

4种针叶幼树光合速率、蒸腾速率与土壤含水量的关系及其抗旱性研究*

郭连生 田有亮 (内蒙古林学院, 呼和浩特 010019)

【摘要】 对半干旱区4种针叶幼树的光合速率、蒸腾速率与土壤含水量关系的分析表明,二者均有随土壤含水量下降而减小的趋势,其关系可用回归方程 $y = A + Be^{-x}$ 表示。依此式计算出的净光合速率(Y)等于零时的土壤含水量(X)值,各树种间有明显的差别,该值小的树种具有较强的抗旱性。其抗旱性顺序为侧柏>樟子松>油松>白桦。

关键词 净光合速率 蒸腾速率 土壤含水量 抗旱性

Relations of four coniferous young trees' photosynthetic and transpiration rates to soil moisture content and their drought resistance. Guo Liansheng and Tian Youliang (Inner Mongolia Forestry College, Huhehaote 010019). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1994, 5(1): 32—36.

Analysis on the relations of four coniferous young trees' photosynthetic and transpiration rates to soil moisture content in semi-arid region shows that these two rates tend to decrease with decreasing soil moisture content, which can be expressed by regression equation $y = A + Be^{-x}$. Calculation results show that when net photosynthetic rate (y) equals to zero, the values of soil moisture content (x) are different for each coniferous species. Tree species with smaller x values have a stronger drought resistance, which is in order of *Platycladus orientalis* > *Pinus sylvestris* var. *mongolica* > *P. tabulaeformis* > *Picea meyeri*.

Key words Net photosynthetic rate, Transpiration rate, Soil moisture content, Drought resistance.

1 引言

水分是植物生活的必要条件,土壤水分状况是影响植物体内水分状况的重要因素。在自然条件下,植物生长地方的土壤水分由于降水、地下渗漏、蒸发等而有较大的变化,植物体内的水分状况随着土壤水分的变化而异,从而引起光合活性的变化^[1]。对于反映幼树体内水分状况的综合指标——叶水势随土壤含水量的变化关系,利用这种关系评价不同种幼树的抗旱性差异,已被我们的研究结果所证实^[3]。在此基础上又研究了樟子松等4种针叶幼树的光合及蒸腾速率与土壤含水量变化的关系,进而从光合生产率和水分利用效率方面评

价不同种幼树的抗旱性差异,得到了与上述研究同样的具有实际应用意义的结果。

2 材料与方法

2.1 供试材料

试验地位于内蒙古呼和浩特市东南部的内蒙古林学院苗圃内。试验树种为樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、油松(*P. tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)和白桦(*Picea meyeri*),均为7年生。采用相同土壤基质盆栽法,每种幼树各分为3组,每组5株,每组为1个控水等级,分别为充分供水(每周灌水1次,达到最大田间持水量)、半量灌水(每周灌水1次,为充分供水灌水量之半)和持续干旱(从试验开始

*国家自然科学基金资助项目。

1992年10月21日收到,1993年4月14日改回。

起持续不灌水)3 级处理^[3]。在测试前两个星期对 3 个级别的苗木均进行充分供水,并在测试开始对其进行测定,以获得 3 个级别的苗木在充分供水条件下的试验数据。

2.2 研究方法

在 6 月下旬幼树生长旺盛季节,选择晴朗日 为测定日,每株试验幼树每次选取两个样本,以当年生新生叶为测试材料。使用 Li-6000 (Li-COR, USA)便携式光合速测仪,活体测定经不同水分级处理的各种试验幼树所选样本净光合速率和蒸腾速率的日进程(早 7 时开始,以 2h 间隔测定);分别计算不同水分级处理材料的光合及蒸腾速率的日平均值;再以各树种该测定日充分供水级材料的测定结果为基数,分别计算出各树种该测定日其它水分级处理材料与基数值之比,作为测定项目的统计数据。经过这种相对量化处理以减小不同测定日气象因子差异和系统误差对分析结果的影响。

在测定日的清晨 6—7 时,用压力室法测定各水分级处理的幼树叶水势,同时取土样用烘干称重法测定各水分级处理的土壤含水量,并依其计

表 1 充分供水条件下的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(E)和水分利用效率(WUE)

Table 1 Net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (E) and water use efficiency (WUE) under sufficient water supply condition

