不同密度刺槐林在蒸腾旺季的蒸腾特征

周晓新[1]，张建军[1,2]，隋旭红[1]，李轶涛[1]，王清玉[1]
(1. 北京林业大学 水土保持学院，北京 100083；2. 北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室，北京 100083)

摘　要：在蒸腾旺盛的 7，8 月份，选择典型晴天，对 5 种不同密度(1 400，1 600，1 800，2 000，2 200 株/ hm^2)刺槐(*Robinia Pseudoacacia* L.)林的叶片含水量、蒸腾速率、叶水势、根水势日变化进行了观察，并测定了林地 0—60 cm 土层的土壤含水量。结果表明，(1) 各密度林分叶片含水量的日均值在 7，8 月份均为 $\rho_{2200}>\rho_{2000}>\rho_{1400}>\rho_{1600}>\rho_{1800}$，8 月低于 7 月；(2) 不同密度刺槐林蒸腾速率日变化趋势在 7，8 月份呈现相似的变化规律，即随着林分密度的增大，蒸腾速率日变化曲线由“双峰型”趋于“单峰型”，最大值均出现在下午 13:00—14:00，日平均蒸腾速率在 7，8 月份为：$\rho_{1800}>\rho_{1600}>\rho_{1400}>\rho_{2000}>\rho_{2200}$；(3) 不同密度刺槐林叶水势的日均值在 7，8 月份均为 $\rho_{1800}<\rho_{1600}<\rho_{1400}<\rho_{2000}<\rho_{2200}$，但 8 月份明显低于 7 月份，其日变幅则明显高于 7 月份；(4) 根水势高于叶水势，日变幅小于叶水势日变幅，日均值大小在 7，8 月份均为：$\rho_{1800}>\rho_{1600}>\rho_{1400}>\rho_{2000}>\rho_{2200}$，且 8 月份低于 7 月份，而日变幅则是 8 月份大于 7 月份；(5) 不同密度刺槐林一天中根、叶水势之差($\Delta\varphi$)与蒸腾速率(T_r)的关系可以用对数曲线来拟合；(6) 刺槐的叶水势随着叶片含水量的增大而升高，二者的关系可以用对数曲线来拟合；(7) 不同密度林地 7 月份土壤含水量随土层深度的增加变幅较小，而 8 月份变幅较大，0—60 cm 土层的土壤平均含水量随林地密度的增大而减小。从土壤水分的有效利用以及达到最佳生长状况的角度出发，建议试验区 15 年生刺槐林分密度为 1 800 株/ hm^2。

关键词：刺槐；密度；叶片含水量；蒸腾速率；叶水势；根水势；土壤含水量
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2010)03-0041-07　　**中图分类号**：Q938，S72

Transpiration Characteristics of *Robinia Pseudoacacia* L. with Different Densities During the Peak Season

ZHOU Xiao-xin[1], ZHANG Jian-jun[1,2], SUI Xu-hong[1], LI Yi-tao[1], WANG Qing-yu[1]
(1. *College of Soil & Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 10083, *China*;
2. *Key Laboratory for Soil & Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: Daily changes of leaf water content, transpiration rate, leaf water potential, and root water potential of *Robinia Pseudoacacia* from different stand densities and soil water within 60 cm of soil surface in the proving ground were studied on typical clear days during the peak season. Results are listed as following: (1) Daily average leaf water content of different stand densities was lower in August than July and was in the sequence of $\rho_{2200}>\rho_{2000}>\rho_{1400}>\rho_{1600}>\rho_{1800}$ in the two months. (2) Diurnal variation of transpiration rate was similar in both months, meaning that the curves changed from “double peak” style to “single peak” with increased stand density and all the peak values appeared between 13:00 and 14:00. Daily average transpiration rate was $\rho_{1800}>\rho_{1600}>\rho_{1400}>\rho_{2000}>\rho_{2200}$ in July and August. (3) Daily average leaf water potential of different stand densities was in the following order in both months: $\rho_{1800}<\rho_{1600}<\rho_{1400}<\rho_{2000}<\rho_{2200}$ and was apparently lower in August than in July, with more obvious daily variation in August than in July. (4) Root water potential was higher than leaf water potential, with daily variation obviously less than leaf water potential, and daily average root water potential of five stands with different densities was in the order of $\rho_{1800}>\rho_{1600}>\rho1_{400}>\rho_{2000}>\rho_{2200}$ and was lower in August than in July, with more obvious daily variation in August than in July. (5) Difference between leaf and root water potential ($S-L$) was negatively related with transpiration rate

收稿日期：2009-10-26　　**修回日期**：2010-01-15
资助项目：“十一五”课题“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“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：周晓新(1983—)，女(汉族)，山西省阳泉市人，在读硕士，研究方向为半干旱区植被恢复。E-mail：zxx5681@163.com。
通信作者：张建军(1964—)，男(汉族)，甘肃省天水市人，博士，副教授，硕士生导师，主要研究方向为水土保持与植被恢复、水文与水资源学。E-mail：zhangjianjun@bjfu.edu.cn。

(T_r) and such a relationship can be fitted by logarithmic curve. (6) Leaf water potential of *R. Pseudoacacia* increases with leaf water content, the relationship between them can be described by logarithmic curve. (7) With theincreased soil depth, soil water variation was lower in July than in August and the average soil water in 0—60 cm layer declined with increased stand density. From the respective of effective water utilization and the best growth vigor, 1800 strains/ hm^2 is the reasonable stand density.

