

石羊河流域荒漠区主要固沙植物根系研究

柴成武¹, 徐先英¹, 唐卫东¹, 王方琳¹, 王 龙²

(1. 甘肃省治沙研究所 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 甘肃 武威 733000;

2. 古浪县水土保持工作站, 甘肃 古浪 733100)

摘 要:应用分层半挖法研究了石羊河流域荒漠区主要固沙植物梭梭、红柳、白刺吸水根系根重密度分布规律、根系表面积变化规律以及与对应的微环境因子相关性。结果表明:梭梭、红柳、白刺根系长度受粘土层阻碍较大,随着植物根区粘土层的出现,粘土层以上靠近粘土层根系密度增大,粘土层以下远离粘土层根系密度先增大再减小,但物种不同,呈现这种规律的根级并不相同,梭梭表现为小于1 mm根系,红柳和白刺表现为1~2 mm根系与2~5 mm根系;根系表面积变化亦具有这种特点。土壤容重对荒漠植物根系影响较大,土壤分形维数、土壤含水率和土壤有机质含量与对应的根系指标显著性不高。

关键词:梭梭; 柽柳; 白刺; 根系

中图分类号:S728.4

文献标识码:A

文章编号:1001-7461(2009)04-0021-06

Root System of the Main Sand Fixing Plants in Desert Zone of Shiyanghe River Basin

CHAI Cheng-wu¹, XU Xian-ying¹, TANG Wei-dong¹, WANG Fang-lin¹, WANG Long²

(1. Minqin National Station for Desert Steppe Ecosystem, Gansu Desert Control Research Institute, Wuwei,

Gansu 733000, China; 2. Gulang Soil and Water Conservation Station, Gulang, Gansu 733100)

Abstract: The distribution regularity of the density, variations of surface areas of fine roots, as well as their correlation with related micro-environmental factors of some major sand-fixation plants were investigated, such as *Haloxylon ammodendron*, *Tamarix ramosissima*, and *Nitraria sibirica* in Shiyanghe River basin by layered and half digging method. The results showed that the main root length were obstructed by clay layer. The root weight density increased when it reached the first clay layer and increased firstly, then decreased when it went through the clay layer. But diameter-classes were different among different plant species, 1 mm diameter class was embodied for *H. ammodendron*, and 1~2 mm, 2~5 mm for *T. ramosissima*, and *N. sibirica*. There was the same rule as root weight density. The correlation analysis to the root index and its environmental factors showed that soil bulk density influenced root growth largely, and there was not direct significant correlation between root amount and soil fractal dimension, soil moisture content and soil organic matter.

Key words: *Haloxylon ammodendron*; *Tamarix ramosissima*; *Nitraria sibirica*; root

石羊河流域荒漠主要固沙植物有梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、红柳(*Tamarix ramosissima*)、白刺(*Nitraria sibirica*)。梭梭为多年生小乔木,有时呈灌木状,属强旱生植物,我国梭梭主要分布于内蒙古、新疆、甘肃、青海、宁夏等地,是当地防风固沙的主要树种。柽柳为落叶灌木或小乔木,

萌发力强,耐沙埋,沙埋后可于根颈处萌发大量纤细的不定根,枝条亦迅速向上生长,在沙漠中因沙埋不断分蘖常形成柽柳沙包,是沙丘建群种之一。白刺为旱生荒漠植物,具有耐干旱、耐盐碱、适应高温、寒冷等特点,是腾格里沙漠固定、半固定沙丘的建群种。由于自然环境逐年恶化、人为不合理水资源利

收稿日期:2008-09-05 修回日期:2008-12-18

基金项目:国家自然科学基金(30771766);甘肃省科技攻关计划项目(2GS042-A41-002-02)

