

文章编号: 1000 - 2286 (2005) 05 - 0723 - 06

水分胁迫对 3 个藤本树种蒸腾耗水性的影响

张迎辉¹, 王华田¹, 亓立云¹, 赵文飞¹, 王迎²

(1. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东省泰山 林业科学研究院, 山东 泰安 271000)

摘要: 生长季节对水分胁迫条件下 2 年生盆栽常春藤、扶芳藤、小叶扶芳藤 3 个藤本树种的土壤水分状况、蒸腾速率及叶片水势等生理生态指标日变化进行了连续测定, 以弄清水分胁迫对各树种蒸腾耗水特性的影响。研究表明, 扶芳藤具有土壤水势、土壤容积、含水量最低, 蒸腾速率却最大的特性, 是最耗水的树种; 小叶扶芳藤耗水特性表现为土壤水势和土壤容积含水量最高, 蒸腾速率最低, 是最不耗水的树种; 常春藤介于这两者之间。相关性分析表明, 这 3 个树种的蒸腾速率与气孔导度呈显著正相关, 与土壤水势或土壤含水量、叶片水势有一定的相关性, 与环境因子相关性不明显。

关键词: 蒸腾速率; 水势; 土壤含水量; 耗水性; 抗旱性

中图分类号: S687.3 **文献标识码:** A

Influence of Soil Moisture on Transpiration Water Consumption of Three Lianas

ZHANG Ying - hui¹, WANG Hua - tian¹,
QI Li - yun¹, ZHAO Wen - fei¹, WANG ying²

(1. College of Forestry, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2. Forestry Academy of Taishan, Shandong Province, Tai'an 271000, China)

Abstract: The water consumption characteristics of three potted lianas, *Hedera hepalsis*, *Euonymus fortunei* and *Euonymus fortunei* Minus under water stress condition, were studied during the growing season by the measurement of the diurnal change of their soil water potential, soil humidity, leaf water potential and transpiration. The result showed that *Euonymus fortunei* is a species of water potential which has the lowest soil humidity but the highest transpiration, *Euonymus fortunei* Minus is a species of the lowest water consumption, the water consumption of *Hedera hepalsis* is between *Euonymus fortunei* and *Euonymus fortunei* Minus. Correlation analysis showed that the three liana tree species' transpiration and stomatal conductance were correlated significantly, and relations between transpiration and soil water potential, soil humidity and leaf water potential were not significant.

Key words: transpiration; water potential; soil humidity; water consumption; drought resistance

植物的蒸腾作用在植物生命过程中发挥重要的作用,也是植物耗水的重要途径。蒸腾速率是衡量植物水分平衡的重要生理指标,可以反映树种调节自身水分损耗能力及适应干旱环境的能力,其作为树木的一个重要水分参数,早已受到广大学者的关注,并取得了研究成果^[1-4]。植物水势和蒸腾速率是判断和预测植物水分亏缺两个常用的生理指标^[5],其中植物水势的测定被认为是了解植物水分亏缺程度的最直接方法,而叶水势由于能够更直接地反映土壤、植物和大气环境对植物体内水分可利用性的

收稿日期: 2005 - 05 - 09 修回日期: 2005 - 09 - 04

基金项目: 国家自然科学基金 (30371147, 2003) 和山东农业大学博士基金资助项目

作者简介: 张迎辉 (1979 -), 女, 硕士生, * 通讯作者: 王华田, 博导, E-mail: wanght@sdau.edu.cn

综合影响,在很多研究中作为衡量植物水分状况的指标^[6]。对不同水分状况下许多树木蒸腾速率的研究表明,蒸腾作用随着干旱胁迫的发展而降低,叶片水势与土壤含水量也随干旱胁迫的发展而降低,但是不同树种降低的趋势是不同的^[7-9]。本文从植物蒸腾耗水的角度出发,测定了 3 个树种耗水的连日变化状况,分析了蒸腾速率与叶片水势、土壤水势、土壤含水量的关系以及周围环境因子对它的影响,研究和比较了各树种在不同土壤水分梯度条件下的蒸腾耗水特性,比较了不同树种对体内水分状况的调节能力,对于如何选择园林绿化树种有一定的借鉴意义。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验地点位于山东农业大学校内网室,地理位置为东经 117°08',北纬 36°11',海拔 150 m,属暖温带季风大陆性气候,年均气温为 12.8℃,极端最高气温为 40℃,极端最低气温为 -22℃,无霜期 186.6 d;年降水量 600~800 mm,降水多集中于 7~8 月份,期间降水量占年降水量的 53%,6~9 月份占 74%,因此春秋季节严重干旱,年均相对湿度 65%。

