

干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响

李吉跃, 周 平, 招礼军

(北京林业大学, 北京 100083)

摘要:采用 Lico-6400 便携式光合系统测定仪和 BP3400 精密天平等仪器研究了 9 个北方主要造林树种的蒸腾速率及实际蒸腾耗量;用压力室法分阶段测定了苗木的叶水势。得出了苗木在正常水分条件下及干旱胁迫过程中的蒸腾耗水规律。比较分析了不同水势梯度下、昼夜不同时间段的各树种的蒸腾耗水量及蒸腾耗水速率。结果表明,蒸腾耗水以白天为主,在相同的水分条件下,不同的苗木有不同的蒸腾耗水量,同种苗木的蒸腾耗水量随干旱胁迫的加重而减少,在受到严重干旱胁迫时,针叶树油松和侧柏的耗水量均降至正常水分条件下的 11.7%,阔叶乔木树种降至 6.6%,灌木树种降至 16.9%。通过研究苗木在不同水势梯度下的耗水特性和蒸腾耗水量,为在水量缺乏的情况下,进行有效的林木培育和植被恢复重建提供依据。

关键词:干旱胁迫;水势;蒸腾耗水量;蒸腾耗水特性

Influence of Drought Stress on Transpiring Water-consumption of Seedlings

LI Ji-Yue, ZHOU Ping, ZHAO Li-Jun (Beijing Forestry University, Beijing 100083, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1380~1386.

Abstract: Transpiration rates and water consumption of nine main plantation tree species in North China were studied by using Lico-6400 Portable Photosynthesis System and BP3400 Precision Balance etc.. Leaf water potential was measured using pressure chamber in different phase. The water-consumption patterns of seedlings were observed in normal water-supply and drought stress conditions. The quantity and rate of water consumption were compared and analyzed in different water potentials and in times of day and night. It was showed that water consumption by transpiration mainly occurred in daytime, different seedlings had different water consumptions in the same water status, and with the drought stress increasing, and the water consumption of seedlings decreased with increasing drought stress. When the seedlings were in serious drought stress, water consumption of conifer *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* decreased in 11.7% of that in normal water condition, that of broadleaf arbor decreased in 6.6% and shrubby decreased in 16.9%. It suggested that the present study focusing on water consumption characteristic and consumption value in different water potentials would be beneficial to afforestation and vegetation reconstruction under condition of water deficiency.

Key words: drought stress; water potential; water consumption; water consumption characteristic

文章编号: 1000-0933(2002)09-1380-07 中图分类号: S718.45 文献标识码: A

准确测算植物耗水量是环境水分定量研究的急需技术。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,国内外学者对此进行了大量研究,并取得了许多研究成果^[1~9]。他们不仅对测定树木蒸腾耗水的多种方法(快速称重法、热脉冲法、气孔计法、整株容器法、微气象法等)进行了比较研究^[10, 11],还研究了影响蒸腾作用的环境因子^[2, 6, 12],及土壤干旱胁迫对苗木蒸腾作用的影响^[13]。在干旱胁迫下,蒸腾速

基金项目: 国家自然科学基金项目(30070637);教育部高等学校博士点基金及骨干教师资助项目

收稿日期: 2002-01-22 修订日期: 2002-16-10

作者简介: 李吉跃(1959~),男,四川省金堂县人,博士,教授。主要从事森林培育学研究。E-mail: ljyymy@sina.com

率与气孔导度都随干旱胁迫的发展而降低^[14~16],不同的树种蒸腾速率下降的速率也不相同^[13]。然而,在以往的研究中,多以蒸腾速率为指标,关注的多为瞬时耗水量,很少有对不同树种实际每天的耗水量进行定量研究,而诸多的估算方法之间的差异较大而且与实际的耗水量也存在不同的差异^[10, 11]。本文从植物蒸腾耗水的角度出发,研究了 9 个树种的耗水的连日变化状况,并对不同水势梯度、昼夜不同时间段的实际耗水量进行了定量测定。旨在为水资源缺乏条件下的植被恢复和实现水量平衡下的林木培育提供依据。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验材料选取我国北方主要造林树种,它们是:5 年生针叶乔木树种油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)和侧柏(*Platycladus orientalis* L.)、1 年生阔叶乔木树种毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.)和臭椿(*Ailanthus altissima* Mill.)、火炬树(*Rhus typhina* L.)、1 年生灌木树种黄栌(*Cotinus coggygria* Scop.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、枸杞(*Lycium barbarum* L.)、柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)。

