

黄土高原西部高寒区引进树种银水牛角叶水势研究^{*}

刘 静, 贺康宁, 韩 磊

(北京林业大学 水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要:2008 年 5 - 8 月, 采用 PSYPRO 露点水势仪, 以 3 a 生银水牛角为试材, 对叶水势的日、月变化进行了动态研究, 并对相关影响因子进行了分析。结果表明: 银水牛角叶水势的日变化过程除 5 月份外均表现为双谷曲线, 最低值出现在 13:00 - 15:00; 6 - 7 月是银水牛角生长需水的最关键时期, 这一时期叶水势的日均值较低; 当供水充足时, 叶水势的日变化取决于蒸腾速率的变化, 其与气温、光照呈显著的负相关, 与湿度呈显著正相关, 且三者综合效应对叶水势的变化起很大作用; 当土壤水受到限制时, 盆栽银水牛角苗木的清晨叶水势与土壤含水量有显著正相关性, 苗木的永久萎蔫系数为 4.76%。

关键词:银水牛角; 叶水势; 气象因子; 土壤含水量

中图分类号:S718.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0194-05

Study on the Leaf Water Potential of *Shepherdia argentea* in the Western Loess Plateau Alpine Zone

LIU Jing, HE Kang-ning, HAN Lei

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The leaf water potential (*LWP*) of 3-year-old *Shepherdia argentea* was measured by PSYPRO water potential guage from May to August in 2008. This paper analyzed daily and monthly variations of *LWP* of *Shepherdia argentea* and related factors. The results showed: daily changes of *LWP* were double-peak curves every month except May and the minimum peak value of *LWP* took place at 13:00 - 15:00. The most critical periods for water supply in growing season were June and July and in which *LWP* were lower. The study also showed changes of transpiration rate depended on daily changes of *LWP* which had a significant negative correlation to air temperature and intensity of illumination and a significant positive correlation to air relative humidity under the full water supply. Moreover, integrated meteorological factors played an important role in changes of *LWP*. What's more, pre-dawn *LWP* of potted *Shepherdia argentea* had a significant positive correlation to soil water content when soil water was restricted and permanent wilting percentage of *Shepherdia argentea* was 4.76%.

Key words: *Shepherdia argentea*; leaf water potential; meteorological factors; soil water content

银水牛角 (*Shepherdia argentea*) 为胡颓子科水牛角属多年生落叶灌木, 原产于美国北部。1998 年引入青海省种植, 在循化、香日德及西宁地区初试后, 除西宁地区第一年有轻微干梢现象外, 在其它两个地区表现良好^[1]。该树种具有极耐天气干旱、抗

盐碱、抗病虫害、耐土壤贫瘠以及耐修剪的能力, 生长速度快, 根系发达, 是水土保持和防风固沙的优良树种。实践表明, 银水牛角可在干旱半干旱地区沙源治理工程、退耕还林工程中大面积推广^[2-3]。

植物的叶水势反映了植物从土壤中吸收水分的

* 收稿日期: 2009-03-06

基金项目: 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: 刘静(1984 -), 女, 宁夏中宁人, 在读硕士, 主要研究方向: 水土保持、林业生态工程。E-mail: liujing_ghost@163.com

通信作者: 贺康宁(1962 -), 男, 陕西蓝田人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事水土保持、林业生态工程建设、抗旱造林技术方面的研究。E-mail: hkn@bjfu.edu.cn

能力,是衡量植物抗旱性的重要生理指标^[4]。目前,国内主要研究银水牛果的引种繁育技术,对于其抗旱性特别是水势方面的研究还不多见。本文对银水牛果叶水势的动态变化及其与蒸腾速率、气象因子、土壤含水量的关系等进行了研究分析,为银水牛果在我国大面积推广,为西部干旱半干旱区生态保护和人工加速植被恢复与重建提供理论依据和指导。

1 实验区概况

实验地点位于青海省大通县实验基地,地理坐标 36°56'27.33" N,101°41'49.48" E,海拔 2 475 m。该地区属温带高寒大陆性气候,年平均温度 2.8℃,极端最高气温 30.9℃,极端最低气温 - 33.1℃,全年 5℃ 的积温平均为 1 908℃,无霜期一般 70~120 d。多年平均降水量 508 mm,年内分配不均,全年雨水主要集中在 7 - 8 月。年平均蒸发总量为 1 290 mm。土壤类型为黄土母质上发育的山地棕褐土和栗钙土。田间最大持水量 30.2%,表层土壤平均容重 1.06 g/cm³。

