

# 不同覆盖措施对减少枣林休眠期土壤水分损失的影响

靳姗姗<sup>1</sup>, 汪星<sup>1</sup>, 汪有科<sup>1,2\*</sup>, 余檀<sup>2</sup>

(1. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 杨凌 712100;  
2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 杨凌 712100)

**摘要:** 针对黄土丘陵半干旱区林地土壤干化缺水严重的现象, 利用 2012—2015 年 3 种覆盖措施下土壤水分定位实测数据, 探讨和分析全年覆盖措施对枣林休眠期土壤水分损失的影响。结果表明: 休眠期是枣林地土壤水分损失的重要时期, 无覆盖枣林地土壤水分损失 85.64~92.34 mm, 是同期降雨量的 2.12 倍。当地枣林地土壤水分损失的土层深度基本在 0~200 cm 范围。在 0~200 cm 范围土壤垂直剖面上, 休眠期 3 种覆盖措施下土壤水分损失均呈现随深度增加而均匀减少的规律。休眠期 0~200 cm 土层秸秆覆盖、地膜覆盖和石子覆盖土壤水分总损失量分别较裸地减少 38.32、50.56、40.48 mm。覆盖措施可以促进休眠期土壤水分向深层运移。

**关键词:** 土壤水分; 干旱; 覆盖; 枣林; 休眠期; 土壤水分

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.14.021

中图分类号: S152.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-14-0153-08

靳姗姗, 汪星, 汪有科, 余檀. 不同覆盖措施对减少枣林休眠期土壤水分损失的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14): 153-160. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.14.021 http://www.tcsae.org

Jin Shanshan, Wang Xing, Wang Youke, She Tan. Effects of typical mulching patterns on soil water loss in jujube land during dormancy period[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(14): 153-160. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.14.021 http://www.tcsae.org

## 0 引言

覆盖一直是半干旱区农林业提高土壤水分的主导措施, 由于覆盖具有显著的保墒作用, 所以有关覆盖保墒技术的相关研究较多。但是以往研究大多注重生育期土壤水分的空间变异<sup>[1-5]</sup>, 对休眠期相关研究十分罕见, 甚至被忽略。为改善生育期农林地土壤水分状况, 研究者对多种旱作技术进行大量研究和推广<sup>[6-11]</sup>。近年来也有新的技术进展, 如蔺君等人<sup>[7]</sup>研究的雨水集蓄新技术竹节式聚水沟对黄土丘陵区土壤水分恢复状况和拦蓄水方面具有较好的应用价值。吴普特等人<sup>[9]</sup>提出的新型涌泉根灌灌水方式不仅可以降低设备成本, 也可大幅度提高枣园净收入。魏新光等人<sup>[10]</sup>在研究修剪对枣树蒸腾调控作用中表明, 修剪措施可以在保证枣林可持续经营目标产量的基础上, 显著降低枣树对土壤水分的消耗和树木蒸腾。虽然生育期是林木生长和耗水的主要时期, 具有重要的研究意义, 但由于休眠期降水少、蒸发持续存在, 导致

土壤水分损失严重。汪星等人指出枣树休眠期是土壤水分减少的关键期, 呼吁关注并防止冬季土壤水分的损失<sup>[12]</sup>。休眠期土壤水分的降低会导致来年春季土壤水分供给不足, 造成枣树萌芽、展叶不良甚至减产<sup>[3,5]</sup>, 因此休眠期旱作林地土壤水分研究是不可忽视的重要环节。

自退耕还林工程实施以来, 红枣作为耐旱型经济林树种被广泛种植和推广, 为推进黄土丘陵半干旱区农林经济发展起到了重要作用<sup>[13-15]</sup>。但随着红枣等人工林种植面积的持续增加, 造成黄土高原土壤水分出现不同程度的亏缺, 甚至形成永久性干层<sup>[16-18]</sup>。枣林地深层土壤水分的亏缺, 一是影响现有枣树的正常生长, 二是破坏了枣林衰败后的植被建造环境。王志强等人在研究黄土丘陵半干旱区人工林迹地土壤水分恢复研究中指出, 迹地放牧荒坡在 20 年的时间里土壤水分没有补偿, 作为保护草地恢复到初始含水量的时间至少要 150 年<sup>[16]</sup>。因此研究黄土丘陵区林地不同覆盖措施对土壤水分的影响, 寻求合理的保墒措施, 对解决该区域的林业发展和缓解林地土壤干化具有重要意义。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于中国典型黄土高原丘陵沟壑区陕西省米脂县远志山(东经 108°49', 北纬 37°25', 坡度为 21°~39°), 样地海拔 890 m, 属于中温带半干旱性气候区。山上种植有 3~12 年不同林龄的成片矮化密植山地枣林, 枣树株行距为 2 m×3 m, 林地为水平梯田和水平阶。该区气候干燥, 蒸发强烈, 年均气温 8.5 °C, 年辐射总量 582.7 kJ/cm<sup>2</sup>,

收稿日期: 2016-01-26 修订日期: 2016-03-28

基金项目: 国家林业公益项目: 山地红枣生态经济林增效关键技术与示范(201404709); 国家支撑计划项目: 陕北水蚀区植被功能调控技术与示范(2015BAC01B03); 陕西统筹项目: 红枣优质高效生产关键技术集成与示范(2014KTCG01-03)。

作者简介: 靳姗姗, 女, 河南新乡人, 主要从事林地耗水方面研究。杨凌 中科院教育部水土保持与生态环境研究中心, 712100。

Email: 554556909@qq.com

\*通信作者: 汪有科, 男, 甘肃民勤人, 研究员, 主要从事水资源高效利用研究。杨凌 中科院教育部水土保持与生态环境研究中心, 712100。

Email: gjzwyk@vip.sina.com

年潜在蒸发量在 1 600 mm 左右。年平均降水量为 451.6 mm, 年内分布不均, 主要集中在 7—9 月份, 10—次年 3 月降水少, 且多为小雨 (表 1)。试验地 0~5.0 m 土层质地均一土质松软颗粒细, 属于黄绵土, 其中粉粒、砂粒和黏粒 3 种粒级所占质量百分比分别为 7.7%、47.8% 和 44.5%, 土壤容重为 1.29~1.31 g/cm<sup>3</sup>。土壤贫瘠, 0~2 m 土层有效氮磷钾平均质量比依次为 30.12、1.56、89.33 mg/kg。地下水埋深超过 50 m。

