

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201508020

李宏, 黎欢, 裴东, 等. 开花期枣树茎流与气象因子的关系 [J]. 广西植物, 2016, 36(10):1198-1204

LI H, LI H, PEI D, et al. Relationship between stem flow of flowering jujube and meteorological factors [J]. *Guihaia*, 2016, 36(10):1198-1204

## 开花期枣树茎流与气象因子的关系

李宏<sup>1\*</sup>, 黎欢<sup>2</sup>, 裴东<sup>3</sup>, 程平<sup>1</sup>, 刘帮<sup>4</sup>, 张志刚<sup>4</sup>, 孙明森<sup>4</sup>, 李长城<sup>4</sup>

(1. 新疆林业科学院, 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆林业厅 政治部, 乌鲁木齐 830000; 3. 中国林业科学院, 北京 100091; 4. 新疆农业大学 林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 阿克苏地区农田灌溉水资源利用率相对较低, 大多采用漫灌为主、滴灌为辅, 加上环境干旱、水资源紧缺已成为制约当地红枣种植业发展的主要因素, 因此迫切需要寻找新型节水灌溉方法。该研究采用美国 Dynamax 公司生产的 Flow-32 包裹式茎流计对茎流速率进行连续监测, 并在样地内安装 HOBO 小气候仪同步获取气象数据, 将所得数据进行对比分析, 探讨了不同灌溉方式下枣树茎流速率的变化规律以及与气象因子之间的关系。结果表明: 两种灌溉方式下茎流连日变化呈现明显的昼夜变化规律, 茎流速率均为单峰曲线且夜间茎流活动现象明显, 早晨茎流启动时间 W1 早于 W2 0.5 h, 峰值前后 W1 和 W2 枣树茎流均出现较小幅度的“峰值群”, W1 和 W2 峰值出现时间分别为 13:30-14:30 和 13:00-14:30, 峰值大小分别为 2 133.33~2 724.93 g·h<sup>-1</sup> 和 2 234.11~2 689.40 g·h<sup>-1</sup>; 茎流日累积量变化过程曲线均为“S”形, 但 W1 日茎流总量大于 W2; 茎流速率变化曲线均与太阳辐射和温度呈现正相关, 与空气湿度呈现负相关, 与风速相关性较差; 太阳辐射表观波形变化趋势与两种灌溉方式下茎流变化曲线均存在异同, 启动时间早于 W1 约 0.5 h, W2 约 1 h, 但峰值出现时间却晚于 W1 和 W2。通过相关分析, 太阳辐射均为主要影响因子, 建立两种灌溉方式下液流速率与气象因子的多元线性模型, 经过回归系数和相关系数检验, W1 和 W2 多元线性回归方程均达到了显著水平。该研究结果为新型灌溉方式 W1 的实用性和优越性提供了科学依据。

**关键词:** 阿克苏地区, 枣树, 茎流速率, 开花期, 气象因素

中图分类号: Q948.11 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)10-1198-08

## Relationship between stem flow of flowering jujube and meteorological factors

LI Hong<sup>1\*</sup>, LI Huan<sup>2</sup>, PEI Dong<sup>3</sup>, CHENG Ping<sup>1</sup>, LIU Bang<sup>4</sup>,  
ZHANG Zhi-Gang<sup>4</sup>, SUN Ming-Sen<sup>4</sup>, LI Chang-Cheng<sup>4</sup>

(1. *Xinjiang Academy of Forestry Sciences*, Urumqi 830000, China; 2. *Xinjiang Forestry Department*, Urumqi 830000, China; 3. *Chinese Academy of Forestry Sciences*, Beijing 100091, China; 4. *Forestry and Horticulture College, Xinjiang Agricultural University*, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** Aksu area of irrigation water resources use rate is relatively low, the irrigation, drip irrigation, and arid environment and water resource shortage have become the main factors of constraining local jujube planting industry development, therefore, it is urgent to find new water-saving irrigation method. We studied the relationship between jujube stem flow variation by different irrigation methods and meteorological factors, continuously monitored stem flow rate with Flow-32 packaged stem sap flow gauge produced by Dynamax company. The results showed that the change of stem linter

收稿日期: 2015-10-14 修回日期: 2016-01-12

基金项目: 中央级林业公益性行业科研专项(201304701-2) [Supported by Forestry Industry Research Special Funds for Public Welfare Projects (201304701-2)].

