

## 几种主要绿化树种苗木耗水特性的研究

康博文<sup>1</sup>, 侯琳<sup>1</sup>, 王得祥<sup>1</sup>, 刘建军<sup>1</sup>, 韩黎明<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 延安市林科所, 陕西 延安 716000)

**摘要:**在自然条件下采用盆栽方法, 用 Licor-6400 便携式光合系统测定仪和 TC30K 精密天平等仪器, 对 10 种绿化树种的日蒸腾速率和实际蒸腾耗水速率进行了测定, 得出了在正常水分条件下供试树种的蒸腾速率和蒸腾耗水速率。对不同气候条件下和昼夜不同时间段各树种的耗水特性进行了比较。研究结果表明, 蒸腾耗水速率平均值在  $0.0474 \sim 0.0747 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  之间, 山杏最高, 黄松最低, 山杏比黄松高 1.58 倍, 其他树种由高到低依次为臭柏 ( $0.071 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、紫穗槐 ( $0.0643 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、刺槐 ( $0.0625 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、火炬树 ( $0.0616 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、侧柏 ( $0.0566 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、奥地利黑松 ( $0.0553 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、油松 ( $0.0547 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 和榆树 ( $0.0538 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )。平均蒸腾速率从大到小依次为火炬树 ( $4.990 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、山杏 ( $2.675 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、榆树 ( $1.830 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、紫穗槐 ( $1.000 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、刺槐 ( $0.975 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

**关键词:**绿化树种; 苗木; 蒸腾速率; 蒸腾耗水速率

**中图分类号:**S718.512.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2005)01-0029-05

### A Study on the Characteristics of Water Consumption by Transpiration of the Seedlings of Main Afforestation Tree Species

KANG Bo-wen<sup>1</sup>, HOU Lin<sup>1</sup>, WANG De-xiang<sup>1</sup>, LIU Jian-jun<sup>2</sup>, HAN Li-ming<sup>2</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Forestry Institute of Yan'an, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

**Abstract:** Changes of transpiration rates of 10 main afforestation tree species cultured in plastic barrels and facture water consumption status were studied. The average transpiration rates per day and the facture water consumption rate of the 10 plants were compared. The authors obtained the quantity and rate of water consumption by transpiration under the normal water condition, and compared the characteristics of water consumption in different weather conditions and different periods in daytime and nighttime. The average facture water consumption rate of the plants are  $0.0474 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  to  $0.0747 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ , the plants whose average facture water consumption rate are highest and lowest are *Armeniaca sibirica* and *Pinus ponderosa* respectively, and others are *Sabina vulgaris* ( $0.071 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ), *Amorpha fruticosa* ( $0.0643 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ), *Robinia pseudoacacia* ( $0.0625 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ), *Rhus typhina* ( $0.0616 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ), *Platycladus orientalis* ( $0.0566 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ), *Pinus nigra* var. *austriaca* ( $0.0553 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ), *P. tabulaeformis* ( $0.0547 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) and *Ulmus pumila* ( $0.0538 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) from high to low. The plants whose average transpiration rates from high to low are *R. typhina* ( $4.990 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), *A. vulgaris* ( $2.675 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), *U. pumila* ( $1.830 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), *A. fruticosa* ( $1.000 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and *R. pseudoacacia* ( $0.975 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ). By studying the water consumption characteristics and the quantity of water consumption, it would be the beneficial to afforestation by selecting tree species of low water consumption under condition of water deficiency.

