

黄土丘陵区不同降雨条件下聚水沟土壤水分研究

张雪¹, 董建国¹, 汪有科^{1,2}, 郭旭新³, 赵英³, 卫新东^{1,4}

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 长安大学 资环学院, 西安 710054)

摘要:为提高陕北黄土丘陵区林地降水的有效利用率,以水平阶地为对照,进行了填充石子、秸秆、树枝、基质等不同材料的聚水沟保墒试验研究。结果表明:天然降雨量小于6 mm时,聚水沟内土壤含水量未增加;降雨量在6~10 mm时,聚水沟沟底约10 cm土层土壤含水量与对照出现差异($p < 0.05$);25~40 mm降雨条件下,聚水沟两侧垂直40 cm以上土层平均储水量较对照差异显著高16.14%,其土壤含水增量表现为:秸秆(4.8%)>树枝(3.5%)>石子(3.1%)>对照(2.4%)>基质(2.3%);日降雨量大于40 mm时,聚水沟30—190 cm土层的拦蓄储水量较对照提高了12.6%~17.5%,此后无降雨时,聚水沟两侧30 cm×30 cm×70 cm体积内大于13%的高水分含量可以维持近一个月;典型136.8 mm的月累积降雨对石子、秸秆、树枝、基质覆盖聚水沟内水分扩散影响深度分别为120,160,160,130 cm。综合分析,聚水沟内填充秸秆和树枝在增加水分入渗的同时对周边土壤水分的分配及存储效果好于石子和基质。

关键词:土壤水分;降雨特性;聚水沟;黄土丘陵区

中图分类号:S157.9

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0129-07

Soil Moisture of Rainwater Harvesting Ditches Under Different Rainfall Conditions in the Hilly Loess Region

ZHANG Xue¹, DONG Jianguo¹, WANG Youke^{1,2}, GUO Xuxin³, ZHAO Ying³, WEI Xindong^{1,4}

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Vocational Technical College of Yangling, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. College of Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: To improve the effective utilization rate of rainfall in the loess hilly region of north Shaanxi Province, this paper examined the conservation effect of rainwater harvesting ditches (RHD) filled with gravel, straw, branch or matrix compared with level terrace. The results showed that soil moisture presents no increase in the RHDs under the rainfall less than 6 mm. When the rainfall ranged from 6 to 10 mm, soil moisture content exhibited significant differences in 10 cm soil layer of RHD ($p < 0.05$). Under the condition of 25~40 mm rainfall, the average water content is 16.14% higher than the control in the vertical 0~40 cm soil layer on both sides of RHDs, the amounts of increment soil moisture by RHDs were in the order of straw (4.8%)>branch(3.5%)>stone(3.1%)>reference(2.4%)>matrix(2.3%). According to the data of disposable dammed-up, the water storage increased by 12.6%~17.5% in the 30—190 cm soil layer after daily above 40 mm rainfall compared to the control, more than 13% of water moisture can be maintained for nearly a month in 30 cm×30 cm×70 cm distance on both sides of RHD when there is no rain in the later period. The water influence depths of gravel, straw, branch, matrix ditches are 120, 160, 160, 130 cm, respectively, under the condition of 36.8 mm of typical month accumulative rainfall. In summary, RHDs filled with straw or branch not only improve water infiltration, at the same time, but also promote surrounding water distribution and storage, which shows better effects than the filled gravel or matrix.

Keywords: soil moisture; rainfall infiltration; rain water harvesting ditch; hilly loess region

收稿日期:2014-07-11

修回日期:2014-09-10

资助项目:林业公益性行业科研专项“山地红枣生态经济林增效关键技术与示范”(201404709);陕西省科技统筹创新工程计划课题“山地红枣旱作优质高效栽培技术集成与示范”(2013KTZB02-03-02);国家科技支撑计划课题“西北干旱半干旱农业区大学农业科技服务模式关键技术集成与示范”(2013BAD20B03)

第一作者:张雪(1989—),女,宁夏中卫人,硕士研究生,主要从事节水灌溉新技术研究。E-mail:zxheyeh@126.com

通信作者:汪有科(1956—),男,甘肃民勤人,研究员,博士生导师,主要从事黄土高原林草植被建设理论与技术研究。E-mail:gjzwyk@vip.sina.com

