

黄土高原主要灌木树种蒸腾特性研究

隋旭红¹, 张建军^{1,2}, 周晓新¹, 芦倩¹, 王婷¹, 王清玉¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 采用精度为 0.001 g 的精密电子天平和露点水势仪研究了英迷、绣线菊、虎榛子和丁香的叶片含水量日变化、蒸腾速率日变化、叶水势日变化及蒸腾速率与气象因子的关系。结果表明, 4 种灌木树种早晚的叶片含水量高于中午, 最低值出现在 10:00—14:00 之间, 日变幅(晴天—阴天)大小顺序为: 英迷 (125.2%~114.2%)> 丁香(110.3%~59.8%)> 绣线菊(86.8%~46.9%)> 虎榛子(85.4%~35.2%); 叶鲜重与叶面积可用指数曲线进行拟合; 日最大蒸腾速率(晴天—阴天)大小顺序为: 英迷 (4.017~3.226 mmol/(m²·s))> 丁香 (5.628~2.918 mmol/(m²·s))> 绣线菊 (3.742~2.908 mmol/(m²·s))> 虎榛子 (3.174~2.035 mmol/(m²·s)); 日平均蒸腾速率(晴天—阴天)大小顺序为> 英迷 (2.687~2.252 mmol/(m²·s))> 丁香 (2.652~2.058 mmol/(m²·s))> 绣线菊 (2.215~1.649 mmol/(m²·s))> 虎榛子 (1.864~1.423 mmol/(m²·s)); 4 种灌木叶水势日变化呈波浪型, 叶水势与蒸腾速率负相关, 可用对数曲线拟合; 不同天气条件下影响各灌木树种蒸腾速率的主要因子不同。

关键词: 黄土高原; 水土保持灌木树种; 叶片含水量; 蒸腾速率; 叶水势

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0040-06

中图分类号: S176, S184

Transpiration Characteristics of Main Shrub Species for Soil Conservation on the Loess Plateau

SUI Xu-hong¹, ZHANG Jian-jun^{1,2}, ZHOU Xiao-xin¹, LU Qian¹, WANG Ting¹, WANG Qing-yu¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. The Key Laboratory for Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: Leaf water content, daily change of transpiration rate, leaf water potential, and the correlation of transpiration rate and environmental factors for *Viburnum rhytidophyllum* Hemsl, *Spiraea trilobata*, *Ostryopsis davidiana*, and *Syringa oblata* were studied by using precision Electronic Balance with the accuracy of 0.001 g and dew point microvokmeter. Results showed that the leaf water content in the morning and evening was higher than that at noon and its minimum lowest point was observed between 10:00 and 14:00. By the daily variation amplitude (sunny—cloudy), the species were in the following descending order: *Viburnum rhytidophyllum* Hemsl (125.2%~114.2%)> *Syringa oblata* (110.3%~59.8%)> *Spiraea trilobata* (86.8%~46.9%), > *Ostryopsis davidiana* (85.4%~35.2%). The relationship between fresh weight and leaf area can be fitted by exponential curve. By the daily maximum transpiration rate (sunny—cloudy), the species were in the following order: *Viburnum rhytidophyllum* Hemsl [4.017~3.226 mmol/(m²·s)]> *Syringa oblata* [5.628~2.918 mmol/(m²·s)]> *Spiraea trilobata* [3.742~2.908 mmol/(m²·s)]> *Ostryopsis davidiana* [3.174~2.035 mmol/(m²·s)]. By the average transpiration rate (sunny—cloudy), the species were in the following order: *Viburnum rhytidophyllum* Hemsl [2.687~2.252 mmol/(m²·s)]> *Syringa oblata* [2.652~2.058 mmol/(m²·s)]> *Spiraea trilobata* [2.215~1.649 mmol/(m²·s)]> *Ostryopsis davidiana* [1.864~1.423 mmol/(m²·s)]. The diurnal variation of leaf water potential presented a waveform curve. Leaf water potential and transpiration were negatively related and the relationship between

