

延安燕沟流域刺槐根系分布特征

张良德¹, 徐学选^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 根系分布特征有着特殊的生态意义, 它反映出林木适应和改善环境的功能。采用土钻法对延安燕沟流域阴坡刺槐根系分布特征进行调查和研究。结果表明, ①细根集中分布在表层 0~60 cm 土层, 粗根根系密度分布呈“高-低-高”3 个密度区, 且 80~100 cm 土层为低密度区; ②细根和粗根生物量水平分布均可用“抛物线”描述; ③随着距树干距离的增加, 细根根系消弱系数 β 值逐渐增大, 150 cm 处 β 值达到最大, 为 0.994, 而粗根根系消弱系数 β 在 100 cm 处达到最大, 为 0.992; ④水平方向 0~150 cm 范围内, 细根根系消弱系数 β 值(0.992) 大于粗根根系消弱系数 β 值(0.990), 说明细根的分布深度大于粗根, 这种分布特征扩大了刺槐对水分养分的吸收利用空间。

关键词: 刺槐; 根系密度; 根系消弱系数

中图分类号: S792.27

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2011)02-0009-06

Distribution Characters of *Robinia pseudoacacia* Root in Yangou Watershed in Yan'an

ZHANG Liang de¹, XU Xue xuan^{1,2*}

(1. College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Root distribution characters represent special ecological significance, as they indicate the adaptability and improvement of trees to the environment. Soil drilling method was adopted to investigate the root distribution characters of *Robinia pseudoacacia* in northern hillside of Yangou watershed. The results indicated that. ① fine roots were concentrated in the soil layer of 0 - 60 cm, coarse root density distribution appeared in "high- low- high" three density areas, and 80- 100 cm soil was the low-density area; ② the horizontal distribution of fine and coarse root biomass can be described by "parabola"; ③ with the increase of the distance away from the trunk, the value of root extinction coefficient β for fine roots gradually increased, the maximum value of β was 0.994 in the 150 cm and for the coarse root was 0.992 in the 100 cm; ④ within the horizontal range of 0- 150 cm, the fine root extinction coefficient β (0.992) was greater than the coarse root (0.990), showing that the depth distribution of fine root was greater than coarse roots, which expanded the space of absorption and utilization for locust on moisture and nutrients.

Key words: *Robinia pseudoacacia*; root density; root extinction coefficient

根系是植被与土壤界面进行物质和能量交换的唯一桥梁, 其数量、组成和分布对林木地上部分生产力有较大的影响, 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; 它对树木的生长具有决

定性作用^[1-3]。近年来, 有关林木根系的研究已成为森林培育学研究中的一个热点^[4], 长期以来人们对细根的划分尚无统一的标准, 一般将直径在 2~5 mm 以下的根定义为细根^[5], 但直径 < 2 mm 已被大

收稿日期: 2010-03-04 修回日期: 2010-06-25

基金项目: 中国科学院知识创新工程“百人计划”项目(KZCX2-YW-BR-02); 中国科学院“西部之光”项目(2007ZD02)。

作者简介: 张良德, 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 流域管理与水土保持。E-mail: zhangld09@163.com

* 通讯作者: 徐学选, 男, 研究员, 主要研究方向: 土壤水分生态、生态水文。E-mail: xuxue xuan@nwsuaf.edu.cn

多数学者认同,并将其归为吸收根即有效根,主要进行水分和养分的吸收,同时研究人员利用根系密度来反映根系的分布特征^[1]。刺槐(*Robinia pseudo-acacia*)属温带树种,根系发达,有较强的抗旱、耐盐碱能力,对干旱贫瘠的土壤环境适应性较强,具有巨大的土壤网络能力,曾经一度被认为是浅根性树种^[2],但是近年来的研究证实^[3],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,因此成为黄土高原地区主要的水土保持树种。多年来,退耕还林还草等生态工程的实施,虽然使黄土高原地区森林覆盖率有了很大的提高,但是在植被建设中普遍存在着造林成活率、保存率低,人工林生产力不高、稳定性差,水土保持效率低,“小老头树”随处可见等问题,土壤环境呈现干燥化,如何调节之间的矛盾,出路在于研究植物的根系行为对土壤环境的影响。