作者简介: 李宏, 研究员, 博士生导师, 主要从事森林培育方面的研究工作, (E-mail) hong1962@126.com。

\* 通讯作者

under two kinds of irrigation methods presenting the obvious diurnal variation law of stem flow rate were unimodal curve and stem flow activities at night phenomenon was obvious. Stem flow morning starting time of was 0.5 h earlier than that of W2, W1 and W2 jujube stem flow were small amplitude “peak population” before and after the peak, W1 and W2 peak time were respectively 13:30–14:30 and 13:00–14:30, peak value were 2 133.33–2 724.93  $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  and 2234.11–2 689.40  $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ . Stem flow daily cumulative quantity change process curve were “S” shape, but W1, stem flow was greater than the total W2; Stem flow rate variation curves of solar radiation and temperature showed a positive correlation, a negative correlation with air humidity, poor correlation with wind speed; The apparent wave solar radiation trends under two irrigation methods and stem the flow curves presented similarities and differences, the start time was 0.5 h earlier than that of W1, 1 h earlier than that of W2, but the peak time was later than W1 and W2. Through correlation analysis, we deduced that the solar radiation main influencing factors, and set up two kinds of irrigation mode flow rate and meteorological factors of multivariate linear model, through the regression coefficient and correlation coefficient test, W1 and W2 multiple linear regression equation reached the significant level. This study provides scientific information for the practicality and superiority of new irrigation method W1.

**Key words:** Aksu, jujube, stem flow rate, flowering, meteorological factors

近年来随着枣树在新疆的广泛种植,枣树已经成为新疆的主要经济树种之一,截至2013年,全疆种植面积已经达到47.37万 $\text{hm}^2$ (周丽,2014)。阿克苏地区的光热资源充沛,气候生产潜力高,现已成为枣树的主要栽植区域,栽植面积占全疆的1/3,红枣种植业已成为当地经济发展的支柱产业,但由于该地区农田灌溉多采用漫灌为主、滴灌为辅,农田灌溉中水资源利用率相对较低,水资源紧缺已是制约当地红枣种植业发展的主要因素(张亚新等,2009;史册等,2012)。因此,加大对该地区枣树节水灌溉技术的应用和研究,寻找更高效的节水灌溉方式意义重大。

植物耗水的重要途径是蒸腾作用,而植物茎流是指蒸腾作用引起的木质部内向上的液流,因此研究植物茎流可以很好地反映植物蒸腾作用。植物茎干茎流大小除与自身生物学特性有关外,与气象因子也关系密切。赵春彦等(2014)的研究表明胡杨(*Populus euphratica*)日间液流速率主要受到土壤含水量、水汽压差、光合有效辐射、相对湿度和气温的影响;张利刚等(2013)的研究表明影响3种植物茎干液流速率的气象因子分别是太阳辐射>相对湿度>空气水汽压差>气温。除王文明等(2014)和刘帮等(2015)对红枣茎流方面进行研究外,有关枣树茎流方面的研究相对较少,而研究两种不同灌溉方式下枣树的茎流变化更是少见。

国内外测定作物蒸腾量一般采用叶室法、快速称重法、伤流法、大型蒸渗仪法以及盆栽试验等,但这些方法不仅操作复杂、很难持续观测植株蒸腾量变化,而且改变了农田小气候及作物生长发育情况,

代表性差。随着茎流计的发明和改进,目前国内外测定植物蒸腾耗水较为先进的方法主要是采用基于热技术法的茎流计,而包裹式茎流计就是经过Sakuratani、Baker和Steinberg等学者的改进与完善,在此基础上发展而来(龙秋波等,2012;岳广阳等,2006)。通过测量树液流动时产生的热量变化,从而确定植物茎流和植物水分消耗,此方法不仅可以实时测量(s、min或h等)植物茎流变化,直接得到蒸腾读数,而且不改变农田小气候,对植物本身无伤害。本研究的灌溉方式为井式灌溉(W1)(李宏,2013)和地表滴灌(W2)。采用目前国内外测定植物茎流最先进的方法,基于热技术(郭树江等,2011;徐先英等,2008)发明而来的包裹式茎流计,对枣树茎流进行测定,并结合样地内HOBO小气候仪同步获取的气象数据作对比分析,研究在不同灌溉处理下枣树茎流速率与气象因素之间的关系,为枣树精准节水灌溉提供一定的理论依据,进而为新式灌溉方法——井式灌溉(W1)的实用性和优越性提供一定的理论基础。

## 1 试验地概况与研究方法

### 1.1 试验地概况

试验于2014年4–11月在位于新疆阿克苏地区温宿县境内新疆林科院佳木试验站内(地理位置为 $80^{\circ}32' \text{E}$ ,  $41^{\circ}15' \text{N}$ )进行。试验区域位于314国道旁,属于典型的温带大陆性干旱气候,四季分明,昼夜温差大,春季升温快而不稳,常有倒春寒现象发生,夏季炎热而干燥,受对流天气影响易造成冰雹、

暴雨频发,秋季短暂而降温迅速,干旱少雨,光照充足,空气干燥;年日照时数 2 747 h,年均总辐射量 6 000 MJ/m<sup>2</sup>,平均海拔 1 103 m;年降水量 42.4~94 mm,年潜在蒸发量 2 956.3mm,浅层地下水位 3.3 m;年均气温为 10.1 ℃,极端最高气温为 38.1 ℃ (1997.7.20),极端最低气温为 -27.0 ℃ (1977.1.30),≥10 ℃ 积温 2 916.8~3 198.6 ℃,无霜期 195 d;样地土壤类型为砂壤土,土壤砂粒含量为 81.32% (0.02~2 mm),粉粒含量为 5.76% (0.002~0.02 mm),粘粒含量为 12.92% (<0.002 mm)。试验地土壤理化性质参数见表 1。