收稿日期: 2009-11-13

修回日期: 2010-01-07

资助项目: 十一五国家科技支撑项目“黄土高原半湿润区水土保持植被恢复技术试验示范”(2006BAD03A1204); 日本住友财团研究助成基金(The Sumitomo Foundation)项目“中国黄土高原水土保持林蒸发散及合理密度研究”(083085)

作者简介: 隋旭红(1985—), 女(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士研究生, 主要研究方向为植被恢复。E-mail: suixuhong850110@126.com。

通信作者: 张建军(1964—), 男(汉族), 甘肃省天水市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为水土保持与植被恢复、水文学等。E-mail: zhangjianjun@bjfu.edu.cn。

them can be fitted by logarithmic curve. The dominant factors affecting transpiration rate were different in different whether conditions.

Keywords: Loess Plateau; soil and water conservation shrub species; leaf water content; transpiration; leaf water potential

对于降雨量少,蒸发量大并且时空分布不均的干旱半干旱黄土地区,水分成为制约植物生长的限制性生态因子^[1-2],蒸腾速率作为一个重要的水分参数,能够很好地反映植物蒸腾耗水的生理生态特征,以及植物耗水性对不同环境的调节能力^[3]。以往学者对黄土区主要造林树种刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等进行了研究,对灌木的研究多以柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、连翘(*Forsythia suspensa*)等为主^[3-5],而针对黄土高原其它的灌木树种如英迷、绣线菊、虎榛子和丁香蒸腾耗水的比较分析研究较少,而这些树种在生态脆弱的黄土地区是当地主要的建群种,在防治水土流失、改善生态环境方面具有重要的意义。因此,本研究在总结前人成果的基础上,以黄土高原常见的灌木树种英迷、绣线菊、虎榛子和丁香为研究对象,以1 h为测定时间步长,对这4种灌木树种的叶片含水量、叶水势、日蒸腾速率的变化过程及其影响因素进行了测试分析,为在水资源有限的黄土区选择低耗水树种进行植被恢复提供实验基础与理论依据。

1 研究区概况

研究区位于山西吉县蔡家川流域,地理坐标为110°39'45"—110°47'45"E, 36°14'27"—36°18'23"N,属于典型的晋西残塬沟壑区。该流域大体为由西向东走向,长约14 km,海拔900~1 513 m,年均气温10℃,土壤为褐土,黄土母质,属暖温带大陆性气候,多年平均年降水量575.9 mm,降水量年际变化较大,且季节分配不均匀,旱季4—6月降水量占全年总降水量的26.9%,雨季7—10月占64.2%。蒸发量远大于降雨量,达1 723.9 mm(用大型蒸发皿E-601观测)。流域中上游植被类型主要为白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、蒙古栎(*Quercus mongolicus*)等组成的天然次生林,中游为刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松、侧柏(*Platycladus orientalis*)等树种组成的人工林及天然草本植被,流域内的主要灌木树种有连翘、忍冬(*Lonicera japonica*)、沙棘、绣线菊、黄刺玫、英迷、虎榛子和丁香等组成的天然次生灌草植被。

2 研究对象与方法

以黄土高原主要灌木树种绣线菊、英迷、虎榛子和丁香为研究对象,选择典型天气,利用高精度(感量0.001 g)电子天平,采用快速离体称重法^[6-7]从8:00—18:00每隔1 h分别测定各树种的蒸腾速率,每个树种采健康完整的大中小3片叶子做3个重复,取其平均值。叶水势使用露点水势仪测定。叶面积是将研究树种的叶片采集后装在保鲜袋内,在室内用扫描仪扫描后,采用图样处理软件计算得到的。叶片含水量采用烘干称重法测定,气象因子采用小型气象同步观测站测定。

3 结果与讨论

3.1 叶片水分特征

3.1.1 叶片含水量的日变化 叶片含水量是直接反映植物体内水分状况的指标^[8]。图1—2和表1分别为晴天和阴天时各树种叶片含水量的日变化及几个典型叶片含水量值。