树 种 Species	净光合速率 Net photosynthetic rate (M±SD) (mgCO ₂ · g ⁻¹ DW · h ⁻¹)	蒸腾速率 Transpiration rate (M±SD) (mgH ₂ O · g ⁻¹ DW · h ⁻¹)	水分利用率 Water use efficiency (P _n /E)
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	5.9467±0.5991(8)	209.32±35.71(8)	0.0284
侧 柏 <i>Platycladus orientalis</i>	3.5516±0.3478(8)	233.61±68.32(8)	0.0152
油 松 <i>P. tabulaeformis</i>	3.4029±0.3171(8)	189.50±33.28(8)	0.0180
白 枞 <i>Picea meyeri</i>	3.2233±0.4829(8)	320.60±58.53(8)	0.0101

蒸腾速率与土壤含水量变化的关系

把同一测定日在不同土壤含水量条件下测定的各试验幼树净光合速率和蒸腾速率的日平均值与在充分供水条件下测得的日平均值之比称为净光合速率比和蒸腾速率比。从图 1 可见,在一定土壤含水量范围内,4 种试验幼树的净光合速率和蒸腾速率均随土壤含水量的提高而增强,当土壤含

算每个树种各水分级的土壤含水量的平均值及水势平均值^[2]。

以经过上述处理的各测定项目的统计数据 和与其相对应的土壤含水量及清晨叶水势的测定值为基础,统计分析 4 种试验幼树的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(E)与土壤含水量和清晨叶水势的相关关系。

3 结果与讨论

3.1 充分供水条件下的净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率

表 1 列出了 4 种试验幼树在土壤充分供水条件下所测得的净光合速率和蒸腾速率的日平均值的平均值。可以看出,在幼树旺盛生长季节,4 种针叶树种中樟子松表现出最强的净光合速率和最高的水分利用效率,其次是侧柏和油松,白枞的净光合速率和水分利用效率都表现为最低,这同它们在生长速率上表现出的差异相似。

3.2 土壤供水不足的条件 下净光合速率、

水量提高到一定程度后,二者则不受土壤含水量继续提高的影响。当土壤含水量降低到一定程度后,只表现为呼吸,而蒸腾作用也近于停止。这种关系可用 $y = A - Be^{-ax}$ 关系式表达(表 2)。

应用表 2 所列的回归方程式计算出 4 种幼树的净光合速率近于零时的土壤含水量值(y₁=0 时的 x 值)的大小来比较其抗

旱性强弱顺序为:侧柏、樟子松、油松、白 枎. 这一结果与应用PV技术测得的最小表 2 土壤含水量(x)与幼树净光合速率比(y_1)、蒸腾速率比(y_2)的回归方程式及参数*

Table 2 Regression equation of soil moisture content (x) and ratio* of net photosynthetic (y_1) and transpiration (y_2) rates and its parameters

树 种 Species	回归方程 Regression equation	样本数 Sample number	相关系数 Correlation coefficient	标准差 Standard deviation	$y=0$ 时 x 值 Estimated value x at $y=0$	$y=1$ 时 x 值 Estimated value x at $y=1$
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i>	$y_1 = 1.3488 - 2.9069e^{-0.105x}$	17	-0.97	0.1078	7.29	20.14
var. <i>mongolica</i>	$y_2 = 0.9994 - 5.5727e^{-0.294x}$	17	-0.87	0.2027		31.18
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	$y_1 = 0.9698 - 28.3170e^{-0.555x}$	17	-0.97	0.1348	6.07	12.32
	$y_2 = 0.9622 - 2.8090e^{-0.227x}$	17	-0.85	0.1982		18.96
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	$y_1 = 1.2118 - 5.9931e^{-0.208x}$	12	-0.97	0.1350	7.67	16.05
	$y_2 = 1.3226 - 2.4515e^{-0.132x}$	12	-0.85	0.2082		15.41
白枎 <i>Picea meyeri</i>	$y_1 = 1.1105 - 5.6581e^{-0.208x}$	16	-0.94	0.2073	7.82	18.89
	$y_2 = 0.9116 - 13.1564e^{-0.455x}$	16	-0.84	0.1999		11.01

* 相关系数指 y 对 e^{-kx} 回归; k 的相对误差为 0.001, 下表同.