表 1 2012—2015 年每年 10 月—次年 3 月日降水量分布  
Table 1 Daily rainfall distribution from 2012 Oct. to 2015 Mar. next year

时间 Time	日降雨量 Daily precipitation/mm					
	0~5		5~10		>10	
	天数 Number of days /d	降雨总量 Total of precipitation /mm	天数 Number of days /d	降雨量 Total of precipitation /mm	天数 Number of days /d	降雨量 Total of precipitation /mm
2012-10— 2013-03	11	5.7	7	23.4	2	16.8
2013-10— 2014-03	9	12.5	5	13.7	2	17.6
2014-10— 2015-03	9	5.2	11	23.6	1	9.4

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 试验设计

试验地位于 11 龄山地矮化密植梨枣林试验基地的水平阶上, 试验布设时间为 2011 年 10 月, 选取坡向 (南坡) 和坡度 ( $\approx 3^\circ$ ) 相似的 3 个水平阶, 每个水平阶分别设置秸秆覆盖、地膜覆盖、石子覆盖和枣林裸地 4 个处理, 将秸秆切成 8~10 cm 的小段, 覆盖厚度为 10~12 cm, 石子覆盖使用粒径为 0.5~1.0 cm 的砂石, 覆盖厚度为 5 cm, 地膜覆盖 (白色聚乙烯农膜) 在处理时使枣树主干附近地势低, 四周地面稍高, 地膜在树干附近保持有 1~2 cm 缝隙, 以便地面雨水流向树干入渗。各处理小区规格为 2 m×3 m, 面积 6 m<sup>2</sup>, 在每个小区四周开挖宽为 20 cm、深 5 m 的沟, 沟内壁用厚约 1 mm 的塑料与周围土壤隔开, 防止周围土壤水分和根系对试验小区产生影响, 3 个水平阶为 3 个重复试验。试验期间无灌溉。

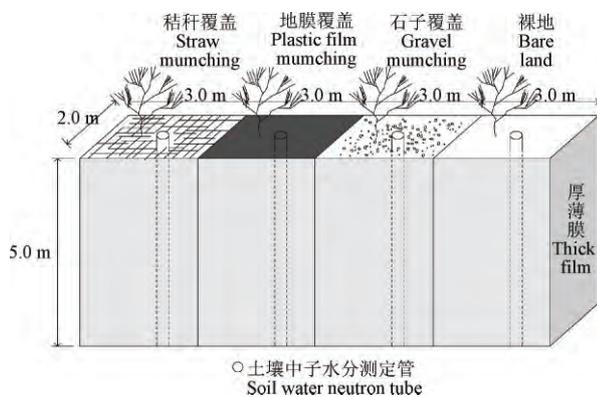


图 1 试验布设示意图  
Fig.1 Test arrangement

### 1.2.2 数据采集

试验所用土壤水分测定仪为 CNC100 型中子水分测

管, 每个小区中子测管安装深度均为 5 m, 监测深度步长为 20 cm。监测初始时间为 2011 年 10 月 27 日, 每隔 10 d 测定一次土壤水分, 每 3 个月对中子仪进行一次校正。20 cm 深处土壤水分采用烘干法进行测定。考虑到冬季土壤水分监测的不准确性, 每年 11 月—次年 3 月土壤水分数据采用内插法获得。

样地附近设有 BJJW-4 小型气象站。监测指标包括气温 ( $T$ ,  $^\circ\text{C}$ )、降雨量 ( $P$ , mm)、相对湿度 ( $RH$ , %)、土壤热通量 ( $G$ ,  $\text{W}/\text{m}^2$ )、总辐射 ( $R$ ,  $\text{W}/\text{m}^2$ )、太阳净辐射 ( $Rn$ ,  $\text{W}/\text{m}^2$ ) 和风速 ( $V$ , m/s), 监测时间步长为 30 min。

### 1.3 数据处理

土壤水分损失量计算

$$W = 10H\theta \quad (1)$$

式中  $W$  为土壤储水量, mm,  $H$  为土层深度, cm,  $\theta$  为土壤体积含水量,  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 。

黄土高原地区土壤水分平衡模型可表示为

$$\Delta S = P + I - E - T - R - D \quad (2)$$

式中  $\Delta S$  为土壤储水量, mm,  $P$  为降雨量, mm,  $I$  为灌溉量, mm,  $E$  为地表蒸发量, mm,  $T$  为植被蒸腾量, mm,  $R$  为地表径流量, mm,  $D$  为水分渗漏量, mm。

在该研究区, 由于基本没有地表径流损失和水分渗漏, 且未对其进行灌溉处理, 因此土壤水分平衡模型可简写为

$$\Delta W = P - E - T \quad (3)$$

式中  $\Delta W$  表示观测始末土壤储水量的变化量, mm, 即

$$\Delta W = W_{\text{initial}} - W_{\text{present}} \quad (4)$$

式中  $W_{\text{initial}}$  为土壤初始含水量, mm,  $W_{\text{present}}$  为土壤现有含水量, mm。

当初始含水量大于现有含水量时, 土壤水分减少, 表现为土壤水分的损失, 反之土壤水分增加。在黄土丘陵枣林休眠期, 由于降雨稀少, 休眠期结束时 (次年 4 月份) 土壤水分低于休眠期初期 (每年 10 月份) 土壤水分, 土壤水分损失大。

土壤有效储水量的计算

$$W_{\text{efficient}} = W_{\text{present}} - 10H\theta_{\text{diaowei}} \quad (5)$$

