

# 陕北毛乌素沙漠黑沙蒿根系分布特征研究

康博文<sup>1</sup>, 刘建军<sup>1</sup>, 孙建华<sup>1</sup>, 李岩峰<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2 内蒙古巴彦淖尔市水土保持站, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

**摘 要:**研究沙生植物根系空间分布特征对制定沙质困难立地植被恢复与重建技术路线, 选定适宜树种, 提高造林成活率、保存率和效益, 都会起到非常重要的作用。采用埋置网状沙袋土芯、分层挖掘、根系分析系统等方法对毛乌素沙地主要优势植物黑沙蒿的根系生长和分布特征进行了测定, 结果表明: (1) 不同年龄的黑沙蒿根系生物量变化范围及其在各土层中的分布规律各不相同。黑沙蒿根系生物量随着树龄的增加而增加, 在一定时期达到最大值, 然后逐渐下降并趋于稳定; 其根系分布也随年龄的增加向深层土壤延伸, 在垂直方向上, 根生物量随深度增加呈指数递减。1~5 年生黑沙蒿根系生物量主要分布在 0—60 cm 土层, 占总根系生物量百分比分别为 99.06%、97.71%、94.31%、93.82%、84.35%。0—20 cm 土层根系生物量占根总生物量百分比随着树龄的增加逐渐减小, 20—60 cm 土层的根系生物量百分比则随着树龄的增大先增大后减少。(2) 黑沙蒿根长的变化特征与其根生物量的分布规律较为相似, 随着年龄的增加不同土层间根长的变幅增大, 但随着土壤深度的增加沙蒿根长呈指数函数模式递减。(3) 1~5 年生黑沙蒿比根长在 0—200 cm 土层平均比根长随着树龄的增加而减小, 1 年生黑沙蒿的比根长最大, 5 年生黑沙蒿用以构建根系的碳投入最多, 比根长最小。黑沙蒿用以构建根长的生物量投入效率也随着年龄的增加而减小。同龄黑沙蒿在不同土层的比根长也各不相同, 不仅说明了植物对其生存环境具有较高的可塑性, 也反映了土壤环境条件存在差异。

**关键词:**毛乌素沙漠; 黑沙蒿; 根系; 分布特征

中图分类号: Q945.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0119-05

## Study on Root Distribution of *Artemisia Ordosica* in Mu Us Sandy Land

KANG Bo-wen<sup>1</sup>, LIU Jian-jun<sup>1</sup>, SUN Jian-hua<sup>1</sup>, LI Yan-feng<sup>2</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Inner Mongolian Bayannor Conservation of Water and Soil Station, Bayannaoer, Inner Mongolia 015000, China)

**Abstract:** Study on root distribution plays an important role in the vegetation recovery and regeneration, the choice of suitable species, improving afforestation survival, preserving rate, and benefit to master sandy plant root growth and its vertical distribution. This paper studied the spatial-temporal root distribution of the *Artemisia ordosica* in moving dune, semi-fixed dune, and fixed dune of Mu Us sandy land by embedding reticular bag soil core, layered excavating, and analysis system of root. The range of *Artemisia* root biomass was varied by the ages and the distributions in the soil layers were different. The root biomass was increased with the ages, and come to the maximum in a certain period of growth, then gradually decreased and kept stable. The roots extended to the deeper soil layers along with the increase of age, and the root biomass exponentially declined with the depth of soil. The root biomasses of *Artemisia* at the age of one to five years were mainly in 0—60 cm soil layer, whose percentage were 99.06%, 97.71%, 94.31%, 93.82%, 84.35%. In 0—20 cm, the percentage of the root biomass of total root (PBT) reduced with the ages. In 20—60 cm, the PBT increased at first and then decreased. The variation and the distribution of the root length were similar as the pattern of the biomass, and the root length difference in different soil layers increased with the ages, but the root length exponentially declined with the depth of soil. Specific root length (SRL) can reflect the characteristics of habitat flexibility of plants. The variation of SRL of *Artemisia* showed that the means of SRL decreased with the ages in 0—200 cm soil layer and the one year was the largest in five age stages.