林木年龄和土壤特性对根系分布及形态的影响可以通过根系垂直分布特征的差异表现出来。H. Lyr 和 G. Hoffmann^[6] 研究认为,一般林木在苗期就可以达到根系垂直分布的最大值,刺槐根系分布在 4 a 时就可以达到 3.7 m 的深度。T. S. Coile^[7] 的研究也同样证实,尽管根系密度随着林龄的增大而增加,但是在一定年龄就可以达到水平分布和垂直分布的极值。在一定程度上根系分布反映了土壤中物质和能量被利用的可能性以及土壤生产力,因而,了解林木根系的分布特征,明确其对水分和养分的吸收利用能力,对充分发挥林地生产力,具有十分重要的意义。本研究旨在通过调查,研究延安市燕沟流域阴坡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) β 的值,为加强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 调查地概况

选取陕西省延安燕沟流域阴坡刺槐作为研究对象。研究区多年平均降水量为 558.4 mm,6~9 月降水量占全年降水量的 70% 以上,年平均气温 9.8℃,土壤以黄绵土为主,土壤有机质含量低。植被地带属于暖温带落叶阔叶林向干旱草原过渡的森林草原区。供试验用的刺槐林位于燕沟流域康圪崂小流域的半阴坡上,林分密度约 2 500 株·hm⁻²,坡向北偏西 21°,坡度 46°。

1.2 根样获取与处理

在试验地内随机选取 30 株样本,进行每木检

尺,并从中选择 4 株平均样本,树龄 7 a、平均胸径 6.82 cm。采用 1/4 样圆法对根系进行调查(图 1),取样时,以样本为中心分别在半径 20、50、100、150 cm 的圆弧线上按等距确定 3 个取样点,垂直方向 0~350 cm 范围按每 20 cm 土层钻取土样(=9 cm),将所取土样用密封的塑料袋装好带回实验室,按直径 $d \leq 2$ mm(细根)和 $d > 2$ mm(粗根)进行分级,然后,用清水洗净放入烘箱 80℃ 烘干至恒重,再分别称重和记录。

1.3 数据处理

某土层特定径级根系密度 ρ (kg·m⁻³) 按照公式(1)进行计算^[8]:

$$\rho = m / (1000\pi r^2 h) \quad (1)$$

式中, r 为土钻半径(0.045 m); h 为土层深度(0.2 m); m 为某土层内根系质量(g)。

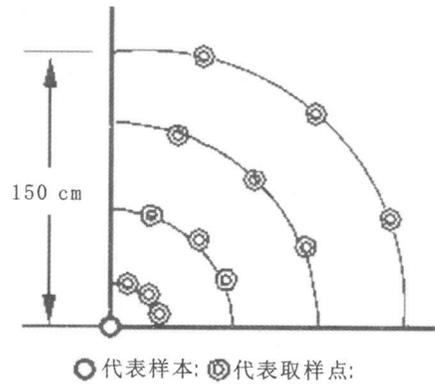


图 1 根系调查取样示意

Fig. 1. Indication of sampling

2 结果与分析

2.1 刺槐根系生物量空间分布特征

2.1.1 刺槐根系生物量垂直分布特征 邵明安^[9] 等研究认为,植物吸水速率与根密度不是简单的正比关系,而是和有效根密度有关,即与吸水能力较强的细根有关。当土壤水分充足时,有效根系密度对吸水速率影响较小;随着土层变干,有效根系密度在吸水方面起着非常重要的作用^[10],特别是在黄土高原地区,降雨量比较少,有效根系密度分布与有限降水资源的高效利用、森林生态系统中水量的平衡与转换紧密相关。

由图 2 可以看出,20、50、100、150 cm 处细根根系密度垂直剖面随深度的增加都在衰减,140 cm

以下趋于稳定,表层 0~60 cm 土层根密度最大,这

与李鹏^[11]等的研究结果基本相一致。随着距树干距离的增加, 表层 0~ 60 cm 土层根系所占比重减少; 20 cm 处, 0~ 60 cm 土层细根根系密度占整个剖面(0~ 350 cm) 的 59.48%; 50 cm 处, 0~ 60 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 46.48%; 100 cm 处, 0~ 60 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 42%; 150 cm 处, 0~ 60 cm 土层细根根系密度占整个剖面的 41.02%。由此可知 0~ 60 cm 土层是细根根系密度分布的高密度区, 是刺槐进行水分和养分吸收的主要区域。

