

# 不同地表覆盖对枣树树干液流特征的影响

唐敏<sup>1</sup>, 赵西宁<sup>2,3</sup>, 吴普特<sup>2,3</sup>, 高晓东<sup>2,3</sup>, 黄俊<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;  
3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 为探究不同地表覆盖模式对枣树树干液流特征的影响, 基于不同地表覆盖模拟试验, 应用热扩散探针技术对枣树主要生长季(2013年6月—9月)树干液流进行定位监测, 分析枣树枝全覆盖(WJBM)、枣树枝半覆盖+白三叶生草(JBM+SWC)、白三叶全生草覆盖(WCC)、清耕(CC)4种处理树干液流速率变化规律及其对环境因子的响应。结果表明: 晴天各处理树干液流速率日变化均呈典型“几”字形宽峰曲线; 阴天则均呈多峰波浪曲线, 且变化趋势基本一致。阴天4种处理日均树干液流速率皆低于晴天, 降低量分别为48.45%(WJBM)、41.94%(JBM+SWC)、45.59%(CC)、62.51%(WCC)。同一天气条件下, WJBM和JBM+SWC两处理树干液流速率均居于较高水平, WCC则较低。晴天, WCC与WJBM、JBM+SWC两处理均差异极显著( $P < 0.01$ ), 与CC则差异显著( $P < 0.05$ ), WJBM与CC差异显著( $P < 0.05$ ); 阴天, WCC与WJBM、JBM+SWC均存在显著差异( $P < 0.05$ )。不同地表覆盖下枣树树干液流速率月变化规律基本相似, 各处理均表现为8月份月平均树干液流速率最高, 分别为 $0.0984 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ (WJBM)、 $0.1032 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ (JBM+SWC)、 $0.0723 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ (CC)、 $0.0538 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ (WCC), 9月份则最低。4种处理月平均树干液流速率和0~70 cm土层平均土壤体积含水量整体表现为: WJBM > JBM+SWC > CC > WCC。不同处理枣树蒸腾速率( $T_r$ )均与空气相对湿度(RH)呈负相关, 与光合有效辐射(PAR)、空气温度( $T_{air}$ )、风速( $V_{wind}$ )呈正相关, PAR是影响各处理枣树蒸腾最主要的环境因子。

**关键词:** 地表覆盖; 枣树; 树干液流; 环境因子; 热扩散

中图分类号: S665.1 文献标志码: A

## Effects of different surface mulching on jujube stem sap flow characteristics

TANG Min<sup>1</sup>, ZHAO Xi-ning<sup>2,3</sup>, WU Pu-te<sup>2,3</sup>, GAO Xiao-dong<sup>2,3</sup>, HUANG Jun<sup>1</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
2. Institute of Soil and Water Saving Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
3. Institute of Soil and Water Saving Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of different surface mulching patterns on jujube stem sap flow characteristics, this study was based on different surface mulching simulated experiments, and thermal diffusion probe technology was applied to measure jujube stem sap flow during the main growing season (June 2013 to September). The change rule of stem sap flow velocity, as well as its response to environmental factors, was analyzed in four treatments: whole jujube branches mulching (WJBM), jujube branches mulching + strip white clover cover (JBM + SWC), whole white clover cover (WCC) and clean cultivation (CC). The results indicated that diurnal variation of stem sap flow velocity in each treatment showed a typical broad curve in sunny day; while in cloudy day, it showed a multi-peak wavy curve, and the trends were basically consistent. The daily average stem sap flow velocity of the four treatments in a cloudy day were lower than that in a sunny day, and the reduction percentages were 48.45% (WJBM), 41.94% (JBM + SWC), 45.59% (CC) and 62.51% (WCC), respectively. Under the same weather condition, stem sap flow velocity was at a high level both in WJBM and JBM + SWC, while it was low in WCC. In a sunny day, WCC displayed extremely significant differences with WJBM and JBM + SWC ( $P < 0.01$ ), as well as significant difference with CC ( $P < 0.05$ ); WJBM also had

收稿日期: 2015-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(31172039); 国家科技支撑计划项目(2011BAD29B09)

作者简介: 唐敏(1990—), 女, 陕西安康人, 硕士, 研究方向为农业水土资源管理。E-mail: 1014216882@qq.com。

通信作者: 赵西宁(1976—), 男, 陕西渭南人, 博士, 研究员, 主要从事水土资源高效利用及其效益评价方面的研究。E-mail: xiningz@aliyun.com。

significant difference with CC ( $P < 0.05$ ). In a cloudy day, significant differences existed between WCC, and WJBM and JBM + SWC ( $P < 0.05$ ). The monthly variation of stem sap flow velocity under different surface mulching was basically similar. The monthly average stem sap flow velocity of each treatment reached the highest in August,  $0.0984 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  for WJBM,  $0.1032 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  for JBM + SWC,  $0.0723 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  for CC and  $0.0538 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  for WCC, while they were the lowest in September. For all the four treatments, the monthly average stem sap flow velocity and average soil volumetric water content in the 0 ~ 70 cm soil layer generally followed the order: WJBM > JBM + SWC > CC > WCC. Jujube transpiration velocity ( $T_r$ ) in different treatments was negatively correlated with the air relative humidity (RH), while was positively correlated with photosynthetically active radiation (PAR), air temperature ( $T_{air}$ ) and wind speed ( $V_{wind}$ ). PAR was the dominant environmental factor affecting jujube transpiration for each treatment.