干旱半干旱地区,土壤水分状况普遍受到天然降水的影响,而年降水的时空分配不均匀性,使得土壤水分的补给与存储、剖面水分的更新与平衡均受到影响。在生态建设中为防止环境的肆意恶化,构建适宜当地生态经济林发展的降水拦蓄措施以被许多科研工作者重视^[1-4]。利用自然降水的再分配性和可移动性,将多个地块上的雨水径流叠加于一个地块上或把多时段的雨水径流叠加于一个时段上,充分发挥雨水的功能,最大限度减少集流区水分的无效损耗,增加水分供应,减少作物在非生育期的水分消耗,增加生育期的水分供应已有众多文献报道^[5-8]。已有研究降雨影响下土壤状况大多是利用人工模拟降雨^[9-10],多把固定雨强作为前提,分析降雨因素对土壤入渗的影响^[11-12]。考虑到自然条件下各气象指标时空差异性大,降雨强度及历时不可能是固定参数,入渗到土壤中的绝大部分雨水仅有部分直接转化为土壤水。与此同时,因土壤表层初始含水量、下垫面承接雨水方式存在较大差异,故降雨入渗到土壤中的量及地表径流损失的量必须综合分析。在改造土壤下垫面措施中,首先,降低和延缓直接到达土壤表面的雨滴,承接雨水方式主要为减少降雨的无效损失;其次,最大程度地将雨水贮蓄在土壤中供植物利用尤为重要,覆盖即是非常有效的一种途径^[13]。覆盖能在干旱条件下减少土壤水分蒸发,促使进入土壤中的水在重力和吸力梯度的作用下不断向深层运动,具有明显的保墒效果已被公认^[14-15]。

陕北黄土丘陵区,大部分降雨在无任何截留措施下通常形成径流损失及蒸发损失,为维持持续良好的土壤微环境,最大限度地拦蓄雨水以提高降雨有效利用率对维持良好的土壤微环境至关重要。近几年试验区正应用一项新的蓄积雨水措施—竹节式聚水沟技术,该技术是在坡地林木株间沿等高线开挖壕沟,之后在沟内填充蓄水材料并压实。已有研究表明,聚水沟在拦蓄坡面径流、缓解浅层土壤干化、集蓄雨水等方面均有良好的效果。蔺君等^[16]测定了自然状态和模拟降雨条件下不同填充材料聚水沟的土壤水分和拦蓄水量,并配合室内浸水试验,分析了各种材料的持蓄水能力,为该区覆盖材料的选择及应用提供了依据。考虑到自然条件下降雨的随机性差异,笔者通过测定不同降雨条件下聚水沟实际表现的土壤水分状况,分析了覆盖下填充材料对不同降雨量的拦蓄、存储及对周边土壤的湿润情况,全方面认识不同下垫面储蓄下临时性水源对沟内部及周边土壤水分分配的协调效果,以期在当地有限的降雨量在经济林地的适时高效利用提供理论依据。

1 试验方法

1.1 试验地选择

试验地位于陕北米脂县远志山红枣试验基地,土壤以黄土母质上发育的黄绵土为主,质地为粉质壤土,渗透性能良好,土壤容重为 $1.2 \sim 1.35 \text{ g/cm}^3$, $0 \sim 60 \text{ cm}$ 土壤计划湿润层的田间持水量约为 20% ,有效 N,P,K 含量分别为 $34.73, 2.90, 101.9 \text{ mg/kg}$,有机质含量为 0.21% ,pH 值为 8.6 ,土壤较为贫瘠。海拔最高 $1\,252 \text{ m}$,最低 843.2 m ,平均海拔 $1\,049 \text{ m}$ 。地貌类型主要以峁、沟、梁、川为主,沟壑密度为 $3 \sim 6 \text{ km/km}^2$,土壤侵蚀模数为 $1.8 \text{ 万 t/(km}^2 \cdot \text{a)}$,形成了梁峁起伏、沟壑纵横、支离破碎的特殊地貌类型。该区植被类型属于森林草原植被带,由于人为过度开垦及放牧等活动,地带性森林草原植被带有向草原方向演变的趋势。据米脂县多年气象资料显示,研究区年平均温度为 8.8°C , $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $3\,281^\circ\text{C}$,日照时数为 $2\,372.7 \text{ h}$,无霜期 $160 \sim 170 \text{ d}$ 。该区降水主要集中在夏秋季,夏季(6—8月)降水量占全年降水量的 60% ,秋季(9—11月)为总降雨量的 23% ,春季时候干旱最严重,而冬季降水对土壤补墒极少,这些特点对当地春季林木萌芽和造林成活率,以及后期植被生长产生了极大的限制。降雨年内分配不均,昼夜温差相差大,温度变化范围为 $-25 \sim 38^\circ\text{C}$,属于中温带半干旱性气候。针对陕北黄土丘陵区生态经济林建设过程中水土资源高效利用的问题,以国家科技支撑计划“西北生态脆弱区经济作物高效用水关键技术与示范”创立的一项新型雨水集蓄利用措施—竹节式聚水沟。该技术以提高生态经济林地的综合生产力,推动当地生态环境建设可持续发展为研究目标,结合当地自然环境条件变化与降水分配特征,对竹节式聚水沟的水分特征进行研究,以探讨新型集雨保墒措施的水分环境效应。本试验区选取在远志山枣树示范基地的 4 a 生旱作枣林地,由于在高低起伏沟壑上,多采用水平阶整地措施,阶面宽度为 1 m ,枣树株行距为 $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$,平均树高为 1.9 m ,冠幅为 $1.8 \text{ m} \times 1.9 \text{ m}$,聚水沟布设于枣树株间,按照当地造林规格计算,每 1 hm^2 可布设聚水沟 $1\,665$ 个。在陕北经济林地中,由于人为干扰较大,往往没有枯落物覆盖,这就增大了产流的可能性,容易导致水土流失。考虑到枯落物层的蓄水改土作用以及经济林的特殊性,覆盖聚水沟措施在自然降雨下发挥的聚水、保墒、改土效果值得验证。