收稿日期: 2010-04-02

资助项目: 国家林业局 948 项目 (2006-04-16)

作者简介: 康博文 (1963—), 男, 陕西周至人, 高级工程师, 主要从事森林生态及植被恢复技术研究。E-mail: bowankang@sina.com

The five-year plant input the most carbon but has the least SRL. The efficiency of inputting carbon for root length construction decreased with the increase of age. The SRL was different in different soil layers at the same age. It was indicated that the plants had a high plasticity to their living environment and reflected the difference among the soil conditions.

**Key words:** Mu Us Desert; *Arternisia ordosica*; root system; distribution characteristic

毛乌素沙漠是我国的大沙区之一,降雨稀少、土壤干旱环境对多数沙漠植物生长造成严重威胁,也是形成沙区植被稀疏、种类单纯的根本原因。林木根系分布特征及其对干旱的抗御能力是林分生长和稳定的主要决定因素,尤其在干旱地区,根系空间分布直接影响植物的水分吸收和利用<sup>[1]</sup>,它反映了土壤的物质和能量被利用的可能性以及生产<sup>[2]</sup>,在干旱荒漠化地区,深根性植物可以通过根系的提水作用在一定程度上对土壤水分进行再分配,从而改善植物的微生境<sup>[3]</sup>。掌握不同沙地类型植物根系空间分布特征、土壤水分含量与植物根系生长的关系,对制定沙质困难立地植被恢复与重建技术路线,选定适宜树种,提高造林成活率、保存率和效益,都会起到非常重要的作用。

黑沙蒿(*Arternisia ordosica*),又名油蒿,是我国北部及西北部温带荒漠和草原地带沙漠化的主要标志性植物,适应干旱沙地环境,具有耐沙埋、抗风蚀、耐贫瘠、分枝和结实性良好等特性,是沙漠和沙漠化土地恢复与重建的优良树种,以其为对象研究根系生长及其空间分布规律,对了解和掌握沙生植物根系特征及其适应环境机理具有借鉴意义。

## 1 研究地概况与研究方法

### 1.1 研究地概况

试验在陕西省榆林市榆阳区巴拉素林场进行,该区位于毛乌素沙地南缘,北纬  $37^{\circ}48'15''-38^{\circ}55'14''$ ,东经  $108^{\circ}56'09''-110^{\circ}24'03''$  之间。属于中温带大陆性季风气候,年均气温  $7.6\sim 8.6^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温  $40.1^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温  $-32.7^{\circ}\text{C}$ ,年降水量  $316\sim 450\text{ mm}$ ,年蒸发量  $2\,092\sim 2\,506\text{ mm}$ ,是降雨量的  $5\sim 6$  倍;无霜期平均  $134\sim 169\text{ d}$ ,最短仅有  $102\text{ d}$ ;气温日较差大,年平均日较差  $11.4\sim 13.9^{\circ}\text{C}$ ;日照充足、光能资源丰富,年日照  $2\,594\sim 2\,914\text{ h}$ 。土壤为风沙土,地带性植被属于干草原,主要植物有沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)、沙竹(*Psammichloa villosa*)、寸草(*Carex steno-phylla*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、苦马豆(*Swainsonia salsula*)、黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)、白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、沙柳(*Salix cheilonehila*)、沙棘(*Hippophae fhamnoides*)、小叶

锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 黑沙蒿根系形态特征测定 在野外选择 1~5 年生的黑沙蒿植株作为研究材料,每个年龄段的黑沙蒿各选 3 株,采用全挖法获取黑沙蒿根系,在挖取根样的过程中,在土层垂直方向每  $20\text{ cm}$  为一层,分别采集根系,装入布袋,放好标签,带回实验室。在实验室利用游标卡尺,参照 W. 伯姆《根系研究法》对根系进行分级,具体划分为  $d\leq 2\text{ mm}$  和  $d>2\text{ mm}$  两级,然后利用根系分析系统获取沙蒿根系的根长、根表面积、根体积等参数。根系生物量的测定采用烘干法,把根放入烘箱中,在  $80^{\circ}\text{C}$  条件下烘干至恒重,然后称其干重。

