

不同灌水量下幼龄枣树茎流变化规律

李 宏¹,刘 帮²,程 平¹,韩莹莹³,张志刚²,
王真真²,武 钰³,苗乾乾²,黎 欢⁴

(1.新疆林业科学院,新疆 乌鲁木齐 830000; 2.新疆农业大学林学与园艺学院,新疆 乌鲁木齐 830052;
3.新疆师范大学,新疆 乌鲁木齐 830054; 4.新疆维吾尔自治区林业厅,新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要:探讨了不同灌水量(W1,32 L;W2,48 L;W3,64 L以及 W4,80 L)对 4 年生幼龄枣树茎流速率变化规律的影响以及茎流速率与环境因子之间的关系,通过美国 Dynamax 公司生产的 Flow-32 包裹式茎流计进行茎流速率的测定,并在样地内安装 HOBO 小气候仪同步获取太阳辐射、温度、空气湿度以及风速等气象数据。结果表明:不同灌水量下,枣树茎流速率日变化趋势均为单峰形曲线,除 W4 外,枣树茎流速率平均值随着灌水量的增加而逐渐增大,W1、W2 和 W3 处理的茎流速率的平均峰值分别为 516.63、819.04 g·h⁻¹和 974.86 g·h⁻¹;枣树茎流日累积量变化过程曲线均呈现较为明显的“S”形,除 W4 外,随着灌水量的增加,枣树茎流日累积量增加,W1、W2、W3 和 W4 茎流日累积量分别为 4.98、7.02、9.10 L 和 8.63 L;不同灌水量下茎流速率与太阳辐射、温度以及风速呈正相关,且茎流速率与太阳辐射和温度相关性达到显著水平,其中与太阳辐射的相关性最高,W1、W2、W3 和 W4 处理下相关系数分别为:0.939、0.944、0.959 和 0.939;而与空气湿度呈现出较明显的负相关,相关系数分别为-0.579、-0.815、-0.822 和-0.730。

关键词:灌水量;林木井式灌溉;幼龄枣树;茎流速率;环境因子
中图分类号: S274;S665.1 **文献标志码:** A

Variability of Young jujube tree sap flow under different irrigation amount

LI Hong¹, LIU Bang², CHENG Ping¹, HAN Ying-ying³, ZHANG Zhi-gang²
WANG Zhen-zhen², WU Yu³, MIAO Qian-qian², LI Huan⁴

(1. Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi, Xinjiang 830000, China;
2. Forestry and Horticulture College, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
3. Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;
4. Xinjiang Uygur Autonomous Region Forestry Department, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: This study aims to explore the influence of different irrigation water (W1,32 L; W2,48 L; W3, 64 L; W4,80 L) on stem flow rate of four years jujube tree, using Flow-32 package type stem to determine the stem flow rate and a HOBO microclimate instrument to monitor solar radiation, temperature, air humidity and wind speed and other meteorological data. The results showed that: Under different irrigation water, jujube stem flow rate exhibited an unimodal type curve, increasing with the increase of irrigation water and showing average peak of 516.63, 819.04 g·h⁻¹ and 974.86 g·h⁻¹ for W1, W2 and W3, respectively; Cumulative dynamics of stem flow showed a clear “S” shape, with W1, W2, W3 and W4 having the value of 4.98 L and 7.02 L and 9.10 L and 8.63 L, respectively. Correlation analysis revealed that flow rate was positively related with the solar radiation, temperature and wind speed at significant level, the highest correlation coefficients existing with the sun’s radiation. By contrast, air humidity was negatively correlated with sap flow.

Keywords: irrigation amount; tree pit irrigation; young jujube tree; sap flow rate; environmental factors

我国现行的林木灌溉方式主要还是以漫灌、沟灌为主,较为先进的灌溉方式为滴灌,漫灌与沟灌不仅仅在灌溉过程中水分蒸发对水资源造成极大浪费,而且对土壤表面结构破坏严重,严重影响作物根部

土壤的通透性;滴灌虽然可以提高水分的利用效率,但当地表出现积水时,造成表面积水蒸发严重,造成水的浪费;本研究采用一种新型林木灌溉方法^[1],即林木井式节水灌溉方法,其特点为改变常规林业的地面灌溉方法,通过常规滴灌系统和带孔竖井管的横向渗漏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,造成灌溉湿润区土壤和地表土壤毛细管处于断裂状态,极大地阻止和减少灌溉后的地表蒸发,使得水分有效供给林木根系,从而提高水的利用效率而达到节水的目的。

