

不同土壤水分下杨树的蒸腾变化及抗旱适应性研究

杨建伟^{1,2}, 韩蕊莲², 刘淑明², 梁宗锁²

(1. 南阳师范学院, 河南 南阳 473061; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要:在适宜土壤水分(70% θ_f)、中度干旱(55% θ_f)和严重干旱(40% θ_f)等3种土壤水分条件下研究84K杨树的蒸腾特性及抗旱适应性。结果表明:杨树的蒸腾速率与土壤含水量密切相关,其总耗水量、总生物量的大小均为适宜土壤水分 > 中度干旱 > 严重干旱,总WUE在中度干旱下最高,严重干旱下最低;蒸腾速率的日变化是环境因子综合作用的结果,其中大气因子对杨树蒸腾速率的影响主要受土壤水分含量的控制。在干旱条件下杨树的抗旱性与SOD活性及K⁺含量之间关系不明显,杨树不具备耐旱植物的显著特征;由此建议84K杨树不宜在黄土高原地区大面积栽植,应栽植在土壤水分条件较好的立地条件下。

关键词: 杨树; 土壤水分; 蒸腾速率; 抗旱性

中图分类号: S792.110.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7461(2004)03-0007-04

Transpiration and Drought Resistance of Poplar under Different Soil Drought

YANG Jian-wei^{1,2}, HAN Rui-lian², LIU Shu-ming², LIANG Zong-sou²

(1. Nanyang Normal College, Nanyang, Henan 473061, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Yangling, Shaanxi 712100, China; Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Under three soil water levels, i. e., fitted soil water content (7.0%), medium (55%) and serious drought stress (40%), respectively. Transpiration characteristic and drought resistance adaptability by imitated soil drought of Loess plateau are studied. The results showed that the transpiration rate of poplar leaves is closely related to soil water content. The total water consumption and biomass are: fitted soil water content > medium drought > serious drought, and total water use efficiency was highest at medium drought level; lowest at serious drought level; change of transpiration rate are affected synthetically by environmental factors, the effect of air factors to transpiration rate is controlled by soil water content. The relation of drought resistance of poplar with superoxide dismutase (SOD) activity and K⁺ content is not significant, indicating that poplar dose not have the character of drought resistance plants; From results, it can be concluded that poplar is not suitable to plant widely in loess plateau area and only fit to favorable soil water condition.

Key words: poplar; soil water content; transpiration rate; drought resistance

杨树是我国“三北”地区的主要造林树种,由于杨树本身对水分需要量大,在我国北方,特别是在西北的干旱、半干旱地区只能依靠当年的降雨和灌溉维持生长。在没有灌溉条件的地方,杨树生长受到了严重的抑制,从而限制了杨树的经济效益和生态效益的发挥,长期以来,关于杨树的研究有许多报道^[1-3],但许多工作主要集中在华北和东北地区,而

对于西北地区常用的造林树种杨树研究较少,为此,笔者选择了黄土高原已经大面积造林的84K杨树为试验材料,在控制土壤水分含量条件下,模拟该树种生存的土壤水分条件,探讨在不同土壤水分条件下该树种的蒸腾特性及抗旱适应性,为将84K杨营造在更适合自身生长环境,更好地发挥其特性优势,提供科学的理论依据。

收稿日期:2004-01-06

基金项目:国家自然科学基金(90302005)和中国科学院知识创新基金(KZCX1-06)

作者简介:杨建伟(1965-),女,河南西峡人,副教授,硕士,主要从事植物抗旱及水分生理研究工作。

1 材料与方方法

1.1 试验材料与土壤水分胁迫处理

试验采用黄土高原常见的造林树种 84K 杨树 (*Populus sp.*)、由中国科学院安塞生态试验站提供 1 年生的实生苗。试验用土采用安塞生态站的黄绵土,田间持水量为 21.5%。设置 3 种土壤含水量水平:适宜水分、中度水分亏缺、严重水分亏缺,即分别是田间持水量的 70%、55%、40% (重量含水量),各处理分别设置 5~6 盆重复,每盆栽植 3~4 株苗,待成活后选择大小基本一致的苗木保留 2 株,各苗木于 2001 年 3 月 6 日植入口径 20 cm 高 30 cm 的生长钵内。栽培盆放置于中国科学院水土保持研究所的可移动模拟干旱防雨棚内,雨天用防雨棚遮雨,晴天露地生长。从移栽次日开始,每天定时用电子秤称盆重用控制土壤含水量,并加水补充其蒸腾损失,为排除土壤蒸发用塑料薄膜覆盖盆面裸土。每次用量杯记录加水量,整个实验持续至 10 月中旬结束。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 数据 蒸腾速率日变化,光照强度、大气温度、和相对湿度因子的测定 在生长季每月选择晴朗天气,从早上 7:00~19:00,每隔 2 h,选取各水分条件下生长正常的功能叶 5~6 片,利用 Licor-1600 稳态气孔计测定。

