

内蒙古库布齐沙地白刺水势研究^{*}

胡月楠, 贺康宁, 巩玉霞, 芦新建
(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘 要: 2006 年 5~ 9 月, 采用 PSYPRO 水势仪, 测定了库布齐沙地白刺的叶水势, 对叶水势日变化、月变化进行了动态研究, 并分析了其影响因子。结果表明: 白刺叶水势的日进程在 5 月、6 月、8 月份表现双峰曲线变化, 7 月和 9 月份则表现单峰曲线规律, 12: 00 左右通常是一天中叶水势的最低值; 以 6 月份叶水势日变化为研究对象, 表明水势与气温、光量子通量密度成显著负相关, 与大气相对湿度、大气水势、土壤含水量成显著正相关。
关键词: 白刺; 叶水势; 气象因子
中图分类号: S718. 3 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007) 04-0100-05

Study on the Water Potential of *Nitraria tangutorum* Bobr. in Kubuqi Desert of Inner Mongolia

HU Yue-nan, HE Kang-ning, GONG Yu-xia, LU Xin-jian
(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The leaf water potential of *Nitraria tangutorum* Bobr. is measured by PSYPRO water potential guage in Kubuqi desert from May to September in 2006. The daily and seasonal variations of leaf water potential of *Nitraria tangutorum* Bobr. and related factors are analyzed. The results show that leaf water potential's day-change is double-peak curves in May, June and August, but a single-peak type in July and September. The minimum peak value takes place at 12' clock and the most essential period for water supply in growing season was July. The leaf water potential has a negative correlation to the air temperature and the photon flux density, and a positive correlation to the humidity. At the same time the leaf water potential shows significantly positive correlation with the three metrological factors including the relative atmospheric humidity, atmospheric water potential, soil water content.
Key words: *Nitraria tangutorum* Bobr. ; leaf water potential; metrological factors

白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.), 为蒺藜科白刺属多年生落叶小灌木, 主要分布在降水稀少的干旱荒漠和半荒漠地区, 在我国从里海沿岸一直到西北部和北部各省区都有生长, 特别在内蒙古西部地区具有广泛分布。白刺具有较强耐旱、耐风蚀沙埋及抗盐碱能力的生理特性, 是在长期植被演替过程中保存下来的物种之一^[1]。植物水势是反映植物生理特征特别是水分特征的一个重要指标, 不仅可以反映植物对环境的响应, 如光照、空气湿度、温度、

土壤水分等, 也是理顺 SPAC 体系中水分关系传统描述的一个重要概念并为对水分生理进行定量系统分析奠定基础^[2, 3]。目前有关白刺水势的研究报道很少^[4], 本文对白刺的水势日变化、月变化及其与环境因子之间的关系作了初步研究, 探讨其对环境的适应机制, 为植被建设提供理论依据^[5]。

1 试验地自然概况

试验地位于内蒙古林科院达拉特旗沙漠综合科

^{*} 收稿日期: 2007-03-14 修稿日期: 2007-05-24
基金项目: 教育部科学技术重大研究项目“北方退耕还林区水土保持林植被恢复和重建技术研究”(10407)
作者简介: 胡月楠(1980-), 女, 在读硕士, 主要研究方向为水土保持与林业生态工程。

学研究站, 北纬 $40^{\circ}21'30'' \sim 40^{\circ}22'30''$, 东经 $109^{\circ}50'30'' \sim 109^{\circ}51'50''$, 是黄河以南的二级阶地。在气候区上属温带大陆性季风气候, 年平均降水量一般在 240~360 mm, 年蒸发量平均 2 160 mm, 极端最高气温 40.2°C , 极端最低气温 -34.5°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年平均积温为 $3\,197.4^{\circ}\text{C}$, 无霜期为 130~140 d, 8 级以上大风日数 27 d, 扬沙日数 58 d, 多出现在 3~5 月, 年平均风速 3.3 m/s , 最大瞬时风速达 30 m/s 。项目区立地类型主要有流动沙地, 固定、半固定沙地和丘间地。土壤类型为盐化草甸土和风沙土。田间最大持水量 20%, 表层土壤平均容重 1.50 g/cm^3 。

