

文章编号: 1001-1498(2009)03-0335-08

## 水分胁迫下 2种沙枣的抗旱性比较

李 磊<sup>1</sup>, 贾志清<sup>1\*</sup>, 宁虎森<sup>2</sup>, 吉小敏<sup>2</sup>, 朱雅娟<sup>1</sup>, 慕艳林<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 新疆林业科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 在新疆和田墨玉县选取 2 年生大果沙枣和尖果沙枣实生苗, 移植于苗圃对其进行不同灌水量的处理, 不同处理的土壤含水量分别为田间持水量的 85%、70%、47% 和 24%。测定了不同处理的大果沙枣、尖果沙枣的水势、净光合速率、蒸腾速率、稳定碳同位素。结果表明: 大果沙枣、尖果沙枣在一天中的水势变化趋势呈“V”字型, 大果沙枣的日平均水势 ( $-0.87 \pm 0.18$ ) Mpa) 比尖果沙枣的大; 相同处理下大果沙枣的日平均净光合速率 ( $(10.03 \pm 1.19) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 和蒸腾速率 ( $(11.06 \pm 0.88) \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 均比尖果沙枣的大; 大果沙枣的瞬时水分利用效率 ( $(0.80 \pm 0.09) \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) 也比尖果沙枣的高; 大果沙枣的  $^{13}\text{C}$  值 ( $-26.06\text{‰} \pm 0.08\text{‰}$ ) 显著比尖果沙枣的大。土壤含水量为田间持水量的 85%、70% 和 47% 时, 大果沙枣和尖果沙枣生长状况都良好, 土壤含水量为田间持水量的 24% 时, 大果沙枣和尖果沙枣干旱胁迫明显, 但是大果沙枣的净光合速率和水分利用效率比尖果沙枣分别高  $3.26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.06 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ , 大果沙枣水势比尖果沙枣低  $0.06$  Mpa, 运用隶属函数对各个指标的综合比较结果表明, 大果沙枣比尖果沙枣的抗旱性强。

**关键词:** 沙枣; 水势; 光合作用; 水分利用效率;  $^{13}\text{C}$ ; 抗旱性

中图分类号: S722.3+6

文献标识码: A

## Drought Resistance of Two *Elaeagnus* Species under Water Stress

LI Lei<sup>1</sup>, JIA Zhi-qing<sup>1</sup>, NING Hu-sen<sup>2</sup>, JI Xiao-min<sup>2</sup>, ZHU Ya-juan<sup>1</sup>, QI Yan-lin<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry

Administration, Beijing 100091, China; 2. Forestry Academy of Xinjiang, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract:** Two years old seedlings of *Elaeagnus mooeroftii* and *Elaeagnus oxycarpa* were chosen and planted in field, then treated by different amount of irrigation in Moyu county of Xinjiang. The relative mean soil water contents of different irrigating treatment were 85%, 70%, 47% and 24%. by measuring the water potential of *E. mooeroftii* and *E. oxycarpa* under different conditions and at different time, it was shown that their variation trends followed a “V” shape in whole day. The mean daily water potential of *E. mooeroftii* ( $-0.87 \pm 0.18$ ) Mpa) was higher than that of *E. oxycarpa*. Comparing the net photosynthetic rate, transpiration rate and water use efficiency of two species, it is turned out the net photosynthetic rate ( $(10.03 \pm 1.19) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), the transpiration rate ( $(11.06 \pm 0.88) \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and water use efficiency ( $(0.80 \pm 0.09) \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) of *E. mooeroftii* were higher than that of *E. oxycarpa*. The  $^{13}\text{C}$  value of *E. mooeroftii* ( $-26.06\text{‰} \pm 0.08\text{‰}$ ) was significantly higher than that of *E. oxycarpa*. The *E. mooeroftii* and *E. oxycarpa* grew well when the soil water contents of different irrigating treatment were 85%, 70% and 47%, while it was under significantly drought stress when under the soil water contents

