

黄土丘陵区不同林龄乔灌林地 土壤水分及持水性能研究^{*}

周 萍¹, 刘国彬², 文安邦¹, 贺秀斌¹, 严冬春¹, 龙 翼¹, 鲍玉海¹

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 山地环境演变与生态调控重点实验室, 成都 610041;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 土壤水分是黄土丘陵区生态恢复过程中的主要制约因素, 对该区典型流域不同林龄主要乔灌林地土壤容重、水分特征和持水能力的分析结果表明, 表层土壤容重表现出天然灌木林 < 乔木林 < 人工灌木林 < 果园, 且容重随林龄的增加而减小, 即 $20\text{ a} > 25\text{ a} > 30\text{ a}$ 。下层土壤容重与表层变化规律相似。土壤总孔隙度与土壤容重和非活性孔度变化规律相反, 与土壤活性孔度和土壤孔隙比变化基本一致。0 - 50 cm 土层土壤含水量变化顺序为果园 > 刺槐 > 柠条 > 狼牙刺, 50 - 500 cm 土层则是刺槐林地最小, 灌木林地在 50 - 200 cm 土层的变动幅度较大, 200 - 350 cm 土层柠条小于狼牙刺, 350 - 500 cm 土层狼牙刺则小于柠条, 主要受人工林种植密度和人为干扰措施影响。苹果园经过隔坡梯田整地措施, 其林下 0 - 500 cm 土层土壤水分含量最高。该区提倡“灌木先行”的植被恢复措施是必要的。表层土壤总持水量随林龄增加而增加, 土壤总持水量变化顺序为天然灌木林地 > 乔木林地 > 人工灌木林地, 有效持水量却表现出与总持水量相反的变化趋势, 容重越低, 土壤有效持水性越强。20 - 40 cm 土层及 40 - 60 cm 土层的持水特性表现出与表层土壤相似的规律。

关键词: 黄土丘陵区; 典型流域; 不同林龄; 乔灌林地; 土壤水分; 持水性能

中图分类号: S715

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0188-06

Study on Characters of Soil Water Content and Water Conservation of Arbor and Shrub Lands With Different Forest Ages in the Loess Hilly-gullied Region

ZHOU Ping¹, LIU Guo-bin², WEN An-bang¹, HE Xiu-bin¹, YAN Dong-chun¹, LONG Yi¹, Bao Yu-hai¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, the key Laboratory of Mountain Environment Evolution and Its Redgulation, Chengdu 610041, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil water content is the main restrict factor in the ecological restoration process of the loess region. Studied on the characters of soil water content and water conservation of the main arbor and shrub lands with different forest ages in the typical watershed, the results showed that the order of the bulk density of the upper layer was natural shrub lands < arbor lands < artificial shrub lands < orchards and bulk density increased with the increased forest ages, it showed that $20\text{ a} > 25\text{ a} > 30\text{ a}$. Bulk density of the lower soil layer had the similar law. The total porosity had the opposite law with bulk density and non-capillary porosity while had the similar law with capillary porosity and ratio of porosity. The order of soil water content of 0 - 50 cm soil layer was orchards > *Robinia pseudoacacia* > *Caragana Korshinskii* > *Sophora davidii* and the soil water content of *Robinia pseudoacacia* was the lowest in the 50 - 500 cm soil depth. Shrub lands changed heavily in 50 - 200 cm depth, while the soil water content of *Sophora davidii* was more than *Caragana Korshinskii* from 200 - 350 cm depth but less than that from 350 - 500 cm depth. The

^{*} 收稿日期: 2009-09-01

基金项目: 973 课题 (2007CB407205); 国家科技支撑课题 (2008BAD98B01); 中科院科学院西部行动计划 (KZCX2 - XB2 - 05)

作者简介: 周萍 (1981 -), 女, 陕西汉中, 人, 博士, 主要研究方向: 植被恢复和生态系统服务功能。E-mail: zhouping04@mails.gucas.ac.cn

通信作者: 刘国彬 (1958 -), 男, 陕西榆林, 人, 博士, 研究员, 主要研究方向: 水土保持与流域管理。E-mail: gblu@ms.iswc.ac.cn

main reason was grow density and artificial disturb measures. Orchards had the highest soil water content because of terrace tillage measures. So advocate shrub first was necessary in this region. The total water conservation of upper soil layer increased with forest ages and the change order was natural shrub lands > arbor lands > artificial shrub but the available water conservation had the opposite change trends. While the lower bulk density was, the higher available water conservation was and the 20 - 60 cm soil layer had the similar laws with the upper soil layer.

