

青海高寒半干旱区蒙古莜叶水势变化及其与环境因素的关系

韩磊¹, 贺康宁¹, 芦新建¹, 王占林²

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 青海省农林科学院林业所, 青海 西宁 810016)

摘要: 对青海高寒半干旱区 2 年生蒙古莜叶水势日变化、季变化进行了动态研究, 并分析了其影响因子及 SPAC 水势梯度变异情况。结果表明, 蒙古莜叶水势早晚高, 通常 13:00 左右达到最低值, 6 月份蒙古莜叶水势日均值最低; 在充分灌水条件下, 蒙古莜叶水势日变化与气温、光辐射强度、大气相对湿度有显著的相关性, 且三者综合因素对叶水势的影响要高于单因子对叶水势的影响; 当土壤水受到限制时, 叶水势与土壤含水量有显著正相关。SPAC 中土壤水势 < 叶水势 < 大气水势, 形成水势梯度。从蒙古莜整个生长季来看, 叶水势与土壤水势的相关性较大, 与大气水势的相关性次之。

关键词: 蒙古莜; 叶水势; SPAC 系统; 水势梯度

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2008)06-0001-05 中图分类号: S718.45, S152.7+5

Changes and Environmental Effects of Leaf Water Potential of *Caryopteris Mongolica* in Qinghai Alpine Semi-arid Area

HAN Lei¹, HE Kang-ning¹, LU Xir-jian¹, WANG Zhan-lin²

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Qinghai Academy of Agriculture and Forestry, Xining, Qinghai 810016, China)

Abstract: The effects of leaf water potential (LWP) and the variations of soil-plant-atmosphere continuum (SPAC) water potential gradient are analyzed by studying the dynamic changes of the LWP in Qinghai alpine semi-arid area. Results show that the pre-dawn and evening LWP is high, while the minimum peak value is observed at about 13 o'clock. The daily average LWP in June is the lowest during the whole growing season. The study also shows that the LWP has significant correlations to air temperature, photosynthetic active radiation, and humidity under the condition of full irrigation, while there is a remarkable positive correlation between the LWP and the soil water content (SWC) when soil water is restricted. With the ascendant order of soil, leaf, and atmospheric water potentials in SPAC system, a water potential gradient is created. Meanwhile, the correlation between the pre-dawn LWP and the SWC is higher than that between the LWP and atmospheric water potential in the whole growing season of *Caryopteris mongolica* Bunge.

Keywords: *Caryopteris mongolica* Bunge; leaf water potential; SPAC system; water potential gradient

蒙古莜(*Caryopteris mongolica* Bunge)为马鞭草科莜属多年生落叶小灌木, 主要分布在蒙古高原的典型草原、荒漠化草原和荒漠区内, 其次分布在与其紧接的黄土高原北部及西北部的典型草原区内^[1]。蒙古莜极耐旱, 耐寒, 萌蘖性强, 耐轻度盐碱, 对土壤要求不严, 既能在贫瘠的流动沙丘地生长, 也能在土层深厚的黄土高原生长, 更适于缺磷少氮高钙地区的轻度盐碱地上生长。蒙古莜具显著的多种用途特性,

叶、花、种子可提取芳香油, 气味清香; 花、叶、枝均可入药, 并且又是良好的“木本饲料”, 可以成为我国干旱和半干旱地区生态脆弱带极好的生态树种^[2]。目前, 国内主要研究了蒙古莜的引种繁育技术, 对于其生理特性的研究还鲜有报道。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^[3], 不仅可以反映植物对环境的响应, 如光照、大气湿度、温度、土壤水分等, 也是理顺 SPAC(土壤-植物-大气连

收稿日期: 2008-05-24

修回日期: 2008-07-27

资助项目: 国家“十一五”科技支撑专题“黄土高原西部高寒区水土保持型林草植被恢复技术试验示范”(2006BAD03A1203)

作者简介: 韩磊(1985-), 男(汉族), 宁夏回族自治区平罗县人, 在读硕士, 主要研究方向为水土保持、林业生态工程。E-mail: layhan@163.com。

通信作者: 贺康宁(1962-), 男(汉族), 陕西省蓝田县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水土保持、林业生态工程、抗旱造林技术。

E-mail: hkn@bjfu.edu.cn.

