

# 黄土丘陵沟壑区自然恢复坡面植物根系的分布特征

王巧利<sup>1</sup>, 贾燕锋<sup>2</sup>, 王 宁<sup>3</sup>, 杜华栋<sup>3</sup>, 焦菊英<sup>3,4</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866;  
3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**采用土钻法研究了黄土丘陵沟壑区自然恢复坡面土壤根系的分布特征及土壤养分含量与土壤水分含量对根系分布的影响。结果表明:根系的分布因坡向、侵蚀带、土层深度、植被类型等的不同而异。阳坡根系总生物量高于半阴坡,但差异不显著;沟谷地根系总生物量及 $\leq 1$  mm 根系生物量与沟间地各侵蚀带存在显著性差异;随着土层深度的增加,根系生物量减小;不同植被类型及其盖度对根系生物量有很大影响。不同坡向、各侵蚀带、不同土层中各径级根系生物量的总体趋势是 $\leq 1$  mm 根系生物量最大,1~2 mm 次之,2~3 mm 和 $>3$  mm 根系生物量较小,且 $\leq 1$  mm 根系生物量与 2~3 mm 和 $>3$  mm 根系生物量间存在显著差异。根系生物量与土壤养分(除全磷)总体为中度正相关,与土壤水分分布不一致。因此,根系分布不仅与植物自身特性有关,还受土壤环境的影响。

**关键词:**黄土丘陵沟壑区;根系生物量;根系分布;土壤养分;土壤水分

中图分类号:S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0016-07

## Distribution of Root on Vegetation Recovery Slope in the Hilly and Gully Loess Plateau

WANG Qiao-li<sup>1</sup>, JIA Yan-feng<sup>2</sup>, WANG Ning<sup>3</sup>, DU Hua-dong<sup>3</sup>, JIAO Ju-ying<sup>3,4</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, CAS&MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The root distribution and the influence of soil nutrient and soil moisture on root distribution of vegetation recovery slope on the hilly and gully Loess Plateau were studied. The results showed that the distribution of root varied with slope aspect, erosion belt, soil depth and vegetation types. The total root biomass of south-face slope was higher than that of east-face slope, but there was no significant difference. Significant differences in the total root biomass and  $\leq 1$  mm root biomass existed between the gully slope and each erosion belt on the inter-gully slope. The root biomass decreased with the increase of soil depth. Different vegetation types and coverage had great influence on root biomass. Among the different diameter levels, the biomass of root with the diameter less than 1 mm group was the largest, followed by the 1~2 mm group, and the 2~3 mm group and the  $>3$  mm group were smaller, meanwhile there existed significant differences between the root biomass of  $\leq 1$  mm group and that of other diameter levels. There was a medium positive correlation between root biomass and soil nutrient (except total phosphorus), and the distribution of root biomass and soil moisture in different soil depth was inconsistent. Therefore, root distribution not only depends on its own characteristics, but also is affected by the soil environmental condition.

**Key words:** hilly and gully Loess Plateau; root biomass; root distribution; soil nutrient; soil moisture

根系是植物的重要组成部分,植物生长所需要的水分和养分主要通过根系从土壤中摄取<sup>[1]</sup>。同时,根系在提高土壤抗侵蚀能力方面具有重要作用。它不仅可以通过在土体中交错、穿插、网络来固持土壤,还

收稿日期:2012-04-04

修回日期:2012-05-02

资助项目:中国科学院重要方向项目(KZCX2-EW-406);国家自然科学基金重点项目(41030532)

作者简介:王巧利(1987—),女,陕西榆林人,在读硕士,主要研究方向为土壤侵蚀。E-mail: wangqiaoli22@163.com

通信作者:焦菊英(1965—),女,陕西宝鸡人,研究员,博士生导师,主要研究方向为植被恢复与水土保持环境效应评价。E-mail: jyjiao@ms.iswc.ac.cn

可以通过改善土壤的物理性质来提高土壤自身的水力学性质,从而增强土体的抗侵蚀能力。根系提高土壤抗冲性能主要取决于根系生物量在土层中的分布<sup>[2]</sup>,而根系的垂直分布随土层深度的变化而变化<sup>[3-4]</sup>,不仅与植物本身的特性有关,而且在很大程度上受土壤环境因子(养分含量、水分含量等)的影响<sup>[5-7]</sup>。由于根系的空间分布特征决定了植被拥有的营养空间的大小和对土壤水分养分的利用能力<sup>[8-9]</sup>,因此植被根系研究在当前生态学研究占有举足轻重的地位。近年来,关于黄土丘陵区植物根系提高土壤抗冲性<sup>[10-11]</sup>、根系的生物学特性<sup>[12]</sup>、根系的生长<sup>[13-14]</sup>、分布<sup>[15-17]</sup>及其与环境因子的关系<sup>[7,18-19]</sup>等方面有不少研究。然而,相对于植物地上部分的研究成果,由于地下部分的研究相对比较困难,所以目前的研究资料仍然十分有限,而根系的分布特征是近年来植物地下部分研究的热点之一。因此,本文就黄土丘陵沟壑区自然恢复坡面植物根系的分布特征及其与土壤养分、水分等因素的关系进行研究,旨在更好地了解黄土丘陵沟壑区自然恢复坡面植物根系的分布特征及其影响因素,为该区的植被恢复和生态建设提供理论依据。

