

## 梭梭抗旱的生理生态水分关系研究

杨文斌 包雪峰 杨茂仁 杨明

(内蒙古林业科学研究所, 呼和浩特)

## 摘 要

本文测试了风沙土上着生梭梭的SPAC系统的水分关系和P-V曲线的水分特征, 分析结果表明: 沙土含水率( $w$ )大于2.0%, 梭梭生长正常, 蒸腾速率( $T_r$ )主要受光照强度( $L_i$ )的影响, 关系为 $T_r = a + bL_i$ ; 而 $w$ 小于2.0%, 同化枝水势( $\Psi_s$ )成为影响 $T_r$ 的主要因子之一, 此时有 $T_r = a + bL_i + C\Psi_s$ ;  $w$ 与同化枝清晨水势( $\Psi_m$ )的关系为:  $\Psi_m = -4.6396 \times 0.773649w$ , 拐点 $w = 2.0\%$ ,  $\Psi_m = -2.9\text{MPa}$ 大于 $\Psi_m^0 = -3.4\text{MPa}$ 说明梭梭仍能恢复膨压;  $w$ 与 $\Psi_s$ 的关系为:  $\Psi_s = 10.91945 \times 0.25559w$ , 拐点又是 $w = 2.0\%$ ;  $w$ 小于2.0%,  $\Psi_s$ 迅速下降,  $w = 2.0\%$ 为“临界点”, 到 $w = 1.0\%$ 时,  $\Psi_m = -3.5\text{MPa}$ 小于 $\Psi_m^0$ , 说明梭梭已不能恢复膨压高的束缚水, 低的 $\Psi_m$ 和 $\Psi_s^0$ 是梭梭耐旱的主要生理特征, 进而形成一套抗旱的生理生态水分关系。

关键词: 梭梭, 抗旱, 生理生态, 沙土含水率, 蒸腾速率。

梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 是肉质状旱生植物群的灌木种<sup>[1]</sup>, 许多学者采用传统方法, 已对其水分生理生态特性进行了广泛研究<sup>[2-4]</sup>, 自60年代引入 SPAC 系统和能量概念后, 使得水分关系的研究有了很大发展, 特别是P-V技术的运用, 在国外, 水分关系的研究已进入一个新的阶段<sup>[5]</sup>, 本文基本采用这一研究方法探讨梭梭的抗旱机理。

## 一、材料和方法

材料: 取自中国林业科学研究所内蒙古巴盟磴口实验局植物园内, 海拔1056m, 多年平均降水量为152.7mm, 多年平均蒸发量2400mm, 土壤为风沙土, 容重1.60—1.70g/cm<sup>3</sup>, 比重2.63—2.66g/cm<sup>3</sup><sup>[6]</sup>。

选择的两块梭梭样地分别称为1号(植物园2号路东侧)和2号(植物园扬水站南200m处), 均生长在风成沙丘中上部, 沙层厚1.8m以上。梭梭生长良好, 5—7年生株高2.0—2.5m。

方法: 用LI-1600气孔计测试蒸腾速率和环境因子, 采用PMS压力室同步测定同化枝水势。烘干法测定风沙土的含水率。采用相同的风沙土盆栽2年生苗木, 在不同土壤含水量时, 采用PMS压力室测定同化小枝清晨6—7时的水势。采用Richter(1978)方法制作P-V曲线。

## 二、结果与分析

## 1. 生长季内蒸腾速率的日变化

1987年6月到9月测定1号样地梭梭的蒸腾速率日变化, 结果见图1。结果表明梭梭的蒸腾速率6月份呈明显的双峰曲线, 而7月至9月的日变化曲线的峰值消失, 变得非常平缓。