**Keywords:** surface mulching; jujube; sap flow; environmental factors; thermal diffusion

地表覆盖具有蓄水保墒、培肥地力、减少水土流失、调节微域生态系统环境等多项功能,现已成为许多国家和地区广泛采用的土壤管理调控技术之一<sup>[1-3]</sup>。借鉴国外的先进经验,我国于 1998 年将果园地表覆盖引入绿色果品生产体系,并在全国范围内推广,但“清耕制”果园仍占果园总面积的 90% 以上,果园地表覆盖尚处于小面积应用阶段<sup>[4]</sup>。路超等<sup>[5]</sup>在研究山地苹果园覆盖的保水效果及对根际土壤养分的影响时发现,果园覆盖具有明显的保水作用,各时期土壤含水率均表现为泥炭覆盖 > 麦秸覆盖 > 苹果树枝覆盖 > 对照;果园覆盖能增加根际土壤养分含量。郭学军等<sup>[6]</sup>通过研究渭北旱塬地区苹果园内不同覆盖方式对果园土壤水分、养分情况的影响得出如下结论,覆盖措施能够保持土壤水分,改善土壤养分状况,覆黑膜处理时的保水性最稳定,而生草覆盖能够调节土壤水分且显著改善土壤养分状况。蒸腾是维持植物正常生长所必需的生理代谢过程,蒸腾作用可加速根从土壤中吸收的矿物质向上输导,防止因日光照射使叶子温度过高等<sup>[7]</sup>。研究表明,树干上升液流量的 99.8% 以上用于植株蒸腾<sup>[8]</sup>。通过精确测算树干上升的液流量,可以基本确定植株蒸腾耗水量<sup>[9]</sup>。树干液流的潜在能力由树木生物学特性决定<sup>[10]</sup>,树干液流的实际水平由土壤供水决定<sup>[11-12]</sup>,而液流的瞬间变动则由气象因素所决定<sup>[13]</sup>。树干液流主要受太阳辐射、大气温度、大气相对湿度、土壤温度、风速以及其他多个环境因子的影响,但不同学者对不同地区和不同树种得出的研究结果存在一定差异<sup>[14-15]</sup>。马履一等<sup>[16]</sup>通过对油松的研究表明,影响其树干液流的主要环境因子依次是大气温度、太阳辐射和土壤温度,空气湿度对树干液流的影响较小。熊伟等<sup>[17]</sup>对华北落叶松的研究表明,太阳辐射、风速和土壤含水量是影响其茎干液流的主要环境因子。综上所述,目前果园地表覆盖研究主要集中于土壤水分养分效应方面,且

关于树木蒸腾耗水特性及其与环境因子的关系研究多是针对松树、杨树等生态林木,然而地表覆盖引起的土壤水分变化势必会对果树的水分利用产生影响,因此,有必要就不同地表覆盖下果树耗水特征及其对环境因子的响应开展进一步研究。本研究基于不同地表覆盖模拟试验,应用热扩散技术,结合对主要环境因子的同步监测,旨在探究不同地表覆盖模式枣树树干液流特征及其与环境因子的关系,进而为旱作枣园地表覆盖技术模式的广泛应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2013 年 5 月底至 10 月初在陕西杨凌西北农林科技大学旱区节水农业研究院试验基地 ( $34^{\circ}18'N$ ,  $108^{\circ}04'E$ , 海拔 521 m) 进行。该区属于暖温带半湿润季风气候区,年均降水量 637.6 mm。年内降雨分布不均,60% 集中在 7—10 月;年际变化大,丰枯比为 3.0,变异系数为 0.25。年平均气温为  $12.9^{\circ}C$ ,极端最高气温  $42^{\circ}C$ ,极端最低气温  $-19.4^{\circ}C$ ,全年无霜期 221 d。