稿日期: 2008-12-08

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划专题“防沙治沙植物材料筛选与扩繁技术(2006BAD26B0101)”; 国家“十一五”林业科技支撑计划课题“新疆活化沙丘的固定与绿洲防风固沙体系构建技术研究与试验示范(2006BAD26B09)”

作者简介: 李磊(1981—),男,山东菏泽人,在读硕士生,研究方向:水土保持与荒漠化防治。

\*通讯作者: 贾志清,研究员,博士生导师。

of different irrigating treatment were 24%, but the net photosynthetic rate and water use efficiency of *E. moocroftii* were  $3.26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.06 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$  higher than that of *E. oxycarpa*. The water potential of *E. moocroftii* was 0.06 Mpa lower than that of *E. oxycarpa*. In a word, the drought resistance of *E. moocroftii* was better than that of *E. oxycarpa* by Subordinate Function Value.

**Key words:** *Elaeagnus angustifolia*; water potential; photosynthesis; water use efficiency;  $^{13}\text{C}$ ; drought resistance

在干旱区,由于降水量少,蒸发强烈,植物经常会面临不同程度的土壤干旱。研究植物的抗旱性,不仅可以了解植物适应干旱的机制,而且对治沙植物的选择等实践工作具有重要指导作用<sup>[1]</sup>。通过测量植物在水分胁迫条件下的光合速率、蒸腾速率、水势等各项生理生态指标,可以评估植物的抗旱性。国内外研究已经表明,干旱条件下植物的光合作用受到抑制,光合速率下降<sup>[2]</sup>。传统意义上植物的水分利用效率大小是由植物的二氧化碳同化效率和蒸腾效率来确定的,在这方面国内已有较深入的研究<sup>[3-4]</sup>;但光合仪测得的水分利用效率只代表某一特定时间内植物部分叶片的功能,而且它随时间、生长季节和外界环境条件的变化而改变,不能反映植物的长期水分利用效率。近年来,国内外已普遍利用叶片的  $^{13}\text{C}$  值来间接反映  $\text{C}_3$  植物的长期水分利用效率,并通过分析长期积累于叶片中的碳代谢产物来评估叶片或植株生长过程中总的水分利用效率,这种测定不受时间和季节的限制<sup>[5]</sup>。目前,国内主要研究盆植幼苗的抗旱性<sup>[6-9]</sup>,或者直接研究自然条件下生长的沙生植物<sup>[10-15]</sup>的抗旱性,对大田试验苗的研究较少。

胡颓子科胡颓子属 (*Elaeagnus* L.) 沙枣 (*Elaeagnus angustifolia* L.) 分布在新疆塔里木、吐鲁番和准噶尔三大盆地。分布在新疆的沙枣树主要有尖果沙枣 (*E. oxycarpa* Schlecht) 和大果沙枣 (*E. moocroftii* Wall ex Schlecht)。沙枣树耐旱、耐高温、耐盐碱、耐瘠薄,是防风固沙的优良树种。近年来对沙枣的研究主要以其开发利用、栽培管理与繁殖为主<sup>[16-20]</sup>,而在其抗旱性生理方面的研究较少<sup>[11-21]</sup>。本研究通过对大果沙枣和尖果沙枣苗木在水分胁迫条件下的生理生化特性研究,进而对其抗旱特性进行综合评价,阐明它们适应环境的生理生态特征,为绿洲的防护林建设和沙化土地治理提供理论依据与技术支持。

## 1 研究区概况

项目区设置在和田地区墨玉县的扎瓦苗圃,位于塔克拉玛干大沙漠南缘,地处  $79^{\circ}08' \sim 80^{\circ}51' \text{E}$ ,  $36^{\circ}36' \sim 39^{\circ}38' \text{N}$ ,海拔  $1\,120 \sim 3\,600 \text{ m}$ 。年平均气