2 材料与方法

选取栽植于大田内的生长健壮的 3 a 生银水牛果苗木为材料。植物叶水势的测定:采用美国产的 PSYPRO 露水势仪,在 2008 年 5 - 8 月每月选择 3~5 个典型晴天为测定日,从 7:00 - 19:00 每隔 2 h,选择树冠中上部向阳面发育良好的枝条上部的叶片,用打孔器取叶,放入 C - 52 样品室,每 5 min 记录一次数据,取平均值作为该时刻的叶水势(LWP);蒸腾速率的测定:采用美国产的 Li - 1600 稳态气孔计,选用与水势测量相同的叶片进行同步测量,每个时刻做 3 次重复求其平均值作为该时刻的值(*Tr*);气象因子

的测定:采用美国 Vantage pro2 自动气象站,每 10 min 记录一次气温(*T_A*)、2 m 处相对湿度(*R_H*)、光照强度(*PAR*)等气象因子,连续观测记录整个生长季。取水势测量值前后的气象数据的平均值作为该时段的气象值;干旱胁迫实验中土壤含水量的测定:6 月在温室大棚内开展盆栽银水牛果的干旱胁迫实验。在实验过程中,以充分灌水后的植株为实验材料,每隔两天在 6:00 左右测定植物的清晨叶水势,同时用 TDR 水分速测仪测定盆栽植株的土壤体积含水量(SWC)。每次测定 3 个重复。土壤水分速测仪使用前用烘干法标定。

3 结果与分析

3.1 银水牛果叶水势的动态变化

黄土高原西部高寒区水分含量少,植物始终处于水分逆境中,而叶水势是反映植物水分状况的一个重要指标,因此植物水势的变化可以反映植物适应干旱环境的能力^[5]。

3.1.1 叶水势的日变化 由图 1 可以看出:5 月份的叶水势日过程呈明显的单谷曲线,其它各月的叶水势均呈双谷曲线变化。结合表 1 可知:清晨 6:00 左右的叶水势是一天中的最高值,其中 5 月、7 月的值比较接近(均值为 - 1.75 MPa),6 月的则较低(为 - 2.03 MPa)。日出后,随着光照增强,气温升高,蒸腾作用、光合作用逐渐增强,在土壤水分不充足的情况下,银水牛果体内水分出现亏缺,从 13:00 - 15:00 叶水势下降至最低值(均值为 - 3.42 MPa)。此后随着光照减弱,气温降低,叶水势开始回升,直到 19:00 又重新达到较高水平。但此时银水牛果的叶水势通常低于清晨叶水势。夜间蒸腾降至很低,根系不断吸收水分,叶水势进一步升高,直至达到一个相对较稳定的状态。

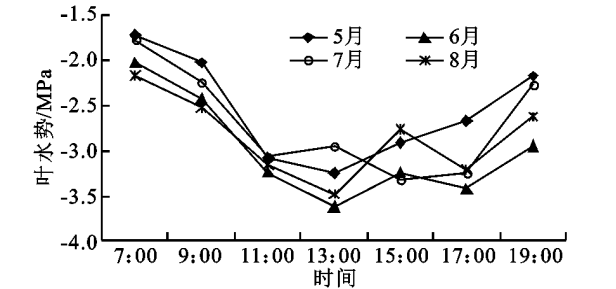


图 1 银水牛果叶水势日变化

3.1.2 叶水势的月变化 早晨的叶水势是在植物经过一夜的吸水恢复后达到的较稳定值,比其它时间的叶水势值更能反映叶水分的亏缺情况^[6]。因此,选用各月份清晨(6:00)的叶水势为标准进行比较,并利用各月份叶水势的均值和中午(13:00 -

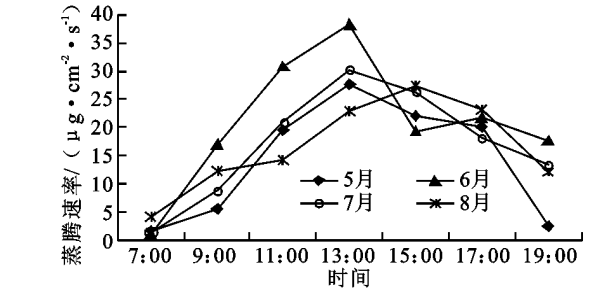


图 2 银水牛果蒸腾速率日变化

15:00)值进行辅助分析。如图 1 和表 1 所示,虽然不同时期的叶水势值大小存在差异,但是无论是清晨、中午的叶水势还是其月均值在不同时期的变化趋势基本一致。5 月、7 月的清晨叶水势较高,分别为 - 1.73 MPa、- 1.77 MPa,8 月较低,为 - 1.92

