

黄土区两种植物篱不同部位土壤持水特征对比

党宏忠¹, 党汉瑾¹, 李卫¹, 冯伟¹, 莫保儒²

(1. 中国林业科学研究院 荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 甘肃省林业科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: [目的] 研究植物篱不同部位土壤持水性能的分异特征, 指导植物篱系统的设计与经营管理。[方法] 在测定柠条、山杏两种典型植物篱土壤水分物理参数的基础上, 利用 van Genuchten 模型比较分析植物篱系统带内、带间的土壤水分特征曲线及其参数。[结果] (1) 两种植物篱在土壤总孔隙度、水稳性团聚体含量、渗透系数等方面均高于耕地(对照), 其中柠条植物篱带内土壤总孔隙度(66.36%)、水稳性微团聚体含量(35.50%)和有机质含量(44.1 g/kg)比带间分别高 7.34%、1.95%和 25.64%。山杏植物篱的这三项指标带内比带间分别高 11.93%、29.33%和 21.48%。(2) 柠条、山杏植物篱带内土壤脱湿过程中凋萎系数分别是耕地的 7 倍和 3.25 倍, 田间持水量分别是耕地的 1.46 和 1.25 倍, 柠条植物篱土壤保水优势更明显。(3) 在相同的土壤水吸力下, 土壤吸湿与脱湿过程中带内土壤的水分含量均明显高于带间, 带内土壤的持水性更高, 这与带内较高的黏粒含量相一致; 柠条带内土壤水分含量高于山杏带内, 二者均高于耕地。[结论] 植物篱的二相结构能明显促进带内黏粒、微团聚体和养分的富集(有机质), 进而提高带内土壤的持水性能和饱和渗透性能。

关键词: 水分特征曲线; 柠条; 山杏; 植物篱

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)03-0078-07

中图分类号: S152.7

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.020

Comparison of Soil Water Retention Characteristics for Different Part of Two Kinds of Hedgerow System in Loess Area

DANG Hongzhong¹, DANG Hanjin¹, LI Wei¹, FENG Wei¹, MO Baoru²

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Gansu Academy of Forestry, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] To study the differentiation characteristics of soil water retention in different part of the hedgerow system in order to provide guidelines for design and management of hedgerow systems. [Methods] Based on measuring the physical parameters of soil moisture for *Caragana korshinskii* and *Armeniacc sibirica*, the soil water retention curve as well as derived parameters of in-band and inter-band of hedgerow System were compared by van Genuchten model. [Results] (1) The total soil porosity, water stable micro-aggregates content and soil permeability was higher for *C. korshinskii* and *A. sibirica*. hedgerows than farmland(as a check). Soil properties from the in-band of *C. korshinskii* such as total soil porosity (66.36%), water stable micro-aggregates content(35.50%) and organic matter content(44.1 g/kg) were 7.34%, 1.95% and 25.64% higher than that from the inter-band, respectively. Similarly, the above three indicators from the in-band hedgerows of *A. sibirica* were 11.93%, 29.33% and 21.48% higher than that from the inter-band hedgerows, respectively. (2) The wilting coefficient of *C. korshinskii* and *A. sibirica* was 7 and 3.25 times of farmland, respectively, and the field capacity was 1.46 and 1.25 times, respectively, which display a more obvious advantages in soil water retention of farmland. (3) The soil water content of the in-band hedgerows was higher than that from the inter-band for both moisture absorption and desorption process with the same soil water suction, which was consistent with the content of soil clay. The in-band soil water content of *C. korshinskii* was higher than that of *A. sibirica*. They were both higher than that in the farmland. [Conclusion] The two-phase structure of hedgerows can significantly promote the enrichment of soil clay, micro-aggregates and organic matter in in-band hedgerows, which is the key mechanism to improve soil water retention and saturated soil permeability.

收稿日期: 2014-01-13

修回日期: 2014-04-17

资助项目: “十二五”国家科技支撑课题“农田水土流失生物防护关键技术研究”(2011BAD31B02)

第一作者: 党宏忠(1971—), 男(汉族), 甘肃省定西市人, 博士, 副研究员, 主要从事干旱区生态水文与水土保持研究。E-mail: hzdang@caf.ac.cn。

Keywords: soil water retention curve; *Caragana korshinskii*; *Armeniaca sibirica*; hedgerows