1.2.2 SOD 活性的测定 每月选择晴朗无云的天气于 8:00~10:00 采样低温保存,待实验结束时统一用分光光度法测定,每处理重复测定 3 次^[4]。

1.2.3 K⁺ 含量的测定 每月选择晴朗无云的天气于 8:00~10:00 取样烘干保存,待实验结束时统一用火焰分光光度计法测定,每处理重复测定 3 次^[4]。

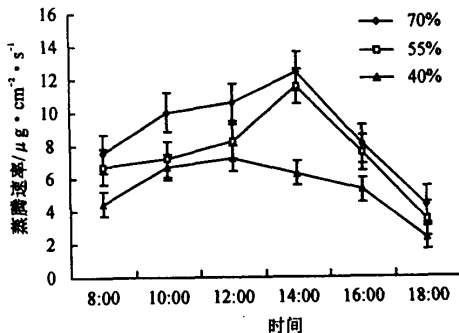


图 1 3 种土壤水分下 5 月 10 日杨树蒸腾速率日进程

Fig. 1 Changes of transpiration rate of poplar under different soil water contents on May 10

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分下杨树月蒸腾速率日进程

测定结果表明,5 月(图 1)和 6 月(图 2)杨树蒸腾速率均为单峰曲线,其蒸腾高峰分别在 10:00~14:00 和 8:00~11:00 之间,7 月份(图 3)和 8 月(图 4)的蒸腾日进程为双峰曲线,其峰值分别在 10:00、15:00 和 10:00、15:00 左右,在严重干旱下蒸腾速率则不同,7 月的蒸腾峰值在 7:00 和 17:00 左右,8 月的蒸腾峰值在 9:00 和 17:00 左右;9 月的蒸腾(图 5)在 3 种土壤水分下均为单峰曲线,其峰值在 10:00~16:00 之间。从 5~9 各月蒸腾速率测定结果可以看出,在 3 种土壤水分下,杨树的蒸腾速率日进程均表现为适宜土壤水分下最高,在严重干旱下最低,其差异性达极显著水平。

2.2 环境因子对杨树蒸腾速率的影响

以 5~9 月所测定的蒸腾速率日变化和同时测定的光照强度、气温、空气相对湿度(5 个测定日,每个日进程 7 组数据,每个因子共 35 组数据)的对应值进行简单相关性分析。从表 1 可看出,在适宜土壤水分下,蒸腾速率与光照强度中数据的 80% 呈显著相关以上水平。在中度干旱下蒸腾速率与光照强度数据中的 60% 达显著相关以上,其中 20% 为极显著相关。在严重干旱下蒸腾速率与光照强度数据的 40% 达显著相关以上,其中 20% 为极显著相关,结果显示蒸腾速率与光强的相关性随土壤含水量的下降而降低;在适宜土壤水分和中度干旱下,蒸腾速率与气温只有 20% 的数据显著相关;在严重干旱下蒸腾速率与气温相关性不显著,蒸腾速率与相对湿度的相关性 80% 的数据呈负相关,相关性不显著。

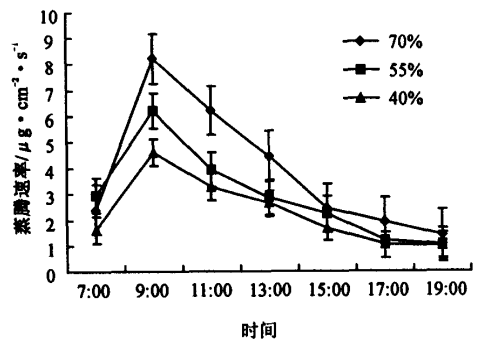


图 2 3 种土壤水分下 6 月 3 日杨树蒸腾速率日进程

Fig. 2 Changes of transpiration rate of poplar under different soil water contents on June 3

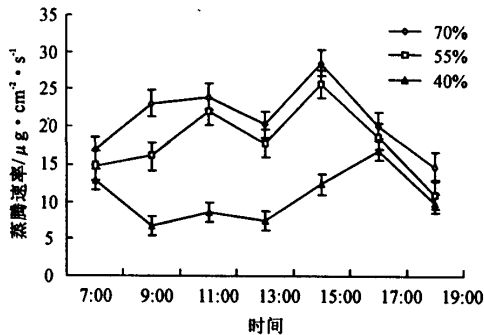


图3 3种土壤水分下7月31日杨树蒸腾速率日进程
Fig.3 Changes of transpiration rate of poplar under different soil water contents on June 31

