

杏树蒸腾与降水和冠层微气象因子的关系

高峻¹ 吴斌² 孟平¹

(1 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局小浪底森林生态系统定位研究站 2 北京林业大学水土保持学院)

摘要: 利用热扩散植物液流技术(TDP)测定时间步长 10 min 的杏树蒸腾数据, 结合同步观测到的降水量和果树冠层微气象因子值, 分析华北低山丘陵区杏树蒸腾耗水规律及其与降水、微气象因子关系。结果表明: 1) 杏树蒸腾速率具有明显昼夜变化特征, 在夜晚杏树蒸腾速率很低, 白天随着太阳辐射强度的逐渐增加, 气温逐渐升高, 蒸腾速率逐渐增强; 而后, 太阳辐射强度减弱, 温度降低, 蒸腾速度减小。且在同一生长期内晴、多云天气日的蒸腾速率高于阴天天气日。2) 杏树在生长季(4—9月)、非生长季(1—3月、10—12月)蒸腾耗水量分别为 294.4、68.4 mm, 分别占全年的 81.1%、18.9%。从 4 月起, 杏树的蒸腾耗水量迅速增加, 5 月和 6 月达到全年的峰值, 此后杏树耗水量逐渐减小。3) 年际总降水与杏树蒸腾量的比值为 1.6, 大于 1.0, 周年降水可以满足杏树蒸腾耗水的需要, 但供(降水量)求(蒸腾量)比各月间差异很大。4) 回归分析表明: 杏树在主要生长期蒸腾速率与冠层净辐射、空气温度、湿度、风速等气象因子有很好的相关性($R^2=0.833$), 各气象因子与杏树蒸腾速率的相关程度为冠层净辐射 > 相对湿度 > 空气温度 > 风速。

关键词: 杏; 蒸腾; 热扩散植物液流; 微气象因子

中图分类号: S718.43 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2010)03-0014-07

GAO Jun¹; WU Bin²; MENG Ping¹. **Transpiration of apricot trees and their relationship with rainfall and canopy micrometeorological factors.** *Journal of Beijing Forestry University* (2010) 32 (3) 14-20 [Ch, 21 ref.]

1 Xiaolangdi Forest Ecosystem Research Station of State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, P. R. China;

2 School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

In this study, transpiration of apricot trees and their relationship with rainfall and micrometeorological factors were investigated using thermal dissipation probe (TDP) technology combined with a micrometeorological system, which record data every 10 minutes. The results show that 1) transpiration rates (T_r) of apricot trees present typical diurnal characteristics, with low T_r at night. At daytime, T_r of apricot gradually increased with increases of irradiance and temperature and reduced with decreases of irradiance and temperature. The stock sap flow flux of apricot trees was higher on clear and cloudy days than on overcast days during the same growing season. 2) Daily T_r increased gradually from April and reached its peak during May and June, then fell gradually in July. T_r of apricot trees during the growing season (from April to September) and non-growing season (from January to March, and from October to December) was 294.4 mm and 68.4 mm, accounting for 81.1% and 18.9% of the entire year, respectively. 3) The ratio of annual precipitation (R) to annual transpiration (R/T) was 1.6, higher than 1.0, which indicates that annual precipitation can satisfy the water use by transpiration of apricot trees at the experimental area. But the R/T varied significantly between months. 4) Regression results showed that T_r was significantly correlated with meteorological factors, such as net radiation (R_n),

收稿日期: 2009-04-10

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A0501)、公益性科研院所基本科研业务费专项(200706)。

第一作者: 高峻, 博士。主要研究方向: 复合农林业、森林生态学。电话: 010-62889636 Email: gaojun@caf.ac.cn 地址: 100091 北京市颐和园后中国林业科学研究院林业研究所。

责任作者: 孟平, 研究员, 博士生导师。主要研究方向: 复合农林业、农(林)业气象。电话: 010-62889601 Email: mengping@caf.ac.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://www.bjfjournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

air temperature (t_a), relative humidity (RH) and wind speed (v) ($R^2 = 0.833$) during the main growing season. The degree of correlation of T_r and meteorological factors was $R_n > RH > t_a > v$.