植物篱是以一定间距带状密集种植木本或茎干较硬的草本植物形成的植物群落,具有典型的二相结构^[1]。植物篱能通过篱笆拦截、根系固土和根系改良土壤而具有良好的水土保持功能^[2-6]。在植物篱结构中,带内植被的密集结构在强降雨时能有效地拦截径流、促进入渗,而裸露(也见于种植草本或农田)的带间在干旱年份又能发挥坡面产流、汇流的功能,从而提升带内植被的水分供应水平,这对于北方干旱、半干旱区植被的生长及防护功能的维护至关重要。在带状植物篱这种二相结构的植被配置模式中,系统内土壤质地、结构会发生怎样的变化,这种变化对系统的发育与维护有什么意义,特别是带内土壤的持水特征会有何改变,目前还缺乏系统的研究。

土壤水分特征曲线是表示土壤水在非饱和状态下的能量和数量之间关系、研究土壤水分的保持和运动基本特性的最基础资料之一^[7]。利用土壤水分特征曲线可进行土壤水吸力和含水率之间的换算,计算土壤的当量孔隙度,分析不同质地土壤的持水性和土壤水分的有效性,因而得到广泛应用^[8-14]。本文针对黄土区常见的两种典型植物篱模式,以柠条植物篱和山杏植物篱为研究对象,利用经典 van Genuchten

(VG)模型拟合不同部位的土壤水分特征曲线并求解参数,来比较分析系统中不同部位土壤持水性能的分异特征,这对于明确植物篱系统结构演替与功能变化具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选择在土地利用类型全面、植物篱长势良好的甘肃省定西市石家岔小流域,试验区地理位置:东经 104°39'14",北纬 35°43'18",属于黄土高原丘陵沟壑区第 V 副区,海拔 2 350 m,属温带大陆性半干旱气候,年平均气温 5.7~7.7 °C,全年无霜期 146 d,多年平均降水量 410.2 mm,多年平均蒸发量 1 529.4 mm。研究区植物篱以柠条(*Caragana korshinskii*)为主,其次为山杏(*Armeniaca sibirica*)等。

1.2 试验材料

在对试验区进行全面踏查的基础上,根据植被生长年限、林分结构和群落物种组成,选取具有代表性的柠条带状植物篱和山杏带状植物篱做为研究对象,并以耕地(水平梯田,种植作物为马铃薯或小麦,未施有机肥)为对照,两种植物篱基本情况见表 1。

表 1 植物篱样地基本情况

植物篱类型	年龄/a	种植模式	株距/m	高度/m	带宽/m	带间距/m	带间坡度/(°)	带间植被
柠条	26	单行	1	1.6	1.0~1.5	4.0	28	长芒草(<i>Stipa bungeana</i>),冰草(<i>Agropyron cristatum</i>),猪毛蒿(<i>Artemisia scoparla</i>)等,盖度 40%
山杏	8	单行	2	2.0	1.3	4.0	20	紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i>)

1.3 研究方法

1.3.1 土壤粒径组成测定 于 2012 年 8 月在植物篱系统带间、带内中间位置设置采样点,并以耕地为对照,在深度为 0—20 cm 的表土层取样(每层次 3 个重复),取样后带回实验室测定土壤粒径组成和土壤水稳性团聚体含量,测定计算参照中华人民共和国农业行业标准《土壤检测 第 3 部分:土壤机械组成的测定》(NY/T 1121.3—2006)执行^[15]。

土壤容重、孔隙度、持水量的测定采用环刀法(200 cm³)取样,参照中华人民共和国林业行业标准《森林土壤水分—物理性质的测定》(LY/T 1215—1999)进行测定。

1.3.2 土壤水稳性团聚体、有机质的测定 样品获取方法同上,其中土壤水稳性团聚体利用测定仪(WB65-LD)和湿筛法^[16-17]测定,主要步骤为:风干土

样放置于孔径为 2,0.5,0.25 和 0.053 mm 的套筛上,先缓慢润湿土样以减少空气对团聚体结构的破坏,将套筛放入水中(保持套筛全部没入水中),竖直上下振荡,5 min 后将土粒转移至铝盒中,50 °C 烘干,称重并计算其含量。有机质测定采用重铬酸钾容量法^[18]。

1.3.3 土壤水势的测定与土壤水分特征曲线的拟合

对柠条植物篱带间、带内、山杏植物篱带间、带内及耕地(对照)5 个研究对象,用直径 20 cm 的透明亚克力管取 0—20 cm 深的原状土柱,每个部位取样 2 个。在土柱的中间位置分别从管的对面两侧开小孔,插入 ECH2O-5 土壤水分传感器和 MPS-1 土壤水势传感器(美国 Decagon Devices 公司),接口处用玻璃泥密封,传感器连接到数采器 SQ2020(英国)。加湿过程采用 10 s 采集 30 s 记录的时间间隔,脱湿过程采用