由图1—2可看出,无论晴天还是阴天,各树种叶片含水量日变化呈波浪型,早晚的含水量高于中午,最低值出现在10:00—14:00,英迷和丁香的叶片含水量高于绣线菊和虎榛子。晴天时英迷(125.2%)的日变幅最大,其次是丁香(110.3%)、绣线菊(86.8%)、虎榛子(85.4%);阴天时日变幅大小为:英迷(114.2%)>丁香(59.8%)>绣线菊(46.9%)>虎榛子(35.2%),晴天的日变幅较阴天大,这与晴天太阳辐射强,气温高,蒸腾速率大有关。

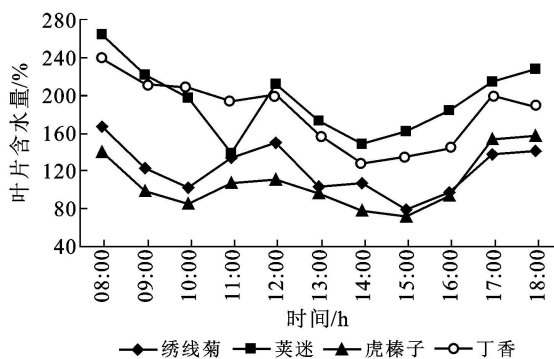


图1 晴天时各树种叶片含水量日变化

由表 1 可知,晴天时各树种叶片含水量日均值由大到小排序为: 荚迷 (194.8%) > 丁香 (182.2%) > 绣线菊 (121.8%) > 虎榛子 (108.1%), 阴天以丁香 (214.1%) 最大, 其次为荚迷 (194.1%) 和绣线菊 (114.3%), 虎榛子 (106.3%) 最小。晴天时绣线菊、荚迷和虎榛子的日均值较阴天大, 而丁香较阴天小。比较同一树种晴天和阴天日均值之差可知, 丁香 (31.9%) 最大, 绣线菊 (7.5%) 和虎榛子 (1.8%) 居中, 荚迷 (0.7%) 最小。

表 1 各树种几个典型叶片含水量特征值

灌木种	晴天				阴天			
	最大值	最小值	日变幅	日均值	最大值	最小值	日变幅	日均值
绣线菊	166.2	79.4	86.8	121.8	134.3	87.4	46.9	114.3
荚迷	264.3	139.1	125.2	194.8	240.4	126.2	114.2	194.1
虎榛子	156.8	156.8	85.4	108.1	121.6	86.4	35.2	106.3
丁香	238.6	128.3	110.3	182.2	231.7	171.9	59.8	214.1

3.1.2 叶鲜重与叶面积的关系 叶面积的确定是准确计算蒸腾耗水的关键, 叶面积(AI)与叶鲜重(WF)的关系可用指数函数加以拟合。统计分析表明, 各树种叶面积随着叶鲜重的增加而增大, 不同树种变化的幅度不同。晴天时在叶鲜重增大相同值的情况下, 绣线菊叶面积变化幅度最大, 其次是虎榛子和荚迷, 丁香变化幅度最小; 阴天时的变化次序为虎榛子 > 绣线菊 > 荚迷 > 丁香, 且阴天时虎榛子和绣线菊的变化幅度较晴天大。

3.2 蒸腾速率变化规律

3.2.1 蒸腾速率日变化特征 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^[9-10]。图 3—4 表示晴天和阴天时各灌木蒸腾速率的日变化。由图中可以看出, 4 种灌木蒸腾速率日变化总趋势为上午蒸腾速率较小, 14:00 左右基本达到峰值, 随后下降, 到 18:00 左右降到低谷。由图 3 可知, 晴天时各树种日蒸腾速率变化幅度由大到小为丁香 (4.286 mmol/(m²·s)) > 绣线菊 (2.597 mmol/(m²·s)) > 荚迷 (2.269 mmol/(m²·s)) > 虎榛子 (2.091 mmol/(m²·s)); 如图 4 阴天时的变幅为荚迷 (1.802 mmol/(m²·s)) > 绣线菊 (1.735 mmol/(m²·s)) > 丁香 (1.573 mmol/(m²·s)) > 虎榛子 (1.000 mmol/(m²·s)), 比较图 3—4 可以看出, 树种在晴天时的蒸腾速率变幅均高于阴天。