## 1 研究区概况

研究区位于黄土丘陵沟壑区的典型地区安塞县

(36°22′40″—36°32′16″N,105°51′44″—109°26′18″E),属暖温带半干旱气候区,年平均降水量 541.2 mm,年平均蒸发量 1 000 mm,无霜期 160~180 d 左右,年日照时数 2 352~2 573 h,≥10℃积温 2 866℃,年均温 8.9℃<sup>[20]</sup>。该地区处于暖温带森林草原区,天然森林已全遭破坏,人工林以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨(*Populus simonii*)、柠条(*Caragana intermedia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为主;荒坡主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等组成的处于不同演替阶段的草本植物群落<sup>[21]</sup>。土壤类型主要为黄绵土,其中粉粒占 64%~74%,黏粒占 17%~20%,土质疏松,抗蚀抗冲性差,水土流失严重<sup>[22]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择

经野外实地考察,在安塞县纸坊沟流域的支沟拐沟选择两个完整的自然恢复坡面,其主要物种有铁杆蒿、芨蒿、长芒草、白羊草、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等。在每个坡面按照侵蚀带从坡顶向下依次选择 5 个样带(表 1),并在每个样带中选择 3 个 5 m×5 m 样地作为植被调查与采样样地,共选择样地 30 个。

表 1 样地概况

样带号	坡度/ (°)	主要物种	植被盖 度/%	样地 位置	坡位	侵蚀带	侵蚀 程度
I—1	10	铁杆蒿/长芒草	33	分水岭	—	面蚀带	轻度
I—2	23~25	芨蒿/猪毛蒿/达乌里胡枝子	30	沟间地	上	面蚀、细沟侵蚀带	轻度/中度
I—3	20~25	铁杆蒿/猪毛蒿/白羊草/芨蒿	32	沟间地	下	细沟片蚀带	中度
I—4	38~42	芨蒿/铁杆蒿/狼牙刺( <i>Sophora viciifolia</i> )	55~60	沟谷地	上	浅沟侵蚀带	轻度
I—5	35~40	铁杆蒿/芨蒿	50	沟谷地	下	重力、水力侵蚀带	中度
II—1	16	猪毛蒿	23	沟间地	上	面蚀带	轻度
II—2	17~20	猪毛蒿/长芒草	13	沟间地	中	细沟片蚀带	轻度
II—3	15~30	猪毛蒿/阿尔泰狗娃花( <i>Heteropappus altaicus</i> )	25	沟间地	中	细沟浅沟侵蚀带	中度
II—4	25~30	猪毛蒿/铁杆蒿	15	沟间地	下	浅沟、切沟侵蚀带	中度
II—5	28~40	铁杆蒿/长芒草/中华隐子草( <i>Cleistogenes chinensis</i> )	55	沟谷地	—	水力侵蚀带	轻度

注:坡面 I 指阳坡面,坡面 II 指半阴坡面,下同。

### 2.2 植被调查

2008 年 8 月,在 30 个 5 m×5 m 样地中沿对角线分别选择 3 个 1 m×1 m 样方进行地上植被调查,记录物种、高度、盖度、频度等信息;在植被调查的同时,记录样地的坡度、坡位、坡向、海拔、经纬度、侵蚀类型与侵蚀程度等信息。在每个 5 m×5 m 样地内沿对角线选择 3 个点采用土钻法(直径 9 cm)对 0—10,10—20,20—30,30—40 cm 和 40—60 cm 共 5 个层次的根

系进行采集(共计 450 个根钻样)。采集后的根系带回室内分拣、冲洗、晾干后,用游标卡尺根据直径分为 ≤1 mm,1~2 mm,2~3 mm 和 >3 mm<sup>[23]</sup> 4 个径级,然后在 65℃烘箱内烘干至恒重,用精度为 0.000 1 g 的天平称量其干重。

### 2.3 土壤采集

2008 年 8 月对每个 5 m×5 m 样地采用烘干法进行土壤水分测定,采样深度 100 cm,每 20 cm 为一

层。植被调查的同时(2008 年 8 月份),采取 S 型取样法采集表层 0—10 cm 和 10—20 cm 土样,测定土壤有机质、全氮、全磷、有效氮、速效磷、速效钾。其中,土壤有机质的测定采用重铬酸钾( $K_2Cr_2O_7$ )容量法—外加热法;全氮采用半微量开氏法( $K_2SO_4$ — $CuSO_4$ —Se 蒸馏法);全磷采用钼锑抗比色法( $HClO_4$ — $H_2SO_4$ 法);有效氮采用碱解扩散法(康惠法)测定;速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠( $NaHCO_3$ )浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾采用原子吸收光谱法( $NH_4OAc$ 浸提法)<sup>[24-25]</sup>测定。