**Key words:** afforestation tree species; seedling; transpiration rate; water consumption

收稿日期: 2004-02-25

基金项目: 国家科技攻关项目重大专项专题(2002BA516A15-05); 西北农林科技大学科研专项“林木耗水与光合作用关系”

作者简介: 康博文(1963-), 男, 陕西周至人, 助研, 主要从事植物生态方面研究。

干旱是制约黄土高原生态恢复的关键环境因素,因树种选用不当导致土壤干化的问题已越来越引起人们的注意<sup>[1-4]</sup>。通过对不同树种耐旱生理、耗水特性等方面的研究,可为合理选择树种并进行适当搭配,建立较为完善的人工植被恢复系统提供理论依据。

准确测算植物耗水量是环境水分研究的关键技术,蒸腾速率作为一个重要的水分参数,反映了植物潜在的耗水能力,国内外许多学者对此进行了大量研究,并取得了研究成果<sup>[5-14]</sup>。但多以蒸腾速率为指标,测算树木的瞬时耗水量,而对不同树木实际耗水的定量研究较少。本研究对 10 种黄土高原常见绿化树种的蒸腾速率、实际耗水量及其中的阔叶树种蒸腾速率与环境因子的关系进行了测定、分析,旨在为水资源条件较差的黄土高原地区选择耗水量较少的树种,进行植被恢复和实现水量平衡下或轻度土壤干化层条件下的林木培育提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

万武选在西北农林科技大学校园实验地进行。选用树种为黄土高原常见和新近推广的 10 个造林树种,它们是刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)、榆树(*Ulmus pumila*)、火炬树(*Rhus typhina*)、油松(*Pinus*

*tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、臭柏(*Sabina vulgaris*)、奥地利黑松(*Pinus nigra var. austriaca*)、美国黄松(*P. ponderosa*)。不同树种之间苗木个体大小基本一致。

### 1.2 方法

2003 年 3 月中旬用塑料桶移栽苗木,每桶盛土 10 kg,每树种栽 6 桶,每桶栽 1 株。4 月苗木发芽后,每旬选择晴朗天气,从 8:00 到 18:00,每隔 2 h 测定 1 次,并于第 2 天早晨 8:00 再测定 1 次。每树种 4 个重复,并以未栽树的盛土桶为对照。耗水量用 TC30K 电子天平(美国)测定,蒸腾速率及环境条件用 Licor-6400 便携式光合测定系统分析仪测定。栽树桶的耗水减去未栽树桶的耗水即为树木蒸腾量(苗木树冠很小,其阴影对土壤蒸发的影响可忽略不计),其平均值除以时间(2 h)就是某一时段的单株蒸腾耗水速率(以下简称蒸腾耗水速率),以此推算日及月蒸腾耗水速率。

## 2 结果与分析

### 2.1 蒸腾耗水速率日变化

从图 1 和图 2 可以看出,在 7 月 20 日供试苗木的蒸腾耗水速率日变化具有相似的规律,即清晨低,中午高,下午又降低,呈单峰或双峰曲线,其中山杏和奥地利黑松为双峰曲线,其他树种均是单峰曲线。山杏蒸腾速率 10:00~12:00 达到第 1 个高峰后,开

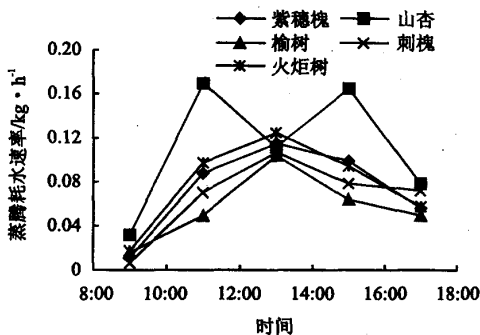


图 1 阔叶树种蒸腾耗水速率日变化

Fig. 1 Daily changes of water consumption rate of broad-leaf trees

始下降,之后在 14:00~16:00 又有一个高峰,这个高峰强度与第 1 个高峰高度基本一致。奥地利黑松蒸腾耗水速率 2 个高峰出现的时间与山杏相同,只是第 1 个高峰明显低于第 2 个高峰,且在第 1 个小高峰出现后稍微下降,之后急剧上升并达到最高峰。阔叶树种中,紫穗槐、刺槐、榆树和火炬树蒸腾速率