Keywords: Robinia Pseudoacacia; **density; leaf water content; transpiration rate; leaf water potential; root water potential; soil water content**

刺槐(*Robinia Pseudoacacia* L.)是黄土高原半干旱区和半湿润区植被恢复的主要人工造林树种之一,对改善这一地区的生态环境、防治水土流失,乃至对调节黄河流域的水文状况发挥着重要的作用[1-2]。密度是林木群体结构的数量基础。在培育水土保持林过程中,常采用初植密度和经营密度[3]的概念,合理密度指林分在整个生长过程中满足人们某种需要的同时,不会造成土壤水分亏缺的经营密度。已有研究表明,造林密度是人工林经营的最重要内容,直接关系到造林成效的优劣,是影响林分结构、林木生长、林地利用率及林分生产力的关键因子[4-5]。对于半干旱半湿润地区刺槐林合理密度的确定、不同密度刺槐林的水土保持作用、土壤水分动态等已有研究[6-8],但是对不同密度刺槐林的蒸腾耗水日变化特征、根水势以及叶水势与叶片含水量的关系等的研究还很少见。

本试验选取了半干旱半湿润黄土丘陵区 5 个密度(1 400, 1 600, 1 800, 2 000, 2 200 株/ hm^2)的刺槐人工成林(随着林木的增长,通过后期间伐等措施形成各林分密度梯度)为研究对象,研究了蒸腾耗水最多的 7, 8 月份的叶片含水量、蒸腾速率、叶水势及根水势的日变化特征,揭示不同密度刺槐林的蒸腾耗水特征,为黄土半干旱区适宜密度的确定提供一定的理论依据。

1 试验区概况

研究区位于山西吉县蔡家川流域,地理坐标在 110°45′—110°47′E, 36°00′—36°05′N 之间。该地区土壤为褐土,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)。营造水土保持林的主要树种有刺槐、油松(*Pinus tabulaef ormis*)和侧柏(*Platycladus orientalis*)等,自然分布的次生林主要以山杨(*Populus davidiana*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)等为主。经济林树种主要有苹果(*Malus pumila*)、杏树(*Armeniaca vulgaris*)和梨树(*Pyrus hopeiensis*)等。

2 研究对象与方法

本试验选取 5 种不同密度的刺槐林分作为研究对象(见表 1),于 2009 年 7—8 月,选择 5 个气象条件相似的典型晴天,从 8:00—18:00 时每隔 1 h 使用感量为 0.001 g 的精密电子天平,选择生长良好的标准枝,采用快速离体称重法[9]测定刺槐的蒸腾速率,刺槐叶面积是通过将采样叶片照相后用 photoshopCS v8.01 和 ImageJ 进行处理计算得到的,通过快速称重法直接测定的结果单位为 g/(min·cm^2),为了便于与其它论文中的数据进行比较,故将其单位转换为 mmol/(m^2·s),转换公式为:1 g/(min·cm^2) = 10^6/10^8 mmol/(m^2·s)。同步使用露点水势仪测定各树种的叶水势及根水势,并用烘干法测定叶片含水量以及林地 0—60 cm 土层的土壤含水量。对蒸腾速率、叶水势、根水势以及叶片含水量重复测定 3 次,取平均值;对土壤含水量的测定采用每 10 cm 为一层进行取土,分装 3 个铝盒,求平均值。

表 1 不同密度刺槐林分的基本情况

密度/(株·hm^{-2})	树龄/a	树高/m	胸径/cm	冠幅/m	单株生物量/kg	郁闭度	草本盖度/%	坡向	坡度/(°)
1 400	15	11.85	10.15	4.33	69.04	84	89	阳坡	17
1 600	15	12.76	10.13	3.95	75.76	92	90	阳坡	33
1 800	15	12.88	11.09	4.30	79.18	93	86	阳坡	34
2 000	15	11.75	11.88	4.55	70.84	89	88	阳坡	19
2 200	15	10.22	11.60	4.00	71.31	86	92	阳坡	25