每 10 s 采集 1 min 记录平均值的时间间隔实时监测土壤水分及水势变化动态,于 2012 年 6 月进行同步给水试验,之后采取遮雨措施,放置 2 个月,记录土壤吸湿过程和脱湿过程中水分、水势的变化。

采用经典的 van Genuchten 模型〔VG 模型,式(1)〕来拟合土壤水分特征曲线^[19-21]。拟合过程采用专业程序 RETC(6.02 版本,美国盐改中心开发)完成。借助该软件嵌入的神经网络预测模块,通过输入土壤砂、粉、黏粒含量及土壤容重数据先计算饱和渗

$$K(h) = \begin{cases} K_s \frac{\{1 - (\alpha |h|)^{n-1} [1 + (\alpha |h|)^n]^{-m}\}^2}{[1 + (\alpha |h|)^n]^{m/2}} & (h < 0) \\ K_s & (h \geq 0) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $K(h)$ ——渗透系数(cm/d); K_s ——饱和渗透系数(cm/d)。

2 结果与分析

2.1 两种植物篱系统土壤物理性质对比

按照国际制土壤质地分类系统^[22],试验区土壤质地属于粉质黏壤土组。从表 2 可以看出,两种植物篱系统的土壤容重均小于耕地(对照),土壤质地较疏

透系数 K_s (cm/d),再利用 VG 模型中的式(2),计算不同土壤水吸力下的非饱和渗透系数 K 。

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |h|)^n]^m} & (h < 0) \\ \theta_s & (h > 0) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\theta(h)$ ——体积含水率(cm^3/cm^3); h ——压力水头; $|h|$ ——土壤水吸力(cm); θ_s ——饱和含水率(cm^3/cm^3); θ_r ——残留含水率(cm^3/cm^3); α, h, n, m ——曲线性状参数,且 $n > 1, m = 1 - 1/n$ 。下同。

松、孔隙比大。测定表明柠条带内、带间表层土壤总孔隙度分别为 66.36% 和 61.82%,山杏植物篱带内、带间分别为 74.89% 和 66.91%,均高于耕地(对照)的 58.81%。两种植物篱表层土壤的砂粒含量均高于耕地(对照),黏粒含量均小于耕地(对照),土壤质地趋于粗骨化,对比显现出长期耕作对土壤结构的影响。两种植物篱带内的黏粒含量均高于带间,体现了植物篱结构对坡面侵蚀的拦截与细粒物质的积聚效应。

表 2 植物篱不同部位表层(0—20 cm)土壤质地

植物篱	部位	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	砂粒/% ($>0.05 \text{ mm}$)	粉粒/% ($0.05 \sim 0.002 \text{ mm}$)	黏粒/% ($<0.002 \text{ mm}$)
柠条	带间	1.08	26.12	58.00	15.88
	带内	0.99	18.12	62.00	19.88
山杏	带间	1.00	16.12	68.00	15.88
	带内	1.11	18.12	64.00	17.88
耕地		1.10	14.12	62.00	23.88

土壤水稳性团聚体是表征土壤肥力和土壤结构、反映土壤通透性、稳定性和抵抗侵蚀能力的关键性指标,对不同部位土壤大团聚体($>2.0 \text{ mm}$)、小团聚体($2.0 \sim 0.25 \text{ mm}$)和微团聚体($0.25 \sim 0.053 \text{ mm}$)3 个粒级水平的测定结果表明,两种植物篱系统表层土壤水稳性团聚体含量均明显高于耕地(表 3)。对于柠条植物篱系统,带内水稳性团聚体总量高于带间,可能与带内柠条茂盛的根系分布对土壤结构的改良有关,另一方面也与植物篱通过拦截形成的带内较细土粒的聚集有关。对于山杏植物篱系统,带间的土壤水稳性团聚体总量却高于带内,这可能与带间种植紫花苜蓿对土壤的改良作用有关,但是对于其中的微团聚体含量,带内仍然要高于带间,仍体现出植物篱带对土壤侵蚀细粒的积聚效应。

土壤有机质是土壤质地和土地生产力的决定性因素。根据全国土壤普查暂行技术规程中的土壤有

机质分级(6 级)指标^[23],柠条植物篱系统带内表层土壤有机质含量(表 3)属于 1 级水平,有机质极丰富,带间部位属于 2 级水平。山杏植物篱系统带内有机质也高于带间(但总体水平较低,均属于 4 级),带内表层有机质含量高于带间的现象也证实了植物篱系统具有拦截增肥效应。由于土壤有机质主要富集在土壤细小颗粒中,土壤中粒径 $<0.02 \text{ mm}$ 的微团聚体和 $<0.002 \text{ mm}$ 的黏粒是土壤养分的主要载体,因此可见,植物篱系统均有利于带内结构的改善与养分的富集,特别是柠条的须根发达,且多分布于 0—30 cm 表层土壤中,其对径流中黏粒的拦截和对土壤的固持作用均较好。同时,带内土壤有机质的富集效应不仅与植物篱拦截土壤细小颗粒密切相关,还与其凋落物和根系的腐解及对土壤团聚体的改善密不可分,植物篱改变了土壤颗粒分布,从而改变了土壤有机质含量;柠条茎叶茂盛,凋落物多,腐殖质层厚,有利于有机质的