1.2.2 黑沙蒿根系生长量测定 在半固定沙丘,分别在沙丘的迎风面下部、中部、沙丘顶部、背风面中部和下部选择大小相近,生长旺盛,平均高度为  $60\text{ cm}$  的黑沙蒿各 3 株。于 2007 年 4 月按十字交叉法分别在距植株水平距离为  $20, 40, 60\text{ cm}$  的位置埋置灌沙的土芯网。土芯网采用尼龙沙网缝制而成,长  $120\text{ cm}$ ,直径  $50\text{ mm}$ 。于 2007 年 11 月按  $0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120\text{ cm}$  的深度进行分层取根。把根装入袋中,带回实验室,在  $80^{\circ}\text{C}$  条件下把根放入烘箱中烘干至恒重,然后称其干重。

1.2.3 数据处理与统计方法 采用 Excel 2003、DPS v3.1、SigmaPlot 10.0 对试验数据进行统计、分析、制图等。

## 2 结果与分析

### 2.1 根系形态与分布特征

2.1.1 黑沙蒿根生物量在土壤中的分布特征 生物量是衡量植物群落环境贡献的重要指标之一,也是植物群落最重要的数量特征之一,它直接反映了生态系统生产者的物质生产量,是生态系统生产力的重要体现,也体现了群落结构、环境以及人类活动等因素的综合作用结果,反映了群落的生长状况。土壤不同深度的根系生物量,可以反映该植物在某一土层深度的生长能力和积累的生物量,而积累的生物量越多,说明在该层中利用土壤营养、水分和微量元素的能力越强。

试验结果(图 1、图 2)表明:1~5 年生的黑沙蒿根系平均生物量分别为 2.63 g/株、5.36 g/株、15.44 g/株、24.94 g/株和 33.06 g/株。1 年生黑沙蒿根系在 0—100 cm 土层范围内均有分布,但主要分布在 0—20 cm 土层,其生物量占总根生物量的 81.33%,而 0—40 cm 土层内的根系生物量则占到总生物量的 94.96%,黑沙蒿根系生物量在不同土层的分布范围为 0.03~2.14 g/株,其最大根生物量分布在 0—20 cm 土层,最小根生物量分布在 80—100 cm 土层。2 年生黑沙蒿根系分布在 0—100 cm 土层范围,其最大根系生物量分布在 0—20 cm 土层,占总根生物量的 74.24%,最小生物量分布在 80—100 cm 土层,占总跟生物量的 1.38%,0—40 cm 土层根生物量则占总跟生物量的 84.65%,黑沙蒿根系生物量在不同土层的分布范围为 0.07~3.58 g/株。3 年生沙蒿根系分布在 0—160 cm 的土层范围,0—20 cm 土层根生物量占总根生物量的 72.95%,0—40 cm 土层根生物量占总跟生物量的 88.60%,而 0—60 cm 土层内的根系生物量则占到总生物量的 93.52%,黑沙蒿根系生物量在不同土层的分布范围为 0.04~11.48 g/株,其最大根系生物量分布在 0—20 cm 土层,最小生物量分布在 140—160 cm 土层。4 年生黑沙蒿根系分布在 0—180 cm 的土层范围,在 0—20 cm 土层根生物量占总根生物量的 64.89%,0—40 cm 土层根生物量占总跟生物量的 81.95%,而 0—60 cm 土层内的根系生物量则占到总生物量的 94.23%,黑沙蒿根系生物量在不同土层的分布范围为 0.01~16.19 g/株,其最大根系生物量分布在 0—20 cm 土层,最小生物量分布在 160—180 cm 土层。5 年生黑沙蒿根系分布在 0—200 cm 的土层范围,在 0—20 cm 土层根生物量占总根生物量的 54.33%,0—40 cm 土层根生物量占总跟生物量的 73.62%,而 0—60 cm 土层内的根系生物量则占到总生物量的 81.34%,黑沙蒿根系生物量在不同土层的分布范围为 0.02~18.12 g/株,其最大根系生物量分布在 0—20 cm 土层,最小生物量分布在 180—200 cm 土层。不同年龄的黑沙蒿根系生物量变化范围及其在各土层中的分布规律各不相同。随着年龄的递增不同土层间根系生物量的变化幅度增大,在一定时期达到最大值,然后逐渐下降并趋于稳定<sup>[4]</sup>。在垂直方向上黑沙蒿根系分布随着年龄的增加也向深层土壤延伸,但随着土层深度的增加生物量呈指数递减。黑沙蒿根系主要分布在 0—60 cm 土层,在 0—20 cm 土层,黑沙蒿根系生物量占根总生物量百分比 1 年生 > 2 年生 > 3 年生 > 4 年生 > 5 年生;在 20—60 cm 土层,根系生物量百分比