Key words apricot; transpiration; thermal dissipation sap flow velocity probe (TDP); micrometeorological factor

蒸腾是植物耗水特征的主要方式,在土壤-植物-大气连续体(SPAC)水热传输过程中占有极为重要的地位,一直是农学、林学、气象学、水文学、生态学等相关学科及领域共同关注的重要课题之一。随着水资源紧缺问题的日益严重化,蒸腾问题的研究愈加受国际社会的重视。揭示林木耗水规律及其影响机制对水资源紧缺地区林业建设战略规划、林种布局、树种选择、林分结构配置及林地水分管理等具有重要的理论指导意义。

测量植株蒸腾的方法很多,选择合适的测算技术及方法是上述研究的工作基础。Fredrik等^[1]总结了树干液流量和蒸腾关系的研究成果,指出在正常情况下一天的蒸腾量与液流量相等,因而在日时间尺度上,可以用树干液流量表征蒸腾量。热扩散植物液流(TDP)法^[2]是当前测算林木蒸腾速率的较为稳定的技术,在国外已得到普遍应用。近年来,国内学者运用TDP法对10多种树种的树干液流进行过研究^[3-12,19-20],并进行了环境因子对树干液流影响的探讨^[3,6-12],但基于TDP技术研究杏树(*Prunus armeniaca* L.)蒸腾的应用研究尚未见文献报道。

我国有关杏树耗水研究虽有报道^[8-10],但多数是利用气孔计或叶片光合分析仪为代表的气孔计法测定得到的叶片蒸腾速率数据^[7-9],因蒸腾速率测定技术条件的限制,使原始数据时间的连续性、稳定性、代表性不强。叶片间变异程度较大,在由单叶蒸腾耗水量向整株推算时误差较大,也无法进一步了解蒸腾在一段时期内的连续变化规律及其影响机制等问题,因而不能深入揭示蒸腾耗水规律而影响研究结果的应用价值。本研究采用基于TDP技术测算得到的、周期为1年、监测时间步长10 min的杏树蒸腾数据,结合同步观测得到果树冠层微气象因子值,分析该区杏树蒸腾耗水规律及其与降水和微气象因子的关系,旨在为该区杏生产提供必要的水分生态理论依据,并力图进一步完善杏树蒸腾耗水理论。

1 试验区概况

试验地位于河南省济源市裴村“太行山低山丘陵陵区高效复合经营综合研究”试验区内(35°11'N, 112°03'E),地处太行山南段南麓,属温带大陆性季风气候。全年日照时数为2 367.7 h,年日照率为

54%,稳定通过0℃的多年平均积温为5 282℃,≥10℃的多年平均积温达4 847℃。历年平均降水量641.7 mm。6—9月多年平均降水量为438.0 mm,占全年68.3%。试验区土壤以石灰岩风化母质淋溶性褐土为主,土层厚度50~80 cm;pH值6.7~8.4;石砾含量为10%~18%,有机质含量在10.0 g/kg左右。速效氮20.6~83 mg/kg,速效磷5.7~17.3 mg/kg,速效钾48~99 mg/kg。

2 材料与方法

本研究的具体对象是水平梯田条件下的杏树。梯田南北宽度38 m、东西长度168 m,杏树株行距3 m×4 m,密度787株/hm²,株高2.8 m,南北冠幅1.7 m,郁闭度85%,树带行为东西方向,品种为金太阳,栽植于1998年。

2.1 冠层小气候观测

在试验地中部选择4株代表性较好的以矩形形式相邻果树,在矩形中心处活动面上0.5、1.5 m高度处小气候自动监测系统连续观测空气温度(t_a)、相对湿度(RH)及风速(v)。活动面上1.0 m高度处观测太阳总辐射(Q)、冠层净辐射(R_n)、降雨量(R),并于其中一棵树的南、北冠幅边缘活动面上1.0 m高度处再同步观测 R_n 。每2 min采集1次,每10 min输出1组平均值,数据采集器型号CR10X。观测时间为2006年全年。

2.2 果树液流与蒸腾测算

在上述4棵树的东、南、西、北4个方向处采用TDP(Thermal dissipation sap flow velocity probe)插针式茎流计测定树干液流,确定杏树单株水分消耗(蒸腾),选用TDP30 mm探针,每棵树4根探头,共16根探头(部分探头为国产,已与美国Dynamax公司探头作比较试验,无显著差异,见文献[12])。数据采集器型号和输出时间步长与小气候自动监测系统同步。下部探针距离地面20 cm左右。取4棵树的液流平均值为蒸腾最终测定值。按果树栽培密度,将单株蒸腾速率转换为群体蒸腾速率。液流测算公式^[13]如下:

$$F_s = 0.0119K^{1.231} \times S_A \times 3.6 \quad (1)$$

$$K = \frac{dT_M - dT}{dT} \quad (2)$$

$$S_A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (3)$$

式中: F_s 为树干液流速率(L/h),可近似为蒸腾速率; K 为无量纲参数; dTM 为1日内2个探头的最大温差值,一般出现在夜间至黎明前,此段时间树干木质部基本没有上升液流; dT 为某时刻2个探针的温差值; S_A 为边材面积(cm^2); D 为去皮直径(cm); d 为髓心直径(cm)。为避免对被测树木造成损伤,另在安装TDP的杏树附近随机选取12株生长良好的杏树,利用生长锥在距离地面20 cm左右的杏树主干上钻孔取样,测定直径后,建立直径—边材面积回归关系,并以此确定被测样树的边材面积。

3 结果与分析

3.1 晴及多云天气杏树蒸腾速率日变化规律

将天气划分为晴天多云和阴天两种类型,计算各月同一天气类型对应时刻蒸腾速率平均值,分析

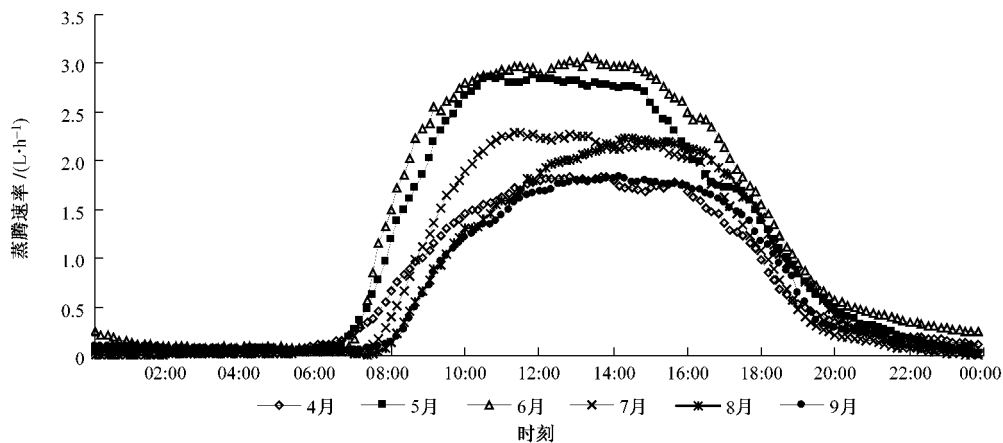


图1 主要生长季节晴—多云天气杏树的蒸腾速率日变化

Fig.1 Diurnal variations of transpiration rate of apricot trees on clear and cloudy days during growing season

从主要生长季的各月蒸腾速率来看,5月和6月杏树在白天的蒸腾速率较高,7月和8月蒸腾速率次之,4月和9月蒸腾速率相对较低。统计表明:在5月和6月期间,晴—多云天气下日内单株 T_r 最大值为2.87、3.06 L/h,全天日平均值为1.14、1.30 L/h;其中白天(10:00—16:00)平均 T_r 为2.71、2.90 L/h。而在4月和9月期间,晴—多云天气下日内单株 T_r 最大值为1.84、1.84 L/h,全天日平均值为0.75、0.71 L/h;其中白天(10:00—16:00)平均 T_r 为1.72、1.66 L/h。6月的单株 T_r 最大值、全天 T_r 日平均值和10:00—16:00间的 T_r 平均值分别较4月大1.22、0.55和1.18 L/h。这与各月的气象条件、土壤水分等有关,但更主要是由于杏树自身的生理状况不同。在4月由于气温升高,杏树已解除休眠进入生长时期,此期叶片尚未充分发育,耗水量较非主要生长季高,蒸腾速率也增加。在5月和6月期间,杏树处于新梢生长、叶片生长、果实发育等时期,

杏树主要与非主要生长季节蒸腾速率(T_r)日变化规律。在杏树主要生长期(4—9月)内的晴—多云天气日,各月 T_r 都有明显的昼夜变化特征(图1)。在日出前和日落后,杏树的蒸腾速率很低,均在0.50 L/h以下,且可能由于白天的蒸腾速率较大,存在滞后效应,日出前相对于日落后更低。日出后随着气温的增加,杏树的蒸腾速率逐渐增加,在12:00达到最大值;随后蒸腾速率又逐渐降低。从各月的平均值来看,07:00—10:00蒸腾速率增加较快;10:00—16:00蒸腾速率相对平稳,维持较高的蒸腾速率;16:00—19:00蒸腾速率降低较快。各月晴—多云天气日蒸腾速率平均值的最大值出现的时间不相同,但均在10:00—16:00出现,这可能与各月参与计算的日天气条件有关。