注:表中数据是样方调查数据的均值,样方大小为 15 m×15 m。

3　结果与分析

3.1　叶片含水量的日变化

叶片含水量是一个动态变化的过程,它不仅受自身生理特点的影响,还受土壤含水量和气温的影响和制约[10]。

叶片含水量测算以叶干重为基数,即

叶片含水量 = (叶鲜重 - 叶干重) ·100 %/ 叶干重

在 7,8 月份,5 种不同密度刺槐林的叶片含水量从 8:00 —18:00 时均有不同程度的下降,日变幅均以 ρ_{1400} 最大,ρ_{1600}、ρ_{2000}、ρ_{2200} 居中,ρ_{1800} 最小,且除 ρ_{1800} 时,2 个月日变幅相差不大,其它密度的日变幅均以 8 月份大于 7 月份。从表 2 可以看出,各密度林分叶片含水量日均值呈现相同的变化规律,即 $\rho_{2200} > \rho_{2000} > \rho_{1400} > \rho_{1600} > \rho_{1800}$,但 8 月份叶片含水量(149.07 %～217.84 %)明显低于 7 月(185.15 %～35.82 %),不同密度的叶片含水量 8 月比 7 月降低的幅度差异较大,ρ_{1600} 和 ρ_{1800} 分别降低了 19.86 %和 19.49 %,ρ_{2000} 和 ρ_{2200} 分别降低了 7.70 %和 7.62 %,ρ_{1400} 只降低了 4.91 %,叶片含水量月间差异大小不同。

3.2　蒸腾速率的日变化规律

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[11]。

如图 1 所示,不同密度刺槐林蒸腾速率日变化趋势在 7,8 月份呈现相似的变化规律,即随着林分密度的增大,蒸腾速率日变化曲线由双峰型趋于单峰型,但无论单峰型还是双峰型,其最大值均出现在下午 13:00 —14:00 时。

表 2　不同密度刺槐林的叶片含水量日变化典型值

月份	密度/(株·hm^{-2})	叶片含水量/ %						
		均值	最大值	最小值	变幅	8:00	18:00	差值
7 月	1 400	206.04	297.85	169.80	128.06	235.88	169.80	66.08
	1 600	188.82	240.61	157.11	83.50	179.32	157.11	22.22
	1 800	185.15	201.97	168.07	33.89	201.97	195.21	6.76
	2 000	215.13	258.58	180.77	77.82	208.83	193.69	15.14
	2 200	235.82	260.65	200.88	59.77	260.65	225.78	34.87
8 月	1 400	195.92	332.52	151.68	180.85	250.26	152.44	97.82
	1 600	151.33	236.46	119.25	117.21	144.65	122.94	21.71
	1 800	149.07	164.81	131.67	33.13	164.81	153.94	10.87
	2 000	198.57	261.26	152.60	108.66	215.70	165.19	50.51
	2 200	217.84	270.63	126.03	144.60	226.31	224.25	2.06

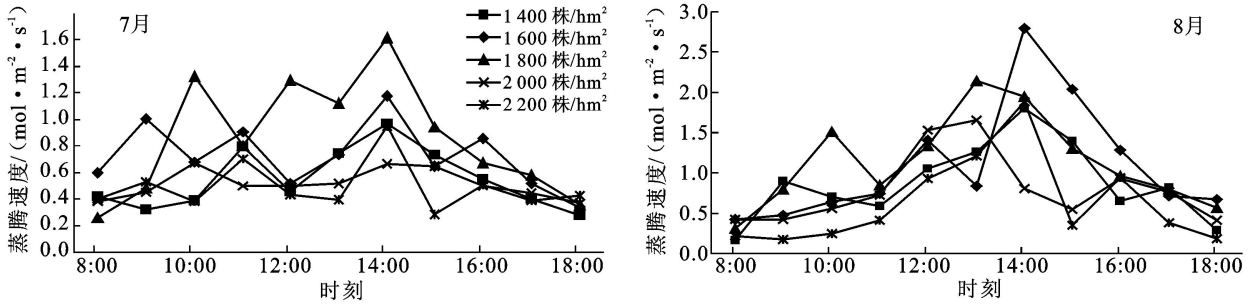


图 1　不同密度刺槐林 7,8 月份蒸腾速率的日变化

7 月份日变化趋势如图 1 所示,当密度为 1 400,1 600,1 800 株/ hm^2 时,蒸腾速率日变化曲线为明显的双峰型,分别在 11:00 〔0.802 mmol/ (m^2 ·s)〕和 14:00 〔0.970 mmol/ (m^2 ·s)〕,9:00 〔1.007 mmol/ (m^2 ·s)〕和 14:00 〔1.178 mmol/ (m^2 ·s)〕,10:00 〔1.322 mmol/ (m^2 ·s)〕和 14:00 〔1.615 mmol/ (m^2 ·s)〕达到峰值;当密度为 2 000 株/ hm^2 时,呈现不明显的双峰型,分别于 10:00 时 〔0.667 mmol/ (m^2 ·s)〕和 14:00 时 〔0.673 mmol/ (m^2 ·s)〕达到峰值;当密度为 2 200 株/ hm^2 时,蒸腾速率日变化曲线为单峰型,于 14:00 时 〔0.946 mmol/ (m^2 ·s)〕达到峰值。