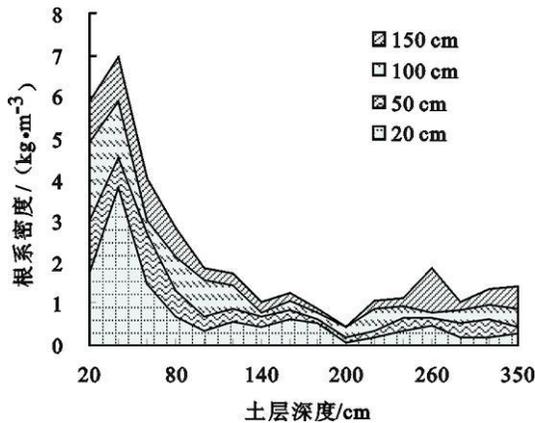


图 2 距离树干不同距离处细根 ($d \leq 2$ mm) 垂直分布
Fig. 2. Vertical distribution of fine roots ($d \leq 2$ mm) from the tree trunk

由图 3 可知, 粗根根系密度分布呈“高低高”3 个密度区域, 即 0~ 80 cm 和 100~ 180 cm 土层是粗根根系密度分布的高密度区, 80~ 100 cm 是粗根根系密度分布的低密度区。在高密度区, 距树干 20 cm 处粗根根系密度占整个剖面的 90% 以上; 距离树干 50 cm 处粗根根系密度占整个剖面的 96% 以上; 距离树干 100 cm 和 150 cm 处粗根根系密度占整个剖面的比重都超过 70%。由图 2 图 3 还可以看出, 刺槐根系水平分布大于 150 cm; 细根分布深度大于 350 cm, 而粗根最大分布深度为 260 cm。

由于黄土高原特殊的水文特征, 其降水入渗深度一般在 2 m 以内, 没有深层渗漏。赵忠^[12]等对黄土高原不同水分生态区刺槐细根垂直分布差异的研究表明, 该区刺槐细根垂直分布与土壤水分在剖面上的垂直分布规律基本一致, 在水分活跃层细根表面积达到峰值, 水分双向补偿层细根分布比较集中, 水分相对稳定层细根分布较少。由图 2 可知, 距离树干 20、50、100、150 cm 处刺槐细根根系密度在 40 cm 深度的土层中达到峰值, 这可能与水分活跃层土壤强烈的水热交换作用有关, 强烈的水热交换

作用有利于根系的生长和发育; 刺槐细根系即有效根系的这种分布特征有利于树木从距离树干水平方向 0~ 150 cm、垂直方向 0~ 350 cm 深度的土层中吸收土壤水分和养分, 具有更大的水分养分吸收空间; 并且细根系集中分布在表层 0~ 60 cm 土层, 可以大大提高对降水的利用率, 在一定程度上减少地表径流, 达到减少水土流失的目的, 并且使细根受外界环境条件(降雨、蒸发等)的制约小, 有利于刺槐在干旱环境中的生长发育。

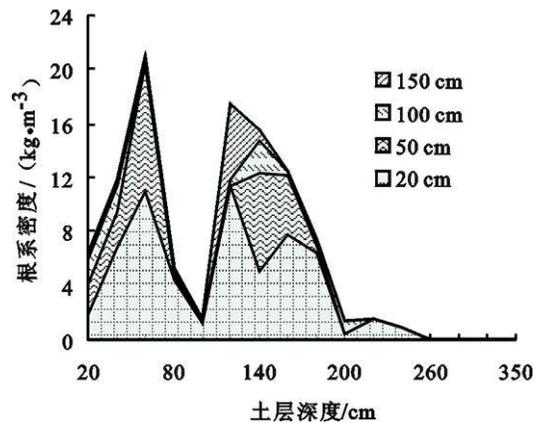


图 3 距离树干不同距离处粗根 ($d > 2$ mm) 垂直分布
Fig. 3. Vertical distribution of coarse roots ($d > 2$ mm) from the tree trunk