1.2 研究方法

2001 年 4 月 5 日对沙棘、枸杞、柠条进行催芽,4 月 7 日播种,4 月 10 将 5 年生油松和侧柏、1 年生毛白杨、臭椿、火炬树、黄栌移栽到 AB260×220 的白色塑料花盆中,6 月 26 日将沙棘、枸杞和柠条移栽到相同规格的花盆中,在温室中进行培养,对每个树种进行正常浇水管理。从 9 月 6 日开始,选择典型晴天,测定蒸腾速率、苗木水势、土壤含水量及环境因子的日变化。每个处理设 3 个重复。

从 9 月 20 日开始测定供试苗木的蒸腾耗水,其方法是对供试苗木浇过透水后,用保鲜膜进行覆盖密封盆栽土壤处理,并用塑料袋将苗盆完全套住,以防止土壤水分蒸发失水的影响,对照苗木不进行覆盖处理。随后每天 8:00 和 20:00 准时称重,连续测定 30d;并在干旱过程中分阶段测定苗木叶水势。每个处理设 6 个重复。

1.3 测定指标

- (1)蒸腾速率 用 Lico-6400 便携式光合测定系统分析仪(美国)测定。
- (2)耗水量 用 BP3400 精密天平(德国)测定。
- (3)相对湿度 用干湿球温度计测定。
- (4)水势 用压力室法测定。
- (5)空气温度 用空气温度自动记录仪测定。
- (6)叶面积测定 阔叶面积用剪纸称重法测定;针叶叶面积用公式^[17]:

$$A = 2L(1 + \pi/n) \sqrt{nV/\pi L}$$

式中,A 叶面积;V 针叶体积(用排水法测定);n 每束针叶数;L 针叶长度。油松和侧柏的叶面积和叶干重之间的转换关系:油松叶面积(cm²)=165×叶干重(g),侧柏叶面积(cm²)=161×叶干重(g)。

- (7)生长指标测定 生长指标包括地径、苗高、茎叶鲜重和干重(干重在 105℃下烘干 8h 测定)。

2 结果与分析

2.1 蒸腾耗水的连日变化规律

2.1.1 蒸腾耗水连日变化总趋势 从图 1 和图 2 可以看出,在测定期间(30d)内,供试苗木蒸腾耗水量的连日变化都呈递减的趋势,但递减过程存在一定的波动,而且各树种的波动情况相当一致:在测定初期,由于土壤水分状况比较好,供试苗木的蒸腾耗水量都比较大,且各树种之间的差异也比较明显;随着测定时间的增加,由于苗木蒸腾耗水而使土壤干旱胁迫逐渐加重,供试苗木的蒸腾耗水量逐渐降低,呈现波动的递减趋势,且各树种之间的差异逐渐减小。很显然,蒸腾耗水的降低主要受土壤干旱胁迫的影响,而在递减过程

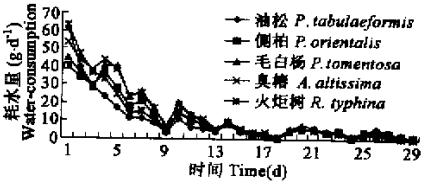


图 1 乔木树种耗水量的连日变化

Fig.1 Duurnal variation of arboreal waterconsump-tion

中的波动变化主要与气象因子(如气温、空气相对湿度等)有关(见图 3),图 1 和图 2 中供试苗木的蒸腾耗水量的波动变化趋势与图 3 中的气温和空气相对湿度的变化趋势基本一致。