续体) 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^[4-5]。因此深入研究蒙古莜的水分运作机制对干旱区植被恢复与重建具有十分重要的意义。

1 试验地自然概况

试验地点位于青海省农林科学院林业所林木苗圃, 地理坐标为 36° 39′ 04″ N, 101° 46′ 12″ E, 海拔 2 309 m。在气候区上属于温带高寒大陆性气候。年平均气温 5.3 °C, 极端最高气温 30.9 °C, 极端最低气温为 -25.6 °C, 无霜期 128 d; 全年降雨量 332~533 mm, 降水多集中在 7—9 月份, 期间降水量占年降水量的 71%。试验区土壤类型为黄土母质上发育的山地棕褐土和栗钙土, 土层深厚。田间最大持水量 39%, 表层土壤平均容重 1.20 g/cm³。

2 试验材料和方法

2.1 试验材料

选取 2005 年栽植于大田的蒙古莜, 在生长季 5—8 月份对蒙古莜的根、茎、叶水势进行了测定, 同时对蒙古莜灌木林地土壤水分及其主要气候因子进行了观测。

2.2 试验方法

2.2.1 植物叶水势的测定 采用美国产的 PSYPRO 露点水势仪, 在 2007 年 5—8 月份每月选择 1~2 个典型晴天为测定日, 从 7:00—19:00(文中所用时间均为北京时间), 每隔 2 h, 选择树冠中上部向阳面 2~3 a 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, 将连续记录取平均值作为该时刻的叶水势。

2.2.2 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。

2.2.3 大气水势的测定 根据公式 $\phi_a = 4.6248 \times 10^5 T \ln RH$ 测得^[4]。

式中: ϕ_a ——大气水势(MPa); T ——绝对气温(K); RH ——大气相对湿度。

2.2.4 土壤水势 土壤水势采用日本生产的 Daiki PG-100 型电子张力计测定, 上午埋设, 待稳定后读数, 测定深度分别为 20, 30, 40 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。

2.2.5 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, 在清晨(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体积含水量, 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 蒙古莜叶水势的日、季变化

3.1.1 蒙古莜叶水势的日变化规律 各月测定日蒙古莜叶水势变化的日过程见图 1。可以看出, 各月叶水势最高值出现在清晨(均值为 -1.28 MPa)。随着光照增强, 气温升高, 植物蒸腾作用、光合能力逐渐增强, 当根向叶片供水能力小于因各项生理活动的耗水速率时, 蒙古莜体内水分出现亏缺, 叶水势将逐渐降低, 13:00—15:00 叶水势下降至最低值(均值 -2.52 MPa)。15:00 以后至夜间随着光照减弱, 气温回落, 植物蒸腾作用减弱, 叶水势开始回升, 到次日清晨又达到最高值。此外, 由于中午光照强度大, 气温高, 空气湿度低, 植物为减少过度蒸腾失水, 叶片气孔开度会减小或关闭, 此时叶水势反而会有一个暂时升高的趋势。蒙古莜叶水势的变化规律表明, 水势的日变化和环境因子的日变化有密切联系。

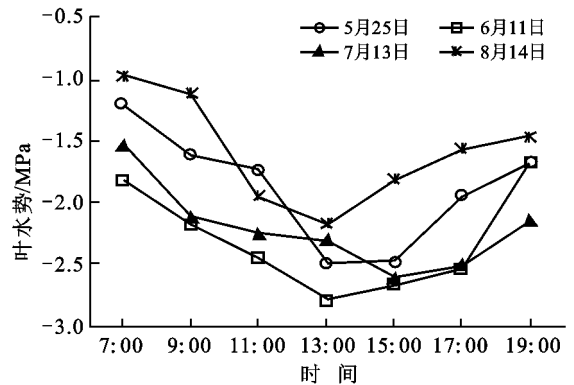


图 1 叶水势日变化

3.1.2 蒙古莜叶水势的季变化 清晨叶水势(6:00 左右) 可以反映植物水分的恢复状况, 从而可以用来判断植物水分亏缺的程度^[6]。许多研究认为受到水分胁迫的植物, 其清晨水势会发生明显的下降。日最大水分胁迫是植物在当日水分胁迫最严重时水势下降的最低点, 即日最低叶水势。

