

# 滴灌条件下核桃树蒸腾速率与气象因子的关系

赵经华, 洪明, 穆哈西, 马英杰, 王长新

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 以新疆阿克苏6年生的核桃树为观测对象, 采用大田试验方法, 利用美国Dynamax公司生产的包裹式茎流仪测定不同生育期内单株核桃树不同时间段的蒸腾速率, 研究核桃树蒸腾变化规律及其与气象因子的关系。得出了蒸腾速率的日变化规律是晴天条件下, 各月呈单峰曲线, 阴天条件下, 各月呈双峰或多峰曲线; 蒸腾速率与太阳辐射和气温  $T_a$  具有较好的正相关关系, 与湿度  $RH$  具有负相关关系

**关键词:** 滴灌; 核桃树; 蒸腾速率; 气象因子

**中图分类号:** S275.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)04-0776-04

## Relationship between plant transpiration rate and meteorological factors of walnut trees under drip irrigation

ZHAO Jing hua, HONG Ming, MU Ha xi, MA Ying jie, WANG Chang xin,

(College of Hydraulic and Civil Engineering of Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** The transpiration rates of single 6 year old walnut tree at different periods during different growth stages in Aksu of Xinjiang were measured using the packaged sap flow system produced by Dynamax Company of America. The relationship between the variation laws of transpiration rate of walnut trees and meteorological factors was investigated. The results indicated that the diurnal variation of the transpiration rate shows the single peak curve in sunny days, and the bimodal or multi peak curve in cloudy days. Transpiration rate had a good positive correlation with solar radiation and temperature  $T_a$ , but negative correlation with humidity  $RH$ .

**Key words:** drip irrigation; walnut tree; transpiration rate; meteorological factor

林果业已成为新疆农村经济发展、农民增收致富的支柱产业。截至2012年底, 新疆特色林果种植面积突破133.33万 $\text{hm}^2$ , 新疆核桃种植面积已达29.17万 $\text{hm}^2$ , 核桃种植面积居全国第二位<sup>[1]</sup>。核桃因其核仁营养丰富、风味独特和用途多样具有很高的医疗保健价值, 同时因其便于管理、结果早、经济效益快而备受青睐。发展核桃产业, 提高了农民的生活水平, 成为新疆农民增收的重要途径。

蒸腾作用是维持核桃树生长发育过程中水分代谢的基础, 是核桃树营养物质传输、吸收和维持体温的唯一途径, 对核桃树体内水分和矿物质营养的循环输送以及光合作用的正常进行等都起着非常重要的作用。蒸腾速率的大小能直接反映核桃树蒸腾作用的强弱, 它同时与光、热、水、气等气象条件有着极为密切的关系<sup>[2-6]</sup>。Fredrik<sup>[7]</sup>等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。马媛<sup>[8]</sup>、孙慧珍<sup>[9]</sup>、刘晓荣<sup>[10]</sup>等研究得出了各品种光合速率与温度、光合有效辐射、气孔导度和蒸腾速率呈正相关。刘鑫<sup>[11]</sup>、王龙<sup>[12]</sup>等结果表明枣树蒸腾速率的日变化呈单峰曲线, 13时达到最大, 气象因子中太阳辐射是影响枣树蒸腾的主导因子。高峻<sup>[13-14]</sup>等研究得出了杏树在主要生长期中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。梅闯<sup>[15]</sup>对库勒勒香梨3种树形的光合生理特性进行了比较研究, 3种树形的蒸腾速率变化均和净光合呈正相关。龚道枝<sup>[16]</sup>等的研究结果表明气象因子与桃树树干液流量之间的数量关系能很好地预测桃树的蒸腾耗水量。李国臣<sup>[17]</sup>等分析了不同供水条件下的黄瓜茎流日变化规律及环境因素对茎流变化的影响, 提出了基于作物茎流变化的作物亏水诊断方法。因此研究核桃树叶蒸腾速率的变化特征为其合理灌溉提供理论参考和实践指导。

收稿日期: 2014-06-13 修回日期: 2015-05-24 网络出版时间: 2015-07-23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150723.2029.022.html>