### 1.2 试验材料

枣树品种为梨枣,于 2009 年 11 月 20 日栽植于试验小区,平均初始高度为 24.5 cm。供试土壤为黄绵土,土壤过 10 mm 筛进行预处理,自然适度风干,含水量约为 5%。土壤填装干密度控制在  $1.35 \sim 1.40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,从土槽底部起,每 10 cm 填装一层,共 7 层,边填装边均匀压实。牧草为白三叶 (*Trifolium repens* L.), 又称白车轴草,于 2011 年 3 月 5 日播种,播种密度为  $15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ;所需枣树枝为枣树剪枝所得,对其进行简单破碎后(长约 5 ~ 8 cm)覆盖,覆盖厚度预设为 10 cm。

### 1.3 试验设计

基于不同地表覆盖模拟试验,试验小区为长 ×

宽 × 高 = 2.0 m × 0.8 m × 0.8 m 的土槽(图 1), 两侧为透明有机玻璃, 槽底布有间距均匀的小孔, 利于土壤中水分自由下渗和保持土壤中空气压力平衡。试验共设 4 个处理: 枣树枝全覆盖(WJBM), 即在试验小区全面覆盖枣树枝; 枣树枝半覆盖 + 白三叶生草(JBM + SWC), 即在小区中部 80 cm 区域(枣树生长区)覆盖枣树枝, 两侧(行间)进行白三叶生草覆盖; 白三叶全生草覆盖(WCC), 即在试验小区全面种植白三叶; 清耕(CC), 即试验期间不做任何覆盖处理, 以作对照。每个处理 3 次重复, 各处理平面布局示意图如图 2 所示。试验期间总共降雨 250 mm。



图 1 试验小区

Fig.1 Experiment plot

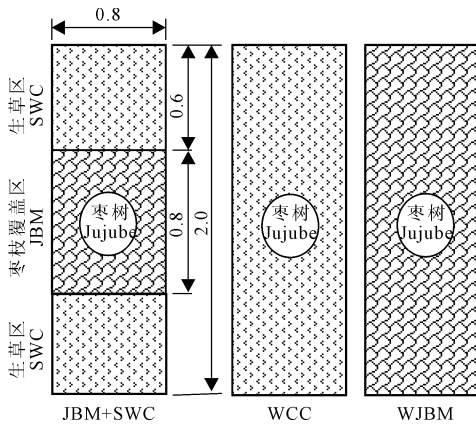


图 2 各处理平面布局示意图/m

Fig.2 Schematic diagram of layout for each treatment

#### 1.4 测定指标

(1) 树干液流监测: 采用型号为 TDP5 的植物液流传感器(北京雨根科技有限公司生产)对枣树树干液流进行连续定位监测。在枣树主干处选择合适的安装点, 探针安装在处于同一水分通道的两个钻孔中, 然后用锡箔纸将传感器探针包裹。数据采集器型号为 RR-1016(北京雨根科技有限公司生产), 采

样间隔为 120 s, 每 10 min 进行平均值计算并储存。树干液流基于 GRANIER<sup>[18-19]</sup>连续热扩散原理进行测定。热扩散探头由两根探针组成, 探针之间的距离为 40 mm, 探针直径为 1.2 mm, 上部探针恒定连续加热, 内含加热元件和热电偶, 加热电阻和电压分别为 45Ω、1.25 V, 下部探针为参考端, 只有热电偶。通过测定两根探针在边材的温差值可以连续测定液流速率变化。通过液流速率对比不同处理的蒸腾耗水能力及液流格局差异。公式<sup>[20]</sup>为:

$$F_d = 118.99 \times 10^{-6} [(\Delta T_{\max} - \Delta T) / \Delta T]^{1.231} \quad (1)$$

式中,  $F_d$  为液流速率, 即单位时间流经单位面积树干的液体体积( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $\Delta T_{\max}$  为无液流时探针的最大温差( $^{\circ}\text{C}$ );  $\Delta T$  为瞬时温差( $^{\circ}\text{C}$ )。

(2) 土壤水分测定: 于枣树生育期 6—9 月各月中旬测定 4 种处理土壤体积含水量, 土壤水分采集位置为上、中、下, 表层 5 cm 土壤含水量采用土壤水分传感器 Hydra-Probe(Stevens Water Monitoring Systems, Inc)测定, 15 ~ 65 cm 土壤含水量采用 CS830 中子仪(南京驰顺科技发展有限公司生产)定位测定, 每 10 cm 一层, 每层测 3 个重复取平均值。为确保数据的可靠性, 用烘干法进行校正。

(3) 土壤温度监测: 分别于各处理枣树树冠投影 2/3 处插入直角地温计, 观测深度为 5、10、15、20、25 cm; 对于枣树枝半覆盖 + 白三叶生草(JBM + SWC)处理, 在枣树枝覆盖区和白三叶生草区分别测定 0 ~ 25 cm 土层温度, 同一深度土层温度取平均值。枣树生育期内, 每 3 天观测 1 次, 观测时间为 08:00、14:00 和 18:00。