试验材料选取我国北方主要的藤本绿化树种扶芳藤 (*Euonymus fortunei*)、小叶扶芳藤 (*Euonymus fortunei* Minus)和常春藤 (*Hedera hepalsensis*),3 年生,盆栽。土壤为沙壤土,容重为 1.29 g/cm³。泥质花盆,上口直径 38 cm,下口直径 24 cm,高 30 cm,每盆装土重 17 kg。苗木栽植以后,将花盆埋入试验地中,正常管理,苗木成活和生长良好。

1.2 研究方法

5 月下旬至 6 月上旬,将盆栽材料取出,摆放于距地面 1 m 高的试验台上,用双层塑料袋包裹花盆表面和表土,采用自然蒸散失水方法形成水势梯度,测定 3 个藤本树种在土壤水势连续下降过程中叶片蒸腾耗水的连续日变化过程,重复 3 次。测定过程自 06:00 至 18:00,间隔 2 h 测定 1 次。测定内容包括土壤水势、土壤容积含水量、叶片水势、叶片蒸腾速率以及大气和叶室环境因子变化过程。

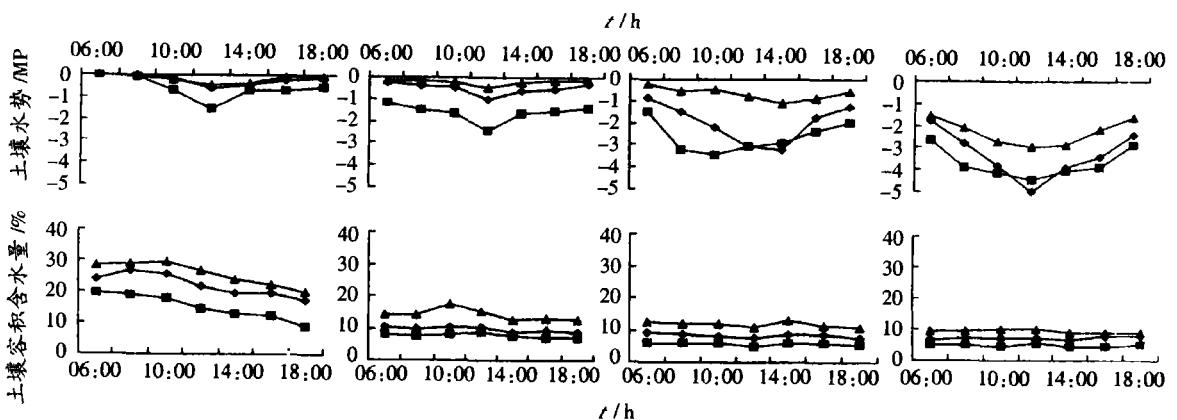
土壤水势和叶片水势用数显式 P_{syp10} 露点水势测量记录仪测定。将 PST-55 埋入各树种根际土壤中,平衡 24 h,与主机连接,即可瞬时读取土壤水势。选择生长发育状况与蒸腾作用一致的叶片,用直径 0.5 cm 打孔器取小叶圆,迅速置于 C-52 样品室内,用 P_{syp10} 露点水势测定叶片水势。用 MP-406 水分探头测定土壤容积含水量。

用 PPS-1 光合作用测定系统测定叶片蒸腾速率和气孔导度,同时测定大气和叶室辐射强度、空气温湿度等环境因子。

用 Excel 和 SPSS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 各树种土壤水分状况的变化规律



常春藤 *H. hepalsensis* 小叶扶芳藤 *E. fortunei* Minus 扶芳藤 *E. fortunei*

图 1 干旱 1、3、5、8 d 土壤水势 (上) 和土壤容积含水量 (下) 的日变化规律

Fig 1 Diurnal soil water potential (above) and soil humidity (below) variation in the 1, 3, 5, 8 day on drought