MPa,6 月最低,为 - 2.03 MPa。这是由于 5 月是植物的萌芽返青期,植物的地上部分刚开始生长,叶量相对较少,对水分的需求相对于 6 - 8 月要少,土壤水分尚有盈余,植物的蒸腾作用也较弱,植物叶水势就处在较高水平。6 月植物进入生长旺盛期,随着光照增强,气温升高,叶量增加,为了获取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,致使叶片处于缺水状态,因此叶水势达到了生长季的最低值。7 月,随着雨季的到来,大气相对湿度、土壤水分都有所升高,植物水分欠缺状况也得到了缓解,叶水势又有所升高。8 月,植物开始进入生长末期,生长减缓,虽然降雨也使土壤水分得到了一些补给,但是在当地这一时期光照依然很强,气温依然较高,根系供水相对于蒸腾速率来说显得有些不足,故叶水势也较低。

此外,通过叶水势的变化可定性判断植物在某一时期受到干旱胁迫的程度。据此得出,银水牛角 6 - 8 月受到干旱胁迫的程度要远远大于 5 月份,也说明了 6 - 7 月是植物生长季节需水最关键的时期,这一阶段的降雨量和水分供应对该地区大部分植物来说就显得至关重要^[7]。

表 1 银水牛角叶水势月变化

月份	叶水势/MPa			蒸腾速率/ ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
	清晨	中午	均值	
5	- 1.73	- 3.25	- 2.55	14.12
6	- 2.03	- 3.62	- 2.99	20.90
7	- 1.77	- 3.32	- 2.70	17.03
8	- 1.92	- 3.48	- 2.81	16.60

3.2 银水牛角叶水势和蒸腾速率的关系

从表 1 中可以看出,叶水势和蒸腾速率的月变化趋势基本相反。在 5 - 6 月,蒸腾速率从 14.12 $\mu\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 升高到 20.90 $\mu\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$,相应的叶水势从 - 2.55 MPa 降至 - 2.99 MPa,7 月蒸腾速率降至 17.03 $\mu\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$,而叶水势升高到 - 2.70 MPa。同时从图 1,2 看出,银水牛角叶水势和蒸腾速率的日过程曲线有一定的相关性。已有研究表明,当蒸腾速率大于吸水速率时,叶水势的变化取决于蒸腾速率的变化,即:在一天内土壤水分充足且处于相对较稳定的状态下,清晨随着光照增强,植物的气孔导度增大,这样增大了叶内外的水汽压差,蒸腾速率不断提高,叶水势随之降低,直至 13:00 - 15:00 蒸腾速率达到峰值,叶水势也基本降至最低,其后叶水势随蒸腾速率的降低而升高,直到进入夜间后,当蒸腾耗水速率低于根系的吸水速率时,叶片细胞才得以补充水分。其中 6 月份的蒸腾速率日变化呈双峰曲线,因为在光照最强时,植物为了保护叶片不被灼伤、维持体内水分平衡,会关闭气孔一段时

间,随之蒸腾速率下降,这也是银水牛角适应干旱、自我保护的一种方式。

一般来说,对于同种植物,叶水势的降低对蒸腾速率的影响表现在以下两个方面:(1)可能影响气孔的开启程度,增大气孔阻力;(2)叶片内水分的势能降低致使汽化该水分所需要的能量更大,进而影响蒸腾速率^[8]。为了更好地说明叶水势和蒸腾速率之间的相互关系,根据整个生长季(5 - 8 月)所采集的数据,经统计分析建立银水牛角的叶水势和蒸腾速率之间的回归模型为: $LWP = - 1.925 - 0.049 Tr$, $R^2 = 0.747$, $n = 28$, $F = 76.899$, $\text{sigf.} = 0.000$ 。同时相关性分析表明:在 0.01 水平下, $R = - 0.864$, 则叶水势与蒸腾速率之间有极显著的负相关性。