2 试验材料和方法

2.1 试验材料

选取 2004 年栽植于大田的白刺, 在生长季 5~9 月对白刺的根、茎、叶水势进行测定, 同时对白刺灌木林地土壤水分及其主要气候因子进行观测。

2.2 试验方法

(1) 植物叶水势的测定。采用美国产的 PSYPRO 露点水势仪, 在 2006 年 5~9 月份每月上中下旬分别选择一个标准日为测定日, 从 6:00~18:00, 每隔 2 h, 选择树冠中上部向阳面 2~3 a 生发育良好的枝条上部叶片, 用打孔器取叶, 放入 G-52 样品室, 每 5 min 记录一次数据测其水势, 每次测定 3 个重复, 将连续记录取平均值作为该时刻的叶水势。

(2) 气象因子的测定。采用美国 Vantage pro 2 自动气象站, 每 10 min 记录一次气温、相对湿度(2

m 处)、光量子通量密度、降雨量等气象因子, 连续观测记录整个生长季。

(3) 大气水势的测定。根据公式 $\Psi_k = 4.6248 \times 10^5 T_k \ln R_H$ 测得^[6~8]。

(4) 土壤水势。采用日本产的电子张力计测定, 上午埋设, 待稳定后读数, 测定深度分别为 20 cm, 30 cm, 40 cm 和 50 cm, 每层深度埋设 2 根张力计, 取每个层次的土壤水势平均值作为土壤水势。

(5) 土壤含水量。8 月份开始在温室大棚内进行盆栽水分胁迫试验。干旱过程中每隔 2 d 清晨(6:00 左右)测定苗木叶水势, 同时用英国产的 M12X 土壤水分速测仪测定盆栽土壤含水量(体积), 每次测定 3 个重复。土壤水分速测仪测定前用烘干法标定。

3 结果与分析

3.1 白刺水势的日、季变化

3.1.1 白刺水势的日变化规律

图 1 为白刺叶水势的每个月比较有代表性的日变化图, 可看出叶水势值 6:00 左右最高(均值为 -2.17 MPa), 日出后, 随着光照增强, 气温升高, 蒸腾作用、光合能力逐渐增强, 在土壤水分不充足的情况下, 白刺体内水分出现亏缺, 从 12:00~16:00 叶水势下降至最低值(均值 -3.29 MPa), 这以后至夜间随着光照减弱, 气温降低, 叶水势回升, 到次日清晨又达到最高值。

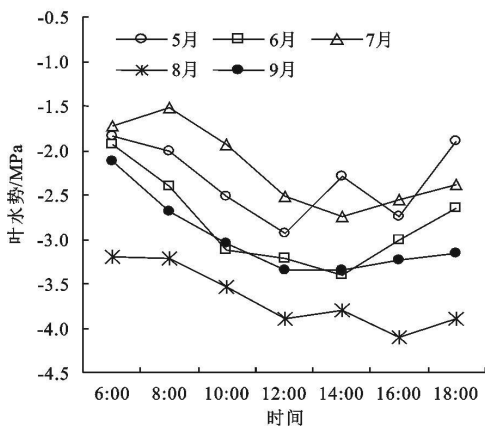


图 1 叶水势的日变化

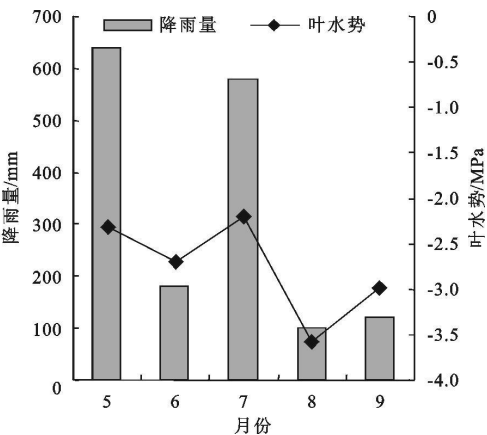


图 2 叶水势与降雨量的月变化

3.1.2 白刺水势的月变化

图 2 为白刺叶水势与降雨量的月变化图, 叶水势月均值是根据选取各月上中下旬标准天测定的水势日均值求算而得的。叶水势的月变化虽然不同时期的水势值大小存在着差异, 但是叶水势在不同时