作者简介:柴成武,男,硕士,主要从事荒漠化防治及生态研究。E-mail:chaichengwu@sina.com。

用,大多荒漠植物遭到严重破坏,梭梭林、柽柳沙包、白刺沙包大面积减少,生态环境向不良方向发展^[1-2]。现有研究中,对根系与土壤碳研究较多^[3-5],根系及其微环境因子的综合研究大多为室内实验、幼苗实验或根系较小的植物野外根系研究^[6-7]。在大根系野外研究中,刘秀萍等^[8]研究了20龄刺槐、油松林100 cm深度根系密度的空间分布;杨丽等^[9]研究了120 cm深度幼龄天然胡杨树的根质量密度和根长密度分布;张永明等^[10]研究了西鄂尔多斯荒漠中绵刺、四合木、霸王、沙冬青4种灌木160 cm深度的根系生物量特征;梭梭野外研究中,盛晋华等^[11]研究了天然梭梭根系形态特征与生物量分布。有关红柳、白刺根系的深入研究报道不多。本文以民勤沙区梭梭、红柳、白刺为研究对象,研究其根系变化特征及其微环境特征,进一步探讨这些主要固沙植物的环境适应特点。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地处石羊河尾间民勤沙区,位于河西三大内陆河流之一的石羊河流域下游,东、西、北三面被腾格里和巴丹吉林两大沙漠包围,全境91%为盐碱滩和剥蚀残丘,其中沙漠面积达92.5万hm²。该地平均年降水量113.2 mm,蒸发量2 644 mm,干燥度大于4,年平均沙尘暴日数37 d,最大风力11级,属于典型的干旱荒漠气候。民勤绿洲外天然植被以白刺和红柳灌丛为主,绿洲农田防护林外以人工梭梭林为主。白刺群落发育良好,由其所固定的沙包处于固定或半固定阶段,而红柳沙包和梭梭林大多数已处于退化阶段。由于这些天然植被的大量存在,有效地阻止了外围流沙对绿洲的危害。然而近几十年来,人为地下水的过度利用以及石羊河上游来水日渐减少,引起地下水位每年以0.55~0.71 m幅度下降,地下水位已在20 m以下,引起绿洲外围植被大面积死亡,使得

该地土地沙化扩展迅速,成为我国荒漠绿洲区域生态环境问题最为突出的地区之一。

1.2 研究方法

2007年11月,在民勤绿洲外围荒漠地带选择荒漠区广泛分布的30 a生左右人工梭梭林、白刺沙包、红柳沙包,依据与周围植物根系不重叠的原则,在每一典型地段各选择大小相近、生长旺盛、分布相对独立的单株梭梭、白刺沙包、红柳沙包各一个,经每木或每“包”调查后,伐倒地上部分,采用半挖法对根系进行调查。已有研究表明^[11],梭梭根系主要为垂直根系,水平根系根幅不大,且深度一般在1 m以内,因此确定半挖法半径时先以大于该植株约1.5倍冠幅的方法进行试挖,试挖至1 m深处再确定主根系的根幅范围;红柳与白刺沙包挖掘时,先采取沙包全挖法,以边缘植株主根系的主要分布范围来确定挖掘半径。以单株植株或沙包中心为圆心,在一定的半径区域内(表1)每20 cm为一层挖掘,分层整理根系,直到无植株根系。考虑到具有吸水功能的根系为毛细根,根系采用<1,1~2,2~5,>5 mm分级法测定每层各级生物量、根系排水体积,并随机抽取各级根系各30根,测量根系直径,取其平均值为本级根系直径。生物量采用烘干法,根系表面积采用排水法测定,有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定,土壤质地采用比重计法测定。相关指标计算公式为:

$$D_w = M/V_s \quad (1)$$

$$S = 2V_w/d \quad (2)$$

$$D = 3 + 0.1448 \ln(W < 0.001) \quad (3)$$

式中: D_w 为根重密度; M 为根系重量; V_s 为根系土体体积; S 为根系表面积; V_w 为排水体积; d 为根系直径; D 为土壤分形维数^[12],是土壤质地的一种量度,土壤分形维数越大,土壤颗粒越细; $W < 0.001$ 为小于0.001 mm粒径累积质量百分含量。

环境因子与根系指标相关性采用SPSS软件进行分析。

表1 根系挖掘基本参数

Table 1 Basic parameters in root digging

树种	生长微地形描述	冠幅/cm ²	开挖截面积/cm ²	挖掘深度/cm	根区出现粘土层深度/cm	300 cm处根系直径/cm
梭梭	沙坡(10°)中上部	230×220	150×150π	300	120~150	主根系直径为4.8 cm
红柳	沙包	604×530	140×140π	300	200~220,300	无根系
白刺	沙包	280×400	140×140π	300	220~260,300	无根系

2 结果与分析

2.1 根重密度

由图2、图3、图4可知,3种荒漠植物根重密度分布与土层深度有关。

(1)小于1 mm根系的分布。红柳和白刺主要分布于土壤上层120 cm以内,在120 cm以下少有分布,而梭梭小于1 mm根系除在土壤上层120 cm内有大量分布外,在240~280 cm也有大量分布;红柳地表40 cm内小于1 mm根系密度大于1~2 mm和2~5 mm根系