## 2.4 数据分析

根系生物量以及土壤水分含量、养分含量取样带内各重复平均值,采用 Excel 2007 对所获取的数据进行整理。在 SPSS 16.0 中,用  $t$  检验比较不同坡向根系生物量;应用单因素方差分析分别对不同侵蚀带、不同植被类型、不同土层根系生物量进行比较并进行 LSD 检验;对土壤养分含量与根系生物量的相关性以及差异性进行分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 根系分布特征

(1) 不同坡向根系分布。由于坡向影响着水、肥、光、热等的再分配,因而对根系生物量也有影响。比较两个坡面的根系分布特征发现,阳坡的总生物量大于半阴坡,且各径级根系生物量(除  $>3$  mm)均为阳坡生物量  $\geq$  半阴坡生物量(图 1)。通过  $t$  检验发现,两个坡向根系总生物量以及各径级根系生物量均未达到显著性水平( $P>0.05$ )。

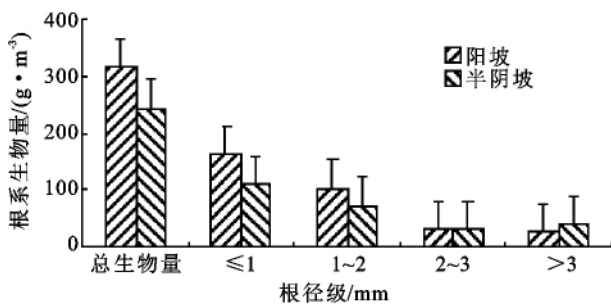


图 1 不同坡向根系生物量

(2) 不同侵蚀带根系分布。比较同一坡面不同侵蚀带间根系分布特征发现,从阳坡(坡面 I)分水岭轻度面蚀带(I—1)到沟间地中度细沟片蚀带(I—3), $\leq 1$  mm 和 1~2 mm 根系生物量均呈减小趋势,2~3 mm 和  $>3$  mm 根系生物量无明显变化;在沟谷地浅沟侵蚀带(I—4)内,各径级根系生物量(除 1~2 mm)均大于其它几个样带;在沟谷地重力、水力侵蚀带(I—5)内,由于重力侵蚀等原因,各径级根系生物量(除  $\leq 2$  mm)则较样带 I—4 小(图 2)。方差分析

表明,除  $\leq 1$  mm 根系外,沟间地各侵蚀带间(I—1、I—2、I—3)根系分布无明显差异,沟谷地各侵蚀带间(I—4、I—5)根系分布亦无明显差异,但沟间地各侵蚀带(I—1、I—2、I—3)与沟谷地各侵蚀带间(I—4、I—5)根系分布存在明显差异( $P<0.05$ )。

从半阴坡(坡面 II)梁峁坡上段面溅蚀带(II—1)到梁峁坡中段细沟片蚀带(II—2),梁峁坡中段细沟浅沟侵蚀带(II—3),梁峁坡下段浅沟、切沟侵蚀带(II—4),各径级根系生物量变化不一;在沟间地的各个样带中,各径级根系生物量变化幅度不大,且各样带根系总生物量及各径级根系生物量间均无显著性差异。沟谷地的水力侵蚀带(II—5)中,其  $\leq 1$  mm 根系生物量、1~2 mm 根系生物量以及总根系生物量与沟间地的各样带均有显著性差异( $P<0.05$ )。

(3) 不同土层深度根系分布。从图 3 中可以看出,阳坡不同土层根系的生物量随着土层深度的增加变化不一,其生物量在 10—20 cm 土层最大,随着土层深度的增加,其生物量逐渐减小,在 40—60 cm 达到最小值;且各径级根系生物量随着土层深度的变化与根系总生物量的变化趋势基本一致。而对于半阴坡,随着土层深度的增加,各土层总根系生物量以及各径级根系生物量均减小。根系总生物量及各径级根系生物量在不同土层深度内不同,但其总体趋势表现为随着土层深度的增加,根系生物量减小。方差分析表明,在两个坡面,根系总生物量以及  $\leq 1$  mm 根系生物量在 0—10 cm 与 30—40 cm、0—10 cm 与 40—60 cm 土层均存在显著性差异( $P<0.05$ ),其它各径级根系生物量随着土层变化无显著性差异。因此,在同一坡面上,不同土层深度的根系分布特征也不同,其不仅受自身遗传特性的影响,而且也受土壤环境的影响<sup>[26]</sup>。根系总生物量以及各径级根系生物量随着土层深度的增加而减小,其在表层分布较多<sup>[19]</sup>。这说明根系总生物量及各径级根系生物量随着土层深度的不同而异,而根系集中分布于表层的原因可能是由于土壤温度从地表向下迅速下降、大量凋落物在表层积累使表层土壤具有较高的养分浓度等<sup>[5]</sup>。