(4) 气象因子监测: 气象数据来自试验基地内杨凌国家一般气象站, 每 30 min 记录一次。

#### 1.5 数据处理

土壤水分计算公式:

$$\theta_v = a + b \times (\text{cnt}/\text{std}) \quad (2)$$

式中:  $\theta_v$  为土壤体积含水量(%);  $a$ 、 $b$  分别为标定方程的截距和斜率;  $\text{cnt}$  为中子仪在土壤中测定的原始数据;  $\text{std}$  为中子仪在室内标准条件下的标准计数;  $\text{cnt}/\text{std}$  为计数比。

采用 Matlab 7.11 中的 Savitzky-Golay 方法对试验数据进行平滑处理以减少噪声、去除误差。应用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理及绘图, 采用 SPSS 18.0 软件进行方差分析、相关性分析及回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 枣树树干液流日变化规律

由于枣树在整个生育期内树干液流速率逐日变化数据非常密集,很难直观对其日变化动态特征进行具体分析和比较,基于此,分别从枣树生长关键期(7月)上、中、下旬各选择一个典型晴天和阴天。对各处理在同一天气类型所选日期的相同时刻树干液流速率取平均值,将晴天和阴天2种典型天气枣树树干液流速率计算结果和太阳辐射(SR)数据分别作图(图3和图4)。

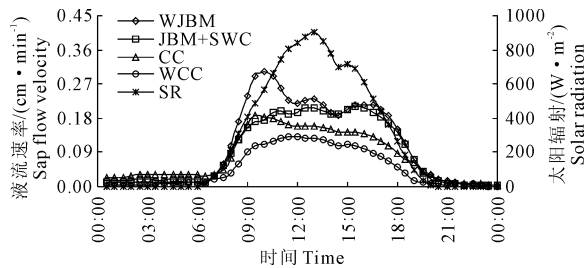


图3 晴天各处理枣树树干液流速率和太阳辐射日变化

Fig.3 Diurnal variations of solar radiation and average jujube stem sap flow velocities in each treatment in sunny days

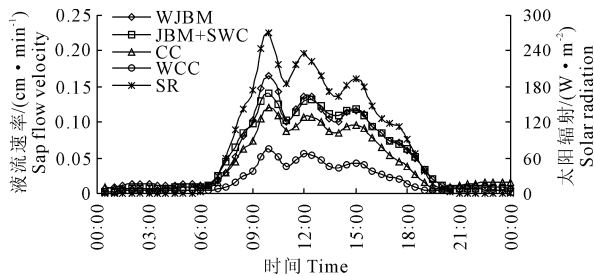


图4 阴天各处理枣树树干液流速率和太阳辐射日变化

Fig.4 Diurnal variations of solar radiation and jujube stem sap flow velocities in each treatment in cloudy days

从图3可看出,晴天各处理枣树树干液流速率日变化均呈典型的“几”字形宽峰曲线。4种处理树干液流启动时间均在06:30—07:00,滞后于太阳辐射约1~1.5 h,然后随着太阳辐射迅速增强,气温逐渐升高,空气相对湿度逐渐降低,各处理树干液流速率均快速上升,于09:30左右到达高峰,之后仍有较小幅度波动,形成多个小峰组成的高峰平台。

由图4可知,阴天各处理枣树树干液流速率日变化曲线波形相似,且与太阳辐射变化基本一致,白天呈多峰曲线,夜间则保持较平稳的趋势。4种处理树干液流均在06:30—07:00开始启动,然后迅速上升,于10:00左右到达峰值,之后随着气象因子变化,各处理树干液流速率整体呈波动下降趋势。

对图3和图4进行对比分析可发现,从树干液流启动时间来看,晴、阴天同一处理相差不大;晴天各处理树干液流速率峰值到达时间普遍早于阴天约50 min,且峰值高于阴天,分别高出21.42% (WJBM)、8.61% (JBM + SWC)、31.57% (CC)、28.42% (WCC);阴天4种处理日均树干液流速率分别为0.0544  $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$  (WJBM)、0.0524  $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$  (JBM + SWC)、0.0427  $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$  (CC)、0.0196  $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$  (WCC),皆低于晴天,分别降低48.45% (WJBM)、41.94% (JBM + SWC)、45.59% (CC)、62.51% (WCC)。晴天各处理树干液流速率迅速下降时间均晚于阴天约3 h,且蒸腾结束时间整体晚于阴天。