密度,是根系主体,对地表降水利用率较高。

(2)1~2 mm根系与2~5 mm根系的分布。3种植物根系密度分布均具有2~5 mm根系大于1~2 mm根系的特点。从沙包顶部向下,红柳和白刺1~2 mm根系与2~5 mm根系密度具有“增大—减小—增大”的变化趋势,拐点出现位置与粘土层出现位置有关,在粘土层以上,靠近粘土层根系密度较大。梭梭在160 cm以下1~2 mm根系与2~5

mm根系密度极小,表现为小于1 mm根系占主体的特征。

结合表1可以看出,随着植物根区粘土层的出现,粘土层以上靠近粘土层根系密度较大,粘土层以下远离粘土层根系密度先增大再减小,但物种不同,凸现这种规律的根级并不相同,梭梭表现为小于1 mm根系,红柳和白刺表现为1~2 mm根系与2~5 mm根系。

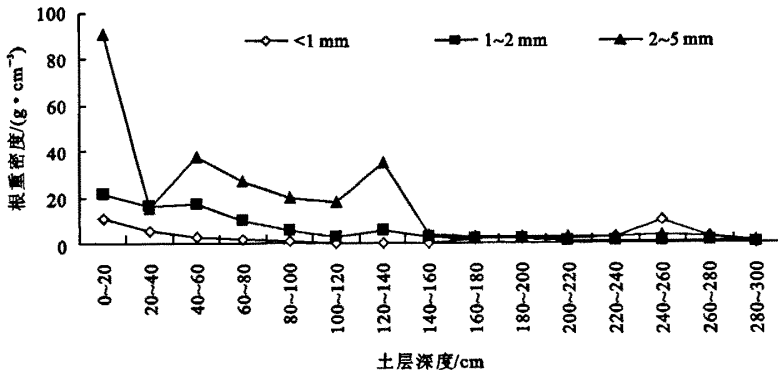


图1 梭梭根重密度

Fig. 1 Root weight density of *H. ammodendron*

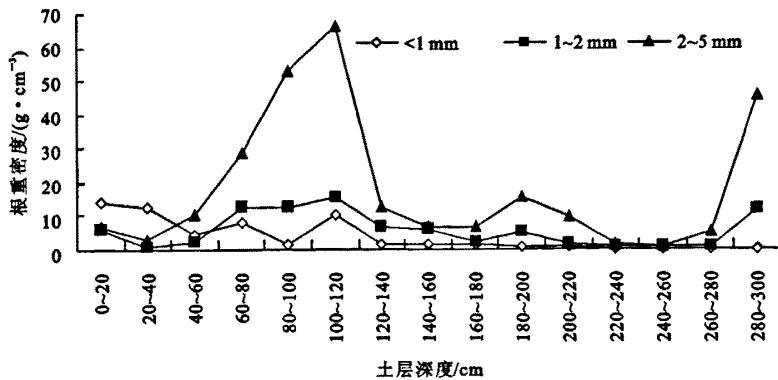


图2 红柳根重密度

Fig. 2 Root weight density of *T. ramosissima*

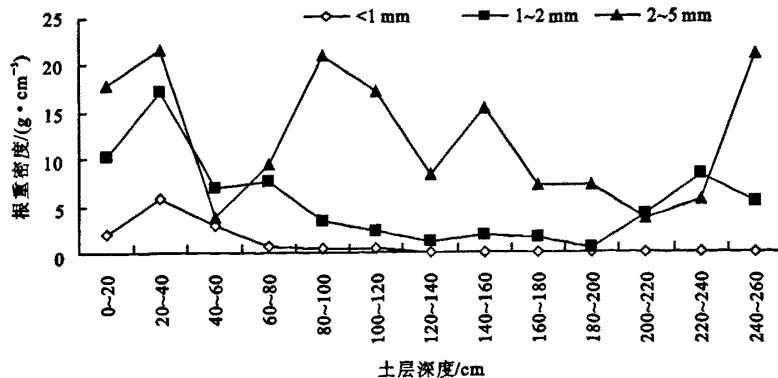


图3 白刺根重密度

Fig. 3 Root weight density of *N. sibirica*

2.2 根系表面积

研究(图4)表明,梭梭根系在地面至160 cm内表现为小于1 mm根系表面积小于1~2 mm和2~5 mm根系表面积,然而在160~300 cm,前者表面积远远大于后两者;在地面至100 cm内,红柳小于1 mm根系表面积占主体,而在100 cm以下失去这种特征,表现为小于1~2 mm和2~5 mm根系表面积(图5);白刺根系表面积在地面至100 cm内表现为小于1 mm和1~2 mm根系占主体,在100 cm以下则根系表面积主体为小于1~2 mm和2~5 mm

mm根系(图6)。可以看出,红柳和白刺在地表根系表面积主体为小于2 mm根系部分,在深层根系表面积2~5 mm的根系最多,其次为1~2 mm根系,小于1 mm根系表面所占比例极少。