Key words :loess hilly-gullied region; typical watershed; different forest ages; arbor and shrub lands; soil water content; characters of water conservation

生态环境是人类生存和发展的基本条件,是经济和社会发展的基础。黄土高原历史曾被广袤的森林和草原所覆盖,有着良好的自然生态系统^[1]。随着人口的激增及长期不合理的经营开发、滥牧过牧,使该区天然植被遭受了严重破坏,水土流失成为黄土高原最突出的生态问题。近年来,西部大开发和山川秀美工程的实施,造林种草和恢复植被等措施受到人们日益广泛的认可和重视,然而水分一直是制约该区植被建设的主要限制因子,它是“箍桶”效应中的短板^[2]。林地土壤水分指重力、分子吸力和毛管力保持在土壤中的水分,它是林地植物养分运转的溶剂、通气调节剂及土壤中有毒物质的稀释剂,也是土壤径流的供源^[3-4]。衡量植被能否长期稳定生长的重要标准就是看土壤的水分状况能否适应和满足植被对水分的需求。了解土壤的水分物理性质是认识上述作用的前提和基础。土壤水分物理性质不仅决定土壤中水、气、热和生物状况,而且影响土壤中植物营养元素的有效性和供应能力,因此常被作为评价土壤质量的重要指标^[5-8]。土壤的水分物理性质主要包括土壤容重、土壤的各种孔隙度、透水性和各种持水量等指标^[3]。森林以其地上富集的枯落物层以及深厚的土壤层截留和储蓄大气降水,发挥着森林生态系统涵养水源、净化水质和减少旱涝灾害的水文生态功能。其中灌木林作为森林资源的重要组成部分,具有特殊的生态功能,在维系区域水量平衡中也发挥着重要作用。尤其是在一些土壤结构不良、肥力低、干旱缺水、乔木树种生长差、成林慢、生态和经济效益低的地区。如果在这些地方栽植耗水量小、耐瘠薄、抗旱能力强、根系发达有很强复壮更新和自然修复能力的灌木,能够发挥很强的涵养水源和固沙保土的作用。

黄土丘陵区处于暖温带半湿润气候向半干旱气候的过渡区,土壤水分是该区生态恢复过程中的重要制约因素。已有研究证明,在黄土丘陵半干旱区大量植树造林会使深层土壤水分枯竭,进一步恶化植物生长的土壤水分环境^[9-10],而且土壤一旦形成

干燥化土层,水分很难恢复^[11]。本文对位于我国黄土丘陵区的纸坊沟流域不同林龄的乔木和灌林地土壤水分含量测定、土壤水分物理性质及林地涵养水源能力进行研究,旨在揭示林地与土壤水分的关系,控制与改善林地土壤水分状况,为资源的合理经营和科学管理以及水土保持综合效益的分析提供科学依据^[12],并为该区植被生态的恢复演替研究提供理论依据。其结果不仅对该地区水资源的保护和永续利用有着重要的指导意义,也可对植被涵养水源机理的深化研究提供一定依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省安塞县纸坊沟流域,109°13'46" - 109°16'03" E,36°42'42" - 36°46'28" N,海拔1 100 ~ 1 400 m,流域面积 8.27 km²,属黄土丘陵沟壑区第 2 副区,属暖温带半湿润气候向半干旱气候过渡地区,年日照时间 2 415.6 h。年辐射量 552.7 kJ/cm²,年平均气温 8.8℃, 0℃ 积温为 3 733.5℃, 10℃ 积温 3 113.9℃,无霜期 157 ~ 194 d。年平均降雨量 542.5 mm,分布不均,7 - 9 月降雨量占年降雨量的 61.1%,且多暴雨。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择和样品采集 为研究纸坊沟流域不同林龄的乔木和灌木林地土壤水分特征及土壤持水特征,以典型性和代表性为原则,于 2006 年 9 月中旬在梁坡上选取典型样地 14 块,样地土壤质地均为黄绵土,并用 GPS 定位,详细记录采样点周围的景观信息,样地具体特征见表 1。