总之,根系总生物量以及各径级根系生物量因坡向、侵蚀带以及土层深度的不同而异,但各径级根系生物量中,均是  $\leq 1$  mm 根系生物量较大,1~2 mm 次之,2~3 mm 和  $>3$  mm 较小。这说明在植物根系中, $\leq 1$  mm 根系所占的比例最大。方差分析表明,不同坡向中, $\leq 1$  mm 根系生物量与 1~2 mm 根系生物量无显著性差异,与 2~3 mm 和  $>3$  mm 均存在显著性差异;不同侵蚀带以及不同土层深度中, $\leq 1$  mm 根系生物量与 1~2 mm 根系生物量无显著性差异,与 2~

3 mm 和  $>3$  mm 均存在极显著性差异。表明  $\leq 1$  mm 根系在根系分布中所占比例最大,是决定根系分布的主要因素。加之  $\leq 1$  mm 根系可以反映了立地条件对

植物生长的影响,因此可作为反映根系吸收等生理特性的有效根系<sup>[27]</sup>。同时,  $\leq 1$  mm 的根系对缠绕固结土壤、强化土壤抗冲性具有巨大的作用<sup>[28]</sup>。

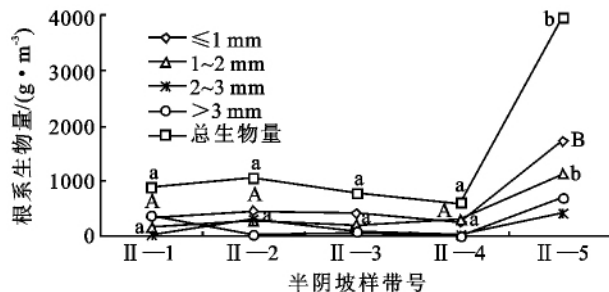
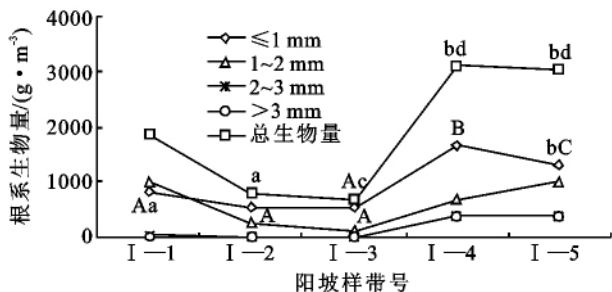


图2 同一坡面不同侵蚀带各径级根系生物量分布特征

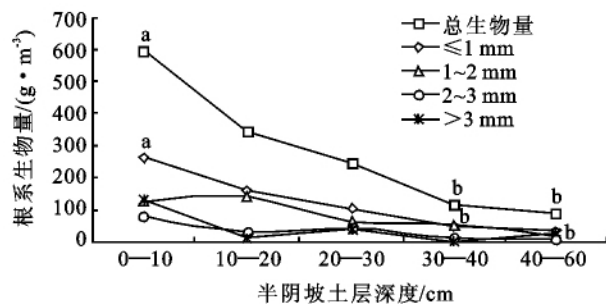
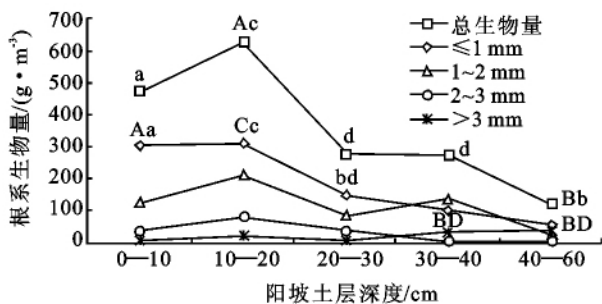


图3 不同土层深度根系生物量分布特征

注:字母表示不同立地条件下根系生物量的差异,大写字母表示  $P < 0.01$  水平,小写字母表示  $P < 0.05$  水平。

### 3.2 不同植被类型的根系分布特征

生物量是生态系统最基本的数量特征,是认识生态系统结构和功能的基础,而根系生物量的差异是植物的生物学特性和环境因子的共同作用的结果。不同的植被类型其根系生物量分布不同,这可能与植物的生长习性以及环境条件有关<sup>[10]</sup>。

