

# 9种针阔叶幼树的蒸腾速率、叶水势 与环境因子关系的研究\*

郭连生 田有亮

(内蒙古林学院, 呼和浩特)

S 718.51

## 摘 要

应用QK-1气孔仪和压力室测定了樟子松、青杨等9种针阔叶幼树的蒸腾速率与其叶水势及与环境因子的关系。采用多元线性回归和逐步回归对观测值的统计分析结果表明:在土壤供水良好的条件下,其蒸腾速率主要受气象因子的影响,与其叶水势的相关性不显著。控水试验结果表明:在水分胁迫条件下其蒸腾速率与其叶水势和土壤含水量的相关性最显著。

关键词: 幼树, 蒸腾速率, 叶水势, 环境因子。

蒸腾作用是一个十分复杂的现象。它受植物本身特性和环境因子的综合影响。土壤-植物-大气连续体系(SAPC)中的水流是植物与环境间的联结物。在植物体内,水分运输同电流相似是在一个既有并联又有串联的十分复杂的系统内进行的。植物叶子的水势( $\psi_l$ )与土壤水势( $\psi_s$ )有关,其关系式为 $\psi_l = \psi_s + \Delta\psi$  ( $\Delta\psi =$  势降)<sup>[1]</sup>。水势作为植物水分状况的基本度量,已经获得了广泛的承认<sup>[2]</sup>。因此,研究植物的蒸腾作用必然与植物水势及与土壤和大气的环境状况有关。

为了探讨不同树种幼树在不同供水条件下蒸腾作用特性及其调解能力的差异,在研究了7种针阔叶树木耐旱性生理指标和叶水势与土壤含水量关系的基础上<sup>[3,4]</sup>,对幼树在不同环境因子作用下,其蒸腾速率与叶水势以及与环境因子作用的关系进行了研究。

## 一、试验地环境与试验树概况

试验地位于呼和浩特市东南郊的内蒙古林学院苗圃内。属于半干旱区的干草原地带。年平均温度5.8℃,年平均有效积温( $\geq 5^\circ\text{C}$ )2189℃,年平均降水量417mm,年平均蒸发量1754mm,无霜期130d。土壤为淡栗钙土壤土,地下水位10m左右。

本试验共选试9个树种的幼树,即:樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mengolica*, 6年生),油松(*Pinus tabulaeformis*, 6年生),杜松(*Juniperus rigida*, 6年生),侧柏(*Platycladus orientalis*, 6年生),白杆(*Picea meyeri*, 6年生),白榆(*Ulmus pumila*, 3年生),青杨(*Populus cathayana*, 3年生),北京杨(*P.X. Beijingensis*, 3年生),旱柳(*Salix matsudana*, 3年生)。均在同一圃地条件下栽培,生长发育正常。部分测试植株选自盆栽控水试验地内<sup>[5]</sup>。

\* 林业部资助的重点课题内容之一。  
本文于1990年12月3日收到。

## 二、研究方法

在确定的9种试验幼树中,每种选取具有代表性的5株作为测定对象,分别田间栽培和盆栽控水两个测定系列,从5月中旬至6月下旬每3—5d测定一次。测定内容包括:

1. 对田间栽培的测定系列(包括被测9种幼树)测定了气温( $T$ )、大气饱和亏缺( $SD$ )、太阳生理辐射强度( $RA$ )3个气象因子和蒸腾速率( $E$ )与叶水势( $\psi_l$ )的日进程(测定日的7:00—19:00,每两个小时测定一次)。

2. 对盆栽控水的测定系列(只测定了青杨、北京杨、白榆、旱柳4种幼树)测定了它们的早水势( $\psi_l$ )、土壤含水量( $SWP$ )和蒸腾速率( $E$ )的日平均值(7:00—19:00)。

3. 测定仪器及方法 气象因子( $T$ 、 $SD$ 、 $RA$ )及蒸腾速率使用QK-1气孔仪(航天部太行仪表厂)测定;水势用压力室(兰州大学制造)直接测定<sup>[5,6]</sup>;土壤含水量用烘干法测定。对测定结果应用多元线性回归和逐步回归方法进行分析。

## 三、结果

1. 在良好土壤供水条件下,各种试验幼树的蒸腾速率与其叶水势及与环境因子的关系对在田间充分供水条件下选测的各种试验幼树的观测值,采用多元线性回归建立了各被

表1 各种试验幼树观测值的多元线性回归方程\*的回归系数和方差分析  
Table 1 The polynomial linear regression equation for treating the various experiment young trees, the equation:  $E = B_0 + B_1SD + B_2T + B_3RA + B_4\psi_l$ , and its regression coefficient and variance analysis