此期杏树生长旺盛,耗水量亦很高,蒸腾速率全年最大。在7月和8月期间,果实已采收,杏树处于有机营养积累时期,蒸腾速率相对降低。在9月期间,杏树叶片大多老化,蒸腾速率进一步降低。

非主要生长期(1—3月、10—12月)内,晴—多云天气日各月蒸腾速率也都有明显的昼夜变化(图2)。夜晚杏树的蒸腾速率很低;白天日出后随着气温的增加,杏树的蒸腾速率逐渐增加到最大值,随后蒸腾速率又逐渐降低。不过由于杏树自身的生理状况,相对于主要生长期杏树在非主要生长期内蒸腾速率较低。

从非主要生长季的各月蒸腾速率来看,3月和10月杏树在白天的蒸腾速率较高,2月和11月蒸腾速率次之,1月和12月蒸腾速率相对较低。在3月期间,晴—多云天气下日内单株 T_r 最大值为1.51 L/h,全天日平均值为0.65 L/h;其中白天(10:00—16:00)平均 T_r 为1.41 L/h。而在12月期

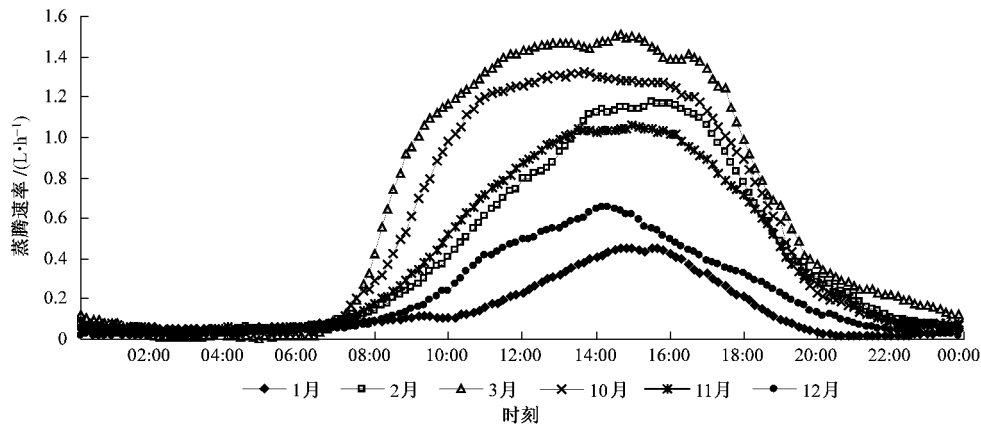


图 2 非主要生长季节晴-多云天气杏树的蒸腾速率日变化

Fig. 2 Diurnal variations of transpiration rate of apricot trees on clear and cloudy days during non-growing season

间,晴-多云天气下单株 T_r 最大值为 0.65 L/h,全天日平均值为 0.22 L/h;其中白天(10:00—16:00)平均 T_r 为 0.51 L/h。在 3 月由于杏树开始萌动,耗水量逐渐增加;而 1 月和 12 月气温降低,杏树处于休眠期基本停止生长,蒸腾速率达全年的最低水平。

3.2 阴天天气杏树蒸腾速率日变化规律

杏树在主要生长期,阴天天气各月的日蒸腾速率与晴-多云天气相似,也有比较明显的昼夜变化特征(图 3)。但由于阴天的太阳辐射强度弱,大气温度相对低,使得在同一生长期,阴天天气状况下,杏树的蒸腾速率较低。如同在 5 月期间,晴-多云天气条件下,日内单株 T_r 最大值为 2.87 L/h,全天日平均值为 1.14 L/h,其中白天(10:00—16:00)平均 T_r 为 2.71 L/h;而在阴天天气,日内单株 T_r 最大值为 2.06 L/h,全天日平均值为 0.75 L/h,其中白天(10:00—16:00)平均 T_r 为 1.89 L/h。晴-多云天气条件下的单株 T_r 最大值、全天 T_r 日平均值和 10:00—16:00 间的 T_r 平均值分别较阴天天气日条件下高 0.81、0.39 和 0.82 L/h。从各月蒸腾速率来看,仍是 5 月和 6 月杏树在白天的蒸腾速率较高,