式中  $W_{\text{efficient}}$  为土壤有效储水量, mm,  $\theta_{\text{diaowei}}$  为土壤凋萎含水量, 这里取值为 5.36%。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同覆盖措施下土壤水分的周年变化

土壤水分具有年际变化这是大家知道的规律, 但是林地土壤水分经过一个休眠期后土壤水分损失严重似乎长期被人们忽视。依据枣树生长特性, 本文确定每年 4—10 月为生育期, 10 月—次年 4 月为休眠期, 对 2012 年 3 月—2015 年 10 月不同覆盖措施 0~200 cm 土层平均含水量进行讨论。从图 2 中可以看出, 各处理土壤水分的周年变化规律类似, 每年生育期土壤水分均处于一年中的上升阶段, 而休眠期处于降低阶段。这是因为尽管生育期枣树生长量大, 蒸散量高, 但此时正逢雨期, 降

雨补给可以使枣树耗损的土壤水分得到补偿，而休眠期降水较少，土壤水分损失严重。图中显示，在 2012—2013 年第一个生长周年的生育期，地膜覆盖、秸秆覆盖、石子覆盖和裸地处理土壤含水量分别增加了 2.95%、3.80%、3.68% 和 4.20%，而休眠期裸地土壤含水量降低 4.57%，损失 91.40 mm，相当于同期降雨量的 2.00 倍，地膜覆盖、秸秆覆盖、石子覆盖土壤含水量分别降低 3.13%、3.84%、3.40%。在 2013—2014 年第二个生长周年内，经过一个生育期地膜覆盖、秸秆覆盖、石子覆盖和枣林裸地处理土壤水分均亦有所增加，依次增加 3.66%、4.08%、3.56%、4.88%，而休眠期各处理土壤含水量均减少，其中裸地降低 4.62%，水分损失 92.34 mm，相当于同期降雨量的 2.11 倍，而地膜覆盖、秸秆覆盖、石子覆盖土壤含水量分别降低 2.65%、3.62%、3.00%。与前两个生长周年土壤水分变化规律类似，在 2014—2015 年第三个生长周年内，4 种处理条件下生育期土壤含水量仍处于上升状态，地膜覆盖、秸秆覆盖、石子覆盖和枣林裸地处理分别增加 2.43%、3.48%、3.23% 和 4.62%，而休眠期裸地降低 4.28%，土壤水分损失 85.64 mm，是同期降雨量的 2.24 倍，地膜覆盖、秸秆覆盖、石子覆盖土壤含水量依次降低 2.40%、3.46%、2.50%。

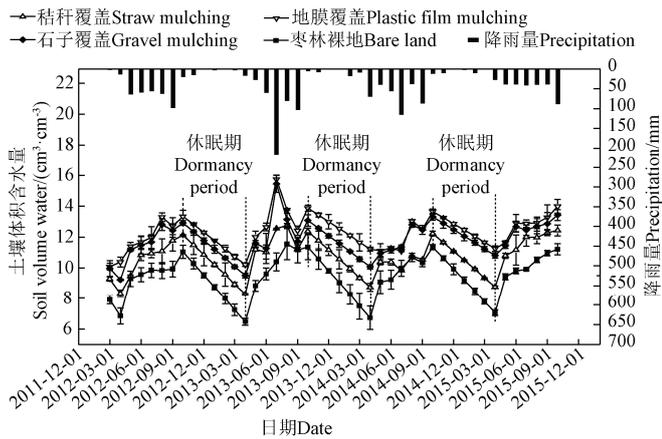


图 2 不同覆盖措施 2012 年 3 月 - 2015 年 10 月 0~200 cm 土层月平均土壤水分变化动态

Fig.2 Dynamic average soil moisture of different mulching patterns under 0~200 cm soil layer from 2012.03 to 2015.10

从整体上看，在枣林地采取全年覆盖措施后，与裸地相比土壤水分均有不同程度的增加，尤其在休眠期保墒效果更显著。由图 2 可知，秸秆覆盖在连续 3 个生长周年休眠期土壤平均含水量分别比裸地高 1.48%、1.65% 和 1.60%，地膜覆盖分别比裸地高 3.01%、3.59%、3.40%，石子覆盖分别比裸地高 2.45%、2.62% 和 2.81%。从土壤水分增加的程度上看，地膜保墒效果最好，其次为石子覆盖。

综上所述，在枣林地采取全年覆盖的方式，可以减少土壤水分损失，尤其是休眠期土壤水分的降低，从而保证作物来年春季萌芽前期的土壤初始含水量，以提高作物产量。

### 2.2 不同覆盖措施下休眠期土壤水分损失深度

枣林休眠期土壤水分损失深度是大家关心的焦点问

题之一。为探索和分析不同覆盖措施下休眠期土壤水分的垂直变化和损失深度，利用 2012—2015 连续 3 个休眠期土壤水分长期定位监测数据，分别计算各处理不同土层休眠期初（10 月份）和休眠期末（4 月份）的 3 年土壤平均含水量，并绘制图 3。

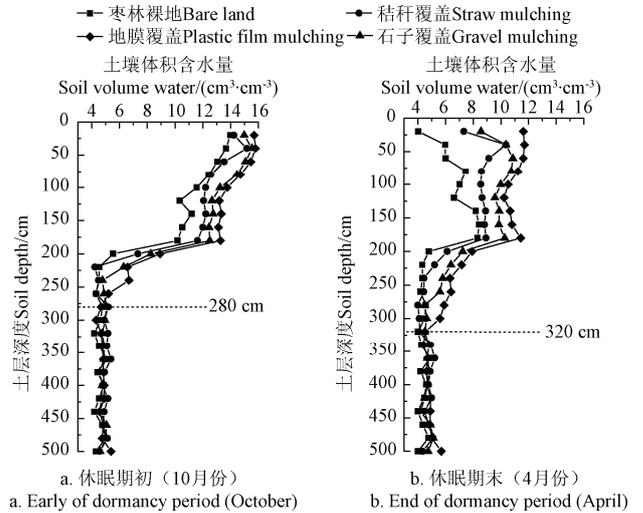


图 3 不同覆盖措施休眠期土壤水分垂直变化

Fig.3 Soil water vertical variation of different mulching patterns in dormancy period