研究表明,梭梭、白刺土壤容重与2~5 mm根系表面积显著相关;红柳土壤容重与小于1 mm根系表面积极显著相关。表明土壤容重对荒漠植物根系影响较大,但对不同种类的植物根系影响部位不同。

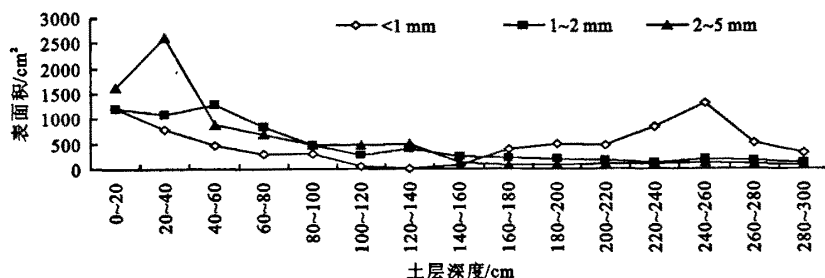


图4 梭梭根系表面积

Fig. 4 Root surface area of *H. ammodendron*

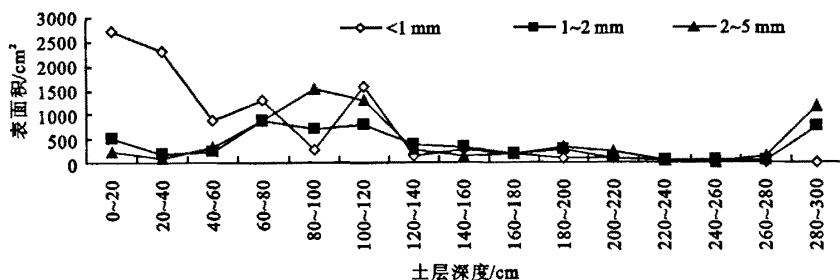


图5 红柳根系表面积

Fig. 5 Root surface area of *T. ramosissima*

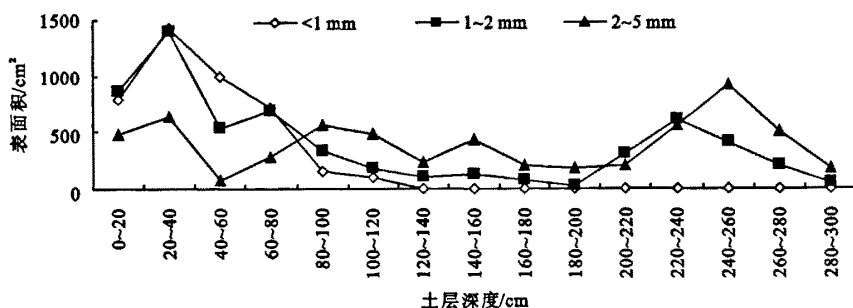


图6 白刺根系表面积

Fig. 6 Root surface area of *N. sibirica*

2.3 环境因子与根系指标相关性

表2、表3、表4表明,虽然植物生长受水分胁迫影响较大,但土壤含水率与所有因子相关并不显著,主要是因为土壤含水率是一个随时间变化相对不稳定的变量,而其他指标相对比较稳定,在短期内不会

随时间变化,尽管已有研究已经做出一些根系吸水模型^[13-14],但是并没有涉及根量;3种植物土壤有机质含量与土壤分形维数显著相关或极显著相关,与土壤容重只有梭梭和白刺极显著相关。

表 2 梭梭各因子相关矩阵^①

Table 2 Matrix of the correlation between different environmental factors to *H. ammodendron*