7 月和 8 月蒸腾速率次之,4 月和 9 月蒸腾速率相对较低。

非主要生长期,阴天天气,杏树的蒸腾速率虽较低,均在 1.0 以下,但仍具有比较明显的昼夜变化特征(图 4)。从各月蒸腾速率来看,3 月和 10 月杏树在白天的蒸腾速率较高,2 月和 11 月蒸腾速率次之,1 月和 12 月蒸腾速率相对较低,与晴-多云天气日相似。

3.3 杏树蒸腾变化规律及其与降水的关系

按 787 株/hm² 的密度将单株蒸腾速率转换为群体或单位土地面积蒸腾量,得到了杏树蒸腾量(T)日际变化曲线(图 5)。从图 5 和表 1 可以看出蒸腾量呈现出明显的日变化或季节变化特征。1—3 月和 11—12 月杏树叶片全部脱落,大部分时间处于休眠期,杏树每天仅需少量水分维持自身的生理活动,日平均值不到 0.3 mm。从 4 月起到 6 月,随着杏树的萌动、开花、叶片的生长,杏树叶面积指数增加,杏树蒸腾耗水量逐渐增加,6 月达到全年的蒸腾耗水量最大月;7 月以后开始逐渐下降,10 月杏树叶片开始大量脱落,蒸腾量大幅度下降。经统计,杏树

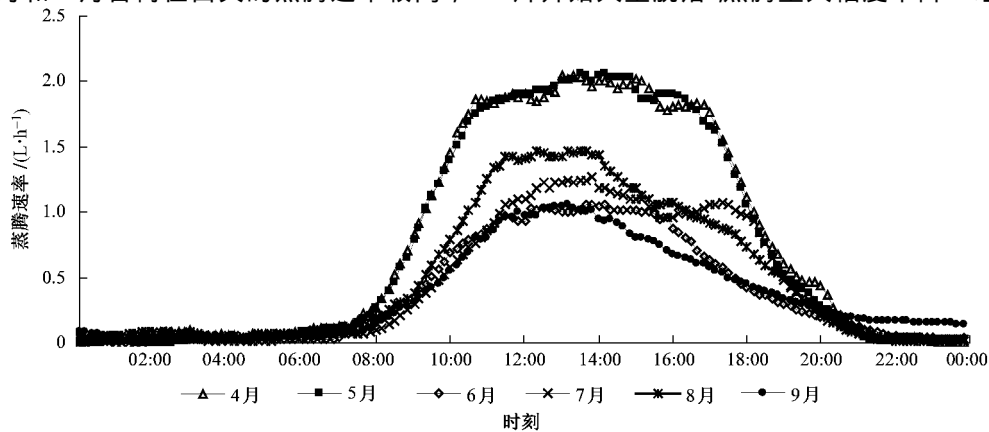


图 3 主要生长季节阴天杏树的蒸腾速率日变化

Fig. 3 Diurnal variations of transpiration rate of apricot trees on overcast days during growing season

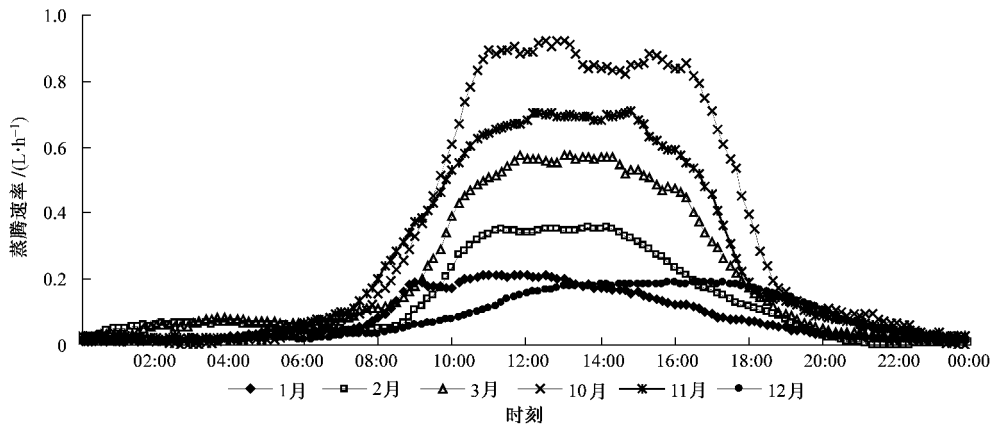


图 4 非主要生长季节阴天杏树的蒸腾速率日变化

Fig. 4 Diurnal variations of transpiration rate of apricot trees on overcast days during non-growing season