1.2 研究方法

本文提供了陕北米脂试验基地 2011—2013 年远志山枣林地降雨量资料及聚水沟的土壤水分状况。试验地为水平阶上开挖聚水沟,聚水沟规格为 100

cm(长)×30 cm(宽)×30 cm(深),沟内0~30 cm范围填充覆盖当地常见的农作废弃材料秸秆、树枝(长度为10~15 cm),当地石子厂生产的石子(粒径为 $1.0\text{ cm}<d<1.5\text{ cm}$)及陕西霖科农林科技有限公司生产的用于无土栽培的基质(由树皮、牛粪、草炭等按照2:1:2比例搭配,再在其中添加N、P、K等营养元素,经自动化工序搅拌复合而成)。单个聚水沟内的填充量为石子225 kg,秸秆9 kg,树枝26 kg,基质66 kg。以未布设聚水沟的水平阶地为对照。在原有的水平阶地上开沟后填充各种蓄水材料不改变之前地形地貌,沟内的蓄水材料与黄土相比,孔隙结构更发达,减缓了雨滴对阶面土壤的打击作用,有利于更多的水分持续、缓慢入渗。土壤基本物理性质如下,水平阶地土壤容重约为 1.34 g/cm^3 ,聚水沟为 1.31 g/cm^3 ,聚水沟布设前后水平阶地总孔隙度增加约49.29%,聚水沟总孔隙度增加约50.56%,聚水沟非毛管孔隙度较水平阶地增量大0.56%,水平阶地变化增量约9.20%。人工降雨试验下土壤入渗参数是在降雨强度为 0.92 mm/min ,径流系数 α 为0.45的条件下得到土壤入渗速率。同时,考虑到各种生物质材料可以不断腐解,向土壤中释放的养分物质与存储其中的土壤水分相耦合,可发挥改良土壤结构的作用。

土壤水分采用CNC503B型NP中子仪测定。聚水沟观测深度为30—190 cm,土壤水分中子管布置在聚水沟中间,以水平阶地为参考,覆盖物下最先接触的土层认为是聚水沟30 cm处的土层。聚水沟两侧观测深度为0—190 cm,中子管布置在水平距离沟壁30 cm处。每10 cm为一个测层,沟两侧0—30 cm深度测定的中子计数是结合土钻烘干法校核标定所得的土壤含水量。用中子仪对不同覆盖聚水沟土壤水分进行长期定位监测,本文土壤含水量均为体积含水量。降雨量采用自动气象站测定,土壤水分平均10 d测定一次,雨后2~3 d内加测。

采用Excel和SPSS进行数据处理和分析,用OriginLab 8.1进行绘图。采用单因素方差分析法分析不同降雨量对聚水沟土壤水分的影响,差异程度采用LSD多重比较。采用成对数据 t 检验对不同填充物聚水沟土壤水分进行差异性比较。

2 结果与分析

2.1 不同降雨量下土壤含水量状况

2.1.1 日降雨量低于10 mm时聚水沟内土壤水分状况 半干旱黄土丘陵区,降水是土壤含水量动态变化的主效应。本研究把某界限降水量在一定时段内出现的次数与同时段降水总次数的百分比定义为降水频率,高于(或低于)该界限降水量的频率总和定义

为降水保证率。在水土保持林业措施中把部分降雨被林冠层及枯枝落叶层截留后通过大气蒸发返回大气中去,对林地土壤来说该降雨属于无效降雨,应用此概念并结合陕北米脂县1971—2013年降水量的年内分配统计资料,可知本试验区年降水主要集中在5—10月,日降水统计发现,连续24 h低于10 mm的降雨保证率约30.23%,平均每年累积雨量约有143 mm,占总年降雨量的1/3,而此部分降雨常作为无效降雨被忽视。参考许浩^[17]在半干旱黄土丘陵区宁夏南部山区降雨对土壤含水量贡献及造林成活率研究时采用的拟合方法,对本试验区降雨量和土壤水分增量进行回归分析后发现,降雨量低于6 mm时各处理土壤含水量未增加,认为在该区域小于6 mm的降雨不足以显著增加土壤水分,属无效降雨。统计6~10 mm日降雨量雨后土壤含水量动态发现,在阴天及前期无降雨的情况下,此类型小降雨可使聚水沟沟底20 cm土层平均土壤含水量提高,秸秆覆盖增加约3.2%,树枝覆盖约2.8%,石子覆盖约2.1%,基质约2.6%。认为在该降雨量下,填充材料吸持水及拦蓄降雨影响下的土层主要分布在沟底20 cm以上土层,以秸秆和树枝覆盖抑制土壤水分无效损耗效果较优。

