向(株间)可达到 5 m,斜对角方向水平分布 4.9 m 左右。垂直方向上,刺槐主根深度可达到 2.1 m 以上,侧根分布较浅,集中分布在 10~40 cm 土层内。1级侧根着生在主根的部位主要是在 7~35 cm 土层内,与地面夹角很小,基本保持水平。2级、3级侧根根长在 50 cm 土层以下的分别占各级侧根总数的 85.01%和 94.72%。这说明,栽植窄冠速生刺槐要求土壤深度至少在 50 cm 以上,才能使窄冠刺槐的侧根有足够的生长空间,否则会影响窄冠刺槐根系的正常发育。

(2) 9年生窄冠刺槐胸径 17 cm,树高 16.4 m,根系生物质量 27.2 kg,占全株生物干质量的 16.82%;主根占根系生物干质量的 87.13%;侧根占根系生物干质量的 12.87%。窄冠刺槐 1、2、3级(含以下)侧根生物干质量分别为 2.9、0.5、0.1 kg,而窄冠刺槐 1、2、3级侧根的总长分别为 70.85、247.43、420.15 m。

(3) 株行距 2 m × 3 m 林分的根总量以及根总长分别比 3 m × 4 m、2 m × 4 m 林分的大,株行距 3 m × 4 m 林分和 2 m × 4 m 林分的根总量以及根总长相对比较接近。窄冠刺槐林分根系的根总量及根总长均随栽植密度的增大而增大。9年生窄冠刺槐,株行距 2 m × 3 m 林分的平均胸径为 12.1 cm,平均树高 12.9 m,根总量和根总长分别为 10 940.55 kg

0.5~1 m 和 2~2.5 m 范围内出现峰值,在距树干 0.5~1 m 范围内分布达到最大值; $D < 5$ mm 径级根系的单位面积根总量及根总长都随距树干距离增大而有不同程度的减小(图 13、图 14)。

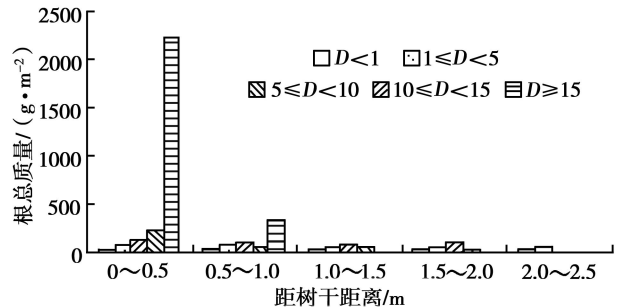


图 14 株行距 3 m × 4 m 林分各径级根系总量的斜对角水平分布

· hm^{-2} 和 $1 607.4 \text{ km} \cdot \text{hm}^{-2}$; 2 m × 4 m 林分平均胸径 13.3 cm,平均树高 14.6 m,根总量和根总长分别为 $6 160.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $970.35 \text{ km} \cdot \text{hm}^{-2}$; 3 m × 4 m 林分平均胸径 14.7 cm,平均树高 15.7 m,单位面积根总量和根总长分别为 $7 160.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $1 065.45 \text{ km} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。由此可见黄泛平原地区风沙土土质类型的立地上窄冠刺槐根系发达,比较适宜窄冠刺槐生长。

(4) 随距树干距离的增大,窄冠刺槐林分不同径级根系在不同方位的水平分布和分布的规律不同。总的说来, $D < 5$ mm 的根系单位面积根总量及根总长在不同方位都是随着距树干距离增大而减小。

(5) 窄冠刺槐林分中,吸收根通常指 $D < 1$ mm 的细根,主要分布在 0~20 cm 土层内,并基本随着距树干距离的增大而增大,在株间 1/2 株距(距树干 1.5 m 左右),行间距树干 0.5~1 m 范围,斜边距树干 0.5~1、2~2.5 m 范围内分布均达到最大值。可以以此为依据,制定窄冠刺槐施肥方案,确定开沟施肥的深度以及离树干的距离,这样既能保证养分被最大限度的吸收,又能节省人力物力。

参考文献:

- [1] Dr·Nom Kafizumi 树木根系图说 [M]. 日本东京:诚文堂新光社,1979
- [2] 向师庆,赵相华.北京主要造林树种的根系研究(续) [J]. 北京林业学院学报,1981,3(2): 19-32
- [3] 黄建辉,韩兴国,陈灵芝.森林生态系统根系生物量研究进展 [J]. 生态学报,1999,19(2): 270-277
- [4] 韩有志,梁胜发.华北落叶松人工林根系分布及根系生物量研究 [J]. 山西林业科技,1997(3): 36-40