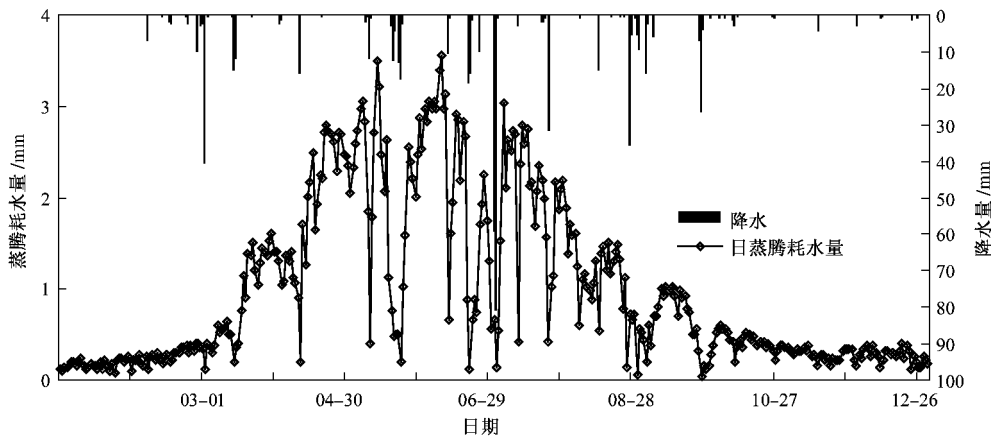


图 5 降雨量及杏树全年蒸腾耗水量日际变化

Fig. 5 Daily variations of rainfall and transpiration of apricot trees of the entire year

全年蒸腾耗水量为 362.8 mm,其中主要生长期(4—9月)、非主要生长期(1—3月、10—12月)分别为 294.4、68.4 mm,分别占全年的 81.1%、18.9%。5、6月耗水量较高,分别达 61.9、66.3 mm。

表 1 杏树年内各月降水量、蒸腾量及其二者之比
Tab. 1 Monthly variation of rainfall (R), transpiration (T) and their ratio (R/T) of the entire year

月份	R/mm	T/mm	R/T
1	0	5.4	0
2	24.9	7.8	3.2
3	74.1	25.1	3
4	21.1	55	0.4
5	68.7	61.9	1.1
6	57	66.3	0.9
7	177.9	57.3	3.1
8	65.4	34.6	1.9
9	71.7	19.3	3.7
10	10.6	13.1	0.8
11	4.6	8.8	0.5
12	7.3	8.4	0.9
总计	583.3	362.8	1.6

从杏树蒸腾量及其与降水量的关系(表 1)可以看出,年际总降水与杏树蒸腾量的比例为 1.6,大于 1.0,说明周年降水可以满足杏树蒸腾耗水的需要。但由于降水集中在 6—9 月,供(降水量 R)求(蒸腾量 T)比各月间差异很大。2、3 月降水量与杏树蒸腾量比为 3.2 和 3.0,水分供给充足,但 4 月杏树水分供求矛盾比较突出,R/T 仅为 0.4;5、6 月 R/T 比为 1.1 和 0.9,说明杏树在 5 月水分供求基本平衡,6 月稍有不足;7 月至 9 月降水充沛,降水量与蒸腾量比值可达 1.9~3.7;1、10—12 月降水较少,R/T 值均在 1.0 以下。在华北低山丘陵区很多地方降水是林地水分的唯一供水来源,但该地区降水多集中在 6—9 月,此时降水浪费的比较多,R/T 值较高;而其他月降水相对较少,R/T 值较低;满足不了植物的需求。针对杏树而言,4—9 月是杏树的主要需水期,此时也正值杏树新梢旺长、结果等时期,故应加强水分管理和农艺措施,保证果树水分的供应。