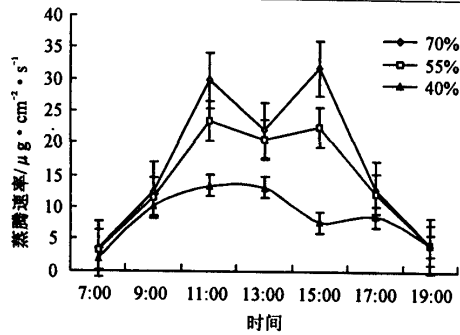


图4 3种土壤水分下8月21日杨树蒸腾速率日进程
Fig.4 Changes of transpiration rate of poplar under different soil water contents on August 21

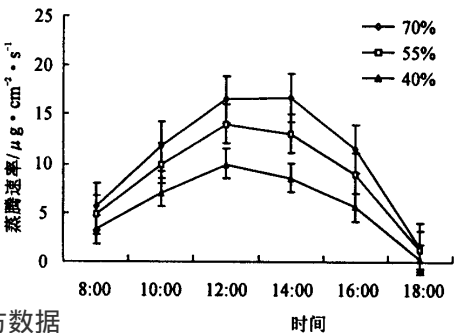


图5 3种土壤水分下9月15日杨树蒸腾速率日进程
Fig.5 Changes of transpiration rate of poplar under different soil water contents on September 15

进一步对蒸腾速率与光照强度和气温、光照强度和相对湿度的复合因子相关性分析表明,蒸腾速率与光照强度和气温的相关性:在适宜土壤水分下80%的数据达显著相关,其中40%数据达极显著相关,在中度干旱下60%数据达极显著相关,在严重

干旱下只有20%的数据达极显著相关。蒸腾速率与光照强度和相对湿度的相关性:在适宜土壤水分和轻度干旱下60%的数据达显著相关,在严重干旱下20%的数据显著相关,20%的数据极显著相关。从上述分析结果可看出,蒸腾速率的日进程是各环境因子综合作用的结果,但各环境因子之间存在着相互联系,相互制约的关系,一天之中,随着光照强度的上升,温度上升,相对湿度下降。同时表明,在适宜水分和轻度水分亏缺下,光照强度在各环境因子中处于主导地位,严重土壤干旱下则表现为蒸腾速率与空气相对湿度的相关性上升。

将5~9月所测定的蒸腾速率日平均值与土壤水分含量进行简单相关性分析(5个蒸腾日进程,每个日进程7组数据,共35组数据)结果表明(表2),各月不同测定日的蒸腾速率与土壤水分含量的相关性均达到极显著水平。

表1 3种土壤水分下杨树蒸腾速率与环境因子日变化的相关性(r)分析

Table 1 Correlativity analysis between transpiration rate, light intensity, air temperature and humidity (r)

项 目	单因子														
	5月10日			6月3日			7月31日			8月21日			9月15日		
土壤含水量/%	70	55	40	70	55	40	70	55	40	70	55	40	70	55	40
光照强度 /μmol· m ⁻² ·s ⁻¹	0.844 *	0.756	0.694	0.684	0.079	0.285	0.789 *	0.848 *	0.095	0.905 **	0.957 **	0.786 *	0.970 **	0.829 *	0.966 **
大气温度/℃	0.228	0.777	0.332	-0.673	-0.303	-0.128	0.661	0.728	0.320	0.827 *	0.828 *	0.641	0.611	0.617	0.598
相对湿度/%	-0.367	-0.435	-0.178	0.200	0.306	0.160	-0.252	-0.404	-0.373	-0.654	-0.707	-0.529	-0.787	-0.752	-0.697
复合因子															
光照强度 /气温	0.818 *	0.784	0.665	0.605	0.021	0.229	0.790 *	0.919 **	0.204	0.905 **	0.960 **	0.728	0.944 **	0.937 **	0.979 **
光照强度 /相对湿度	0.811 *	0.79	0.907 *	0.409	-0.204	-0.063	0.661	0.901 **	0.337	0.831 *	0.921 **	0.662	0.933 **	0.951 **	0.968 **