树 种 Species of trees	回归方程回归系数 The regression coefficient of the regression equation					回归样本数 The number of examples of regression	回归方程方差分析 The variance analysis of regression equation				
	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$		回归离差平方和 The sum of regress variance	剩余离差平方和 The sum of surplus variance	回归剩余标准差 Surplus standard variance of regression	均方 Mean square ratio F	$F_{0.05}$
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	-8.218	1.423	0.618	0.006	-0.244	30	4826.381	1859.290	8.624	16.224	2.69
旗子松 <i>Pinus sylvestris var. mongolica</i>	-49.258	-1.570	4.892	0.008	-0.006	34	8602.254	2181.150	8.673	28.594	2.65
杜松 <i>Juniperus rigida</i>	88.948	-3.346	7.567	0.019	1.403	33	17167.408	6868.625	14.477	20.465	2.67
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	-41.443	-0.204	2.763	0.003	1.333	27	4531.867	1111.202	7.107	22.433	2.73
白杉 <i>Picea meyeri</i>	-3.295	-0.677	2.340	2.724	-1.481	35	2477.931	2280.426	8.719	8.150	2.65
白榆 <i>Ulmus pumila</i>	-275.804	0.116	18.452	0.090	1.498	42	531947.758	287446.013	88.141	17.118	2.59
青杨 <i>Populus cathayana</i>	-24.680	5.330	0.801	0.031	1.598	41	78087.273	8312.292	48.052	8.465	2.61
北京杨 <i>P. X. Beijingensis</i>	-24.578	5.433	0.842	0.031	1.601	42	77892.320	7969.831	37.900	8.946	2.59
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	127.543	-0.105	-0.038	0.281	-2.170	40	134195.079	128658.386	60.157	9.271	2.45

\*  $E = B_0 + B_1SD + B_2T + B_3RA + B_4\psi_l$

测树种的蒸腾速率( $E$ )与其叶水势( $\psi_l$ )及环境因子大气水汽饱和亏缺( $SD$ )、气温( $T$ )、太阳生理辐射强度( $RA$ )之间的关系式可表示为:  $E = B_0 + B_1SD + B_2T + B_3RA + B_4\psi_l$ , 其回归系数及方差分析结果见表1。

从表1可以看出,  $E = B_0 + B_1SD + B_2T + B_3RA + B_4\psi_l$ 对9种被测幼树都表现出高度的显著性, 具有一定的实用意义。

为了比较上述公式中各影响因子( $SD$ 、 $T$ 、 $RA$ 和 $\psi_l$ )对蒸腾速率( $E$ )影响程度的差异, 依上述方程建立的标准化正规方程组, 计算出与  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 和 $B_4$ 相对应的回归标准化正规方程组的标准回归系数  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 和 $b_4$ 。由于标准化后的标准回归系数与自变量和因变量所取的单位无关, 所以, 标准回归系数( $b_i$ )能表示其所对应的自变量对因变量的影响程度<sup>[7]</sup>。然后以  $F_{0.10}$ 的显著性水平对各影响因子进行逐步回归分析, 从而得到引入方程变量和剔除变量。从表2所列的数据可见, 上述两种方法对评价自变量对因变量的影响程度基本一致, 同逐步回归设计相吻合。

表2 各种试验树观测值的多元线性回归标准化正规方程组的标准回归系数  
Table 2 The standard regression coefficient of the standardized normalized equation of linear regression of the measured values of the various experiment young trees

树 种 Species of trees	标准回归系数 Standard regression coefficient				以 $F_{0.10}$ 逐步回归分析引入 方程变量* Factor of regression equation of regression analysis step by step with $F_{0.10}$
	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	0.6219	0.2106	0.1770	-0.0784	$SD$ 、 $T$ 、 $RA$
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	-0.5547	0.2430	0.2194	-0.0010	$T$ 、 $SD$ 、 $RA$
杜松 <i>Juniperus rigida</i>	-0.7976	0.1999	0.3490	0.1680	$T$ 、 $SD$ 、 $RA$ 、 $\psi_l$
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	-0.0905	0.9201	0.1107	0.2284	$T$ 、 $\psi_l$ 、 $RA$ 、 $SD$
白杆 <i>Picea meyeri</i>	-0.3459	0.0010	0.1107	-0.3154	$T$ 、 $\psi_l$ 、 $SD$ 、 $RA$
白榆 <i>Ulmus pumila</i>	0.0052	0.6159	0.3578	0.0303	$T$ 、 $RA$ 、 $SD$
青杨 <i>Populus cathayana</i>	0.5297	0.0744	0.2276	0.0309	$SD$ 、 $RA$ 、 $T$
北京杨 <i>P.X.Beijingensis</i>	0.5279	0.0785	0.2318	0.0320	$SD$ 、 $RA$ 、 $T$
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	-0.1462	-0.2616	0.1874	-0.2772	$\psi_l$ 、 $T$ 、 $RA$ 、 $SD$