2.1.2 日降雨量在10~25 mm时聚水沟土壤水分状况 试验区6—8月,日降雨量10~25 mm的情况时常出现,且保证率约16.79%。聚水沟30—60 cm土层土壤含水量影响深度与对照同深度处存在明显差异($p<0.05$),其中以石子覆盖土壤水分垂直入渗增量最为明显,比对照高15.8%;雨后观测发现,日尺度内此类型降雨使得聚水沟沟壁水平约30 cm,垂直190 cm以上范围内土壤含水量平均较对照高12.4%,聚水沟50 cm以下土层土壤含水量增量随深度增加逐渐趋于平缓,而对照随深度增加土壤含水增量呈线性减少趋势。

2.1.3 日降雨量在25~40 mm时聚水沟土壤水分状况 经成对 t 检验结果显示,25~40 mm日降雨量下,聚水沟50 cm以上土层较对照差异不明显,在50—60 cm土层石子覆盖降雨前后水分增量最大,其土壤含水量较对照高23.4%,而秸秆、树枝覆盖与对照在同一深度处差异不显著。聚水沟两侧约30 cm,垂直0—40 cm土层剖面土壤含水量与其初始土壤含水量差异最为明显,各处理土壤含水增量及顺序为:秸秆(4.8%)>树枝(3.5%)>石子(3.1%)>对照(2.4%)>基质(2.3%)。雨后观测数据显示,随深度增加,聚水沟两侧垂直方向土壤含水量与对照差异越小。秸秆覆盖聚水沟沟底土壤含水量增加最多,说明秸秆覆盖在抑制表层土壤含水量损耗的同时释放及

输送更多的水分扩散湿润周围土壤,这种特性有利于聚水沟周围土壤水分蓄积及植被生长。

2.2 降雨量对聚水沟沟内及两侧土壤储水量研究

2.2.1 降雨量对聚水沟沟内储水量的影响

聚水沟沟底储水量的多少取决于降水拦蓄、蒸散耗水和土壤水分再分配几个主要方面。与对照水平阶相比,10~25 mm 日降雨量下,石子、秸秆、树枝覆盖沟底 30—50 cm 土壤储水增量平均较对照高 9%,此时,石子覆盖土壤储水量高于秸秆和树枝覆盖约 3.5%,分析是因为石子几乎无吸水性,增加的土壤水分是覆盖物抑制土壤蒸发的结果。25~40 mm 日降雨量发生保证率近 16.8%,聚水沟 70 cm 以上土层土壤储水量平均较水平阶地高 7%,其中储水增量变化最大的 50—70 cm 土层,石子、秸秆、树枝覆盖沟内土壤储水增量分别较水平阶地高 23.4、31.7、30.5 mm,说明覆盖措施下聚水沟土壤储水增量不仅表现在沟底,70 cm 以上土壤储水量明显优于水平阶地。在对聚水沟土壤水分变异性研究中发现,秸秆、树枝覆盖沟内土壤含水量变异性相对较小,这对林地土壤结构改良及土壤水分补给再分配上有良好的效果。

干旱半干旱区,大于 40 mm 的日降雨强度下易产生地表径流,统计发现平均每年至少有一次大于 40 mm 的降雨量。针对研究区 3 a 的降雨量与土壤储水量分析发现,聚水沟覆盖对增加降雨拦蓄量、拦蓄储水量重分配有积极作用。为确定自然降雨条件下土壤的最大储水量状况,于 2012 年 7 月 8 日降雨集中来临时测定了聚水沟土壤含水量。7 月 9 日凌晨一场 40.8 mm 的大雨降临,持续至 7 月 10 日,10 日累积有 12.4 mm 的雨量,7 月 12 日又一场 10.8 mm 的小雨,4 d 内连续降雨 3 次共计 64 mm 的降雨量,由于试验地位于坡度较大的山上,连续降雨时段气温下降幅度明显,未立即测定各处理土壤水分含量值。雨后观测同土层深度处土壤储水量由图 1 可知,降雨连续累积发生后,聚水沟 30—190 cm 土层土壤储水量较对照提高了 12.6%~17.5%。

由此说来,沟内填充物自身性质不同是导致聚水沟拦蓄水量存在差异的主要原因。秸秆与石子、树枝相比,不仅吸水能力强而且填充入沟后其间大孔隙很多,石子的吸水能力较差,填充入沟后之间形成孔隙也比秸秆和树枝小,但它可以起到分散、过滤和缓冲径流的作用,坡上产生的径流入沟后会通过这些较小孔隙在沟内分布均匀后缓慢到达沟底部,最大限度的避免了含沙水流对沟底土壤孔隙的淤塞,增加了沟内土壤水分的入渗状况。树枝填充入沟后形成很大的孔隙,含有泥沙的径流入沟后大部分直接到达沟底,

