

梨枣人工林有效吸收根系密度分布规律研究

魏国良^{1,2},汪有科³,王得祥¹,蔺雨阳¹,杨涛¹

(1 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨凌 712100;2 青海大学 农牧学院,青海 西宁 810003;

3 中国科学院 水利部 水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

[摘要] **【目的】**为黄土高原丘陵沟壑区梨枣根系吸水模型的建立提供关键参数。**【方法】**通过分层分段挖掘法,对8年生梨枣人工林根区有效根长密度和根质量密度的空间分布进行研究。**【结果】**在水平方向上,梨枣根长密度分布呈典型的负指数型,根质量密度分布呈抛物线型,吸收根根长和根质量密度主要集中在距树干0~60 cm水平距离内,分别占总吸收性根长和根质量密度的73.5%和75%,其中最大有效根长和根质量密度均在0~30 cm水平距离,其有效根长和根质量密度分别占总吸收性根长和根质量密度的56.77%和50.26%;在垂直方向上,梨枣根长密度和根质量密度分布均呈幂函数型,吸收根系根长和根质量密度主要分布在0~40 cm土层,其有效根长和根质量密度分别占总吸收性根长和根质量密度的79.1%和78.88%,其中最大有效根长和根质量密度均分布在0~20 cm土层,其有效根长和根质量密度分别占总吸收性根长和根质量密度的61.62%和59.47%。**【结论】**非线性参数拟合分析表明:采用 $RD=e^{a+bx+cz}$ 的函数模型,能较好地模拟梨枣有效根长密度和有效根质量密度的空间分布状况,为梨枣根系空间分布状况的估计提供了参考。

[关键词] 梨枣;有效根系;根系密度;根系的空间分布

[中图分类号] S665.101

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)01-0133-06

Study on the distribution characteristics of effective root density in *Ziziphus jujube* cv. Lizao plantation

WEI Guo-liang^{1,2}, WANG You-ke³, WANG De-xiang¹, LIN Yu-yang¹, YANG Tao¹

(1 College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Agricultural and Animal Husbandry College of Qinghai University, Xining, Qinghai 810003, China; 3 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The study was done to provide key parameters for building root system water-absorbing model of *Ziziphus jujube* cv. Lizao growing in Hilly-gully Loess Plateau. **【Method】** By means of digging methods from left to right and from up to down, the spatial density distributions of effective root in length and weight of the 8-year-old *Ziziphus jujube* cv. Lizao plantation were studied respectively. **【Result】** The distribution of *Ziziphus jujube* cv. Lizao root length density presented a typical negative exponential type and the distribution of *Ziziphus jujube* cv. Lizao root weight density presented a typical parabola model. The absorbing root densities of length and weight both concentrated in the 0—60 cm soil layer, and the former accounted for 73.5% of the total absorbing root length density and the latter 75% of the total absorbing root weight density. Among them, the maximum density of effective root length and weight concentrated in the 0—30 cm soil layer, and the effective length density was 56.77% of the total absorbing root length density and the effective weight density was 50.26% of the total absorbing root weight density.

* **[收稿日期]** 2009-05-11

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30671721);国家重大科技支撑计划项目(2007BAD88B05)

[作者简介] 魏国良(1977—),男,青海乐都人,讲师,在读硕士,主要从事森林经理和生态学研究。

[通信作者] 王得祥(1966—),男,青海乐都人,教授,博士生导师,主要从事森林生态学研究。

ty. In the vertical direction, the distribution of *Ziziphus jujube* cv. Lizao root length and weight density presented a power *Ziziphus jujube* cv. Lizao root weight density presented a typical parabola model. The density of absorbing roots length and weight concentrated in the 0—40 cm soil layer, the former accounted for 79.1% of the total absorbing root length density and the latter 78.88% of the total absorbing root weight density. Among them, the maximum effective root density of length and weight concentrated in the 0—20 cm soil layer, and the effective root length density was 61.62% of the total absorbing root length density and the effective root weight density 59.47% of the total absorbing root weight density. 【Conclusion】 Regression estimate of non-linear parameter showed that model whose equation is $RD = e^{a+bX+cZ}$ is a good way for simulating the spatial distributions of the effective root length and weight density of *Ziziphus jujube* cv. Lizao, which could provide references for the estimation of distribution of *Ziziphus jujube* cv. Lizao root system.