1.2.2 土壤物理性质的测定 土壤物理性状采用环刀法于 2006 年 9 月在各样地内按土层深度 0 - 20 cm、20 - 40 cm 及 40 - 60 cm 分 3 层取原状土,带回室内用烘干法测定干重,计算出容重、孔隙度、剖面土壤水分含量,每个样地重复 3 次。

土壤容重(g/cm^3) = $(g \cdot 100) / (v \cdot (100 + w))$
式中: g ——环刀内湿样重(g); v ——环刀容积(cm^3); w ——样品含水量(%)。

表 1 样地的基本情况

样地	恢复 年限/a	主要物种	坡向	坡度/ (°)	海拔/ m	坡位
PA	30	油松、 紫穗槐	N	22	1135	坡中上部
R30	30	刺槐	N10°E	22	1149	坡中上部
P30	30	油松	N	18	1116	坡中部
RA	30	刺槐、 紫穗槐	N15°E	26	1035	坡中部
M20	20	苹果	S	10	1150	坡中上部
M30	30	苹果	S20°E	22	1121	坡中部
R20	20	刺槐	N45°W	24	1069	坡中部
R25	25	刺槐	N45°W	26	1249	坡中上部
S20	20	狼牙刺	S	24	1022	坡中部
S25	25	狼牙刺	S28°W	32	1018	坡中部
S30	30	狼牙刺	N45°W	24	1029	坡中部
C20	20	柠条	N20°W	22	1058	坡中部
C25	25	柠条	N32°W	20	1131	坡中上部
C30	30	柠条	N45°W	26	1029	坡中部

土壤总孔隙度 = (1 - 容重/比重) × 100 % ,其中土壤比重取 2.65。由于水分在土壤非活性孔中移动极慢,但在毛管孔和通气孔中移动较快,因此,文中将土壤毛管孔与通气孔的孔度合称活性孔度。计算公式:活性孔度 = 土壤总孔隙度 - 非活性孔度,其中非活性孔度 = 凋萎含水量 × 土壤容重,黄绵土凋萎含水量取 4.5 %。

土壤含水量采用烘干法,含水量 (%) = ($g_1 - g_2$) / ($g_1 - g_0$) × 100 ,
式中: g_0 —— 铝盒重 (g) ; g_1 —— 铝盒 + 湿样重 (g) ;
 g_2 —— 铝盒 + 烘干样品重 (g) 。

1.2.3 土壤持水性能计算 土壤中的水分以两种形式贮存,即吸持贮存和滞留贮存。吸持贮存的水分对蒸发和植被吸收有一定作用,但对河川径流的调节关系不大。而滞留贮存的作用极大,特别是在大到暴雨时它可以阻止水分过快地形成地表径流失,为水分渗透到土壤下层赢得宝贵时间。因此在实际计算植被土壤水源涵养量时,常常忽略吸持贮存。从而得到土壤持水量计算公式:

