

239-244

21/53(3) www.cqvip.com

柠条抗旱的生理生态与土壤水分关系的研究

杨文斌 任建民 贾翠萍

(内蒙古林业科学研究院, 呼和浩特市, 010010)

S 793.302

A **摘要** 采用LI-1600气孔计和压力室测试了风沙土上生长的柠条的SPAC系统的水分关系和P-V水分特征曲线, 结果表明, 当沙土含水率(W)的水分特征曲线的回归方程为: $\psi_s = -40.32196 \times 0.427905^W$, 沙土平均含水率大于4.5%, 柠条固沙林生长正常, 叶水势高。沙土含水率小于4.5%时, 柠条生长速度显著下降, 柠条清晨叶水势(ψ_m)与沙土含水率(W)的回归方程为: $\psi_m = -0.35926 \cdot e^{0.3114/W}$, 风沙土上生长的柠条的“经济水阈”大约在4.5%左右, “生命水阈”大约在3.5%左右。

柠条

关键词: 清晨叶水势, 土壤水势, 膨压,

抗旱性, 生理生态, 土壤水分

STUDIED ON THE RELATIONSHIP BETWEEN PHYSIOLOGICAL ECOLOGY OF DROUGHT-RESISTANCE IN *CARAGANA KORSHINSKII* AND SOIL WATER

Yang Wenbin Ren Jianmin Jia Cuiping

(Academy of Forestry Sciences, Inner Mongolia, Huhhot, 010010)

Abstract The paper has investigated the physio-ecological water relationship of the SPAC system and water parameters of P-V curver of *Caragana korshinskii* growing in aeolian sandy soil. When the relationship between water content(W) and water potential(ψ_s) in the aeolian sandy soil is: $\psi_s = -40.32196 \times 0.42795^W$, $W = 4.5\%$, is just the poit that convert the slowly fall into the fast one. When $W > 4.5\%$, *C. korshinskii* grows very well. And when W is bellow to 4.5%, the growth has been affected by W . The leave water potential and transpiration rage begin to fall step by step.

The relationship between W and water potential (ψ_m) of leave measured in early morning is: $\psi_m = -0.35926 \times e^{0.3114/W}$, and $W = 4.5\%$ is turning point while ψ_m converts the slowly fall into the fast one and the fact that $\psi_m = -1.46$ MPa is above $\psi_r^0 = -1.81$ MPa. It shows that *C. korshinskii* may maintain the turgor potential in all night time. And $W = 4.5\%$ is the “critical value” that *C. korshinskii* could grow very well in the soil. When $W = 3.5\%$, $\psi_m = -2.18$

• 本文承内蒙古林业厅高级工程师邹立杰先生指导, 并提修改意见, 谨此致谢。

收稿日期: 1995-05-27, 修改稿收到日期: 1996-01-27。

MPa is blow ψ_w^0 , which *C. korshinskii* can't maintain turgor potential and begin to die individually.

Key words: water potential of leave in early morning, water potential of soil, turgor potential.

柠条锦鸡儿(*Caragana Korshinskii* komar)是干旱半干旱区重要的固沙灌木造林树种之一。在干旱半干旱区,水分是植物生存的重要限制因子。因而,许多学者对植物蒸腾等水分生理生态特性进行了广泛的研究^[1~4]。从60年代引入SPAC系统和能量概念后,随着测试仪器的不断发展,使水分关系的研究有了很大发展,特别是对P-V技术的运用。致使在国外水分关系的研究已进入一个新的阶段^[4],本文拟采用这一研究方法重点研究SPAC的水势及其蒸腾速率的关系对柠条林生长的影响,为干旱半干旱区走水分林业的发展方向,实行以水定林提供科学依据。

1 材料和方法

取自内蒙古伊克昭盟机械化林业总场沙母花作业区(达拉特旗)的柠条固沙林。海拔1200 m,年平均气温6.1℃,绝对最高、最低气温分别达40.7℃和-34.5℃;多年平均降水量317.1 mm,多年平均蒸发皿蒸发量2167.7 mm;观测样地均选在覆沙土梁上,质地为风沙土,沙层厚度大于1.8 m,容重1.50~1.60 g/cm³,比重2.65 g/cm³,地下水埋深在7 m以下。

首先对达旗境内人工柠条固沙林生长状况和林下沙土含水率进行大规模调查,然后选择两块典型柠条固沙林分别称为柠条1(生长于沙母花南部4~5度斜坡上)和柠条2(生长于沙母花北部约5~6度斜坡上),林龄均在10 a以上,密度分别为2040株/hm²和1365株/hm²,平均株高2.83 m和2.99 m,地径3.7 cm和3.8 cm,生长状况在4~7月初稍差,其后则迅速生长。