本文于1990年9月7日收到。

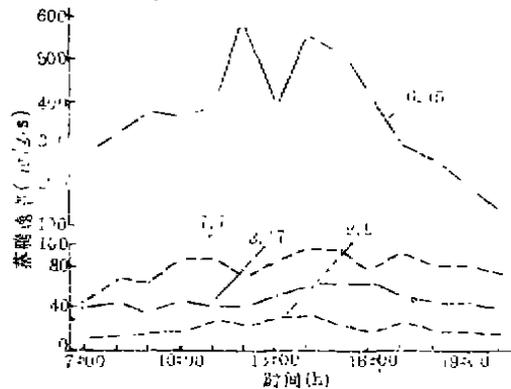


图 1 梭梭蒸腾速率的日变化  
Fig.1 Diurnal Tr. changing curve of Saxaul in the growth season

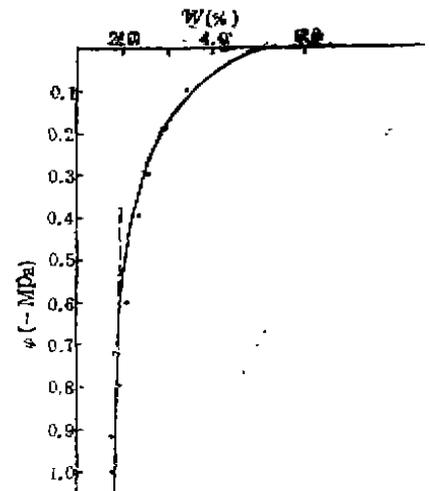


图 2\* 风沙土的水分特征曲线  
Fig.2 The water soil character curve of aeolian sandy soil

2 号样地的日变化也相似。1 号样地和 2 号样地梭梭蒸腾速率在 6 月 15 和 16 日非常高，日平均值分别为 271.8(μg/g·s) 和 354.5(μg·g·s)，7 月以后显著降低，日平均值分别比 6 月 15 日和 16 日低约 80% 以上。

### 2. 测试样地风沙土含水率及水势分析

在田间持水量范围内(大于稳定湿沙层含水率，即大于 3.2%)，已测试出梭梭同化枝的蒸腾速率是 7 月最高，其次是 6 月、8 月和 9 月<sup>[3]</sup>，而与上述蒸腾速率季节变化相对应的风沙土含水率(见表 1)远低于田间持水量，即使以 A. A. 罗杰(1965)提出的平均含水率为稳定湿沙层含水率的 60% 的水量(2.0%)，作为适宜梭梭生长的风沙土湿度<sup>[7]</sup>来看，含水率大于 2.0% 也仅出现在 6 月 15 日 1.0m 以下，7 月 6 日和 8 月 15 日各沙层的含水率已降到 1.0% 左右，接近 0.73% 的梭梭永久萎蔫湿度。

通过沙土水分特征曲线(见图 2)的分析得出风沙土含水率(w)与土水势(Ψ<sub>s</sub>)呈以下关系：

$$\Psi_s = -10.91944 \times 0.25559^w \quad (1)$$

相关系数 R = 0.9997(用 t 测验有 |t| > t<sub>0.01</sub>(f = n - 2) 为极显著)；平均相对误差仅 3.8%。

经计算，沙土含水率与土水势的对应值分别为：w = 2.0%，Ψ<sub>s</sub> = 0.72MPa；w = 1.0%，Ψ<sub>s</sub> = -2.88MPa，与表 1 中沙土各层的含水率对照得知：6 月 12 日，沙层 1.0—2.0m 的沙土水势仍维持在 -0.72MPa 以上，7 月 6 日以后，整个 0—2.0m 沙层的含水率均降至 1.0% 左右，对应的土水势下降至 -2.9MPa 左右。

### 3. 蒸腾速率与环境因子关系的分析

为了进一步说明沙土含水率对蒸腾速率的影响作用，在相同的沙土质地和不同的沙土水分条件(沙土含水率见表 2)下，同时测定了两种水分条件下梭梭的蒸腾速率，结果是 1 号样

\* 中国科学院西北水土保持研究所帮助测绘沙土水分特征曲线。

**表 1 生长期土壤含水率的变化**  
Table 1 variations of water content of aeolian sandy soil in the growth season

深度 (cm)	日期		
	6月12日	7月6日	8月16日
0	0.443	2.066	0.403
20	0.660	0.711	0.454
40	0.790	0.673	0.623
60	1.257	0.873	0.887
80	1.564	1.095	1.064
100	2.163	1.166	1.104
150	2.978	1.285	1.081
200	2.863	1.341	1.359
总蓄水量*(mm)	72.979	43.107	37.163

\* 以 0.73% 作为有效水的下限, 无效蓄水量为: 27.249 mm.