无论是晴天还是阴天,各处理枣树树干液流速率日变化曲线均表现出“昼高夜低”的昼夜变化规律。在白天,树干液流速率相对较高,变化幅度较大,受太阳辐射、空气温度、空气相对湿度等环境因素影响较大;在夜间,液流速率则相对稳定,变化平缓,维持在较低水平,这主要是由根压引起的,根压使水分以主动吸收方式进入树木体内,补充白天树木蒸腾失去的大量水分,恢复树木体内的水分平衡。不同天气条件下同一处理夜间树干液流速率相差不大,白天则晴天的树干液流速率高于阴天。对同一处理在晴天和阴天两种天气树干液流速率作方差分析,结果显示:JBM + SWC、CC、WCC 3个处理晴天树干液流速率与阴天存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ), WJBM 存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。其原因主要在于晴天太阳辐射强度高于阴天,且增强速度快,在高水平维持时间长;同时晴天空气温度高于阴天、空气相对湿度低于阴天,致使大气水分饱和亏缺较大。同一天气条件下,各处理夜间树干液流速率相差不大,白天则差异较大。晴天,4种处理树干液流速率大小趋势整体表现为:WJBM > JBM + SWC > CC > WCC;阴天,WJBM、JBM + SWC 两处理树干液流速率差异不明显,均居于较高水平,其次是CC处理,WCC处理则处于较低水平。分别对晴、阴两种天气4种处理进行方差分析,结果显示:晴天和阴天,不同地表覆盖措施分别对枣树树干液流速率产生了极显著 ( $P < 0.01$ ) 和显著 ( $P < 0.05$ ) 影响;晴天,WCC与WJBM、JBM + SWC 两处理均差异极显著 ( $P < 0.01$ ),与CC则差异显著 ( $P < 0.05$ ),WJBM与CC差异显著 ( $P < 0.05$ );阴天,WCC与WJBM、JBM + SWC 均存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 树干液流月变化规律

将各处理枣树在主要生长季6—9月的逐日平均液流速率绘制成日际变化曲线(图5),分析比较不同

地表覆盖措施下枣树树干液流速率的月变化规律。

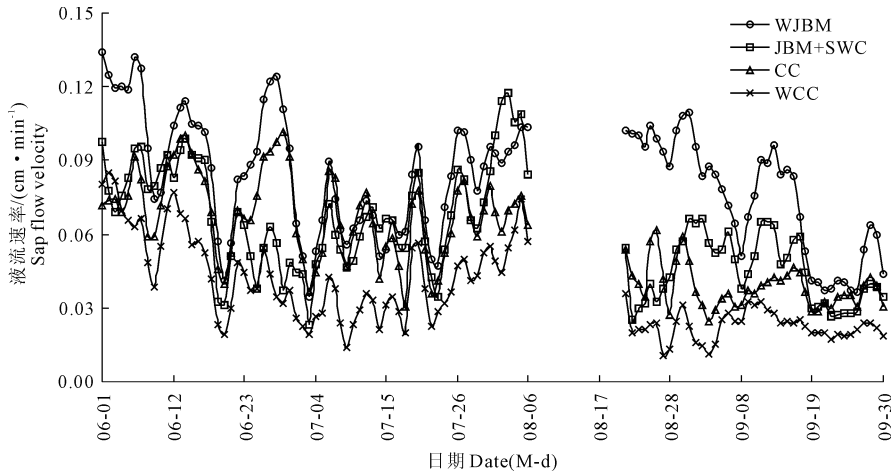


图 5 生长季各处理逐日平均树干液流速率变化

Fig.5 Variations of daily average stem sap flow velocities in each treatment during the growth period

注:8月7日—20日茎流仪出现故障,导致部分采集数据有误,故在上图不显示该时段枣树树干液流速率

Note: The instrument measuring stem sap flow has malfunctioned from August 7 to 20, resulting in part of the collected data appearing error, so jujube stem sap flow velocity in this period of time was not shown in above figures

从图 5 可看出,4 种处理枣树树干液流速率均呈现明显的月变化特征,且变化规律基本相似。6 月份枣树新梢生长较快,且主要处于盛花期,蒸腾耗水较多,树干液流速率较大。由于该月没有降雨,土壤水分一直处于消耗状态,再加之受气象因素的影响,枣树日均树干液流速率呈波动下降趋势。7 月份大气温度较 6 月份有所增加,光照强度增大,枣树主要处于坐果期,耗水量较大,蒸腾较快,且 7 月份共降雨 125 mm,土壤含水量大幅提高,日均树干液流速率整体呈波动上升趋势。8 月份枣树处于果实膨大期,生理生长虽已基本完成,但枣树枝叶繁茂,并且大气温度较高,光照充足,枣树蒸腾能力依然较强,故树干液流速率并未显著降低。之后枣树叶子开始脱落,光照强度减弱,空气温度也随之降低,枣树每天只需少量的水分即可维持自身的生理活动,因此树干液流速率明显下降。