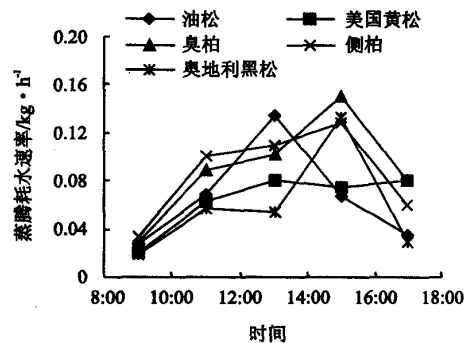


图 2 针叶树种蒸腾耗水速率日变化

Fig. 2 Daily changes of water consumption rate of needle-leaf trees

日变化不仅趋势一致,且变化幅度比较接近,小于山杏。针叶树种中,油松和美国黄松蒸腾速率高峰出现在 12:00~14:00,臭柏、侧柏的蒸腾最高峰出现在 14:00~16:00,美国黄松的变化幅度最小。阔叶树种与针叶树种相比,蒸腾耗水速率日变化幅度较大,以山杏为最大,针叶树种耗水速率日变化幅度比

较平缓,蒸腾速率也相对较小。

## 2.2 蒸腾耗水速率的季节变化

供试树种由于生长速率及不同月份环境因素的差异,其日蒸腾耗水速率在不同的月份也不尽相同(图3、图4),从图3可看出,生长季中,阔叶树山杏、火炬树及针叶树美国黄松、臭柏、侧柏、油松是单峰曲线,阔叶树榆树、刺槐、紫穗槐和针叶树黑松是双峰曲线。变化为单峰曲线的树种中,火炬树和黄松蒸腾耗水速率高峰出现在6月,山杏和侧柏出现在7月,油松和臭柏出现在8月。蒸腾耗水速率变化

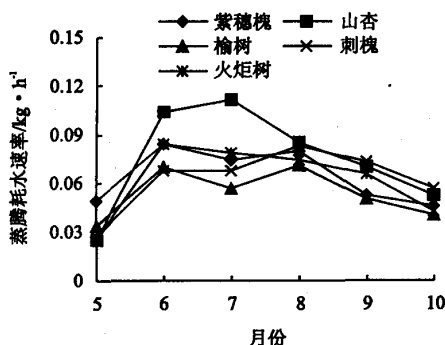


图3 阔叶树种蒸腾耗水速率季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of water consumption rate of broad-leaf trees

曲线呈双峰型的树种是刺槐、紫穗槐、榆树和奥地利黑松,它们蒸腾耗水速率的2个高峰均分别在6月和8月。原因可能是在生长季节中,5月份大多数植物尚处于生长初期,生理活动较弱,耗水较少;6~8月份,水、热、光等条件充沛,植物也正处于旺盛生长阶段,蒸腾强度达到最大值,耗水也最大;9~10月随气温、光照的降低及植物生理活动的减弱,蒸腾强度则显著降低,耗水明显减少。说明不同树种的蒸腾耗水速率的差异与不同树种的生长节律及其对环境的反应不同有关。

