

不同生育期幼龄枣树茎流特征 及其与环境因子的关系

李 宏¹,刘 帮²,李长城²,孙明森²,刁 凯²,韩莹莹³,
程 平¹,张志刚²,王真真²,武 钰³,苗乾乾²

(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)

摘 要:采用包裹式茎流计对位于新疆阿克苏地区温宿县新疆林科院佳木试验站内的幼龄枣树茎流速率进行连续测定,并同步监测样地内太阳辐射、温度、空气湿度以及风速 4 个环境因子,研究不同生育期枣树茎流特征及其与环境变化的关系。结果表明:①夜间均存在茎流活动,茎流速率变化曲线除果实膨大期为双峰外,其余生育期内均为单峰;②日累积量变化过程曲线均为“S”形,日均耗水量和总耗水量的趋势均为先增大后减小,且差异性明显,萌芽展叶期最低,果实膨大期最大,日均耗水量分别为 2.78 L 和 8.31 L,总耗水量分别为 83.39 L 和 249.30 L;③茎流速率曲线与太阳辐射和温度曲线波形变化趋势基本一致,与空气湿度曲线波形变化趋势相反,茎流速率与环境因子进行偏相关分析,影响枣树茎流速率的主要因子有所差异,但太阳辐射偏相关系数最高,按生育期顺次分别为 0.767、0.762、0.873、0.838、0.603 和 0.825,利用多元线性回归对不同生育期枣树茎流速率与环境因子进行逐步回归,经过回归系数和相关系数检验,各多元线性回归方程均达到了显著水平。

关键词:阿克苏地区;枣;生育期;茎流速率;环境因子
中图分类号: S665.1 **文献标志码:** A

Characteristics of stem flow of young jujube tree at different reproductive periods and their relationship with environmental factors

LI Hong¹, LIU Bang², LI Chang-cheng², SUN Ming-sen², DIAO Kai², HAN Ying-ying³, CHENG Ping¹,
ZHANG Zhi-gang², WANG Zhen-zhen², WU Yu³, MIAO Qian-qian²

(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)

Abstract: A package type stem flow meter for continuous measurement of young jujube tree stem flow rate was adopted to allow synchronous monitoring four environmental factors including solar radiation, temperature, air humidity and wind speed. Stem flow characteristics of Chinese jujube at different development stages were investigated and their relationship with environment variations was also analyzed. The results showed that stem flow was active at night. Except for the stem the flow rate curve W_4 that exhibited a bimodal at the fruit enlargement stage, the rest were single peak during the growth period. In addition, the cumulative amount of change in Japan curves was in an “S” shape. The average daily water consumption amount and the total water consumption were both increased firstly, and then went decreased, exhibiting marked differences. The difference was the lowest at the budding and leaf expanding stage W_1 , and reached the highest at the fruit enlargement period W_4 . The average daily water consumption amounts were 2.78 L and 8.31 L, respectively, and the total water consumption amounts were 83.39 L and 249.30 L, respectively. Furthermore, stem flow rate curve, solar radiation and temperature curve waveforms displayed almost the same varying trends, different from those of the air humidity curve waveform change trend. The partial correlation analysis between stem flow rate and environmental factors indicated that the main factors affecting the jujube tree stem flow rate varied, but the partial correlation coefficients between the highest solar radiation and the progressive growth periods were 0.767, 0.762, 0.873, 0.838,

0.603 and 0.825, respectively. By employing a multiple linear regression to study stem flow rate of Chinese jujube at different reproductive periods and environmental factors for stepwise regression, with the regression coefficient and correlation coefficient tests, the multiple linear regression equation had reached a significant level.

Keywords: Aksu area; Chinese jujube; growth period; stem flow rate; environmental factors

枣属鼠李科 (*Rhamnaceae*) 枣属 (*Ziziphus* Mill)^[1-2],原产中国,适应性和抗逆性强,对土壤要求不严格,有“铁杆庄稼”之称^[3]。红枣果实营养丰富,含有蛋白质、糖类、多种氨基酸、胡萝卜素、维生素 C、钙、磷、铁等^[4],消费市场巨大。位于新疆环塔里木盆地绿洲带及其边缘区的阿克苏地区,水土光热资源丰富,昼夜温差大,光照时间长,十分适合红枣种植,近年来红枣种植业已经成为当地经济发展的支柱产业^[5-6]。由于农业用水、生产用水以及人们生活用水矛盾日益突出,水资源短缺制约着当地红枣种植业的发展^[7],再加上现行枣树灌溉管理粗放,主要还是以漫灌、沟灌为主,当地表积水时,造成的水的蒸发严重,无效水增多。

本试验灌溉采用林木井式节水灌溉方法^[8],其特点是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,极大的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。在枣树生长季中,运用 Flow-32 包裹式茎流测定枣树茎流速率^[9-10],并在样地内安装 HOBO 小气候仪同步获取