植物主要通过蒸腾作用耗散水分,相关研究表明,植物从土壤中吸收的水分,蒸腾作用耗散约 99% 以上^[2]。茎流是指通过蒸腾作用在植物体内引起的上升液流,因此,研究植物茎流变化规律可以间接反映植物蒸腾速率的变化。国内外学者对于植物蒸腾耗水量的测定方法很多,如整树容器法^[3]、蒸渗仪法^[4]、快速称重法^[5]以及热平衡^[6]、热脉冲^[7-9]、热扩散^[8-9]等技术,有些测定方法不仅操作复杂,不能代表植株生长的现实环境,而且测定过程中改变植株正常生长发育状况,因此植株的真实蒸腾规律很难测定。目前测定植物蒸腾耗水最先进且最广泛的方法是利用热技术^[10-13],此方法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,不仅可以实时测量植物茎流变化,对植株茎流进行连续检测,而且野外操作方便^[13-15],不改变植物生长环境,对植物无害。本研究采用美国

Dynamax 公司生产的 Flow-32 包裹式茎流计测定枣树茎流速率,并在样地内安装 HOBO 小气候仪同步获取气象数据,分析通过林木井式节水灌溉方法,在不同灌水量条件下枣树茎流速率的变化规律以及与气象因素之间的关系,为研究在此节水灌溉方式下,枣树蒸腾耗水规律提供一定的理论依据。

1 试验地概况与研究方法

1.1 试验地概况

试验在新疆林业科学院佳木试验站进行,该站位于新疆阿克苏地区温宿县,东经 80°32′,北纬 41°15′,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,年平均总辐射量 6 000 MJ·m⁻²,平均海拔高度 1 103 m;年降水量 42.4 ~ 94 mm,年潜在蒸发量 2 956.3 mm,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℃(1997-07-20),极端最低气温为-27.0℃(1977-01-30),≥10℃积温 2 916.8℃~3 198.6℃,无霜期 195 d;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见表 1。

表 1 试验地土壤的主要理化性质
Table 1 The physical and chemical properties of the tested soil

深度 Depth /cm	土壤质地 Soil texture	容重 Volume weight of soil /(g·cm ⁻³)	最大持水量 Maximum field capacity /%	有机质含量 Organic matter content /(g·kg ⁻¹)	全 N 含量 Total nitrogen /(g·kg ⁻¹)	pH
0~30	壤土 Loam	1.6067	19.7	2.25	0.797	8.51
30~50	砂土 Sandy soil	1.4013	24.7	0.76	0.436	8.94
50~60	红粘土 Red clay	1.6093	27.3	0.67	0.647	9.75
60~160	砂土 Sandy soil	1.4620	24.4	0.45	0.308	8.67

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 试验于 2013 年 5 月至 9 月进行。在同一枣园内选取 4 块样地,面积均为 25 m²(5 m×5 m),林地树龄均为 4 a,属于幼龄,株行距 1 m×4 m,红枣品种为灰枣(*Zizyphus jujuba*),每块样地内选择 3 株生长良好,无病虫害,主干通直且符合包裹式茎流计传感器规格的健康枣树(地径 3 cm±0.30 cm)作为试验对象。样树距离地面 10 cm 处,平均地径为 3.15 cm;平均株高为 1.89 m,平均冠幅

为 1.23 m;在安装传感器部位将死亡组织、脱落表皮除去,在此过程中应避免因操作不当,造成样树活表皮受损伤,影响枣树正常生长,进而影响茎流速率的准确性,并用细砂纸将其打磨光滑,然后用游标卡尺测定茎干上包裹传感器处的相应部位的直径。经测定,包裹传感器处的平均直径为 3.10 cm,平均茎干面积为 7.49 cm²。样地灌溉方式均采用林木井式节水灌溉方法,但灌水时每个样地内同一时间内灌水量不同。根据本项目组前期研究的幼龄红枣根系

分布区情况^[16]以及滴灌在生产实践中对幼龄枣树的运用和灌溉量大小,在树行方向,距离样树 10 cm 处安装一个内径 10 cm 和高 20 cm 的带孔竖直井管,供水系统采用常规滴灌系统,用长约 10~15 cm 的盲管将水引入井管内,每次灌水时间均为 4 h;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。试验设 4 个处理,每种处理灌水时间均为 4 h, W1 滴头流量 $8 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, 即灌水量 32 L; W2 滴头流量 $12 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, 即灌水量 48 L; W3 滴头流量 $16 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, 即灌水量 64 L; W4 滴头流量 $20 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, 即灌水量 80 L。

1.2.2 茎流测定 本研究采用美国 Dynamax 公司生产的 Flow-32 包裹式茎流计对幼龄灰枣进行茎流速率的测定,茎流计工作原理为能量平衡原理^[6,8,9,15,17],按照包裹式茎流计传感器规格,样树所选传感器型号均为 SGB25,按照传感器的包裹要求,对样树进行包裹,最后把传感器与数据采集器对接,并通过电脑对数据采集器进行程序设定,茎流数据采集时间间隔为 10 min。