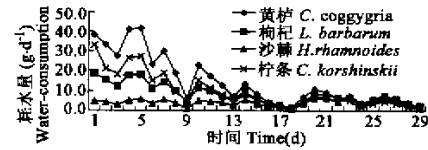


图 2 灌木树种耗水量的连日变化

Fig. 2 Diurnal variation of shrubby water-consumption

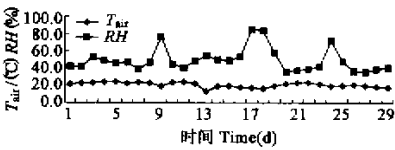


图 3 气温和相对湿度的连日变化

Fig. 3 Diurnal variation of air temperature and relative humidity

随着供试苗木不断地蒸腾耗水及土壤干旱胁迫的进一步发展,各树种单株蒸腾耗水量大幅度下降且差异越来越小,特别是在后期各树种的单株蒸腾耗水量相当接近。尤其是在夜晚单株蒸腾耗水量数据中出现了一些负值,说明当土壤干旱到一定的程度且植物遭受严重干旱胁迫时,在空气湿度较大的情况下,在植物-大气界面,水分运动的方向有可能与蒸腾作用耗水的方向相反,即植物叶片有倒吸水现象。在蒸腾耗水量出现低谷的阴雨天气里,即使是在水分状况较好的情况下,不同树种的单株蒸腾耗水量也相当接近;而在植株水分状况正常时的晴天里,不同树种的蒸腾耗水的差异是最大的。

2. 1. 2 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水连日变化的影响 如果保证植物的正常水分供应,随着环境的变化,蒸腾耗水的连日变化是在一定的范围内上下波动的曲线,在这段时间,沙棘的水势在 $-0.45\sim-0.69$ MPa 之间,沙棘的平均耗水量($3.4\sim3.9\text{g}$)比较稳定,沙棘蒸腾耗水的连日变化随气温和相对湿度的波动而波动。在前 5d,乔木树种侧柏、毛白杨、臭椿及灌木树种黄栌、枸杞和柠条的蒸腾耗水量在一定的范围内随气温和湿度的变化而波动(图 1,2)。在正常的水分状况下,虽然每天的蒸腾耗水量随气温的增加而增加,随湿度的增加而减少,但不同树种的单株蒸腾耗水量差异较大。5 年生油松和侧柏晴天的日耗水量分别为 $61.7\pm9.6\text{g}$ 和 $39.8\pm6.8\text{g}$;1 年生毛白杨、臭椿、火炬树和黄栌的日耗水量分别为 $44.8\pm8.1\text{g}$ 、 $53.4\pm8.8\text{g}$ 、 $63.1\pm14.4\text{g}$ 和 $38.4\pm17.0\text{g}$;枸杞、沙棘和柠条的日耗水量分别为 $18.8\pm5.6\text{g}$ 、 $4.8\pm1.1\text{g}$ 和 $33.1\pm5.0\text{g}$ 。由于单株蒸腾耗水量的大小要取决于两个因素,即蒸腾耗水速率和单株叶面积,用蒸腾耗水速率即单位面积的耗水量来比较树种间的耗水特征更具有可比性。阔叶树中毛白杨的耗水速率($1.512\pm0.767\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)最大,枸杞($1.319\pm0.291\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、沙棘($1.266\pm0.229\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、柠条($1.337\pm0.290\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)次之,黄栌($0.733\pm0.199\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、臭椿($0.692\pm0.378\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、火炬树($0.561\pm0.186\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)较小,针叶树油松($0.122\pm0.018\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和侧柏($0.111\pm0.029\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)耗水速率最小。因而油松和侧柏是耗水较少树种,枸杞和毛白杨是耗水较多的树种,其它树种的耗水居中。

在逐渐干旱的过程中,植株均受到了不同程度的干旱胁迫,蒸腾耗水量呈减少的趋势。在各树种的蒸腾耗水连日变化均在第 6、9、13、18、24 天出现波谷;从气温和相对湿度的折线变化(图 3)可以看出,气温在第 6、9、13、18、24 天出现 5 个波谷;在气温出现波谷的同时,相对应的相对湿度为 5 个波峰。而这 5 日均为阴雨天气。单株蒸腾耗水量的波谷与气温的波谷和相对湿度的波峰出现的时间对应一致。随着干旱胁迫的加剧,不同树种单株蒸腾耗水量的差异越来越小,其波动的范围(正常水分条件下为 $63.1\sim0.7\text{g}$,严重干旱胁迫下为 $10.9\sim0.7\text{g}$)也越来越小。因而在严重干旱胁迫的情况下,各树种的特性不再是影响蒸腾耗水量的主要因子。