表 1 试验地土壤的主要理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of test soil

深度 Depth (cm)	土壤 质地 Soil texture	容重 Volume weight of soil (g· cm <sup>-3</sup> )	最大 持水量 Maximum field capacity (%)	有机质 含量 Organic matter content (g·kg <sup>-1</sup> )	全 N 含量 Total nitrogen (g·kg <sup>-1</sup> )	pH
0~20	壤土 Loam	1.606 7	19.7	2.25	0.672	8.67
20~40	砂土 Sandy soil	1.401 3	24.7	0.76	0.553	8.69
40~60	红粘土 Red clay	1.609 3	27.3	0.67	0.355	8.70
60~80	砂土 Sandy soil	1.462 0	24.4	0.34	0.622	8.78

表 2 试验地样树的主要参数

Table 2 Main parameters of the test to sample trees

灌溉方式 Irrigation method	样株号 Sample tree number	地径 Ground diameter (cm)	株高 Height (m)	东西 冠幅 From east to west (m)	南北 冠幅 From south to north (m)	包裹 传感器 直径 Diameter (cm)
井式灌溉 Pit irrigation	1	9.15	3.12	2.08	2.63	9.08
	2	9.17	2.97	2.14	3.10	9.07
	3	8.94	3.15	2.16	3.08	8.91
滴灌 Drip irrigation	1	8.99	3.05	2.14	2.39	8.83
	2	9.25	3.12	2.25	2.26	9.11
	3	9.02	2.98	2.18	2.18	8.95

## 1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 根据现实条件,在 9~10 年生的枣树生产园中选取两块立地条件一致面积均为 20 m × 20 m 的试验样地,红枣种类为灰枣 (*Zizyphus*

*jujuba*),株行距 2 m×4 m, 树体结构为疏散分层型,在每个样地内各选择 3 株主干通直,生长健康且符合包裹式茎流计传感器规格的枣树[地径(9 ± 0.30) cm],作为试验对象。试验样树参数详见表 2。样地灌溉方式分别采取新型林木节水方法——林木井式节水灌溉方法(简称“井式灌溉”)(李宏,2013;李宏,2012)W1 和地表滴灌 W2,根据前期对红枣中龄期根系分布区情况(杨婵婵等,2013)以及地表滴灌条件下滴头流量对土壤水分入渗过程的影响(张志刚等,2014),W1 每次灌水量每棵为 120 L, W2 每棵为 144 L。样地内安装 Decagon 公司生产的 ECH20 土壤水分传感器对土壤的体积含水量进行观测,当土壤体积含水量下降 12%~15%(田间持水量 60%)时进行下一次灌水。为防止样地外其他作物灌溉对其影响,在样地四周挖 2 m 的深沟,用塑料薄膜隔开,并在四周做 50 cm 以上的土垄,防止灌溉水渗漏进入样地;样地内除灌水方式不同外,其余田间管理各项事宜均与当地田间管理一致。

1.2.2 茎流测定 采用基于能量平衡原理(龙秋波等,2012;岳广阳等,2006),美国 Dynamax 公司生产的 Flow-32 包裹式茎流计对灰枣茎流速率进行持续监测,传感器型号均为 SGB50,按照茎流计的具体操作方法(龙秋波等,2012;岳广阳等,2006),对样树进行包裹,传感器与数据采集器对接以及通过电脑对数据采集器进行程序设定。本试验对不同灌溉方式下枣树茎流速率进行昼夜持续监测,设置茎流数据采集时间间隔为 10 min。

1.2.3 气象因素的测定 利用样地内安装的 HOBO 小气候仪,对太阳辐射、空气湿度、温度、风速等气象因素进行同步监测,数据采集时间间隔 10 min。

1.2.4 数据处理与分析 选择开花期(表 3)5 月 25 日至 7 月 25 日的数据进行分析,将每个样地内 3 株样树的茎流速率进行平均,计算出样地内每天每 10 min 的平均茎流速率,采用 Excel 2007 绘制图表和 SPASS 18.0 软件进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 枣树茎流速率日变化

由表 3 可知,红枣开花期为 5 月底~7 月底,选取开花期内 06-07-06-15(6 月 7 日,在本文中缩写为 06-07,所有日期下同)连续 9 d 的观测记录,如图 1 所示,两种灌溉方式下枣树茎流连日变化呈现明