基金项目: 新疆维吾尔自治区重大专项(2011301031); 国家科技支撑计划项目(2011BAD29B05); 新疆维吾尔自治区水利水电工程重点学科资助项目(XJZDXK-2002-10-05); 新疆水利科技项(2013G03)

作者简介: 赵经华(1979-), 男(蒙古族), 新疆奇台人, 副教授, 博士, 主要从事节水灌溉技术研究及教学工作。E-mail: zhaojinghua\_xj@126.com

## 1 试验区概况与方法

### 1.1 试验区概况与试验材料

试验区位于新疆阿克苏地区红旗坡新疆农业大学林果试验基地内,距市区 13 km,地理位置为东经 80°14',北纬 41°16',海拔 1 133 m。地处天山中段的托木尔峰南麓,塔里木盆地北缘,属于温带大陆性气候,多年平均年日照时数 2 855~2 967 h,无霜期达 205~219 d,多年平均降水量 42.4~94.4 mm,多年的平均蒸发量为 1 978 mm,多年平均太阳总辐射量 544.115~590.156 kJ/cm<sup>2</sup>,多年平均气温 11.2 °C。试验

表 1 试验采用的灌溉制度及降雨量

Tab. 1 Irrigation system and rainfall used in tests

处理	萌芽期	开花结果期	果实膨大期	硬核及油脂转化期	成熟期	休眠期	累积量
生育期	4月2日至4月10日	4月11日至5月3日	5月4日至6月5日	6月6日至8月30日	9月1日至10月30日	11月1日至4月2日	
降雨量/mm	-	-	29.2	92.6	19.7	-	141.5
灌水次数	1	2	3	7	1	1	15
灌水定额/mm	75	90	135	315	45	120	780

### 1.3 参数测定及方法

利用 wat chdog 自动气象站观测太阳辐射、气温、相对湿度、风速及降雨量等气象数据。采用美国 Dynamax 公司生产的包裹式茎流仪(Dynagage)测定核桃树不同生育期内单株蒸腾不同时期的蒸腾速率,结合气象观测数据,分析核桃树蒸腾规律,并通过回归分析建立蒸腾速率与空气湿度、温度、辐射和风速之间的回归方程。

包裹式茎流仪安装方法:选择一棵核桃树安装茎流仪,在树杆合适的位置,要求没有疤结和损伤,将待测处清洗干净,用细砂纸磨掉外层死皮,喷上特氟龙涂层,测出心材面积。在探头上抹上导热硅脂 G4,探头在茎杆上固定后,不能再上下移动,以防损坏探头,包好后,用透明胶带绑一下,再加上防护套,防止太阳辐射和水分渗入对探头。系统每 30 min 采集一次数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 核桃树蒸腾速率日变化规律

由于天气的多变性,将其划分为晴天、阴天两种类型,并对各月同一天气类型对应时刻的核桃树蒸腾速率日变化进行比较。

晴天天气蒸腾速率日变化情况见图 1,核桃树的蒸腾速率日变化在各月均表现为单峰曲线的形式,且蒸腾速率昼夜变化较大。在夜间,蒸腾速率维持在较低水平;在清晨,太阳辐射弱,气温低,空气相对湿度高,核桃树蒸腾速率上升缓慢;随着太阳辐射的逐渐增加,气温增高,空气相对湿度下降,气孔导度不断升高,蒸腾速率逐渐增加。各月在核桃树生育阶段内蒸腾速率大致开始的时间都是在 8 时至 9 时 30 分之间。5 月-7 月核桃树蒸腾开始的较早,在早晨 8:00 左右。5 月份蒸腾速率上升较慢,在 15 时左右达到一天中的最大值,而后蒸腾速率逐渐降低,且降落速度较快。6、7 月份蒸腾速率提升较快,均在 14 时 30 分左右达到最大值,且相对 5 月份较高,这主要是由于 6、7 月份叶面积指数增加,太阳辐射增强,土壤温度和空气温度迅速升高,核桃树需要大量的