地梭梭蒸腾速率的日进程呈曲型的双峰曲线, 2号样地的梭梭的日进程变得很平缓, 其日平均蒸腾速率比前者低 50% 以上。

通过逐步回归分析发现, 水分条件较好的(1号)梭梭的蒸腾速率仅与光照强度紧密相关, 回归方程为:

$$T_s = 171.7782 + 0.156309L_s \quad (2)$$

水分条件较差的(2号)梭梭, 其蒸腾速率与光照强度和同化枝水势两个因子紧密相关, 回归方程为:

$$T_s = 887.4049 + 0.12198L_s + 22.5541\Psi_s \quad (3)$$

**表 2 沙土含水率(%)**  
Table 2 Water content of the aeolian sandy soil(%)

样地	土层深度							
	0 cm	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm	150cm	200cm
1号样地	0.44	0.660	0.792	1.364	1.564	2.163	3.016	2.905
2号样地	0.663	0.475	0.654	1.095	1.223	1.633	1.700	1.633

**4. 同化枝水势与沙土含水率的关系分析**

通过对梭梭盆栽幼树不同水分等级处理, 测定了梭梭同化枝清晨水势 ( $\Psi_m$ ) 与沙土含水率 ( $w$ ), 经统计分析发现, 梭梭同化枝清晨水势与沙土含水率之间存在着如图 3 所示的关系。回归方程为:

$$\Psi_m = 4.6396 \times 0.773649^w \quad (4)$$

相关系数为:  $R = 0.98246$  [用  $t$  检验  $|t| > t_{0.01}$  ( $f = n - 2$ ), 为极显著], 相对误差小于 10%。

很明显, 作为梭梭生长环境的沙土, 其含水率的降低, 引起同化枝水势的降低, 其变化过程存在一个明显的“临界阈”, 即在由直线变化转变成曲线变化的转变点附近。这个“临界阈”大约在 2.0% 左右, 对应的清晨水势约 -2.8MPa。另外, 当沙土含水率为 1.0% 时, 清晨水势已降至 -3.5MPa。

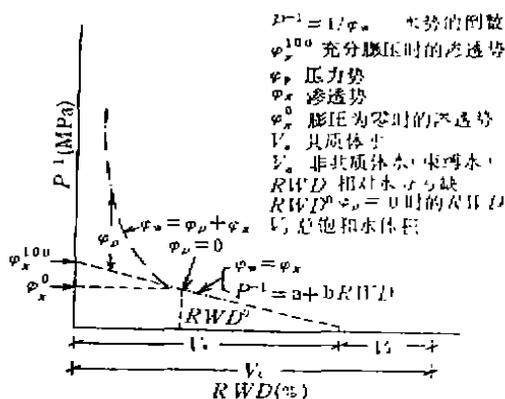


图 3 沙土含水率与梭梭同化枝清晨水势的关系  
Fig.3 The relationship between  $w$  and water potential of photosynthetic branch that measured in early morning

**5. P-V 曲线及其水分生理特性分析**

P-V 曲线是采用压力室为植物样品绘制的压力、容积曲线<sup>[8]</sup>, 典型 P-V 曲线见图 4。

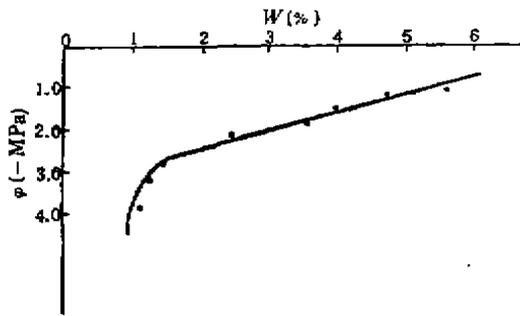


图4 梭梭同化枝水分关系的典型  $P-V$  曲线及其参数说明

Fig.4 A typical  $P-V$  curve and derivation of tissue-water relations parameters of Saxaul