将 6—9 月各处理枣树月平均树干液流速率及 0~70 cm 土层平均土壤含水量进行统计对比,结果如图 6 所示。

由图 6 可知,8 月份 4 种处理枣树月平均树干液流速率整体居于较高水平,分别为  $0.0984 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  (WJBM)、 $0.1032 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  (JBM + SWC)、 $0.0723 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  (CC)、 $0.0538 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  (WCC),而各处理平均土壤含水量相比于 7 月和 9 月则较低,可能是因为 8 月份太阳辐射强度大,光照充足,气温较高,空气相对湿度低,枣树在该时期生理形态达到高峰,且此月白三叶主要处于成熟期,生长茂盛,两

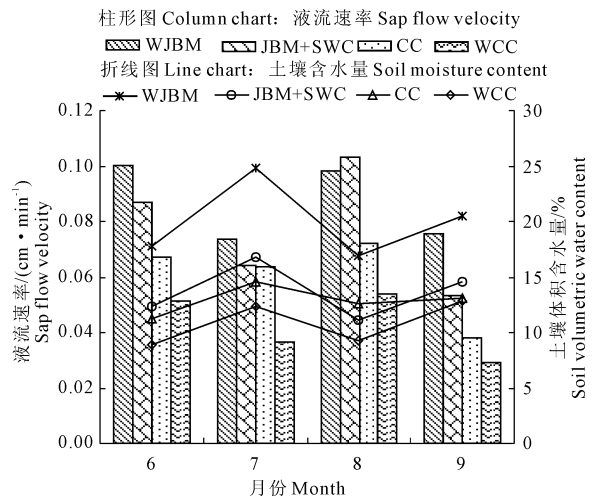


图 6 各处理枣树月平均树干液流速率和 0~70 cm 土层平均土壤体积含水量

Fig.6 Monthly average jujube stem sap flow velocities and average soil volumetric water contents in the 0~70 cm soil layer in each treatment

者蒸腾耗水较多,导致土壤水分消耗较快,土壤含水量较低。9 月份 4 种处理枣树月平均树干液流速率在主要生长季内均最低,相比于 8 月份下降的百分比分别为 23.37% (WJBM)、48.35% (JBM + SWC)、47.16% (CC)、45.72% (WCC),而各处理土壤含水量均高于 6 月和 8 月,原因可能是 9 月份枣树进入果实成熟期,且后期开始落叶,9 月下旬白三叶进入枯黄期,两者只需消耗少量的水分,使得土壤中余留的水分有所增加。在枣树主要生育期 6—9 月,4 种处

理月平均树干液流速率大小次序整体表现为:WJBM > JBM + SWC > CC > WCC,各处理平均土壤含水量也表现出相同趋势。对 4 种处理枣树月平均树干液流速率进行方差分析,结果显示:不同地表覆盖对树干液流速率影响极显著 ( $P < 0.01$ );WCC 与 WJBM、JBM + SWC 两处理均存在极显著差异 ( $P < 0.01$ ),与 CC 则存在显著差异 ( $P < 0.05$ );CC 与 WJBM、JBM + SWC 差异分别达到极显著 ( $P < 0.01$ )、显著 ( $P < 0.05$ ) 水平。

### 2.3 树干液流与环境因子的关系

对 4 种处理 6—9 月枣树逐日平均树干液流速率 ( $F_d$ ) 与空气温度 ( $T_{air}$ )、空气相对湿度 (RH)、风速 ( $V_{wind}$ )、光合有效辐射 (PAR) 以及 5 ~ 25 cm 土层平均温度 ( $T_{soil}$ ) 5 个环境因子做 Pearson 相关分析,考虑到各环境因子之间可能存在一定相关关系,采用逐步回归方法,以 0.05 和 0.1 的可靠性作为因变量的入选和剔除临界值,对所测定的树干液流速率与上述环境因子进行多元线性逐步回归分析,相关分析结果及回归方程分别如表 1、表 2 所示。

表 1 各处理枣树树干液流速率与相应环境因子的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of the jujube stem sap flow velocity and the corresponding environmental factors in each treatment

| 处理<br>Treatments | $T_{air}$ | RH       | $V_{wind}$ | PAR     | $T_{soil}$ |
|------------------|-----------|----------|------------|---------|------------|
| WJBM             | 0.512*    | -0.667** | 0.439*     | 0.872** | -0.200     |
| JBM + SWC        | 0.415     | -0.269   | 0.390      | 0.779** | 0.108      |
| CC               | 0.643**   | -0.729** | 0.658**    | 0.911** | 0.001      |
| WCC              | 0.380     | -0.597** | 0.339      | 0.862** | 0.017      |

注: \* 和 \*\* 分别表示  $P$  在  $< 0.05$  和  $< 0.01$  水平上显著相关。

Note: \* and \*\* denote correlation significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