则随着年龄的增大出现先增大后减少的趋势。用 DPS 对数据进行方差分析结果表明,在 0—60 cm 土层根系生物量分布有显著差异,60 cm 以下根系生物量分布差异性不显著。

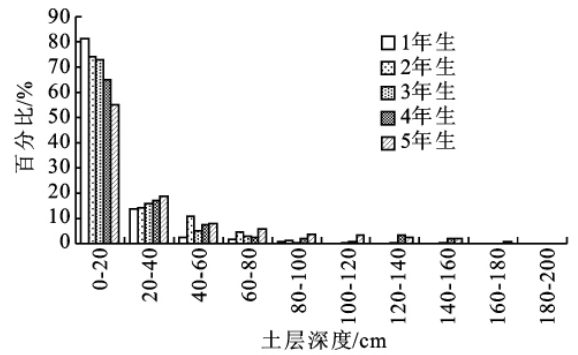


图 1 根系在不同土层比例

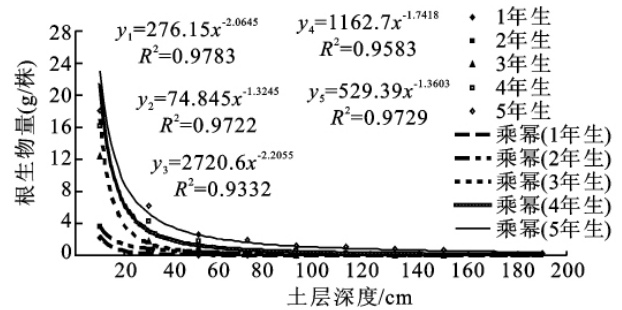


图 2 根系生物量在各土层分布

2.1.2 黑沙蒿根长在土壤中的变化特征 1~5 年生黑沙蒿根系平均根长分别为 604.49, 1 133.70, 4 104.82, 5 521.66, 6 705.23 mm, 不同年龄的黑沙蒿根长变化范围及其在各土层中的分布规律各不相同。随着年龄的递增不同土层间根长的变幅增大,但随着土壤深度的增加黑沙蒿根长成幂函数递减,黑沙蒿根长的分布规律与根系生物量的分布较为相似,其主要分布也集中在 0—60 cm 土层(如图 3)。

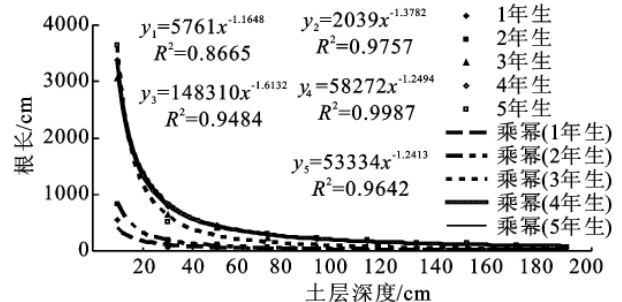


图 3 根长在不同土层的分布

1 年生黑沙蒿根系根长主要分布在 0—20 cm 土层,其根长占总根长的 79.31%,而 0—40 cm 土层内的根系根长则占到总根长的 90.71%,黑沙蒿根系根长在不同土层的分布范围为 42.43~673.66 mm,其最大根长分布在 0—20 cm 土层,最小根长分布在 80—100 cm 土层。2 年生黑沙蒿根系根长在 0—20 cm