结合表1、图2—4可以看出,根系分布因植被类型及其盖度等因素不同而异。在阳坡面(坡面I),植被盖度为55%~60%、主要物种为狼牙刺、芨芨和铁杆蒿的样带I—4的总根系生物量及各径级根系生物量最大,且根系在40—60 cm土壤中所占比例、 $>2$  mm 径级根系生物量所占比例均较其它样带大;植被盖度为50%,主要物种为铁杆蒿和芨芨的样带I—5的总根系生物量以及各径级根系生物量次之;盖度为33%、主要物种为长芒草的样带I—1较样带I—5小;在主要物种有长芒草和白羊草的样带I—1、I—3中,根系在40—60 cm土层中分布较少,且根系中 $<2$  mm的根系生物量占总根生物量的绝大部分(大于95%)。这表明根系生物量不仅与植被类型有关,且植被盖度对其也有很大的影响。根系地上生物量与地下生物量呈正相关关系,植被盖度大的样地,其根系生物量也较大<sup>[29]</sup>。方差分析表明,不同植被类型间根系总生物量未达到显著性水平,在 $\leq 1$  mm 径级上,样带I—4与其它样带的根系生物量均存在显著性差异( $P <$

0.05),而其它径级在各样带间均未达到显著性水平。

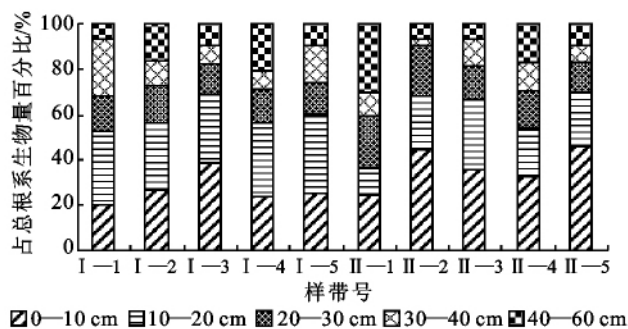


图4 样地各土层根系生物量比较

在半阴坡(坡面II),植被盖度55%、主要物种为铁杆蒿、长芒草和中华隐子草的样带(II—5)的根系生物量较其它几个样带都大,且与沟间地各样带存在显著性差异;沟间地各样带(II—1、II—2、II—3、II—4)的植被类型相似,主要物种都有猪毛蒿、植被盖度为13%~25%,因此其总根系生物量的变化幅度较小,且未达到显著性差异水平。在沟间地各样带中,在主要物种只有猪毛蒿的样带(II—1)中,根系生物量在0—20,20—40,40—60 cm分布较均匀;在主要物种为猪毛蒿、长芒草的样带(II—2)中,根系生物量在40—60 cm的土层中所占比例较小;在猪毛蒿、阿尔泰狗娃花为主要物种的样带(II—3)中的0—40 cm土层中根系生物量所占比例较有铁杆蒿的样地(II—4)大。这说明长芒草根在浅层分布较多,其

次为阿尔泰狗娃花,铁杆蒿较少。可见,植被类型及其盖度对根系生物量的分布有很大的影响。

### 3.3 土壤养分与水分对根系分布的影响

(1) 土壤养分。不同土壤养分在空间变化的趋势及其在不同土层中的含量均不同,它直接影响根系活力及其碳水化合物的分配,从而影响根系的生物量、生产和周转<sup>[30]</sup>。通过对 2008 年 8 月采集的 0—20 cm 土层根系生物量和土壤养分含量(表 2)的分析表明:在阳坡坡面,除样带 I—2 外,其它样带中土壤养分含量的总趋势是 0—10 cm 高于 10—20 cm,这与

根系生物量的趋势相反;而在半阴坡的多样地中,土壤养分含量与根系生物量的变化趋势是一致的,均是 0—10 cm 土层高于 10—20 cm 土层。通过对根系生物量与土壤养分的相关性分析(表 3)表明,除全磷外,其它土壤养分与根系生物量均呈正相关关系,其相关强度为中相关( $0.3 < R < 0.7$ ),但未达到显著性水平。不同土壤养分在空间上的变化趋势以及不同土层土壤养分的含量均不同,使得其与根系生物量的相关系数也有差异,这表明不同土壤养分因子对根系生物量的影响程度不同。