单位面积最大持水量 (t/hm^2) = 10 000 m^2 × 土壤总孔隙度 % × 土层厚度 m × 水比重 t/m^3 。

单位面积有效持水量 (t/hm^2) = 10 000 m^2 × 土壤非活性孔度 % × 土层厚度 m × 水比重 t/m^3 。

2 结果与分析

2.1 土壤容重和孔隙度变化特征

土壤容重是土壤物理性质的一个重要指标,影

响土壤的透水性、通气性、入渗性能、持水能力、溶质迁移特征、抗侵蚀能力及根系伸展时阻力大小^[13-14]。由图 1 - A 可以看出,在 30 a 的乔灌林地中表层土壤容重大小顺序为狼牙刺 < 油松 - 紫穗槐 < 油松 < 刺槐 < 刺槐 - 紫穗槐 < 柠条 < 果园。狼牙刺天然灌木林地表层土壤容重最小,这主要是由于狼牙刺的根系分布较乔木根系分布浅,且灌木林下草本生长旺盛,使其表层土壤中的根系分布相对集中,根系在土壤中的穿插,延伸有利于土质疏松和土壤结构改良。混交林可以明显地改善植物对水分、养分以及资源空间利用的有效性^[15],改良土壤,从而提高林分结构的稳定性,减少地表径流的发生,起到保持水土的作用^[16-17]。这在我国西部植被恢复重建中有重要作用。针叶 - 灌木混交林地(油松 - 紫穗槐)土壤的枯落物层较厚,且针叶枯落物表层含油脂,不易分解,使得林下地表温度较低,土壤水分蒸发较慢,土壤表层根系分布较纯林多,表层土壤容重较油松针叶纯林和刺槐阔叶纯林小。这与庞学勇等^[18-19]研究得出的地上植被生长所营造的微生境,通过改变林地光照、水分等条件对土壤性质有重要作用的结论相符。而本研究中的刺槐 - 紫穗槐阔灌混交林地的容重较刺槐林地的大,主要是因为刺槐 - 紫穗槐林地的坡度较刺槐林的陡且坡位更高,使得该混交林地土壤温度较高,供水不足,植被生长较纯林的差,地下根系不发达,进而影响了表层土壤容重。柠条人工灌木林地地表枯落物较乔木林地的少,其土壤容重也较乔木林地的大。果园表层土壤的容重最小,这主要是因为果园除草较勤,地表几乎无枯落物覆盖,且果园的土壤耗水能力也较强,根系分布较深,造成其表层土壤容重最大。在 25 a 的乔灌林地中,表层土壤容重变化顺序为天然灌木林地 < 乔木林地 < 人工灌木林地。20 a 的乔灌林地表现出相同的变化趋势,从图中也可看出,随着林龄的增加,乔灌林地表层土壤容重均表现为逐渐减小的趋势。这说明黄土丘陵区植被恢复演替过程中,随着恢复年限的增加,无论是天然植被还是人工植被的土壤容重均表现为逐渐减小,土壤结构得到改良,这又促进了植被恢复演替的进行。

20 - 40 cm 土层土壤容重变化规律与表层土壤容重的变化规律相似。随着林龄的增加,狼牙刺天然灌木林地在该土层的土壤容重减小最明显。而 40 - 60 cm 土层的结构及质地主要受成土母质的影响较大,地上植被对其影响不大,因此各样地该层土壤容重的变化规律不明显。