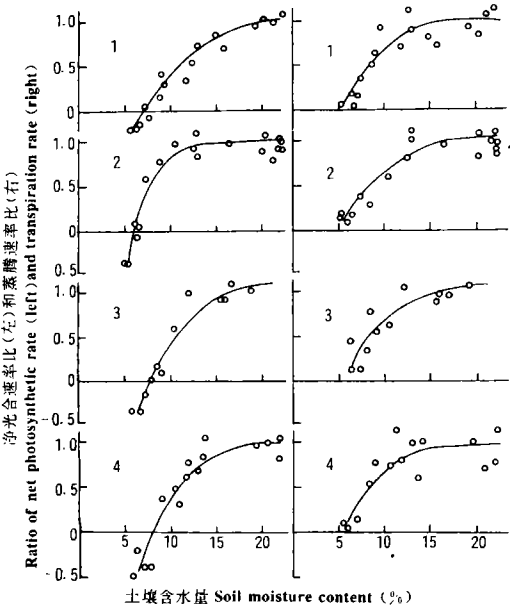


图 1 净光合速率比和蒸腾速率比与土壤含水量(SMC)的关系

Fig. 1 Relationship between soil moisture content (SMC) and the ratio* of photosynthetic and transpiration rates. (The ratio here means the ratio of photosynthetic and transpiration under deficient soil water condition to the rates under sufficient soil water condition.)

1. 樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, 2. 侧柏 *Platycladus orientalis*, 3. 油松 *Pinus tabulaeformis*, 4. 白枎 *Picea meyeri*.

π_p 值对 4 种针叶幼树的抗旱性排序完全一

致^[3], 与应用土壤含水量同清晨叶水势相关关系的“临界值”排序亦十分接近^[2]. 将该值作为树木光合生产力的抗旱生理指标是适用的.

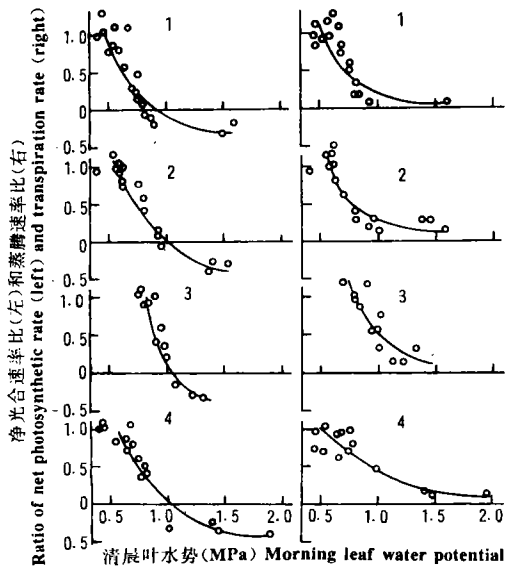


图 2 净光合速率比和蒸腾速率比与幼树清晨叶水势(ψ_L)之间的关系

Fig. 2 Relationship between the morning leaf water potential (ψ_L) of young trees and ratio* of net photosynthetic and transpiration rates.

1. 樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, 2. 侧柏 *Platycladus orientalis*, 3. 油松 *Pinus tabulaeformis*, 4. 白枎 *Picea meyeri*.

当 $y=1$ 时的 x 值,表明从理论推断影响幼树光合和蒸腾作用的土壤含水量最高临界值.借此可以评价不同种幼树的光合和蒸腾作用受土壤水分状况影响的土壤含水量幅度.在 4 种针叶树中,使光合速率由 0 到 1 时的土壤含水量的变化幅度侧柏最小,其次是油松和白扦,樟子松最大.

3.3 光合和蒸腾速率与幼树清晨叶水势变化的关系(图 2)

在同质土壤条件下,土壤含水量与幼树清晨叶水势之间有确定的关系^[2].因此,

幼树清晨叶水势对其光合和蒸腾作用的影响,与土壤含水量对其影响有相似之处.它们之间的关系可用回归方程 $y = A + B^{*x}$ 表达(表 3).利用该公式计算出净光合速率为 0 时的叶水势(即 $y_1=0$ 时的 x 值),从表 3 可见,4 种针叶幼树的差异不明显.当 $y_1=1$ 时的 x 值除油松略低外(-0.797 MPa),其它树种都十分接近.说明各树种要达到最大净光合能力都需保持相当高的清晨叶水势(>-0.5 MPa).

表 3 试验幼树的清晨叶水势(x)与净光合速率比(y_1)、蒸腾速率比(y_2)的回归方程式及其参数*
Table 3 Regression equation of morning leaf water potential (x)of experimental young trees and ratio* of net photosynthetic (y_1) and transpiration (y_2) rates and its parameters