气象数据,长期定点进行观测,分析不同生育期枣树茎流速率的变化规律、枣树耗水情况以及与环境因子之间的关系,为此新型节水灌溉方式下,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

试验地位于新疆阿克苏地区温宿县新疆林科院佳木试验站内(地理位置为 80°32'E,41°15'N),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;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 2916.8℃~3198.6℃,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);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 The 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 ⁻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
0~20	壤土 Loam	1.6067	19.7	2.25	0.672	8.67
20~40	砂土 Sand	1.4013	24.7	0.76	0.553	8.69
40~60	红粘土 Red clay	1.6093	27.3	0.67	0.355	8.70
60~80	砂土 Sand	1.4620	24.4	0.34	0.622	8.78

表 2 试验地样树的主要参数

Table 2 The main parameters of the test on sample trees				
样树 Sample tree	干径 Trunk diameter /cm	株高 Height /m	冠幅 Crown /m	包裹传感器处直径 Diameter at the sensor package/cm
1	3.25	1.96	1.29	3.17
2	3.17	1.87	1.20	3.05
3	3.14	1.94	1.24	3.06
平均 Average	3.18	1.92	1.24	3.09

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 试验于 2014 年 4 月至 11 月进行。在枣园内选取面积为 5 m × 5 m 的试验样地,树龄 4 a,行间距 1 m × 4 m,红枣种类为灰枣,在样地内选择 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(干径 3 cm ± 0.30 cm),作为试验对象。样树的主要参数见表 2,样树平均干径为 3.23 cm,平均株高为 1.93 m,平均冠幅为 1.23 m;去皮后包裹传感器处的平均直径为 3.11 cm,平均面积为 7.58 cm²。灌溉方式采取林木井式节水灌溉方法,根据前期研究的幼龄红枣根系分布区情况^[11],在树行方向,距离样树 10 cm 处安装一个内径 10 cm 和高 20 cm 的带孔垂直井管,供水系统采用常规滴灌系统,滴头流量为 12 L·h⁻¹,用长约 10 cm 的盲管将水引入井管内,每次灌水时间为 5 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;样地内除灌水方式采用林木井式节水灌溉方法外,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 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,选择传感器型号为 SGB25 进行茎流测定,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 利用美国 Dynamax 公司提供的 PC400 软件下载茎流数据,并将样地内 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 和 SPASS 18.0 软件,对试验对象幼龄枣树(地径 3 cm ± 0.3 cm)不同生育期内的茎流特征变化情况以及与环境因子之间关系进行分析处理。根据枣树的生物学特性,并结合人工观察记录情况,把枣树的生育期划分为 6 个时期,详细情况见表 3。

表 3 红枣生育期
Table 3 Phenology dates

生长期 Growth period	萌芽展叶期 (W ₁) Leaf bud stage	开花期 (W ₂) Flowering	坐果期 (W ₃) Fruit setting	果实膨大期 (W ₄) Fruit enlargement	成熟期 (W ₅) Fruit maturity	落叶期 (W ₆) Defoliation
时间 Time	5 月初—6 月底	5 月底—7 月底	6 月底—8 月中旬	8 月中旬—9 月中旬	9 月中旬—10 月中旬	10 月初

2 结果与分析

2.1 不同生育期内枣树茎流速率昼夜变化特征

红枣不同生育期出现的时间见表 3,为了避免枣树相邻两个生育期之间的相互重叠可能影响单一生育期内的茎流变化情况,因此选择生育期内(连续 6 d)未重叠的时间内的枣树茎流变化情况进行分析。由图 1 可以看出,W₁(05-19—05-24)、W₂(06-15—06-20)、W₃(07-09—07-14)、W₅(09-16—09-21)和 W₆(10-11—10-16),枣树夜间均有茎流活动且日变化趋势均呈现单峰曲线,除 W₃ 峰值波动较频繁外,其余四个生育期峰值都趋于稳定;茎流启动时间 W₁ 6:00—8:30、W₂ 7:30—8:00、W₃ 8:00—9:00、W₅ 9:00—9:30 以及 W₆ 8:30—9:00;峰值出现时间 W₁ 11:00—13:30、W₂ 14:30—15:30、W₃ 14:30—15:30、W₅ 14:30—16:00 以及 W₆ 12:00—14:00;峰值大小 W₁ 269.14 ~ 317.12 g·h⁻¹、W₂ 374.05 ~ 452.33 g·h⁻¹、W₃ 453.45 ~ 635.04 g·h⁻¹、W₅ 873.00