2. 2 不同水势梯度下的蒸腾耗水规律

2. 2. 1 不同时间段各树种的叶水势 从表 1 可以看出,在测定初期,由于供水良好,供试苗木的叶水势都处于正常范围(数据 0.08MPa)。随着供试苗木的蒸腾失水,苗木开始遭受干旱胁迫而叶水势逐渐降低。但是由于各树种的蒸腾耗水量不同,因而在同一时间段受到的干旱胁迫程度也不同,叶水势下降的幅

度也有差异。其中,灌木树种沙棘的叶水势在整个测定期间(30d)一直稳定在正常水势范围内($-0.45 \sim -0.69\text{MPa}$),这表明覆膜可以有效地防止干旱胁迫的发生,特别是对单株耗水量较低的树种来说效果更加明显。其它供试苗木因较大的蒸腾耗水而均遭受到了不同程度的干旱胁迫,其中侧柏、火炬树的叶水势下降幅度最大($-5.49 \sim -0.07\text{MPa}$),柠条、黄栌和枸杞次之($-4.33 \sim -3.06\text{MPa}$),油松、毛白杨和臭椿下降幅度较小($-2.34 \sim -1.78\text{MPa}$),这与供试树种的不同耐旱机理有关^[13]。当供试苗木遭受严重干旱胁迫时,阔叶树种的叶子开始变黄或变红并开始落叶。

表 1 不同时间段各树种的水势(MPa)

Table 1 Water potentials of the plants in different periods

日期 Date	9 月 20 日 20 Sep.	9 月 25 日 25 Sep.	10 月 4 日 4 Oct.	10 月 14 日 14 Oct.	10 月 20 日 20 Oct.
黄栌 <i>C. coggygria</i>	-0.56 ± 0.05	-1.15 ± 0.55	-2.74 ± 0.49	-3.43 ± 0.04	落叶 fall-leaf
火炬树 <i>R. typhina</i>	-1.02 ± 0.11	-1.89 ± 0.17	-2.83 ± 0.18	-5.49 ± 0.78	落叶
毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	-0.40 ± 0.06	-1.01 ± 0.14	-1.59 ± 0.48	-1.92 ± 0.65	落叶
臭椿 <i>A. altissima</i>	-0.62 ± 0.07	-1.14 ± 0.34	-1.68 ± 0.31	-1.78 ± 0.47	落叶
侧柏 <i>P. orientalis</i>	-0.77 ± 0.14	-2.36 ± 0.84	-4.85 ± 1.20	-5.49 ± 0.62	< -6
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	-0.89 ± 0.09	-1.67 ± 0.18	-1.97 ± 0.09	-2.34 ± 0.68	< -6
枸杞 <i>L. barbarum</i>	-1.16 ± 0.06	-1.79 ± 0.21	-1.89 ± 0.21	-3.06 ± 0.79	落叶
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	-0.50 ± 0.05	-0.53 ± 0.06	-0.57 ± 0.07	-0.61 ± 0.09	-0.62 ± 0.07
柠条 <i>C. korshinskii</i>	-0.73 ± 0.07	-1.37 ± 0.36	-2.70 ± 0.69	-4.33 ± 0.77	落叶

2.2.2 不同水势梯度下日平均耗水量的变化 盆栽土壤经覆膜密封处理后,蒸腾耗水是供试苗木向外界失水的唯一途径,并由此使供试苗木遭受到不同程度的干旱胁迫。随着干旱胁迫的发展,供试苗木的蒸腾耗水量也随之减少。在不同的水势梯度下,供试苗木的蒸腾耗水量各不相同。从图 4 可以看出,在水分状况较好的条件下,乔木树种的单株耗水量在 33.5~44.5g 之间,灌木树种在 36.4~16.4g 之间。而当苗木受到轻度干旱胁迫时,乔木树种的单株蒸腾耗水量在 14.6~8.1g 之间(平均降为正常状况的 31%),灌木树种在 16.8~9.3g 之间(平均降为正常状况的 48%);当苗木受到中度干旱胁迫时,乔木树种的单株蒸腾耗水量降到 4.5~3.6g(平均降为正常状况的 10%),灌木树种降到 6.0~4.2g(平均降为正常状况的 21%);当苗木受到严重的干旱胁迫后的第四阶段,乔木树种的单株蒸腾耗水量降到 3.8~1.8g(平均降为正常状况的 7.7%),灌木树种降到 5.1~3.1g(平均降为正常状况的 17.4%)。在这个过程中,沙棘的水分一直维持较好,