8 月份日变化趋势与 7 月份相似,如图所 1 示,当密度为 1 400,1 600,1 800 株/ hm^2 时,蒸腾速率日变化曲线为明显的双峰型,分别在 9:00 〔0.900 mmol/ (m^2 ·s)〕和 14:00 〔1.804 mmol/ (m^2 ·s)〕,12:00 〔1.408 mmol/ (m^2 ·s)〕和 14:00 〔2.794 mmol/ (m^2 ·s)〕,10:00 〔1.507 mmol/ (m^2 ·s)〕和 13:00 〔2.138

mmol/(m² ·s)]达到峰值;当密度为 2 000,2200 株/hm² 时,呈现不太明显的双峰型,且峰值出现时间有所推迟,分别于 13:00[1.652 mmol/(m² ·s)]和 16:00[0.935 mmol/(m² ·s)],14:00[1.887 mmol/(m² ·s)]和 16:00[0.944 mmol/(m² ·s)]达到峰值。

从表 3 可以看出,无论 7 月份还是 8 月份,不同密度刺槐林蒸腾速率的日均值大小顺序均为:$\rho_{1800}>\rho_{1600}>\rho_{1400}>\rho_{2000}>\rho_{2200}$,但 8 月份[0.630～1.136 mmol/(m² ·s)]明显高于 7 月份[0.490～0.859 mmol/(m² ·s)],且日变幅[1.233～2.367 mmol/(m² ·s)]也明显大于 7 月份[0.302～1.357 mmol/(m² ·s)]。

3.3 叶水势、根水势的日变化

叶水势是评价树种抗旱性的生理指标之一[12],它的高低表明植物从土壤或相邻细胞中吸收水分以确保其进行正常生理活动的能力[13]。如图 2 所示,各密度刺槐林的叶水势在一天中均以清晨较高,中午前后下降至最低,傍晚又有所恢复。在前期曲线下降说明树种随着蒸腾作用的进行,叶片含水量下降,随着水分的散失,叶片对水分的需求也在加强,通过降低水势使组织更易吸水,即它们的吸水能力在加强,在中午以后曲线又呈上升趋势。比较 8:00 与 18:00 水势值,可以看出二者相差不大。

表 3 不同密度刺槐林的蒸腾速率日变化典型值

月份	密度/(株·hm⁻²)	蒸腾速率/(mmol·m⁻²·s⁻¹)						
		均值	最大值	最小值	变幅	8:00	18:00	差值
7 月	1 400	0.550	0.970	0.275	0.695	0.419	0.275	0.144
	1 600	0.724	1.178	0.331	0.848	0.596	0.331	0.265
	1 800	0.859	1.615	0.258	1.357	0.258	0.358	0.100
	2 000	0.514	0.673	0.372	0.302	0.382	0.372	0.010
	2 200	0.490	0.946	0.284	0.662	0.401	0.428	0.027
8 月	1 400	0.875	1.804	0.165	1.639	0.165	0.285	0.120
	1 600	1.094	2.794	0.427	2.367	0.427	0.677	0.251
	1 800	1.136	2.138	0.310	1.828	0.310	0.571	0.261
	2 000	0.799	1.652	0.419	1.233	0.427	0.419	0.008
	2 200	0.630	1.887	0.172	1.715	0.217	0.182	0.035

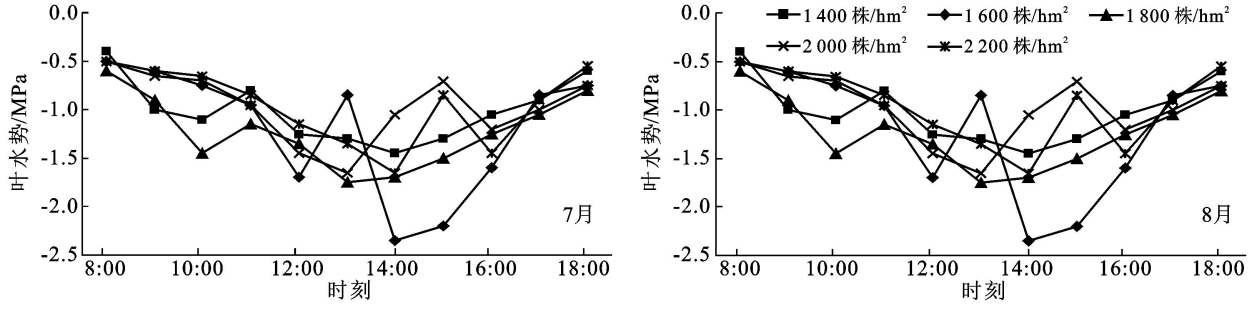


图 2 7,8 月份叶水势的日变化

从表 4 可以看出,与蒸腾速率类似,不同密度刺槐林叶水势的日均值大小顺序在 7,8 月份亦呈现相同的变化规律,即$\rho_{1800}<\rho_{1600}<\rho_{1400}<\rho_{2000}<\rho_{2200}$,但 8 月份(-1.23～-0.95 MPa)明显低于 7 月份(-0.92～-0.71 MPa),其日变幅(1.05～1.85 MPa)则明显高于 7 月份(0.30～0.55 MPa)。