~ 1 126.55 g·h⁻¹以及 W₆ 564.61 ~ 659.83 g·h⁻¹,W₁ 茎流速率峰值最小,由于该生育期内阿克苏地区沙尘天气频繁,加上太阳辐射强度较低等外界条件以及枣树本身生物学特性所致,W₃ 曲线上明显看出此生育期内第三天和第四天茎流速率峰值较小,经查阅气象数据可知,这两日太阳辐射强度较低,因此茎流速率峰值相对较小。

W₄(08-14—08-19)枣树茎流速率日变化趋势均呈现明显双峰曲线,即:当茎流速率达到第一个峰值时,出现暂时性下降的现象,不久之后又出现爬升现象,直至第二个峰值出现,但第二个峰值低于第一个峰值,夜间有微弱的茎流活动,茎流启动时间在 8:30—9:00,茎流速率增幅最大出现在 10:30—11:00,第一次峰值出现在 12:30—15:30 之间,大小为 913.49 ~ 1 239.35 g·h⁻¹,第二次峰值出现在 17:30—18:30,大小为 564.66 ~ 710.07 g·h⁻¹,出现此情况是由于中午太阳辐射很强,空气温度较高,植物为了适应严酷环境,保持体内水分不被过度散失,

枣树叶片气孔暂时性关闭,出现了特有的“午休”现象^[12-14],即枣树的蒸腾速率下降,表现出茎流速率下降,但随着时间的推移,太阳辐射强度减弱,空气温度下降,枣树叶片气孔打开,蒸腾速率也出现回升。

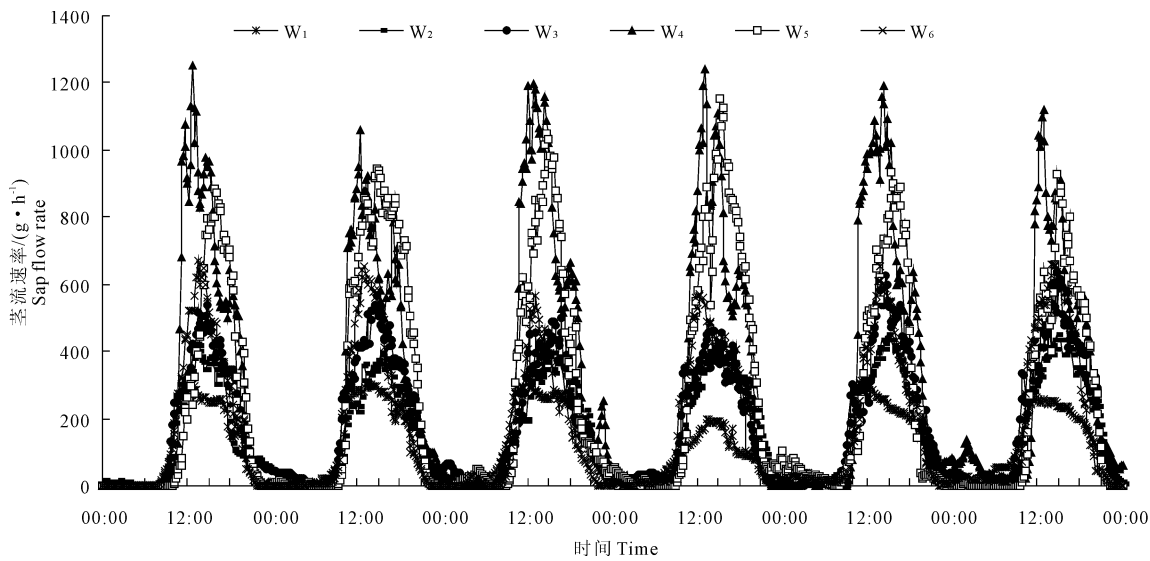


图 1 不同生育期枣树茎流速率昼夜变化情况

Fig.1 Diurnal changes of jujube stem the flow rates at different growth periods

2.2 不同生育期内枣树茎流速率日变化特征

从图 2 可以看出,除 W₄ 外,枣树在其他不同生育期内的日茎流速率变化均呈现出一定的规律性,即:均大体呈现出宽型单峰曲线;W₄ 枣树茎流速率日变化曲线呈现较明显的双峰现象,即:茎流速率第一峰值出现后茎流速率明显下降,但之后出现再次上升现象。不同生育内茎流速率的启动时间、茎流值增幅最大时间、峰值出现时间以及茎流速率降幅最大出现的时间存在一定差异;茎流启动后茎流值增幅最大出现的时间,W₁、W₄ 以及 W₅ 均为 10:00—

10:30,W₂、W₃ 以及 W₆ 均为 9:30—10:00;茎流速率峰值出现时间,W₁ 和 W₆ 为 13:00—13:30,W₂ 为 15:30—16:00,W₃ 和 W₅ 为 14:30—15:00,W₄ 为 12:30—13:00 和 14:30—15:00;茎流速率降幅最大出现的时间,W₁、W₄ 以及 W₆ 为 19:00—20:00;W₂ 和 W₃ 为 20:00—21:00,W₅ 为 18:30—19:00;W₁、W₂、W₃、W₄、W₅ 和 W₆ 茎流速率最大值分别为 333.63,393.19,563.30,1198.80,943.16 g·h⁻¹ 和 655.35 g·h⁻¹。