在沟底缓慢淤积,对径流在沟内的土壤水分下渗产生一定的阻碍作用。其次,由于填充材料切断了表面蒸发与下层土壤毛管联系,加之填充的聚水材料可以起到一定的保墒作用,使水分不断地在土壤中积累。在水平阶地上开挖聚水沟,水流入沟后可以不断入渗,不仅对浅层土壤水分变化有显著的影响,而且降雨转换成的土壤水更有利于深层水分的入渗及存储,改变土壤水分分配格局,使得土壤水分分布更均匀。

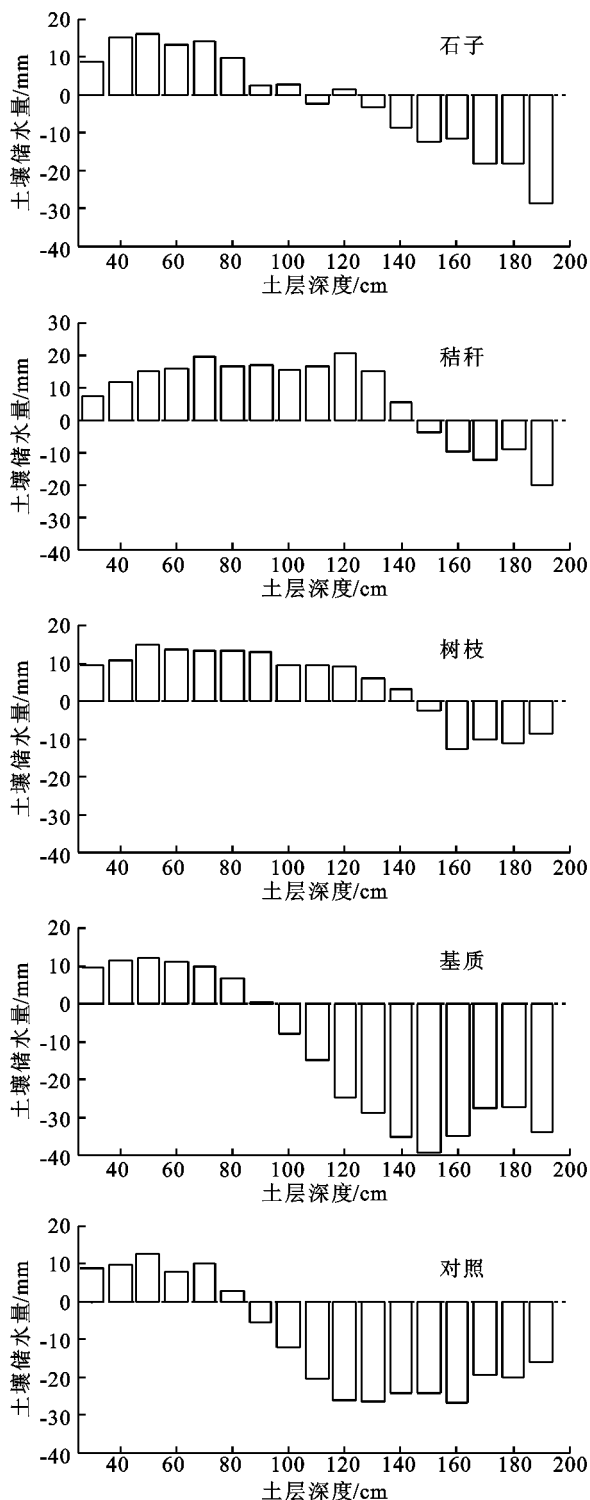


图 1 64 mm 累积降雨量下各处理土壤储水量

2.2.2 降雨量对聚水沟两侧储水量的影响 本试验区,雨水是枣林地唯一的补给水源,最大程度地将雨水储蓄在土壤中供植物利用对抵御干旱尤为重要。稳定的降雨入渗运移规律与降雨类型、枣树根系分布及生育期有关。4 a 生枣树,吸水根系分布范围在 0—60 cm,吸水根系分布对沟内土壤水分分配关系明显。在定量描述降雨对聚水沟周边土壤储水量时发现,聚水沟两侧 30 cm,垂直距离地面 30 cm 深度土层储水量较水平阶高 1.6%~3.9%,这可以说明覆盖聚水沟平衡拦蓄雨水及抑制蒸发损失方面较水平阶地有优势。

由表 1 可知,在 25~40 mm 日降雨量后发现,随土层深度增加,各处理土壤储水量均呈增加趋势。聚水沟两侧垂直 0—40 cm 土层平均储水量较水平阶高 16.14%。秸秆覆盖沟两侧土壤储水量为 38.6 mm,较树枝覆盖多 13%,较石子覆盖储水量多 83%。秸秆覆盖储水量多,是因为秸秆本身吸水能力强,而且