如图 3 所示, 晴天时绣线菊、虎榛子和丁香的蒸腾速率日变化曲线均为单峰型, 分别于 15:00, 14:00 和 14:00 达峰值 3.742, 3.174 和 5.682 mmol/(m²·s); 荚迷为典型的双峰型, 在 11:00 达到高峰后

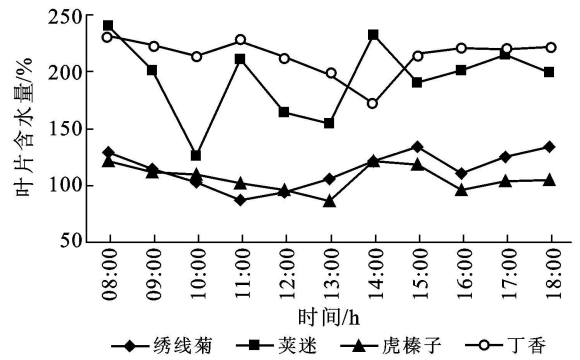


图 2 阴天时各树种叶片含水量日变化

于 14:00 又出现次高峰, 峰值分别为 4.017 和 3.512 mmol/(m²·s)。由图 4 可知, 阴天时绣线菊、虎榛子和丁香的日蒸腾速率变化亦为单峰曲线, 分别于 11:00, 13:00 和 14:00 达峰值, 其日最大蒸腾速率分别为 2.908, 2.035, 和 2.918 mmol/(m²·s); 荚迷为双峰型, 在 10:00 达到高峰 3.339 mmol/(m²·s) 后于 13:00 又出现次高峰 3.226 mmol/(m²·s)。可见晴天时绣线菊、虎榛子和荚迷日蒸腾速率峰值到达时间较阴天晚, 且各树种晴天时的峰值均高于阴天。

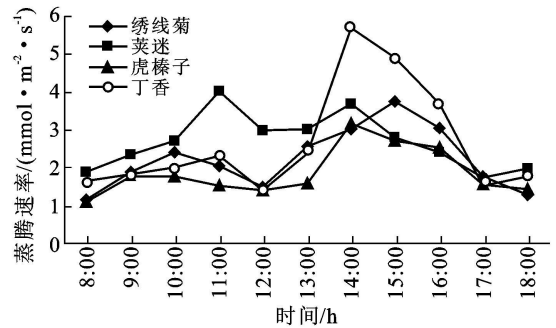


图 3 晴天时各树种蒸腾速率的日变化

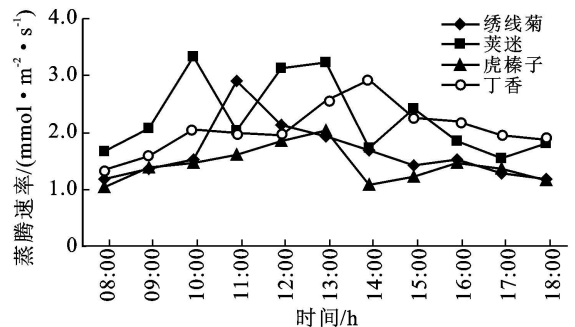


图 4 阴天时各树种蒸腾速率的日变化

3.2.2 不同天气日平均蒸腾速率比较 日平均蒸腾速率即测定日全部测定值的平均值^[2]。由表 2 可知,晴天时各树种日平均蒸腾速率由大到小的顺序为莨苳 (2.687 mmol/(m²·s)) > 丁香 (2.652 mmol/(m²·s)) > 绣线菊 (2.215 mmol/(m²·s)) > 虎榛子 (1.864 mmol/(m²·s)), 阴天时莨苳 (2.252mmol/(m²·s)) 最大,丁香 (2.058 mmol/