用LI-1600气孔计测试蒸腾速率和环境因子,采用PMS压力室同步测定带叶小枝水势。分层取样(0~200 cm共分13层)烘干法,同时测定林下及对照(流动沙丘迎风坡中部)风沙土的含水率,取样深度分别为0、10、20、30、40、60、80、100、120、140、160、180、200 cm,采用相同的风沙土盆栽幼树(高70 cm)同在大田条件下进行灌水补给控水试验,在不同土壤含水率时采用PMS压力室测定清晨6:00~7:00时的叶水势及其日变化和LI-1600测定蒸腾速率的日变化,采用Richter方法制作P-V曲线。

2 结果与分析

2.1 不同生长状况柠条林下沙土含水率

在内蒙古伊盟、巴盟和乌盟等地区,营造的大面积柠条固沙林中,虽然还未出现类似梭梭固沙林大面积成片衰亡现象,但生长停滞,出现衰退现象的人工柠条固沙林仍占相当比重。在庫布齐沙漠东部达旗境内,对生长于相似风沙土上的柠条固沙林下沙土含水率的大量调查结查(见表1)表明,当林下沙土40~160 cm沙层各层含水率小于4.0%时,柠条固沙林生长停滞,叶片呈灰白色,极少结果或基本不结果,叶片上毛特别发育。

2.2 水分生理生态特征对沙土干旱胁迫的反应

在相同的沙土质地,不同的沙土含水率(测试样地沙土容重1.55 g/cm³,比重2.65 g/cm³,孔隙度41.5%, $-1/3$ MPa和 -1.5 MPa的含水率分别为5.7%和3.9%)条件下,分别测定了柠条1固沙林的叶水势和蒸腾速率,测试结果表明:当0~200 cm沙层中各层的含水率小于4.0%时(见表2),平均约3.86%对应沙土水势的平均值约 -1.54 MPa,柠条清晨叶水势降低为 -1.46 MPa,日较差减少,平均为0.46 MPa;相对的蒸腾速率下降,日变化曲线平缓(见图1),日平均值仅 $329.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而当林下沙土含水率提高到平均值约6.67%时,对应沙土水势的平均值约 -0.21 MPa,此时,柠条清晨叶水势可达 -0.47 MPa,比对照提高约0.99 MPa,叶水势日较差增大,日变化曲线变陡,平均日较差可达0.92 MPa,比对照增大约0.46 MPa;相应的蒸腾速率明显提高,日变化曲线变得很陡(图1所示),日平均值

可达 $586.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 比对照高约 2.3 倍之多。同时测定的柠条 2 样地的变化规律与柠条 1 完全相同。

表 1 不同生长状况柠条林下沙土含水率(%)

Table 1 Water content of the aeolian sandy soil in the different growth level with *Caragana* forest

生长状况 Growth level	样地位置 Site region	含水率(%) Soil water content			生长状况描述
		0~40	40~160	160~200	
生长正常 Growth well	达旗七里沙	4.87	6.89	6.84	全林灰绿色, 结果正常
	达旗沙母花	6.91	7.00	8.57	全林灰绿色, 结果正常
	达旗沙母花	5.24	5.68	7.56	全林灰绿色, 结果正常
生长衰退 Growth bed	达旗七里沙	4.36	3.98	4.20	全林灰白色, 基本不结果, 叶片衰退
	达旗瓦窑西	4.07	3.80	3.84	全林灰白色, 基本不结果, 叶片衰退
	达旗沙母花北	2.74	3.72	4.98	全林灰白色, 基本不结果, 叶片衰退
	达旗沙母花南	3.10	3.67	4.02	全林灰白色, 基本不结果, 叶片衰退
	达旗展旦召南	4.63	3.49	3.44	全林灰白色, 不结果, 叶片变小, 枝条老化

注: 0~40 cm, 每 10 cm 为一层, 40~120 cm, 每 20 cm 为一层。

表 2 柠条固沙林下沙土含水率(%)

Table 2 Water content of the aeolian sandy soil in the forest of *Caragana*

柠条 1 林	取样深度 Depth (cm)									
	10	20	30	40	60	80	100	150	200	平均 Average
未灌水对照	3.18	2.63	3.09	3.46	3.27	3.68	3.93	4.98	6.29	3.83
灌水处理	5.05	4.78	5.86	6.57	7.07	7.92	5.95	6.18	8.84	6.67