期的变化趋势基本一致。5 月份是植物的萌芽返青期, 对水分的需求相对要少, 土壤水分还有盈余, 植物的蒸腾作用也较弱, 因此植物叶水势较高。6 月植物进入生长旺盛期, 由于大气温度升高, 光照强度增大, 植物体为了获得水分满足正常的生理活动, 蒸

腾强度显著增加,与此同时降雨补给不及时,使土壤水分入不敷出,土壤水势降低,植物叶水势也随之降低;7月,由于该地区气候条件的特点,集中了全年的大部分降雨量,因此大气相对湿度、土壤水分都有所升高,致使植物叶水势也随之升高。8~9月是植物生长季的结束,由于温度降低,光照强度减弱,植物蒸腾作用降低,植物水分的消耗得到了缓解,叶水势值有所上升,整个生长季白刺叶水势的平均值为 -2.76 MPa 。

3.2 白刺水势与气候因子的关系

叶水势是反映叶片细胞水分状况的一个重要指标,叶水势越小叶片细胞越缺水,它的吸水能力越强,因此叶水势的变化可以反映植物适应干旱环境

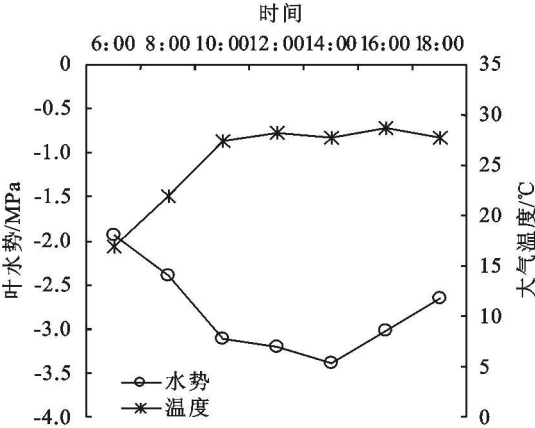


图3 叶水势、温度的日变化

3.2.2 叶水势与大气相对湿度的关系

从图4叶水势与大气相对湿度的变化曲线看出,清晨大气相对湿度最高42%,此时水势也处在最高时段,值为 -1.93 MPa ;随着相对湿度不断降低植物叶水势也不断降低,12:00左右大气相对湿度略有升高叶水势也随之升高,14:00~16:00大气相对湿度与叶水势都降到最低值,分别为15%, -3.40 MPa 。之后空气湿度回升,水势开始回升。

相关分析表明,白刺叶水势与空气相对湿度之间有显著相关性,相关系数 $R=0.86$, $F=13.8$, $\text{Sig}f=0.014$,回归方程为 $LWP=0.0471RH-3.8987$,式中: LWP ——叶水势(MPa); RH ——相对湿度(%)。

3.2.3 叶水势与光照强度的关系

从图5叶水势与光照强度的变化曲线可以看出,清晨随太阳高度角不断增大,光照不断增强,叶水势不断降低。但由于叶水势的变化相对于光照强度的变化有滞后,光照强度在12:00左右出现最大值为 $950(\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s})$,叶水势则在14:00左右出

的能力^[9]。以下用6月份叶水势与各气象因子的关系作研究。

3.2.1 叶水势与温度的关系

从图3水势和气温的变化曲线来看,两者有着相反的变化趋势。即早晨气温较低,水势也较低,但随着气温的不断升高,水势值开始逐渐降低。12:00~13:00,温度达到最高值 28°C ,此时水势仍在降低,到13:00左右水势降到最低值 -3.40 MPa 。之后,温度不断降低,水势回升。