* :p<0.05; ** :p<0.01

2.3 不同土壤水分条件下杨树 SOD 活性及 K⁺ 含量的变化

测定结果表明(图6),从5月杨树叶完全展开

到10月落叶之前 SOD 活性在不同土壤水分下的变化不同。在适宜水分下,SOD 活性的变化幅度比较小,曲线平缓,其 SOD 活性始终维持在1725(最高

表2 土壤水分含量与日平均蒸腾速率
的相关性(r)分析

Table 2 Correlativity analysis between transpiration
rate and soil water content

土壤水分	日平均蒸腾速率				
处理	5月10日	6月3日	7月31日	8月21日	9月15日
70%	8.83	3.59	21.14	16.68	10.60
55%	7.44	3.07	18.04	14.23	8.67
40%	5.47	2.30	10.71	8.45	5.79
r	0.995**	0.993**	0.974**	0.974**	0.994**

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$

值) ~ 1 096 (最低值) $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (FW) 之间;在中度干旱下, SOD 活性变化比较大, 随胁迫时间的增加 SOD 活性逐渐上升, 至胁迫中期 (约 60 d) SOD 活性达最高值 2 018 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (FW); 在严重干旱下, 其 SOD 活性与中度干旱下有明显区别, 在胁迫

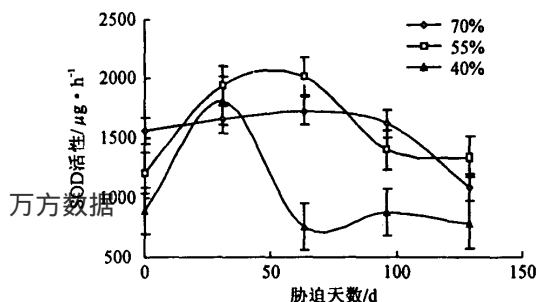


图6 不同土壤水分含量对杨树 SOD 活性的影响

Fig. 6 Effect of stress days on poplar leaf SOD activity

3 结论

在不同土壤水分下杨树日蒸腾速率动态变化有明显差异, 在生长季的 5、6、9 月的 3 个月所测定日蒸腾速率进程在适宜水分和适度水分亏缺下是单峰曲线, 而在温度和光强都较高的 7、8 月份, 其蒸腾速率日变化在这 2 种土壤水分下均呈双峰曲线, 在严重干旱下的蒸腾高峰却在早晚两个时间段, 表明土壤干旱使杨树叶片的日蒸腾特征发生变化。在 3 种土壤水分下, 杨树的蒸腾速率日进程, 均表现为适宜土壤水分下最高, 在严重干旱下最低, 其差异性达极显著水平。

蒸腾速率的日变化是环境因子综合作用的结果, 在土壤含水量和大气因子两个环境因子与蒸腾速率相关性中, 土壤水分占主导地位, 而在大气因子中, 在含水量较高土壤中杨树蒸腾速率与光照相关性较大, 其次为温度, 结果表明大气因子对杨树蒸腾速率的影响主要受土壤水分含量的控制。

前期 SOD 活性急剧上升, 约 40 d 左右达最高值 1 812 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (FW), 然后急剧下降, 其 SOD 活性高峰维持时间比中度干旱下短, 表明长期干旱导致酶活性下降。从图 7 可看出, 在适宜水分下, K^+ 含量在生长中期有所上升, 然后下降。杨树在中度干旱和严重干旱胁迫下, 在胁迫前期 (50 d 左右) K^+ 含量急剧上升, 胁迫中期 (70 d 左右) 均下降, 但是中度干旱下降幅度比严重干旱的小, 如果从胁迫初期和胁迫末期 K^+ 积累的绝对值上看, 在中度干旱下, K^+ 含量比初期高, 在适宜水分和严重干旱下, K^+ 含量则比初期低。3 种土壤水分下 K^+ 含量的变化缺乏规律性, 说明杨树的抗旱性可能与 K^+ 含量关系不大。

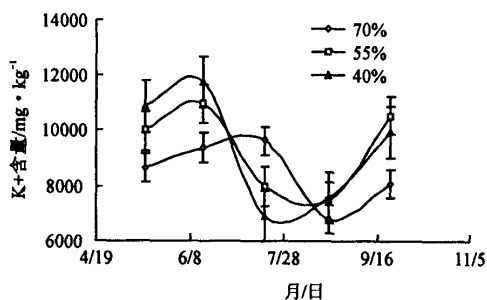


图7 不同土壤水分含量对杨树叶片 K^+ 含量变化

Fig. 7 Change of K^+ content in poplar leaf under different
soil water contents

SOD 是植物体内消除氧自由基的重要保护酶, 有研究证明, 在干旱胁迫下 SOD 活性上升^[5,6]。杨树在适宜水分下 SOD 活性变化幅度较小, 在中度干旱和严重干旱土壤水分下 SOD 活性均为先升后降, 证明土壤水分缺乏导致杨树 SOD 活性下降。 K^+ 是渗透调节物质中的一种重要的无机离子^[7], 杨树 K^+ 含量仅在中度干旱下比胁迫初期高, 在适宜水分严重干旱下则比初期低。试验结果表明杨树的抗旱性与 SOD 活性及 K^+ 含量之间关系不明显。