1.2.3 气象因素的测定 样地内安装 HOBO 小气候仪,对枣园的气象因素进行测定,主要包括:太阳辐射、空气湿度、温度、风速,数据采集时间间隔 10 min。

1.2.4 数据处理与分析 通过笔记本电脑与主机箱连接,利用美国 Dynamax 公司提供的 PC400 软件下载茎流数据,并将每个样地内 3 株样树的茎流速率分别进行平均,计算出每个样地内每天每 10 min 的平均茎流速率,数据选择时段为 7 月 20 日—8 月 15 日,此段时间属于枣树的坐果期,不仅枣树本身生理各项机能旺盛,代表性强;而且外界环境条件相对稳定,对枣树茎流速率影响较小。采用 Excel 2007 和 SPASS 18.0 软件,对幼龄枣树的试验数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同灌水量下枣树茎流速率昼夜变化及日变化规律

不同灌水量下选择连续 3 天枣树茎流速率的变化情况,对枣树茎流速率昼夜变化规律进行分析。图 1 为不同灌水量处理下连续 3 天枣树茎流速率的变化情况,由图可知,不同灌水量下,枣树茎流速率均呈现出明显昼夜变化,日变化趋势也大体相同,均呈现出单峰型曲线;清晨枣树茎流速率启动时间因

灌水量的不同而有所差异,但整体表现出灌水量越大,茎流速率启动时间越早的趋势, W1、W2、W3 和 W4 处理的茎流速率启动时间分别为 8:00—8:30、7:00—8:30、7:00—8:00 和 7:00—8:00;枣树茎流启动后,茎流速率随着太阳辐射强度的增加,迅速增加,直至达到茎流速率的峰值, W1、W2、W3 和 W4 处理的茎流速率的平均峰值分别为 0.52 、 0.82 、 $0.97 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $0.98 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$,灌水量与茎流速率的峰值表现出明显正比例关系,即随着灌水量的增加,枣树茎流速率的峰值增大;随着太阳辐射强度的减弱,茎流速率逐渐减小, W1、W2、W3 和 W4 处理的茎流速率基本降至最低值的时间分别为 19:00—20:30、20:00—21:00、20:30—21:00 和 21:30—22:00, W1、W2、W3 处理下,茎流速率基本降至最低值的时间比太阳辐射强度降至最低值的时间约早 1 h, W4 处理约早 0.5 h;虽然太阳落山,太阳辐射强度为零,但枣树夜间的茎流仍存在微弱活动,这是由于在阿克苏地区干旱条件下,植物白天蒸腾作用强烈,耗水严重,造成植物体内水分失调,植物处于缺水状态,夜晚植物会在根压的作用下进行吸水,以此来补充体内的水分亏缺^[10-11,13,18];综合全天分析可得,除 W4 处理外,枣树茎流速率平均值随着灌水量的增加而逐渐增大, W1、W2 和 W3 的茎流速率的平均值分别为 0.18 、 $0.31 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $0.37 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$; W4 的茎流速率的平均值为 $0.35 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$,由此可以看出当枣树茎流速率平均值达到一定大小时,茎流速率平均值不会再随灌水量的增加而增加。

选择图 1 中第二天的枣树茎流速率日变化进行分析,从图中可以看出,不同灌水量枣树夜间 21:00—7:00 均有小量的茎流速率,夜间平均茎流速率 W1、W2、W3 和 W4 处理分别为 0.05 、 0.08 、 $0.03 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $0.01 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$;除 W4 处理外,枣树茎流速率的峰值均随着灌水量的增加而逐渐增大, W1、W2 和 W3 处理的茎流速率峰值分别为 0.53 、 $0.86 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $1.06 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, W4 处理茎流速率峰值为 $0.98 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$;不同灌水量下枣树茎流速率峰值以及下降时间存在一定的差异, W1、W2、W3 和 W4 处理茎流速率出现峰值时间分别为 15:00、15:20、15:00 和 15:20;茎流速率下降时间分别为 19:30、20:00、19:50 和 20:30。

2.2 不同灌水量下枣树茎流日累积量变化规律

图 2 为不同灌水量下枣树茎流日累积量变化过程曲线,从图上可以看出,不同处理条件下,枣树茎流日累积量变化过程曲线均呈现较为明显的“S”形;除 W4 处理外,随着灌水量的增加,枣树茎流日累积量增加,即茎流日累积量 $W3 > W4 > W2 > W1$;夜间

均存在着较小的茎流累积,这是由于试验区气候干旱,植物白天蒸腾耗水严重,处于水分亏缺状态,晚上需在根压的作用下,吸收水分来维持自身生理活动需要;白天随着太阳辐射强度的增加,茎流累积量

也随之增加,曲线增幅趋势明显,在 19:00—19:30 茎流累积量上升速度趋于平缓,W1、W2、W3 和 W4 处理茎流日累积量分别为 4.98、7.02、9.10 L 和 8.63 L。