(m²·s)) 和绣线菊 (1.649 mmol/(m²·s)) 居中,虎榛子 (1.423 mmol/(m²·s)) 最小。

可见,无论晴天还是阴天,4 个树种的蒸腾速率日均值呈现相同的变化趋势,晴天时的日平均蒸腾速率明显高于阴天。总体而言,日最大蒸腾速率较大的树种其日平均蒸腾速率也较大,两者的变化具有一致性。

表 2 各树种几个典型蒸腾速率值及到达时刻

灌木种	晴天		阴天		
	最大值/ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	到达时刻	最大值/ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	到达时刻	日平均值/ (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
绣线菊	3.742	15:00	2.908	11:00	1.649
莨苳	4.017	11:00	3.226	13:00	2.252
虎榛子	3.174	14:00	2.035	13:00	1.423
丁香	5.682	14:00	2.918	14:00	2.058

3.3 叶水势变化

3.3.1 叶水势日变化 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,反映了树木叶片内水分的丰富度及水分亏缺程度^[11-13]。图 5—6 为晴天和阴天时各树种叶水势的日变化。由图中可以看出,各树种的叶水势日变化呈相似的规律,即清晨叶水势比较高,中午前后降到最低,傍晚又有所恢复,日变化曲线呈波浪型。其原因是随着蒸腾作用的加强叶水势下降,促使植物吸收土壤水以补充散失的叶片水分,从而叶水势得以恢复并上升,这与 Nobel、马履一等人^[14-15]对其他作物叶水势的研究结果一致。在中午 12:00 叶水势有回升现象,这是因为在光照最强的时刻,叶片为保护自己不被灼伤而关闭部分气孔引起蒸腾速率下降所致。

清晨叶水势是植物经历一夜根冠水分平衡与恢复后,与根区平均土壤水势相近或与根区最湿部分水势接近,可以用来说明当地的土壤能否满足植物体的耗水需求^[16]。由图 5—6 可知,各树种在傍晚时的水势值均低于清晨水势值,说明当地土壤水分条件能够满足植物体的耗水需求。各树种全天叶水势均以 8:00 最高,最低值出现在 10:00—15:00 之间。

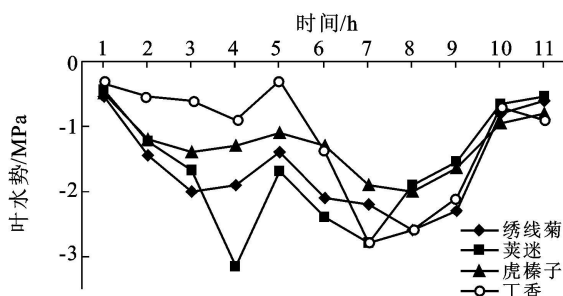


图 5 晴天时各树种叶水势的日变化

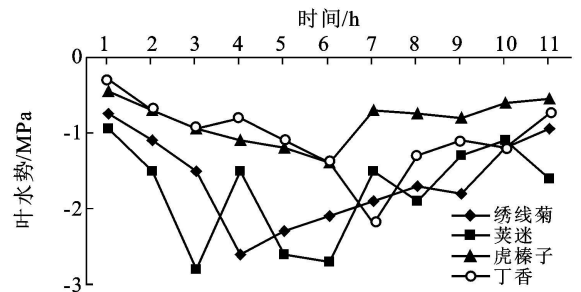


图 6 阴天时各树种叶水势的日变化

3.3.2 不同天气叶水势比较 日变幅是衡量植物抗旱性的重要指标,日变幅越小,说明其对外界因子变化的敏感性越低,受大气和土壤环境因子的影响越小,抗旱性越强,这也是其长期适应黄土丘陵区半干旱环境的结果^[17]。由表 3 可知,晴天时各树种日变幅由大到小的顺序为:莨苳 (-0.45 ~ -3.15 MPa) > 丁香 (-0.30 ~ -2.80 MPa) > 绣线菊 (-0.55 ~ -2.60 MPa) > 虎榛子 (-0.50 ~ -2.00 MPa); 阴天日变幅莨苳 (-0.20 ~ -2.2 MPa) 最大,其次为丁香 (-0.30 ~ -2.2 MPa) 和绣线菊 (-0.75 ~ -2.60 MPa),虎榛子 (-0.45 ~ -1.4 MPa) 最小,说明虎榛子的抗旱性较强,绣线菊和丁香居中,而莨苳的抗旱性较弱。各树种阴天时的抗旱性均强于晴天。