3.3 银水牛角叶水势的日变化与各气象因子的关系

气象因子是影响植物叶水势日变化规律的重要因素^[9]。因此选取典型晴天里银水牛角叶水势日进程和气象因子相关性最大的 6 月来研究分析它们之间的规律。

3.3.1 叶水势与气温的关系 从图 3 叶水势与气温的日变化曲线可以看出,二者的变化趋势基本相反。即早晨气温较低,叶水势较高,随着气温的不断升高,叶水势呈下降趋势。13:00 左右,气温升至最高,叶水势也相应降为一天中的最低值。在午间植物为了防止过分蒸腾和灼伤,会出现“午休”现象,叶水势小幅度回升。在 17:00 左右叶水势出现了第 2 个低值。此后,随着气温的回落,叶水势逐渐升高。相关分析表明,银水牛角叶水势与气温之间有极显著负相关性,相关系数 $R = - 0.969$ (在 0.01 水平上差异显著)。

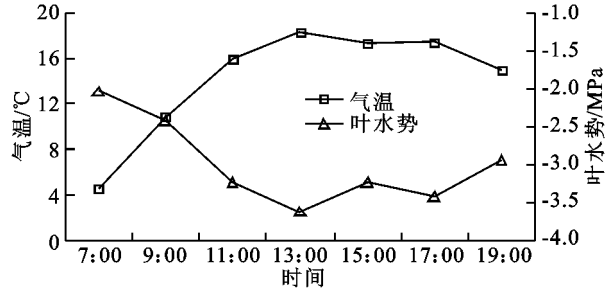


图 3 叶水势和气温的关系

3.3.2 叶水势与大气相对湿度的关系 如图 4 所示,一天中随着大气相对湿度的降低,叶水势不断降低;到下午湿度开始回升时,叶水势随之升高。清晨湿度最高,也是叶水势的高值时段;13:00 - 17:00 为湿度的低值阶段,相应的叶水势也较低。17:00 以后,湿度回升,叶水势开始回升。其中叶水势的最低值先于大气相对湿度的最低值出现,原因可能是水势的变化早于水分损失。

相关分析表明,银水牛角叶水势与大气相对湿

度之间有极显著正相关性,相关系数 $R = 0.952$ (在 0.01 水平上差异显著)。

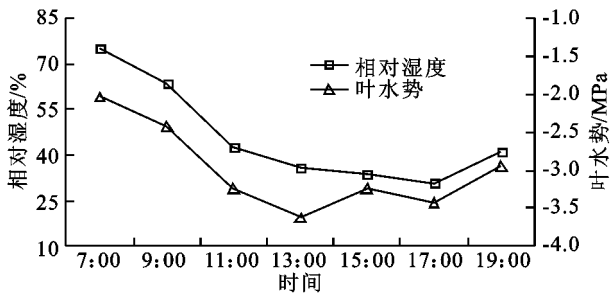


图 4 叶水势和大气相对湿度的关系

3.3.3 叶水势与光照强度的关系 图 5 为叶水势与光照强度的变化曲线。清晨,随着太阳高度角不断增大,光照不断增强,叶水势不断降低。11:00 左右光照为一天中的最高值,而叶水势在 13:00 才降至最低;在 15:00 - 17:00,光照继续降低,叶水势并未升高,只表现出一个回落的趋势,这都表明了叶水势相对于光照强度而言存在明显的滞后性。原因有两方面:其一,虽然光照强度降低了,但是影响叶水势的其它因子并没有明显变化;其二,在实验基地,下午常常因受到云层的影响,光照强度变化比较剧烈,而叶水势的变化往往是由叶片失水引起的,这相对于光照强度的变化就缓慢的多。

相关分析表明,银水牛果叶水势和光照强度之间有极显著的负相关性,相关系数 $R = -0.846$ (在 0.05 水平上差异显著)。

从以上叶水势和单个气象因子的关系可知:单个气象因子对叶水势的影响程度为温度 > 相对湿度 > 光照。

表 3 银水牛果各月叶水势与综合气象因子关系的数学拟合模型

月份	模拟方程	判定系数	F 值	显著水平
5	$LWP = 2.498 - 0.178 T_A - 0.045 R_H - 0.001 PAR$	0.952	19.636	0.018
6	$LWP = -2.912 - 0.037 T_A + 0.015 R_H$	0.973	36.624	0.007
7	$LWP = 6.657 - 0.260 T_A - 0.084 R_H - 0.001 PAR$	0.942	16.252	0.023
8	$LWP = -13.485 + 0.329 T_A + 0.114 R_H - 0.001 PAR$	0.885	7.666	0.064