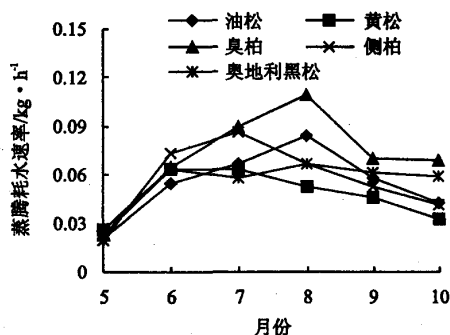


图4 针叶树种蒸腾耗水速率季节变化

Fig. 4 Seasonal changes of water consumption rate of needle-leaf trees

## 2.3 不同树种蒸腾耗水速率的比较

研究表明,供试树种之间主要生长季节(5~10月)的平均蒸腾耗水量存有差异,变化于 $0.0474 \sim 0.0747 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间,山杏最高,黄松最低,最高者是最低者的1.58倍,其他树种由高到低依次为臭柏( $0.071 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、紫穗槐( $0.0643 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、刺槐( $0.0625 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、火炬树( $0.0616 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、侧柏( $0.0566 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、奥地利黑松( $0.0553 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )、油松( $0.0547 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )和榆树( $0.0538 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )。阔叶树的平均蒸腾速率是 $0.0639 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ,针叶树平均值是 $0.0570 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 。阔叶树种中除榆树外,其余4种树的平均蒸腾耗水速率都高于供试树种平均值( $0.0605 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ),而针叶树种除臭柏外,蒸腾耗水速率都在10个树种平均值之下。不同树种夜间蒸腾耗水量不同,如7月20日各树种夜间耗水量及其占全天耗水总量的比例分别介于40~138 g之间和9.70%~26.0%之间,火炬树最大(138 g, 26.0%),刺槐最小(40 g, 9.70%),其他树种分别为侧柏(95 g, 17.4%)、美国黄松(90 g, 13.8%)、山杏(89 g, 13.8%)、榆树(86 g, 23.2%)、紫穗槐(84 g, 18.5%)、奥地利黑松(79 g,

20.7%)、油松(77 g, 18.8%)和臭柏(57 g, 20.7%),说明蒸腾耗水主要在白天,不同树种蒸腾耗水量的差异白天大于夜间。另外,不同树种蒸腾耗水量受天气的影响不同,如供试树种蒸腾耗水量5月13日(阴)与5月12日(晴)之比为,紫穗槐30.9%,山杏61.1%,火炬树59.8%,刺槐55.8%,榆树46.5%,油松53.1%,美国黄松74.0%,臭柏47.9%,侧柏49.1%,奥地利黑松39.4%。

## 2.4 蒸腾耗水速率与蒸腾速率的关系

蒸腾速率反映了苗木的潜在耗水能力<sup>[14]</sup>,蒸腾耗水速率是苗木耗水量的实际反映,用这两个指标比较不同树种之间蒸腾耗水特性所得结果应该一致,但本研究中,阔叶树种的测定结果并非如此(图1、图5)。不仅在一天中(7月20日)的变化趋势不同,而且用平均值比较不同树种耗水特性所得结果也不尽一致,用蒸腾耗水速率进行比较,山杏( $0.0747 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 紫穗槐( $0.0643 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 刺槐( $0.0625 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 火炬树( $0.0616 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 榆树( $0.0538 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ ),而用平均蒸腾速率指标比较,则火炬树( $4.990 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) > 山杏( $2.675 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) > 榆树( $1.830 \text{ mmol}$

$\cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) > 紫穗槐 ( $1.000 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) > 刺槐 ( $0.975 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )。原因可能是由于不同树种蒸腾速率日变化幅度不同,同一树种不同部位的叶片蒸腾速也不同,因而用常规方法计算的日平均蒸腾速率与实际蒸腾耗水速率会有差异,这种差异的大小因树种而异,并且不同树种的单株之间叶面积不尽相同,即使叶面积相同,不同功能期叶片的蒸腾耗水差异也较大。所以,测定的蒸腾速率可作为比较不同树种蒸腾耗水特性的参考,而不能用于精确测算实际的耗水量。

2.5 影响蒸腾速率的环境因素

在土壤供水充分的情况下,影响蒸腾的环境因子主要是气象因子<sup>[12]</sup>,蒸腾速率与气象因子的相关性大小依次是光照强度、气温、相对湿度和大气水势<sup>[11]</sup>。在测定供试树种蒸腾耗水及蒸腾速率的典