表 3 红枣生育期  
Table 3 Phenology dates of jujube

生长期 Growth period	萌芽展叶期 Leaf bud stage (W1)	开花期 Flowering (W2)	坐果期 Fruit setting (W3)	果实膨大期 Fruit enlargement (W4)	成熟期 Fruit maturity (W5)	落叶期 Defoliation (W6)
时间 Time	5月初-6月底 Early May-By the end of June	5月底-7月底 By the end of May- By the end of May July	6月底-8月中旬 By the end of June- Mid August	8月中旬-9月中旬 Mid August-Mid September	9月中旬-10月中旬 Mid September- Mid October	10月初 Early October

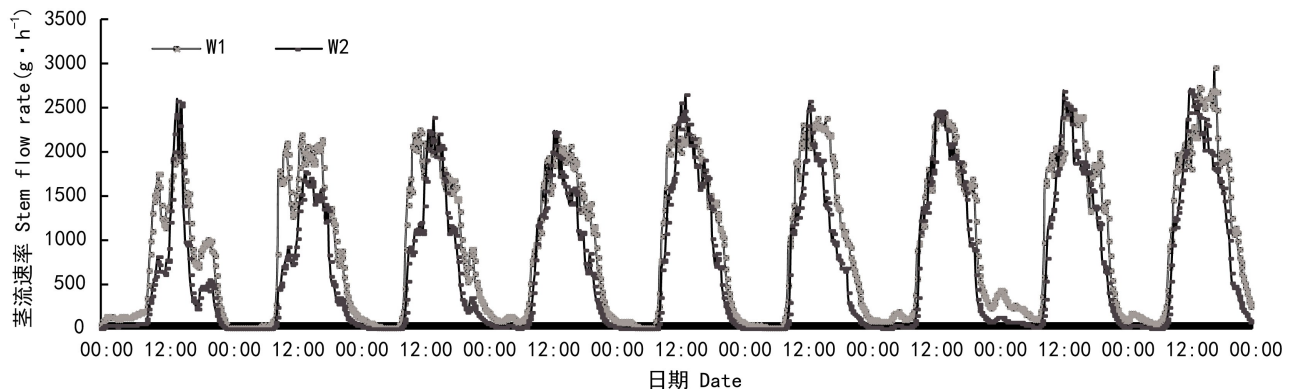


图 1 枣树茎流速率昼夜变化情况

Fig. 1 Jujube stem flow rate changes in day and night

显的昼夜变化规律,且除 06-07-06-08(经查阅气象数据和人工天气记录,这两天为阴天且夹杂沙尘)外,茎流速率白天呈现出相似的单峰曲线且夜间茎流活动现象明显。早晨伴随着枣树蒸腾作用,茎流启动时间 W1 为 7:00-8:00, W2 为 7:30-8:30;之后茎流速率开始增大,直至茎流速率达到峰值,但峰值前后 W1 和 W2 枣树茎流均出现较小幅度的“波动”,并因此在峰值前后组成相对平稳的“峰值群”,W1 和 W2 峰值出现时间分别为 13:30-14:30 和 13:00-14:30,峰值大小分别为  $2\ 133.33 \sim 2\ 724.93\ \text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  和  $2\ 234.11 \sim 2\ 689.40\ \text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ ; W1 20:00-21:00, W2 19:30-20:30 茎流速率迅速下降,直至达到白天茎流的最低值;夜间枣树气孔关闭,叶片蒸腾停止,但却均存在微弱茎流,可能由于枣树白天耗水严重,树体内各部分组织的水容储水被充分释放,导致树体组织水容降低,在水容作用下,根系处于吸水状态,以此来恢复植物体内的水分平衡,弥补白天的水分亏缺。

## 2.2 枣树日累积茎流量变化情况

两种灌溉方式下,各选取连续 9 d 的枣树日累积茎流量变化情况进行分析。从图 2 可以看出, W1

日茎流总量都大于 W2,当枣树生长情况大致相同时,出现此现象与 W1 特殊的灌溉方式紧密相关, W1 通过竖直的井管,将水分直接灌溉到地下林木根系分布区,使地表仍保持较干燥、干燥状态,未出现地表径流,极大地阻止和减少灌溉后的地表蒸发,使无效水减少,因此通过枣树蒸腾耗水较多,进而植物茎流累积量较大。图 3 为枣树日累积茎流量变化过程,两种灌溉方式下枣树茎流日累积量变化过程曲线均为“S”形,夜间均存在少量茎流累积,清晨茎流累积启动时间 W1 略早于 W2 近 0.5 h, W1 为 8:00, W2 为 8:30;随后茎流累积量缓慢上升, W1 上升速率较大;茎流累积量增速开始下降出现的时间 W2 略早于 W1 为 1.5 h, W2 为 19:00;综合全天来看,日累积茎流量 W1 为 21.87 L, W2 为 15.51 L。