土壤水分的垂直变化规律主要受降水和蒸散的影响，并与植被类型及其生物学特性有一定的关系<sup>[19-20]</sup>。图 3a 为雨季过后，4 种不同地面覆盖 10 月份（休眠期初）土壤水分的垂直分布状况，此时为一年中土壤水分最高的时期。图 3b 为休眠期结束时（次年 4 月份）4 种不同地面覆盖下的土壤水分垂直状况，此时也是林地土壤水分最小的阶段。根据图 3，可将休眠期初期和末期土壤水分垂直剖面大致分为 2 个区段：第一个区段为土壤水分的易恢复区，第二个区段为土壤水分的难恢复区。易恢复区土壤水分受太阳辐射、光照时长、光照强度以及大气温度等气象因素的影响，土壤水分波动明显，采取覆盖措施后土壤水分有明显增加趋势，而难恢复区土壤水分相对稳定，覆盖的保墒作用不显著。从图 3a 可以看出，休眠期初期 280 cm 以上土层土壤水分在覆盖措施的作用下出现不同程度增加，说明该阶段 0~280 cm 土层为土壤水分的易恢复区，而 280~500 cm 为难恢复区。但从图 3b 可以看出，休眠期末 0~350 cm 土层为土壤水分的易恢复区，这说明覆盖措施在休眠期可以增加土壤水分的入渗深度，使土壤干层得到一定的恢复。

由图 3a 可知，在无覆盖措施的裸地，0~200 cm 土壤水分相对较高，平均为 11.16%，而 200 cm 以下土层水分较低，土壤平均含水量仅有 4.58%。这是因为枣树的根系已经到达 200 cm 以下，降雨很难入渗到该深度，导致 200 cm 以下土层形成了永久性土壤干化层，土壤水分被消耗至接近凋萎系数<sup>[17-18]</sup>。与枣林裸地相比，覆盖措施下的土壤水分均出现不同程度的增加，其中 0~200 cm 土层土壤水分增加显著，秸秆覆盖、地膜覆盖和石子覆盖土壤平均含水量分别比裸地高 0.88%、2.32%、1.98%，

而 200 cm 以下土层增幅较小,土壤水分有缓慢恢复迹象。由图 3b 可知,休眠期末土壤水分在垂直剖面上的分布规律与图 3a 基本相似,但与休眠期初期相比,0~200 cm 土层范围内 4 种不同地面覆盖下土壤平均含水量均降低,秸秆覆盖、地膜覆盖、石子覆盖和裸地分别减少 2.57%、1.96%、2.47%、4.49%,而 200 cm 以下土层土壤平均含水量则相差不大。从图 3 中还可以看出,无论裸地处理还是覆盖处理,表层土壤水分均较低,这是因为黄土丘陵半干旱区休眠期降水稀少,大气相对湿度低,表层土壤水分易以水汽形式散失到大气中,导致土壤含水量降低。

根据图 3b,可以看出休眠期末 0~180 cm 土层之间覆盖措施土壤含水量均显著大于裸地处理,340~500 cm 土壤深度覆盖措施与裸地土壤含水量无显著差异。对于 180~340 cm 之间同一土层不同覆盖处理与裸地土壤水分是否具有显著性差异,我们借助表 2 进行分析。从表 2 中可以看出,秸秆覆盖在 240 cm 以下土层

土壤水分与裸地处理无明显差异,说明秸秆覆盖可以改善的土壤水分深度达 240 cm;石子覆盖在 280 cm 以下土层土壤水分与裸地处理无明显差异,说明石子覆盖可以改善的土壤水分深度达 280 cm;地膜覆盖在 320 cm 以下土层土壤水分与裸地处理无明显差异,说明地膜覆盖可以改善的土壤水分深度达 320 cm,可以看出地膜覆盖土壤水分恢复效果最好。这是因为地膜覆盖几乎完全阻止土壤水分蒸发损失,石子覆盖和秸秆覆盖下的土壤水分可通过空隙蒸发散失。另外,裸地地表土壤水分较低,造成深层土壤水势大于表层,土壤水分在向上水势梯度的作用下更易向上运移,导致土壤水分在 0~200 cm 土层整体损失严重,而覆盖措施可以降低土壤蒸发的作用,经过一个休眠期后不但使 0~200 cm 土层仍较裸地具有较高的水分,而且可以使土壤水分向下运移,有利于深层土壤水分的恢复,对下层土壤水分有一定的补充作用。

表 2 休眠期末同一土层不同覆盖处理土壤水分的差异显著性

Table 2 Significant analysis of same soil layer's soil water of different mulching patterns at the end of dormancy period

处理 Treatment	土层深度 Soil depth/cm										
	0~180	180	200	220	240	260	280	300	320	340	340~500
秸秆覆盖 Straw mulching	9.8±1.3bc	10.9±0.9b	6.3±0.7c	5.2±0.1b	4.5±0.2c	4.4±0.1c	4.0±0.1b	4.1±0.1bc	4.1±0.1ab	5.0±0.1a	4.8±0.3a
石子覆盖 Gravel mulching	11.0±0.8b	11.3±0.1b	7.9±0.3b	6.2±0.1a	4.8±0.1b	4.9±0.1b	4.2±0.1b	4.8±0.1b	4.5±0.1a	4.8±0.1a	4.7±0.3a
地膜覆盖 Plastic film mulching	11.4±1.1a	12.2±0.6a	8.5±0.3a	6.5±0.1a	5.3±0.1a	5.4±0.1a	5.2±0.1a	5.0±0.1a	4.6±0.1a	4.4±0.1ab	4.9±0.3a
枣林裸地 Bare land	6.7±1.4d	8.3±0.4c	4.8±0.4d	4.3±0.1c	4.3±0.1c	4.2±0.1c	4.6±0.1b	4.5±0.1b	4.0±0.2ab	4.2±0.1ab	4.4±0.3ab