积累。而山杏植物篱中,有机质含量整体较低,一方面是因为山杏基部茎叶少,主根较深,对土壤黏粒的拦截

作用较弱,另一方面也与带间紫花苜蓿定期刈割为主的经营方式有关,限制了带间枯枝落叶的积累。

表 3 两种植物篱不同部位表层土壤水稳性团聚体、有机质含量

植物篱	部位	水稳性团聚体质量百分比/%			总量/%	有机质/ (g · kg ⁻¹)
		大团聚体 (>2.0 mm)	小团聚体 (2.0~0.25 mm)	微团聚体 (0.25~0.05 mm)		
柠条	带间	2.80	24.74	34.82	62.36	35.1
	带内	3.57	24.28	35.50	63.35	44.1
山杏	带间	6.16	21.91	29.97	58.04	14.9
	带内	2.43	14.21	38.76	55.40	18.1
耕地		12.80	26.03	38.83	16.10	

2.2 柠条植物篱系统的土壤水分特征曲线拟合

土壤中黏粒含量的增多会使土壤中的细小孔隙发育良好,因此土壤的黏粒含量愈高,同一吸力条件下土壤的含水率愈大,或同一含水率下的土壤吸力值愈高。测定表明柠条带内黏粒含量是带间的 1.25 倍(表 2),无论是吸湿过程还是脱湿过程,在相同的土壤水吸力下,带内表层土壤的水分含量明显高于带间

(图 1),表明带内土壤具有更高的持水性能,这对于在低土壤水吸力时(土壤水分亏缺)保证植物的水分吸收至关重要,这种差异的形成与带内灌木良好的根系发育对土壤结构的改良直接相关,也与植物篱拦截促进微小土壤颗粒聚集的效应是一致的。黏粒含量的增加使得带内表层土壤孔径分布更为均匀,随着土壤吸力的提高,土壤含水率的下降趋缓。

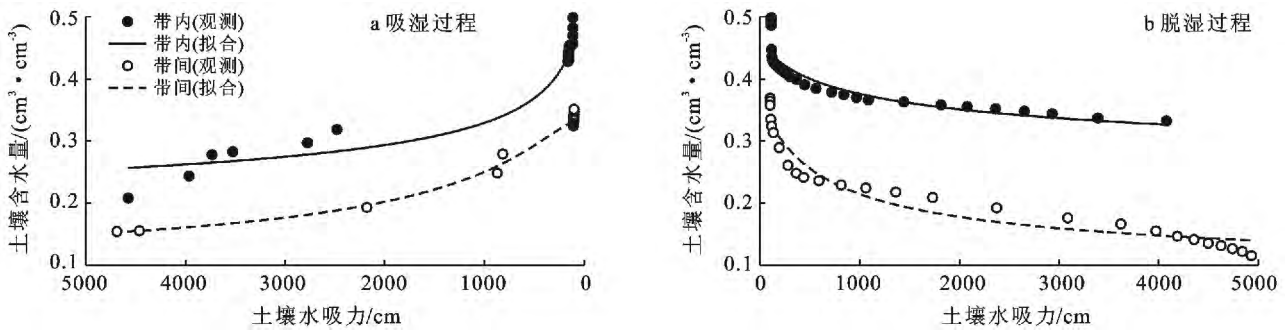


图 1 柠条植物篱系统不同部位土壤水分特征曲线

利用 van Genuchten 模型拟合的水分特征方程,推算不同部位表层土壤的凋萎系数(-1 500 kPa)^[24]与田间持水量(-33 kPa)^[25](表 4),结果表明,在土壤的吸湿过程中,柠条带内、带间的凋萎系数分别为 21%和 11%,田间持水量分别为 39%和 31%;在脱水过程中柠条带内、带间的凋萎系数分别为 28%和 9%,田间持水量分别为 41%和 28%。