## 2.3 气象因子变化对枣树茎流速率的影响

图 4 为枣树茎流与气象因子之间的变化曲线,由于随着太阳辐射启动,温度逐渐升高,但空气湿度却逐渐降低,因此整个气象因子中太阳辐射决定着温度和湿度的变化,即太阳辐射与温度呈现正相关,与空气湿度呈现负相关。4 个标准实验日内太阳辐射均呈现单峰曲线,但太阳辐射表观波形变化趋势

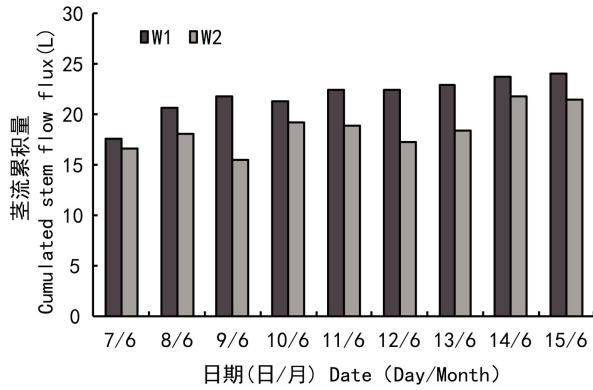


图2 连日条件下枣树日累积茎流量变化情况

Fig. 2 Daily cumulated stem flow flux changes of jujube during continuous days

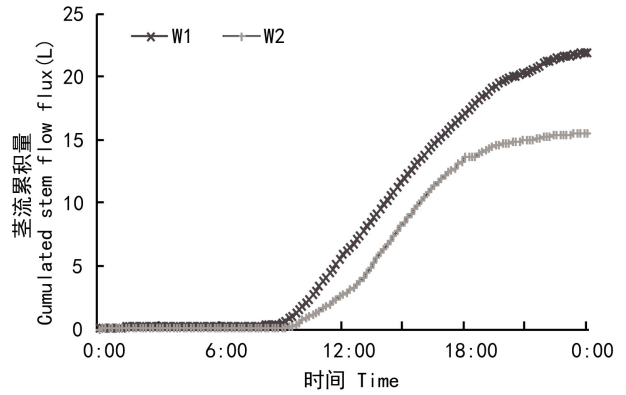


图3 枣树日累积茎流量变化过程

Fig. 3 Daily cumulated stem flow flux changes of jujube

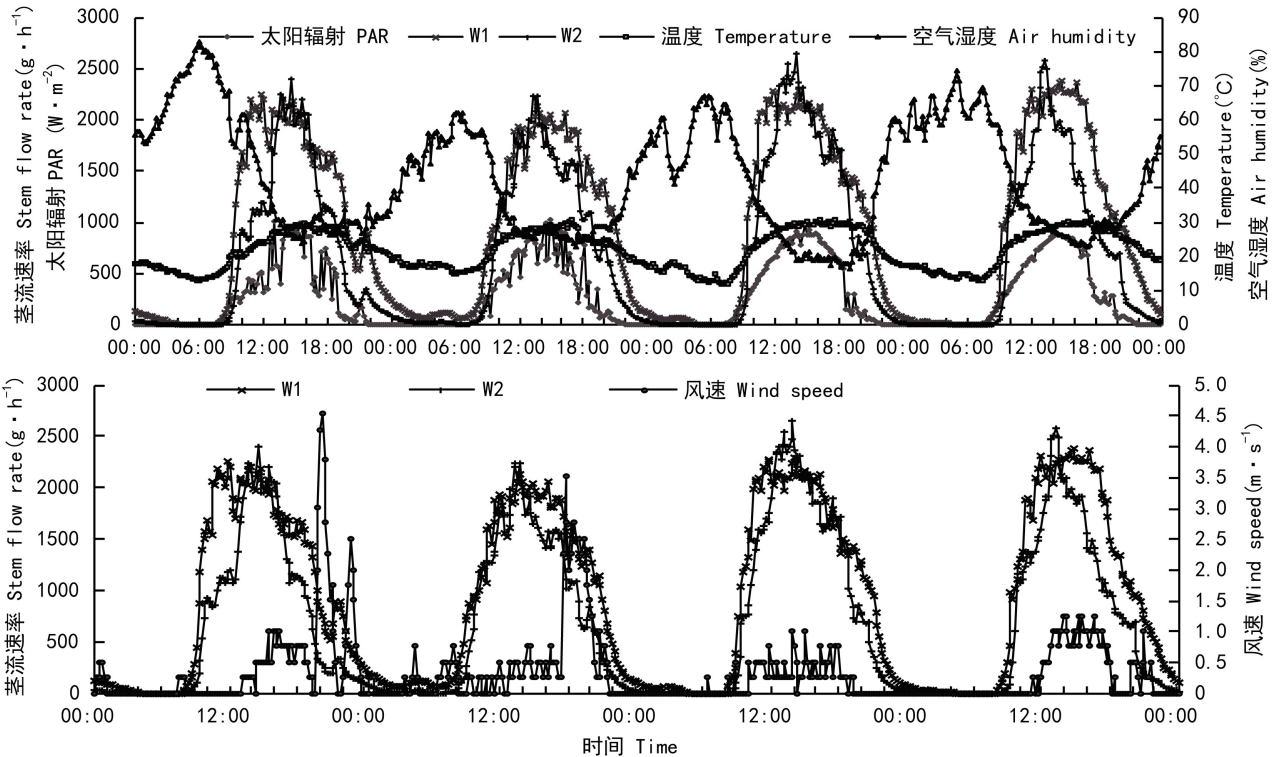


图4 茎流与气象因子之间的变化曲线(2014-06-09-2014-06-12)