从蒙古莜叶水势的季变化来看, 5 月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, 为

- 2.30 MPa; 7—8月由于该地区气候条件的特点, 这两个月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。从结果上看, 蒙古莜的日最低叶水势值的变化和清晨叶水势的季节变化比较吻合, 说明蒙古莜胁迫的发生程度与其水分恢复的程度有一定关联。

3.2 蒙古莜叶水势与各气象因子的关系

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的能力。本文用7月蒙古莜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2叶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。14:00—15:00, 温度达到最高值32.6℃, 此时水势随之降到最低值-2.61 MPa。随后, 由于温度不断降低, 植物蒸腾光合等各项生理活动开始减缓, 叶水势回升。

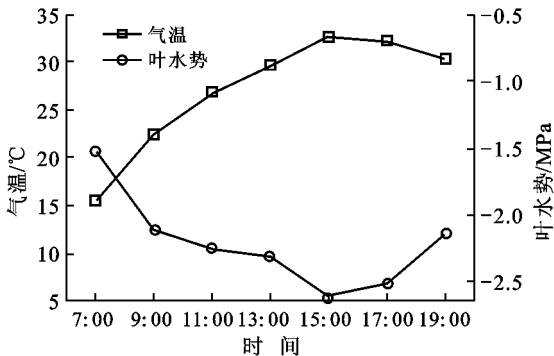


图2 叶水势与温度的关系

3.2.2 叶水势与大气相对湿度的关系 如图3所示, 一天中清晨大气相对湿度最高90%, 此时水势也处在最高时段, 为-1.53 MPa; 随着湿度的降低, 叶水势也呈降低趋势。到15:00—17:00左右大气相对湿度与叶水势都降到最低值, 分别为19%, -2.61 MPa。之后空气湿度回升, 水势开始回升。

3.2.3 叶水势与辐射强度的关系 从图4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作用, 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左右出现最低值-3.40 MPa。

用日过程对应时间所测得的叶水势平均值(LWP, MPa)分别与对应气候因子: 大气温度(T , $^{\circ}\text{C}$)、相对湿度(R_H , %)、辐射强度(PAR, $\mu\text{mol}/$

$\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 进行拟合, 关系模型见表1。可以看出, 叶水势与光辐射强度的相关性较大气温、相对湿度低, 说明温度和相对湿度对叶水势变化的影响要大于太阳辐射的影响。

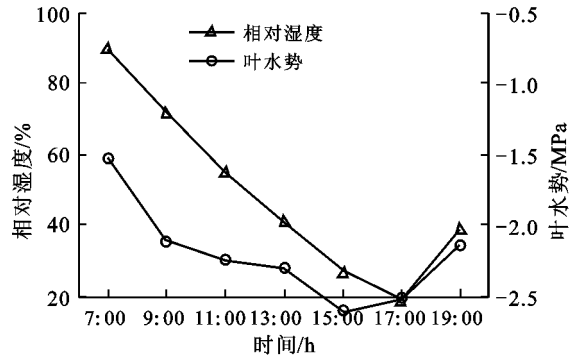


图3 叶水势与大气相对湿度的关系

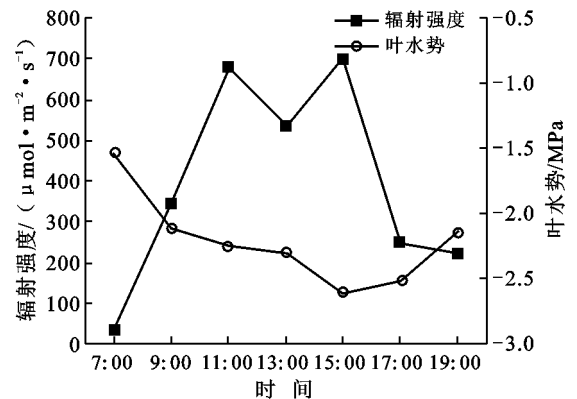


图4 叶水势与辐射强度的关系

3.3 蒙古莜生长季各月叶水势与综合气象因子的关系

叶水势(LWP)与大气温度(T)、大气相对湿度(R_H)及光辐射强度(PAR)三者之间有显著的相关关系。表2对3者综合因素与叶水势的关系作了分析, 从蒙古莜整个生长季(5—8月)来看, 综合因素对叶水势的影响要高于单因子对叶水势的影响。