表 2 土壤养分含量与根系生物量

样带号	土层深度/cm	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	有效氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	根系生物量/ (g · m <sup>-3</sup> )
I—1	0—10	6.879±0.069	0.528±0.008	0.312±0.006	29.62±0.577	1.112±0.016	100.7±1.650	373.11±8.357
	10—20	5.300±0.288	0.428±0.341	0.302±0.005	24.86±0.453	0.390±0.023	61.88±0.839	608.25±10.421
I—2	0—10	5.860±0.092	0.446±0.003	0.319±0.002	29.09±0.046	0.814±0.002	86.05±0.631	216.04±6.059
	10—20	6.622±0.013	0.489±0.005	0.286±0.003	26.45±0.029	0.345±0.003	56.88±0.231	232.92±6.431
I—3	0—10	9.756±0.014	0.634±0.004	0.314±0.006	37.21±0.094	0.417±0.028	136.1±0.239	256.38±8.993
	10—20	7.039±0.014	0.691±0.057	0.294±0.023	29.27±0.127	0.218±0.035	75.69±0.110	203.56±5.854
I—4	0—10	8.985±0.043	0.592±0.006	0.324±0.035	32.62±0.116	0.733±0.173	116.8±0.491	746.87±12.831
	10—20	8.191±0.053	0.569±0.026	0.305±0.002	31.21±0.038	0.273±0.058	61.38±0.923	1026.22±21.947
I—5	0—10	5.584±0.029	0.451±0.006	0.256±0.037	24.51±0.095	0.715±0.017	126.4±0.346	774.54±17.947
	10—20	4.551±0.005	0.354±0.023	0.252±0.015	17.28±0.081	0.282±0.017	75.86±0.231	1067.15±15.802
II—1	0—10	5.937±0.012	0.450±0.029	0.330±0.087	25.39±0.009	0.345±0.003	87.91±0.116	216.74±8.889
	10—20	3.796±0.092	0.323±0.006	0.306±0.029	15.87±0.129	0.236±0.002	52.40±0.346	108.67±8.682
II—2	0—10	6.170±0.404	0.443±0.002	0.335±0.003	26.98±0.127	0.552±0.002	86.29±0.081	473.40±15.947
	10—20	3.938±0.006	0.352±0.002	0.283±0.033	16.93±0.041	0.291±0.209	54.92±0.058	251.96±10.831
II—3	0—10	5.975±0.007	0.498±0.003	0.304±0.002	22.39±0.115	0.426±0.002	92.01±0.035	271.41±9.889
	10—20	3.966±0.009	0.345±0.002	0.292±0.002	16.22±0.041	0.273±0.002	61.11±0.348	245.53±11.947
II—4	0—10	5.367±0.009	0.458±0.041	0.323±0.002	22.75±0.069	0.515±0.002	86.56±0.023	210.14±9.202
	10—20	3.349±0.023	0.299±0.005	0.292±0.006	15.52±0.075	0.321±0.002	60.70±0.318	136.99±10.372
II—5	0—10	19.08±0.040	1.073±0.002	0.319±0.003	74.76±0.024	1.421±0.048	215.0±0.751	1795.98±27.378
	10—20	11.80±0.346	0.779±0.004	0.313±0.003	47.61±0.018	0.598±0.015	125.2±0.693	964.48±16.401

注:数据为平均值±标准差。

表 3 根系生物量与土壤养分的相关性分析

土层深度/ cm	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	有效氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
0—10	0.446	0.462	-0.115	0.433	0.373	0.511
10—20	0.568	0.397	-0.118	0.521	0.430	0.547

(2) 土壤水分。从 2008 年 8 月份各样带的平均土壤含水量(图 5)可以看出,随着土层深度的增加,半阴坡各土层土壤含水量高于阳坡。产生这种变化主要是由于阳坡水分蒸腾和蒸发作用较强,导致阳坡立地上不同深度的土壤水分含量低于阴坡立地。且每个坡面上,随着土层深度的增加,水分变化的幅度减小。

土壤水分是限制植物根系生长的主要环境因素之一<sup>[30]</sup>。结合图 4 和图 5 可以看出,在阳坡(坡面 I)中,除 0—20 cm 土层外,土壤含水量随着土层深度的增加而增加,相同土层土壤含水量大小为 I—5>I—1>I—2>I—3>I—4,且各样带土壤含水量与深度显著相关( $P < 0.05$ ),这与根系生物量的垂直分布相反。在半阴坡(坡面 II)中,除 0—20 cm 土层

外,其它相同土层土壤含水量大小为Ⅱ—4 $\geq$ Ⅱ—3 $\geq$ Ⅱ—2 $\geq$ Ⅱ—1 $>$ Ⅱ—5,但并未达到显著性差异;随着土层深度的增加,样带Ⅱ—2、Ⅱ—3、Ⅱ—4的土壤含

水量均增加,而样带Ⅱ—5则减少,这与根系生物量的垂直分布相反。说明土壤水分的变化与根系分布特征密切相关。

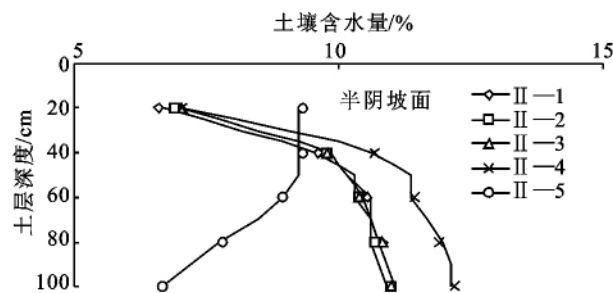
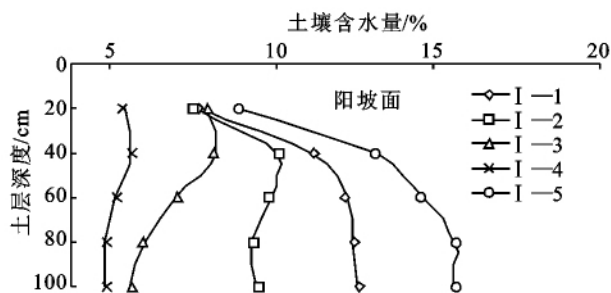