温  $11.4^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量仅  $32.50 \text{ mm}$ ,年平均蒸发量  $2\,226.00 \text{ mm}$ ,历年沙暴为 7 级,大于 8 级的大风年平均  $2 \sim 3$  次,年平均风速  $2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最大风速  $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。土壤主要为棕漠土和风沙土。可利用地表水主要是喀拉喀什河,年径流量为  $21.80 \times 10^4 \text{ m}^3$  左右,其中 70% 以上的水量集中在 6、7、8 月份,6 月中旬洪水过剩;地下水可用于灌溉的水约为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

## 2 试验设计与处理

2008 年 3 月 20 日取 2 年生大果沙枣和尖果沙枣的健康实生苗定植于墨玉县的扎瓦苗圃。单行栽植,每行 15 株,株行距  $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 。定植后测得大果沙枣的平均高度和基径分别是  $(167.76 \pm 5.11) \text{ cm}$  和  $(1.21 \pm 0.03) \text{ cm}$ ,尖果沙枣的平均高度和基径分别是  $(118.54 \pm 2.31) \text{ cm}$  和  $(0.91 \pm 0.02) \text{ cm}$ 。开始测定时大果沙枣的平均高度和基径分别是  $(175.76 \pm 4.18) \text{ cm}$  和  $(1.73 \pm 0.05) \text{ cm}$ ,尖果沙枣的平均高度和基径分别是  $(124.75 \pm 3.11) \text{ cm}$  和  $(1.28 \pm 0.04) \text{ cm}$ 。

本研究采用大田小区控水梯度处理,比较不同灌溉量对植物各项指标的影响。试验地土壤的田间持水量是 34.43%,按照梯度供水,共设置  $T_1$  (CK)、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  4 个水量处理,相对应的水量为  $1\,100$ 、 $800$ 、 $600$ 、 $300 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,即分别为田间最大持水量的 85%、70%、47%、24%。每个处理 3 个重复,共 12 块样地,样地采用随机区组排列。3 月 21 日将苗木定植到试验地后,对所有样地进行漫灌,4 月 18 日进行第 2 次漫灌。5 月 13 日开始水分胁迫处理,灌水后让其自然干旱;6 月 15 日进行第 2 次水分胁迫处理;7 月 1 日对大果沙枣和尖果沙枣的光合日进程、水势、土壤含水量进行测定,7 月 3 日采集叶片测定稳定性碳同位素值。

### 2.1 测定方法

2.1.1 土壤含水量 采用烘干法。土样用铝盒带回后在实验室用天马 FA1004 型 ( $0.1 \text{ mg}$ ) 电子天平称土壤鲜质量,用烘箱在  $105^{\circ}\text{C}$  下烘 24 h 称干质量,计算土壤含水量 ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。

2.1.2 水势测定 用美国产 SKPM1400 压力室水势仪对 2 种沙枣的叶片水势进行测定。测定时刻为 8:00、14:00 和 18:00。在树冠阳面中部的初生枝条上测定,每次均随机在每棵树的树冠阳面中部选取 4~5 片叶,每个处理测定 3 棵树。

2.1.3 光合指标测定 选择晴朗的天气,用便携式 Licor-6400 光合仪(美国)测定净光合速率( $P_n$ ,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )和蒸腾速率( $T_r$ ,  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),以计算瞬时水分利用效率。从 8:00—12:00 每 2 h 测定 1 次,每次均随机在树冠阳面中部选取 4~5 片叶<sup>[22]</sup>。每个处理测定 3~4 棵树。

2.1.4  $^{13}\text{C}$  值测定 在一定范围内选出生长均匀的 5 棵树,每棵树都均匀采 5~6 片叶,混合后放在信封里保存。带回实验室,在 105℃ 杀青 1 h,在 80℃ 下干燥 24 h,粉碎研磨后,过 80 目筛,用 Finnigan MAT Delta V advantage 的同位素质谱仪测定  $^{13}\text{C}$  值<sup>[23]</sup>。