填充入沟后其间大孔隙很多,树枝材料本身密实,但填充后空隙较大,石子在吸水性方面不占优势,但其在持水性方面优于树枝和基质。聚水沟两侧土壤储水量多,主要是由于聚水沟内水分入渗运移至两侧增加了周围土壤水分,其这种特性有利于聚水沟周围浅层土壤水分状况及植被生长。

日累积降雨量大于 40 mm 时,雨后聚水沟两侧土壤含水量明显较对照同土层土壤周围水分高。聚水沟两侧影响最为显著的 30 cm×30 cm×70 cm 范围内大于 13% 高水分大约可维持近一个月,该月内土壤储水量呈逐渐下降趋势。此类型降雨,使聚水沟两侧垂直 70 cm 以上土层土壤高水分含量值最大,其土壤水分维持顺序为以:秸秆>树枝>石子>基质>对照。覆盖聚水沟内土壤水分消减量均小于对照,说明聚水沟拦蓄雨后土壤水分的运移及再分配潜移默化的缓解了两侧枣树耗水稳定性,很好的为聚水沟两侧枣树生长提供了补给性水源。

表 1 25~40 mm 降雨量下聚水沟两侧 0—40 cm 土层土壤储水量 mm

土层深度/cm	石子	秸秆	树枝	基质	对照
0—10	7.7±1.2a	8.84±3.2a	8.43±2.6a	6.07±1.9ab	5.99±2.7a
10—20	8.6±1.5a	9.77±1.6a	9.74±2.2a	8.20±2.3a	7.60±2.5a
20—30	10.7±1.2a	10.5±0.5a	10.20±0.3a	9.87±1.9ab	8.99±2.7ab
30—40	11.2±1.3b	13.8±3.2b	14.4±2.6ab	10.07±1.9ab	9.99±2.8b

注:同一因素中不同小写字母表示差异达到 0.05 显著水平。

2.3 土壤水分入渗深度状况

在黄土高原地区,土壤水分受季节性降水、外界环境和土壤管理措施的影响较大,一般降水影响深度达 2 m。本文把 2013 年 9 月 136.8 mm 的典型月降雨量作为探讨对象,该月经历 3 次有效降雨,其中以 9 月 1 罕见的日降雨量 67.2 mm 为土壤水分补给做了重要贡献。通过雨后土壤水分观测发现,在无任何覆盖的情况下,月初 67.2 mm 的降雨影响了沟底 90 cm 以上土层土壤水分的变化,而石子、秸秆、树枝、基质覆盖聚水沟沟底受此次降雨的影响深度分别为 110,150,150,120 cm。随后 9 月 6 号出现了 29.5 mm 的降雨,观测发现雨后水平阶地土壤水分入渗至沟底 110 cm 处,而聚水沟沟底土壤水分入渗平均影响深度各增加了约 10 cm。此后近 20 d 无任何降雨,9 月 25 日 24.1 mm 的有效降雨量,聚水沟 30—190 cm 土层土壤含水量比水平阶地高 18.7%。图 2 为 136.8 mm 降雨前、后各处理土壤水分入渗影响深度过程。由图 2 可知,8 月末,聚水沟沟底 130 cm 以上土层与对照土壤含水量均值约为 8.5%,其间差异不明显;聚水沟 130—190 cm 土层土壤含水量存在显著差异,

基质覆盖下沟底土壤含水量与水平阶地差异相对较弱。10 月初,聚水沟 100 cm 以上土层土壤含水量均存在明显的削减,以基质、石子沟土壤水分减少较剧烈,而沟底 100 cm 以下土壤水分受降雨入渗、蒸散耗水及降雨过程的影响相对较小,这与填充材料本身的持蓄水性有绝对关系。秸秆和树枝覆盖聚水沟土壤水分在沟底 160 cm 以上土层均可维持 10% 以上相对较高的水分值。林地降雨入渗影响深度与下垫面类型及雨型有直接关系,各处理在 10 月份土壤水分恢复深度达到最大,雨季后聚水沟沟内水分恢复深度在 100 cm 以上土层,其中秸秆沟和树枝沟恢复深度最大达到 140 cm,石子沟次之为 110 cm,而水平阶地恢复深度最小仅为 80 cm。该月 136.8 mm 的累积降雨量对石子、秸秆、树枝、基质覆盖沟内垂直水分扩散最大影响深度分别为 120,160,160,130 cm。各处理整个土壤剖面高水分维持增量及顺序为:秸秆(11.2%)>树枝(9.8%)>对照(8.6%)>石子(8.4%)>基质(4.3%)。分析得出,开挖聚水沟措施能在水平阶地基础上进一步增加土壤水分的入渗,使得沟内土壤水分受降雨因素影响水分入渗运移规律发生改变。