\* 引入方程变量由先到后排序。

从表2可以看出, 在土壤充足供水条件下各树种幼树的蒸腾速率主要受气象因子的影响, 尤以气温和饱和亏缺( $T$ 、 $SD$ )的影响最大, 只有旱柳、白杆、油松和杜松的蒸腾速率受叶子自身水分状况( $\psi_l$ )的调节, 尤以旱柳的蒸腾与水势的关系最为密切。为了进一步说明蒸腾与水势的关系, 我们列出观测期间的几个典型水势值加以比较(表3)。

表3表明, 各种试验幼树早7时的水势值均在  $-1.0\text{MPa}$  左右, 说明土壤供水条件是良好的<sup>[3]</sup>; 在观测期间水势日变化的最低值和日进程观测中蒸腾速率最大时的水势值均接近或高于同时期测定的相应树种的  $\pi$  值, 这说明由于土壤供水良好, 即使在幼树蒸腾速率最大时, 幼树的叶子仍保持一定的膨压势。这可解释多数试验幼树的蒸腾速率受水势影响较小的原因。但旱柳、白杆、油松和杜松4种幼树的叶水势与蒸腾的关系即使在土壤供水良好的条件下也显示出比其它被测树种具有较强的敏感性。

## 2. 在土壤供水不足条件下各种试验幼树的蒸腾速率与其叶水势和土壤含水量的关系

在控量灌水的观察系列中, 我们测定了青杨、北京杨、白榆、旱柳4种阔叶幼树在水分

表 3 观测期间几个典型水势值之比较(MPa)  
Table 3 The comparison of the values of several typical water potential

树 种 Species of trees	早7:00的水势 Water potential at seven o'clock a.m	水势日变化的 最低值 Minimum of water potential in a day	日进程中蒸腾速率 最大时的水势值 Water potential when the tran- spiration rate is maximum in a day MPa	同期 $\pi_p$ *值 $\pi_p$ value in the same period
	MPa	MPa	MPa	MPa
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	-1.02	-2.04	-1.95	-1.85
樟子松 <i>Pinus sylvestris var. mongolica</i>	-0.98	-1.63	-1.65	-1.55
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	-0.88	-1.48	-1.48	-1.52
杜松 <i>Juniperus rigida</i>	-1.36	-1.74	-1.74	-1.86
白杆 <i>Picea meyeri</i>	-0.72	-1.54	-1.40	-1.45
白榆 <i>Ulmus pumila</i>	-1.10	-1.67	-1.60	-1.52
青杨 <i>Populus cathayana</i>	-0.85	-1.44	-1.44	-1.32
北京杨 <i>P.X. Beijingensis</i>	-0.85	-1.47	-1.47	-1.32
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	-0.75	-1.33	-1.22	> -1.32

\*  $\pi_p$ , 叶组织初始失膨点的渗透势(以下同)。

胁迫条件下, 其蒸腾速率与清晨(7:00)叶水势及与土壤含水量的关系(见图1、2)。

图1表明, 4种阔叶幼树平均日蒸腾速率均随其清晨叶水势的下降而降低, 尤以旱柳下降的斜率最大, 这与旱柳的蒸腾与叶水势的关系最敏感有关, 与表2显示的结果相吻合。