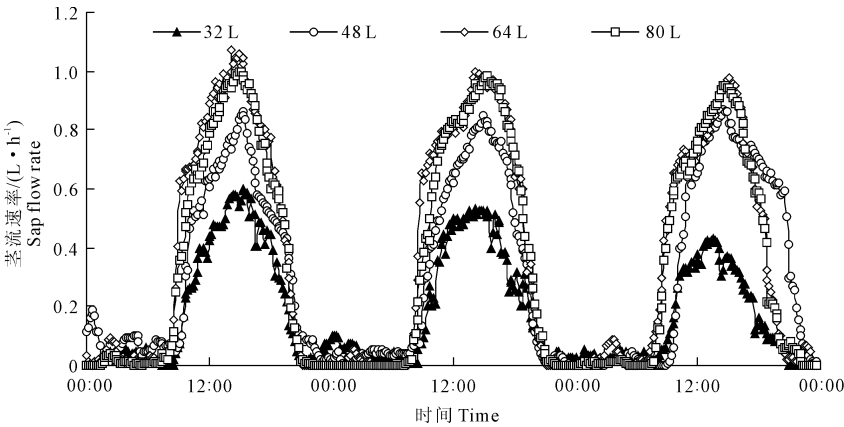


图 1 不同灌溉量下枣树茎流速率昼夜变化规律

Fig. 1 Diurnal variations in stem flow rate under different irrigation rate change law day and night

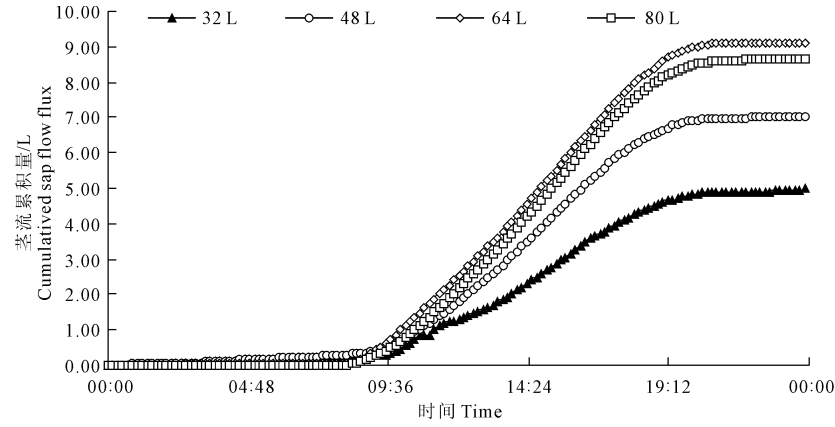


图 2 不同灌溉量下枣树茎流日累积量变化过程

Fig. 2 Cumulative daily dynamics of stem flow under different irrigation rates

表 2 为不同灌水量下枣树白天(7:00—21:00)和夜间(21:00—7:00)茎流累积情况,从表中可得,除 W4 处理外,白天随着灌水量的增加,茎流累积量和茎流速率随之增加;不同灌水量下夜间茎流累积量和茎流速率却随着灌水量的增加而减小,这是由于枣树白天蒸腾作用强烈、失水严重,枣树体内出现水分亏缺,灌水量小的情况下,枣树在经过一天的蒸腾失水后,枣树体内水分亏缺严重,因此枣树需要在夜间通过根压作用补充更多的水分,来维持正常的生理活动,夜间茎流累积量、夜间茎流速率以及夜间茎流累积量占全天的比例均呈现出较高值,即:W4 < W3 < W2 < W1。

2.3 不同灌水量条件下茎流速率与环境因子的关系

植物茎流速率的变化与环境因子关系密切。相关研究表明,对于不同植物的茎流速率,同一地区的

环境因子对其影响不同,但大部分研究表明,植物茎流速率与太阳辐射、空气温度以及空气湿度关系密切^[18-20]。图 3 ~ 图 6 分别是不同灌水量下茎流速率与太阳辐射、温度、空气湿度以及风速的日变化曲线,由图可知,茎流速率与太阳辐射、温度呈现较显著的正相关变化,即随着太阳辐射强度的增强,温度增高,茎流速率也随之增高,反之,随着太阳辐射的减弱,温度减小,茎流速率也随之减小;茎流速率与空气湿度呈现负相关变化,即随着太阳辐射的增强,茎流速率的增高,空气湿度减小,反之,随着太阳辐射的减小,茎流速率的减小,空气湿度却增高;风影响叶片蒸腾作用机理比较复杂,微风可以促进蒸腾,而风的强度太大可以使蒸腾速率变小,从而抑制茎干液流,从图上可以看出茎流速率与风速之间的日变化曲线规律性不明显。

表 2 不同灌水量下枣树茎流昼夜变化特征

Table 2 Diurnal variation of sap flow under different irrigation

项目 Items	W1	W2	W3	W4
白天茎流累积量 Cumulative sap flow flux in the daytime/L	4.67	6.74	9.04	8.58
白天茎流速率 Sap flow velocity in the daytime/(L·h ⁻¹)	0.33	0.48	0.65	0.59
夜间茎流累积量 Cumulative sap flow flux in the night time/L	0.31	0.28	0.06	0.05
夜间茎流速率 Sap flow velocity in the night time/(L·h ⁻¹)	0.03	0.03	0.01	0.01
夜间茎流累积量占全天的比例/% Percent of cumulative sap flow flux in the night time to the whole day	6.20	4.01	0.70	0.03

注:W1 – 灌水量 32 L; W2 – 灌水量 48 L; W3 – 灌水量 64 L; W4 – 灌水量 80 L。下同。
Note: W1 – irrigation 32 L; W2 – irrigation 48 L; W3 – irrigation 64 L; W4 – irrigation 80 L. The same below.