与叶水势相比,各密度刺槐林的根水势均处于一个较高的水平,且其日变幅明显小于叶水势。不同月份之间,根水势日均值大小均为:$\rho_{1800}>\rho_{1600}>\rho_{1400}>\rho_{2000}>\rho_{2200}$,且 8 月份低于 7 月份,而日变幅则是 8 月份(0.35～1.30 MPa)大于 7 月份(0.14～0.30 MPa)。从 8:00 和 18:00 根水势差值来看,根水势的变化很小,说明根能及时从土壤中吸收水分补充因蒸腾作用消耗的水分。

3.4 根、叶水势之差与蒸腾速率之间的关系

经统计分析表明:不同密度刺槐林一天中根、叶水势之差($S-L$)与蒸腾速率(T_r)的关系可以用对数曲线来拟合(见图 3)。比较各回归方程(表 5)的系数可见,各回归系数相差不大,基本在 0.26～0.30 之间,8 月份略大于 7 月份。

表 4　不同密度刺槐林的叶水势日变化典型值

月 份	密 度/(株 ·hm^{-2})	叶水势/ MPa 均值	最大值	最小值	变幅	8:00	18:00	差值
7 月	1 400	- 0.81	- 0.65	- 0.95	0.30	- 0.750	- 0.700	0.050
	1 600	- 0.84	- 0.65	- 1.03	0.38	- 0.825	- 0.650	0.175
	1 800	- 0.92	- 0.70	- 1.15	0.45	- 0.700	- 0.800	0.100
	2 000	- 0.73	- 0.58	- 0.88	0.30	- 0.585	- 0.575	0.010
	2 200	- 0.71	- 0.50	- 1.05	0.55	- 0.675	- 0.700	0.025
8 月	1 400	- 1.01	- 0.40	- 1.45	1.05	- 0.400	- 0.600	0.200
	1 600	- 1.19	- 0.50	- 2.35	1.85	- 0.500	- 0.750	0.250
	1 800	- 1.23	- 0.60	- 1.75	1.15	- 0.600	- 0.800	0.200
	2 000	- 0.96	- 0.50	- 1.65	1.15	- 0.500	- 0.750	0.250
	2 200	- 0.95	- 0.50	- 1.65	1.15	- 0.500	- 0.550	0.050

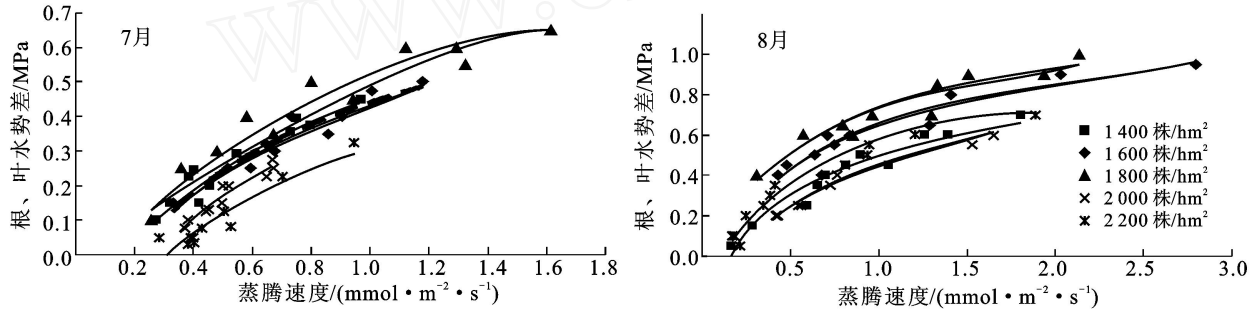


图 3　7,8 月份根、叶水势差与蒸腾速率的相关性

表 5　根、叶水势差与蒸腾速率的相关性

密 度/(株 ·hm^{-2})	7 月 回归方程	R^2	8 月 回归方程	R^2
1 400	ψ_{s-L} = 0.270 4ln T_r + 0.449 3	0.929 6	ψ_{s-L} = 0.275 9ln T_r + 0.495 9	0.943 0
1 600	ψ_{s-L} = 0.283 8ln T_r + 0.438 8	0.919 5	ψ_{s-L} = 0.308 8ln T_r + 0.643 8	0.918 0
1 800	ψ_{s-L} = 0.285 4ln T_r + 0.515 1	0.947 2	ψ_{s-L} = 0.295 6ln T_r + 0.722 9	0.912 9
2 000	ψ_{s-L} = 0.297 0ln T_r + 0.374 4	0.921 9	ψ_{s-L} = 0.302 6ln T_r + 0.461 0	0.952 4
2 200	ψ_{s-L} = 0.284 7ln T_r + 0.315 3	0.935 4	ψ_{s-L} = 0.265 7ln T_r + 0.543 8	0.974 6