表 2 各处理枣树树干液流速率与主要环境因子的回归模型

Table 2 Regression models of the jujube stem sap flow rate and the main environmental factors in each treatment

| 处理<br>Treatments | 回归模型<br>Regression model  | $R^2$ | Sig.  |
|------------------|---|-------|-------|
| WJBM             | $F_d = 1.303 \times 10^{-2} + 1.979 \times 10^{-4} PAR$                                 | 0.761 | 0.000 |
| JBM + SWC        | $F_d = -8.275 \times 10^{-2} + 1.105 \times 10^{-3} RH + 1.917 \times 10^{-4} PAR$      | 0.733 | 0.009 |
| CC               | $F_d = 4.469 \times 10^{-3} + 1.257 \times 10^{-2} V_{wind} + 1.262 \times 10^{-4} PAR$ | 0.907 | 0.001 |
| WCC              | $F_d = -4.461 \times 10^{-3} + 1.214 \times 10^{-4} PAR$                                | 0.742 | 0.000 |

由表 1 可知,不同地表覆盖模式枣树树干液流

对环境因子的响应存在一定差异,这主要是由于不同地表覆盖措施引起相应试验小区土壤水分、温度存在差异以及枣树个体之间生理形态特征互异等原因所导致。6—9 月 4 种处理树干液流速率与 RH 均呈负相关,与  $T_{air}$ 、 $V_{wind}$ 、PAR 3 个气象因子均呈正相关,与  $T_{soil}$  相关性不显著。根据相关系数大小进行分析,PAR 与各处理树干液流速率的相关性均为最大,且存在极显著 ( $P < 0.01$ ) 相关关系,可见无论地表覆盖状况如何,PAR 是枣树蒸腾最主要的驱动因子; $T_{soil}$  与 4 种处理树干液流速率的相关性较差,且影响不显著。从表 2 可看出,四个回归模型中均有太阳辐射因子,且决定系数  $R^2$  较高,线性回归拟合效果较好,均通过显著性检验,能较好揭示树干液流与主要环境因子的变化特征。

### 3 结论与讨论

本研究中枣树枝全覆盖处理 (WJBM) 枣树树干液流速率始终居于较高水平,且与白三叶全生草覆盖 (WCC) 和清耕 (CC) 两处理差异显著 ( $P < 0.05$ ),该处理 0 ~ 70 cm 土层平均土壤含水量整体高于其它处理,从而表明枣树枝全覆盖具有良好的保墒效果,可有效抑制土面蒸发,从蒸发中夺取水量,相应地增加“土壤水库”的贮水量,促使更多水分转化为枣树的有效蒸腾,提高土壤水的有效利用率,这与吴佳等<sup>[21]</sup>在研究地面覆盖对花椒林生理生态效应的影响时得出的“相比于清耕对照,地面覆盖秸秆可提高花椒叶蒸腾速率”这一结论相一致。研究表明,秸秆覆盖使地表形成一个虚拟的深松蓄水层,提高了土壤的入渗性能<sup>[22]</sup>。本研究利用枣树矮化修剪后的树枝进行覆盖,不仅具有秸秆覆盖的效果,而且节省覆盖材料、减少运输成本并降低施工难度,同时又实现了蓄水保墒和促进枣树蒸腾的双重目标,对于“清耕制”枣园雨水资源高效利用具有一定的参考应用价值。

白三叶全生草覆盖处理 (WCC) 枣树树干液流速率一直处于较低水平,且与其它 3 种处理均存在显著差异 ( $P < 0.05$ ),6—9 月,该处理平均土壤体积含水量均低于其它处理,其原因可能在于,白三叶虽然密集覆盖地表,能够很大程度降低土壤蒸发,但是由于其生长繁茂,自身的蒸腾耗水量已高于其抑制的土壤蒸发量,因此相对于清耕 (CC),全园种植白三叶反而降低了土壤含水量,并与枣树存在竞争水分效应,不利于枣树蒸腾,这与 Hernandez 等<sup>[23]</sup>、李国怀等<sup>[24]</sup>研究所得结论——“果园生草可以增加土壤水分含量”不相符,究其原因,模拟试验小区水分环

境条件与国外发达国家及中国南方果园生草的水分环境条件存在很大差异,生草保水效果也有较大差异。李会科等<sup>[4]</sup>研究指出,在降雨量较小的地区生草不利于土壤保水,与果树存在明显的水分竞争。国外发达国家果园一般均能灌溉或者当地降水较多,中国南方果园降水较为丰沛,年平均降水量在 800 mm 以上,因此果园生草生态适宜性问题是旱作枣园推广中值得重视的问题,在全年降水量较低的旱作枣园土壤管理中应慎用生草制。