用 SPSS 统计软件对所观测的数据进行多元回归分析,得到银水牛果生长季(5 - 8 月)的最优拟合方程为 $LWP = -2.584 - 0.018 T_A + 0.012 R_H - 0.001 PAR$, 其中 $R^2 = 0.694$, $F = 18.143$, $Sigf. = 0.000$, $n = 28$ 。由此进一步说明,气象因子的综合效应对银水牛果叶水势的变化具有相当大的作用。

3.5 银水牛果清晨叶水势和土壤含水量的关系

已有研究表明,在充分供水条件下叶水势仅与气象因子有关。但当土壤水受到限制时,作物根系吸水满足不了蒸腾需要时,为了得到土壤含水量较低时植物叶水势的变化情况,在 6 月份对银水牛果的盆栽苗

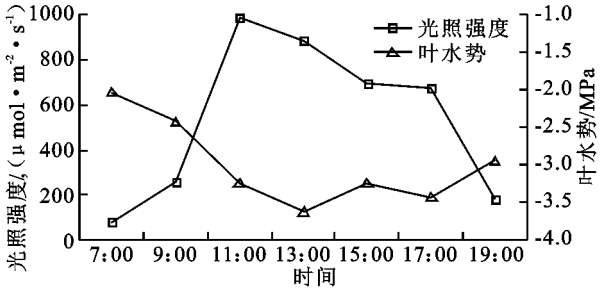


图 5 叶水势和光照强度的关系

3.4 银水牛果各月叶水势日变化与气象因子的综合关系模型

表 2 为银水牛果各月叶水势的日变化与综合气象因子的相关系数,结合上文可知:叶水势日变化与综合气象因子的相关性要大于其与单个气象因子的相关性。考虑到气象因子对叶水势的共同作用,故以 LWP 为因变量,以 T_A, R_H, PAR 为自变量,经回归分析得到其综合关系的数学拟合模型(见表 3)。可以看出,在引入的自变量中, T_A, R_H 出现了 4 次, PAR 出现了 3 次,由此说明,温度和相对湿度对叶水势变化的影响要大于光照,也就是说温度和相对湿度起主导作用,光照起次要作用。

据此可以采取有效的人工管理措施(如,在夏季适时给实验基地的银水牛果浇水,以降低基地的温度,增加空气湿度,减少水分蒸腾)来满足银水牛果对水分的需求并促进其快速健康地生长。

表 2 银水牛果各月叶水势日变化与综合气象因子的相关系数

月份	5	6	7	8
相关系数 R	0.975 *	0.987 **	0.971 *	0.941

注: * 在 0.05 水平上差异显著, ** 在 0.01 水平上差异显著。

木进行了充分灌水后的干旱胁迫实验。由于此实验都在夏日清晨 6:00 前后进行,此时各天的气象因子相应的变化较小(已经排除阴雨天的情况),因此,在整个测定过程中,银水牛果叶水势的变化与土壤含水量关系密切。到苗木叶子出现萎蔫时,前后持续了 36 d,与其它常见抗旱树种的萎蔫天数相比,持续时间较长,表明其具有更强的抗旱性。相关分析表明,清晨叶水势与土壤含水量之间有显著正相关性, $R = 0.83$ (在 0.01 水平上差异显著)。当土壤含水量达到 4.76 % 时,将萎蔫的盆栽苗木移入阴湿处且复水,仍不能恢复原状,则意味着苗木不能从土壤中吸收水

分,从而萎蔫死亡,此时的土壤含水量 4.76 % 就是盆栽银水牛角苗木的永久萎蔫系数。

清晨叶水势和土壤含水量的相关轨迹呈对数函数曲线,其回归方程为 $P_{LWP} = -4.170 + 0.754 \ln(SWC)$, $R^2 = 0.883$, $F = 60.484$, $\text{Sigf.} = 0.000$
式中: P_{LWP} ——清晨叶水势 (MPa); SWC ——土壤的体积含水量 (%)。