经对所观测的资料进行多元回归分析得到蒙古莜生长季(5—8月)的最优拟合方程

$$\text{LWP} = -1.761 + 0.019T + 0.011R_H - 0.0006\text{PAR}$$

其相关系数 $R = 0.871$, 显著水平 $\alpha = 0.01$, $n = 28$ 。

3.4 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, 植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。从图5可以看出, 蒙古莜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。经过回归分析, 蒙古莜叶水势与土壤含水量之间有显著的正相关性, 其相关

系数 $R = 0.83$, $F = 21.74$, $Sigf = 0.001$, 拟合方程如下:

$$LWP = -3.7468 + 0.8321 \ln(SWC)$$

式中: LWP —— 叶水势 (MPa); SWC —— 土壤体积含水量 (%)。

3.5 SPAC 水势梯度

3.5.1 SPAC 各水势及水势差日变化 在土壤—植物—大气连续系统 (SPAC) 中, 大气水势远低于植物叶水势, 叶水势高于土壤水势, 由此形成水势梯度, 使植物叶片水分不断向周围大气中散失。在植物体内则形成根—茎—叶的水势下降梯度, 从而促使水分不断从土壤进入根部, 并通过茎的木质部向叶片运动, 最后从叶表面蒸腾散失。其次, 7 月份土壤水势很高, 接近 -0.01 MPa, 这表明土壤水分供应充足。而

大气水势日变化幅度较大, 从清晨最高 -14.06 MPa 到 17:00 降至 -234.41 MPa 最低, 这说明大气水势受环境因素影响剧烈。

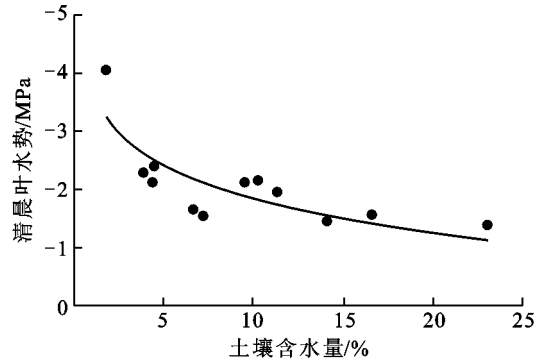


图 5 清晨叶水势与土壤体积含水量的关系

表 1 叶水势日变化与单个环境因子的关系模型

环境因子	关系模型	相关系数 R	F 检验值	显著水平 $sigf.$
大气温度 T	$LWP = -0.779 - 0.05T$	0.929*	31.37	0.003
相对湿度 R_H	$LWP = -2.829 + 0.01R_H$	0.905*	22.67	0.005
辐射强度 PAR	$LWP = -0.648 - 0.276 \ln(PAR)$	0.839*	11.89	0.018

注: ** 表示在 0.01 水平上差异显著; * 表示在 0.05 水平上差异显著; $n = 7$ 。

表 2 各月叶水势与综合气象因子的关系模型

月份	关系模型	相关系数 R	F 检验值	显著水平 $sigf.$
5	$LWP = 1.312 - 0.113T - 0.013R_H - 0.001PAR$	0.993*	67.57	0.003
6	$LWP = 2.724 - 0.169T - 0.018R_H - 0.0005PAR$	0.839	2.38	0.247
7	$LWP = -2.884 + 0.01T + 0.013R_H - 0.0006PAR$	0.966*	13.81	0.029
8	$LWP = 3.264 - 0.137T - 0.018R_H - 0.0006PAR$	0.953	5.93	0.089

注: ** 表示在 0.01 水平上差异显著; * 表示在 0.05 水平上差异显著。

清晨 SPAC 系统水势差最小, 傍晚次之, 17:00 左右水势差达到最大, 表明此时水流驱动力最大。此外, 叶—气水势差远远高于其它部分的水势差, 从叶片到大气通常需要降低数百 MPa, 说明了水分在连续体中的运移, 能量主要消耗在最末端叶—气这一环节上^[7-8], 证明 SPAC 体系中水分运动的主要原动力是叶片的蒸腾拉力。其次, 13:00—15:00 土—根水势差大于根—叶水势差, 这是因为正午光照强, 气温高, 在植物供水紧缺的情况下, 植物体内根叶水势降低, 从而导致根—叶水势差降低, 根—土水势差增大以汲取土壤中的水分维持体内水分平衡^[9]。