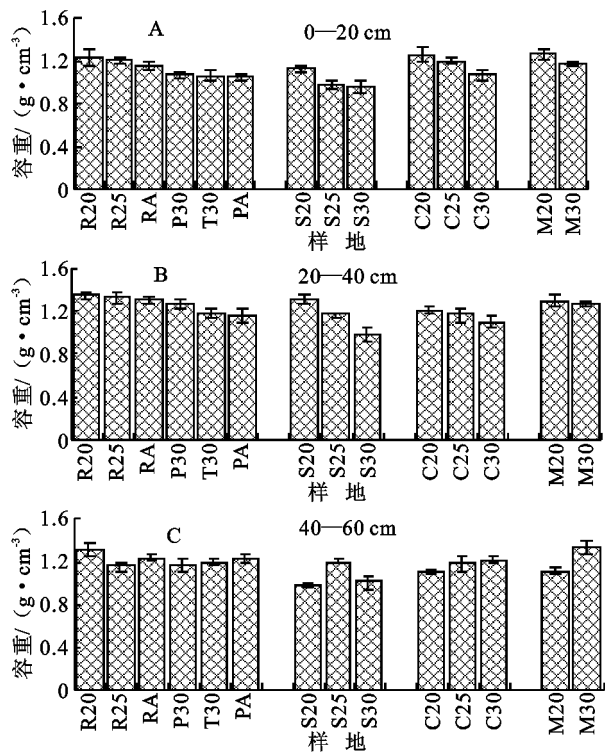


图 1 样地各层的土壤容重

土壤物理性质主要反映在土壤的固相、液相和气相 3 方面,三者之间相互协调、比例适当时,土壤才表现出植被生长所需的最好物理性质。土壤孔隙比是反映土壤孔隙状况的一项重要指标,土壤活性孔度的大小、数量对土壤中水分运动有着重要的影响。土壤活性孔度及非活性孔度的大小决定土壤最大、最小持水量。从图 2 可以看出,表层土壤的总孔隙度变化规律与表层土壤的容重变化规律相反,30 a 乔灌林地中表层土壤总孔隙度大小顺序为狼牙刺 > 油松 - 紫穗槐 > 油松 > 刺槐 > 刺槐 - 紫穗槐 > 柠条 > 果园,从植被类型变化来看,表层土壤总孔隙度变化顺序为天然灌木林地 > 乔木林地 > 人工灌木林地 > 果园,且随着植被恢复演替年限的延长,表层土壤的总孔隙度表现出逐渐增加的趋势,土壤总孔隙度的增加,使得土壤通气透水性能的增强,改善了土质结构。表层土壤活性孔度和土壤孔隙比的变化规律与总孔隙度变化规律相一致,而非活性孔度的变化趋势则相反。20 - 40 cm 土层土壤总孔隙度的变化特征与此层土壤的容重变化规律相反,土壤总孔隙度随林龄的增加呈增加趋势,最大的为 30 a 狼牙刺天然灌木林地。20 - 40 cm 土层的土壤活性孔度变化规律与总孔隙度变化规律相一致,而非活性孔度的变化趋势则相反。40 - 60 cm 土层土壤的总孔隙度也表现出与上层土壤相似的变化规律,但规律没有上层土壤表现的明显。