土层,其根长占总根长的 73.07%,而 0—40 cm 土层内的根系根长则占到总根长的 89.12%,黑沙蒿根系根长在不同土层的分布范围为 34.27~1 072.24 mm,其最大根长分布在 0—20 cm 土层,最小根长分布在 80—100 cm 土层。3 年生黑沙蒿根系根长在 0—20 cm 土层的根长百分比为 66.39%,而 0—40 cm 土层内的根系根长则占到总根长的 81.83%,黑沙蒿根系根长在不同土层的分布范围为 54.93~3 364.13 mm,其最大根长分布在 0—20 cm 土层,最小根长分布在 140—160 cm 土层。4 年生黑沙蒿根系在 0—20 cm 土层内根系根长占总根长的 58.65%,0—40 cm 土层根长占总根长的 78.99%,而在 0—60 cm 土层内的根系根长则占到总根长的 87.78%,黑沙蒿根系根长在不同土层的分布范围为 25.39~3 830.88 mm,其最大根长分布在 0—20 cm 土层,最小比根长分布在 120—140 cm 土层。5 年生黑沙蒿根系在 0—20 cm 土层根系根长占总根长的 54.46%,在 0—40 cm 土层根长占总根长的 75.53%,而在 0~60 cm 土层内的根系根长则占到总根长的 84.76%,黑沙蒿根系根长在不同土层的分布范围为 28.37~3 828.01 mm,其最大根长分布在 0—20 cm 土层,最小根长分布在 160—180 cm 土层。

比根长是根长和生物量的比值,可以表征根系收益和花费的关系。比根长是关键的根系性状之一,它决定了根系吸收水分和养分的能力,是反映细根生理功能的一个重要指标,并且与根系功能、根系分泌物、根系寿命、根系呼吸、根系可塑性和根系增殖等密切相关。植物根系吸收水分和养分的能力更多的取决于根长而不是生物量,具有较大比根长的植物在根系生物量投入方面比具有较小比根长的植物更有效率<sup>[5]</sup>,研究植物比根长对于了解根系功能和探明其生物量分配策略具有重要意义。

1~5 年生的黑沙蒿 0—200 cm 土层平均比根长分别为 929.24,804.16,714.82,560.79,663.87 mm/mg,不同年龄的黑沙蒿比根长变化范围及其在各土层中的分布规律各不相同。1 年生沙蒿比根长分布范围为 193.59~17 720.37 mm/mg,其最大比根长分布在 80—100 cm 土层,最小比根长分布在 0—20 cm 土层。2 年生黑沙蒿比根长分布范围为 229.28~1 819.70 mm/mg,其最大和最小比根长分别分布在 80—100 cm 土层和 0—20 cm 土层。3 年生黑沙蒿比根长分布范围为 203.57~1 531.50 mm/mg,其最大和最小比根长分别分布在 140—160 cm 土层和 0—20 cm 土层。4 年生黑沙蒿比根长分布范围为 205.96~949.20 mm/mg,其最大和最小比根长分别分布在 80—100 cm 土层和

20—40 cm 土层。5 年生黑沙蒿比根长分布范围为 194.21~1 282.93 mm/mg,其最大和最小比根长分别分布在 140—160 cm 土层和 0—20 cm 土层。黑沙蒿根比根长在 0—200 cm 土层随土层加深而增加,二者呈正相关关系(如图 3—5)。

比根长能反映植物对不同生境的适应特征,本文通过对 1~5 年生黑沙蒿比根长变化特征的研究发现,0—200 cm 土层平均比根长为 1 年生>2 年生>3 年生>4 年生>5 年生,5 个年龄段的黑沙蒿中 1 年生黑沙蒿单位生物量构建的根长最大,因此比根长最大,5 年生黑沙蒿用以构建其根系的碳投入最多,但是其比根长却最小。5 个年龄段的黑沙蒿用以构建根长的生物量投入效率从高到低依次为 1 年生>2 年生>3 年生>4 年生>5 年生。而相同年龄段的黑沙蒿在不同土层其比根长也各不相同,这不仅说明了植物对其生存环境具有较高的可塑性,同时也说明了土壤环境条件的差异影响着植物根系的生长。