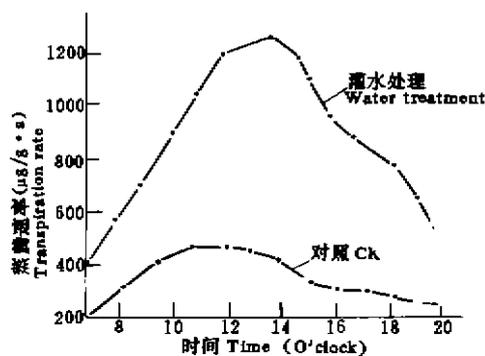


图 1 不同沙土含水率条件下柠条 1 蒸腾速率

Fig. 1 Diurnal variations of Tr. rate of *Caragana* in the different water content of soil

2.3 测试样地风沙土含水率及水势分析

在 5~10 月期间, 定期定点地测定了柠条固沙林下风沙土含水率的季节动态, 柠条 1 样地的测定结果(见图 2)表明: 柠条林下沙土各层的含水率均低于对照样地, 且不同层次的差异和变化规律不同, 表现为 5 cm 沙土层, 柠条林下沙土含水率大小与对照相似, 二者的含水率均有变化剧烈、起伏较大的特点, 反映出主要受降水和蒸发的影响, 而实际蒸发量是土壤表层含水率和温度的函数^[5]; 40 cm 沙土层, 林下沙土含水率的季节动态规律与对照基本相似, 但平均含水率比对照降低约 2.6%, 且起伏小于 5 cm 土层; 100 cm 沙土层, 对照沙土的含水率的起伏变化已显著减小, 从 6 月 20 日~7 月 20 日前, 含水率基本没有变化, 维持在 8.0% 左右, 由于 7 月 21 日的特大降水, 使得此层含水率从约 8.0% 提高到 12.0%, 其后缓慢下降; 而林下此层的含水率在

7 月 20 日之间均低于 4.5%, 比对照的 8.0% 低约 3.5%, 但受 7 月 21 日的特大降水补给后, 含水率迅速提高到基本与对照相近水平, 其后由于柠条林大量蒸腾耗水, 含水率迅速下降, 到 9 月 22 日柠条生长结

束时,含水率又降到4.5%以下,此时已比对照低约4.7%左右;200 cm土层,对照的沙土含水率的季节变化与100 cm层相近,而林下沙土的含水率基本没有变化,稳定在4.5%左右,反映出80.9 mm的特大降雨也不能入渗到林下200 cm沙土及其以下土层中,同时说明小于4.5%的含水率已不易被柠条吸收利用,含水率低于4.5%已影响到柠条的正常生长。柠条2样地的沙土含水率的变化规律与柠条1完全相同。

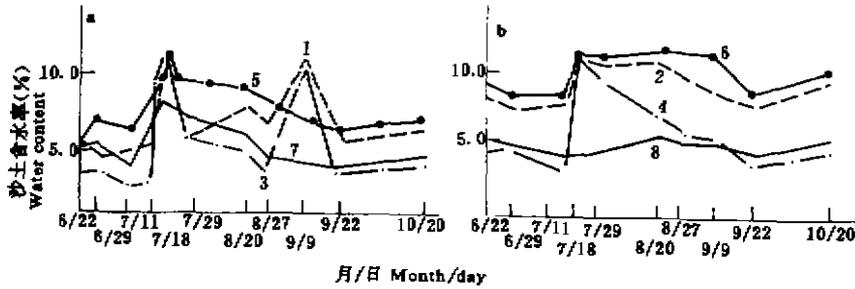


图2 不同深度柠条1林下沙土含水率季节变化

Fig. 2 Seasonal variations of water content of soil in the different depth

1. 对照 CK 5 cm 2. 对照 100 cm 3. 柠条林下 5 cm Caragana forest 5 cm 4. 柠条林下 100 cm
5. 对照 40 cm 6. 对照 200 cm 7. 柠条林下 40 cm 8. 柠条林下 200 cm

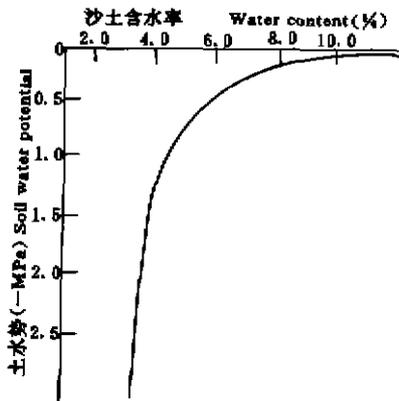


图3 风沙土的水分特征曲线

Fig. 3 The water soil character curve of aeolian sandy soil

通过对柠条固沙林下风沙土的水分特征曲线(见图3)的分析得出风沙土含水率(W)与土水势(ψ_s)呈以下关系。

$$\psi_s = -40.32196 \times 0.427905^W \quad (1)$$

相关系数 $R=0.9436$, 用 t 测验有 $|t| > \pm 0.01$ ($f=n-2$) 为极显著, 平均相对误差仅 3.8%。

经计算分析, 该沙土水分特征曲线的拐点大约在 $W=4.5\%$, 对应 $\psi_s=-0.88$ MPa, 而当 $W=3.5\%$, $\psi_s=-2.07$ MPa。