3.5　叶水势与叶片含水量之间的关系

叶水势和叶片含水量都是表示叶片水分状况的重要指标,对蒸腾速率的大小有很大的影响。如图 4 所示,刺槐的叶水势随着叶片含水量的增大而升高,二者的关系可以用对数曲线来拟合。

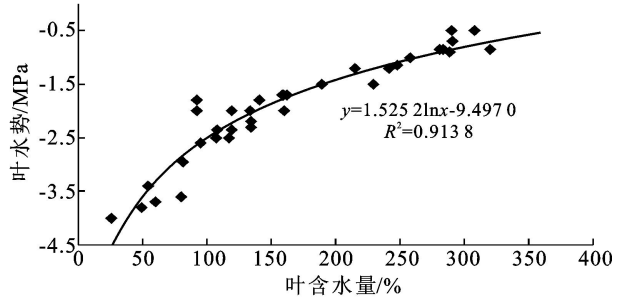


图 4　叶水势与叶片含水量的相关性

3.6　林地不同深度土壤含水量的变化

土壤水分状况的分析研究对于林业生态建设有着重要的意义,对它进行深入研究可以有效解决造林营林中的林分密度、造林时间及抚育管理等一系列问题[8]。由于对不同密度下刺槐林分蒸腾速率等指标的测定是同步进行,即太阳辐射、降雨等气象条件都相同,故各林分土壤含水量具有可比性。图 5 为不同密度林地 0 —60 cm 土层的含水量变化曲线。7 月份土壤含水量明显低于 8 月份,且土壤含水量随土层深度的增加变幅较小(1.16 %～4.12 %),而 8 月份变幅较大(3.80 %～4.33 %)。

不同密度林地平均含水量在 7,8 月份分别为:

ρ_{1400} (9.72 %) > ρ_{1600} (8.27 %) > ρ_{1800} (8.15 %) > ρ_{2000} (8.07 %) > ρ_{2200} (7.92 %),ρ_{1400} (14.29 %) > ρ_{1600}

(14.07 %) > ρ_{1800} (13.96 %) > ρ_{2000} (13.61 %) > ρ_{2200} (12.53 %),可见,0—60 cm 土层的土壤平均含水量随林地密度的增大而减小,这与韩瑞莲[14]等的研究结果一致。

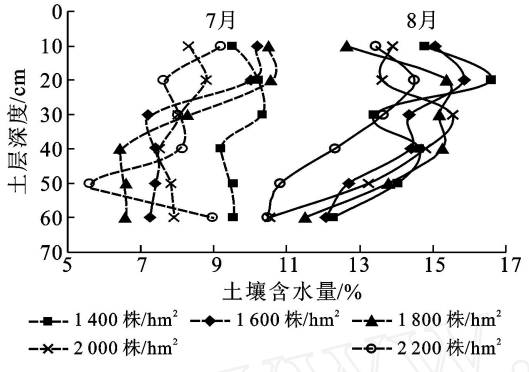


图 5 林地土壤含水量随土壤深度的变化

3.7 各密度林分蒸腾耗水量

7,8 月各密度林分单位叶面积(cm^2)的日蒸腾耗水量(以 12 h 计)分别为:ρ_{1800} (0.67 mm) > ρ_{1600} (0.56 mm) > ρ_{1400} (0.42 mm) > ρ_{2000} (0.39 mm) > ρ_{2200} (0.38 mm);ρ_{1800} (0.88 mm) > ρ_{1600} (0.85 mm) > ρ_{1400} (0.68 mm) > ρ_{2000} (0.62 mm) > ρ_{2200} (0.48 mm)。

在同一时间点上,不同密度林分单株叶面积之比基本等于其林分密度的反比[10],故各密度(1 400～2 200株/hm^2)林分单株叶面积之比为 1/14 ∶1/16 ∶1/18 ∶1/20 ∶1/22。根据各林分单位叶面积的日蒸腾耗水量,得出 7,8 月份各林分单株日蒸腾耗水量之比分别约为:1 ∶1.17 ∶1.24 ∶0.65 ∶0.58 和 1 ∶1.09 ∶1.01 ∶0.64 ∶0.45。各林分月蒸腾耗水量 mm 数即单位叶面积月蒸腾耗水量 mm 数,7 月为:12.6,16.8,20.1,11.7,11.4 mm;8 月为 20.4,25.5,26.4,18.6,14.4 mm。侯振宏、贺康宁[15]等也得到过类似的结论。