10%,  $V_1 = 0.35$ ,  $V_2/V_1 = 1.86$ ,  $\varepsilon_{max} = -8.4$ ; 可以看到: 当梭梭相对水分亏缺在10%左右时, 同化枝的膨压就消失了, 但膨压为零的渗透势非常低, 达  $-3.4\text{MPa}$ 。

### 三、讨 论

上述阐明了梭梭的水分生理生态特征, 下面进一步讨论梭梭抗旱的水分关系。

1. 当土壤水分较好时(大于2.0%), 梭梭生长正常<sup>[6]</sup>, 其蒸腾速率的日进程呈双峰曲线, 主要受光照强度的影响, 逐步回归方程为:  $T_r = a + bL_r$ ; 一旦沙土含水率下降到2.0%以下, 沙土水分就成为影响蒸腾速率的主要因子。水分的胁迫可使蒸腾速率下降80%以上, 进而起到节约用水的作用, 特别是在相对水分亏缺下降到10%以下后, 细胞膨压就消失(由于梭梭属肉质状灌木, 此时不出现萎蔫现象), 渗透势已达到  $-3.4\text{MPa}$  以下, 这一方面要降低蒸腾速率, 另一方面要加强根系吸水作用, 以维持细胞的生命, 渡过于早期; 而沙土含水率低于1.0%以后, 梭梭同化枝大量脱落, 出现严重衰退现象。

2. 风沙土的含水率( $w$ )与土水势( $\Psi_s$ )的关系为  $\Psi_s = -10.91945 \times 0.25559^w$ , 曲线上的一个转折点大约在含水率为2.0%处, 对应的水势约  $-0.7\text{MPa}$ , 刚好在  $-0.03\text{MPa}$  水分当量和  $-1.5\text{MPa}$  中生植物永久萎蔫点的中点, 这个点成为梭梭蒸腾速率与环境因子关系的分界点, 可认为是风沙土的一个水分特征值。另一个含水率为1.0%的点, 对应的沙土水势为  $-2.8\text{MPa}$  大约为  $-1.5\text{MPa}$  的1倍, 小于这一值, 梭梭出现严重衰退现象。

3. 沙土含水率( $w$ )与同化枝清晨水势( $\Psi_m$ )的关系是:  $\Psi_m = -4.63960 \times 0.77365^w$ 。在上述2.0%的含水率曲线上对应的水势值为:  $-2.8\text{MPa}$ , 刚好是水势呈直线缓慢下降向曲线转变处的分界线, 类似郭连生提出的“临界值”<sup>[10]</sup>, 其生物学意义在于: 当沙土含水率大于2.0%时梭梭同化枝水势能够在—个夜里恢复到膨压消失点以上; 而当沙土含水率降到1.0%后, 对应的同化枝清晨水势为  $-3.5\text{MPa}$ , 低于  $\Psi_s^0 = -3.4\text{MPa}$ , 这说明梭梭同化枝水势已不能恢复其膨压。

4. 从  $P-V$  曲线确定的水分状况参数来看, 梭梭具有非常低的  $\Psi_s^{100}$  和  $\Psi_s^0$ , 后者比同期测定的樟子松( $-1.8$ )和旱柳( $-2.5$ )的  $\Psi_s^0$  值<sup>[11]</sup> 低  $-1.6\text{MPa}$  和  $-0.9\text{MPa}$ , 具有更强的吸水力。因此, 当沙土含水率大于2.0%, 土水势大于  $-0.7\text{MPa}$  时, 同化枝的渗透势总低于