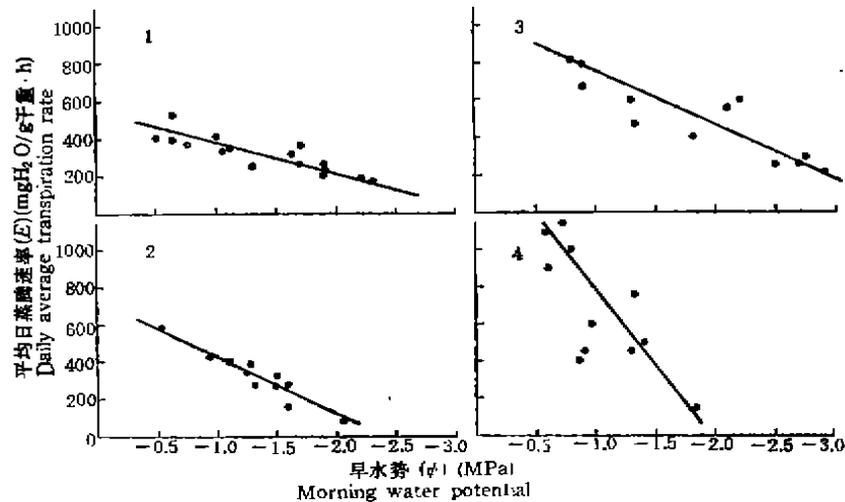


图1 日平均蒸腾速率与清晨叶水势的关系

Fig. 1 The relation between daily average transpiration rate and the water potential in the mornings

- 1. 青杨 *Populus cathayana*      2. 北京杨 *P.X. Beijingensis*
- 1  $y = 540 - 16.8x$   $r = 0.99$       2  $y = 1040 - 29.0x$   $r = 0.99$
- 3. 白榆 *Ulmus pumila*      4. 旱柳 *Salix matsudana*
- 3  $y = 735 - 30.4x$   $r = 0.90$       4  $y = 1767 - 94.4x$   $r = 0.85$

图2表明, 在土壤含水量较低对幼树供水不足的条件下, 各试验幼树的平均日蒸腾速率随着土壤含水量的增加而明显提高, 当土壤含水量达到充分供水条件时, 各试验幼树的平均日蒸腾速率几乎不再受土壤含水量的影响。这一结果同我们所研究的清晨叶水势与土壤含水

量之间的关系相近似<sup>[3]</sup>。

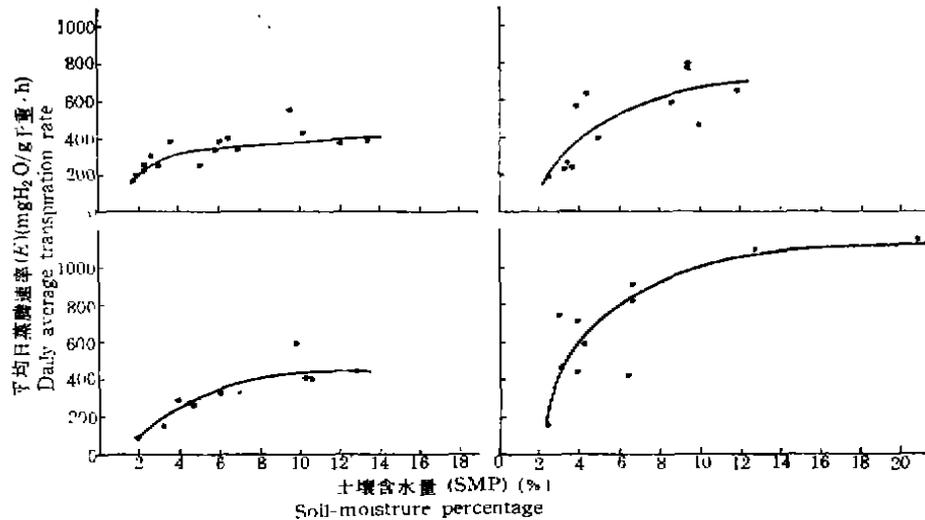


图2 日平均蒸腾速率与土壤含水量之间的关系

Fig. 2 The relation between daily average transpiration rate and moisture percentage of soil

1. 青杨 *Populus cathayana*    2. 北京杨 *P.X. Beijingensis*  
3. 白榆 *Ulmus pumila*        4. 旱柳 *Salix matsudana*

#### 四、讨 论

正如前言中所述，植物的蒸腾作用是一个十分复杂的现象和过程，它受诸多内外界因素的综合影响，至今没有一种方法能准确地野外测定出某一种植物蒸腾速率的真实值。不同的测定方法所得的结果都有很大的出入。我们的研究工作不在于侧重被测树木蒸腾速率绝对量的测定，而是用同一仪器方法在特定条件下对不同树种的大量观测值的统计分析和图解中力图探索一些有实际应用意义的问题。