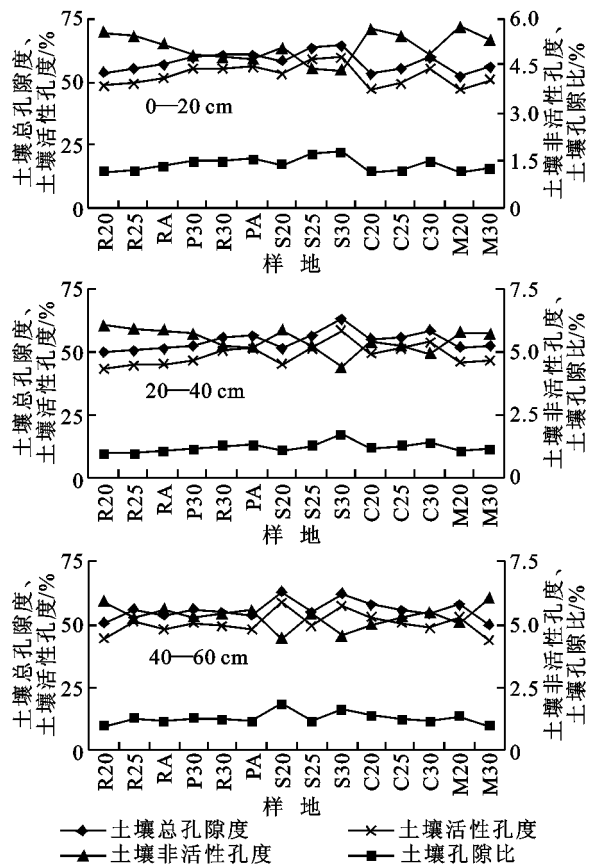


图 2 不同土层土壤孔隙度特征

2.2 乔灌林地土壤水分特征

土壤的水分特征是气候、土壤和下垫面特征的综合反映。从图 3 可以看出,0 - 50 cm 土层土壤含水量变化顺序为果园 > 刺槐 > 柠条 > 狼牙刺,这是由于狼牙刺灌木林地的草本层生长旺盛,草本的根系分布较浅,0 - 50 cm 土层耗水量大,使其在此土层含水量最小。而乔木林根系在土层中扎伸的较深且乔木在此土层根系分布相对较少,使其土壤水分含量较灌木林地高。50 - 500 cm 土层土壤含水量的变化则是刺槐林地的最小,说明刺槐乔木林地对深层土壤水分的利用较高。50 - 200 cm 深度的土层中柠条和狼牙刺土壤含水量变动幅度较大,200 - 350 cm 柠条土壤含水量小于狼牙刺,而 350 - 500 cm 狼牙刺的土壤含水量又小于柠条。原因是柠条造林前进行了水平阶整地措施,但由于柠条林地的种植密度较狼牙刺的密度大,使得柠条土壤水分消耗较大。而狼牙刺天然灌木林地由于当地农户每年砍伐平茬,人为加速了狼牙刺的水分消耗,使其土壤干层有向下延伸的趋势,在 350 - 500 cm 土层的土壤含水量有所降低且小于该层的柠条土壤含水量。由此可见,人工林种植密度和人为干扰措施均会加强植被对土壤的干化作用,这与王国梁等人的研究结论相一致^[20]。因此,在该区的植被恢复和造林进

程中,这些因素都是需要考虑的。苹果园 0 - 500 cm 土层的土壤含水量最大,这是由于苹果园经过隔坡梯田整地措施后,不仅减小了种植密度,还具有收集雨水的作用,土壤供水力强,所以林下土壤水分含量较高。与乔木林相比,灌木林地对土壤的干化作用较轻,总体表现为灌木林地土壤水条件较乔木林地土壤水分条件要好。因此“提倡灌木优先”是该区植被恢复的首要措施。

2.3 土壤持水能力特征

土壤持水能力是评价土壤涵养水源及调节水分循环的重要物理指标,能较好地反映林地土壤的保水、供水能力,并影响到凋落物分解与土壤表层的物质和能量及其土壤盐基养分的淋溶^[19-20]。可分为最大持水、毛管持水、非毛管持水。其中最大持水能力即土壤总蓄水量,反映了土壤贮蓄和调节水分的潜在能力;而毛管持水能力包括土壤含有的吸湿水、膜状水和毛管水等;非毛管持水量也称为有效持水量,一般认为其与土壤的入渗能力和水文调节功能具有更加直接的关系,但土壤的这种由非毛管孔隙来体现的贮水,只是土壤水分达到饱和时的瞬时水量,受重力作用的影响,会不断向土壤深层渗透,因而这种贮水能力实际上是暂时的^[4]。由表 2 可以看出,表

层 0 - 20 cm 土层土壤的总持水量顺序为天然灌木林地 > 油松 - 紫穗槐混交林 > 纯乔木林地 > 人工灌木林地,且随着林龄的增加,土壤总的持水量也随之增加。而有效持水量却表现出与总持水量相反的变化趋势,容重越低,土壤有效持水性越强。20 - 40 cm 土层及 40 - 60 cm 土层的总持水量和有效持水量也表现出与表层土壤相似的规律,但由于其土壤质地还受到成土母质的影响,变化规律没有表层土壤的明显。