在非主要生长季节的 1—3 月、10—12 月杏树蒸腾耗水量也较小,同时降水量亦较少,R/T 值大部分仍相对较低,特别需注意 3 月水分的补充,以免影

响杏树的萌动、开花等。在生产上要做好集水、节水等水分储存管理,如在降水量多的月份可采取径流集水措施将这部分水分储存起来用于缺水期等以提高降水的利用率。

3.4 杏树蒸腾与冠层微气象要素的关系

冠层微气象要素对植物蒸腾具有重要的影响作用。本研究利用主要生长期杏树冠层附近 v 、大气温度 t_a 、RH、 R_n 等微气象因子与 T_r 进行相关分析。结果显示 T_r 和 v 、 t_a 、RH、 R_n 因子之间在 0.01 水平的相关系数分别是 0.129、0.414、-0.623、0.729,可见 v 和 T_r 相关性最弱 R_n 和 T_r 相关性最强。为揭示气象因子对蒸腾速率的综合影响,采用逐步回归法对其进行多元回归分析,偏相关分析结果表明 T_r 与 v 、 t_a 、RH、 R_n 的偏相关系数分别为 0.037、0.323、-0.417、0.681,偏相关系数的显著性概率均为 0,说明杏树 T_r 受 v 、 t_a 、RH、 R_n 等因素共同作用。可利用环境因子较好地预测杏树蒸腾速率变化,但在杏树主要生长期,各因子对 T_r 的作用大小是不同的。根据偏相关分析结果可知各气象因子的作用大小依次为: $R_n > RH > t_a > v$ 。回归模型如下:

$$T_r = 0.219 + 0.032v + 0.059t_a - 0.019RH + 0.0057R_n$$

$$(R^2 = 0.833, P < 0.001) \quad (4)$$

4 结论与讨论

1) 李海涛等^[19]指出湿地松 (*Pinus elliotii*) 树干液流表现出明显的昼夜波动,波峰均在白天出现;严昌荣等^[20]对核桃楸 (*Juglans mandshurica*) 研究表明,白天的树干液流变化幅度较大,夜晚比较稳定。从本研究来看,杏树在全年内的蒸腾速率日变化,都表现出了明显的昼夜日变化节律。在夜晚杏树蒸腾速率很低,白天随着太阳辐射强度的逐渐增加,气温逐渐升高,蒸腾速率逐渐增强;而后,太阳辐射强度减弱,温度降低,蒸腾速度减小。

熊伟等^[10]对阴、晴两种典型天气条件下华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 树干液流研究表明,树干液流变化趋势一致,但晴天液流要明显大于阴天液流;本研究也得到相同结果,即在同一生长期,晴-多云天气的蒸腾速率高于阴天天气。Pasquale 等^[21]的研究也表明橄榄树 (*Canarium album*) 晴天树干液流变化幅度大,多云天气条件下液流变化幅度小。

2) 杏树在主要生长期内的蒸腾速率高于非主要生长期,但由于杏树自身的生理特征,在主要生长期和非主要生长期各月的蒸腾速率亦存在不同。

从全年来看,自4月起,果树的蒸腾耗水量迅速增加,杏树月蒸腾耗水量在5、6月达到全年的峰值。此后,杏树耗水量有所减小。从10月开始,随着叶片脱落,蒸腾量逐渐降低,从11—12月,果树叶片全部脱落,每天仅需少量水分维持自身的生理活动,耗水量很低。主要生长期(4—9月)、非主要生长期(1—3月、10—12月)蒸腾分别占全年的81.1%、18.9%。

3) 从杏树蒸腾量及其与降水量的关系来看,年际总降水与杏树蒸腾量的比例为1.6,大于1.0,说明周年降水可以满足杏树蒸腾耗水的需要。但由于该区域降水集中在6—9月,供求比各月间差异很大。故在生产上需做好集水、节水等水分储存管理措施以提高降水的利用率。

4) 影响树木蒸腾的环境因子会因树木种类和生长期而发生变化,这些因子之间是相互制约、相互协调的。孙慧珍等^[3]研究发现白桦 (*Betula platyphylla*) 树干液流是空气相对湿度、空气温度和辐射共同作用的结果,但这3个因子在不同生长阶段的作用是不同的。而对元宝枫 (*Acer truncatum*) 的研究表明,随着时空位移的变化,影响树干边材液流的主导因子也随着发生变化,只有空气温度在任何情况下都是影响液流的主导因子,其他环境因子则对某些观测时段和树干部位的液流产生作用^[11]。因此,影响液流密度的因子十分复杂,对相关环境因子,如土壤水分、温度、湿度和太阳辐射等的监测和研究具有十分重要的意义。

本研究通过多元线性回归结果表明:杏树在主要生长期内的蒸腾速率与冠层净辐射、相对湿度、空气温度和风速呈极显著的线性相关关系,相关程度大小顺序为冠层净辐射 > 相对湿度 > 空气温度 > 风速。鉴于目前土壤水分自动观测技术的限制,本研究在测定蒸腾速率及冠层微气象要素的同时,没有同步自动观测土壤水分。为了进一步深入、系统地分析蒸腾速率的影响机制,则需进一步开展蒸腾速率与包括土壤含水量在内的环境因子关系研究。