根据 Vant Hoff 提出的溶液的渗透势( $\pi$ )与溶质体积( $V$ )成反比的原理, 得出公式<sup>[9]</sup>:

$$1/\pi = V/RTN_s = V_0 - V_2/RTN_s \quad (5)$$

式中: 各参量见参考文献[9]。

在  $P-V$  曲线中, 失去膨压之前的曲线部分通过各测定点串联而成, 失去膨压之后, 因  $\Psi = \pi$ , 此时总水势(即渗透势  $\pi$ )的倒数与活细胞中水的体积呈直线变化, 符合 Vant Hoff 原理。因而用直线回归方程确定了渗透势( $\pi$ )的变化。关于  $P-V$  曲线所确定的参数的计算方法见图4, 所确定的梭梭的水分参数分别为:

$$\Psi_s^{100} = -2.8\text{MPa}, \Psi_s^0 = -3.4\text{MPa}, \text{RWD}^0 =$$

-2.8MPa, 其水势差即吸水力也总大于 2.1MPa, 能够保证同化枝的水势维持在膨压消失点以上, 清晨的同化枝水势总大于 -2.8MPa, 而当沙土含水率降到 1.0% 时, 对应的土水势低于 -2.8MPa, 即使同化枝的渗透势降到 -3.4MPa 以下也不能阻止梭梭同化枝水势的迅速下降, 在清晨也不能恢复膨压, 这时, 梭梭就出现大量脱落同化枝的严重衰退现象。

5. 另一个重要的抗旱指标是束缚水含量及其所占比例, 梭梭的束自比比同期测定的油松(45%)和侧柏(17.2%)<sup>[11]</sup>分别高约20%和48%, 这表明梭梭同化枝的细胞原生质粘滞性及原生质胶体的亲水特性<sup>[12]</sup>, 说明梭梭组织对水分的束缚能力强, 保持水分的能力大, 在持续的干旱期, 能维持较长时间的生命。梭梭同化枝的细胞体积最大弹性模量( $\epsilon_{m,x}$ )为 -8.4 MPa, 与同期测试的樟子松和旱柳基本相似; 可见, 虽然干旱使旱生植物的细胞壁加厚<sup>[13]</sup>以利于维持体内的水分, 维持高水势和膨压, 而并不高的 $\epsilon_{m,x}$ 不但有利于梭梭在低水势下保持正膨压(在 -3.0MPa 时膨压仍达 0.3MPa), 而且更有利于其原生质忍耐脱水而在负膨压条件下生存<sup>[14]</sup>; 梭梭这些水分生理性与真旱生质植物具有较高的原生质粘度、较强的弹性和较高的粘度<sup>[15]</sup>的结论相一致。

以上论述中指出的, 如2.0%、-2.8MPa和-3.4MPa等作为两个水分区域的“分界线”, 实际上是一个小区域, 类似 S. A. 泰勒描述的永久萎蔫区<sup>[16]</sup>。由于本试验是典型研究, 平行样仅 3—5 个, 不是给出一个小区的阈值, 有待今后测定大量数据后确定。