4 结 论

对不同密度林分生长状况的调查结果(表 1)表明,随着林分密度的增大,其平均树高、胸径和冠幅大体呈现出先增加后降低的趋势,即当密度在 1 400～1 800 株/hm^2 时,呈上升趋势,然后又逐渐下降。这个变化趋势与蒸腾速率的变化趋势相同。从土壤含水量的测定结果来看,当密度为 1 400 和 1 600 株/hm^2 时,其土壤含水量最大,但其蒸腾速率却不是最大,生长状况也不是最佳,故推断其可能是由于密度小,导致林分对土壤水分利用不足;而当林分密度增大到2 000和 2 200 株/hm^2 时,其土壤含水量、蒸腾速率和生长状况均处于较低水平,这可能是因为林分密度过大,土壤水分供不应求。张建军[6]通过对黄土区刺槐水土保持林合理密度的研究,得出幼林的密度应该控制在 2 300 株/hm^2 以内,故可以推断,当林龄为 15 a 时,2 000 和 2 200 株/hm^2 的种植密度可能偏大。综上所述,当林分密度为 1 800 株/hm^2,既可以充分利用土壤水分,又可以达到最佳生长状况。

(1) 不同密度林分叶片含水量日均值呈现相同的变化规律,即 ρ_{2200} > ρ_{2000} > ρ_{1400} > ρ_{1600} > ρ_{1800},8 月(149.07 %～217.84 %)均低于 7 月(185.15 %～235.82 %),但月间差异大小不同,ρ_{1600} 和 ρ_{1800} 分别降低了 19.86 %和 19.49 %,ρ_{2000} 和 ρ_{2200} 分别降低了 7.70 %和 7.62 %,ρ_{1400} 只降低了 4.91 %。

(2) 不同密度刺槐林蒸腾速率日变化趋势在 7,8 月份呈现相似的变化规律,即随着林分密度的增大,蒸腾速率日变化曲线由双峰型趋于单峰型,最大值均出现在下午 13:00—14:00。日平均蒸腾速率 7 月份为:ρ_{1800} [0.859 mmol/(m^2 ·s)] > ρ_{1600} [0.724 mmol/(m^2 ·s)] > ρ_{1400} [0.550 mmol/(m^2 ·s)] > ρ_{2000} [0.514 mmol/(m^2 ·s)] > ρ_{2200} [0.490 mmol/(m^2 ·s)],8 月份为:ρ_{1800} [1.136 mmol/(m^2 ·s)] > ρ_{1600} [1.094 mmol/(m^2 ·s)] > ρ_{1400} [0.875 mmol/(m^2 ·s)] > ρ_{2000} [0.799 mmol/(m^2 ·s)] > ρ_{2200} [0.630 mmol/(m^2 ·s)]。

(3) 不同密度刺槐林叶水势的日均值大小顺序在 7,8 月份亦呈现相同的变化规律,即 ρ_{1800} < ρ_{1600} < ρ_{1400} < ρ_{2000} < ρ_{2200},但 8 月份(-1.23～-0.95 MPa)明显低于 7 月份(-0.92～-0.71 MPa),其日变幅(1.05～1.85 MPa)则明显高于 7 月份(0.30～0.55 MPa)。与叶水势相比,各密度刺槐林的根水势均处于一个较高的水平,且其中日变幅明显小于叶水势的日变幅。不同月份之间,根水势日均值大小均为:ρ_{1800} > ρ_{1600} > ρ_{1400} > ρ_{2000} > ρ_{2200},且 8 月份低于 7 月份,而日变幅则是 8 月份(0.35～1.30 MPa)大于 7 月份(0.14～0.30 MPa)。

(4) 不同密度刺槐林 1 d 中根、叶水势之差($S-L$)与蒸腾速率(T_r)的关系可以用对数曲线来拟合。各回归方程的回归系数在 0.26～0.30 之间浮动,8 月份略大于 7 月份。

(5) 刺槐的叶水势随着叶片含水量的增大而升高,二者的关系可以用对数曲线 $Y = 1.525\ 2 \ln x - 9.497\ 0$ 来拟合($R^2 = 0.913\ 8$)。

(6) 不同密度林地 7 月份土壤含水量随土层深度的增加变幅较小(1.16 %～4.12 %),而 8 月份变幅较大(3.80 %～4.33 %)。0—60 cm 土层平均含水量在 7,8 月份分别为:ρ_{1400} (9.72 %) > ρ_{1600} (8.27 %)

$>\rho_{1800}$ (8.15 %) $>\rho_{2000}$ (8.07 %) $>\rho_{2200}$ (7.92 %);ρ_{1400} (14.29 %) $>\rho_{1600}$ (14.07 %) $>\rho_{1800}$ (13.96 %) $>\rho_{2000}$ (8.07 %) $>\rho_{2200}$ (7.92 %),0—60 cm 土层的土壤平均含水量随林地密度的增大而减小。(7) 7,8 月份各林分(1400～2200 株/ hm^2)单位叶面积(cm^2)的日蒸腾耗水量(以 12 h 计)分别为:ρ_{1800} (0.67 mm) $>\rho_{1600}$ (0.56 mm) $>\rho_{1400}$ (0.42 mm) $>\rho_{2000}$ (0.39 mm) $>\rho_{2200}$ (0.38 mm);ρ_{1800} (0.88 mm) $>\rho_{1600}$ (0.85 mm) $>\rho_{1400}$ (0.68 mm) $>\rho_{2000}$ (0.62 mm) $>\rho_{2200}$ (0.48 mm)。单株日蒸腾耗水量之比分别约为:1 ∶1.17 ∶1.24 ∶0.65 ∶0.58 和 1 ∶1.09 ∶1.01 ∶0.64 ∶0.45,月蒸腾耗水量 mm 数分别为:12.6,16.8,20.1,11.7,11.4 mm 和 20.4,25.5,26.4,18.6,14.4 mm。从土壤水分的有效利用以及达到最佳生长状况的角度出发,建议试验区 15 年生刺槐林分密度为 1 800 株/ hm^2。