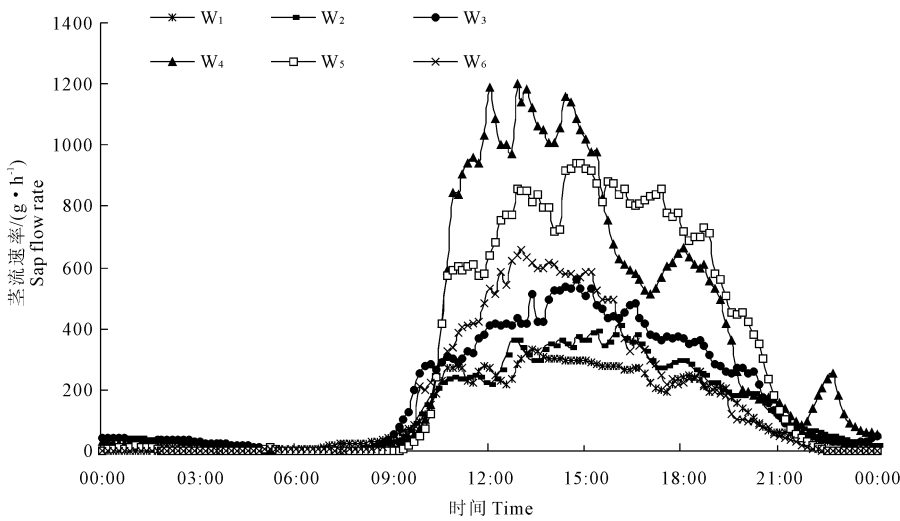


图 2 不同生育期内枣树茎流速率日变化情况

Fig.2 Diurnal changes of jujube stem flows at different growth periods

2.3 不同生育期内枣树茎流耗水情况

由图 3 可知,不同生育期枣树茎流日累积量变化过程曲线均为“S”形,W₄ 和 W₅ 内曲线“S”形较明显;夜间均存在少量茎流累积;但茎流日累积量存在差异,W₄ 最大,为 8.27 L,W₁ 最小,为 2.84 L,其余 W₂、W₃、W₅ 和 W₆ 分别为 3.43、4.58、7.51 L 和 4.19 L。

在不同生育期内各选取连续 30 天的枣树茎流耗水情况作为该生育周期枣树耗水情况进行分析。在枣树生长季中,不同生育期内枣树的日均耗水量

和总耗水量存在明显差异(表 4)。从表 4 可以看出,在整个生长季中日均耗水量和总耗水量均呈现出先增大后减小的趋势,W₁ 最低,日均耗水量和总耗水量为 2.78 L 和 83.39 L,这是由于红枣处在萌芽和展叶阶段,总叶面积较小,加上外界环境条件中太阳辐射较弱,天气不稳定;W₄ 为整个生长季中最大,日均耗水量和总耗水量为 8.31 L 和 249.30 L,此时期不仅枣树自身生理活动旺盛,果实膨大需水量较高,而且外界环境中,太阳辐射强度大,白天温度较高,空气湿度较小。

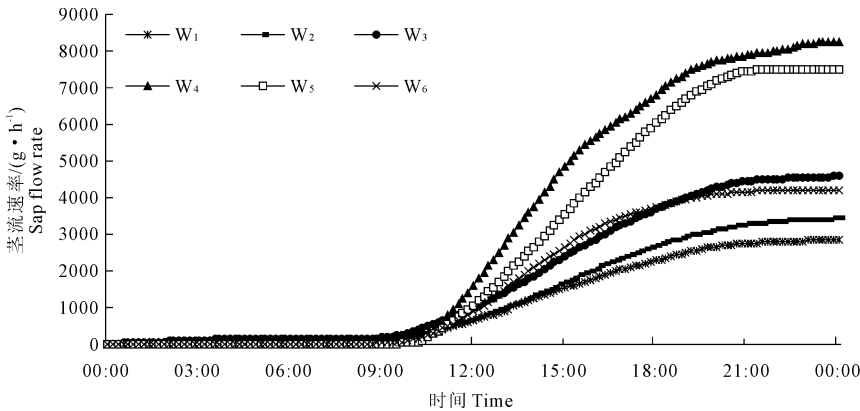


图 3 不同生育期内枣树茎流日累积量变化情况

Fig.3 Daily cumulative amount of changes in jujube stem flow at different growth periods