2.4 清晨叶水势与沙土含水率的关系

通过对柠条不同等级水分处理, 测定了柠条叶片清晨叶水势(ψ_m)与沙土含水率的关系, 结果(如图4)所示, 经统计分析发现, 柠条叶片清晨水势(ψ_m)与沙土含水率(W)存在着以下回归关系。

$$\psi_m = -0.35926 \times e^{6.311447W} \quad (2)$$

相关系数 $R=0.99381$, 用 t 测验 $|t| > \pm 0.01$ ($f=n-2$) 为极显著, 相对误差为 4.02%。

经计算, 对应上述 4.5% 沙土含水率的清晨叶水势为 -1.46 MPa, 而当沙土含水率降到 3.5% 时, 对应的清晨叶水势约为 -2.18 MPa。

2.5 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^[6], 典型的 P-V 曲线见图 5。

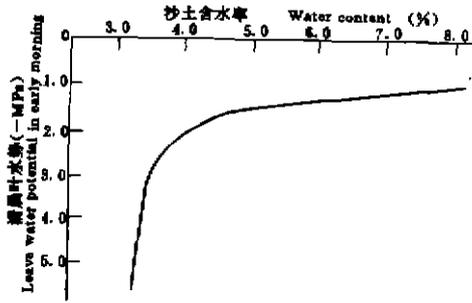


图4 沙土含水率与清晨叶水势消长的关系
Fig. 4 The relationship between W and water potential of leaf that measured in early morning

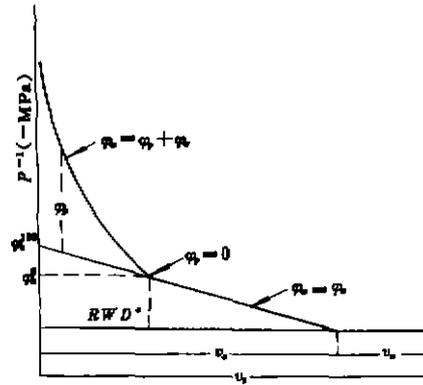


图5 柠条的典型 P-V 曲线及其参数说明
Fig. 5 A typical P-V curve and derivation of tissue-water relation parameters of *Caragana*
 $P^{-1} = 1/\psi_w$: 叶水势的倒数; ψ_w^{100} : 充分膨压时的渗透势; ψ_w^0 : 膨压为零时的渗透势; ψ_w^P : 压力势(膨压); ψ_s : 渗透势; V_s : 共质体水; V_a : 非共质体水; RWD^0 : 相对水分亏缺; RWD^0 : $\psi_w = 0$ 时的相对水分亏缺; V_t : 总饱和水的体积。

根据 Vant Hoff 提出的溶液的渗透势(π)与溶质体积(V)成反比的原理, 得出公式^[7]

$$1/\pi = V/RTN_s = (V_0 - V_t)/RTN_s \quad (3)$$

T 为绝对温度, R 是通用气体常数, N_s 是溶质的克分子数; 其中 T 、 R 、 N_s 是常数。

按照 P-V 曲线所确定的参数的计算方法(见图 5), 确定出柠条生长期间的水分参数分别为:

$$\psi_w^{100} = -1.43 \pm 0.09; \psi_w^0 = -1.8 \pm 0.12; V_s = 65.3\%; V_a/V_t = 0.51; RWD^0 = 13.6\%.$$

3 讨论

上述阐明了柠条的水分生理生态特征, 下面进一步讨论柠条抗旱的生理生态水分关系。

3.1 当风沙土的水分特征曲线为 $\psi_s = -40.32196 \times 0.427965^W$ 时, 沙土含水率大于 4.5%, 柠条固沙林生长正常, 一旦沙土含水率下降到 4.5% 以下, 出现沙土水分胁迫现象, 致使柠条生长速率显著下降, 而当沙土含水率降到 3.5% 以下后, 柠条出现严重衰退特征, 生长完全停滞, 叶片变小、叶量减少。