Fig. 4 Curves between stem flow and meteorological factors(2014-06-09-2014-06-12)

与两种灌溉方式下茎流变化曲线均存在异同,清晨7:00左右太阳辐射开始启动,枣树蒸腾作用开始,在蒸腾拉力的作用下,茎流开始出现,W1晚约0.5 h,W2晚约1 h茎流开始启动,茎流启动后随着太阳辐射的增强而逐渐增大,直至到达茎流活动的高峰

状态,之后即使太阳辐射继续增强,茎流速率也始终保持在高峰状态不再上升,这是由于太阳辐射强度过高,植物怕蒸腾作用太强而导致自身短时间内失水过多,进而灼伤植物的叶面,使植物自身受损,因此关闭部分气孔,茎流速率基本保持不变;但茎流速

率高峰状态时,相对平稳的区域内出现上下小幅度波动,出现此现象则可能是因为风速等其它气象因子对叶子表面产生影响进而导致叶片蒸腾速率的瞬间变化,但这些因子对茎流变化的影响十分有限;W1 和 W2 峰值出现时间分别为 13:30-14:30 和 13:00-14:30,太阳辐射峰值出现在 14:00-15:30,出现这样的差异主要是因为晴朗天气下,中午太阳辐射强度大,空气温度在 29℃ 以上,而空气相对湿度为 17%~24%,此时枣树蒸腾速率不断增大,耗水逐渐增强,当其根系吸水无法持续满足蒸腾失水时,植物自身调节机制将叶片部分气孔关闭或减小开合程度,蒸腾速率不会再随着太阳辐射的增强而增大,进而保护植物不会因过度失水而死亡。

#### 2.4 枣树茎流速率与气象因子的关系

从图 4 可以看出,两种灌溉方式下枣树茎流速率变化曲线均与太阳辐射和温度呈现正相关,与空气湿度呈现负相关,与风速相关性较差。对 W1 和 W2 下,枣树茎流速率与 4 个气象因子监测值进行偏相关分析,分析茎流速率与其中 1 个气象因子的相关系数时,将其它 3 个因素的影响进行变量控制,结果如表 4。W1 和 W2 下,太阳辐射均为主要影响因子,偏相关系数分别为 0.632 和 0.81;4 个气象因子中,温度与空气湿度跟太阳辐射关系密切,即随着太阳辐射的增加,温度逐渐增高,空气湿度逐渐减小;在上述偏相关分析的基础上,利用多元线性回归对 W1 和 W2 枣树茎流速率与气象因子以 0.01 和 0.05 可靠性作为变量入选和剔除临界值,进行逐步回归,建立两种灌溉方式下液流速率与气象因子的多元线性模型(表 5),经过回归系数和相关系数检验,W1 和 W2 多元线性回归方程均达到了显著水平。

### 3 讨论与结论

植物茎流日变化规律与自身生理形态特征关系密切。叶底珠茎流加速启动时间为早晨 06:00-06:30,晚上 20:00-20:30 降到一个较为稳定的水平,夜间维持一定的茎流活动(赵自国等,2013);桂味荔枝树干边材液流速率启动时间出现在 06:00-07:30,峰值出现时间在 12:00-13:00,在 19:00-20:30 下降至极低值并趋于稳定,直到第 2 天的液流启动时期(凡超等,2014);本研究显示不同灌溉方式下,茎流启动时间 W1 为 7:00-8:00,W2 为 7:30-8:30;峰值出现时间 W1 为 13:30-14:30,W2 为

表 4 茎流与气象因子之间的偏相关分析

Table 4 Partial correlation analysis between stem flow and meteorological factors

灌溉方式 Irrigation method	系数 Correlation	太阳辐射 PAR ( $W \cdot m^{-2}$ )	温度 Temperature ( $^{\circ}C$ )	空气湿度 Air humidity (%)	风速 Wind speed ( $m \cdot s^{-1}$ )
井式灌溉 Pit irrigation (W1)	$R^2$	0.632 **	0.529 **	0.177	0.128
	$P$	0.000	0.000	0.000	0.002
滴灌 Drip irrigation (W2)	$R^2$	0.814 **	0.232 **	-0.033	-0.003
	$P$	0.000	0.000	0.426	0.950