表 4 不同生育期内枣树耗水情况

Table 4 Water conditions at different growth periods of jujube

项目 Item	枣树生育期 Jujube tree growth period					
	萌芽长叶期 (W ₁)	开花期 (W ₂)	坐果期 (W ₃)	果实膨大期 (W ₄)	成熟期 (W ₅)	落叶期 (W ₆)
	Leaf bud stage	Flowering	Fruit setting	Fruit enlargement	Fruit maturity	Defoliation
天数 Days/d	30	30	30	30	30	30
日平均耗水/L Daily average water consumption	2.78	3.54	4.56	8.31	7.46	4.11
总耗水/L Total water consumption	83.39	106.20	136.80	249.30	223.80	123.30

2.4 不同生育期内枣树日茎流速率与环境因子的关系

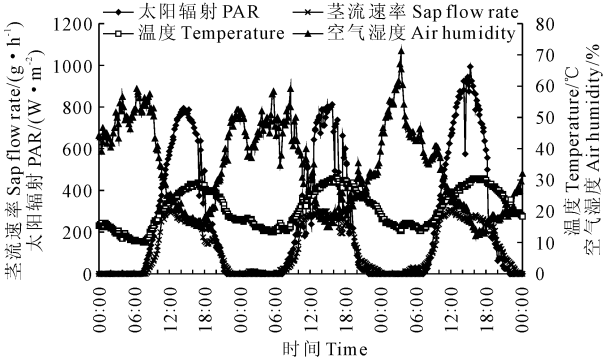
在整个生长季中,枣树茎流速率的变化不仅与自身生理活动有关,而且与外界环境因子关系密切^[12,14-16]。图 4 为枣树各生育期内茎流速率与环境因子之间的变化情况,不同生育期内,外界环境因子虽然存在差异,但茎流速率曲线与太阳辐射和温度曲线波形变化趋势基本一致,与空气湿度曲线波形变化趋势相反,即白天茎流启动后,随着太阳辐射强度的增加,温度开始逐渐上升,空气湿度降低,枣树蒸腾速率逐渐加强,进而茎流速率开始增大;茎流

速率曲线与风速曲线波形变化趋势没有较明显的规律性。外界环境因子中,太阳辐射强度可以影响温度和空气湿度的变化,因此太阳辐射与茎流速率关系最密切。W₆ 的太阳辐射强度最低,但 W₁ 的茎流速率峰值却最小,这是由于 W₁ 枣树生理活动较弱,叶面积较小,蒸腾作用较低,虽然太阳辐射强度相对于 W₆ 较大,但茎流速率峰值却较小;茎流启动后,随着太阳辐射的增大,茎流速率也逐渐增大,但不同生育期内枣树茎流速率的峰值与太阳辐射的峰值出现的时间却存在一定差异,W₁ 和 W₆ 前者略早于后者 2 h,W₃ 和 W₅ 前者略晚于后者 0.5 h,W₂ 两者时

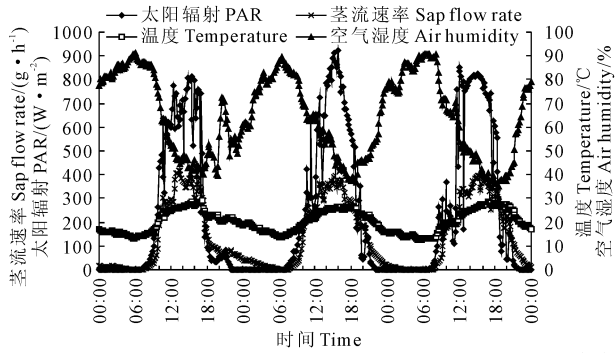
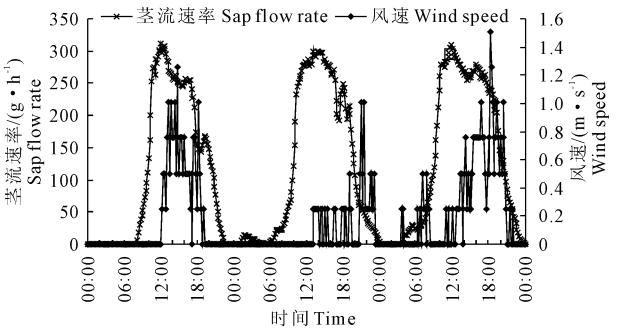
间一致, W_4 由于茎流速率出现两个峰值, 且达到太阳辐射峰值的时间在出现两次茎流速率峰值之间。这是由于 W_4 太阳辐射强烈, 中午空气温度较高, 植物蒸腾旺盛, 当根系吸水无法持续满足蒸腾耗水时, 植物便出现“午休”现象, 这种现象与其他人研究有所不同^[17], 当太阳辐射开始减弱后, 枣树茎流速率