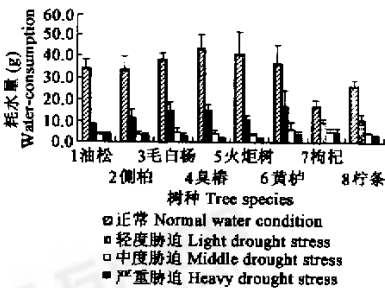


图 4 不同水势梯度下的蒸腾耗水速率

Fig. 4 Water-consumption rate by transpiration in different water potentials

1 *Pinus tabulaeformis* Corr., 2 *Platycladus orientalis* L., 3 *Populus tomentosa* Carr., 4 *Ailanthus altissima* Mill., 5 *Rhus typhina* L., 6 *Cotinus coggygria* Scop., 7 *Lycium barbarum* L., 8 *Caragana korshinskii* Kom.

平均蒸腾耗水量也比较稳定(3.4~3.9g),因而对于单株蒸腾耗水量较少的苗木来说,在野外造林中,在有一定水分的情况下,如用薄膜覆盖,防止土壤的蒸发,则能使苗木的水分状况长时间维持在正常范围内。对于阔叶树而言,在受到干旱胁迫时,它们会通过叶片的萎蔫,叶片变黄,落叶来减少蒸腾。而对于针叶树油松和侧柏来说,在干旱胁迫的过程中,它们的叶量几乎不变,只有通过关闭气孔来减少蒸腾失水。从油松和侧柏的阶段耗水来看,在水分状况较好时,油松为 34.4g,侧柏为 35.5g,在轻度水分胁迫时,油松为 8.1g,侧柏为 11.5g。高水势延迟脱水的油松在受到轻度的水分胁迫后,蒸腾量比低水势忍耐脱水^[13]的侧柏减少的更多,以保证叶片组织中的水分。而在中度和严重的水分胁迫时,油松和侧柏的蒸腾耗水量均降为第 1

阶段的 11%。由于通过气孔进行的气孔蒸腾约占总蒸腾的 90%^[18],因此受到严重干旱胁迫的油松和侧柏的气孔几乎完全关闭。

2.2.3 不同水势梯度下苗木昼夜耗水量的比较 从表 2 可以看出,在轻度水分胁迫下,乔木树种昼夜的耗水量分别为 24.8~46.9g 和 2.1~6.3g,灌木树种昼夜的耗水量分别为 11.2~41.7g 和 2.3~4.2g;受到中度水分胁迫时,乔木树种昼夜的耗水量降为原来的 28.1%和 58.1%,灌木树种昼夜的耗水量降为原来的 44.2%和 69.4%;受到重度的水分胁迫时,乔木树种昼夜的耗水量降为原来的 9.4%和 25.0%,灌木树种昼夜的耗水量降为原来的 21.4%和 32.6%。因此,在不同的水势梯度下,白天蒸腾耗水量的降低的幅度比较大,而夜晚的降低的幅度比较小,夜晚的蒸腾耗水量相对稳定。

表 2 不同水势梯度下昼夜耗水量(g)