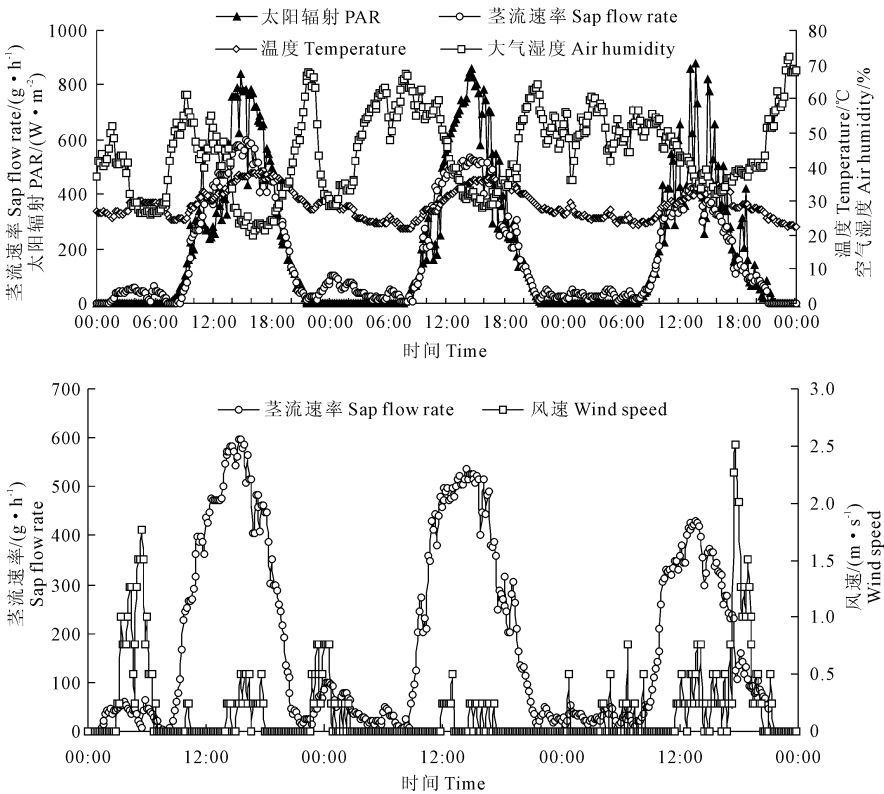


图 3 W1 处理下茎流速率、太阳辐射、温度、空气湿度以及风速的日变化

Fig.3 Relation between stem flow rate and daily solar radiation, temperature, air humidity and wind speed(W1)

不同灌水量下分别对植物茎流速率与太阳辐射、温度、空气湿度以及风速等几个重要的环境因子进行相关性分析,由表 3 可知,茎流速率与太阳辐射、温度以及风速呈现正相关,且茎流速率与太阳辐射和温度达到显著水平,而与空气湿度呈现出较明显的负相关,4 种灌水处理下,W3 处理除温度的相关系数不是最大外,太阳辐射、空气湿度均是最大;各灌水处理与太阳辐射的相关性均最高,W1、W2、W3 和 W4 处理下相关系数分别为:0.939、0.944、0.959 和 0.939;与温度相关系数分别为 0.790、0.842、0.805 和 0.784;与空气湿度相关系数分别为 -0.579、-0.815、-0.822 和 -0.730。

为了探明在不同灌水量下,环境因子对枣树茎

流速率的综合影响,采用逐步删除法进行多元回归分析。将枣树茎流速率作为因变量,太阳辐射、温度、空气湿度以及风速作为自变量进行回归分析,发现 4 个自变量均没有被剔除,即:太阳辐射、温度、空气湿度以及风速都参与回归模型的建立。逐步回归模型如表 4,对回归系数进行检验,回归系数均达到显著水平,说明回归模型方程均能较好地揭示在特定的灌水量下枣树茎流速率和环境因子的变化规律。通过相关性回归模型的建立,可以为研究在林木井式灌溉方式不同灌水量下枣树的茎流变化情况,为进一步寻找在此种新型节水灌溉方式下,枣树合适的灌水定额,提供一定的理论基础。经分析可以得出 W3 为最适的灌水量。