## 2.2 数据分析

采用 Spss16.0 对所选指标进行数据分析处理。抗旱性综合评价参照徐利霞<sup>[24]</sup>,薛慧勤等<sup>[25]</sup>的方法,采用数学分析隶属函数法对测定的各项指标进行转换和综合分析评价。各指标隶属函数计算公式为:

$$U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: $U(X_{ij})$  为测定指标的抗旱隶属函数值; $X_{ij}$  为两树种各项指标测定的平均值; $X_{\min}$  为两树种各项测定指标的最小值, $X_{\max}$  为两树种各项测定指标的最大值。

表 1 不同灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣水势的影响

树种	灌溉量 / ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	水势 /Mpa			
		8:00	14:00	18:00	日平均值
大果沙枣	1100	-0.14 ±0.02 b	-0.87 ±0.01 c	-0.85 ±0.02 b	-0.62 ±0.12 a
	800	-0.16 ±0.03 b	-1.08 ±0.21 bc	-0.97 ±0.17 ab	-0.74 ±0.15 a
	600	-0.27 ±0.01 a	-1.50 ±0.02 ab	-1.32 ±0.05 a	-1.03 ±0.21 a
	300	-0.26 ±0.01 a	-1.70 ±0.01 a	-1.33 ±0.03 a	-1.10 ±0.22 a
尖果沙枣	1100	-0.27 ±0.03 ab	-0.90 ±0.01 b	-0.89 ±0.02 a	-0.69 ±0.10 a
	800	-0.29 ±0.04 ab	-1.22 ±0.23 ab	-1.22 ±0.23 a	-0.91 ±0.18 a
	600	-0.17 ±0.01 b	-1.70 ±0.03 a	-1.38 ±0.02 a	-1.08 ±0.23 a
	300	-0.35 ±0.03 a	-1.62 ±0.09 a	-1.14 ±0.03 a	-1.04 ±0.19 a

注:根据 Tukey's 检验,不同小写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ),所有值均为 7 月 1 日测得的不同时刻 3 个样本的均值。

从一天中变化趋势来看,各个时刻、不同处理水势值具有不同的表现,总是大果沙枣的值高于尖果沙枣。不同处理下大果沙枣的水势日平均值略大于尖果沙枣的水势日平均值。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同灌溉量对土壤含水量的影响

图 1 显示不同处理下样地 1m 深的土壤含水量的平均值变化,随着灌溉水量的减少,土壤含水量逐渐降低。 $T_4$  处理的土壤含水量最小,不足  $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,显著比其他 3 个处理的低。

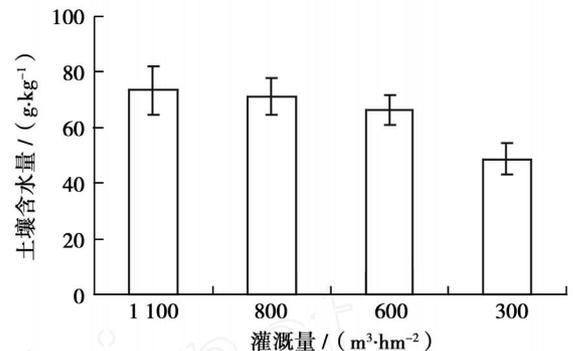


图 1 不同灌溉量对 1 m 深处土壤含水量的影响

### 3.2 不同灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣叶片水势的影响

从表 1 中可以看出,随着灌溉水量的减少,大果沙枣的水势在中午和傍晚显著降低 ( $P < 0.01$ ),而水势的日平均值没有受到显著影响 ( $P > 0.05$ )。尖果沙枣的清晨水势和中午水势显著降低 ( $P < 0.01$ ),而它的傍晚水势和日均值没有受到显著影响 ( $P > 0.05$ )。