相关分析,白刺水势与温度之间有显著的负相关性,相关系数 $R=0.90$, $F=21.1$, $\text{Sig}f=0.06$,回归方程为 $LWP=-0.1049T-0.1427$,式中: LWP ——叶水势(MPa); T ——大气温(°C)。

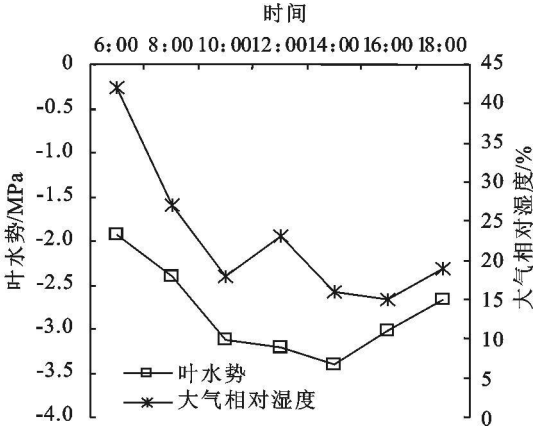


图4 叶水势、大气相对湿度的日变化

现最低值 -3.40 MPa 。

相关分析表明,白刺叶水势与光照强度之间也有显著相关性,相关系数 $R=0.95$, $F=47.74$, $\text{Sig}f=0.01$,回归方程为 $LWP=-0.6406\ln(S)+1.0731$,式中: LWP ——叶水势(MPa); S ——光照强度($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)。

3.3 SPAC中水势的变化

3.3.1 叶水势与大气水势的关系

据植物生长期内的实测结果点绘了叶水势和大气水势的相关图(图6),从图6可以看出叶水势的变化与大气水势有比较密切的关系。即日出后随着温度升高,相对湿度的降低,大气水势也降低,植物蒸腾加快,从而叶水势降低。

相关分析,白刺叶水势与大气水势之间有显著的正相关性,相关系数 $R=0.85$, $F=28.9$, $\text{Sig}f=0$,回归方程为 $LWP=4E-05\phi_a^2+0.0214\phi_a-0.0901$,式中: LWP ——叶水势(MPa); ϕ_a ——大气水势(MPa)。

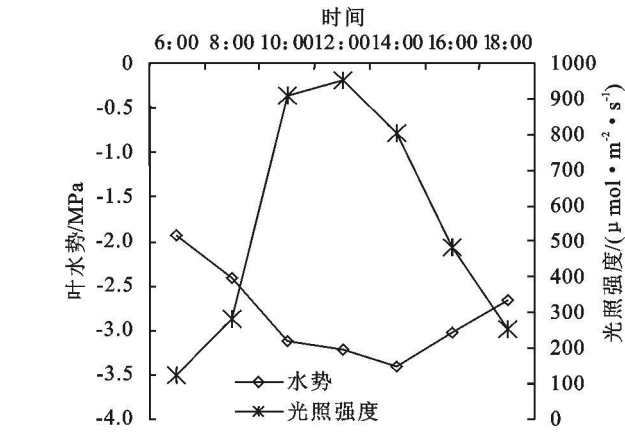


图 5 叶水势、光照强度的日变化

3.3.2 清晨叶水势与土壤含水量的关系

在充分供水条件下叶水势仅与气象条件有关,但当土壤水受到限制时,作物根系吸水满足不了蒸腾需要,此时叶水势与土壤含水量有着密切关系^[10]。为得到土壤含水量较低时植物叶水势的变化状况,在 8 月份进行盆栽白刺充分灌水后的干旱胁迫试验,到苗木叶子出现萎蔫结束,前后持续了 18 d。图 7 为这一过程中清晨叶水势随土壤含水量的变化曲线,由图可以明显看出叶水势随土壤含水量的降低而降低,这说明在相同天气条件下,随着土壤含水量的降低植物根系吸水速率越来越小,直至满足不了叶片蒸腾失水的需要,叶水势降低。