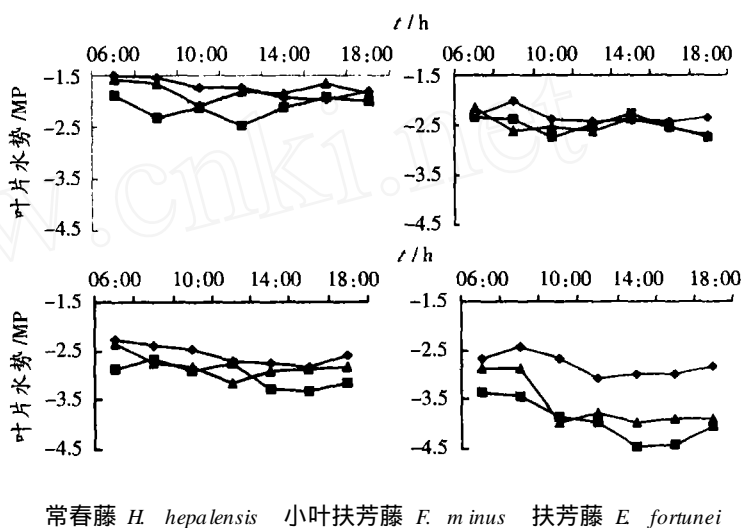
从图 1(上)可以看出,连日蒸腾耗水造成土壤水分状况逐渐恶化,土壤水势的时间变化序列呈现一定的规律性,表现为日周期内土壤水势自早晨至中午逐渐下降,至一个最低值然后开始上升,有的甚至恢复到了早上的水平,基本呈 V 字型曲线。随着干旱时间的加长,各树种的蒸腾耗水逐渐增多,而没有外来水分的补充,各树种的土壤水势有明显的降低。土壤水分状况连日变化规律明显,表现为随着干旱胁迫天数的增加,各树种土壤水势都呈逐渐下降的趋势,变化规律都是在经过一段缓慢的下降后,然后急剧下降,但是开始急剧下降的天数不同,这可以看作是急剧下降的阈值不同,常春藤和扶芳藤急剧下降的阈值是干旱胁迫的第 3 d,而小叶扶芳藤急剧下降的阈值是第 5 d。从图 1 中可以看出扶芳藤的土壤水势明显低于其他两个树种,小叶扶芳藤一直保持比较高的土壤水势。

土壤容积含水量对于地上部分水分的消耗有很重要的作用,它决定耗水量的大小。从图 1(下)看出,干旱胁迫 1 d 各树种的土壤容积含水量有明显的下降趋势,各树种土壤容积含水量大小为:小叶扶芳藤 > 常春藤 > 扶芳藤。从干旱胁迫第 3 d 到第 8 d,各树种土壤容积含水量都呈下降趋势,但 1 d 内的变化幅度不大。从土壤容积含水量的连日变化可以明显看出,3 个树种的土壤含水量的变化趋势一致,都是呈最初急剧下降然后缓慢降低的趋势,因为到了干旱胁迫试验后期,植物用于蒸腾的水分减少,土壤含水量变化幅度小。3 个树种之间的土壤容积含水量也有明显差异,小叶扶芳藤一直保持比较高的土壤含水量,而扶芳藤的土壤容积含水量总是最低。

2.2 土壤水分状况对叶片水势变化过程的影响

从图 2 中看出,试验开始阶段这 3 个藤本树种凌晨叶片水势均很高,接近饱和状态。随着气温升高、太阳辐射增强,空气相对湿度降低,叶片气孔开度加大,由蒸腾作用引起的叶片失水也逐步增加,叶片水势下降,于 12:00~14:00 达全天最低值。随温度下降,太阳辐射减弱,相对湿度增加,叶片水势出现上升。因此这 3 个树种的叶片水势日变化基本呈“V”形曲线变化趋势。在干旱第 1 d 内的水势日变化幅度不是很大,总体上是先下降到一个最低值后又有所上升,基本呈 V 字型。持续耗水第 3 d 至第 5 d,叶片水势变化规律大致与第 1 d 相同,但各树种日周期内叶片水势的变化幅度明显加大。经过连续 8 d 的蒸腾耗水,各树种的叶片水势均大幅度下降,说明干旱后期植物环境水分亏缺严重,植物体内水势变化幅度较大。3 个树种的叶片水势在经过一段时间的干旱胁迫后差异性明显,常春藤的叶片水势最高,而扶芳藤的最低。