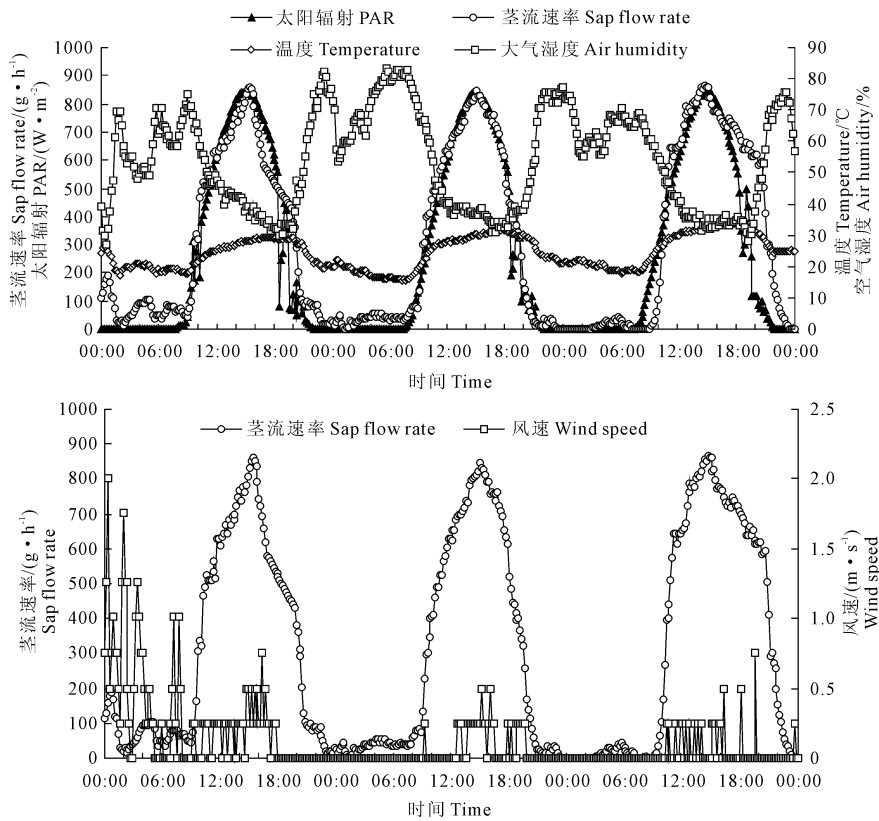


图 4 W2 处理下茎流速率、太阳辐射、温度、空气湿度以及风速的日变化

Fig.4 Relation between stem flow rate and daily solar radiation, temperature, air humidity and wind speed (W2)

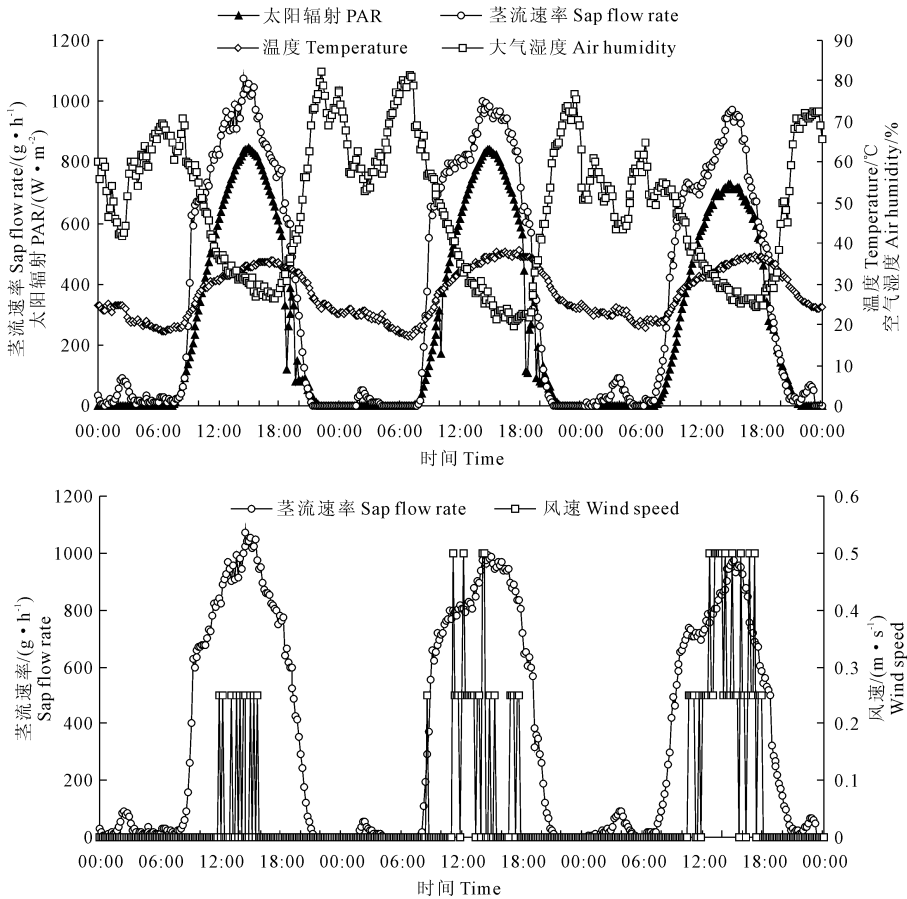


图 5 W3 处理下茎流速率、太阳辐射、温度、空气湿度以及风速的日变化

Fig.5 Relation between stem flow rate and daily solar radiation, temperature, air humidity and wind speed (W3)