因子	土壤 分形维数	土壤有机 质含量	土壤 含水率	土壤 容重	<1 mm 根重	1~2 mm 根重	2~5 mm 根重	<1 mm 根系表面积	1~2 mm 根系表面积	2~5 mm 根系表面积
土壤分形维数	1									
土壤有机质含量	0.537*	1								
土壤含水率	-0.243	0.107	1							
土壤容重	0.244	0.715**	-0.127	1						
<1 mm 根重	0.018	-0.232	-0.227	-0.137	1					
1~2 mm 根重	0.249	-0.111	-0.113	-0.063	0.876**	1				
2~5 mm 根重	-0.418	0.003	0.464	0.42	0.145	0.119	1			
<1 mm 根系表面积	0.028	-0.21	-0.282	-0.128	0.935**	0.879**	0.05	1		
1~2 mm 根系表面积	0.273	-0.094	-0.116	-0.046	0.851**	0.997**	0.125	0.868**	1	
2~5 mm 根系表面积	0.404	0.503	0.365	0.534*	0.135	0.371	0.554*	0.033	0.394	1

①*表示相关显著($\alpha=0.05$);**表示相关极显著($\alpha=0.01$)。

表 3 红柳各因子相关矩阵

Table 3 Matrix of the correlation between different environmental factors to *T. ramosissima*

因子	土壤 分形维数	土壤有机 质含量	土壤 含水率	土壤 容重	<1 mm 根重	1~2 mm 根重	2~5 mm 根重	<1 mm 根系表面积	1~2 mm 根系表面积	2~5 mm 根系表面积
土壤分形维数	1									
土壤有机质含量	0.667**	1								
土壤含水率	-0.059	0.310	1							
土壤容重	0.071	-0.057	0.125	1						
<1 mm 根重	-0.006	0.128	-0.185	-0.820*	1					
1~2 mm 根重	0.135	-0.208	-0.363	-0.236	0.257	1				
2~5 mm 根重	0.225	-0.154	-0.270	-0.035	0.083	0.905**	1			
<1 mm 根系表面积	-0.011	0.114	-0.173	-0.797**	0.997**	0.241	0.081	1		
1~2 mm 根系表面积	0.251	-0.128	-0.384	-0.298	0.356	0.975**	0.851**	0.343	1	
2~5 mm 根系表面积	0.306	-0.11	-0.272	-0.035	0.06	0.907**	0.994**	0.055	0.864**	1

表 4 白刺各因子相关矩阵

Table 4 Matrix of the correlation between different environmental factors to *N. sibirica*

因子	土壤 分形维数	土壤有机 质含量	土壤 含水率	土壤 容重	<1 mm 根重	1~2 mm 根重	2~5 mm 根重	<1 mm 根系表面积	1~2 mm 根系表面积	2~5 mm 根系表面积
土壤分形维数	1									
土壤有机质	0.537*	1								
土壤含水率	-0.243	0.107	1							
土壤容重	0.244	0.715**	-0.127	1						
<1 mm 根重	0.018	-0.232	-0.227	-0.137	1					
1~2 mm 根重	0.249	-0.111	-0.113	-0.063	0.876**	1				
2~5 mm 根重	-0.418	0.003	0.464	0.420	0.145	0.119	1			
<1 mm 根系表面积	0.028	-0.21	-0.282	-0.128	0.935**	0.879**	0.05	1		
1~2 mm 根系表面积	0.273	-0.094	-0.116	-0.046	0.851**	0.997**	0.125	0.868**	1	
2~5 mm 根系表面积	0.404	0.503	0.365	0.534*	0.135	0.371	0.554*	0.033	0.394	1

研究表明,梭梭、白刺土壤容重与 2~5 mm 根系表面积显著相关;红柳土壤容重与小于 1 mm 根系重量、表面积极显著相关。表明土壤容重对荒漠植物根系的影响很大,但对不同种类的植物影响部位不同。

根系指标间的相关性表达了各指标间的区分度,梭梭、白刺小于 1 mm,1~2 mm 根重与对应的根系表面积呈极显著正相关;3 种植物小于 1 mm 根重与根系表面积呈极显著正相关;梭梭、白刺小于 1 mm 根

重与 1~2 mm 根系表面积、1~2 mm 根重呈极显著正相关。梭梭、白刺 1~2 mm 根重与小于 1 mm,1~2 mm 根系表面积呈极显著相关,红柳 1~2 mm 根重与 1~2,2~5 mm 根系表面显著相关;梭梭、白刺 2~5 mm 根重只与 2~5 mm 根系表面积显著相关,红柳 2~5 mm 根系与 1~2,2~5 mm 根系表面积呈极显著相关;小于 1 mm 根系表面积与 1~2 mm 根系表面极显著相关。可以看出,根重和根系表面积在反映根系生长方面效果一样。