树木叶片水势的变化受蒸腾作用和土壤水分状况的影响,就影响叶片水分含量的水量平衡因素看,受水分输入和蒸腾耗散顺态过程的影响,蒸腾耗水对叶片水势的影响较土壤水分状况对叶片水势的影响更快速而直接。植物经过夜间的水分平衡过程,凌晨叶片水势已经与土壤水分达到平衡状态,能够很好地反映土壤水分状况的差异。白天,由于蒸腾作用对叶片水分状况的影响较土壤水分状况的影响更快速而直接,因此叶片水势的顺态变化就很难准确反映土壤实际水分状况。从研究结果看,树种之间叶片水势与土壤水势变化过程的耦合也不尽相同,如常春藤比小叶扶芳藤有较高的叶片水势却有较低的土壤水势和土壤容积含水量。造成这一变化的原因可能是叶片水势受其他环境条件或树种本身遗传特性的影响,因此叶片水势与植物水分状况联系不太密切,不足以反映植物的水分状况,这与许多研究结果是一致的^[6]。



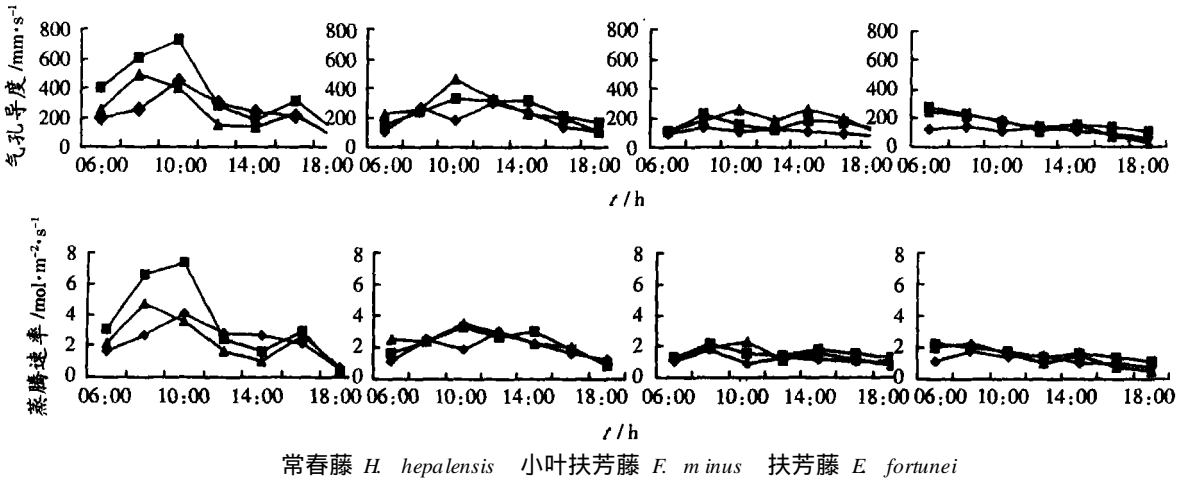
常春藤 *H. hepalsensis* 小叶扶芳藤 *F. minus* 扶芳藤 *E. fortunei*
图 2 干旱 1、3、5、8 d 叶片水势的日变化规律

Fig 2 Diurnal leaves water potential variation in the 1, 3, 5, 8 day on drought

2.3 环境因子对叶片蒸腾作用的影响及其相关性

气孔是气体进出植物体的主要通道,光合作用需要的 CO_2 和蒸腾作用放出的 H_2O 都是通过气孔进出植物体的。因此气孔导度的变化将对光合作用和蒸腾作用产生重要影响。气孔导度是受叶片蒸腾作用影响的,气孔导度的变化又对叶片蒸腾作用产生反馈调节作用。研究发现,3个树种的气孔导度的日变化及连日变化规律与其蒸腾速率的变化规律相似:在干旱胁迫第 1 d 各树种的气孔导度日变化过程为不规则双峰型,随着干旱胁迫时间的增加,各树种气孔导度逐渐减小;第 3 d、第 5 d 的变化趋势与第 1 d 相似,但峰值逐渐下降;第 8 d 气孔导度峰值提前至早晨 06:00,此后逐渐下降。