对比发现对于柠条带内土壤,在相同的土壤水吸力下脱湿过程所对应的土壤水分含水率要高于吸湿过程,证实了脱水过程滞后性的存在,但对于柠条带间土壤,在相同水吸力下脱湿过程所对应的土壤含水率略低于吸湿过程,说明带间土壤的保水性能更低,这与其较低的黏粒含量、微团聚体含量及有机质含量(表 3)是一致的。

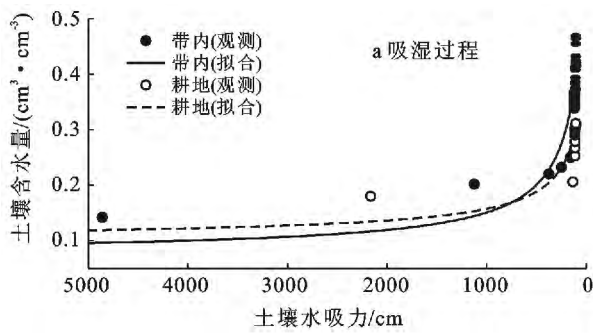
表 4 Van Genuchten 模型对吸湿、脱湿过程土壤水分特征曲线拟合结果

参数	柠条带间		柠条带内		山杏带间		山杏带内	耕地	
	吸湿	脱湿	吸湿	脱湿	吸湿	脱湿	(脱湿)	吸湿	脱湿
θ_r	0.06	0.05	0.08	0.08	0.07	0.24	0.23	0.09	0.08
θ_s	0.34	0.35	0.52	0.46	0.52	0.38	0.45	0.41	0.36
α	0.001	0.004	0.011	0.005	0.010	0.001	0.015	0.015	0.016
n	1.57	1.40	1.23	1.14	1.71	2.13	1.41	1.58	1.25
R^2	0.96	0.94	0.94	0.82	0.83	0.80	0.98	0.93	0.97

2.3 山杏植物篱系统的土壤水分特征曲线的拟合

分析结果表明,山杏植物篱系统不同部位间表层土壤水分特征曲线也具有一定的差异,在同一土壤水吸力条件下(脱湿过程),带内土壤含水率一般高于带间(图 2b),具有与柠条植物篱一致的规律,体现出植物篱这种配置结构拦截泥沙促进微小土壤颗粒聚集的富带效应。

在同一土壤水吸力条件下(吸湿过程),山杏带间土壤含水率低于对照耕地(图 2a),带内、带间、耕地间的这种相对关系与其黏粒含量的相对大小具有一致性(表 2),说明土壤质地对土壤持水特征的重要影响。在脱湿过程中,利用 van Genuchten 模型拟合方



程推算的山杏带内、带间的凋萎系数分别为 13%和 7%,田间持水量分别为 35%和 37%,这里带间田间持水量略高于带内,这与山杏植物篱年限短(8 a),带间多年生植被(紫花苜蓿)生长良好,带间表层土壤粉粒含量(68%)高于带内(64%),土壤水稳性团聚体总量也是带间(58.04%)高于带内(55.40%)的规律相一致,可见,尽管植物篱结构的拦截效应在早期就可能明显,但对表层土壤的改良作用及肥力水平的提高是一个长期积累的过程,在植物篱形成的早期,带间草本丰富的浅层根系可能使带间的土壤持水性能优于带内,但随着年限的增长,带内的富带效应将突出,正如在前述柠条植物篱中所证实的那样。

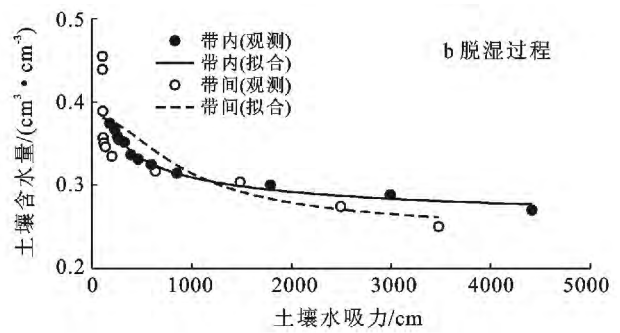


图 2 山杏植物篱土壤水分特征曲线的比较(带内吸湿过程缺失)

与带内、带间之间的明显差异不同,山杏植物篱带间与耕地在吸湿过程中的土壤水分特征曲线比较接近(图 2a),这是因为山杏带间属于退耕地(8 a前)。同样地,对通过 van Genuchten 模型拟合参数的推算得出吸湿过程中山杏带间(带内因传感器故障而数据缺失)、耕地(对照)的凋萎系数分别为 8%和 11%,田间持水量分别为 24%和 21%。可以看出,山杏带间表层土壤的加、脱过程得到的凋萎系数比较接近(8%和 7%),但田间持水量脱湿过程(37%)明显高于吸湿过程(24%),滞后特征明显,这种滞后也表现在耕地在脱湿过程的凋萎系数(4%)明显低于吸湿过程(11%),以及计算的脱湿过程的田间持水量(28%)高于吸湿过程(21%)。土壤水分滞后现象的变化也证实土壤水吸力与含水率间的关系不是单值函数,可能依其干燥、湿润的历史不同呈现复杂的变化。