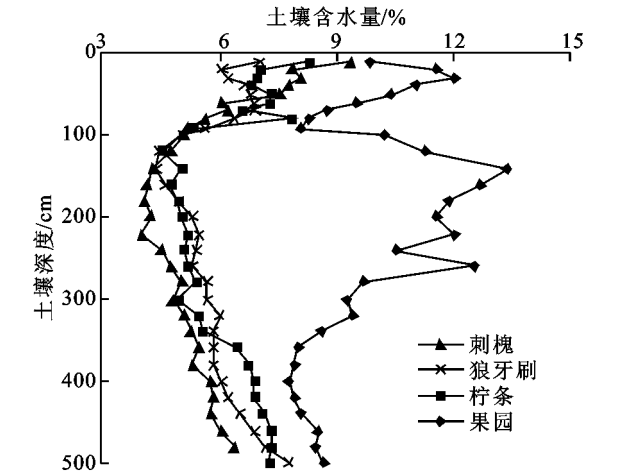


图 3 乔灌木林地 0 - 500 cm 土层土壤含水量特征

表 2 0 - 60 cm 土层土壤单位面积持水能力特征

样地	0 - 20 cm				20 - 40 cm				40 - 60 cm			
	总持水量/ (t · hm ⁻²)	土壤水储 量/mm	有效持水量/ (t · hm ⁻²)	有效水储 量/mm	总持水量/ (t · hm ⁻²)	土壤水储 量/mm	有效持水量/ (t · hm ⁻²)	有效水储 量/mm	总持水量/ (t · hm ⁻²)	土壤水储 量/mm	有效持水量/ (t · hm ⁻²)	有效水储 量/mm
R20	1072.04	107.20	110.66	11.07	989.51	98.95	120.50	12.05	1006.09	100.61	118.52	11.85
R25	1093.34	109.33	108.12	10.81	1006.09	100.61	118.52	11.85	1122.52	112.25	104.64	10.46
RA	1132.19	113.22	103.49	10.35	1020.57	102.06	116.80	11.68	1064.98	106.50	111.50	11.15
P30	1194.08	119.41	96.11	9.61	1046.70	104.67	113.68	11.37	1117.85	111.79	105.20	10.52
R30	1201.10	120.11	95.27	9.53	1115.56	111.56	105.47	10.55	1093.42	109.34	108.11	10.81
PA	1209.25	120.93	94.30	9.43	1131.62	113.16	103.55	10.36	1071.60	107.16	110.71	11.07
S20	1151.53	115.15	101.18	10.12	1015.96	101.60	117.35	11.74	1258.61	125.86	88.41	8.84
S25	1263.74	126.37	87.80	8.78	1124.11	112.41	104.45	10.45	1088.13	108.81	108.74	10.87
S30	1274.05	127.41	86.57	8.66	1260.52	126.05	88.18	8.82	1237.02	123.70	90.99	9.10
C20	1051.40	105.14	113.12	11.31	1096.60	109.66	107.73	10.77	1161.74	116.17	99.96	10.00
C25	1094.42	109.44	107.99	10.80	1121.65	112.17	104.74	10.47	1112.15	111.22	105.88	10.59
C30	1191.44	119.14	96.42	9.64	1171.14	117.11	98.84	9.88	1078.46	107.85	109.89	10.99

3 结论与讨论

对黄土丘陵区纸坊沟流域主要乔灌林地土壤容重、水分特征和持水能力分析表明,土壤容重对于土壤质地与结构有较好的指示作用,下垫面特征特别是地下根系的数量、分布和活动范围不仅影响土壤结构,同时也通过蒸发散对土壤水分进行量的分配。

(1) 不同类型的乔灌林地的表层土壤容重表现出天然灌木林地 < 针叶 - 灌木混交林 < 针叶林 < 阔

叶林 < 人工灌木林 < 果园,且随着林龄的增加,容重呈减小趋势。20 - 40 cm 土层的土壤容重变化规律与表层土壤容重的变化规律相似,而 40 - 60 cm 土层的结构及质地主要受成土母质的影响较大,各样地该层土壤容重的变化规律不明显。

(2) 土壤孔径的大小、数量影响土壤质地、土壤中水分运动、水热传导能力、通透性及抗蚀性,使得土壤的理化性质变化,最终影响土地生产力。纸坊沟流域主要乔灌林地表层土壤的总孔隙度与表层土

壤容重和非活性孔度变化规律相反,与土壤活性孔度和土壤孔隙比变坏基本一致。下层土壤的孔隙变化特征与表层土壤的变化规律相似,但不如表层的规律明显,这主要是下层土壤结构还受到成土母质的影响。

(3)从主要的乔灌林地 0 - 500 cm 土壤水分特征来看,0 - 50 cm 土层土壤含水量变化顺序为果园 > 刺槐 > 柠条 > 狼牙刺,50 - 500 cm 土层土壤含水量则是刺槐林地的最小,柠条和狼牙刺土壤含水量在 50 - 200 cm 土层中变动幅度较大,200 - 350 cm 柠条土壤含水量小于狼牙刺,原因是柠条林地的种植密度较狼牙刺天然灌丛的密度大,土壤水分消耗较大。而狼牙刺天然灌木林地,由于当地农户每年砍伐平茬,人为加速了狼牙刺的水分消耗,使其土壤干层有向下延伸的趋势,因此 350 - 500 cm 土层的土壤含水量有所降低且小于该层的柠条土壤含水量。说明人工林种植密度和人为干扰措施均会加强植被对土壤的干化作用,这在该区植被恢复和造林进程中需要考虑。灌木林地土壤水条件较乔木林地土壤水分条件要好,因此该区提倡“宜林则林,宜灌则灌,灌木先行”的植被恢复措施是必要的。