3.4 叶水势与蒸腾速率的关系

自然条件下,正常生长的苗木,一天中随着气温的升高及蒸腾的加强,植物组织失水加快,叶水势明显降低^[18-19]。

经统计分析,一天中叶水势 (Φ) 与蒸腾速率 (E) 的关系可用对数曲线来拟合,表达式为: $\Phi = a \ln E + b$ 。各树种叶水势与蒸腾速率关系中的回归系数与常数

项的取值见表 4。由表中可知, 英迷的回归系数绝对值最大, 其次是丁香和绣线菊, 虎榛子的最小。回归系数绝对值越大, 说明在蒸腾速率增大相同的值的情况下, 水分损失量越大, 抗旱性越弱, 因此虎榛子抗旱

性最强, 其次为绣线菊和丁香, 英迷最差, 这与通过叶水势日变幅得出的结论相一致, 因此通过比较叶水势与蒸腾速率回归方程的回归系数绝对值大小可以预测树种的抗旱性强弱。

表 3 各树种几个典型水势值及到达时刻

灌木种	晴天				阴天			
	最低值/MPa	到达时刻	日变幅/MPa	日均值/MPa	最低值/MPa	到达时刻	日变幅/MPa	日均值/MPa
绣线菊	-2.60	15:00	2.05	-1.63	-2.60	13:00	1.85	-1.63
英迷	-3.15	11:00	2.70	-1.64	-2.30	10:00	2.00	-1.77
虎榛子	-2.00	15:00	1.50	-1.28	-1.40	13:00	0.95	-0.84
丁香	-2.80	14:00	2.50	-1.20	-2.20	14:00	1.90	-1.07

表 4 各树种叶水势与蒸腾速率的相关性

灌木种	晴天			阴天		
	回归系数 a	常数项 b	相关系数的平方 R^2	回归系数 a	常数项 b	相关系数的平方 R^2
绣线菊	-1.777 0	-0.328 0	0.886 3	-2.015 9	-0.692 9	0.892 5
英迷	-3.270 1	1.484 3	0.949 0	-2.292 5	-0.020 4	0.930 9
虎榛子	-1.303 0	-0.535 2	0.873 1	-1.286 2	-0.409 7	0.857 2
丁香	-1.836 4	0.382 0	0.946 3	-2.136 4	0.427 1	0.849 9

3.5 蒸腾速率与气象因子的关系

植物的蒸腾速率一般受自身的生物学特性及周围环境因子的影响^[20]。太阳辐射是影响植物蒸腾速率的主要因子, 它同时也是大气温度与风速的直接控制因子^[21]。

经统计分析得出各树种蒸腾速率与太阳辐射、大气温度、空气饱和和水汽压差、大气相对湿度的最佳拟合方程, 再利用多元主成分方法分析气象因子对各树种蒸腾速率的贡献率, 对气象因子和蒸腾速率的方程进一步拟合, 得出综合模型, 如表 5 所示, 经检验其误

差在 4% 左右。由表中可以看出, 蒸腾速率与太阳辐射, 大气温度和空气饱和和水汽压差正相关, 与大气相对湿度负相关。晴天时影响绣线菊蒸腾速率的主要因子是大气温度和空气饱和和水汽压差; 阴天时是太阳辐射, 其次为空气饱和和水汽压差和相对湿度。无论晴天还是阴天, 太阳辐射都是影响英迷和丁香的主导因子, 次要因子分别为空气饱和和水汽压差和大气温度, 影响虎榛子的主要因子是大气温度和太阳辐射, 空气饱和和水汽压差和相对湿度的影响作用较小, 可见不同天气条件影响蒸腾速率的气象因子存在差异。