鉴于上述结果, 对于杨树在西北干旱、半干旱地区造林时, 要特别注意立地土壤水分是否能达到 84K 杨生长对水分的要求, 对于这种耗水量大、抗旱性差的速生树种, 不适宜大面积栽植。只适合栽植在局部水分条件较好的立地条件下。

(下转 23 页)

较为明显的优势,侧枝长均在 80 cm 以上,与 18、3、4 号相比有显著差异,尤其是与 18 号(27.8 cm),表现出极大的生长差异,但与其它无性系差别不是很显著,因此,18、3、4 号从长势上来看,短期内表现不佳,说明其对本区域环境的适应能力欠佳,发展潜力不是很大。

表 5 不同品种侧枝长多重比较表(q 法)
Table 5 Multiple comparison of the length of side-branches cm

品 种	5%		1%	
	1	2	1	2
18	27.8		27.8	
3	32.5		32.5	32.5
4	32.7		32.7	32.7
9	38.6	38.6	38.6	38.6
8	39.7	39.7	39.7	39.7
11	40.0	40.0	40.0	40.0
17	45.2	45.2	45.2	45.2
5	49.5	49.5	49.5	49.5
12	54.7	54.7	54.7	54.7
14	55.0	55.0	55.0	55.0
6	59.3	59.3	59.3	59.3
7	60.2	60.2	60.2	60.2
15	60.5	60.5	60.5	60.5
20	60.8	60.8	60.8	60.8
万方数据 10	67.0	67.0	67.0	67.0
16		83.2		83.2
19		84.4		84.4

4 结论

引进的 20 个无性系美国东部黑核桃,在陕西境内表现出极大的生长差异。

美国东部黑核桃虽能耐低温,但怕早晚霜危害,尤其是幼树,霜害易引起抽梢^[6]。在本试区定植当年秋季,各无性系均不同程度遭受早晚霜危害,因此引进当年栽培的幼树,应提前做好霜冻预防工作。

从成活率、保存率、干径、侧枝生长情况分析,就目前的表现,以品种 19 号的表现明显优于其它各无性系,具有引进栽培的前景;无性系 4、18、8 号综合性能欠佳,应予留观进一步进行淘汰选择;无性系 17 号抗寒性较差,引进需做好冬季防寒工作;无性系 13 号成活率低,引进应慎重,须做好各项栽植抚育管理措施;其它各品种表现差异不大,生长良好。以上仅为短期内初步观察所得结论,真正要筛选最具推广意义的品种,还需进一步深入的物候等实验观测。

参考文献:

[1] 董凤祥,裴东. 美国黑核桃引种栽培[M]. 北京:中国农业大学出版社,2000.
[2] 雷启祥. 美国东部黑核桃栽培管理技术及在我国的发展前景[J]. 中国水土保持,2001(2):29-31.
[3] 丛桂芝,买买提·依明,外力. 美国黑核桃在伊犁的引种栽培[J]. 林业实用技术,2002(5):21-22.
[4] 袁志发,周静芊. 实验设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
[5] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
[6] 屈红征,吴国良,张建成,等. 黑核桃的特性及在我国的发展前景[J]. 山西果树,2001(3):6-7.

(上接第 10 页)

参考文献:

[1] 刘奉觉,郑世锴. 杨树水分生理研究[M]. 北京:北京农业大学出版社,1991.
[2] 李洪建,柴宝峰,王孟东. 北京杨水分生理生态特性研究[J]. 生态学报,2000,20(3):417-422.
[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的研究[J]. 北京林业大学学报,2002. 24 (5/6):50-55.
[4] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司.

2000. 1-22.
[5] 曹翠玲,高俊凤. 小麦细胞根细胞质膜脱氢化还原酶对于旱胁迫与 K⁺ 积累关系[J]. 西北农业大学学报,1996,24(3):25-29.
[6] Bowler C, Van Moutagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1992. 43:83-116.
[7] 李德全,邹琦,程炳高. 土壤干旱下不同抗旱性小麦品种的渗透调节和渗透调节物质[J]. 植物生理学报,1992,18(1):37-44.