2.1.2 刺槐根系生物量水平分布特征 赵忠^[3]等研究指出, 粗根系占总根系的比重最大, 由于粗根系不具有吸收功能, 或者说吸收功能较差, 虽然它占总根系的比重最大, 但这种差异也不会对树木的吸收功能产生太大的影响, 即不会对树木生长产生根本性的差别; 细根系生物量虽然占总根系的比重较小, 但由于细根是树木进行水分和养分吸收的主要器官, 其生物量的差异对树木的生长起到了决定性的作用。由图 4 可以看出, 刺槐细根系和粗根系生物量水平分布均可用“抛物线”描述。粗根系生物量随着距树干距离的增加迅速降低, 在 20 cm 处粗根系生物量达到最大值, 占总根系密度的比例超过 55%; 细根系的生物量随着距离的增加变化幅度较小, 且粗根系生物量远远大于细根系生物量, 是细根系生物量的 3 倍。

2.2 刺槐根系分布特征参数

M. R. Gale 和 M. R. Grigal^[14-15]等通过对不同演替阶段林木根系分布特征的研究, 提出了一个根系垂直分布模型:

$$Y = 1 - \beta^d \quad (2)$$

式中: Y 为从地表到一定土层深度 (cm) 的根系生物量累积百分比; d 为土层深度 (cm); β 为根系消

弱系数(root extinction coefficient)。β值越大,根系在深层土壤中分布的比例越大;反之,则说明根系集中分布于接近地表的土层中。β值的大小与根系体积和根系密度无关,只是说明了根系的垂直分布特征与深度的关系,β作为描述植被根系垂直分布

特征的主要参数,其研究在最近几年中得到广泛的应用^[16]。本研究采用数值模拟的方法来求解刺槐根系的垂直分布特征参数,对不同径级刺槐根系的垂直分布特征进行进一步的分析。

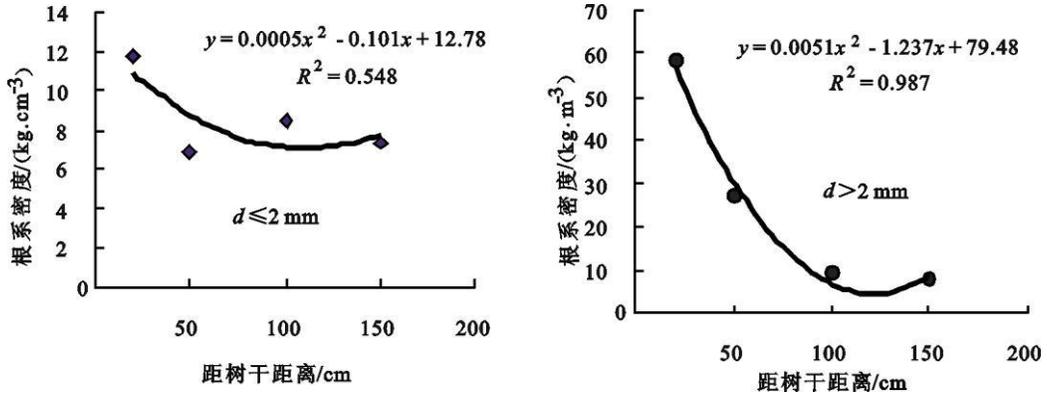
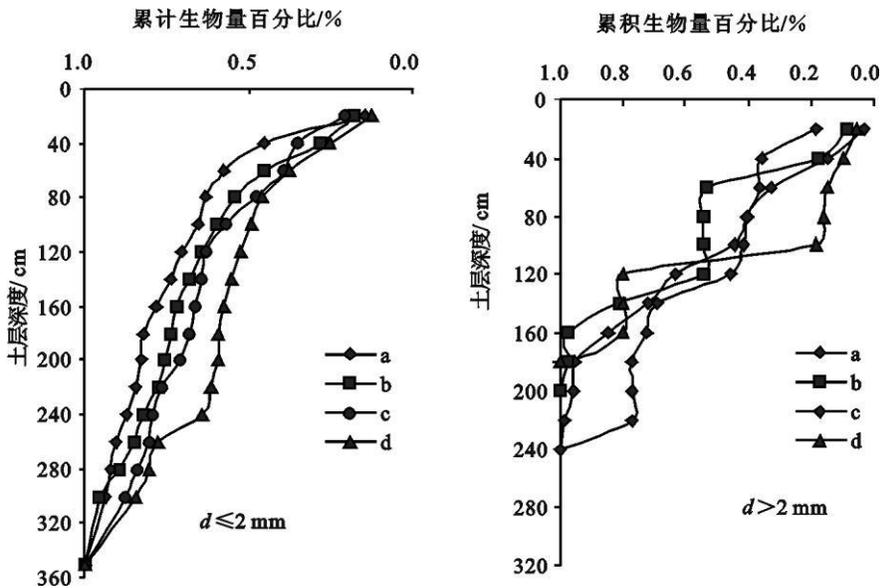