注:不同小写字母表示休眠期末同一土层不同覆盖处理土壤水分的差异显著性 ( $P<0.05$ )

Note: Different small letters mean significant difference ( $P<0.05$ ) among same soil layer's soil water of different mulching patterns at the end of dormancy period

### 2.3 不同覆盖措施下休眠期土壤水分垂直损失

通过上文分析可知,0~200 cm 土层大致为土壤水分的易恢复区,也是土壤水分变化相对较大的深度,因此以 0~200 cm 土层为研究对象,探讨土

壤水分损失在垂直方向的变化规律。分层计算 0~200 cm 深度范围 2012—2015 年 3 个休眠期秸秆覆盖、地膜覆盖、石子覆盖和裸地平均土壤水分损失量,如图 4。

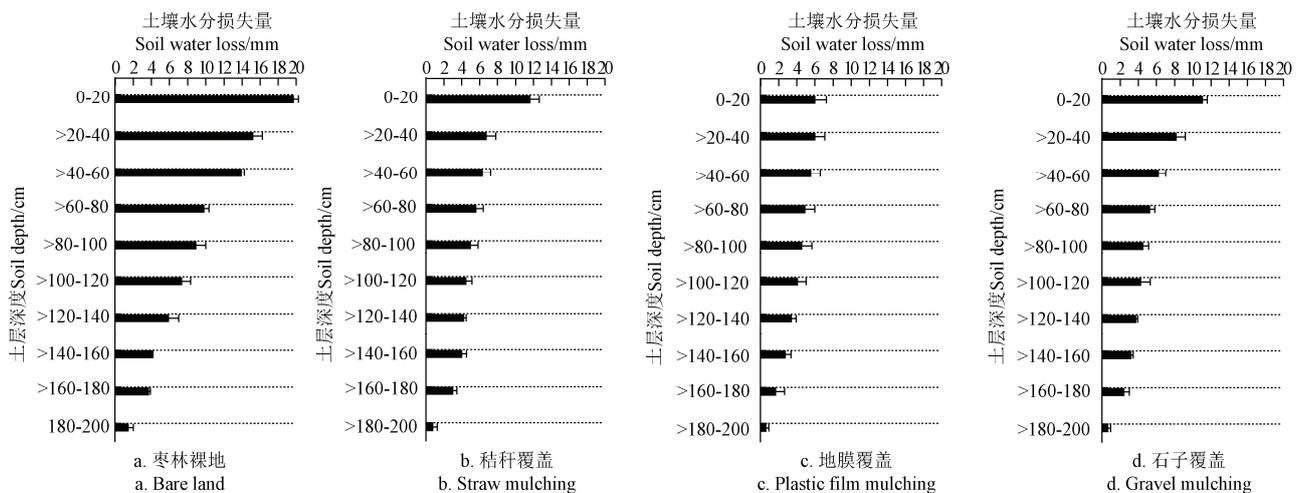


图 4 不同覆盖措施 0~200 cm 土层土壤水分损失量

Fig.4 Loss of soil water of different mulching patterns in 0-200cm soil layer

从同一土层土壤水分损失量来看,裸地在各个土层的土壤水分损失量均最大,其中 0~20cm 土层裸地土壤

水分损失量为 19.69 mm,比秸秆覆盖多了 8.06 mm,比地膜覆盖多 13.69 mm,比石子覆盖多 8.61 mm,说明

在地表采取覆盖措施后可以减少土壤水分的无效蒸发损失<sup>[21-24]</sup>。而在>80~100 cm 土层秸秆覆盖、地膜覆盖和石子覆盖土壤水分损失量分别比裸地减少 3.98、4.40、5.45 mm, >180~200 cm 土层秸秆覆盖、地膜覆盖和石子覆盖土壤水分损失量分别比裸地减少 0.62、0.85、0.78 mm, 可以看出, 随着土壤深度的增加, 覆盖措施的保墒效果逐渐减弱。

从同一覆盖措施土壤水分损失垂直变化规律来看, 土壤水分损失量均表现为上大下小的变化规律, 这与土壤含水量的垂直分布特征一致(图 3)。表层土壤水分损失最严重, 深层土壤水分损失较小。由图 4a 可知, 裸地 0~40 cm 土层土壤水分损失量为 34.88 mm, 占 2 m 土层土壤水分总损失量的 38.85%, >40~80、>80~120、>120~160、>160~200 cm 土层土壤水分损失量分别为 23.70、16.24、9.90、5.07 mm, 占土壤水分总损失量的 26.40%、18.09%、11.03%、5.64%。由图 4a、图 4b 和图 4c 可知, 秸秆覆盖、地膜覆盖和石子覆盖在垂直剖面上的土壤水分损失规律与裸地类似, 秸秆覆盖在 0~40、>40~80、>80~120、>120~160、>160~200 cm 土层土壤水分损失量分别为 18.34、11.86、9.39、8.16、3.72 mm, 地膜覆盖分别为 11.99、10.42、8.55、6.08、2.20 mm, 石子覆盖分别为 19.23、11.43、8.71、6.93、3.01 mm。计算各处理整个 2 m 土层土壤水分总损失量, 得出秸秆覆盖、地膜覆盖和石子覆盖比裸地减少了 38.32、50.56、40.48 mm。

过去, 由于土壤水分测量仪器精度差等原因的限制, 加上人们更多关注作物经济效益, 很少有人注意到休眠期土壤水分的变化规律, 更很少有人考虑如何采取措施来防止休眠期土壤水分的损失。本文根据多年不同覆盖措施土壤水分监测数据, 分析和讨论了休眠期土壤水分损失的严重性以及采取保墒措施的必要性, 说明在半干旱区这是一个十分有意义的课题, 值得重视。