\*\*  $P < 0.01$

表 5 枣树不同灌溉方式下茎流速率与气象因子的多元回归模型

Table 5 Jujube different stem flow rate and environmental factors during childbirth multiple regression model

灌溉方式 Irrigation method	$R^2$	回归方程 Regression equation
井式灌溉 Pit irrigation	0.909	$SF = -207 + 1.153PAR + 104.834Ta + 8.571RH + 62.123V$
滴灌 Drip irrigation	0.918	$SF = -485.155 + 1.749PAR + 35.354Ta - 1.402RH - 1.123V$

注: SF. 茎流速率( $g \cdot h^{-1}$ ); PAR. 太阳辐射( $w \cdot m^{-2}$ ); Ta. 温度( $^{\circ}C$ ); RH. 空气湿度(%); V. 风速( $m \cdot s^{-1}$ )。

Note: SF. Stem flow rate ( $g \cdot h^{-1}$ ); PAR. Photosynthetically active radiation ( $w \cdot m^{-2}$ ); Ta. Temperature ( $^{\circ}C$ ); RH. Air humidity (%); V. Wind speed ( $m \cdot s^{-1}$ ).

13:00-14:30;W1 为 20:00-21:00,W2 为 19:30-20:30 茎流速率迅速下降,直至达到白天茎流的最低值;夜间均存在微弱茎流。

典型晴天条件下小叶锦鸡儿的茎干液流通量密度日变化趋势均呈“几”字形的宽峰曲线(岳广阳等,2007)。桂味荔枝晴天条件下液流速率多表现为明显的单峰曲线,在雨天表现为多峰曲线(凡超等,2014)。本研究表明,不同灌溉方式下,茎流速率均呈现出相似的单峰曲线。刘帮等(2015)研究表明,井式灌溉方式下,茎流速率日变化规律晴天为宽型单峰曲线,阴雨天为多峰曲线;而王文明等(2014)研究结果显示,滴灌条件下,枣树不同月份茎流日变化规律有所不同,5 月和 6 月呈多峰曲线,而 7 月和 8 月呈单峰曲线。

枣树日累积茎流量变化情况,本研究表明日累积量均为“S”形曲线,茎流累积启动时间 W1 略早于 W2 近 0.5 h,W1 上升速率较大,茎流累积量增速

开始下降出现的时间 W1 晚于 W2 1.5 h, W2 为 19:00; W1 日茎流总量都大于 W2, 出现此结果, 与灌溉方式不同息息相关, W1 极大的阻止和减少灌溉后的地表蒸发, 使无效水减少, 而 W2 由于产生地表径流现象, 使地表蒸发加大, 进而无效水增多。

植物茎干液流不仅与自身生理特征有关, 还与气象因子也关系紧密。许浩等(2007)对塔克拉玛干沙漠腹地多枝怪柳茎干液流及耗水量的研究表明, 茎干液流主要受到太阳辐射、风速和温度等环境因子的影响; 郭树江等(2011)对干旱荒漠区沙冬青茎干液流变化特征及其与气象因子的关系的研究表明, 沙冬青茎干液流变化与太阳辐射相关性较大, 其次为空气温度, 空气相对湿度和风速。李思静等(2014)研究表明, 在土壤含水量较高时, 植物茎流速率主要由气象因子调控, 主要环境因子是饱和水汽压差、空气温度、太阳辐射和相对湿度; 凡超等(2014)研究显示, 荔枝树干边材液流与气象因子之间存在着良好的相关性, 在一定范围内, 树干液流速率与太阳辐射强度、空气温度呈正相关, 与空气湿度呈负相关, 但与风速和降雨量相关性差。本研究表明, 两种灌溉方式下枣树茎流速率变化曲线均与太阳辐射和温度呈现正相关, 与空气湿度呈现负相关, 与风速相关性较差; 太阳辐射表观波形变化趋势与两种灌溉方式下茎流变化曲线均存在异同, 启动时间太阳辐射 7:00 左右, W1 晚约 0.5 h, W2 晚约 1 h, 到达峰值时间 W1 和 W2 均早于太阳辐射。对 W1 和 W2 下, 枣树茎流速率与 4 个气象因子监测值进行偏相关分析, 太阳辐射均为主要影响因子, 偏相关系数分别为 0.632 和 0.814。W1 和 W2 多元线性回归方程经过回归系数和相关系数检验, 均达到了显著水平, 进而单从枣树茎流方面可以为新式灌溉方法——井式灌溉提供一定的理论基础。

## 参考文献:

FAN C, QIU YP, LI ZQ, et al, 2014. Relationships between stem sap flow rate of litchi trees and meteorological parameters [J]. *Acta Ecol Sin*, (9):2401-2410. [凡超, 邱燕萍, 李志强, 等, 2014. 荔枝树干液流速率与气象因子的关系 [J]. *生态学报*, (9):2401-2410.]