图 4 刺槐根系水平分布特征

Fig. 4 Horizontal distribution characters of the locust roots

计算分析得出,不同径级刺槐根系生物量累积分布特征都符合公式(1)的形式,且具有较高的相关性。这说明根系消弱系数β能够较好的描述不同径级刺槐根系的垂直分布特征,并且较为直观的反映了刺槐根系垂直分布的差异性(图5)。(左图)距树干不同距离处,细根累积生物量百分比在0~80 cm土层迅速增加,80~240 cm土层生物量累计百分比增加缓慢,240 cm以下生物量累计百分比均匀稳

定增加,即呈“快-慢-稳”的趋势增加。(右图)距树干不同距离处,粗根累积生物量百分比变化无规律性,这可能是土钻法对于粗根系具有偶然性的缘故。由图6可以看出,在树干0~150 cm水平范围内的细根与距树干20、50、100、150 cm处的细根生物量累计百分比变化规律基本相同;而粗根在0~180 cm深度土层迅速增加,在180 cm以下均匀稳定增加。



a: 距树干 20 cm b: 距树干 50 cm c: 距树干 100 cm d: 距树干 150 cm

图 5 细根和粗根距树干不同距离处根系累积生物量百分比垂直分布特征

Fig. 5 Vertical distribution characters of accumulated root biomass percentages of fine and coarse roots with different distances away from the tree trunk

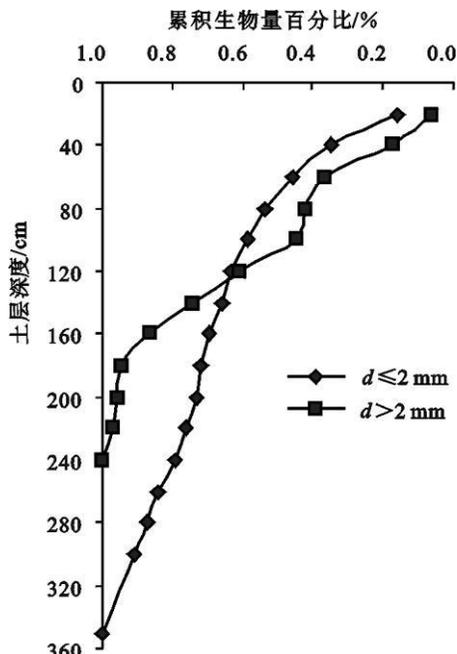


图 6 根系累积生物量百分比垂直分布特征

Fig. 6 Vertical distribution characters of accumulated root biomass percentages of the root system

由表 1 可知, 刺槐细根系随着距树干距离的增加根系消弱系数逐渐增大, 150 cm 处根系消弱系数达到最大值, 为 0.994, 20 cm 处根系消弱系数最小, 为 0.990。这说明刺槐细根系在距离树干 150 cm 处分布深度最大, 是刺槐树木进行水分和养分吸收的核心区, 能够为树木的生长提供更大的水分、养分空间, 促进地上部分的生长, 表现出更大的立地生产力; 粗根系的根系消弱系数在距树干不同距离处变化规律不一致, 距树干 100 cm 处根系消弱系数达到最大值, 为 0.992, 最小值在距树干 50 cm 处, 为 0.990; 在树干水平方向 0~ 150 cm 范围内, 细根的根系消弱系数 β 值 (0.992) 大于粗根的根系消弱系数 β 值 (0.990)。根据根系消弱系数的定义可得, 刺槐细根 ($d \leq 2$ mm) 在深层土壤中的分布比例较大。