图5 同一坡面各土层土壤含水量

## 4 结论

根系的分布特征不仅与植物本身的特性有关,而且在很大程度上受土壤环境因子的影响,不同的侵蚀条件势必会造成土壤养分、水分以及植被生长状况的差异,从而对植物的根系分布以及生长产生很大的影响。通过对不同植被类型、不同坡向、不同侵蚀带、不同土层植物根系的分布特征以及土壤水分、养分对其的影响的分析可知:

(1) 阳坡根系总生物量及各径级根系生物量(除 $>3$  mm)均高于半阴坡,但无显著性差异。随着侵蚀带的不同,各径级根系生物量变化不一,一般沟谷地水力侵蚀带的根系生物量较大。随着土层深度的增加,根系总生物量以及各径级根系生物量减小,其在表层分布较多。

(2) 虽然根系生物量的分布因坡向、侵蚀带以及土层深度的不同而异,但各径级根系生物量的变化趋势均是 $\leq 1$  mm 根系生物量最大,1~2 mm 次之,2~3 mm 和 $>3$  mm 根系生物量最小。

(3) 植被类型及其盖度对根系生物量及其分布有很大的影响,不同的植被类型其根系生物量分布不同;植被盖度大的样地,其根系生物量较大。

(4) 本研究中,两个坡面土壤养分含量与根系生物量均呈正相关关系,但相关性不显著,且二者在两个坡面的分布趋势不一致。同时,不同土壤养分因子与根系生物量的相关性不同。

(5) 除0—20 cm 土层外,其它相同土层土壤含水量随着土层深度的增加而增加,这与根系生物量的垂直分布相反,说明土壤水分的变化对根系的分布特征产生深刻影响。

本文探讨了不同植被类型、不同坡向、不同侵蚀带、不同土层植物根系的分布特征,并初步研究了土壤水分、养分对根系分布的影响。在研究根系分布特征的同时,还可加入不同根系参数等的分布特征。同

时,土壤水分、养分只是影响根系分布特征的其中两个因素,季节变化、土壤的其他物理性质等环境因素对根系生物量也有一定的影响。因此,在以后的研究中应从多个角度分析根系的分布特征及其影响因素。

参考文献:

- [1] Jackson R B, Mooney H A, Schulze E D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents[J]. Ecology Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1997, 94: 7362-7366.
- [2] 唐金生, 张如良. 林分根系分布及其对土壤抗冲性的影响[J]. 浙江林业科技, 2005, 25(4): 29-31.
- [3] 郭忠玲, 郑金萍, 马元丹, 等. 长白山几种主要森林群落木本植物细根生物量及其动态[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 2855-2862.
- [4] 董慧霞, 李贤伟, 张健, 等. 退耕地三倍体毛白杨林地细根生物量及其与土壤水稳性团聚体的关系[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 24-29.
- [5] 杨玉盛, 陈光水, 林鹏, 等. 格氏栲天然林与人工林细根生物量、季节动态及净生产力[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1719-1731.
- [6] Keyes M R, Grier C C. Above-and below-ground net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1981, 11: 599-605.
- [7] 韩凤朋, 郑纪勇, 张兴昌. 黄土退耕地植物根系分布特征及其对土壤养分的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 50-55.
- [8] 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): 96-100.
- [9] 李鹏, 赵忠, 李占斌. 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.
- [10] 丁军, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤丘陵区林地根系对土壤抗冲增强效应的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 9-12.
- [11] 赵丽兵, 张宝贵, 苏志珠. 草本植物根系增强土壤抗剪切强度的量化研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 5-8.