Key words: *Ziziphus jujube* cv. Lizao; effective root; root density; spatial distribution of root

根系是植物吸收水分的重要器官,其对树木的生长具有决定作用^[1]。细根作为植被吸收土壤水分和养分的惟一通道,其形态和分布直接反映了林木对土壤资源的利用状况。目前,已有学者对根系的发育、形态特征、分布、吸收性能、生物量及其在生态系统物质循环和能量流动中的作用等问题,进行了大量研究^[2-9],并取得了大量成果,有效地指导了农林业生产。但目前对树木根系吸水模型的研究尚较少^[10-13],其中有关细根或有效根密度分布的报道则更少^[14-17]。有效根密度是指单位土体中吸收性根系的长度、质量等,许多有关农作物根系的研究表明,其与根系吸水密切相关^[18],特别是在以天然降水为主要水分来源的地区,根系的密度分布与有限降水资源的高效利用及森林生态系统中的水量平衡与转换紧密相关。因此,对梨枣有效根密度的空间分布特征及其分布函数进行研究,可为黄土高原丘陵沟壑区梨枣根系吸水模型的建立提供关键参数,对于进一步研究根系吸水的时空分布规律及其影响机制、改进田间水分管理措施、发展节水农业具有十分重要的意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省米脂县银州镇孟岔村红枣示范区,地理位置为东经 110°07',北纬 37°46'。研究区为黄土峁状丘陵地貌,坡度 25°,平均海拔 960 m,年平均气温 8.6℃,极端高温 39.6℃,极端低温 -31.8℃,年均降雨量 440.9 mm,而年均蒸发量高达 1 557 mm,属于半干旱地区。试验区土壤较贫瘠,以黄绵土为主,容重 1.21 g/cm³。经测定,孟岔枣园土壤有效 N、P、K 含量分别为 34.73、2.90 和

101.9 mg/kg,有机质含量 2.1 g/kg,pH 8.6。

1.2 试验材料

供试树种为 8 年生梨枣(*Ziziphus jujube* cv. Lizao)纯林,林相整齐,林木分布均匀。在调查基础上,建立 20 m×20 m 的标准地,对标准地内梨枣树的地径、树高、种植密度、郁闭度等进行调查,确定其郁闭度为 0.7,林分平均密度为 2 500 株/hm²(株行距 2 m×2 m),平均树高 2.71 m,平均地径 10.7 cm。根据典型取样原则,在代表立地上选取 2 棵健康植株(地径分别为 10 和 11 cm)供试验之用。

1.3 研究方法

试验于 2008 年 4—5 月进行,试验期间天气晴朗,采用壕沟剖面分层分段挖掘法取样^[16]。以树干为中心,沿坡地等高线(水平)方向挖宽、深均为 150 cm 的土壤剖面,水平方向上每隔 30 cm 连续采集土样,宽度为 20 cm;垂直方向上每隔 20 cm 取样,直至根系下边界,即取样尺寸为 30 cm×20 cm×20 cm。将各层所取土样分别过孔径为 3 mm 的筛,捡出各层土样中的所有根系,用水冲洗干净,去除杂物、死根后,用游标卡尺逐一测量,将根系按直径分为 4 个径级^[19],即<1 mm、1~2 mm、2~5 mm 和>5 mm。据研究,梨枣有效吸收根系直径≤2 mm^[20]。用 TNT-2 型扭力天平称量各级根系鲜质量,将从样地不同土层获取的根样分别装入塑料袋并编号,于低温(-4℃)保存带回实验室。采用加拿大 REGENT 公司生产的根系分析系统(WIN-Rhizo),对根系长度、根长密度等指标进行测定,从各级根系中取适量样品在 80℃烘干,测得水分换算系数,用于计算各层段根系的干质量。