相关分析,白刺叶水势与土壤含水量之间有显著的正相关性,相关系数 $R=0.83$, $F=19.83$, $\text{Sigf}=0.02$, 回归方程为 $LWP=1.6576\ln(SWC)+0.5821SWC-6.0667$, 式中: LWP ——叶水势 (MPa); SWC ——土壤含水量 (%)。

3.3.3 SPAC 中水势的月变化

以白刺一个生长季为研究,来说明土壤-植物-大气水势的季变化规律。

表 1 SPAC 系统中水势的季变化 MPa

月份	土壤水势	叶水势	大气水势
5	-0.01245	-2.3169	-277.217
6	-0.01698	-2.6944	-209.661
7	-0.01739	-2.1998	-53.9149
8	-0.01103	-3.5759	-73.2458
9	-0.01250	-2.9924	-72.4421

由表 1 可以看出:土壤水势的月变化很小,最大与最小水势差为 0.004 36 MPa,与叶水势的相关系数 $R=0.797$;大气水势月变化很大,最大值与最小值之差为 223.4 MPa,与叶水势的相关系数为 $R=$

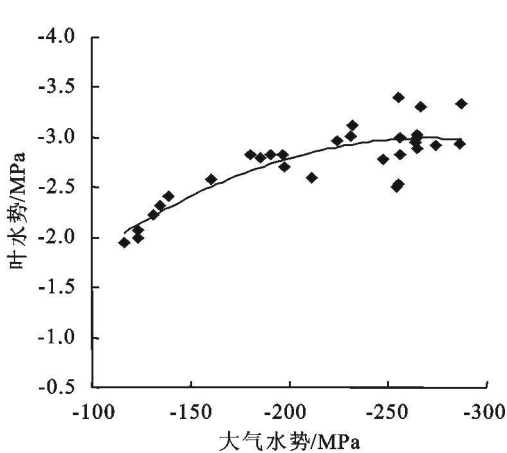


图 6 叶水势与大气水势的关系

0.582。因此,从植物的整个生长季上来看,植物叶水势与土壤水势的相关性比较大,与大气水势的相关性次之,这是由于土壤水势变化相对稳定,没有其他影响因素,而大气水势是个综合指标,其稳定性受气温和相对湿度的影响,但 3 者的水势月变化趋势基本一致。

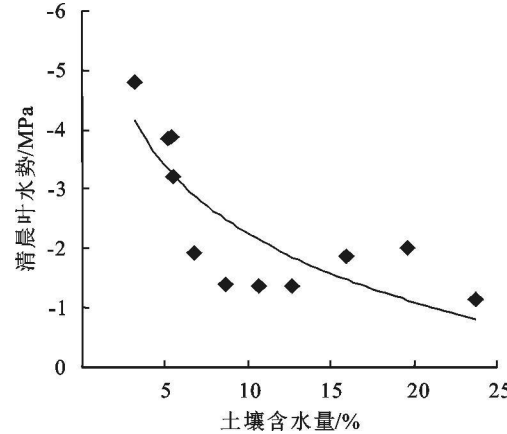


图 7 叶水势与土壤含水量的关系

4 结 论

(1) 白刺水势日变化在 5 月,6 月份呈双峰曲线,7 月,8 月,9 月呈单峰曲线;每日最高水势值出现在黎明前后,最低值出现在正午前后。水势月变化与植物生长发育阶段有密切关系,总趋势是生长初期到盛期水势不断增加,生长盛期到生长末期水势不断降低。

(2) 植物水势与环境因子的关系研究表明白刺水势与大气温度和光照成显著的负相关,而与大气湿度成正相关,其中光照强度对水势的影响最大,这是由于在其它条件相似的情况下光照强度增大,植物蒸腾作用增强,导致植物耗水量增加,水势降低。

(3) 叶片介于 SPAC 土壤与大气介质中间,叶

水势的变化必然受两者的影响与控制^[11]。从日变化来看,植物水势与土壤含水量、大气水势都成正相关,从 SPAC 系统水势的月变化来看,叶水势幅度明显大于土壤水势,但远不及大气水势。这是由于植物体内水分状况受根系吸水和叶片蒸腾失水双重因素的影响,加之大气水势是绝对气温与相对湿度的一个综合指标,其稳定性及影响因素较多,所以叶片水势与土壤水势的相关性较叶片水势与大气水势的相关性更强。

参考文献:

[1] 高娃,李瑞,郭晓红.白刺-固沙造林的好树种[J].内蒙古农业,2004,10:31-32.