表 1 距离树干不同距离处细根和粗根根系消弱系数 β

Table 1 Extinction coefficients β of fine and coarse roots with different distances from the tree trunk

径级	距树干距离/cm	β	R
细根 ($d \leq 2$ mm)	20	0.990	0.969*
	50	0.992	0.984*
	100	0.993	0.969*
	150	0.994	0.950*
粗根 ($d > 2$ mm)	20	0.991	0.937*
	50	0.990	0.921*
	100	0.992	0.939*
细根 ($d \leq 2$ mm)	0~ 150	0.992	0.972*
	粗根 ($d > 2$ mm)	0~ 150	0.990

注: * $R_{16} = 0.725, R > R_{16}$, 显示模型达到 0.001 显著水平。

树木根系的这种分布结构扩大了树木对水分和养分吸收利用的空间, 保证了地上部分生长发育的需求, 特别是对土层深厚, 气候干旱的黄土高原地区树木的生长具有尤为重要的意义。

3 结论与讨论

林木为了从土壤获取生长发育所需水分和养分, 必须维持一定的细根生物量^[17]。林木根系通过与土壤的相互作用, 使土壤中的水分重新分配, 从而改变土壤水分的分配格局^[18], 反过来土壤水分的重新分配又能使根系在土壤中稳定分布^[19]。本研究发现, 距树干 20、50、100 cm 和 150 cm 处, 细根生物量集中分布在表层 0~ 60 cm 土层, 为细根分布的高密度区, 60 cm 土层以下为均匀分布区; 随着距树干距离的增加, 0~ 60 cm 土层细根根系密度占整个剖面 (0~ 350 cm) 的比例依次减小。粗根根系密度分布可分为“高-低-高”3 个密度区域, 0~ 80 cm 和 100~ 180 cm 土层是高密度区, 80~ 100 cm 是低密度区; 高密度区, 距树干不同距离粗根根系密度占整个剖面比例顺序为 50 cm > 20 cm > 100 > 150 cm。王金鑫^[20] 等研究表明, 刺槐和侧柏细根集中分布在 0~ 60 cm 土层, 细根根系密度随着距树干距离的增加而减小。李鹏^[11] 等研究结果表明, 阴坡和阳坡刺槐粗根系生物量均随水平距离的增加而减小, 这与本研究结果一致。这说明 0~ 60 cm 土层是刺槐进行水分和养分吸收的集中区域, 可以大大提高对降雨的利用率, 满足刺槐生长发育所需要的水分。赵忠^[12] 等对安塞县和长武县的刺槐人工林研究表明, 安塞县刺槐细根分布深度为 250 cm, 长武为 200 cm。本研究发现, 细根分布深度大于 350 cm, 而粗根最大分布深度为 260 cm。这与赵忠等的研究结果不一致, 这可能是土壤理化性质引起的。这就意味着刺槐可以从深层土壤中吸收水分和养分, 来满足自身的生长发育, 抵御干旱的能力强。

本研究随着距树干距离的增加, 细根根系消弱系数 β 值依次增大, 最大值在距树干 150 cm 处, 为 0.994, 而粗根根系消弱系数 β 在 100 cm 达到最大值, 为 0.992。赵忠^[11] 等研究发现在阴坡立地上刺槐根系消弱系数 β 随水平距离增加而增大, 这与本研究结果一致。这说明细根在距离树干 150 cm 处垂直方向上具有较大分布深度, 能为树木地上部分的生长提供更为充足的水分和养分, 而粗根在距离树干 100 cm 处有较大范围的分布, 对树木水分和养分的疏导起到了非常重要的作用。在水平方向 0~ 150 cm 范围, 细根比粗根根系消弱系数较大, 说明细根比粗根在垂直方向分布范围深, 吸收利用深