- [12] 刘国彬,蒋定生,朱显谟.黄土区草地根系生物力学特性研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,10(3):97-104.
- [13] 张娜,梁一民.黄土丘陵区天然草地地下/地上生物量的研究[J].草业学报,2002,11(2):72-78.
- [14] 朱元龙,王桑,林永刚,等.黄土高原丘陵区柠条根系生长发育特性研究[J].水土保持通报,2011,31(2):232-237.
- [15] 李鹏,李占斌,澹台湛.黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征[J].应用生态学报,2005,16(5):849-853.
- [16] 史建伟,王孟本,陈建文,等.柠条细根的空间分布特征及其季节动态[J].生态学报,2011,32(3):726-733.
- [17] 李鹏,李占斌,郝明德,等.黄土高原天然草地根系主要参数的分布特征[J].水土保持研究,2003,10(3):144-149.
- [18] 武春华,陈云明,王国梁,等.黄土丘陵区典型植物群落根系垂直分布与环境因子的关系[J].中国水土保持科学,2008,6(3):65-70.
- [19] 韦兰英,上官周平.黄土高原不同演替阶段草地植被细根垂直分布特征与土壤环境的关系[J].生态学报,2006,26(11):3740-3748.
- [20] 白文娟,焦菊英,张振国.安塞黄土丘陵沟壑区退耕地的土壤种子库特征[J].中国水土保持科学,2007,5(2):65-72.
- [21] 李代琼,姜峻,梁一民,等.安塞黄土丘陵区人工草地水分有效利用研究[J].水土保持研究,1996,3(2):66-74.
- [22] 王军,傅伯杰,邱扬,等.黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J].生态学报,2002,22(8):1173-1178.
- [23] Angela Hodge, Graziella Berta, Claude Doussan. Plant root growth, architecture and function[J]. Plant Soil, 2009,321(1/2):153-187.
- [24] 南京农业大学.土壤农化分析[M].北京:农业出版社,1986.
- [25] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1984.
- [26] 韦兰英,上官周平.黄土高原白羊草、沙棘和辽东栎细根比根长特性[J].生态学报,2006,26(12):4164-4169.
- [27] 陈文庆,李鹏,张良恩.林木细根分布规律与土壤水分响应关系研究[J].水土保持研究,2009,16(6):92-96.
- [28] 李勇,朱显谟,田积莹.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J].科学通报,1991,36(12):935-938.
- [30] 鄢燕,张建国,张锦华,等.西藏那曲地区高寒草地地下生物量[J].生态学报,2005,25(11):2818-2823.
- [29] Vogt K A, Vogt D J, Moone E E, et al. Estimating Douglas-fir fine root biomass and production from living bark and starch[J]. Can. J. For. Res., 1985,15(1):177-179.
- [30] 英慧,殷有,于立忠,等.土壤水分、养分对树木细根生长动态及周转影响研究进展[J].西北林学院学报,2010,25(3):36-42.

(上接第 15 页)

#### 参考文献:

- [1] 张国平,张增祥,刘纪远.中国土壤风力侵蚀空间格局及驱动因子分析[J].地理学报,2001,56(2):146-158.
- [2] 赵焕勋,王学东.内蒙古土壤侵蚀灾害研究[J].干旱区资源与环境,1994,8(4):35-42.
- [3] Chepil W S, Hiddoway F H, Armbrust D V. Climatic factor estimating wind erodibility fields[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1962,17(4):162-165.
- [4] 董玉祥,康国定.中国干旱半干旱地区风蚀气候侵蚀力的计算与分析[J].水土保持学报,1994,8(3):1-7.
- [5] 张国平,刘纪远,张增祥,等.中国风蚀景观面积变化与地表风场强度的关系[J].地理学报,2002,57(1):1-10.
- [6] 孟猛,倪健,张治国.地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J].植物生态学报,2004,28(6):853-861.
- [7] 范一大.沙尘灾害遥感监测模式及其形成机制研究:以中国北方沙尘暴灾害形成过程为例[D].北京:北京师范大学,2003.
- [8] 马月存,陈源泉,隋鹏一,等.土壤风蚀影响因子与防治技术[J].生态学报,2006,25(11):1390-139.
- [9] 涂汉明,刘振东.中国地势起伏度研究[J].测绘学报,1991,20(4):311-319.
- [10] 唐飞,陈曦,程维明,等.基于 DEM 的准噶尔盆地及其西北山区地势起伏度研究[J].干旱区地理,2006,29(3):388-392.
- [11] Middleton H E. Properties of soils which influence soil erosion[J]. USDSA Technical Bulletin, 1930, 173: 1-16.
- [12] 宋阳,刘连友,严平,等.土壤可蚀性研究述评[J].干旱区地理,2006,29(1):124-131.
- [13] Chepil W S. Measurement of wind erosiveness of soils by dry sieving procedure[J]. Sci. Agr., 1942,23:154-160.
- [14] Fryrear D W, Krammes C A. 土壤风蚀度的综合计算[J].水土保持科技情报,1995(2):38-41.
- [15] 殷海军. RWEQ 模型的改进及其在风沙区的应用研究[D].北京:中国农业大学,2010.
- [16] 蔡永明,张科利,李双才.不同粒径制间土壤质地资料的转换问题研究[J].土壤学报,2003,40(4):511-517.
- [17] 李玉宝.干旱半干旱区土壤风蚀评价方法[J].干旱区资源与环境,2000,14(2):48-52.
- [18] 李振山.地形起伏对气流速度影响的风洞实验研究[J].水土保持研究,1999,6(4):75-79.