1.4 根系密度的计算

依照下列公式计算根长密度和根质量密

度^[16,21]。

$$RD_L = \frac{L_r}{V_s}, \quad (1)$$

$$RD_w = \frac{W_d}{V_s}. \quad (2)$$

式中: RD_L 为根长密度(cm/cm^3), RD_w 为根质量密度(g/cm^3), L_r 为根系长度(cm), W_d 为根系干质量(g), V_s 为土壤体积(cm^3)。若根系长度 L_r 和根质量 W_d 为吸收根的测定值,则所得到的 RD_L 或 RD_w 被称为有效根长密度或有效根质量密度。每一相同层、段取算术平均值,用于分析与比较。

2 结果与分析

2.1 梨枣有效吸收根系密度的水平分布

对距梨枣树干不同距离处的根长和根质量密度进行计算,结果(图1和图2)表明,在水平方向上,梨枣根长密度分布呈指数型,根质量密度分布呈抛物线型,对0~120 cm水平距离内梨枣根长、根质量密度与水平距离的关系进行回归统计,回归方程分别为:

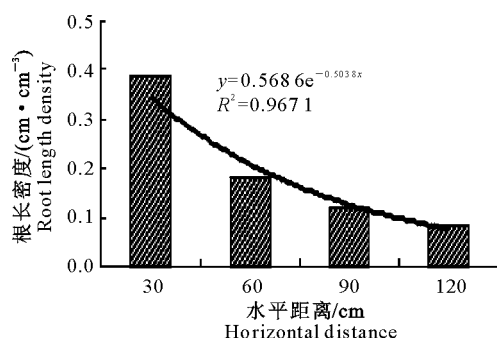


图1 水平方向上梨枣有效吸收根系根长密度的分布
Fig. 1 Distribution of effective absorbing root length density of *Z. jujube* cv. Lizao in the horizontal direction

2.2 梨枣有效吸收根系密度的垂直分布

对不同水平距离处垂直方向上相应土层梨枣吸收根系的根长密度和根质量密度进行计算求均值,结果(图3和图4)表明,在垂直方向上,梨枣根长密度和根质量密度分布均呈幂函数型,对0~120 cm垂直方向上根长密度、根质量密度与土层深度的关系进行回归统计,回归方程分别为:

$$RD_L = 0.3957 Z^{1.5728}$$

$$(R^2 = 0.8793 > R_{0.01,5}^2 = 0.6956)$$

$$RD_w = 87.818 Z^{-1.598}$$

$$(R^2 = 0.7608 > R_{0.01,5}^2 = 0.6956)$$

式中: RD_L 为根长密度(cm/cm^3), RD_w 为根质量密度($10^{-4} \text{ g}/\text{cm}^3$), Z 为土层深度(cm), R^2 为复相关

$$RD_L = 0.5686e^{-0.5038x},$$

$$(R^2 = 0.9671 > R_{0.01,3}^2 = 0.9197);$$

$$RD_w = 16.657X^2 - 107.05X + 185.66,$$

$$(R^2 = 0.9743 > R_{0.01,3}^2 = 0.9197)。$$

式中: RD_L 为根长密度(cm/cm^3), RD_w 为根质量密度($10^{-4} \text{ g}/\text{cm}^3$), X 为水平距离(cm), R^2 为复相关系数。