1. 在土壤供水良好的条件下，幼树的蒸腾速率主要受气象因子 ( $T$ 、 $SD$ 、 $RA$ ) 的影响，有些树种也同时受叶水势的影响，它们之间的关系可用多元线性回归方程  $E = B_0 + B_1 SD + B_2 T + B_3 RA + B_4 \psi_l$  表示，这对所有被测树种都是适用的。但从表2的结果可以看出，不同种幼树的蒸腾速率所受各因子的影响程度不同。樟子松、杜松、油松、白杆、白榆、侧柏、青杨、北京杨的蒸腾速率与气温 ( $T$ ) 和饱和亏缺 ( $SD$ ) 的关系最显著，说明只要土壤供水充足，这些树种的蒸腾速率主要受大气因子的影响；而旱柳的蒸腾速率主要受叶水势 ( $\psi_l$ ) 的调节；太阳生理辐射的影响对所有被测树种都不处于最显著的地位，这可能是由于多数测定日都不是标准的晴朗日，瞬时的乌云遮盖都对辐射强度的测定值带来明显影响的缘故。从表2以  $F_{0.10}$  逐步回归分析引入变量中还可看出，水势 ( $\psi_l$ ) 除了对旱柳的蒸腾速率起显著影响外，对白杆、油松和杜松的蒸腾也具有相当的影响作用。这一现象说明，即使在土壤充分供水条件下，这些树种的蒸腾速率仍然受自身叶子水分状况的调节。

2. 在土壤供水不足出现水分胁迫的条件下，4种被测幼树测定结果的图解表明，它们

的蒸腾速率与土壤含水量和叶水势的关系最为密切。研究证明,幼树的清晨叶水势与其土壤含水量之间有互为指示的关系式,可利用其关系式中“临界值”的大小用以比较不同树种抗旱性强弱<sup>[3]</sup>。图1可表明不同种幼树的叶水势对其蒸腾作用的调节能力。水势和蒸腾的相关直线斜率最大的树种其抗旱力最弱,它的叶水势随其蒸腾速率的增强而迅速下降,很快会降到 $\pi_c$ 值以下而使其正常生理活动受到抑制。这种方法可以做为比较不同树种的叶水势对蒸腾调节控制能力的度量。

### 参 考 文 献

- [1] O. L. 朗格, 1985, 《水分与植物生活》, 第89—134页, 科学出版社。  
 [2] 王万里, 1981, 植物生理学通讯 (5):55—84。  
 [3] 郭连生等, 1989, 四种幼树叶水势与土壤含水量的关系及其耐旱性研究, 内蒙古林学院学报 1:1—8。  
 [4] 郭连生, 田有亮, 1989, 几种针阔叶树种耐旱性生理指标的研究, 林业科学 25(5):389—394。  
 [5] Kreeb, K., 1974, *Methoden der Pflanzen Ökologie*, Gustav Fischer Verlag, 136—142。  
 [6] 郭连生, 1985, 木本植物水势研究的原理和方法, 内蒙古林学院学报 (1):122—131。  
 [7] 关家骥, 屈永然, 1980, 《概率统计习题解答》, 第279—308页, 湖南科学技术出版社。  
 [8] P. J. 克累歇尔等(汪振儒等译), 1985, 《木本植物生理学》, 第483—535页, 中国林业出版社。  
 [9] 刘奉觉等, 1988, 田间供水与杨树生长关系的研究, 林业科学研究 1(3):252—258。

## TRANSPIRATION RATE OF CONIFEROUS AND BROADLEAF YOUNG TREES AS A FUNCTION OF WATER POTENTIAL OF THEIR LEAVES AND OF ENVIRONMENTAL FACTORS

Guo Lian-Sheng Tian You-Liang  
(Inner Mongolia College of Forestry, Huhehot)

The relationships of the transpiration rate of nine species of coniferous and broadleaf young trees to the water potential of their leaves and to the environmental factors were determined by means of a QK-1 stomatograph and a pressure chamber. These young trees are *Pinus sylvestris var. mongolica*, *Populus cathayana*, etc. The data obtained were analysed by polynomial linear regression and stepwise regression. The results from statistic analyses show that, under the condition of water well-fed soil, the transpiration rates were mainly dependent on climatic factors and not significant in correlation with the water potential of their leaves. The results from water controlled experiments show that, under the condition of water stress, there was a quite significant correlation of the transpiration rate with the water potential of their leaves and the moisture percentage of soil.

Key words: young tree, transpiration rate, water potential of leaves, environmental factor.