### 3 讨论

由于黄土高原农林发展一直受到水资源的制约, 所以多年来土壤水分一直是黄土高原半干旱区农林业研究的重点和热点。以李玉山、杨文治两位先生为代表的研究成果充分证明, 黄土高原特别是半干旱区的人工林和人工草地普遍存在大于 200 cm 深度的干层, 也称为永久性干层。众多学者在黄土高原对多种林地和草地不同立地、不同年龄、不同利用方式下的土壤干化特征及机理有多项研究成果<sup>[16-17,25-28]</sup>。多年研究一致认为当地土壤永久性干层是一个严重的土壤水文生态问题<sup>[30-32]</sup>。为了缓解土壤干化造成的林木和牧草生长不良现象, 提高生产效率, 人们生产中采取了以膜覆盖为主的多种保墒措施及相关研究。以覆盖为主的保墒措施对当地农业和林业发展起到显著作用, 但是长期以来人们忽略作物休眠期的土壤保墒环节, 通常覆膜与作物种植结合, 甚至只在春季种植时进行覆膜, 待作物出苗后就极少重视采取覆盖措施。本研究发现枣林地在全年中休眠期是土壤水分

损失最大的阶段, 由此建议在半干旱区要注重休眠期覆盖保墒问题, 特别是在无灌溉的旱作农业中采用全年覆盖值得今后探索, 也是旱作农业的一个新的重要课题。

已有研究证明, 半干旱黄土区的人工林地随着林龄的增加其林地土壤干层也在加深, 多在 10 m, 甚至超过 20 m 深度<sup>[16-17,33-34]</sup>。从枣林地土壤连续 3 年土壤水分观测数据情况看, 当年降雨入渗影响深度和地表蒸发土壤水分损失的深度比较一致, 基本在 0~200 cm 深度范围。0~200 cm 深度范围我们称之为易恢复层, 也就是说 200 cm 深度以下的干层依靠当年降雨入渗很难到达, 人们常称之为永久性干层, 对于 200 cm 以下的土壤干层恢复有很多人较为悲观, 认为很难恢复或需要很久年限<sup>[16-17]</sup>。本研究试验证明在枣树休眠期覆盖措施不仅可以明显提高 0~200 cm 土层的储水量, 显著减少土壤水分的损失量, 而且覆盖处理条件下的土壤水分恢复深度超过 200 cm, 这个现象说明在全年覆盖下土壤干层的修复速度可能超出以往人们的判断。林地土壤水分的恢复有人研究, 但是关于如何加速土壤水分修复的研究十分薄弱, 这仍然是我们今后值得重视的课题。

枣林休眠期秸秆覆盖、地膜覆盖和石子覆盖下的土壤有效储水量分别为 107.95、142.82、131.01 mm, 是对照裸地的 1.52 倍、2.00 倍和 1.84 倍。从有效水量来看不是很多, 但是作为当地旱作枣林生长春季发芽及后期产量起着关键作用, 另有研究证明春季土壤含水量对来年枣树生长发育具有十分重要的意义, 由此, 我们认为冬季覆盖可以作为旱作农业解决春季雨水不足和抗击春季干旱问题的一条重要途径。

### 4 结论

1) 休眠期是枣林地土壤水分减少的重要阶段, 土壤水分损失严重, 无覆盖枣林地土壤水分损失量为 85.64~92.34 mm, 是同期降雨量的 2.12 倍。

2) 0~200 cm 土层是枣林地土壤水分的易损失层和易恢复层, 200 cm 以下土层是土壤水分难恢复层。实施休眠期覆盖措施不但可以明显提高 0~200 cm 土层土壤储水量, 而且有利于 200 cm 以下深度土壤干层的恢复。

3) 休眠期 0~200 cm 土层秸秆覆盖、地膜覆盖和石子覆盖土壤水分总损失量分别较裸地减少 38.32、50.56、40.48 mm。地膜覆盖保墒效果最好。

#### [参 考 文 献]

- [1] 魏新光, 聂真义, 刘守阳. 黄土丘陵区枣林土壤水分动态及其对蒸腾的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 130-140. Wei Xinguang, Nie Zhenyi, Liu Shouyang. Soil moisture characteristics and its influence on Jujube tree transpiration in Loess hilly region[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(6): 130-140. (in Chinese with English abstract)
- [2] 朱炜歆, 牛俊杰, 刘庚, 等. 植被类型对生长季黄土区土壤含水量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1): 152-156.