地面积为 0.133 hm<sup>2</sup>,地下水埋深在 6 m 以下。

核桃树龄为 6 年,树高 3.5~4 m,主栽品种为温 185,树体矮小,树冠紧凑,行距 2 m×3 m,核桃园整齐,树势均匀。阿克苏地区 4 月上、中旬开花,果实 9 月中旬成熟。

### 1.2 试验方法

试验中滴灌核桃的具体灌溉制度见表 1。滴灌管采用北京绿源公司生产的压力补偿式滴灌管,管径 16 mm,滴头间距为 50 cm,滴头流量为 3.75 L/h,每行树两侧 2/3 树冠半径处各布置一根滴灌管,灌水定额为 45 mm,共计灌水 15 次。

水分来维持自身的水分平衡,因此树木耗水量急剧加大。

8 月份蒸腾开始时间向后推移,在早上 8 时 30 分左右,但上升较快,在 14 时 30 分左右达到最大值。9 月份蒸腾启动最晚,在早上 9 时 30 分左右,且上升较慢,一天中的最大值也远远低于前几个月,这主要是由于 9 月份核桃已经到了成熟期,核桃树叶子也逐渐脱落,树木蒸腾耗水量减少,树干蒸腾速率下降。各月核桃树蒸腾速率夜间都较小,且变化较平缓,蒸腾速率均在 500 g/h 以下,这是由于在夜间没有了太阳的辐射,温度也随之降低,同时湿度逐渐增大,核桃树的生理活动也随太阳的降落逐渐减缓,消耗的水分较少,故蒸腾较小。

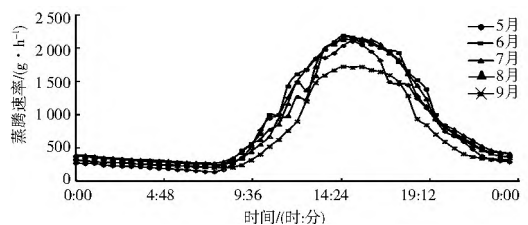


图 1 晴天核桃树蒸腾速率日变化

Fig. 1 Diurnal variations of transpiration rate of walnut tree in sunny days

核桃生育期内,在阴天条件下,蒸腾速率呈明显的昼夜变化,见图 2,除 6 月份外其它月份蒸腾速率曲线白天均呈多峰曲线趋势,而夜间还是保持一种较平稳的趋势。说明白天蒸腾速率受天气变化影响较大,而夜间受天气变化影响较小。这主要是由于核桃树的各生理活动多在白天进行,受太阳辐射影响较大,天气的变化往往影响核桃树的太阳辐射,而夜间本就没有太阳辐射,核桃树生理活动也比较弱,因此受天气变化影响较小。阴天条件下清晨蒸腾速率的开始时间、达到峰值的时间与晴天条件下相似,都是在早上 9 时左右,在 14 时 30 分左右出现了峰值。各月阴天天气蒸腾速率比晴天均有所降低。

### 2.2 核桃树蒸腾速率与气象因子之间的变化规律

核桃树蒸腾速率  $T_r$  与气象因子之间的变化规律见图 3,蒸腾速率的日变化趋势与相对湿度相反,但呈单峰曲线;

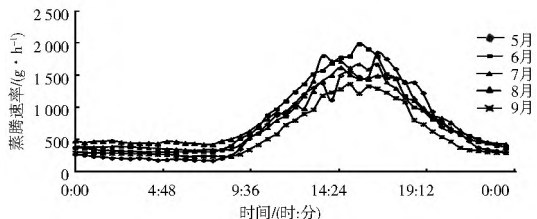


图 2 阴天核桃树蒸腾速率日变化

Fig. 2 Diurnal variations of transpiration rate of walnut tree in cloudy days

蒸腾速率的日变化趋势与太阳辐射、大气温度和风速一致, 都呈单峰曲线分布, 随着太阳辐射强度、大气温度和风速的增强而增大。总体来看, 夜间没有太阳辐射、气温较低且湿度较高, 蒸腾速率较小; 清晨时太阳辐射强度逐渐增强、气温