(4)土壤持水能力是衡量土壤涵养水源及调节水分循环的指标之一,能较好地反映林地土壤保水、供水能力。随着林龄的增加,0 - 20 cm 表土层土壤的总持水量随之增加,总持水量变化顺序为天然灌木林地 > 乔木林地 > 人工灌木林地,有效持水量却表现出与总持水量相反的变化趋势,容重越低,土壤有效持水性越强。下层的持水特性表现出与表层土壤相似的规律,但受成土母质的影响变化规律不明显。

(5)围绕土壤水分特征及持水特性对纸坊沟流域主要林地的土壤水分特征进行了分析,但关于土壤水分传输功能及其主要评价指标的筛选等尚需做进一步的研究。且土壤水分的空间变异性随取样尺度的不同而有所不同^[21],所选表征群落土壤水分含量的指标也不统一,这也是今后研究中应考虑的问题。

参考文献:

[1] 朱俊凤. 三北防护林地区自然资源与综合农业区划[M]. 北京:中国林业出版社,1985.
[2] 胡良军,邵明安. 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究[J]. 应用生态学报,2002,13(8):1045-1048.
[3] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.
[4] 田大伦,陈书军. 樟树人工林土壤水文-物理性质特征

分析[J]. 中南林学院学报,2005,25(2):1-6.

- [5] Arshad M A, Lowery B, Grossman B. Physical tests for monitoring soil quality[J]. Soil Science Society of America Journal,1996,49:123-141.
[6] Boix Fayos C, Calvo Cases A, Imeson A C, et al. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators [J]. Catena, 2001,44:47-67.
[7] Karlen D L, Stott D E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality[J]. Soil Science Society of America Journal,1994,35:53-72.
[8] Li Y Y, Shao M A. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China[J]. Journal of Arid Environments,2006,64:77-96.
[9] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报,1983,3(2):91-101.
[10] 梁一民. 从植物群落学原理谈黄土高原植被建造中的几个问题[J]. 西北植物学报,1999,19(5):26-31.
[11] 王志强,刘保元,路炳军. 黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复研究[J]. 生态学报,2003,23(9):1944-1950.
[12] 王夏晖,王益权, Kuznetsov M S. 黄土高原几种主要土壤的物理性质研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):99-103.
[13] 周择福,李昌哲. 北京九龙山不同植被土壤水分特征研究[J]. 林业科学研究,1994,7(1):48-53.
[14] 刘晚苟,山仑,邓西平. 不同土壤水分条件下土壤容重对玉米根系生长的影响[J]. 西北植物学报,2000,22(4):831-838.
[15] 雷加富. 西部地区林业生态建设与治理模式[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
[16] 黄枢,沈国舫. 中国造林技术[M]. 北京:世界林业出版社,1993.
[17] Shanguan Z P, Shao M A, Dyckmans J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat[J]. Plant Physiol,2000,56:46-51.
[18] 庞学勇,刘世全,刘庆,等. 川西亚高山针叶林人工重建过程中植物群落演替对土壤性质的影响[J]. 水土保持学报,2003,17(4):42-45,50.
[19] 庞学勇,刘庆,刘世全,等. 川西亚高山云杉人工林土壤质量性状演变[J]. 生态学报,2004,24(2):261-267.
[20] 王国梁,刘国彬,常欣,等. 黄土丘陵区小流域植被建设的土壤水文效应[J]. 自然资源学报,2002,17(3):339-344.
[21] 李毅,门旗,罗英. 土壤水分空间变异性对灌溉决策的影响研究[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(2):80-85.