3 结论与讨论

荒漠主要固沙植物梭梭、红柳、白刺根系根重密度、根系表面积在粘土层周围加大,但物种不同,凸现这种规律的根级并不相同,梭梭表现为小于 1 mm 根系,红柳和白刺表现为 1~2 mm 根系与 2~5 mm 根系。已有研究只指出荒漠区土壤存在瘠底层,且针对耕作土壤,但对荒漠土壤粘土层深度的影响研究有所欠缺,对是否只出现一层粘土层的问题尚未见报道,因此对荒漠土壤粘土层分布影响较大的降水、不同年代沙对粘土层的深度影响等问题亟需研究。

土壤容重对荒漠植物植株根系影响较大,土壤分形维数、土壤含水率和土壤有机质与对应的根系指标的相关性不同。另外,土壤有机质含量、酸度、养分含量、旧根孔道和供氧等许多因素对根系生长都有作用。本文只分析了土壤质地、有机质含量、土壤含水率对梭梭根的影响,对没有涉及的土壤盐分含量、土壤硬度^[15]、土壤孔隙度^[16]等方面,仍需进一步研究。

本文试图从定量方面给出根系微环境对植株根系的影响因子系数,但是从各环境因子与根系指标间的相关关系来看,其相互关系比较复杂。已有的研究主要集中于根冠生长模型研究如 Thornley 模型,它是以碳素和氮素的供应、运输及利用为而建立的两组分(根、冠)、二物质(碳、氮)的运输—阻力(transportresistance)机制(解释性)模型,简称为 TR 方法^[17]。在量化以及孔隙度等方面还有待于进一步研究,也是今后研究的一个方向。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] JACKSON R B,CANADELL J,MOONEY H A. A global analysis of root distribution for terrestrial biomes[J]. *Oecologia*,1996,180:389-411.
- [3] KING J S,ALBAUGH T J,ALLEN H L,et al. Below-ground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine root dynamics in loblolly pine[J]. *New Phytol*,2002,164:389-398.
- [4] NADELHOFER K J,EMMETT B A,GUNDERSON P,et al. Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests[J]. *Nature*,1999,398:145-148.
- [5] NADELHOFER N J. The potential effects of nitrogen deposition on fine root production in forest ecosystem[J]. *New Phytol*,2000,147:131-139.
- [6] 单立山,张希明,花辉. 塔克拉玛干沙漠腹地梭梭幼苗根系分布特征对不同灌溉量的响应[J]. 植物生态学报,2007,31(5):769-776.
- [7] 王辉,孙栋元,刘丽霞. 干旱荒漠区沙蒿种群根系生态特征研究[J]. 水土保持学报,2007,21(1):99-102.
- [8] 刘秀萍,陈丽华,陈吉虎. 刺槐和油松根系密度分布特征研究[J]. 干旱区研究,2007,24(5):647-651.
- [9] 杨丽,张秋良,常金宝. 胡杨树根系空间分布特性[J]. 内蒙古农业大学学报,2006,27(1):15-17.
- [10] 张永明,高润宏,金洪. 西鄂尔多斯荒漠四种灌木根系生态特性研究[J]. 内蒙古大学学报,2005,26(3):39-43.
- [11] 盛晋华,乔永祥,刘宏义,等. 梭梭根系的研究[J]. 草地学报,2004,12(2):91-94.
- [12] 刘慧,刘建立. 估计土壤水分特征曲线的简化分形方法[J]. 土壤,2004,36(6):672-674.
- [13] HILLEL D,TALPAZ H, VAN KEULEN H. A macroscopic-scale model of water uptake by a non-uniform root system and of water and salt movement in the soil profile[J]. *Soil Sciences*,1976,121:242-255.
- [14] 朱永华,作彦卿,吕海深. 植物生长条件下荒漠土壤水分预报的数学模型[J]. 冰川冻土,2001,23(3):264-269.
- [15] 陈晓远,高志红,罗远培. 植物根冠关系[J]. 植物生理学通讯,2005,41(5):555-562.
- [16] HILLDEBRAND E E. Influence of the structural deterioration of fine loams on the root development of Norway spruce clone[J]. *Mitteilungen des Vdreins fur Forstliche Standortskunde und Forst pflanzenzuchtung*,1986,(32):50-60.
- [17] KOROTAEV A A. Soil compaction and growth of trees[J]. *Forstarchiv*,1992,63(3):116-119.