- Zhu weixin, Niu Junjie, Liu Geng, et al. The influence of vegetation types on the soil moistures during growing season in Loess area[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(1): 152—156. (in Chinese with English abstract)
- [3] 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等. 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析[J]. *生态学报*, 2013, 33(3): 907—915.  
Zhang Linlin, Wang Youke, Han Lixin, et al. Water consumption of pear jujube trees (*Ziziphus jujuba* Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 907—915. (in Chinese with English abstract)
- [4] 蔡进军, 张源润, 潘占兵, 等. 宁夏黄土丘陵区苜蓿土壤水分的时空变异特征[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1): 1—6.  
Cai Jinjun, Zhang Yuanrun, Pan Zhanbing, et al. The characteristics of spatiotemporal variability of soil water of Alfalfa fields in Hilly and Gully Loess regional of Ningxia[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(1): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [5] 韩立新, 汪有科, 张琳琳. 萌芽开花期梨枣对土壤水势的响应[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(4): 454—458.  
Han Lixin, Wang Youke, Zhang Linlin. Response of pear-jujube to different soil water potentials during budding and flowering stages[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(4): 454—458. (in Chinese with English abstract)
- [6] 吴普特, 汪有科, 辛小桂, 等. 陕北山地红枣集雨微灌技术集成与示范[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(4): 1—7.  
Wu Pute, Wang Youke, Xin Xiaogui, et al. Maize yield-increasing mechanism of supplemental irrigation with harvested rainwater in semi-arid areas of the Loess Plateau[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(4): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [7] 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.  
Lin Jun, Wang Youke, Wei Xindong, et al. Water impounding characteristics of bamboo-shaped rainwater harvesting ditch in the hilly loess region[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(12): 3373—3380. (in Chinese with English abstract)
- [8] 史文娟, 马媛, 徐飞, 等. 不同微尺度膜下滴灌棉田土壤水盐空间变异特性[J]. *水科学进展*, 2014, 25(4): 585—593.  
Shi Wenjuan, Ma Yuan, Xu Fei, et al. Spatial variability of soil moisture and salt content in cotton field on microscales under mulch drip irrigation[J]. *Advances in Water Science*, 2014, 25(4): 585—593. (in Chinese with English abstract)
- [9] 吴普特, 朱德兰, 汪有科. 涌泉根灌技术研究与应用[J]. *排灌机械工程学报*, 2010, 28(4): 354—358.  
Wu Pute, Zhu Delan, Wang Youke. Research and application of bubbled-root irrigation[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2010, 28(4): 354—358. (in Chinese with English abstract)
- [10] 魏新光, 陈滇豫, 刘守阳, 等. 修剪对黄土丘陵区枣树蒸腾的调控作用[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(12): 194—202.  
Wei Xinguang, Chen Dianyu, Liu Shouyang, et al. Effect of trim on jujube transpiration in loess hilly region[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(12): 194—202. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王金锋, 张林森, 张永旺, 等. 地布覆盖对渭北旱塬苹果园土壤水热效应及产量品质的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34(1): 75—84.  
Wang Jinfeng, Zhang Linsen, Zhang Yongwang, et al. Effects of ground cloth mulching on soil water, temperature, yield and quality in apple orchard in Weibei plateau[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2015, 34(1): 75—84. (in Chinese with English abstract)
- [12] 汪星, 周玉红, 汪有科, 等. 黄土高原半干旱区山地密植枣林土壤水分特性研究[J]. *水利学报*, 2015, 46(3): 263—270.  
Wang Xing, Zhou Yuhong, Wang Youke, et al. Soil water characteristic of a dense jujube plantation in the semi-arid hilly Regions of the Loess Plateau in China[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2015, 46(3): 263—270. (in Chinese with English abstract)
- [13] 白一茹. 黄土丘陵区枣林土壤性质时空特征研究[D]. 杨凌, 西北农林科技大学, 2012.  
Bai Yiru. Study on Spatial Variability and Temporal Stability of Soil Properties on Jujube Tree in Hilly and Gully Area of the Loess Plateau[D]. Yang Ling, Northwest A&F university, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [14] Liu Y, Gao M S, Wu W, et al. The effects of conservation tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau, China[J]. *Soil and Tillage Research*, 2013, 130: 7—12.
- [15] 吴普特, 冯浩. 中国节水农业发展战略初探[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(6): 152—157.  
Wu Pute, Feng Hao. Discussion of the development strategy of water saving agriculture in China[J]. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 21(6): 152—157. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王志强, 刘宝元, 王旭艳, 等. 黄土丘陵半干旱区人工林迹地土壤水分恢复研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 77—83.  
Wang Zhiqiang, Liu Baoyuan, Wang Xuyan, et al. Soil water restoration of different land use after artificial forest in the semi-arid area of Loess Plateau[J]. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2007, 23(11): 77—83. (in Chinese with English abstract)
- [17] 王力, 邵明安, 张青峰. 陕北黄土高原干层的分别和分异特征[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 436—442.  
Wang Li, Shao Mingan, Zhang Qingfeng. Distribution and characters of soil dry layer in north Shaanxi Loess Plateau[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 436—442. (in Chinese with English abstract)