型天气条件下(晴天,7月20日),光辐射强度曲线及空气温度曲线为单峰型(图6)。光辐射强度从8:00时的  $668 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,逐渐升高到12:00时的最大值  $1720 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,随后又逐渐降低。空气温度的高峰出现在14:00,为  $38.0^{\circ}\text{C}$ ,但在一天中的变化幅度相对较小。空气相对湿度在10:00时上升到一天中的最高峰(68%)。树种蒸腾耗水速率一天的变化趋势,与光辐射强度及大气温度变化趋势基本一致,在8:00及18:00均较低。蒸腾速率最大值在太阳辐射强度最大时或较大时,最小值在太阳辐射强度最小时或空气温度最低时。太阳辐射强度最大时,并非所有树种的蒸腾速率都最大,说明不同树种对太阳辐射强度的反应程度有差异。

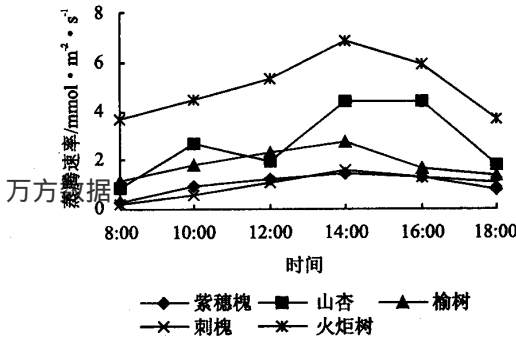


图5 阔叶树种蒸腾速率日变化

Fig.5 Daily changes of water transpiration rate of broad-leaf trees

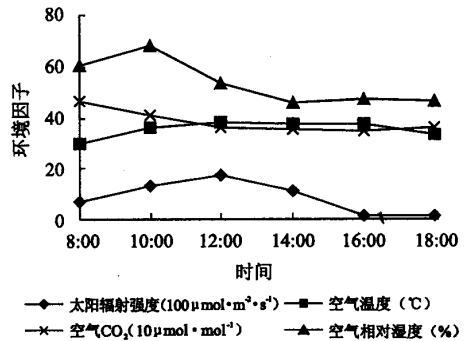


图6 环境因子日变化

Fig.6 Daily changes of environment factors

2.6 蒸腾速率与气孔导度

供试树种间蒸腾速率平均值与气孔导度平均值变化趋势一致,即蒸腾速率大者气孔导度亦大,阔叶树种蒸腾速率及气孔导度由大到小依次为:火炬树 > 山杏 > 榆树 > 紫穗槐 > 刺槐。但不同树种间气孔导度变化幅度(图7)大于蒸腾速率变化幅度,气孔导度最大者(火炬树)是最小者(刺槐)的7.46倍,蒸腾速率最大者(火炬树)是最小者(刺槐)的5.12倍。但是,对某一个树种来说,蒸腾速率与气孔导度在一天中的变化趋势并非完全一致,即气孔导度与蒸腾速率在一天中的变化曲线并不是平行的,其原因有待今后进一步研究,不过这种情况也从另一个方面反映了植物蒸腾作用的复杂性。

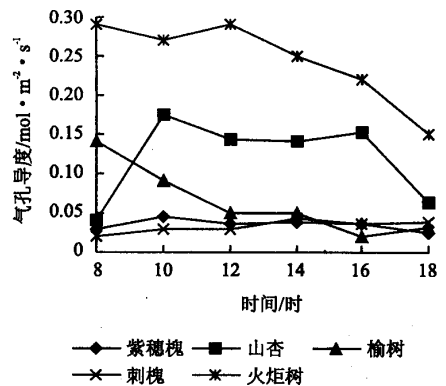


图7 气孔导度日变化

Fig.7 Daily changes of stomatal conductance

3 结论与讨论

供试10个树种蒸腾耗水速率的日变化曲线呈

单峰型或双峰型,其中山杏和奥地利黑松为典型双峰型,其他8种树为单峰型。双峰型曲线在10:00~12:00时和14:00~16:00时出现高峰。单峰型曲线中,阔叶树种高峰出现在12:00~14:00,针叶