由图1和图2可见,在水平方向上,无论是根长密度还是根质量密度,均主要集中分布在距梨枣树干0~60 cm距离内,其有效根长和根质量密度分别占总吸收性根长和根质量密度的73.5%和75%;其中,最大有效根长和根质量密度均分布在0~30 cm水平距离内,其有效根长和根质量密度分别占总吸收性根长和根质量密度的56.77%和50.26%。有效吸收根系的根长密度随水平距离的增加而降低,而根质量密度随水平距离的增加先减少而后又稍有增加,可能是由于林分密度太大(株行距2 m×2 m),100~120 cm水平距离是相邻两树根系的叠加区所致。

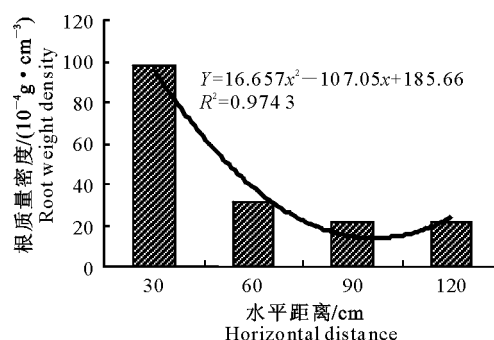


图2 水平方向上梨枣有效吸收根系根质量密度的分布
Fig. 2 Distribution of effective absorbing root weight density of *Z. jujube* cv. Lizao in the horizontal direction

系数。

从有效吸收根系根长密度和根质量密度在不同深度土层中的变化(图3、图4)来看,根长密度和根质量密度的垂直分布趋势基本相同,均随土层深度的增加先减少而后又稍有增加,即在0~80 cm土层中依次迅速减小,但在80~120 cm土层又逐渐增加,这主要是由于坡地枣树下部相邻枣树根系沿坡面向内生长期而叠加所致。在垂直方向上,梨枣根系均主要集中分布在0~40 cm土层,其有效根长和根质量密度占总吸收性根长和根质量密度的79.1%和78.88%;其中最大有效根长和根质量密度均分布在0~20 cm土层,其有效根长和根质量密度占总吸收性根长和根质量密度的61.62%和59.47%。

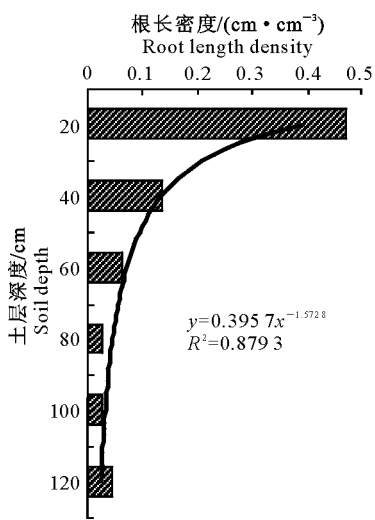


图 3 垂直方向上梨枣有效吸收根系根长密度的分布
Fig. 3 Distribution of effective absorbing root length density of *Z. jujube* cv. Lizao in the vertical direction

2.3 梨枣有效根系密度的二维分布

梨枣有效吸收根根质量密度在水平和垂直方向 0~120 cm 的二维分布状况见图 5。在垂直方向上,各水平距离均有吸收根分布在 60 cm 土层内,随土层深度的增加,吸收根系出现的水平距离增大。

经计算,在水平距离和土层深度 0~120 cm 二维范围内,梨枣有效吸收根总质量为 20.618 g。如果将整个剖面有效吸收根总量视为 100%,经计算,在不同水平距离和不同土层深度,根质量所占比