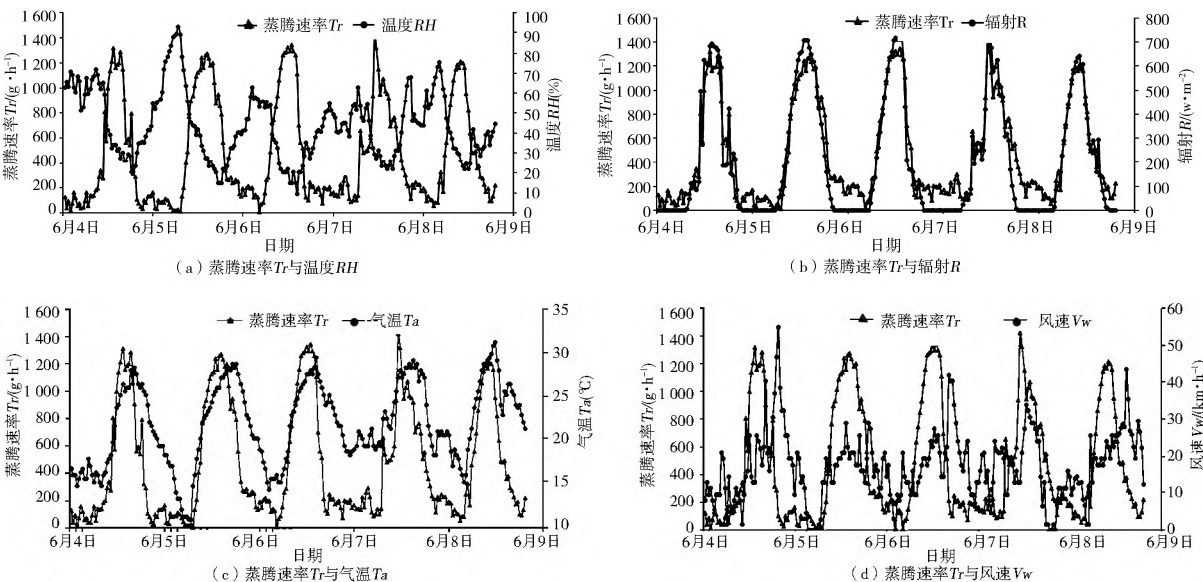


图 3 蒸腾速率与气象因子日变化

Fig. 3 Diurnal variations of transpiration rate and meteorological factors

表 2 偏相关分析

Tab.2 Partial correlation analysis

控制变量		RH	R	Ta	Vw	Tr
RH	相关性	1.000	-0.568	-0.920	-0.651	-0.649
	显著性(双侧)	-	0.000	0.000	0.000	0.000
R	相关性	-0.568	1.000	0.713	0.370	0.969
	显著性(双侧)	0.000	-	0.000	0.000	0.000
Ta	相关性	-0.920	0.713	1.000	0.604	0.775
	显著性(双侧)	0.000	0.000	-	0.000	0.000
Vw	相关性	-0.651	0.370	0.604	1.000	0.260
	显著性(双侧)	0.000	0.000	0.000	-	0.000
Tr	相关性	-0.649	0.969	0.775	0.260	1.000
	显著性(双侧)	0.000	0.000	0.000	0.000	-
RH	相关性	1.000	0.319	-0.867	-0.656	-
	显著性(双侧)	-	0.000	0.000	0.000	-
R	相关性	0.319	1.000	-0.246	0.494	-
	显著性(双侧)	0.000	-	0.000	0.000	-
Ta	相关性	-0.867	-0.246	1.000	0.661	-
	显著性(双侧)	0.000	0.000	-	0.000	-
Vw	相关性	-0.656	0.494	0.661	1.000	-
	显著性(双侧)	0.000	0.000	0.000	-	-

注: a 表示单元格包含零阶 (Pearson) 相关。

随之升高, 大气湿度逐渐减小, 蒸腾速率逐渐增加; 之后, 太阳辐射强度逐渐减弱、气温降低、湿度增加, 导致蒸腾速率逐渐减弱; 到次日凌晨, 蒸腾速率降低到最低值。