Table 2 Water-consumption of daytime and nighttime in different water potentials

水势 Water potentials	轻度 Light drought stress		中度 Middle drought stress		严重 Serious drought stress	
	白昼 Daytime	夜晚 Nighttime	白昼 Daytime	夜晚 Night time	白昼 Daytime	夜晚 Nighttime
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	31.2±4.3	2.9±0.4	6.5±0.6	1.6±0.3	3.1±0.4	0.9±0.2
侧柏 <i>P. orientalis</i>	31.4±6.6	2.1±0.1	10.1±3.8	1.4±0.2	3.3±1.3	0.5±0.3
毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	33.0±3.3	5.0±0.4	11.6±3.6	3.0±0.5	3.6±1.7	1.1±0.5
臭椿 <i>A. altissima</i>	37.2±5.4	6.3±1.6	11.5±2.4	3.4±0.6	3.0±1.2	1.3±0.7
火炬树 <i>R. typhina</i>	36.7±10.2	4.2±0.6	7.9±1.8	2.4±0.4	2.7±0.6	1.1±0.3
贡桧 <i>C. coggygia</i>	33.5±8.2	3.1±0.8	14.4±6.6	2.4±1.0	5.2±3.0	1.2±0.7
枸杞 <i>L. barbarum</i>	13.4±2.2	3.2±0.7	7.1±1.3	2.3±0.3	4.4±1.3	1.2±0.2
柠条 <i>C. coshinskii</i>	23.3±5.3	3.6±0.6	8.5±2.4	2.2±0.3	3.8±0.9	0.8±0.4

随着干旱胁迫的发展,白天耗水量与夜晚耗水量的差距越来越小,在供水充足的晴天里,夜晚耗水量占白天的 11.2%。在轻度干旱胁迫时,夜晚的耗水量占白天的 13.5%,中度水分胁迫时,夜晚耗水量占白昼的 24.9%,在严重水分胁迫时,夜晚耗水量占白天的 28.5%。在侧柏受到重度水分胁迫时,夜晚耗水量为负值,这说明在苗木受到严重的干旱胁迫时,存在水分从空气到叶片的倒吸现象。

2.2.4 不同水势梯度下的蒸腾耗水速率 图 5 表明,在相同的水势梯度下,不同树种有不同的蒸腾耗水速率,同一树种在不同的水势梯度下,蒸腾耗水速率也不相同。在正常水分条件下,毛白杨(7.758±2.372)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹、枸杞(7.675±1.307)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹、沙棘(8.595±2.356)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹和柠条(6.054±1.679)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹的蒸腾耗水速率较大,油松(0.373±0.075)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹和侧柏(0.596±0.252)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹的耗水速率最小,臭椿(3.423±1.079)×10⁻⁴ mol·

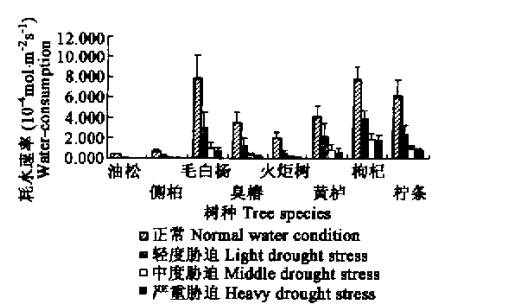


图 5 不同水势梯度下的蒸腾耗水速率

Fig. 5 Water-consumption rate by transpiration in different water potentials

图例同图 4 图例 and is the same as fig. 4

m⁻²s⁻¹、火炬树(1.939±0.606)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹和黄桧(4.066±1.080)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹居中。由于沙棘一直处于较好的水分条件下,其耗水速率稳定在(6.224~8.595)×10⁻⁴ mol·m⁻²s⁻¹之间。其它树种因受到逐渐严重的干旱胁迫,其耗水速率均有不同程度的降低。受到轻度水分胁迫后,针叶树种的耗水速率降为原来的 32.0%,阔叶乔木降为原来的 33.6%,灌木树种降为原来的 48.4%,其中,油松和火炬树下降幅度较大(75%和 73%),黄桧和枸杞下降的幅度较小(46%和 49%);受到中度水分胁迫后,针叶树种降为 12.7%,阔叶乔木降为 11.1%,灌木树种降为 20.3%,其中,臭椿和火炬树下降幅度最大(均为 90%),枸杞和黄桧下降的幅度最小(76%和 80%);受到严重水分胁迫后,针叶树种降为 11.7%,阔叶乔木降为 6.6%,灌木树种降为 16.9%。可见,不同的树种在受到干旱胁迫