## 2.2 根生长量在不同土层中的变化

土壤条件和外部环境的变化决定着植物根系的生长和分布,在同一沙丘上随着坡向、坡位的不同黑沙蒿根系年生长量变化范围及其在垂直和水平方向上的分布规律亦各不相同。在半固定沙丘迎风面下部、中部、沙丘顶部、背风面中部和下部黑沙蒿根系的年生长量分别为 7 375.25,8 517.25,5 576.00,14 893.50,14 304.75 g/(m·a),黑沙蒿根系的年生长量背风面>迎风面>沙丘顶部。

在从垂直方向上,黑沙蒿根系的年生长量随土层的增加呈现先增大后减小的变化趋势,其根生长量主要集中在分布在 0—60 cm 土层(如图 5);在半固定沙丘迎风面下部,根生长量的主要集中分布在 20—80 cm 土层,其根生长量占总根生长量的 63.83%,根生长量最大值为 1 990.50 g/(m·a),出现在 60—80 cm 的土层内。在沙丘迎风面中部,根生长量的主要集中分布在 0—60 cm 土层,其根生长量占总根生长量的 61.36%,根生长量最大值为 1 976.50 g/(m·a),出现在 20—40 cm 的土层内。在沙丘顶部,根生长量的主要集中分布在 0—60 cm 土层,其根生长量占总根生长量的 58.82%,根生长量最大值为 1 152.50 g/(m·a),出现在 40—60 cm 的土层内。在背风面中部,根生长量的分布较为分散,以 20—40 cm 土层内的根生长量分布为最大,其量值为 2 930.00 g/(m·a),占总根生长量的 19.67%。在背风面下部,根生长量的主要集中分布在 0—60 cm 土层,其根生长量占总根生长量的 65.29%,根生长量最大值为 4 139.00 g/(m·a),出现在 20—40 cm 的土层内。