GUO SJ, XU XY, YANG ZH, et al, 2011. Relationships between sap flow patterns of *Ammopiptanthus mongolicus* and environmental factors in desert areas [J]. *Acta Botan Boreal-Occident Sin*, (5):1003-1010. [郭树江, 徐先英, 杨自辉, 等, 2011. 干旱荒漠区沙冬青茎干液流变化特征及其与气象因子的关系 [J]. *西北植物学报*, (5):1003-1010.]

LI SJ, CHA TS, QIN SG, et al, 2014. Temporal patterns and envi-

ronmental controls of sap flow in *Artemisia ordosica* [J]. *Chin J Ecol*, 1:112-118. [李思静, 查天山, 秦树高, 等, 2014. 油蒿 (*Artemisia ordosica*) 茎流动态及其环境控制因子 [J]. *生态学杂志*, 1:112-118.]

LIU B, LI H, ZHANG ZG, et al, 2015. Under pit irrigation methods the Jujube sap flow variation of Aksu area [J]. *J N Fore Univ*, (3):54-60. [刘帮, 李宏, 张志刚, 等, 2015. 阿克苏地区井式灌溉方式下枣树茎流变化 [J]. *西北林学院学报*, (3):54-60.]

LONG QB, JIA SF, 2012. Review on the development and application of sap flow gauge [J]. *J Water Res Water Eng*, (4):18-23. [龙秋波, 贾绍凤, 2012. 茎流计发展及应用综述 [J]. *水资源与水工程学报*, 23(4):18-23.]

SHI C, FAN WB, ZHU HK, et al, 2012. Effects of different irrigation volumes on water consumption and growth of *Elaeagnus oxycarpa* [J]. *Arid Zone Res*, 29(4):635-640. [史册, 范文波, 朱红凯, 等, 2012. 不同灌水量对尖果沙枣耗水特性及生长的影响 [J]. *干旱区研究*, 29(4):635-640.]

WANG WM, ZHENG DM, JIANG YJ, et al, 2014. Research on water consumption rate of jujube tree under drip irrigation [J]. *Agr Res Arid Areas*, (6):38-42. [王文明, 郑德明, 姜益娟, 等, 2014. 滴灌条件下枣树耗水规律的研究 [J]. *干旱地区农业研究*, (6):38-42.]

XIA GM, KANG SZ, LI YH, et al, 2006. Transpiration of *Hedysarum scoparium* in arid desert region of Shi Yang River basin Gansu Province [J]. *Acta Ecol Sin* (*生态学报*), 26(4):1186-1193. [夏桂敏, 康绍忠, 李玉成, 等, 2006. 甘肃石羊河流域干旱荒漠区柠条树干液流的日季变化 [J]. *生态学报*, 26(4):1186-1193.]

XU H, ZHANG XM, YAN HL, et al, 2007. Stem sap flow and water consumption of *Tamarix ramosissima* in hinterland of Taklimakan Desert [J]. *Chin J App Ecol*, 18(4):735-741. [许浩, 张希明, 阎海龙, 等, 2007. 塔克拉玛干沙漠腹地多枝怪柳茎干液流及耗水量 [J]. *应用生态学报*, 18(4):735-741.]

XU XY, SUN BP, DING GD, et al, 2008. Sap flow patterns of three main sand-fixing shrubs and their responses to environmental factors in desert areas [J]. *Acta Ecol Sin*, (3):895-905. [徐先英, 孙保平, 丁国栋, 等, 2008. 干旱荒漠区典型固沙灌木液流动态变化及其对环境因子的响应 [J]. *生态学报*, (3):895-905.]

YANG CC, LI H, GUO GH, et al, 2013. Spatial distribution characteristics of absorbing root system of red jujube in juvenile phase [J]. *Beijing Agric*, (3):30-32. [杨婵婵, 李宏, 郭光华, 2013. 红枣中龄期吸收根和疏导根空间分布特征 [J]. *北京农业*, (3):30-32.]

YUE GY, ZHANG TH, LIU XP, et al, 2006. Development and application of thermal methods in measuring stem sap flow [J]. *J Sci Sil Sin*, 42(8):102-108. [岳广阳, 张铜会, 刘新平, 等, 2006. 热技术方法测算树木茎流的发展及应用 [J]. *林业科学*, 42(8):102-108.]

YUE GY, ZHAO HL, ZHANG TH, et al, 2007. Characteristics of *Caragana microphylla* sap flow and water consumption under different weather conditions on Horqin sandy land of northeast China [J]. *Chin J App Ecol*, 10:2173-2178. [岳广阳, 赵哈林, 张铜会, 等, 2007. 不同天气条件下小叶锦鸡儿茎流及耗水特性 [J]. *应用生态学报*, 10:2173-2178.]

ZHANG LG, ZENG FJ, LIU Z, et al, 2013. Sap flow characteristics of three plant species and their responses to environmental factors in an extremely arid region [J]. *Arid Zone Res*, (1):115-121. [张