时,蒸腾耗水速率下降的幅度并不一致。对阔叶树来说,蒸腾速率下降的大小在很大程度上反映了苗木控制蒸腾失水的能力;对针叶树种来说,蒸腾速率下降的幅度并不能完全解释苗木控制蒸腾失水的能力,应主要从蒸腾速率的绝对量来比较^[13]。对于针叶树油松和侧柏而言,由于油松比侧柏的蒸腾耗水速率更小,因而油松控制蒸腾失水的能力更强;对于供试的阔叶树而言,火炬树控制蒸腾失水的能力较弱,黄栌控制蒸腾失水的能力较强。因而在受到干旱胁迫时,火炬树比黄栌更容易萎蔫。

3 小结

(1)各树种蒸腾耗水的连日变化都呈递减的趋势,但在递减过程中存在一定的波动,其波动的情况与气温和相对湿度的波动一致。在正常的水分条件下,不同的树种单株蒸腾耗水量存在较大的差异,同时随着环境因子的变化存在一定的波动;随着干旱胁迫的增加,不同的树种单株蒸腾耗水量的差异越来越小,在严重干旱胁迫时各树种单株蒸腾耗水量相当接近,树种间的差异不再显著,蒸腾耗水量主要随环境因子的变化而变化。

(2)在相同的水分状况下,不同的树种有不同的蒸腾耗水量;在不同的水势梯度下,同种苗木的蒸腾耗水量随干旱胁迫程度的增加而减少。在正常水分条件下,乔木树种的单株蒸腾耗水量在 33.5~44.5g 之间,灌木树种在 36.4~4.9g 之间。而当苗木受到轻度的水分胁迫后,平均单株蒸腾耗水量降为正常条件下的 38%;当苗木受到中度胁迫后,平均单株蒸腾耗水量降为正常条件下的 16%;当苗木受到严重的干旱胁迫后,平均单株蒸腾耗水量降为正常条件下的 12.6%。对于在正常水分状况下具有相同单株蒸腾耗水量的针叶树油松和侧柏而言,受到轻度的水分胁迫时,油松的蒸腾耗水比侧柏降得更低,受到严重的干旱胁迫时,两者的蒸腾耗水量均降到正常状况下的 11%,气孔几乎全部关闭。

(3)在不同的水势梯度下,白天蒸腾耗水量的降低幅度比较大,而夜晚的降低的幅度比较小,夜晚的蒸腾耗水量相对稳定。而且随着干旱胁迫的加剧,白天耗水量与夜晚耗水量的差距越来越小,在供水充足的晴天里,夜晚耗水量占白天的 11.2%。在轻度干旱胁迫时,夜晚的耗水量占白天的 13.5%,中度水分胁迫时,夜晚耗水量占白昼的 24.9%,在严重水分胁迫时,夜晚耗水量占白天的 28.5%。

(4)在相同的水势梯度下,不同的树种有不同的耗水速率,同种苗木在不同的水势梯度下,耗水速率也不相同。随干旱程度的增加,其耗水速率均有不同程度的降低。受到轻度水分胁迫后,平均耗水速率降为原来的 38.0%;受到中度水分胁迫后,降为 14.7%;受到严重水分胁迫后,降为 11.7%。其蒸腾速率的大小及下降幅度反映了树种控制蒸腾失水能力的大小,其中针叶树比阔叶树控制蒸腾失水的能力强,针叶树中油松比侧柏强,阔叶树中,黄栌控制蒸腾失水的能力较强,火炬树较弱,其余的树种居中。

参考文献

[1] Cheng J(陈杰), Qi Y D(齐亚东). Estimate on the Transpiration values Measured with tritium. *Journal of Northeast Forestry University*(in Chinese) (东北林业大学学报), 1990, 18(3): 105~112.

[2] Lei Z X(雷泽湘), Lin P(林鹏), the Diurnal Changes of Transpiration in *Kandelia candel* and the Analysis of Its Correlation with Ecological Factors. *Journal of Hubei Agricultural College*(in Chinese) (湖北农学院学报), 1998, 18(3): 204~208.