[参 考 文 献]

[1] 李克亮. 中国林业发展战略问题研究[M]. 中国林业出版社,1986.

[2] 王佑民, 刘秉正. 黄土高原防护林生态特征[M]. 中国林业出版社,1994.

[3] 孙晓辉, 吴祥云, 刘 广. 沙地造林合理密度问题的探讨[J]. 防护林科技, 2004,58(1):63-64.

[4] 秦国峰, 周志春, 金国庆,等. 马尾松速生丰产林不同培育目标的适宜造林密度[J]. 林业科学研究, 1999,12(6):620-627.

[5] 虞沐奎, 邱辉, 杨灵仙,等. 火炬松造林密度研究[J]. 安徽农业大学学报, 1999,26(4):398-402.

[6] 张建军, 贺维, 纳磊. 黄土区刺槐和油松水土保持林合理密度的研究[J]. 中国水土保持科学, 2007,5(2): 55-59.

[7] 张建军, 毕华兴, 魏天兴. 晋西黄土区不同密度林分的水土保持作用研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(3): 50-53.

[8] 李世荣, 张卫强, 贺康宁. 黄土半干旱区不同密度刺槐林地的土壤水分动态[J]. 中国水土保持科学,2003,1(2):28-32.

[9] 巨关升, 刘奉觉, 邓世锴. 选择树木蒸腾耗水测定方法的研究[J]. 林业科学通讯, 1998(10):12-14.

[10] 尹婧, 邱国玉, 何凡,等. 半干旱黄土丘陵区人工林叶面积特征[J]. 植物生态学报, 2008,32(2):440- 447.

[11] 赖声渭, 曹兵. 浅谈林木抗旱性评价方法[J]. 防护林科技, 2002(3):48-49.

[12] 曾凡江, 张希明, 李小明. 柽柳的水分生理特性研究进展[J]. 应用生态学报, 2002,13(5):611-614.

[13] Sobrado M A, Turner N C. Comparison of the water relations characteristics of Heilianthus annuus and Helianthus petiolaris when subjected to water deficits. Oecologia, 1983, 58: 309.

[14] 韩蕊莲, 侯庆春. 延安试区刺槐林地在不同立地条件下土壤水分变化规律[J]. 西北林学院学报, 2003,18(1):74-76.

[15] 侯振宏, 贺康宁, 张小全. 晋西黄土高原半干旱区刺槐林分需水量的研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4): 180-183.

欢迎订阅 2011 年《水土保持通报》

《水土保持通报》创刊于 1981 年,双月刊,中文版,属环境科学类期刊,连续 5 届被认定为我国中文核心期刊。主管单位为中国科学院,由中国科学院水利部水土保持研究所与水利部水土保持监测中心联合主办。为《中国科技论文统计源期刊》,《中国科学引文数据库统计源期刊》,以及日本《科学技术文献速报(JICST)》,《中国期刊精品荟萃》等收编。本刊为 A4 开本,240 页/期。刊号为:ISSN 1000 - 288 X, CN 61 - 1094/ X。国内邮发代号:52—167,国外发行代号:4721BM, 定价:25.0 元/册。

办刊宗旨:紧密跟踪水土保持学科的发展动向,及时报道本学科前沿领域科学理论、技术创新及其实践应用研究最新成果,积极引导和推动水土保持学科和水土保持实践的发展与繁荣。

报道内容:土壤侵蚀、旱涝、滑坡、泥石流、风蚀等水土流失灾害的现状与发展动态;水土流失规律研究、监测预报技术研发成就与监测预报结果;水土流失治理措施与效益分析;水土流失地区生态环境建设与社会经济可持续发展研究;计算机、遥感工程、生物工程等边缘学科新技术、新理论、新方法在水土保持科研及其实践中的应用;国外水土流失现状及水土保持研究新动态等。

读者对象:从事水保科学技术研究、教学与推广的科教工作者及有关行政管理人员;国内外环境科学、地学、农业、林业、水利等相关学科科教人员及大专院校师生。

地址:陕西省杨凌区西农路 26 号 中国科学院水利部水土保持研究所《水土保持通报》编辑部

邮编:712100　　电话:(029) 87018442

E-mail:bulletin @ms.iswc.ac.cn　　http://www.iswc.ac.cn