[2] 赵萍.宁夏毛乌素沙地 SPAC 系统中水分运移特征的研究[D].北京:北京林业大学,2004.

[3] 赵立新,等.陕西渭北旱塬土壤-植物-大气连续体中水分运转规律的研究[J].西北植物学报,1996,16(6):1-7.

[4] 龙华.植物的水势[J].生物学通报,1998,33(3):18-19.

[5] 卜崇峰.陕北黄土区狼牙刺水势研究[J].西北植物学报,2003,23(8):1393-1397.

[6] 康绍忠,刘晓明,等.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M].北京:水利电力出版社,1994.51-60.

[7] Philip J R. Plant water relations:some physical aspects [J]. Ann. Rev. Plant Physiol., 1966, 17: 245-268.

[8] Pelaez D V, Boo R M. Plant water potential for shrubs in Argentina[J]. Journal of Range Management, 1987, 40(1):6-9.

[9] 刘玉燕,王艳荣,杨迎春.半干旱地区草坪草和主要杂草水势的日变化特征分析[J].内蒙古大学学报,2003,34(3):308-311.

[10] 刘昌明.土壤植物大气系统水分运行的界面过程研究[J].地理学报,1997,52(4):366-373.

[11] 徐军亮,马履一,王华田.油松林人工林 SPAC 水势梯度的时空变异[J].北京林业大学学报,2003,25(5):1-5.

(上接第 99 页)

益。在指标的选取上,还应该考虑水质的评价指标和其它一些对森林涵养水源功能发挥有明确的影响而且容易获得数据的指标,这方面的研究需要更多的试验。

参考文献:

[1] (美)Singh V P. 水文系统流域模拟[M].郑州:黄河水利出版社,2000.32-33.

[2] (日)中野秀章.森林水文学[M].北京:中国林业出版社,1983.109-130.

[3] 程根伟,等.山地森林生态系统水文循环与数学模拟[M].北京:科学出版社,2004.83-84.

[4] 高人,周广柱.辽宁东部山区几种主要森林植被类型的蒸腾作用[J].辽宁农业科学,2000,(6):5-8.

[5] 黄礼隆,陈祖铭,任守贤.森林水文研究方法[J].四川林业科技,1994,15(1):14-46.

[6] 黄锡荃.水文学[M].北京:高等教育出版社,2001.51-55.

[7] 姜文来.森林涵养水源的价值核算研究[J].水土保持学报,2003,17(2):34-36.

[8] 蒋文伟,等.安吉主要森林类型水源涵养功能的分析与评价[J].南京林业大学学报(自然科学版),2002,(7):71-74.

[9] 李祚泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2004.117-161.

[10] 张德成.辽东山区森林涵养水源效益的评价与补偿研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2005.

[11] 张万儒 许本彤.森林土壤定位研究方法[M].北京:中国林业出版社,1986.17-58.

[12] 张增哲,余新晓.中国森林水文研究现状和主要成果[J].北京林业大学学报,1988,10(2):79-81.

[13] 张志强.森林水文:过程与机制[M].北京:中国环境科学出版社,2002.100-129.

[14] 赵人俊.流域水文模拟[M].北京:水利电力出版社,1984.71-83.

[15] Richard L. Forest Hydrology[M]. Columbia University Press, USA.1980.

[16] Yang D W. Comparison of different distributed hydrological models for characterization of catchment spatial variability[J]. Hydro. Process, 2000,(14):68-72.