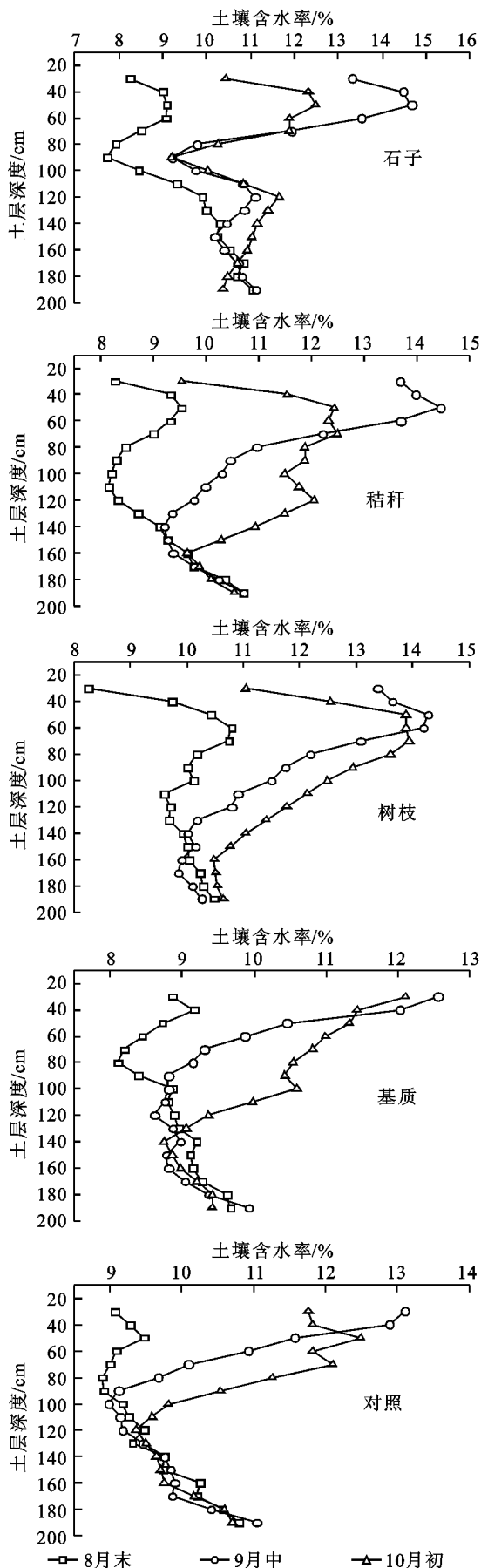


图 2 136.8 mm 月降雨量前后各处理 30—190 cm 土层土壤水分入渗情况

3 结论与讨论

聚水沟作为承接降雨的工程措施,可最大限度地拦蓄雨水供植物利用。沟内的填充物相对于裸地可以更大程度地拦蓄降雨增加入渗,其本身吸持的水分不仅不断地供给下层和四周土壤,相当于一个临时性水源,改善了沟内部及周边的土壤水分状况。3 a 研究结果显示,自然条件下低于 6 mm 的降雨对覆盖聚水沟土壤水分状况的影响微弱,对降雨较为敏感的水平阶地也只是暂时湿润了土壤表层。日降雨在 6~10 mm 时,聚水沟沟底 10 cm 土层土壤含水量开始与对照出现差异,认为试验区小于 6 mm 的降雨被视为无效降雨。

典型月累积 136.8 mm 的降雨量对石子、秸秆、树枝、基质覆盖聚水沟内水分入渗影响深度分别为 120, 160, 160, 130 cm, 而水平阶地水分影响深度为 90 cm, 覆盖下秸秆和树枝沟内水分的影响深度最为显著,其原因可能是秸秆和树枝对水分的吸收以及雨水的阻挡作用,延长了水土相互作用的时间而增加雨水的入渗,这与赵聚宝^[18]在干旱地区研究秸秆覆盖在调控土壤供水方式时使得土壤蓄水明显较对照多 45.2~69.3 mm 的结果较一致。基质填充下聚水沟内水分未达到预想的效果,其原因可能是其室内的最大持水量估算较自然降水的实际拦蓄能力较大。降雨入渗影响深度与下垫面类型及雨型有直接关系,说明开挖聚水沟措施能在水平阶地基础上进一步增加土壤水分的入渗。降雨、入渗及土壤水分再分配是一个复杂的过程,考虑一次性降雨入渗到土壤的水分及剖面层间水分情况必须结合所选填充材料的持蓄水特性^[19-20]。

目前,寻找协调降雨补给和蒸发损失比率措施来保证林地水分生态方面发挥的效益暂且不能统一而论。半干旱区降雨分配、降雨频率及其强度差异大等问题,这就需要对覆盖材料在多年降雨频次下土壤水分入渗及再分配进行反复验证。考虑到随使用年限增加,要想准确掌握竹节式聚水沟技术措施在改良土壤结构、拦蓄降水、保蓄水分等方面的特性需要长期且持续定位监测。降雨的补给时期及补给量不是一个确定量,本文只对该区几种典型降雨量下土壤水分状况做了分析。因此,后期有望进一步深入聚水沟对应各梯度降雨量时的入渗机理耦合研究,为自然状态下提高降雨利用率及经济林营造管理提供理论支撑。