表 5 各树种蒸腾速率与气象因子的综合模型

灌木种	天气	模型
绣线菊	晴天	$Y = 9.75 \times 10^{-3} x_1^{0.7684} + 3.41 \times 10^{-2} x_2^{0.8484} + 1.81 \times 10^{-2} x_3^{0.2819} + 8.58 \times 10^{-3} e^{-0.0111x_4}$
	阴天	$Y = 7.74 \times 10^{-2} x_1^{0.4478} + 8.03 \times 10^{-3} x_2^{1.1955} + 4.01 \times 10^{-2} x_3^{0.2178} + 2.27 \times 10^{-2} e^{0.0145x_4}$
英迷	晴天	$Y = 0.140 x_1^{0.4264} + 1.52 \times 10^{-3} x_2^2 + 9.03 \times 10^{-2} - 0.615 + 9.67 \times 10^{-3} x_3^2 + 4.67 \times 10^{-2} x_3 + 2.75 \times 10^{-2} + 1.10 \times 10^{-2} e^{-0.0062x_4}$
	阴天	$Y = 0.144 x_1^{0.3928} + 6.58 \times 10^{-3} x_2^2 + 0.307 x_2 - 2.903 + 1.53 \times 10^{-2} x_3^2 + 2.73 \times 10^{-2} x_3 + 1.45 \times 10^{-2} + 1.37 \times 10^{-2} e^{-0.0103x_4}$
虎榛子	晴天	$Y = 5.16 \times 10^{-2} x_1^{0.5397} + 2.71 \ln(x_2) - 0.513 + 3.39 \times 10^{-2} x_3 + 0.915 + 7.84 \times 10^{-3} e^{-0.01x_4}$
	阴天	$Y = 6.69 \times 10^{-2} x_1^{0.4472} + 0.259 \ln(x_2) - 0.562 + 4.10 \times 10^{-4} x_3^2 + 2.53 \times 10^{-3} x_3 + 5.57 \times 10^{-3} + 5.7 \times 10^{-3} e^{-0.0109x_4}$
丁香	晴天	$Y = 0.631 e^{0.0017x_1} + 6.99 \times 10^{-2} e^{0.0597x_2} + 2.11 \times 10^{-2} x_3^{0.4808} + 8.38 \times 10^{-3} e^{-0.0193x_4}$
	阴天	$Y = 1.234 e^{0.0008x_1} + 5.47 \times 10^{-2} e^{0.0544x_2} + 1.59 \times 10^{-2} x_3^{0.2584} + 2.54 \times 10^{-2} e^{-0.0142x_4}$

注: x_1 为太阳辐射; x_2 为大气温度; x_3 为空气饱和和水汽压差; x_4 为大气相对湿度。

4 结论

(1) 各树种叶片含水量日变化呈波浪型, 早晚的

含水量高于中午, 英迷和丁香的叶片含水量高于绣线菊和虎榛子。晴天和阴天时英迷的叶片含水量日变幅(125.2%~114.2%)最大, 其次是丁香(110.3%~

59.8%)、绣线菊(86.8%~46.9%)、虎榛子(85.4%~35.2%)。

(2)晴天和阴天时日最大蒸腾速率为: 英迷 ($4.017 \sim 3.226 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、丁香 ($5.628 \sim 2.918 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、绣线菊 ($3.742 \sim 2.908 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、虎榛子 ($3.174 \sim 2.035 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$); 日平均蒸腾速率为: 英迷 ($2.687 \sim 2.252 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、丁香 ($2.652 \sim 2.058 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、绣线菊 ($2.215 \sim 1.649 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、虎榛子 ($1.864 \sim 1.423 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$), 日最大蒸腾速率与日平均蒸腾速率变化具有一致性。