树 种 Species	回归方程 Regression equation	样本数 Sample number	相关系数 Correlation coefficient	标准差 Standard deviation	$y=0$ 时 x 值 Estimated value x at $y=0$	$y=1$ 时 x 值 Estimated value x at $y=0$
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i>	$y_1 = -0.5019 + 4.1094e^{-0.222x}$	17	0.83	0.268	9.46	4.529
var. <i>mongolica</i>	$y_2 = -0.2850 + 2.6705e^{-0.154x}$	17	0.72	0.279		4.755
侧柏 <i>Platycladus</i>	$y_1 = -28.1274 + 30.0576e^{-0.006x}$	17	0.91	0.218	11.28	5.344
<i>orientalis</i>	$y_2 = -0.1599 + 2.3282e^{-0.147x}$	17	0.74	0.256		4.737
油松 <i>Pinus</i>	$y_1 = -1.3316 + 11.4758e^{-0.200x}$	12	0.94	0.199	10.77	7.968
<i>tabulaeformis</i>	$y_2 = 0.1140 + 22.4584e^{-0.400x}$	12	0.84	0.210		8.082
白扦	$y_1 = -1.0636 + 3.4939e^{-0.105x}$	16	0.91	0.240	11.30	5.002
<i>Picea meyeri</i>	$y_2 = -17.3015 + 18.6047e^{-0.004x}$	16	0.80	0.216		4.239

* 回归方程中水势使用绝对值,单位为巴(bar),下表同.

表 4 土壤含水量(x_1)、幼树清晨叶水势(x_2)与水分利用效率(y)的回归方程式及其参数*
Table 4 Regression equation of soil moisture content (x_1),the morning leaf water potential (x_2) of young trees tested and the water use efficiency (y) and its parameters

树 种 Species	回归方程 Regression equation	样本数 Sample number	标准差 Standard deviation	相关系数 Correlation coefficient	$y=0$ 时 x 值 Estimated value x at $y=0$	y 等于充量供水 平均值 x 值 Estimated value x
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i>	$y_1 = 0.0228 - 1.2240e^{-0.454x_1}$	17	0.0130	-0.92	8.759	20.900
var. <i>mongolica</i>	$y_2 = -0.1680 + 0.2729e^{-0.065x_2}$	17	0.0189	0.81	7.475	5.070
侧柏 <i>Platycladus</i>	$y_1 = 0.0188 - 87.8520e^{-1.429x_1}$	17	0.0088	-0.82	5.914	7.066
<i>orientalis</i>	$y_2 = -1.5592 + 1.6016e^{-0.0024x_2}$	17	0.0107	0.72	10.900	6.960
油松 <i>Pinus</i>	$y_1 = 0.0201 - 0.5197e^{-0.385x_1}$	12	0.0096	-0.88	8.450	14.278
<i>tabulaeformis</i>	$y_2 = -0.4864 + 0.5931e^{-0.020x_2}$	12	0.0107	0.85	9.970	8.142
白扦	$y_1 = 0.0129 - 0.4381e^{-0.385x_1}$	16	0.0047	-0.96	9.157	13.098
<i>Picea meyeri</i>	$y_2 = -1.2150 + 1.2477e^{-0.003x_2}$	16	0.0042	0.97	8.810	6.070

3.4 幼树的水分利用效率(WUE)与土壤含水量及幼树清晨叶水势的关系

水分利用效率($WUE = P_n/E$)是反映幼树光合和蒸腾作用的综合指标,它与土壤含水量的关系和上述净光合速率与土壤含水量的关系图相类似,而它与清晨叶水势的关系也同净光合速率与清晨叶水势的关系图类同,即在测定范围内,其随着二者增加而增加,并在达到一定值时,随着二者变化其值保持不变的趋势.对所选方程拟合结果指出,剩余离差最小的方程仍是 $y = A + Be^{-kx}$.表4所列回归方程参数指出,当 B 为负时,方程反映了土壤含水量(x_1)和水分利用效率(y)的关系,当 B 值为正时,反映了清晨水势(x_2)和水分利用效率的关系,这与上述土壤含水量和清晨叶水势与光合速率的关系式相同.从表4亦可看出,方程极限值 A 与表1所列充量灌水级的水分利用效率平均值相近似.表

4亦列出了水分利用效率近于零时的土壤含水量(x_1)和幼树清晨叶水势(x_2)的值.水分利用效率近于零,即表明光合速率近于零.因此,其结果与二者对光合速率的影响结果相接近.4种针叶幼树的水分利用效率对低土壤含水量的适应性仍以侧柏最强($y=0$ 时的 x 值为 5.914%),依次是油松、樟子松和白扦.这与土壤含水量与净光合速率比的回归结果基本一致.

参考文献

- [1] 古谷雅树等.1979.植物生理学讲座(第5卷,物质交换与运输).科学出版社,北京,265—272.
- [2] 田有亮、郭连生.1990.应用PV技术对7种针阔叶幼树抗旱性的研究.应用生态学报,1(2):114—119.
- [3] 郭连生、田有亮.1992.8种针阔叶幼树清晨叶水势与土壤含水量的关系及其抗旱性研究.生态学杂志,11(2):4—7.