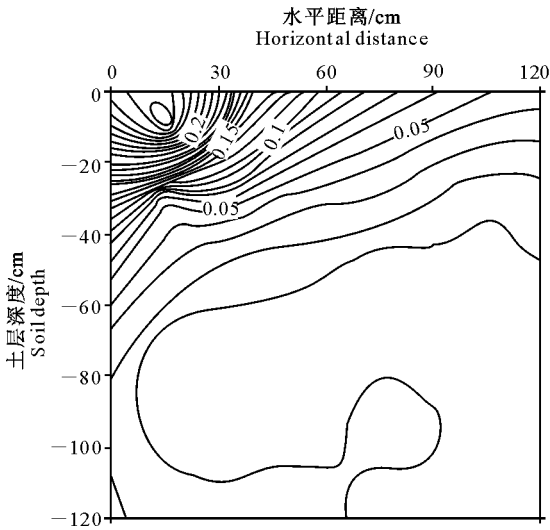


图 5 梨枣有效吸收根系根长密度的二维分布
Fig. 5 Two-dimension distribution of effective absorbing root length density of *Z. jujube* cv. Lizao

2.4 梨枣根系密度分布函数的建立

虎胆·吐马尔白^[22]对玉米根系吸水研究及王

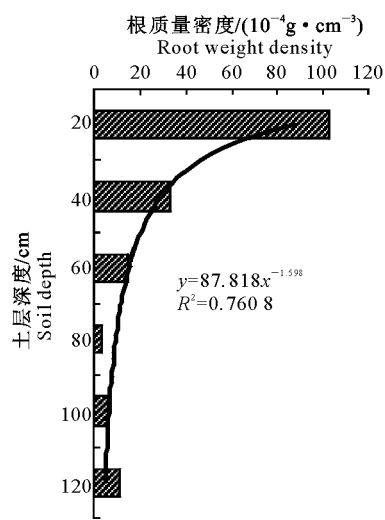


图 4 垂直方向上梨枣有效吸收根系根质量密度的分布
Fig. 4 Distribution of effective absorbing root weight density of *Z. jujube* cv. Lizao in the vertical direction

例的二维分布如图 6 所示。由图 6 可知,分布在水平方向 0~60 和 60~120 cm 的梨枣有效吸收根根质量,分别占有有效吸收根总质量的 75%和 25%。在垂直方向上,有效吸收根的根质量主要分布在 0~40 cm 土层,根质量占有有效吸收根总质量的 78.88%;分布在 40~60 cm 土层的有效吸收根,其根质量占有有效吸收根总质量的 8.9%;而在 80 cm 土层深度以下,其根质量只占有有效吸收根总质量的 12%。

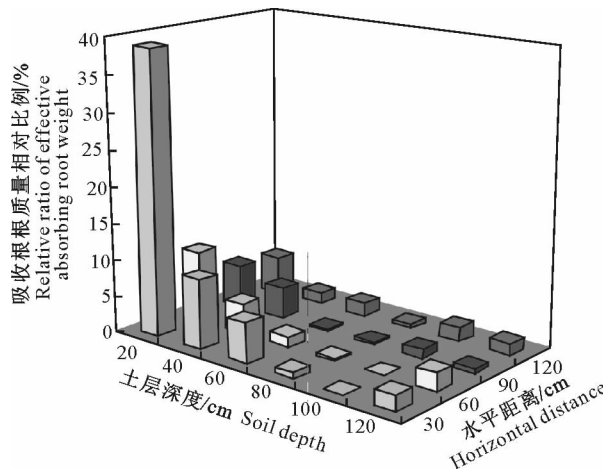


图 6 梨枣有效吸收根系根质量相对比例的二维分布
Fig. 6 Two-dimension distribution of relative ratio of effective absorbing root weight of *Z. jujube* cv. Lizao

进鑫等^[16]对刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律的研究表明,以 e 为底的指数形式能很好地反

映有效根系密度在土层空间的分布规律,故可设其为如下形式:

$$RD(X, Z) = e^{a+bX+cZ}. \quad (3)$$

式中: RD 为根系密度; X 为水平向坐标, 单位 cm ; Z 为垂直向坐标, 取向向下为正, 单位 cm ; a 、 b 、 c 为待定参数。

依据梨枣根系分层分段测定资料, 进行非线性参数估计, 即可求得所需参数。由于有效根密度是单位土壤中有效根系的长度或质量, 实际上是某一坐标区域内的平均值。因此, 在统计分析时, 某一 RD 所对应的 X 、 Z 坐标, 均以相应坐标区域的中值表示。该模型参数的估计结果如表 1 所示。