本试验探究不同地表覆盖下枣树树干液流对环境因子的响应所得结果,与张义等<sup>[25]</sup>在研究地表覆盖及生理生态因子对苹果树光合特性的影响时所得结果基本一致,即光合有效辐射是植物进行蒸腾作用的主要驱动力之一,与蒸腾速率呈极显著的相关关系,蒸腾速率与气温之间有正相关关系。张俊等<sup>[26]</sup>在进行清耕、覆草措施下枣树树干液流、叶水势规律的研究时发现,在枣树整个生长季内空气温度和太阳总辐射对两种处理枣树树干液流影响最大,与本文研究结果存在一定差异,这可能与试验地的地理位置、树龄以及试验控制条件等有关。枣树的树干液流速率受到多种外界环境因子的共同影响,想要深入了解各环境因子对枣树树干液流的影响,就必须根据控光、控温以及交叉作用试验对各环境因子的依赖关系作系统分析,找出各因子对枣树树干液流影响的确切数量关系。

#### 参考文献:

[1] Hadrian F C, Gerardo S B V, Howard C L. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under Zea mays L. [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 91: 227-235.

[2] Stigter C J. Mulching as a traditional method of microclimate management [J]. Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology Series B, 1984, 35: 147-154.

[3] 张亚丽,李怀恩,张兴昌,等.牧草覆盖对坡面土壤矿质氮素流失的影响[J].应用生态学报,2006,17(12):2297-2301.

[4] 李会科,赵政阳,张广军.果园生草的理论与实践——以黄土高原南部苹果园生草实践为例[J].草业科学,2005,22(8):32-36.

[5] 路超,李絮花,董静,等.渗灌条件下果园覆盖的保水效果及对根际土壤养分和微生物特性的影响[J].水土保持学报,2013,27(6):134-139,146.

[6] 郭学军,韩张雄,马锋旺.不同覆盖方式对苹果园土壤状况及果树生长与果实的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学

版),2013,41(9):112-118.

[7] 周翠鸣,赵平,倪广艳,等.广州地区荷木夜间树干液流补水的影响因子及其对蒸腾的贡献[J].应用生态学报,2012,23(7):2297-2301.

[8] 王沙生,高荣孚,吴贯中.植物生理学[M].北京:中国林业出版社,1991.

[9] 张小由,康尔泗,张智慧,等.黑河下游天然胡杨树树干液流特征的试验研究[J].冰川冻土,2005,27(5):742-746.

[10] 孙慧珍,周晓峰,康绍忠.应用热技术研究树干液流进展[J].应用生态学报,2004,15(6):1074-1078.

[11] 奚如春,马履一,王瑞辉,等.林木耗水调控机理研究进展[J].生态学杂志,2006,25(6):692-697.

[12] 马玲,赵平,饶兴权,等.马占相思树干液流特征及其与环境因子的关系[J].生态学报,2005,25(9):2145-2151.

[13] 徐军亮.京西山区油松、侧柏单木耗水环境影响因子评价与模拟[D].北京:北京林业大学,2006.

[14] 周海光,刘广全,焦醒,等.黄土高原水蚀风蚀复合区几种树木蒸腾耗水特性[J].生态学报,2008,28(9):4568-4574.

[15] 于占辉,陈云明,杜盛.黄土高原半干旱区人工林刺槐展叶期树干液流动态分析[J].林业科学,2009,45(4):53-59.

[16] 马履一,王华田.油松边材液流时空变化及其影响因子研究[J].北京林业大学学报,2002,24(3):23-27.

[17] 熊伟,王彦辉,于澎涛,等.华北落叶松树干液流的个体差异和林分蒸腾估计的尺度上推[J].林业科学,2008,44(1):34-40.

[18] Granier A. A new method of sap flow measurement in tree stems [J]. Ann. Sci. For., 1985, 42(2):193-200.

[19] Granier A. Sap flow measurements in Douglas-fir tree trunks by means of a new thermal method [J]. Ann. Sci. For., 1987, 44(1):1-14.

[20] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements [J]. Tree Physiology, 1987, 3(4):309-320.

[21] 吴佳,孙丙寅,王敏.地面覆盖对花椒林生理生态效应的影响[J].西北林学院学报,2005,20(4):27-30.

[22] 雷金银,吴发启,王健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,19(11):2400-2407.

[23] Hernandez A J, Lacasta C, Pastor J. Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard [J]. Agricultural Water Management, 2005, 77:232-248.

[24] 李国怀,伊华林.生草栽培对柑橘园土壤水分与有效养分及果实产量、品质的影响[J].中国生态农业学报,2005,13(2):161-163.

[25] 张义,谢永生,郝明德,等.地表覆盖及生理生态因子对苹果树光合特性的影响[J].水土保持通报,2010,30(1):125-130.

[26] 张俊.清耕、覆草措施下枣树树干液流、叶水势规律的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.