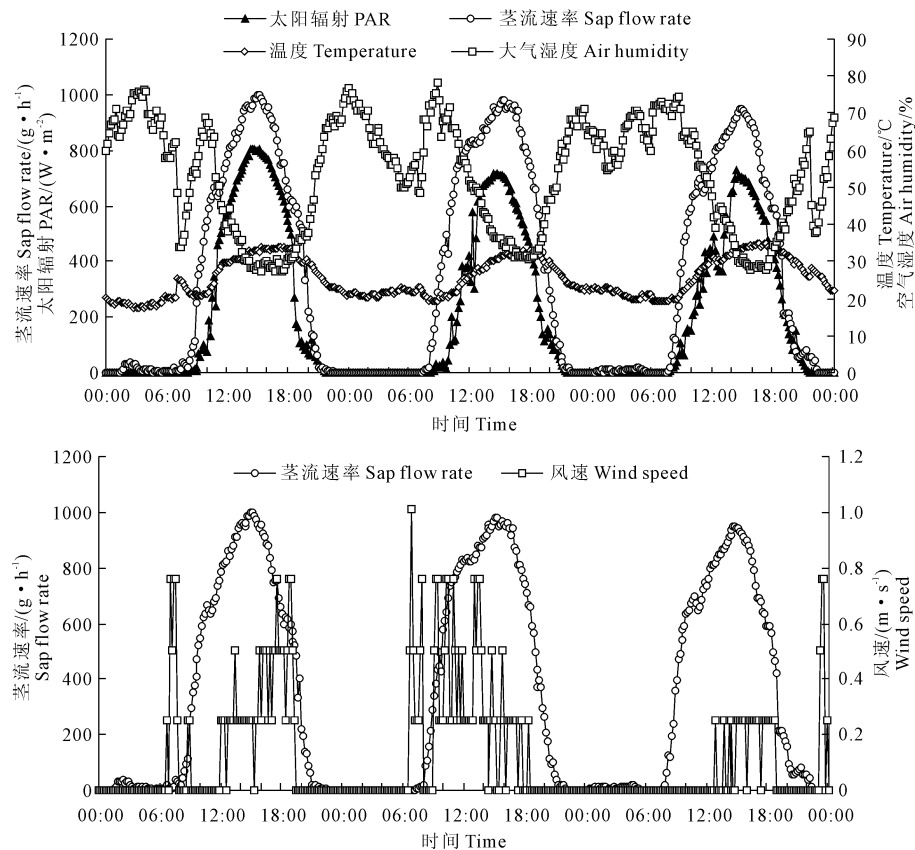


图 6 W4 处理下茎流速率、太阳辐射、温度、空气湿度以及风速的日变化
Fig.6 Relation between stem flow rate and daily solar radiation, temperature, air humidity and wind speed (W4)

表 3 不同灌水量下枣树茎流速率和气象因素的相关关系

Table 3 Relationship between flow rate and meteorological factors under different irrigation

处理 Treatments	太阳辐射/(W·m ⁻²) PAR	温度/℃ Temperature	空气湿度/% Air humidity	风速/(m·s ⁻¹) Wind speed
W1	0.939 ^{**}	0.790 ^{**}	-0.579 ^{**}	0.185 ^{**}
W2	0.944 ^{**}	0.842 ^{**}	-0.815 ^{**}	0.083 ^{**}
W3	0.959 ^{**}	0.805 ^{**}	-0.822 ^{**}	0.108 ^{**}
W4	0.939 ^{**}	0.784 ^{**}	-0.730 ^{**}	0.428 ^{**}

注 Note: N = 145; * * P < 0.01.

表 4 不同灌水量下枣树茎流速率和气象因素的多元逐步回归模型

Table 4 Regression models for sap flow rate and meteorological factors

处理 Treatments	回归方程 Regression equation	R ²
W1	$F = -161.668 + 0.563X_1 + 6.892X_2 + 0.636X_3 + 0.192X_4$	0.891 ^{**}
W2	$F = -132.55 + 0.681X_1 + 6.430X_2 - 1.529X_3 + 0.438X_4$	0.927 ^{**}
W3	$F = 246.245 + 1.169X_1 - 2.495X_2 - 2.212X_3 + 0.729X_4$	0.922 ^{**}
W4	$F = -499.55 + 1.256X_1 + 1.332X_2 + 12.287X_3 + 4.692X_4$	0.887 ^{**}

注: X₁ - 太阳辐射; X₂ - 风速; X₃ - 温度; X₄ - 空气湿度。* * 为 P < 0.01。
Note: X₁ - PAR; X₂ - Wind speed; X₃ - Temperature; X₄ - Air humidity. * * means P < 0.01.