便出现了小幅度的上升现象。

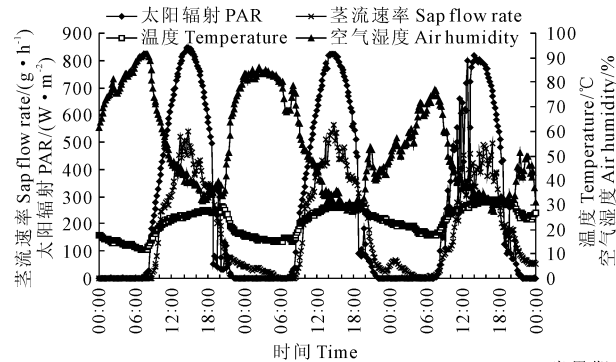
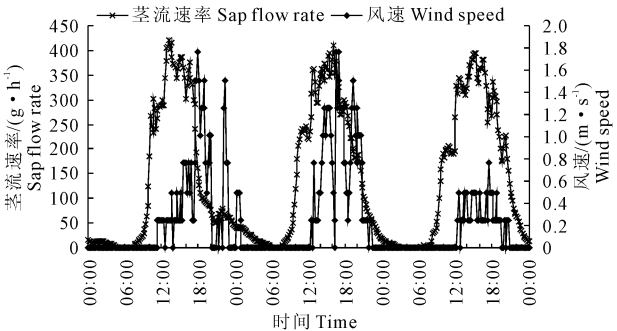
在不同生育期内对枣树液流速率与 4 个环境因子监测值进行偏相关分析, 对 3 个因素的影响进行变量控制, 得出茎流速率与剩下 1 个环境因子的相关系数时, 结果(表 5)可以看出不同生育期内影响枣树茎流速率的主要因子有所差异; 各生育期内太



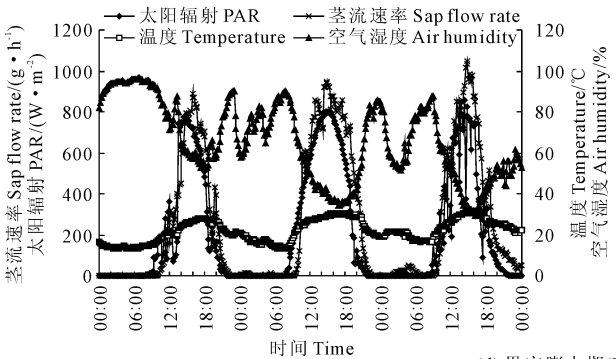
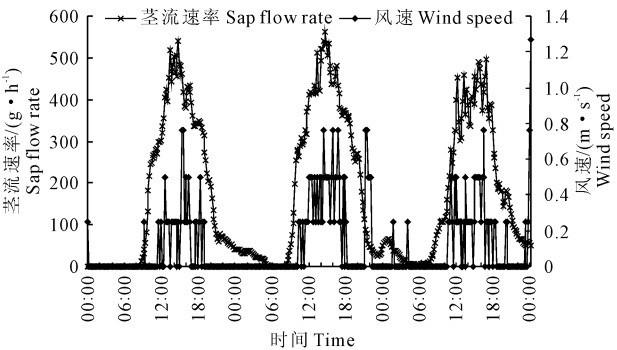
(a) 萌芽展叶期(W_1) Leaf bud stage