树木蒸腾作用消耗的水分依靠根系从土壤中吸收。随着干旱胁迫程度加重,树木根系吸水能力下降,蒸腾速率下降,蒸腾高峰提前。这 3 个树种从干旱胁迫第 1 d 到干旱胁迫第 8 d 的蒸腾速率日变化大体上体现了这种变化规律。干旱胁迫第 1 d,3 个树种的蒸腾速率日变化均为双峰型。正午时分,由于气温和光照强度均达到最大,叶片部分出现短暂的水分亏缺,叶肉细胞间隙的水汽饱和程度明显降低,气孔张开度显著减小或部分关闭,气孔阻力增加,蒸腾强度因之大幅度下降。午后,随着气温的降低,光照减弱,气孔张开度增加,气孔阻力有所降低,蒸腾强度随之上升。傍晚,气孔大量关闭,气孔阻力还会升高,蒸腾强度下降。从蒸腾速率看,各树种日均蒸腾速率表现为:扶芳藤 > 常春藤 > 小叶扶芳藤。其中,扶芳藤的蒸腾速率远高于其他 2 个树种,属于高蒸腾树种。扶芳藤的日均土壤水势明显低于其他 2 个树种,土壤含水量也是最低,而蒸腾速率却远大于其他 2 个树种,说明其保持水分的能力最差,是最耗水的树种。常春藤的土壤含水量和土壤水势低于小叶扶芳藤,日均蒸腾速率却相对较高,比小叶扶芳藤耗水。



常春藤 *H. hepalsensis* 小叶扶芳藤 *F. minus* 扶芳藤 *E. fortunei*
 图 3 干旱 1、3、5、8 d 气孔导度(上)和蒸腾速率(下)的日变化规律

Fig 3 Diurnal stomatal conductance (above) and soil transpiration (below) variation in the 1, 3, 5, 8 day on drought

蒸腾作用的强弱主要取决于土壤中可利用的水分、所必需的能量以及叶片内外的水汽压(水势)梯度。水分胁迫造成气孔关闭,气孔导度降低,蒸腾速率大幅度下降。蒸腾速率反映植物潜在的耗水能力。从图 3 中看出,经过干旱胁迫后的各树种蒸腾速率都有明显的下降,但是下降的幅度不尽相同。扶芳藤和常春藤的蒸腾速率下降比较迅速,而小叶扶芳藤的蒸腾速率下降速度相对比较缓慢。随着干旱胁迫的进一步加剧,土壤中可利用水分的逐渐减少,蒸腾速率的差异也越来越小,在干旱后期各树种的蒸腾速率相当接近,各树种蒸腾速率的变化曲线与土壤水分状况有关,也与树种自身对水分的调节能力有关。

相关分析结果(表 1)表明,土壤水势或土壤容积含水量与叶片水势之间、叶片水势与主要环境因子之间存在一定的相关性。叶片处在土壤与大气中间,其水势的变化必然受两者的影响和控制,日出后叶片水势的迅速下降更大程度上是由于叶片迅速蒸腾失水和水分输导组织效率不足引起,其后水势的持续下降原因更为复杂,蒸腾失水、土壤湿度低和根系吸水困难、以及输导组织管胞空穴化和木质部栓塞引

起的输导能力降低,都会导致叶片水势下降,引起气孔关闭和蒸腾速率下降^[10,11]。

气孔运动受许多因素的调节,如 CO₂、光、温度、水分、风等^[12]。相关分析表明,气孔导度与蒸腾速率显著相关,与土壤水势或土壤含水量、叶片水势有一定的相关性,与周围环境因子相关性不显著。这说明,树种的气孔调节对叶片蒸腾耗水发挥的作用是非常重要的:相关性强的树种,气孔对叶片蒸腾耗水有很强的调节能力,气孔能够随着空气湿度的下降逐渐减小开度,从而降低蒸腾速率;相关性小的树种,气孔不能随着空气湿度的变化及时有效地调整开度,在大气干旱的天气条件下蒸腾作用强烈。

各树种的蒸腾速率与气孔导度呈显著相关,充分说明了两者之间的相互影响关系。各树种的蒸腾速率与土壤水势或土壤含水量有一定的相关性,与叶片水势以及周围环境因子的相关性均未达到显著水平。说明这 3 个藤本树种的蒸腾作用主要受土壤水分条件的影响。

表 1 常春藤、扶芳藤及小叶扶芳藤各指标间的相关性

Tab 1 The correlations among all factors of *H. hepalsensis*, *E. fortunei* and *F. minus*