2.4 两种植物篱系统土壤持水特征的对比分析

在土壤的干化(脱湿)过程中,土壤保持水分能力的高低对植物的生存往往有着重要的影响。柠条灌木林由于茂盛的浅层根系及丰富的枯枝落叶,使得表层土壤的结构更加优良,表现在水稳性团聚体含量、有机质含量均较山杏带内和耕地高(表 3),尤其是带内有机质含量是带间和耕地的 2.44~2.74 倍。从对

测得的带内脱水过程中土壤水吸力与含水量间的关系来看(图 3),在相同的土壤水吸力下,柠条植物篱土壤水分含量明显高于山杏植物篱,且二者均高于耕地对照,这种优势在高吸力阶段(>700 cm)表现更加突出,柠条带内土壤的保水性的这种优势极大地强化了柠条抵御极端干旱的能力。计算表明,柠条、山杏植物篱带内脱湿过程中的土壤凋萎系数(-1 500 kPa)分别是耕地的 7 和 3.25 倍,田间持水量(-33 kPa)分别是耕地的 1.46 和 1.25 倍,表现出林地对土壤保水效应及柠条植物篱已经形成的较山杏更强的土壤持水性能。

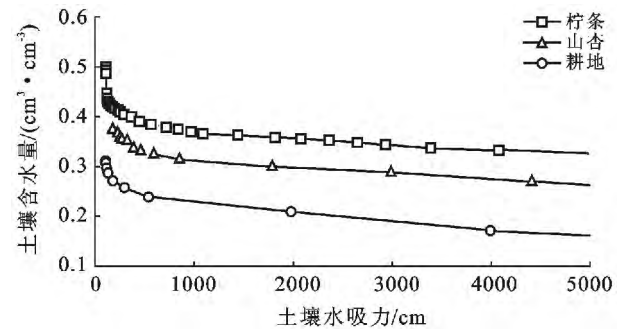


图 3 两种植物篱带内脱湿过程的土壤持水特征比较

2.5 两种植物篱系统土壤水力传导性能的比较

土壤水力传导性能包括在饱和与非饱和状态下土壤运输水分的能力。土壤饱和渗透系数是表示土壤孔隙介质透水性能的综合比例系数。本研究中利用通用的 RETC 程序,输入土壤的砂、粉、黏粒含量及土壤容重数据,并借助神经网络预测模块计算出饱和渗透系数(K_s),比较发现柠条植物篱带内与山杏植物篱带间均具有较高的 K_s (图 4b),这与它们具有较低的容重(表 2)及较高的非毛管孔隙度(分别为

7.28%和 11.96%)相一致,而柠条带间和山杏带内土壤容重较大(表 2,非毛管孔隙度分别为 4.32%和 4.78%),土壤非毛管孔隙欠发达, K_s 相对较低,可见土壤结构对土壤的饱和渗透性能具有更明显的影响。两种植物篱不同部位土壤 K_s 均高于耕地,表现出林地对土壤结构的改良效应。与柠条不同,山杏带间的 K_s 值明显高于带内,结合前述山杏带间田间持水量高于带内的特征,可知植物篱种植结构与年限都可能成为影响植物篱系统土壤结构演变的主要因素。

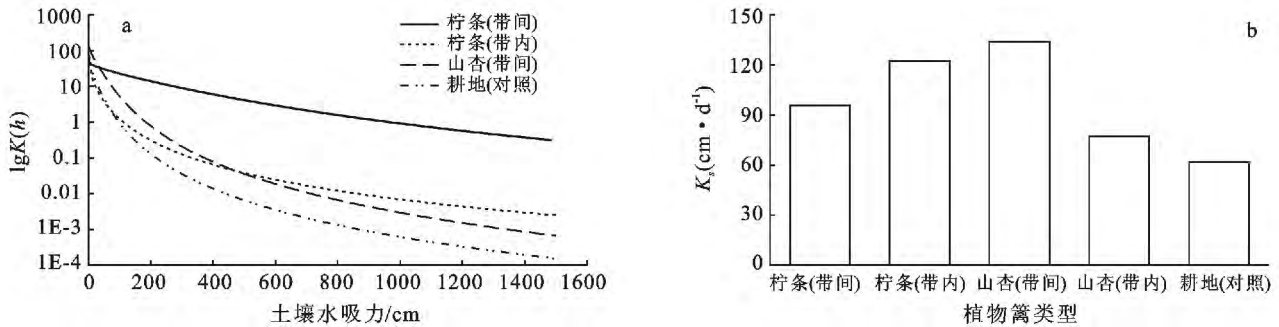


图 4 土壤饱和导水率(K_s)及非饱和渗透系数[$K(h)$]随水吸力的变化(山杏带内的渗透系数数据缺失)