参 考 文 献

- [1] FREDRIK L., ANDERS L. Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden [J]. *Agricultural and Forest Meteorology* 2002, 112:67-85.
- [2] GRANIER A. A new method for measure sap flow [J]. *Ann Sci For*, 1985, 42:193-200.
- [3] 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.
- [4] 聂立水, 李吉跃. 应用 TDP 技术研究油松树干液流流速 [J]. *北京林业大学学报* 2004, 26(6):49-56.

- [5] 夏桂敏,康绍忠,李王成,等. 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, 2006, 26(4): 1186-1193.
- [6] 陈崇,李吉跃,王玉涛. 绦柳树干液流变化及其影响因子研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(4): 82-88.
- [7] 徐军亮,马履一. 土壤温度对油松(*Pinus tabulaeformis*)树干液流活动的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6107-6112.
- [8] 涂洁,刘琪璩,李海涛,等. 江西干烟洲湿地松生长旺季树干液流动态及影响因素分析[J]. 林业科学, 2008, 44(1): 46-51.
- [9] 张中峰,黄玉清,李先琨,等. 岩溶区青冈栎树干液流特征及其与环境因子关系[J]. 中国岩溶, 2008, 27(3): 228-234.
- [10] 熊伟,王彦辉,徐德应. 宁南山区华北落叶松人工林蒸腾耗水规律及其对环境因子的响应[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 1-7.
- [11] 王瑞辉,马履一,奚如春,等. 元宝枫生长旺季树干液流动态及影响因素[J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 231-237.
- [12] 王兵,郭浩. 影响丝栗栲树干液流速度的环境因子分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009, 33(1): 43-48.
- [13] 高峻,吴斌,孟平,等. 水分胁迫对金太阳杏幼树蒸腾、光合特性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2007, 30(3): 36-40.
- [14] 姜涛. 北方干旱地区大扁杏叶片光合生理生态特性研究[J]. 北方园艺, 2008(7): 39-41.
- [15] 刘硕,贺康宁. 不同土壤水分条件下山杏的蒸腾特性与影响因子[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(6): 66-70.
- [16] 张加延,孙升. 李杏资源研究与利用进展[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 7-11.
- [17] 张劲松,孟平,刘尉,等. 热扩散式树木液流国产化传感器性能分析[J]. 林业科学研究, 2007, 20(3): 370-374.
- [18] GRANIER A, HUC R, BARISAH S. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 78: 19-29.
- [19] 李海涛,向乐,夏军,等. 应用热扩散技术对亚热带红壤区湿地松人工林树干边材液流的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(10): 31-38.
- [20] 严昌荣, DOWNEY A, 韩兴德, 等. 北京山区落叶阔叶林中核桃楸在生长中期的树干液流研究[J]. 生态学报, 1999, 37(6): 793-797.
- [21] PASQUALE G, GIOVANNI G. Sap flow of several olive trees estimated with heat-pulse technique by continuous monitoring of a single gauge[J]. *Environmental and Experimental Botany* 2003, 49: 9-20.

(责任编辑 赵 勃)

《中国林业教育》2010年开办“知名教授介绍”栏目启事

《中国林业教育》是教育部主管的由北京林业大学和中国林业教育学会共同主办的全国性林业教育刊物,双月刊,80页,面向国内外公开发行人。2010年,为了大力宣传对农林业教育和科研工作做出重大贡献的林业教育战线的专家学者,本刊拟在封2、封3刊登“知名教授介绍”栏目。

“知名教授介绍”栏目投稿须知:

1. 稿件标题统一为“××××(学科)教授×××”,例如“生态学与生态系统科学教授王国庆博士”。
2. 稿件应主要介绍知名教授的基本情况(职务、职称、学历、主要研究方向、主讲课程等)、学习经历、工作经历、主要的教育教学成果和科研成果(课题项目、获奖情况、论文发表情况等)、其他突出贡献等。作者可登录 <http://journal.bjfu.edu.cn/jy/> 查询范例。
3. 稿件字数为2000字左右,并附1张本人2寸免冠彩色像片(电子版)。
4. 版面费:暂不收取费用。
5. 投稿邮箱:liuxiaoling@bjfu.edu.cn。

《中国林业教育》编辑部