3 结 论

在林木井式节水灌溉这种新型节水灌溉方法下,通过 4 种不同灌水量处理,对幼龄灰枣茎流速率

变化规律以及茎流速率与环境因子之间的关系研究结论如下:

1) 不同灌水量条件下,枣树茎流速率均呈现出明显昼夜变化,日变化趋势大体相同,均呈现单峰型

曲线;清晨枣树茎流速率启动时间随灌水量的不同而有所差异,但整体表现出灌水量越大,茎流速率启动时间越早的趋势;枣树茎流启动后,茎流速率均随着太阳辐射强度的增加,迅速增加,直至达到茎流速率的峰值;灌水量与茎流速率的峰值表现出明显的正比例关系,即随着灌水量的增加,枣树茎流速率的峰值增大;综合全天分析可得,当枣树茎流速率平均值达到一定大小时,茎流速率平均值不会再随灌水量的增加而增加,W3 灌水量较为适合幼龄红枣树。

2) 不同灌水量下,枣树茎流日累积量变化过程曲线均呈现较为明显的“S”形;夜间均存在着较小的茎流累积;除 W4 外,白天随着灌水量的增加,茎流累积量和茎流速率随之增加;不同灌水量下夜间茎流累积量和茎流速率却随着灌水量的增加而减小;整体来看枣树茎流日累积量并不是随着灌水量的增加而增加,当灌水量达到一定额度时,即使继续增大灌水量,茎流日累积量表现出停滞状态,从而得出 W3 灌水量较为适合幼龄红枣树。

3) 通过不同灌水量下茎流速率与太阳辐射、温度、空气湿度以及风速的日变化曲线分析,茎流速率与太阳辐射、温度呈现较显著的正相关变化,与空气湿度呈现负相关变化,与风速之间的日变化曲线规律性不明显。不同灌水量下分别采用逐步删除法进行多元回归分析,结果表明太阳辐射、温度、空气湿度以及风速都参与回归模型的建立,且经过回归系数检验,回归系数均达到显著水平。

通过研究林木井式节水灌溉方法下,4 种不同灌水量下枣树茎流速率变化情况以及与环境因子之间的关系,得出 W3 为最适合幼龄枣树的灌溉量,为今后此种新型灌水方法的进一步深入研究提供理论支撑,并对在此节水方法下寻找合适的幼龄红枣灌水制度,提供一定的理论基础。

参 考 文 献:

[1] 李 宏. 林木井式节水灌溉方法专利: 中国, 2012103114848. 2 [P]. 2012 - 08 - 30.

[2] 李德全. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.

[3] 刘奉觉, 郑世锴, 巨关升, 等. 树木蒸腾耗水测算技术的比较研究[J]. 林业科学, 1997, 33(2): 119-125.

[4] Meinzer F C, Goldstein G. Environment a land physiological regulation of transpiration tropical forest gap species: the influence of boundary layer and hydraulic properties[J]. Oecologia, 1995, 101: 514-522.

[5] 刘奉觉. 用快速称重法测定杨树蒸腾速率的技术研究[J]. 林业科学研究, 1990, 3(2): 162-165.

[6] 岳光阳, 张铜会, 刘新平, 等. 热技术方法测算树木茎流的发展及应用[J]. 林业科学, 2006, 42(8): 102-108.

[7] 孙慧珍, 周晓峰, 赵惠勋. 白桦树干液流的动态研究[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1387-1391.

[8] 张 雷, 孙鹏森, 刘世荣. 树干液流对环境变化响应研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5600-5610.

[9] 龙秋波, 贾绍凤. 茎流计发展及应用综述[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(4): 18-23.

[10] 张利刚, 曾凡江, 刘 镇, 等. 极端干旱区 3 种植物流液特征及其对环境因子的响应[J]. 干旱区研究, 2013, 30(1): 115-121.

[11] 郭树江, 徐先英, 杨自辉, 等. 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, 2011, 31(5): 1003-1010.

[12] 赵春彦, 司建华, 冯 起, 等. 胡杨(*Populus euphratica*) 树干液流特征及其与环境因子的关系[J]. 中国沙漠, 2014, 34(3): 718-724.

[13] 徐先英, 孙保平, 丁国栋, 等. 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, 2008, 28(3): 895-905.

[14] Braun P, Schmid J. Sap flow measurements in grapevines (*Vitis vinifera* L.) 1. Stem morphology and use of the heat balance method [J]. Plant and Soil, 1999, 215: 39-45.

[15] 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.

[16] 李 宏, 杨婵婵, 郭光华, 等. 幼龄期红枣根系生物量空间分布特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(5): 59-64.

[17] 高 阳, 段爱旺, 邱新强, 等. 应用热平衡法测定玉米/大豆间作群体内作物的蒸腾量[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1283 - 1288.

[18] 王华田, 马履一, 孙鹏森. 油松、侧柏深秋边材木质部液流变化规律的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 31-37.

[19] 马长明, 刘广营, 张艳华, 等. 核桃树干液流特征研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(2): 25-29.

[20] 许 浩, 张希明, 阎海龙, 等. 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, 2007, 18(4): 735-741.