一般来说,在非饱和状态下,由于土壤中部分孔隙为气体所填充,土壤导水率大大低于饱和时的导水率。随着土壤水吸力的增加和含水率的下降,水分只能在较小的土壤孔隙中流动,土壤孔隙越小,水流在其中流动所受的阻力愈大。从我们的测定结果也可以看出,柠条带间非饱和导水率明显高于其他土壤(部位)(图 4a),柠条带间的砂粒含量是其它部位的 1.44~1.85 倍(表 2),这说明非饱和土壤导水率的大小可能受土壤质地的直接影响。为了易于比较其他 3 个土壤(部位)间的关系,对不同水吸力下土壤非饱和渗透系数取以 10 为底的对数,结果显示:在低水吸力阶段(约 <500 cm),尽管差异不明显,但仍可以看出山杏带间的非饱和导水率略高于柠条带内与耕地(由于数据缺失尚不明确山杏带内的非饱和导水特征),但随着水吸力的增加,柠条带内的非饱和导水率超过山杏带间和耕地,这与其具有相对较高的砂粒含量是相一致的。耕地(对照)的砂粒含量只有其他的 54.27%~87.60%(表 2),其非饱和导水率始终最低,由于频繁耕作对土壤结构的破坏,耕地表层土壤不利于水分的入渗补充。

3 结论与讨论

(1) 两种植物篱表层土壤的总孔隙度、砂粒含量、水稳性团聚体含量、水力导度均高于耕地(对照),体现出林草种植对土壤质地、结构的改良效应。

(2) 在植物篱系统内部,柠条植物篱带内土壤结构明显好于带间,如土壤总孔隙度(分别为 66.36%和 61.82%)、水稳性团聚体总量(分别为 63.35%和 62.36%)、有机质含量(分别为 44.1 和 35.1 k/kg)等,这种异质性的形成与带内柠条茂盛的浅层根系分布对土壤结构的改良,以及植物篱拦截泥沙促使水肥富集效应的形成直接相关,山杏植物篱也具有相似的规律。对于两种植物篱,柠条植物篱系统带内表层土壤有机质含量、水稳性团聚体总量均高于山杏,体现出固氮灌木树种柠条对改良土壤结构及在培肥方面的优势。

(3) 土壤质地的差异是影响土壤持水性能差异的主导因素,在相同的土壤水吸力下,无论是吸湿过程还是脱湿过程,两种植物篱带内表层土壤的水分含量明显高于带间,带内土壤持水性更高,这与带内土壤黏粒含量普遍较高相一致。相比较而言,柠条带内土壤水分含量要高于山杏带内(在相同的土壤水吸力下),二者均高于耕地。

(4) 田间持水量和凋萎系数是评价土壤水分有效性的重要指标,一般分别以水吸力 -33 和 -1500 kPa 时的土壤含水量来估算,但由于受土壤、植物、环境等的共同影响而有一定的误差。一般认为黄土高原土壤田间持水量小于 24%^[26],土壤凋萎系数小于 9.42%^[27],本研究中通过水吸力计算的田间持水量变化在 21%~41%,所计算的土壤凋萎系数变化在

4%~28%。发现对于壤土、粉黏壤和黏土而言,实验室测定的水吸力为-1 500 kPa 时的土壤含水量比田间测定的持水量高^[28],土壤凋萎系数也随土壤物理性黏粒(<0.001 mm)含量的增加而显著增加^[27],这说明对于不同质地、结构的土壤需采用更加合理的方法测算土壤水分参数。

(5) 土壤结构对土壤饱和渗透性能的影响更加关键。在饱和状态下,容重较低、非毛管孔隙更发达的柠条带内与山杏带间具有更高的饱和渗透系数,而在非饱和状态下,随着水吸力的增加,土壤渗透系数迅速下降,这其中柠条带间非饱和导水率明显高于其它土壤(部位),这与带间较高的砂粒含量相一致。