3.2 林下风沙土的含水率(W)与沙土水势(ψ_s)的关系曲线上的一个转折小区大约在含水率为 4.5% 处, 对应的水势值约 -0.88 MPa, 当沙土含水率大于此区域时, 沙土水势稳定保持在较高水平, 水分易被柠条吸收; 而当沙土含水率降至该小区域以下后, 沙土水势亦迅速显著降低, 水分的有效性明显降低, 因此, 我们认为该小区域是该风沙土的一个水分分界阈值, 另一个含水率在 3.5% 附近的区域, 对应的沙土水势为 -2.07 MPa, 小于这一值, 柠条出现严重衰退现象, 并有个别植株死亡。

3.3 柠条林下沙土含水率(W)与柠条清晨叶水势的关系: $\psi_w = -35926 \cdot e^{0.31144/W}$, 在上述 4.5% 的含水率曲线上对应的水势值为 -1.46 MPa。刚好是清晨叶水势随沙土含水率呈直线缓慢下降转变成曲线迅速下降的分界阈处, 其生物学意义在于: 当沙土含水率大于该阈值时, 柠条叶片水势能够在夜间恢复到膨压消失点以上; 而当沙土含水率降到 3.5% 以下后, 对应的柠条清晨叶水势为 -2.18 MPa, 低于 $\psi_w^0 = -1.8$, 这说明柠条叶片即使在清晨也不能恢复其膨压。

3.4 从 P-V 曲线确定的水分状况参数来看, 柠条具有较低的 ψ_w^{100} 和 ψ_w^0 值, 因此, 当柠条林下沙土含水率

大于 4.5% 时, 沙土水势稳定维持在 -0.88 MPa 以上, 柠条叶片的渗透势总低于 -1.81 MPa, 其水势差即吸水力也总大于 -0.92 MPa, 能够保证柠条清晨叶片水势维持在膨压消失点以上, 即柠条的清晨叶水势总大于 -1.8 MPa, 而当沙土含水率降到 3.5% 左右时, 沙土水势下降到 -2.07 MPa, 对应清晨叶水势降到 -2.18 MPa 以下, 也不能阻止柠条叶片水势迅速降低, 即使在清晨也不能恢复膨压, 柠条林将会出现严重衰退现象。

3.5 抗旱的生理生态水分关系^[8]是把土壤干旱与植物对干旱的适应相结合的土壤-植物-大气水分关系, 它是沿着沙土消减的水分生态位的变化, 寻找出与土壤水分特征相适应的植物水分特征与生长关系的“临界阈值”, 结合生产实践和上述讨论, 确定出两个临界阈值, 即“经济水阈”和“生命水阈”, 前者系指能维持该植物正常产生经济干物质积累量的土壤最低水分含量, 后者系指能维持该植物生命的土壤最低含水率, 它是以清晨亦不能恢复膨压来确定的。

对于上述沙土上生长的柠条固沙林而言, 其“生命水阈”大约是沙土含水率等于 3.5% 附近的一个小区阈, 而“经济水阈”是大约在沙土含水率等于 4.5% 附近的一个小区阈。

需要指出的是“生命水阈”和“经济水阈”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^[9](多数沙旱生植物当 $\psi_p=0$ 后不出现萎蔫特征)。本试验只进行了典型性研究, 不足以给出一个小区的阈值, 有待测定大量数据后确定。

参 考 文 献

- 1 高尚武等编. 治沙造林学. 北京: 中国林业出版社, 1990, 150~180
- 2 杨文斌, 任建民. 柠条沙柳人工林水分特征及其在固沙造林中的应用. 内蒙古林业科技, 1993, (2): 7~14
- 3 杨文斌, 王玉魁. 十九种植物水分生态生理群和抗旱性排序的数量分析. 内蒙古林业科技, 1988, (4): 28~33
- 4 P. T 克雷默(许旭日等译). 植物水分关系. 北京: 科学出版社, 1989, 62~113
- 5 韩德儒, 杨文斌. 柠条固沙林水量平衡的模式及精度分析. 干旱区资源与环境, 1995, (1): 78~85
- 6 Doik Morikawa Y, Hinckly T M. Seasonal trends of several water relation parameters in *Cryptomeria Japonica* seedling. *Forest Ecology and Management*, 1991, (22): 101~112
- 7 王万里. 压力室在植物水分状况研究中的应用. 植物生理学通报, 1984, (3): 52~57
- 8 杨文斌等. 干旱、半干旱区沙地灌(乔)木种水分动态关系及其应用. 北京: 中国科学技术出版社, 1986, 85~102
- 9 S. A. 泰勒(华孟等译). 物理的土壤学. 北京: 农业出版社, 1983, 207~210