- [18] 杨文治. 黄土高原土壤水资源与植被造林[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 433—438.  
Yang Wenzhi. Soil water resources and afforestation in Loess plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(5): 433—438. (in Chinese with English abstract)
- [19] 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.  
Chen Hongsong, Shao Mingan, Wang Kelin. Water cycling characteristics of grassland and bare land soils on Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ied Ecology, 2005, 16(10): 1853—1857. (in Chinese with English abstract)
- [20] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰. 黄土高原土壤水分时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 515—519.  
Li Hongjian, Wang Mengben, Chai Baofeng. Spatial and temporal characteristics of soil moisture dynamics in Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ied Ecology, 2003, 14(4): 515—519. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张杰, 任小龙, 罗诗峰, 等. 环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 14—19.  
Zhang Jie, Ren Xiaolong, Luo Shifeng, et al. Influences of different covering materials mulching on soil moisture and corn yield[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(6): 14—19. (in Chinese with English abstract)
- [22] 周玉红, 董建国, 汪有科, 等. 几种典型覆盖下的土壤水分恢复研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(2): 334—339.  
Zhou Yuhong, Dong Jianguo, Wang Youke, et al. Research on soil water recovery ability under different typical mulches[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(2): 334—339. (in Chinese with English abstract)
- [23] 殷涛, 何文清, 严昌荣, 等. 地膜秸秆双覆盖对免耕种植玉米田土壤水热效应的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 78—87.  
Rin Tao, He Wenqing, Yan Changrong, et al. Effects of plastic mulching on surface of no-till straw mulching on soil water and temperature[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(19): 78—87. (in Chinese with English abstract)
- [24] 高飞, 贾志宽, 韩清芳, 等. 秸秆覆盖量对土壤水分利用及春玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 104—112.  
Gao Fei, Jia Zhikuan, Han Qingfang, et al. Effects of straw mulching quantity on soil water use and spring maize yield[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(1): 104—112. (in Chinese with English abstract)
- [25] Yan W, Deng L, Zhong Y, et al. The Characters of Dry Soil Layer on the Loess Plateau in China and Their Influencing Factors[J]. PloS one, 2015, 10(8): e0134902.
- [26] Wan S M, Jia Z K, Han Q F, et al. Dry soil layer forming and soil moisture restoration of alfalfa grassland in the semi-humid region of the Loess Plateau[J]. Acta Ecol. Sin, 2008, 28(3): 1045—1051.
- [27] 陈洪松, 王克林, 邵明安. 黄土区人工林草植被深层土壤干燥化研究进展[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 155—161.  
Chen Hongsong, Wang Kelin, Shao Mingan. A review on the effect of vegetation rehabilitation on the desiccation of deep soil layer on the loess plateau[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(4): 155—161. (in Chinese with English abstract)
- [28] 王力, 邵明安, 侯庆春. 黄土高原土壤干层初步研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2001, 29(4): 34—38.  
Wang Li, Shao Mingan, Hou Qingchun. The primary research on dried soil layer in the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2001, 29(4): 34—38. (in Chinese with English abstract)
- [29] 郭忠升. 黄土丘陵半干旱区土壤水资源利用限度[J]. 应用生态学报, 2010, 21(12): 3029—3035.  
Guo Zhongsheng. Soil water resource use limit in semi-arid loess hilly area[J]. Chinese Journal of Applied Ied Ecology, 2010, 21(12): 3029—3035. (in Chinese with English abstract)
- [30] 樊军, 郝明德, 邵明安. 黄土旱塬农业生态系统土壤深层水分消耗与水分生态环境效应[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 61—64.  
Fan Jun, Hao Mingde, Shao Mingan. Water consumption of deep soil layers and eco-environmental effects of agricultural ecosystem in the Loess plateau[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(1): 61—64. (in Chinese with English abstract)
- [31] 赵景波, 周旗, 侯甬坚. 黄土高原土壤干层对生态环境建设的影响[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2003, 31(4): 93—109.  
Zhao Jingbo, Zhou Qi, Hou Yongjian. Comparison research on demographic character of domestic tourists[J]. Journal of Shaanxi Normal University(Natural Science Edition), 2003, 31(4): 93—109. (in Chinese with English abstract)
- [32] 黄明斌, 杨新民, 李玉山. 黄土高原生物利用型土壤干层的水文生态效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(3): 113—116.  
Huang Mingbin, Yang Xinmin, Li Yushan. Hydro-ecological effect of the soil dry layer as affected by biota use in the Loess plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(3): 113—116. (in Chinese with English abstract)
- [33] 王力, 邵明安, 侯庆春, 等. 延安试区人工刺槐林地的土壤干层分析[J]. 西北植物学报, 2001, 21(1): 101—106.  
Wang Li, Shao Mingan, Hou Qingchun, et al. The analysis to dried soil layer of artificial Robinnia pseudoscacia forestry land in the Yanan Experimental Area[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2001, 21(1): 101—106. (in Chinese with English abstract)
- [34] 王进鑫, 黄宝龙, 罗伟祥. 黄土高原人工林地水分亏缺的补偿与恢复特征[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2395—2401.  
Wang Jinxin, Huang Baolong, Luo Weixiang. Compensation and rehabilitation characteristics of soil water deficit at a planted forest site of the drought-prone Loess Plateau[J]. Acta Ecological Sinica, 2004, 24(11): 2395—2401. (in Chinese with English abstract)

## Effects of typical mulching patterns on soil water loss in jujube land during dormancy period

Jin Shanshan<sup>1</sup>, Wang Xing<sup>1</sup>, Wang Youke<sup>1,2\*</sup>, She Tan<sup>2</sup>

(1. *Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Education, Yangling, Shanxi 712100, China;* 2. *National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Shanxi 712100, China*)

**Abstract:** To promote development of the forestry and alleviate soil water depletion in forest land, a better understanding of the effects of different mulching patterns on soil moisture region, and further seeking reasonable soil conservation measures in loess hilly-gully are paramount important. As the severe soil water depletion existed in forest land in the semiarid area of the Loess Plateau, the soil water contents under 3 different mulching patterns in jujube orchard were measured using a neutron probe (CNC100 DR, ChaoNeng, China) that had been calibrated using standard methods. From March 2012 to October 2015, volumetric soil water content was measured 3 times per month. Measurements were made at the depth increment of 0.1 and 0.2 m in the 0–1 and 1–5 m soil layer, respectively. Meanwhile, the meteorological data were collected from meteorological station near the experimental plots. The objective of this study was to investigate the effects of mulching patterns on soil water loss in jujube orchard during dormancy period. The test plots were located at Yuanzhi Mount in Mizhi County, Shaanxi Province. The test plots were selected in the 11-aged dwarf close planting jujube forest in October 2011. Three level-terraces with similar slope and aspect were established on a hillslope. For each level-terrace, 4 treatments (straw mulching, plastic film mulching, gravel mulching, and bare land) were set to explore the effects of mulching patterns on soil moisture. The plot scale for 4 treatments was 2 m × 3 m and the area for each plot was thus 6 m<sup>2</sup>. The 20 cm wide and 5 m deep ditch all around each plot was excavated for each plot. To isolate the surrounding soil water and root on the test plot, about 1 mm thick plastic was used. There was no irrigation during the experiment. The thickness of the straw mulching was 10–12 cm, while the particle size of gravel mulching was 0.5–1.0 cm with a thickness about 5 cm. In the plastic film mulching treatment plot, the terrain around the trunk of jujube tree was lower than the surrounding soil. Furthermore, 1–2 cm gap between the trunk and the plastic film was maintained to make sure that the ground water could flow into the trunk and infiltrate to the soil. The results indicated that in growth period the soil water was at increasing stage on the whole, while the soil water exhibited a decreasing trend in dormancy period. Hence, dormancy period occupied a dominant role in causing soil water loss in jujube orchard. The soil water loss of bare land ranged from 85.64 to 92.34 mm, which was approximately 2.12 times greater than the rainfall of the corresponding period. The depth of soil water loss could reach 200 cm in local jujube orchard. In the vertical direction of soil profile (0–200 cm), the soil water loss gradually decreased with the soil depth. The soil water loss of straw mulching, plastic film mulching, and gravel mulching was 38.32, 50.56, and 40.48 mm lower than that of bare land, respectively. Therefore, mulching can promote the soil water movement from shallow to deep soil layer.

**Keywords:** soil moisture; drought; mulching; jujube land; dormancy period; soil water