(3)各树种叶水势日变化趋势为清晨最大, 中午前后降到最低, 下午逐渐回升, 但傍晚的叶水势均低于清晨水势值, 说明当地土壤水分条件能够满足植物耗水需求。晴天时各树种日变幅由大到小的顺序为英迷($-0.45 \sim -3.15 \text{ Mpa}$)>丁香($-0.30 \sim -2.80 \text{ Mpa}$)>绣线菊($-0.55 \sim -2.60 \text{ Mpa}$)>虎榛子($-0.50 \sim -2.00 \text{ Mpa}$); 阴天为英迷($-0.20 \sim -2.2 \text{ Mpa}$)>丁香($-0.30 \sim -2.20 \text{ Mpa}$)>绣线菊($-0.75 \sim -2.60 \text{ Mpa}$)>虎榛子($-0.45 \sim -1.4 \text{ Mpa}$), 说明虎榛子的抗旱性最强, 其次为绣线菊和丁香, 英迷的抗旱性最弱。

(4)蒸腾速率与叶水势呈负相关, 两者可用对数曲线来拟合, 比较各树种回归系数绝对值大小得出虎榛子抗旱性最强, 其次为绣线菊和丁香, 英迷抗旱性最弱。

(5)晴天时影响绣线菊蒸腾速率的主要因子是大气温度和空气饱和水汽压差; 阴天时为太阳辐射, 其次为空气饱和水汽压差和相对湿度。无论晴天还是阴天, 太阳辐射都是影响英迷和丁香的主导因子, 而影响虎榛子的主导因子是大气温度和太阳辐射。

致谢 野外实验得到北京林业大学山西吉县水土保持生态试验站的大力支持, 在此表示诚挚的谢意。

[参 考 文 献]

[1] 王得祥, 康博文, 刘建军, 等. 主要城市绿化树种苗木耗水特性研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(4): 20-23.
[2] 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.
[3] 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.
[4] 杨吉华, 李红云, 李焕平, 等. 4种灌木林地根系分布特征

及其固持土壤效应的研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 48-51.

- [5] 王海珍, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 不同土壤水分条件下黄土高原乡土树种耗水规律研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(6): 57-63.
[6] 王华田. 林木耗水性研究述评[J]. 世界林业研究, 2003, 16(2): 23-27.
[7] 魏天兴, 朱金兆, 张学培. 林分蒸散耗水量测定方法述评[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(3): 85-90.
[8] 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 不同土壤水分下刺槐和油松的生理特性[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(3): 12-17.
[9] 曾凡江, 张希明, 李小明, 等. 柽柳的水分特性研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 611-614.
[10] 鲍玉海, 杨吉华, 李红云, 等. 不同灌木树种蒸腾速率时空变异特征及其影响因子的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 184-187.
[11] Sobrado M A, Turner N C. Comparison of the water relations characteristics of *Helianthus annuus* and *Helianthus petiolaris* when subjected to water deficits[J]. *Oecologia*, 1983, 58: 309.
[12] 刘晓燕, 李吉跃, 翟洪波, 等. 10种木本植物水力结构特征春季变化规律[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 35-40.
[13] 李吉跃, 翟洪波. 木本植物水力结构与抗旱性[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 301-305.
[14] Nobel P S. *Patricia brewer biophysical plant physiology and ecology*[M]. Freeman W H Company, 1983: 96, 507.
[15] 徐军亮, 马履一, 王华田. 油松人工林 SPAC 水势梯度的时空变异[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(5): 1-5.
[16] 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): 1380-1386.
[17] 杨吉华, 张永涛, 王贵霞, 等. 栎树、黄连木、黄栌水分生理生态特性的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 152-158.
[18] 植物叶水势与蒸腾强度关系的理论探讨[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(3): 227-229.
[19] 徐炳成, 山仑, 李凤民, 等. 半干旱黄土丘陵区五种植物的生理生态特征比较[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 990-996.
[20] 李丽萍, 马履一, 王瑞辉, 等. 北京市3种园林绿化灌木树种的耗水特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(2): 44-51.
[21] 周海光, 刘广全, 焦醒, 等. 黄土高原水蚀风蚀复合区几种树木蒸腾耗水特性[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4568-4574.