- [5] 李红丽,董智,王林和,等.浑善答克沙地榆树根系分布特征及生物量研究[J].干旱区资源与环境,2002,16(4):99-105
- [6] 崔浪军,梁宗锁,韩蕊莲,等.沙棘-杨树混交林生物量、林地土壤特性及其根系分布特征研究[J].林业科学,2003,39(6):1-7
- [7] 朱慧,洪伟,吴承祯,等.天然更新的檫木林根系生物量的研究[J].植物资源与环境学报,2003,12(3):31-35
- [8] 邓坤枚,罗天祥,张林,等.云南松林的根系生物量及其分布规律的研究[J].应用生态学报,2005,16(1):21-24
- [9] 梅莉,王政权,韩有志,等.水曲柳根系生物量、比根长和根长密度的分布格局[J].应用生态学报,2006,17(1):1-4
- [10] 刘兴良,马钦彦,杨冬生,等.川西山地主要人工林种群根系生物量与生产力[J].生态学报,2006,26(2):542-551
- [11] 张国盛,王林和,李玉灵,等.毛乌素沙地臭柏根系分布及根量[J].中国沙漠,1999,19(4):378-383
- [12] 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,2000,11(1):37-39
- [13] 鲁少波,刘秀萍,鲁绍伟,等.林木根系形态分布及其影响因素[J].林业调查规划,2006,31(3):105-108
- [14] 张宇清,齐实,孙立达,等.两种立地条件梯田坝坎红柳根系特征研究[J].北京林业大学学报,2002,24(2):44-47
- [15] Galeonr, Grigaldf, Hardingth. Soil productivity index: predictions of site quality for white spruce plantation[J]. Soil Sci Soc Am J, 1991,55:1701-1708
- [16] 任安芝,高玉葆,王金龙.不同沙地生境下黄柳的根系分布和冠层结构特征[J].生态学报,2001,21(3):399-404
- [17] Jackson R B, Canadell J, Mooney H A. A global analysis of root distribution for terrestrial biomes[J]. Oecologia 1996, 180: 389-411
- [18] Lyr H, Hoffmann G. Growth rates and growth periodicity of tree roots[J]. Int Rev For Res, 1967, 2: 181-236
- [19] Coile T S. Distribution of forest tree roots in North Carolina Piedont soils[J]. J For, 1936, 35: 247-257
- [20] 王文全,贾渝彬,胥丽敏,等.毛白杨根系分布的研究[J].河北农业大学学报,1997,20(1):24-29
- [21] 翟明普.北京西山地区油松元宝枫混交林根系的研究[J].北京林学院学报,1982,4(1):1-11
- [22] 刘春江.北京西山地区人工林油松栓皮栎混交林根系研究初报[J].北京林学院学报,1985,7(1):77-84
- [23] 谢文华,徐小牛,李宏开,等.马尾松杜仲混交林根系特性研究[J].安徽农业大学学报,1995,22(3):256-261
- [24] 张彦东,沈有信,白尚斌,等.混交条件下水曲柳落叶松根系的生长与分布[J].林业科学,2001,37(5):16-23
- [25] 崔浪军,梁宗锁,韩蕊莲,等.沙棘-杨树混交林生物量、林地土壤特性及其根系分布特征研究[J].林业科学,2003,39(6):1-7
- [26] 李鹏,赵忠,李占斌,等.淳化县不同立地上刺槐根系的分布参数[J].南京林业大学学报,2002,26(5):32-36
- [27] 李鹏,李占斌,赵忠,等.渭北黄土高原不同立地上刺槐根系分布特征研究[J].水土保持通报,2002,22(5):15-19
- [28] 李鹏,赵忠,李占斌,等.渭北黄土区刺槐根系空间分布特征研究[J].生态环境,2005,14(3):405-409
- [29] 薛文鹏,赵忠,李鹏,等.王东沟不同坡向刺槐细根分布特征研究[J].西北农林科技大学学报,2003,31(6):27-32
- [30] 王进鑫,王迪海,刘广全.刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究[J].西北植物学报,2004,24(12):2208-2214
- [31] 兰再平,马可,张怀龙,等.窄冠刺槐无性系的选育[J].林业科学研究,2007,20(4):520-523
- [32] M 达拉诺夫斯卡娅.根系研究方法[M].李继云,等译.北京:科学出版社,1962
- [33] W 伯姆.根系研究法[M].薛德容,等译.北京:科学出版社,1985