[3] Jia Z Q(贾志清), Sun B P(孙保平), Liu T(刘涛), et al. Transpiration of Different Tree Species at small Watershed of Huangjiaercha in Xiji County of Ningxia Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation* (in Chinese) (水土保持通报), 1999, 19(5): 12~15.

[4] Wang M B(王孟本), Li H J(李洪建), Cai B F(柴宝峰), et al. A Comparison of Transpiration, Photosynthesis and Transpiration Efficiency in Four Tree Species in the Loess Region. *Acta Phytocologica Sinica* (in Chinese) (植物生态学报), 1999, 23(5): 401~410.

[5] Ju G S(巨关升), Liu F J(刘奉觉), Deng S K(邓世锴), et al. A Comparison on the Transpiration Values Measured with Steady State Porometer and Other Three Methods. *Forest Research* (in Chinese) (林业科学研究), 2000, 14(4): 360~365.

[6] Liu S M(刘淑明), Sun B Y(孙丙寅), Sun C Z(孙长忠). Relationship between *Pinus tabulaeformis* Transpiration

and Environmental Elements. *Journal of Northwest Forestry University* (in Chinese) (**西北林学院学报**), 1999, **14** (4): 27~30.

[7] Han Shijie, Zhang Junhui, Wang Chenrui, *et al.* Effect of elevated ambient CO₂ concentration on water use efficiency of *Pinus sylvestris*formis. *Journal of Forestry Research*, 1999, **10**(4): 209~210.

[8] Yu Q (于强), Xie X Q (谢贤群), Sun S F (孙淑芬), *et al.* Advances in Simulation of Plant Photosynthetic Productivity and Canopy Evapotranspiration. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (**生态学报**), 1999, **19**(5): 744~753.

[9] Liu Jianwei, Hu Xinsheng, Wang Shiji, *et al.* Stomatal and photosynthesis model in relation to environment: the response of four poplar clones to irradiation, temperature and relative humidity. *Journal of Beijing Forestry University*(in Chinese)(**北京林业大学学报**), 1997, **6**(1): 19~33.

[10] Liu F J (刘奉觉), Deng S K (邓世锴), Ju G S (巨关升), *et al.* A Study on Comparison of Measuring Water-consumption for Transpiration in Poplar. *Scientia Silvae Sinicae* (in Chinese) (**林业科学**), 1997, **33**(2): 117~126.

[11] Ju G S (巨关升), Liu F J (刘奉觉), Deng S K (邓世锴). A Study of Selection of Measuring Water—consumption for Transpiration. *Forest Science and Technology* (in Chinese) (**林业科学通讯**), 1998, **10**: 12~14.

[12] Lian Y W (连玉武), Su Z Y (苏祖荣). Leaf Transpiration Characteristics and Relating Ecological Factors of *Castanopsis kawakamii* in Xiaohu, Fujian. *Journal of Xianmen University (Natural Science)* (in Chinese) (**厦门大学学报(自然科学版)**), 1997, **36**(5): 781~786.

[13] Zhang J G (张建国), Li J Y (李吉跃), Shen G F (沈国舫). *Studies on the Drought Tolerance Characteristics and Mechanism in Wood Plants*. Beijing: Chinese Forestry Press, 2000.

[14] Lassoie J P and salo D J. Physiological response of large Douglas-fir to natural and induced soil water deficits. *Can. J. For. Res.*, 1981, (11): 139~144.

[15] Schlte P J and Morshall P E. Growth and water relation of black locust and pine seedlings exposed to control water stress. *Can. J. For. Res.*, 1982, (13): 334~335.

[16] Li J Y (李吉跃). Studies on the Drought Tolerance of Some Main Tree Species Used in Afforestation in Taihang Mountain Region (Ⅳ)——Transpiration and Stomatal Reapponse. *Journal of Beijing Forestry University* (in Chinese) (**北京林业大学学报**), 1991, **13**(supp. 2): 239~250.

[17] Li J L (李家龙). The method of rapidly measuring the leaf area of conifer. *Forest Science and Technology* (in Chinese) (**林业科技通讯**), 1985, (10): cover 3.

[18] Levitt J. *Response of Plants to Environmental Stress*. New York: Academic Press, 1972.