### 参 考 文 献

- [1] 杨文斌、王玉魁, 1988, 十九种植物水分生态生理和抗旱性排序的数量分析, 内蒙古林业科技 (4): 36—43.
- [2] 高尚武等编, 1981, 《治沙造林学》, 第252—256页, 中国林业出版社.
- [3] 郭志中等, 1988, 造林树种蒸腾耗水量的研究, 林业科技通讯 (8), 21—24.
- [4] 丁声怀、黄子霖等, 1982, 民勤沙区梭梭固沙林衰亡原因及其防治途径的初步研究, 甘肃林业科技 (2): 8—17.
- [5] P. T. 克雷默著(许旭旦等译), 1988, 《植物的水分关系》, 第62—119页, 科学出版社.
- [6] 杨文斌, 1987, 临泽北部梭梭林下沙丘水分变化规律的观察, 甘肃林业科技 (2): 12—20.
- [7] A. A. 罗杰(苏)(讨作钧等译), 1965, 《土壤水分状况研究方法》, 第87—160页, 中国工业出版社.
- [8] Doik., Y Morikawa & T. M. Hinckly, 1986, Seasonal trends of several water relation parameters in *Cryptomeria Japonica* seedling, *Can. J. For. Res.*, (16):74—77.
- [9] 李树青, 1989, 毛乌素沙地几种树种P-V曲线的测定, 《中国干旱地区沙漠化成因和动态解析》, 第235—239页, 综合印刷出版株式会社.
- [10] 郭连生、田有亮, 1989, 四种幼树叶水势与土壤含水量的关系及其耐旱性研究, 内蒙古林学院学报 (1): 1—8.
- [11] 李吉跃, 1989, P-V技术在油松、侧柏苗木抗旱特性研究中的应用, 北京林业大学学报, (1): 3—11.
- [12] 张耀甲, 1981, 几种固沙树种抗旱性的研究, 林业科技通讯 (7): 12—15.
- [13] 山 仓, 1983, 植物水分亏缺和半干旱地区农业生产中的植物水分问题, 植物生理生化进展 (2): 108—119.
- [14] Jones, M. M. et al., 1981, Mechanism of drought resistance, in: *Physiology and biochemistry of drought resistance plants*, Academic press, 15—40.
- [15] 蒋 瑾等, 1989, 主要固沙植物原生质胶体化学特性与抗旱性的研究, 沙漠科学研究论文汇编, 中国地理学会沙漠分会.
- [16] S. A. 泰勒(华孟等译), 1983, 《物理的土壤学》, 第207—210页, 农业出版社.

## REASERCH ON RELATIONSHIP OF PHYSIO-ECOLOGICAL WATER TO DROUGHTY RESISTANCE FOR SAXAUL

Yang Wen-Bin Yang Mao-Ren Yang Ming  
(Inner Mongolian Academy of Forestry Sciences)

The paper have investigated the physio-ecological water relationship of the SPAC system and water parameters of  $P-V$  curve on Saxaul growing in aeolian sandy soil. The results are as follows. When the water Content( $w$ ) of the aeolian sandy soil is above 2%, the plant grows very well, the transpiration rate ( $T_r$ ) is mainly controlled by the light intensity( $Li$ ), and the relationship between  $T_r$  and  $Li$  is  $T_r = a + b \times Li$  ( $a$  and  $b$  are coefficients). When the water content is below 2%, the water potential ( $\Psi_b$ ) of photosynthetic branch is one of the main factors that affect  $T_r$ , and the relationship among the three factors is  $T_r = a + b \times Li + c \times \Psi_b$  ( $a$ ,  $b$  and  $c$  are coefficients). The relationship between  $w$  and the water potential ( $\Psi_m$ ) of photosynthetic branch measured in early morning is:  $\Psi_m = -4.6396 \times 0.773649^w$ ,  $w = 2\%$  is turning point while  $\Psi_m$  converts the slowly fall into the fast one, and the fact that  $\Psi_m = -2.88\text{MPa}$  is above  $\Psi_m^0 = -3.4\text{MPa}$  shows the plant may maintain turgor potential. The relationship between  $w$  and the water potential in the aeolian sandy soil ( $\Psi_s$ ) is:  $\Psi_s = -10.9194 \times 0.25559^w$ ,  $w = 2\%$  is just the point that convert the slowly fall into the fast one and corresponding  $\Psi_s = -0.7\text{MPa}$ ,  $w = 2\%$  is the "critical value" that saxaul can grow very well. When  $w$  is about 1%,  $\Psi_s = -3.5\text{MPa}$  is blow  $\Psi_s^0$ , which shows the saxaul can't maintain turgor potential. The high  $V_s$  with no high is one of the main physiological characters in drought-resistance for saxaul, which form a system of physio-ecological water relationship in drought-resistance.

**Key words:** water potential of photosynthetic branch ( $\Psi_b$ ), water potential of the soil ( $\Psi_s$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), turgor potential ( $\Psi_t$ ), osmotic potential ( $\pi$ ), water content of the soil ( $w$ ), water potential of branch in early morning ( $\Psi_m$ ).