3.5.2 SPAC 各水势季变化 由表 3 可以看出, 在蒙古莜一个生长季 (5—8 月), 土壤水势各月变化很小, 最大与最小水势差为 0.005 MPa, 与叶水势的相关系数 $R = 0.75$; 大气水势月变化很大, 最大值与最小值之差为 95.24 MPa, 与叶水势的相关系数为 $R = 0.61$ 。因此, 从整个生长季上来看, 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, 没有其它影响因素, 而大气水势是个综合指标^[8,10], 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。

表 3 土壤—植物—大气水势季变化 MPa

月份	土壤水势	叶水势	大气水势
5	-0.013	-1.88	-149.13
6	-0.014	-2.30	-112.60
7	-0.017	-2.21	-116.88
8	-0.012	-1.57	-53.89

4 结论

(1) 蒙古莜叶水势每日最高水势值出现在黎明前后, 均值为 -1.28 MPa; 最低值出现在正午前后, 均值为 -2.52 MPa。清晨叶水势和日最低叶水势季变化说明蒙古莜胁迫的发生程度与其水分恢复程度有一定关联, 5 月为蒙古莜生长初期, 植物水分供应

基本能满足植物体需要, 叶水势维持在较高水平, 到6—7月生长旺盛期, 植物需水量较大, 叶水势降至最低, 7—8月, 受降水影响, 大气湿度和土壤水分较高, 植物叶水势也随之升高。

(2) 叶水势作为 SPAC 系统中介于大气和土壤介质的中间部分, 其变化受到大气和土壤双重因素共同作用。研究表明, 在充分灌水条件下, 蒙古莠叶水势与大气温度和光辐射强度成显著的负相关, 相关系数分别为 0.929, 0.839, 而与大气湿度呈显著的正相关, 相关系数为 0.905。而且, 从蒙古莠整个生长季来看, 3 者综合因素对叶水势的影响要高于单因子对叶水势的影响。但当土壤水受到限制时, 此时叶水势与土壤含水量有显著的正相关性, 其相关系数为 0.83, $\alpha = 0.01$ 。

(3) 在 SPAC 系统中, 大气水势远远低于植物叶水势, 叶水势高于土壤水势, 由此形成水势梯度, 使植物叶片水分不断向周围大气中散失。此外, 清晨 SPAC 系统水势差最小, 傍晚次之, 17:00 左右达到最大, 说明此时水流驱动力最大。叶—气水势差远远高于其它部分的水势差, 能量主要消耗在最末端叶—气这一环节上, 证明 SPAC 体系中水分运动的主要原动力是叶片的蒸腾拉力。同时, 从蒙古莠整个生长季来看叶水势变幅明显大于土壤水势, 但远不及大气水势; 叶水势与土壤水势的相关性较大, 与大气水势的相关性次之。

[参 考 文 献]

- [1] 赵一之. 蒙古莠的植物区系地理分布研究[J]. 内蒙古大学学报, 1995, 26(2): 195—197.
- [2] 王晓江, 李爱平, 宁明世, 等. 生态灌木蒙古莠的生物生态学特性及其经济价值评价[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 191—193.
- [3] 王沙生, 高荣孚, 吴贵明. 植物生理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 175—186.
- [4] 康绍忠, 刘晓明. 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.
- [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] Pelaez D V, Boo R M. Plant water potential for shrubs in Argentina[J]. Journal of Range Management, 1987, 40(1): 6—9.
- [7] 胡守忠, 乔冬梅, 史海滨, 等. 盐渍化地区 SPAC 系统不同界面能态研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 5(20): 178—182.
- [8] 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): 2—5.
- [9] 李向义, 林丽莎. 塔克拉玛干绿洲外围胡杨林的水分特征研究[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(6): 763—766.
- [10] Bucci S J, Goldstein G, Meinzer F C, et al. Mechanisms contributing to seasonal homeostasis of minimum leaf water potential and predawn disequilibrium between soil and plant water potential in Neotropical savanna trees[J]. Trees, 2005, 3(19): 296—304.