参考文献:

- [1] Xu Y, Yang B, Tang Q, et al. Analysis of comprehensive benefits of transforming slope farmland to terraces on the Loess Plateau: A case study of the Yangou Wa-

- tershed in Northern Shaanxi Province, China[J]. Journal of Mountain Science, 2011, 8(3): 448-457.
- [2] Mupangwa W, Twomlow S, Walker S. The influence of conservation tillage methods on soil water regimes in semi-arid southern Zimbabwe[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2008, 33(8): 762-767.
- [3] 张北赢, 徐学选, 刘文兆. 黄土丘陵沟壑区不同水土保持条件下土壤水分状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 54-58.
- [4] 李萍, 朱清科, 赵磊磊, 等. 黄土丘陵沟壑区鱼鳞坑雨季土壤水分状况[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 76-81.
- [5] 吴普特. 人工汇集雨水利用技术研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [6] 刘佳莉. 半干旱地区雨水高效富集利用技术应用[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 230-232.
- [7] 朱强, 李元红. 论雨水集蓄利用的理论和实用意义[J]. 水利学报, 2004(3): 60-64.
- [8] 张新燕, 蔡焕杰. 雨水集蓄利用研究进展[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(3): 87-92.
- [9] Broadbridge P, White I. Constant rate rainfall infiltration: A versatile nonlinear model: 1. Analytic solution [J]. Water Resources Research, 1988, 24(1): 145-154.
- [10] Freeze R A, Harlan R L. Blueprint for a physically-based, digitally-simulated hydrologic response model [J]. Journal of Hydrology, 1969, 9(3): 237-258.
- [11] Akan A O. Horton infiltration equation revisited[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1992, 118(5): 828-830.
- [12] 杨永辉, 赵世伟, 雷廷武, 等. 耕作对土壤入渗性能的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1624-1630.
- [13] 刘贤赵, 宿庆, 宋孝玉, 等. 黄土高原长武试区土地利用变化对产水量的影响[J]. 农业现代化研究, 2004, 25(1): 59-63.
- [14] Bennie A T P, Hensley M. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa: a review[J]. Journal of Hydrology, 2001, 241(1): 124-139.
- [15] 李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报, 1992, 37(4): 366-369.
- [16] 蔺君, 汪有科, 卫新东, 等. 黄土丘陵区竹节式聚水沟的蓄水特性[J]. 应用生态学报, 2013, 24(12): 3373-3380.
- [17] 许浩, 蒋齐, 潘占兵, 等. 黄土丘陵区降雨, 土壤水分和苗木成活率的关系[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 202-205.
- [18] 赵聚宝, 梅旭荣, 薛军红, 等. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2): 59-66.
- [19] 刘贤赵, 康绍忠. 降雨入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57-62.
- [20] 陈洪松, 邵明安, 王克林. 黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1853-1857.

~~~~~

(上接第 128 页)

- [10] Yang Q, Wang K, Zhang C, et al. Spatio-temporal evolution of rocky desertification and its driving forces in karst areas of Northwestern Guangxi, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(2): 383-393.
- [11] 陈利, 林辉, 孙华. 基于 SPOT-5 影像的冷水江市岩溶区石漠化时空演变研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(8): 22-27.
- [12] 李阳兵, 王世杰, 罗光杰, 等. 喀斯特石漠化演变轨迹的典型案例分析: 以贵州盘县为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(3): 118-124.
- [13] Stow D A, Hope A, McGuire D, et al. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(3): 281-308.
- [14] Hope A S, Boynton W L, Stow D A, et al. Inter-annual growth dynamics of vegetation in the Kuparuk River watershed, Alaska based on the Normalized Difference Vegetation Index[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(17): 3413-3425.
- [15] 邓飞, 全占军, 于云江. 20 年来乌兰木伦河流域植被盖度变化及影响因素[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 137-140.
- [16] 李小亚, 张勃, 靳自宝. 基于 MODIS-NDVI 的甘肃河东区植被覆盖度动态监测[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 112-115.
- [17] 徐劲原, 胡业翠, 王慧勇. 近 10a 广西喀斯特地区石漠化景观格局分析[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 181-184.
- [18] 蒋忠诚, 李先琨, 胡宝清, 等. 广西岩溶山区石漠化及其综合治理研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [19] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策与经验[J]. 草业科学, 2008, 25(9): 19-25.
- [20] 莫剑锋, 陆志星, 黄永辉, 等. 广西石漠化综合治理试点成效及经验剖析[J]. 福建林业科技, 2014(2): 206-210.
- [21] 童立强, 刘春玲, 聂洪峰. 中国南方岩溶石山地区石漠化遥感调查与演变研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013.