树种中,油松和美国黄松出现在12:00~14:00,臭柏和侧柏出现在14:00~16:00。5~10月份,供试树种在不同月份的平均蒸腾耗水速率也呈单峰型或双峰型,山杏、火炬树、美国黄松、臭柏、侧柏和油松呈单峰型,榆树、刺槐、紫穗槐和奥地利黑松呈双峰型,单峰型树种中,火炬树和美国黄松的高峰出现在6月,山杏和侧柏出现在7月,油松和臭柏在8月。双峰型树种中2个高峰都是一个在6月,一个在8月。

10个树种,山杏蒸腾耗水速率最高,黄松最低,最高者是最低者的1.58倍,其它树种由高到低依次为臭柏、紫穗槐、刺槐、火炬树、侧柏、奥地利黑松、油松和榆树。阔叶树种的平均蒸腾耗水速率高于针叶树种,阔叶树的平均蒸腾耗水速率是 $0.0639\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ,针叶树平均值是 $0.0570\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

在土壤供水充分的情况下,影响蒸腾的环境因子主要是气象因子,蒸腾速率与气象因子的相关性大小依次是光照强度、气温、相对湿度和大气水势。不同树种的蒸腾速率对光辐射强度的反应不同,即不同树种的最适光强并不相同,因此并非都在光强达到最大时蒸腾速率也达到最大值。

供试树种苗木蒸腾耗水主要发生在白天,不同树种蒸腾耗水量的差异白天大于夜间,且不同树种夜间耗水占全天耗水的比例不同,刺槐最小,火炬树最大。另外,不同天气条件下苗木蒸腾耗水量不同,晴天最大,雨天最小,阴天介于之间。不同树种的蒸腾对天气变化的敏感程度不同。

蒸腾速率反映了苗木的潜在耗水能力,蒸腾耗水速率是苗木耗水量的实际反映,本研究中这两个指标在反映不同树种苗木耗水特性方面不尽一致,

蒸腾速率可作为比较不同树种蒸腾耗水特性的参考,蒸腾耗水速率可用于准确测算苗木的实际耗水量。

#### 参考文献:

- [1] 侯庆春,韩瑞莲,李宏平. 关于黄土丘陵典型地区植被建设中有关问题的研究——土壤水分状况及植被建设[J]. 水土保持研究,2000,7(2):102-110.
- [2] 梁一民. 从植物群落学原理谈黄土高原植被建设的几个问题[J]. 西北植物学报,1999,19(5):26-31.
- [3] 杨文治,余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京:科学出版社,1992. 115-120
- [4] 王力,绍明安,侯庆春. 延安试区土壤干层现状分析[J]. 水土保持通报,2000,20(3):35-37.
- [5] 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):117-126.
- [6] 巨关升,刘奉觉,郑世锴. 选择树木蒸腾耗水测定方法的研究[J]. 林业科技通讯,1998(10):12-14.
- [7] 巨关升,刘奉觉,郑世锴. 稳态气孔计与其它3种方法蒸腾测定值的比较研究[J]. 林业科学研究,2000,13(4):360-365.
- [8] 陈杰,齐亚东. 对应用氡水法测定林木蒸腾量的评价[J]. 东北林业大学学报,1990,18(3):105-112.
- [9] 魏天兴,朱金兆,张学培. 林分蒸散耗水量测定方法评述[J]. 北京林业大学学报,1999,21(3):85-91.
- [10] 刘淑明,孙丙寅,孙长忠. 油松蒸腾速率与环境因子关系的研究[J]. 西北林学院学报,1999,14(4):27-30.
- [11] 王孟本,李洪建,柴宝峰,等. 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):401-410.
- [12] 郭连生,刘亮. 9种阔叶幼树的蒸腾速率、叶水势和环境因子关系的研究[J]. 生态学报,1992,12(1):47-52.
- [13] 王得祥,刘建军,王翼龙,等. 四种城区绿化树种生理特性比较研究[J]. 西北林学院学报,2002,17(3):12-15.
- [14] 周平,李吉跃,招礼军. 北方主要造林树种苗木蒸腾耗水特性研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(5/6):50-55.