4 结论与讨论

(1) 银水牛角叶水势的日变化过程除 5 月份外均表现为双谷曲线,通常清晨叶水势最高,13:00 - 15:00 叶水势达到日间最低值,到傍晚时分恢复到或接近清晨的水平。白天随着光照增强,气温升高,银水牛角的生理活动加强,在土壤水分不足条件下,致使叶水势降低的原因有两个方面:一是生理耗水的增加造成植物体内含水量的下降;二是植株生理需求量的上升。中午时分,光照强、气温高、湿度低,植物为了减少过度蒸腾失水造成的伤害,其叶片气孔开度会减小或关闭,产生“休眠”现象,植物 - 大气系统中水分流动的阻力增大,蒸腾作用下降,植物失水速率降低,叶水势会有一个暂时升高的趋势。这是植物适应干旱、自我保护的一种方式。

(2) 早春 5 月,植物处于展叶阶段,生长需水量少且水分散失较少,植物体内含水量较高,故叶水势最高;进入 6 - 7 月,植物生长逐渐旺盛,土壤水分亏缺严重,即使 7 月份的集中降雨对缓解植物水分亏缺有所帮助,但是生理需水量和耗水量均大幅度增加,故叶水势不断降低。这充分说明了叶水势的变化与植物的生长发育阶段是同步的,而且 6 - 7 月的水分状况对银水牛角的生长起着关键作用。

(3) 叶水势的变化主要取决于叶片水分的供求关系,即根系的供水能力与叶片的蒸腾速率。从整个生长季来说,叶水势与蒸腾速率的变化趋势基本相反。当蒸腾速率大于吸水速率时,蒸腾速率对叶水势的影响起决定性作用,即蒸腾速率升高,叶水势降低;反之亦然。

(4) 叶水势作为 SPAC 系统中介于大气和土壤介质的中间部分,其变化必然受到两者的影响。已有研究表明,植物水势同环境因子之间有着密切的关系^[10-11]。本文研究表明,在供水充足时,银水牛角叶水势日变化与大气相对湿度呈显著正相关,其相关系数为 0.952,而与大气温度和光照强度呈负相关,其相关系数分别为 -0.969, -0.846,而且,从整

个生长季来看,综合气象因子对叶水势的影响要高于单因子对叶水势的影响。但是当土壤水受到限制时,清晨叶水势与土壤含水量有显著正相关性,苗木的永久萎蔫系数为 4.76 %。

总之,银水牛角叶水势的变化规律是其对外界环境条件变化的综合反映,可依据其变化加强对银水牛角的水分管理,确定适时适量的灌水,以提高其水分生产力和成活率。尽管叶水势是水分状况的最佳度量,但是水分在植物体内的运输取决于植物各组织水势的高低。因此,应加强植物不同部位(根、茎、叶)水势的研究,以便全面系统地掌握水分在不同部位的运输与存储机理^[12],为黄土高原西部高寒区优质树种选择和植被恢复提供科学依据。

参考文献:

- [1] 青海省农林科学院. 国外引进树种介绍: 银水牛角 [EB/OL]. <http://www.qhny.cn/shownews.asp?id=70>, 2008-06-05.
- [2] 闫杰, 张继刚, 于丽丽, 等. 沙区抗逆新树种: 银水牛角的推广 [J]. 现代农业, 2007(10): 60-61.
- [3] 耿生莲, 王占林, 霸王, 沙木蓼和银水牛角在不同水分条件下的生理研究 [J]. 山西林业科技, 2007(4): 24-26.
- [4] 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.
- [5] 韩德儒, 杨文斌, 杨茂仁. 干旱半干旱沙地灌(乔)木种水分动态关系及其应用 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996: 1-7.
- [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] 王兴鹏, 张维江, 马铁, 等. 盐池沙地柠条的蒸腾速率与叶水势关系的初步研究 [J]. 农业科学研究, 2005, 26(2): 43-47.
- [8] 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.
- [9] 段爱国, 张建国, 张俊佩, 等. 金沙江干热河谷主要植被恢复树种叶水势的时空变化规律 [J]. 林业科学研究, 2007, 20(2): 151-159.
- [10] 柴宝峰, 李洪建. 刺槐和海红水势与环境因子的关系及其抗旱性研究 [J]. 山西大学学报: 自然科学版, 1996, 19(2): 223-227.
- [11] 段焰青, 李天星. 云南松松针水势日变化的研究 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1999, 21(5): 410-412.
- [12] 张鸣, 张仁陟, 蔡立群. 不同耕作措施下春小麦和豌豆叶水势变化及其与环境因子的关系 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1467-1474.