表 1 梨枣有效吸收根系根长密度和根质量密度的空间分布模型拟合及检验结果

Table 1 Results of fitting and test on spatial distribution model of effective absorbing root density of root length and quality of *Z. jujube* cv. Lizao

项 目 Project	模型 Model	F	P
RD_L	$RD_L(X, Z) = e^{-2.481-0.05X-0.024Z}$	10.387	0.001
RD_W	$RD_W(X, Z) = e^{2.774-0.05X+0.25Z}$	5.760	0.010

对表 1 方程进行统计与检验, 结果表明, 二者均达极显著水平, 表明该模型能较好地反映梨枣有效根系密度的空间分布规律。

3 结 论

1) 在水平方向上, 梨枣有效根系根长密度的分布随水平距离的增加呈指数趋势递减, 而根质量密度的分布则表现为二次抛物线型。有效吸收根系根长和根质量密度主要分布于距离树干 $0 \sim 60 \text{ cm}$ 水平距离内, 分别占总吸收性根长和根质量密度的 73.5% 和 75% ; 其中, 最大有效根长和根质量密度均分布在 $0 \sim 30 \text{ cm}$ 水平距离内, 其有效根长和根质量密度占总吸收性根长和根质量密度的 56.77% 和 50.26% 。

2) 在垂直方向上, 有效根质量密度和根长密度分布表现出一致的规律性, 即均呈幂函数型, 但所占比例略有不同。梨枣有效根长和根质量密度的分布随土层深度的增加先减小后增加; 其中, 最大有效根长和根质量密度均出现在 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层, 其有效根长和根质量密度占总吸收性根长和根质量密度的 61.62% 和 59.47% 。

3) 对非线性参数的拟合分析表明: 采用 $RD = e^{a+bX+cZ}$ 的函数模型, 能较好地模拟梨枣有效根长密度和有效根质量密度的空间分布状况, 为梨枣根系

空间分布状况的估计提供了参考。

[参考文献]

- [1] 孙 多. 中国森林生态系统的定位研究 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994: 517-523.
Sun D. Forest ecosystem locational research in China [M]. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994: 517-523. (in Chinese)
- [2] Jackson R B, Canadell J, Mooney H A. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes [J]. *Oecologia*, 1996, 108: 389-411.
- [3] 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.
Liu J J. A review on root ecology of forest trees [J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 1998, 13(3): 74-78. (in Chinese)
- [4] John B, Pandeyh N, Tripathi R S. Vertical distribution and seasonal changes of fine and coarse root mass in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon forest of three different ages [J]. *Acta Oecologica*, 2001, 22(5/6): 293-300.
- [5] Purbopuspito J, Vanreesk J. Root distribution at various distances from clove trees growing in Indonesia [J]. *Plant and Soil*, 2002, 239(2): 313-320.
- [6] 王文全, 王世绩, 刘雅荣, 等. 粉煤灰复田立地上杨、柳、榆、刺槐根系的分布和生长特点 [J]. 林业科学, 1994(1): 25-33.
Wang W Q, Wang S J, Liu Y R, et al. Distribution and growth characteristics of the root systems of poplar, willow, elm and locust on site of renewed land by fine ash of coal [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1994(1): 25-33. (in Chinese)
- [7] 樊 巍, 卢 琦, 高喜荣. 果农复合系统根系分布格局与生长动态研究 [J]. 生态学报, 1999, 19(6): 860-863.
Fan W, Lu Q, Gao X R. Distribution pattern and growing dynamics of the roots system in apple wheat intercropping system [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(6): 860-863. (in Chinese)
- [8] 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)
- [9] 李振问, 杨玉盛, 吴擢溪, 等. 杉木火力楠混交林根系的研究 [J]. 生态学报, 1993, 12(1): 20-24.
Li Z W, Yang Y S, Wu Z X, et al. Root system of mixed stand of Chinese fir and Homana [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1993, 12(1): 20-24. (in Chinese)
- [10] 张劲松, 孟 平, 尹昌君. 果农复合系统中果树根系空间分布特征 [J]. 林业科学, 2002, 38(4): 30-33.
Zhang J S, Meng P, Yin C J. Spatial distribution characteristics of apple tree roots in the apple-wheat intercropping [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(4): 30-33. (in Chinese)
- [11] 姚立民, 康绍忠, 龚道枝, 等. 苹果树根系吸水模型研究 [J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(6): 67-70.
Yao L M, Kang S Z, Gong D Z, et al. The apple tree root wa-