总体而言,两种植物篱结构能明显促进带内黏粒含量、微团聚体含量增加和养分的富集(有机质),从而提高带内土壤的持水性能和饱和渗透性能,有利于土壤库容的增加,同时,趋于黏性的质地变化可能降低土壤的非饱和渗透性能,反而有利于土壤有效库容的保持。但是,植物篱结构的这种性能的大小也随植物篱物种的生物学特性、带间利用特征、植物篱年限而变化。

[参 考 文 献]

- [1] Barnes G, Williamson T. Hedgerow history: ecology, history and landscape character [M]. Oxford: Windgather Press, 2008.
- [2] Baudry J, Bunce R, Burel F. Hedgerows: an international perspective on their origin, function and management[J]. Journal of Environmental Management, 2000, 60(1):7-22.
- [3] Sun Hui, Tang Ya, Xie Jiasui. Contour hedgerow intercropping in the mountains of China: a review[J]. Agroforestry Systems, 2008,73(1):65-76.
- [4] 唐亚,谢嘉穗,陈克明,等.等高固氮植物篱技术在坡耕地可持续耕作中的应用[J].水土保持研究,2001,8(1):104-109.
- [5] 王青杵,王彩琴,杨丙益.黄土残塬沟壑区植物篱水土保持效益研究[J].中国水土保持,2001(12):25-27.
- [6] 孙辉,唐亚,陈克明,等.等高固氮植物篱控制坡耕地地表径流的效果[J].水土保持通报,2001,21(2):48-51.
- [7] 雷志栋,杨诗秀,谢森传.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988.
- [8] 吴煜禾,张洪江,王伟,等.重庆四面山不同土地利用方式土壤水分特征曲线测定与评价[J].西南大学学报:自然科学版,2011(05):102-108.
- [9] 刘建立,徐绍辉,刘慧.估计土壤水分特征曲线的间接方法研究进展[J].水利学报,2004(2):68-76.
- [10] 来剑斌,王全九.土壤水分特征曲线模型比较分析[J].水土保持学报,2003,17(1):137-140.
- [11] 夏卫生,雷廷武,刘贤赵,等.土壤水分特征曲线的推算[J].土壤学报,2003,40(2):311-315.
- [12] 姚其华,邓银霞.土壤水分特征曲线模型及其预测方法的研究进展[J].土壤通报,1992(3):142-145.
- [13] 李开元,李玉山.土壤水分特征曲线的意义及其应用[J].陕西农业科学,1991(4):47-48.
- [14] 邵明安,李开元,钟良平.根据土壤水分特征曲线推求土壤的导水参数[J].中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊(SPAC 中水分运行与模拟研究专集),1991(1):26-32.
- [15] 中华人民共和国农业部. NY/T 1121. 3—2006 土壤检测(第 3 部分):土壤机械组成的测定[S].北京:中国农业出版社,2006.
- [16] 王秀颖,高晓飞,刘和平,等.土壤水稳性大团聚体测定方法综述[J].中国水土保持科学,2011(3):106-113.
- [17] 卢金伟,李占斌.土壤团聚体研究进展[J].水土保持研究,2002,9(1):81-85.
- [18] 中华人民共和国农业部. NY/T 1121. 6—2006 土壤检测(第 6 部分):土壤有机质的测定[S].北京:中国农业出版社,2006.
- [19] 刘洪波,张江辉,虎胆·吐马尔白,等.土壤水分特征曲线 VG 模型参数求解对比分析[J].新疆农业大学学报,2012,34(5):437-441.
- [20] 王小华,贾克力,刘景辉,等. Van Genuchten 模型在土壤水分特征曲线拟合分析中的应用[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):179-183.
- [21] 肖建英,李永涛,王丽.利用 van Genuchten 模型拟合土壤水分特征曲线[J].地下水,2007,29(5):46-47.
- [22] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:74-76.
- [23] 全国土壤普查办公室.全国第二次土壤普查暂行技术规程[S].北京:农业出版社,1979.
- [24] Richards L A, Weaver L R. Fifteen-atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage [J]. Soil Science, 1943,56(5):331-339.
- [25] Colman E A. A laboratory procedure for determining the field capacity of soils[J]. Soil Science, 1947, 63(4):277-283.
- [26] 李玉山,韩仕峰,汪正华.黄土高原土壤水分性质及其分区[J].中国科学院西北水土保持研究所集刊:土壤分水与土壤肥力研究专集,1985,1(2):1-17.
- [27] 胡恒觉,张仁陟,黄高宝.黄土高原旱地农业[M].北京:中国农业出版社,2000:33-34.
- [28] Ratliff L F, Ritchie J T, Cassel D K. Field-measured limits of soil water availability as related to laboratory-measured properties[J]. Soil Science Society of America Journal, 1983,47(4):770-775.