### 2.3 核桃树蒸腾速率与气象因子的相关关系

气象因素主要是太阳辐射强度、大气温度、相对湿度等综合指标对蒸腾速率的影响。而气象各因素之间又是相互影响、相互制约的关系, 如太阳辐射强度增大, 引起大气温度升高, 相对湿度下降, 使得蒸腾速率增大。

采用 SPSS19.0 分析了蒸腾速率与气象因子的日间变化关系进行偏相关及回归分析, 偏相关分析(表 2)结果表明蒸腾速率  $Tr$  与太阳辐射  $R$ 、气温  $Ta$  和风速  $Vw$  呈正相关关系, 相关系数分别为 0.969、0.775 和 0.260; 与湿度  $RH$  呈负相关关系, 相关系数为 -0.649。

蒸腾速率与气象因子直接进行非线性回归分析, 回归方程如下:

$$Tr = 413.151 - 5.846RH + 1.437R + 10.714Ta - 12.69V_w$$

$$R^2 = 0.843$$

式中:  $Tr$  为蒸腾速率( $g/h$ );  $RH$  为大气湿度(%);  $R$  为太阳辐射( $W/m^2$ );  $V_w$  为风速( $km/h$ )。

### 3 结论

(1) 蒸腾速率的日变化规律是晴天条件下, 各月都表现为单峰曲线, 阴天条件下, 各月表现为双峰或多峰曲线。由于各月气象因素、土壤水分及核桃树本身的生理状况不同, 各月蒸腾速率出现峰值的时间、峰值大小、以及蒸腾速率的大小均有所不同。

(2) 蒸腾速率与气象因子的偏相关分析表明, 蒸腾速率与太阳辐射和气温  $Ta$  具有较好正相关关系, 相关系数分别为 0.969 和 0.775; 与风  $V_w$  速呈正相关关系, 但是相关系数较低, 仅为 0.260; 与湿度  $RH$  具有良好负相关关系, 相关系数为 -0.649。

(3) 蒸腾速率与气象因子直接进行非线性回归分析, 回归方程为:  $Tr = 413.151 - 5.846RH + 1.437R + 10.714Ta - 12.69V_w$ ,  $R^2 = 0.843$ 。