层土壤水分和养分的能力强,这对于气候干旱、降雨量少的地区,尤其是对黄土高原地区的植被恢复与建设有着非常重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 韩烈保,王琼,王晓蓓,等.不同立地条件下荆条根系分布规律[J].应用基础与工程科学学报,2009,17(2):231-237.
HAN L B, WANG Q, WANG X B, *et al.* Researches on root distribution of *Vitex negundo* var. *heterophylla*(Franch.) Rehd. on different sites conditions [J]. Journal of Basic Science and Engineernd, 2009, 17(2): 231-237. (in Chinese)
- [2] 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.
LIU B Z, WANG Y M, LI K R, *et al.* Preliminary research on soil improvements in planted *Robinia pseudoacacia* stands [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1987, 2(1): 48-57. (in Chinese)
- [3] 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.
ZHAO Z, LI P, WANG N J. Distribution patterns of root systems of main planting tree species in Weibei Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(1): 37-39. (in Chinese)
- [4] TAUBER M J, TAUBER C A, MASAKI S. Seasonal Adaptations of Insect[M]. Oxford: Oxford Univ. Press, 1986.
- [5] FOGEL R. Root turnover and production of coniferous forest [J]. Plant and Soil, 1983, 71: 75-85.
- [6] LYR H, HOFFMANN G. Growth rates and growth periodicity of tree roots [J]. Int. Rev. For. Res., 1967, 2: 181-236.
- [7] COILE T S. Distribution of forest tree roots in North Carolina Piedmont soils [J]. Journal of Forestry 1936, 7(35): 247-257.
- [8] 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:自然科学版,2006,26(5):32-36.
LI P, ZHAO Z, LI Z B, *et al.* Research on root distribution parameters of *Robinia pseudoacacia* on different sites in Churhua County [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2006, 26(5): 32-36. (in Chinese)
- [9] 邵明安,杨文治,李玉山,等.植物根系吸收土壤水分的数学模型[J].土壤学报,1987,24(4):295-304.
SHAO M A, YANG W Z, LI Y S, *et al.* Mathematical model of soil moisture absorption by plant roots [J]. Acta Pedologica Sinica, 1987, 24(4): 295-304. (in Chinese)
- [10] 郭庆荣,张秉刚,钟继洪.植物根系吸收土壤水分的研究综述[J].热带亚热带土壤科学,1996,5(3):173-179.
GUO Q R, ZHANG B G, ZHONG J J. Review of studies on soil moisture absorption by plant roots [J]. Tropical and Subtropical Soil Science, 1996, 5(3): 173-179. (in Chinese)
- [11] 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.
LI P, ZHAO Z, LI Z B, *et al.* Characters of root biomass spatial distribution of *Robinia pseudoacacia* in Weibei Loess areas [J]. Ecology and Environment, 2005, 14(3): 405-409. (in Chinese)
- [12] 赵忠,成向荣,薛文鹏,等.黄土高原不同水分生态区刺槐细根垂直分布的差异[J].林业科学,2006,42(11):1-7.
ZHAO Z, CHENG X R, XU E W P, *et al.* Difference of fine root vertical distribution of *Robinia pseudoacacia* under the different climate regions in the Loess Plateau [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(11): 1-7. (in Chinese)
- [14] GALE M R, GRIGAL D E. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status [J]. Can. J. For. Res., 1987, 7(17): 829-834.
- [15] GALE M R, GRIGAL D E, HARDING R B. Soil productivity index of site quality for white spruce plantations [J]. Soil Sci. Soc. Am., 1991, 55(6): 1701-1708.
- [16] JACKSON R B, CANADELL J, MOONEY H A. A global analysis of root distribution for terrestrial biomes [J]. Oecologia, 1996, 108: 389-411.
- [17] HENDRICK R L, PREGITZER K S. The demography of fine root in a northern hardwood forest [J]. Ecology, 1992, 73: 1094-1104.
- [18] BURGESS S O, ADAMS M A, TURNER N C, *et al.* Tree roots: conduits for deep recharge of soil water [J]. Oecologia, 2001, 126: 158-165.
- [19] SCHENK H. Vertical vegetation structure below ground: scaling from root to globe [J]. Progress in Botany, 2005, 66: 341-373.
- [20] 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.
WANG J X, WANG D H, LIU G Q. Distribution characteristics of effective root density in the planted *Robinia pseudoacacia* and *Platycladus orientalis* forest site [J]. Acta Bot. Boreo-Occident. Sin., 2004, 24(12): 2208-2214. (in Chinese)