- ter uptake models established [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2004, 23(6): 67-70. (in Chinese)
- [12] 张劲松, 孟 平. 石榴树吸水根根系空间分布特征 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(4): 89-91.
Zhang J S, Meng P. Spatial distribution characteristics of fine roots of *Pomegranate* tree [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2004, 28(4): 89-91. (in Chinese)
- [13] 司建华, 冯 起, 李建林, 等. 荒漠河岸林胡杨吸水根系空间分布特征 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(1): 1-4.
Si J H, Feng Q, Li J L, et al. Spatial distribution pattern of *Populus euphratica* fine roots in desert riparian forest [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(1): 1-4. (in Chinese)
- [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.
Shan J P, Tao D L. Overseas researches on tree fine root [J]. Chinese Journal of Ecology, 1992, 11(4): 46-49. (in Chinese)
- [15] 李 勇, 徐晓琴, 朱显谟. 黄土高原油松人工林根系改善土壤物理性质的有效性模式 [J]. 林业科学, 1993, 29(3): 193-198.
Li Y, Xu X Q, Zhu X M. Effective model of improving soil physical property by roots of Chinese pine plantation on the Loess plateau [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1993, 29(3): 193-198. (in Chinese)
- [16] 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 Boreal Occident Sin, 2004, 24(12): 2208-2214. (in Chinese)
- [17] 单立山, 张希明, 魏 疆, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地两种灌木有效根系密度分布规律的研究 [J]. 干旱区地理, 2007, 30(3): 400-405.
Shan L S, Zhang X M, Wei J, et al. Distribution characteristics of effective roots density of two shrubs in hinterland of taklimakan desert [J]. Arid Land Geography, 2007, 30(3): 400-405. (in Chinese)
- [18] 邵明安, 杨文治, 李玉山. 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. Mathematical model of soil moisture absorption by plant roots [J]. Acta Pedologica Sinica, 1987, 24(4): 295-304. (in Chinese)
- [19] Smit A, Bengough G, Eingels C, et al. Root methods: a handbook [M]. Berlin: Springer verlag, 2000: 1-32.
- [20] 常经武. 枣的栽培与加工 [M]. 西安: 西安地图出版社, 1993.
Chang J W. Cultivation and processing of jujube [M]. Xi'an: Map Press, 1993. (in Chinese)
- [21] 单长卷, 梁宗锁. 黄土高原刺槐人工林根系分布与土壤水分的关系 [J]. 中南林学院学报, 2006(1): 19-21.
Shan C J, Liang Z S. Relationship between root distribution of *Locust* plantation and soil water in the Loess Plateau [J]. Journal of Central South Forestry University, 2006(1): 19-21. (in Chinese)
- [22] 虎胆·吐马尔白. 作物根系吸水率模型的试验研究 [J]. 灌溉排水, 1999, 18(4): 15-19.
Hu D T. The experimental study of the model for water uptake by roots in crop [J]. Irrigation and Drainage, 1999, 18(4): 15-19. (in Chinese).