#### 参考文献(References):

- [1] 王国安, 张强, 黄闽敏, 等. 新疆核桃产业现状与分析[C]. 第八届全国干果生产、科研进展学术研讨会论文集, 2013: 5-8. (WANG Guo'an, ZHANG Qiang, HUANG Min min, et al. The present situation and analysis of Xinjiang walnut industry[C]. Collected Papers in the Eighth National Dried Fruit Production Symposium on Research Progress, 2013: 5-8. (in Chinese))
- [2] 湛晓芳. 鸡桑叶片光合速率与气孔导度及微气象因子的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 197-201. (CHEN Xiao fang. On the correlativity between the photosynthetic rate of morus australis Poir and the leads degree of air hole as well as tiny meteorological phenomena factors[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(11): 197-201. (in Chinese))
- [3] 赵英, 张斌, 赵华春. 农林复合系统中南酸枣蒸腾特征及影响因子[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2035-2040. (ZHAO Ying, ZHANG Bin, ZHAO Hua chun. Transpiration of choerospondias axillaris in agroforestry system and its affecting factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11): 2035-2040. (in Chinese))
- [4] 邓继峰, 丁国栋, 赵媛媛, 等. 盐池地区三种典型树种蒸腾速率的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 161-165. (DENG Ji feng, DING Guo dong, ZHAO Yuan yuan, et al. The transpiration rates of three typical trees in yanchi district[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(7): 161-165. (in Chinese))
- [5] 杨泽粟, 张强, 赵鸿, 等. 半干旱地区旱作春小麦净光合速率和蒸腾速率对微气象条件的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 56-61. (YANG Ze su, ZHANG Qiang, ZHAO Hong, et al. The response of net photosynthetic rate and transpiration rate of spring wheat to meteorological factors in loess plateau semi-arid rairfed region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(7): 56-61. (in Chinese))
- [6] 孙鹏森, 马履一, 王小平, 等. 油松树干液流的时空变异性研究[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(5): 1-6. (SUN Peng sen, MA Fu yi, WANG Xiao ping, et al. Temporal and spacial variation of sap flow of Chinese pine[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2000, 22(5): 1-6. (in Chinese))
- [7] 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.
- [8] 马媛, 刘娟, 廖康, 等. 不同杏品种光合日变化特性研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(7): 1189-1195. (MA Yuan, LIU Juan, LIAO Kang, et al. Daily photosynthetic variation characteristics of different varieties of apricots[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(7): 1189-1195. (in Chinese))
- [9] 孙慧珍, 康绍忠, 李志军, 等. 梨树叶片蒸腾特性研究[J]. 西北植物学报, 2007, 27(11): 2275-2280. (SUN Hui zhen, KANG Shao zhong, LI Zhi Jun, et al. Leaf transpiration characteristics of pear tree[J]. Journal of Northwest Plants, 2007, 27(11): 2275-2280. (in Chinese))
- [10] 刘晓荣, 廖飞雄, 王建新, 等. 白鹤芋 5 个品种光合、蒸腾速率日变化及相关影响因子[J]. 中国观赏园艺研究进展, 2013: 365-368. (LIU Xiao rong, LIAO Fei xiong, WANG Jian xin, et al. Daily changes of photosynthesis and transpiration rate and effecting factors of five spathiphyllum varieties[J]. Advances in Ornamental Horticulture of China, 2013: 365-368. (in Chinese))
- [11] 刘鑫, 卢桂宾, 刘和, 等. 枣树蒸腾速率变化与气象因子的关系[J]. 经济林研究, 2011, 29(11): 65-71. (LIU Xin, LU Gui bin, LIU He, et al. Relationship between variation of transpiration rate in jujube trees and meteorological factors[J]. Nonwood Forest Research, 2011, 29(11): 65-71. (in Chinese))
- [12] 王龙, 张旭贤, 姚宝林, 等. 不同滴灌定额对红枣净光合速率和蒸腾速率的影响[J]. 塔里木大学学报, 2013, 25(2): 37-42. (WANG Long, ZHANG Xu xian, YAO Bao lin, et al. Different drip irrigation quota on the jujube net photosynthetic rate and transpiration rate[J]. Journal of Tarim University, 2013, 25(2): 37-42. (in Chinese))
- [13] 高峻, 吴斌, 孟平. 杏树蒸腾与降水和冠层微气象因子的关系[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(3): 14-20. (GAO Jun, WU Bin, MENG Ping. Transpiration of apricot trees and their relationship with rainfall and canopy micrometeorological factors[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32(3): 14-20. (in Chinese))
- [14] 高峻, 孟平, 张劲松, 等. 华北石质山区杏树蒸腾规律和蒸降差分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 538-542. (GAO Jun, MENG Ping, ZHANG Jin song, et al. Analysis on transpiration and difference between evapotranspiration and precipitation of apricot trees in the rocky mountain area of northern China[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(4): 538-542. (in Chinese))
- [15] 梅闯, 罗淑萍, 徐敏, 等. 库尔勒香梨 3 种树形光合特性的比较[J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34(2): 115-118. (MEI Chuang, LUO Shu ping, XU Min, et al. Comparison of photosynthetic characteristics in different tree shapes of Korla fragrant pear[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011, 34(2): 115-118. (in Chinese))
- [16] 龚道枝, 王金平, 康绍忠, 等. 不同水分状态下桃树根茎液流变化规律研究[J]. 农业工程学报, 2001, 4(17): 34-38. (GONG Dao zhi, WANG Jin ping, KANG Shao zhong, et al. Variations of stem and root sap flow of peach tree under different water status[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 4(17): 34-38. (in Chinese))
- [17] 李国臣, 于海业, 马成林. 作物茎流变化规律的分析及其在作物水分亏缺诊断中的应用[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2004, 34(4): 573-577. (LI Guo chen, YU Hai ye, MA Cheng lin. Diurnal variation of plant stem sap flow and its application in plant water deficiency diagnosis[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2004, 34(4): 573-577. (in Chinese))