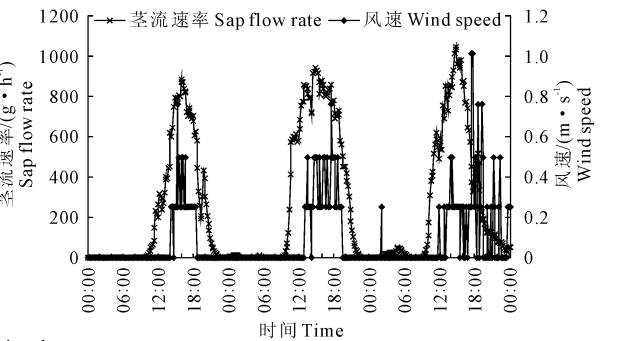
(b) 开花期(W_2) Flowering



(c) 坐果期(W_3) Fruit setting



(d) 果实膨大期(W_4) Fruit enlargement



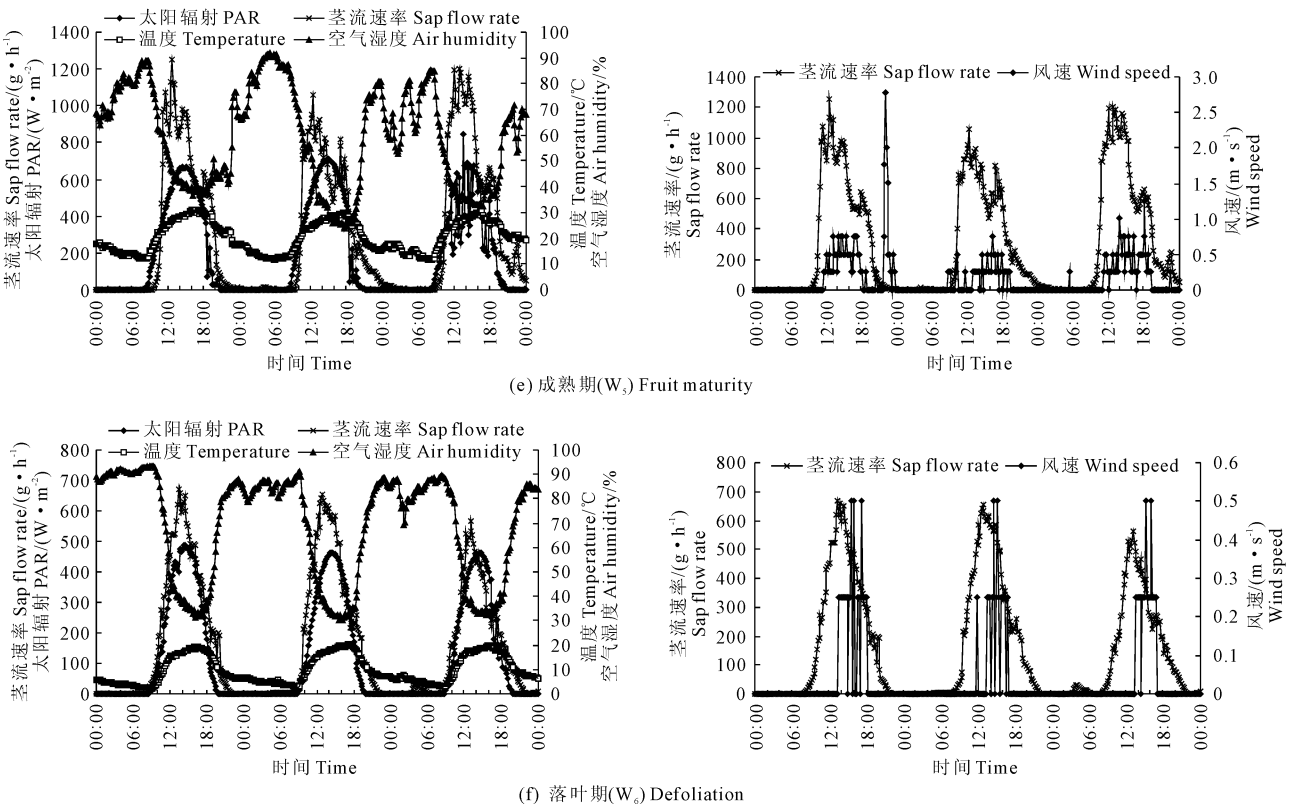


图 4 不同生育期茎流速率与环境因子之间的变化情况

Fig.4 Changes in jujube stem flow rates at different growth periods and environmental factors

阳辐射均为主要影响因子, W₁、W₂、W₃、W₄、W₅ 和 W₆ 太阳辐射偏相关系数分别为 0.767、0.762、0.873、0.838、0.603 和 0.825; 温度在 W₁、W₂、W₄ 和 W₅ 为主要影响因子, 偏相关系数分别为 0.260、0.407、0.307 和 0.256; 在上述偏相关分析的基础上, 利用多元线性回归对不同生育期内枣树茎流速

率与环境因子进行逐步回归, 以 0.01 和 0.05 可靠性作为变量入选和剔除临界值, 建立不同天气条件下液流速率与环境因子的多元线性模型(表 6), 经过回归系数和相关系数检验, 各多元线性回归方程均达到了显著水平。

表 5 枣树不同生育期内茎流速率与各环境因子的偏相关

Table 5 Partial correlations between sap flow rates of jujube at different growth periods and various environmental factors

生长期 Growth period	系数 Correlation	太阳辐射 PAR	温度 Temperature	空气湿度 Air humidity	风速 Wind speed
萌芽展叶期(W ₁) Leaf bud stage	R ²	0.767 **	0.260 **	- 0.111	- 0.200 **
	P	0.000	0.000	0.022	0.000
开花期(W ₂) Flowering	R ²	0.762 **	0.407 **	0.057	- 0.005
	P	0.000	0.000	0.239	0.915
坐果期(W ₃) Fruit setting	R ²	0.873 **	0.098	- 0.122 *	0.086
	P	0.000	0.042	0.012	0.074
果实膨大期(W ₄) Fruit enlargement	R ²	0.838 **	0.307 **	- 0.071	0.122 *
	P	0.000	0.000	0.141	0.011
成熟期(W ₅) Fruit maturity	R ²	0.603 **	0.256 **	0.066	- 0.042
	P	0.000	0.000	0.170	0.380
落叶期(W ₆) Defoliation	R ²	0.825 **	- 0.049	- 0.135 **	- 0.385 **
	P	0.000	0.307	0.005	0.000

注 Note: * * P < 0.01.