项目	树种	土壤水势	土壤含水量	叶片水势	蒸腾速率	气孔导度	叶面温度	光照强度	大气湿度
土壤水势	1	1.000							
	2	1.000							
	3	1.000							
土壤含水量	1	0.828	1.000						
	2	0.895	1.000						
	3	0.604	1.000						
叶片水势	1	0.807	0.984*	1.000					
	2	0.923	0.846	1.000					
	3	0.945	0.831	1.000					
蒸腾速率	1	0.690	0.970*	0.936	1.000				
	2	0.891	0.995**	0.805	1.000				
	3	0.816	0.804	0.907	1.000				
气孔导度	1	0.724	0.986**	0.973*	0.991**	1.000			
	2	0.904	0.993**	0.809	0.999**	1.000			
	3	0.772	0.718	0.843	0.988**	1.000			
叶面温度	1	0.110	0.624	0.574	0.719	0.736	1.000		
	2	0.326	0.671	0.180	0.708	0.693	1.000		
	3	-0.308	0.515	-0.010	-0.061	-0.159	1.000		
光照强度	1	0.222	0.727	0.708	0.857	0.830	0.976*	1.000	
	2	0.234	0.621	0.140	0.648	0.628	0.987*	1.000	
	3	0.140	0.781	0.409	0.257	0.127	0.895	1.000	
大气湿度	1	0.639	0.776	0.653	0.836	0.769	0.671	0.632	1.000
	2	0.695	0.785	0.422	0.842	0.850	0.796	0.692	1.000
	3	-0.249	0.559	0.063	0.307	0.299	0.723	0.567	1.000

注: 1. 常春藤; 2. 扶芳藤; 3. 小叶扶芳藤。

3 结 论

(1) 土壤水分的供应速率影响到苗木根系吸水速率,随着土壤水分消耗增加且没有外来水分补充时,水分胁迫会越来越严重,因此土壤水势与土壤容积含水量呈逐日下降趋势。

(2) 土壤 - 植物根系 - 叶片 - 大气组成了植物生长的水分传输系统,由土壤到大气的水势梯度决定了水分传输的速率,其中叶水势是植物根系吸水及水分从植物体向外扩散的关键因素。随土壤水势降低,根系的吸水速率下降,从而导致叶片水势的相应降低^[13]。在连续的干旱胁迫下,这 3 个树种的叶片水势均呈逐渐下降趋势。

(3)扶芳藤在最低的土壤水势和叶片水势下有最高的蒸腾速率,说明了扶芳藤保持水分的能力比其他 2 个树种低,为高蒸腾树种。常春藤的土壤含水量和土壤水势低于小叶扶芳藤,日均蒸腾速率却相对较高,比小叶扶芳藤耗水。

(4)相关性分析表明:各树种的蒸腾速率与气孔导度呈显著正相关,蒸腾速率与土壤水势或土壤容积含水量、叶片水势与蒸腾速率有一定的相关性,蒸腾速率与其他一些环境因子的相关性不强。

参考文献:

- [1] Levitt J. Responses of plant to environment at press[J]. Academic Press, 1972, 1: 33 ~ 42
- [2] Philip J R. Plant Water Relations: Some Physical Aspects[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1966, 17: 245 ~ 268
- [3] 王孟本, 李洪建, 柴宝峰. 树种蒸腾作用、光合作用和蒸腾效率的比较研究 [J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 401 ~ 406
- [4] 巨关升, 刘奉觉, 郑世锴. 稳态气孔计与其它 3 种方法蒸腾测值的比较研究 [J]. 林业科学研究, 2000, 13(4): 360 ~ 365.
- [5] 黄明斌, 邵明安. 不同有效土壤水势下植物叶片水势与蒸腾速率的关系 [J]. 水利学报, 1996(3): 1 ~ 6
- [6] 杨朝选, 焦国利, 王新峰, 等. 干旱过程中桃树茎和叶水势的变化 [J]. 果树科学, 1999, 16(4): 267 ~ 271.
- [7] 李吉跃, 周平, 招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响 [J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1 380 ~ 1 386
- [8] 阮成江, 李代琼. 半干旱黄土丘陵区沙棘叶水势及其影响因子 [J]. 陕西林业科技, 2000(1): 1 ~ 4
- [9] 汪华田. 北京市水源保护林区主要树种耗水性研究 [D]. 北京林业大学博士学位论文:北京林业大学, 2002
- [10] 汪华田, 马履一. 利用热扩式边材液流探针 (TDP)测定树木整株蒸腾耗水量的研究 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 661 ~ 667.
- [11] 申卫军, 张硕新, 刘立科. 几种木本植物木质部栓塞的日变化 [J]. 西北林学院学报, 1999, 14(1): 22 ~ 27.
- [12] 李合生主编. 现代植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002
- [13] 汪百田, 张府娥. 黄土高原主要造林树种苗木蒸腾耗水特性 [J]. 南京林业大学学报, 2003, 27(6), 93 ~ 97.