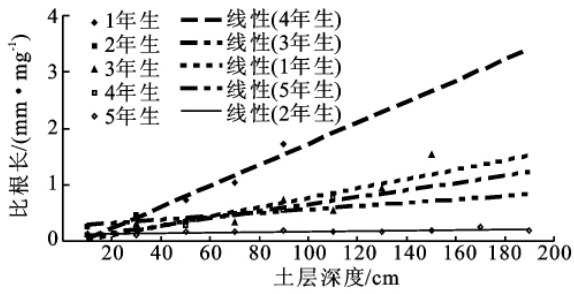


图 4 比根长在土层的分布

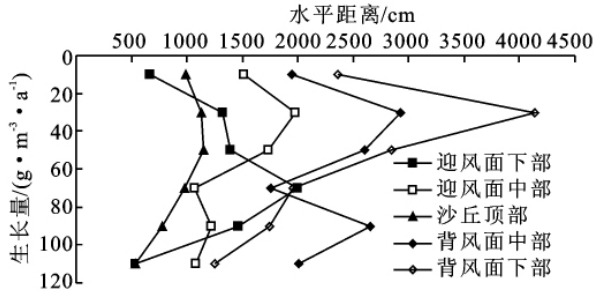


图 5 根系生长量水平分布

在水平方向上,黑沙蒿根系的年生长量随距沙蒿植株距离的增大而逐渐减小,其根生长量主要集中在距黑沙蒿植株 0—40 cm 的范围内(如图 6)。在半固定沙丘迎风面下部,根生长量的主要集中分布在距植株 20—40 cm 的范围内,其根生长量为 2 467 g/(m·a),占总根生长量的 42.94%,在距植株 0—40 cm 的范围内,其根生长量占总根生长量的 75.99%。在沙丘迎风面中部,根生长量的主要集中分布在距植株 0—20 cm 的范围内,其根生长量为 3 946.50 g/(m·a),占总根生长量的 48.77%,在距植株 0—40 cm 的范围内,其根生长量占总根生长量的 76.77%。在沙丘顶部,根生长量的主要集中分布在距植株 0—20 cm 的范围内,其根生长量为 2 086.50 g/(m·a),占总根生长量的 36.27%,在距植株 0—40 cm 的范围内,其根生长量占总根生长量的 72.19%。在背风面中部,根生长量的主要集中分布在距植株 0—20 cm 的范围内,其根生长量为 5 788.75 g/(m·a),占总根生长量的 39.40%,在距植株 0—40 cm 的范围内,其根生长量占总根生长量的 70.47%。在背风面下部,根生长量的主要集中分布在距植株 0—20 cm 的范围内,其根生长量为 7 760.00 g/(m·a),占总根生长量的 38.74%,在距植株 0—40 cm 的范围内,其根生长量占总根生长量的 72.17%。

### 3 结论

(1) 不同年龄的黑沙蒿根系生物量变化范围及其在各土层中的分布规律各不相同。黑沙蒿根系生物量随着年龄的增加而增加,在一定时期达到最大值,然后

逐渐下降并趋于稳定,其根系分布也随年龄的增加向深层土壤延伸,在垂直方向上,根生物量随深度增加成指数递减。1~5 年生黑沙蒿根系主要分布在 0—60 cm 土层,在 0—20 cm 土层,黑沙蒿根系生物量占根总生物量百分比 1 年生 > 2 年生 > 3 年生 > 4 年生 > 5 年生;在 20—60 cm 土层,根系生物量百分比则随着年龄的增大出现先增大后减少的趋势。

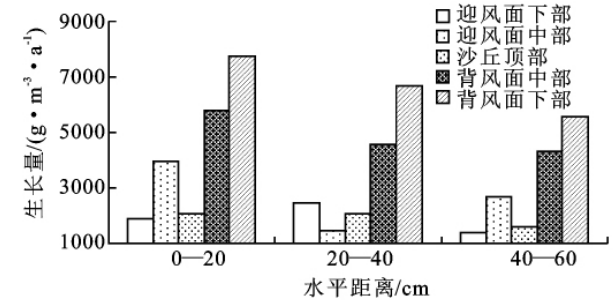


图 6 根系生长量水平分布

(2) 黑沙蒿根长的变化特征与其根生物量的分布规律较为相似,1~5 年生黑沙蒿根长主要分布也集中在 0—60 cm 土层,而且随着年龄的增加不同土层间根长的变幅增大,但随着土壤深度的增加黑沙蒿根长成指数递减。

(3) 比根长能反映植物对不同生境的适应特征,通过对 1~5 年生黑沙蒿比根长变化特征的研究得出:0—200 cm 土层平均比根长为 1 年生 > 2 年生 > 3 年生 > 4 年生 > 5 年生,5 个年龄段的黑沙蒿中 1 年生单位生物量构建的根长最大,因此比根长最大,5 年生黑沙蒿用以构建其根系的碳投入最多,但是其比根长却最小。5 个年龄段的黑沙蒿用以构建根长的生物量投入效率从高到低依次为 1 年生 > 2 年生 > 3 年生 > 4 年生 > 5 年生。而相同年龄段的黑沙蒿在不同土层其比根长也各不相同,这不仅说明了植物对其生存环境具有较高的可塑性,同时也反映了土壤环境条件存在差异。

#### 参考文献:

[1] 赵忠,李鹏.渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J].水土保持学报,2002,16(1):96-107.  
[2] 孙多.苏南丘陵天然次生栎林根系分布特征和生物量结构的研究[M]//中国森林生态系统定位研究.哈尔滨:东北林业大学出版社,1994:517-523.  
[3] 樊小林,李生秀.植物根系的提水作用[J].西北农业大学学报,1997,25(5):75-81.  
[4] 李凌浩,林鹏.武夷山甜槠林细根生物量和生长量研究[J].应用生态学报.1998,9(4):337-340.  
[5] Eissenstat D M. Costs and benefits of construction roots of small diameter[J]. Journal of Plant Nutrition, 1992, 15:763-782.