表 6 枣树不同生育期内茎流速率与环境因子的多元回归模型

Table 6 Multiple regression model on stem flow rates of jujube at different reproduction periods and environmental factors		
生长期 Growth period	R^2	回归方程 Regression equation
萌芽展叶期 Leaf bud stage	0.907	$SF = -17.297 + 0.253 PAR + 5.365 Ta - 0.914 RH - 37.169 V$
开花期 Flowering	0.927	$SF = -197.585 + 0.258 PAR + 13.570 Ta$
坐果期 Fruit setting	0.940	$SF = 188.265 + 0.421 PAR - 2.344 RH$
果实膨大期 Fruit enlargement	0.934	$SF = -333.764 + 0.786 PAR + 19.430 Ta + 95.932 V$
成熟期 Fruit maturity	0.867	$SF = -298.670 + 0.877 PAR + 21.160 Ta$
落叶期 Defoliation	0.953	$SF = 128.993 + 1.089 PAR - 1.300 RH - 288.334 V$

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

3 结 论

林木井式节水灌溉方式下,枣树整个生长季中,不同的生育期内自身生理活动以及外界环境因子存在异同,因此茎流速率存在异同。本研究通过不同生育期内幼龄枣树茎流变化规律及耗水特征研究,结论如下:

1) 枣树茎流速率昼夜变化趋势除 W_4 呈现明显双峰曲线外,其余生育期内均呈现单峰曲线;田盼盼等指出枣树茎流速率在晴天条件下呈现单峰曲线,但本研究在枣树 W_4 阶段茎流速率呈现双峰曲线,两个峰值分别出现在 12:30—15:30 和 17:30—18:30,两峰之间“午休现象”明显;各生育期内夜间均存在茎流活动;由茎流速率日变化可以看出不同生育期内茎流速率启动、茎流值增幅、出现峰值、茎流速率降幅最大等时间以及茎流速率峰值都有所不同。

2) 在枣树生长季中,日均耗水量和总耗水量均呈现出先增大后减小的趋势, W_1 、 W_4 最大,日均耗水量分别为 2.78 L 和 8.31 L,总耗水量分别为83.39 L 和 249.30 L;不同生育期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。

3) 不同生育期茎流速率曲线与太阳辐射和温度曲线波形变化趋势基本一致,与空气湿度曲线波形变化趋势相反;对枣树液流速率与 4 个环境因子监测值进行偏相关分析,太阳辐射偏相关系数最高,按生育期顺次分别为 0.767、0.762、0.873、0.838、0.603和 0.825;利用多元线性回归对不同生育期内枣树茎流速率与环境因子进行逐步回归,经过回归系数和相关系数检验,各多元线性回归方程均达到了显著水平。

参 考 文 献:

[1] Brummitt P K. Vascular plant families and genera[J]. Kew Royal

Botanic Gardens,1992,158(2):646-647.

[2] 曲泽洲.王永惠.中国果树志枣卷[M].北京:中国林业出版社,1993.

[3] Frak K E, Milard P L, Roux X L, et al. Coupling sap flow velocity and amino acid concentration as analternative method to 15N labeling for quantifying nitrogen remobilization by walnut trees[J]. Plant Physiology,2002,13(2):43-48.

[4] Hanubusa J G. High-level of cyclic AMP in the jujube plum[J]. Journal of Medicinal Plant Research, 1982,15(6):380-384.

[5] 洪 明,赵经华,靳开颜,等.环塔里木盆地红枣灌溉现状调查研究[J].节水灌溉,2013,(2):34-38.

[6] 洪 明,朱航威,穆哈西,等.不同滴头流量及灌水定额下红枣树耗水规律[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):72-77,109.

[7] 漆联全.新疆红枣产业的现状、要求及其发展趋势[J].新疆农业科学,2010,47(S2):8-12.

[8] 李 宏.林木井式节水灌溉方法专利[P].2012103114848.

[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] 岳广阳,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.

[11] 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.

[12] 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,(3):895-905.

[13] 王文明,郑德明,姜益娟,等.滴灌条件下枣树耗水规律的研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(6):38-42,111.

[14] 刘温泉,潘存德.不同天气条件下‘库车白杏’树干液流变化规律及其与环境因子的关系[J].中国农学通报,2014,(31):14-18.

[15] 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,(3):718-724.

[16] 刘洪波,张江辉,白云岗,等.干旱区香梨茎流特征及其与环境因子的关系[J].节水灌溉,2014,(11):25-28.

[17] 田盼盼,董新光,刘 锋,等.干旱区枣树蒸腾规律及其与气象要素的关系[J].水资源与水工程学报,2012,(2):86-89.