4 个不同灌溉水量的大果沙枣和尖果沙枣在清晨、正午和傍晚水势的变化趋势呈“V”字型,清晨水势最高,伴随着气温的升高,蒸腾的加剧,水势值在中午降到一天中的最低点,到傍晚又升高。

### 3.3 不同灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣的净光合速率的影响

$T_1$  处理的大果沙枣、尖果沙枣的净光合速率最大,分别为 12:00 的  $22.41 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和 14:00

的  $17.17 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 而灌溉量最低的  $T_4$  处理的净光合速率最小。在不同灌溉量处理条件下, 2 种沙枣的光合曲线变化不同 (图 2)。例如,  $T_1$  处理下大果沙枣、尖果沙枣的变化趋势基本一致, 呈单峰曲线;  $T_2$  处理下 2 种沙枣的变化趋势有所不同, 但都出现双峰曲线, 尖果沙枣的第 1 个峰值出现在 10:00 左右, 早于大果沙枣峰值出现时间, 而尖果沙枣的第 2 个峰值则出现在 18:00 左右, 晚于大果沙

枣的第 2 个峰值出现时间;  $T_3$  处理的大果沙枣和尖果沙枣的变化趋势基本一致, 都呈单峰曲线, 从早晨开始上升, 上午达到峰值后逐步下降, 只是尖果沙枣峰值出现的时间 (12:00) 比大果沙枣 (14:00 左右) 的早;  $T_4$  处理的大果沙枣和尖果沙枣的光合曲线变化不同, 大果沙枣呈现单峰型, 峰值出现在 12:00 左右, 而尖果沙枣的净光合曲线为双峰型, 2 个峰值分别出现在 12:00 和 16:00 左右。

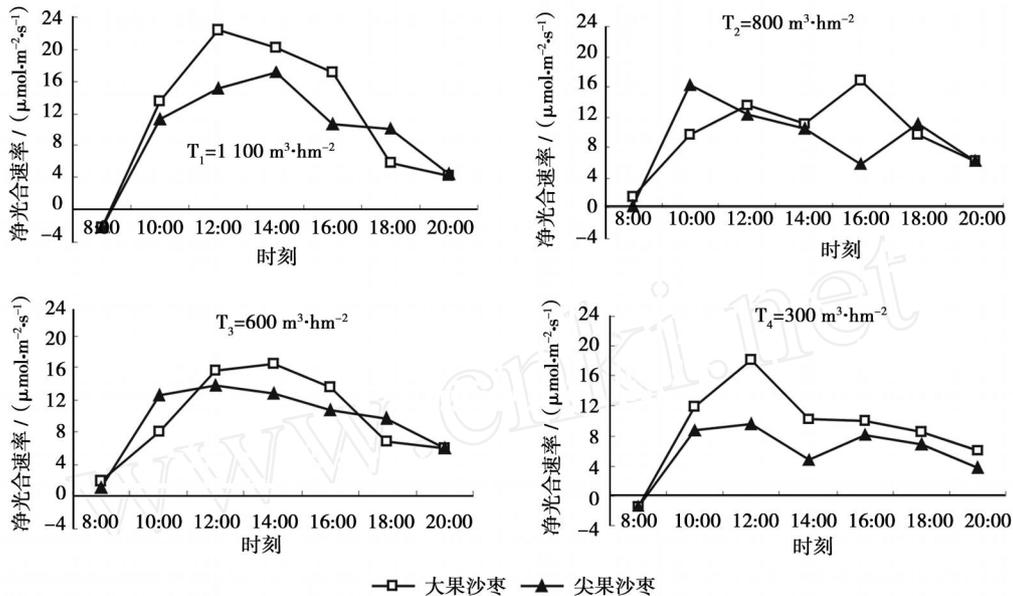


图 2 不同灌溉量对大果沙枣、尖果沙枣净光合速率的影响

随着灌溉量的降低, 大果沙枣和尖果沙枣的净光合速率的日均值逐渐下降, 但是不同灌溉量对它们的净光合速率的日均值影响不显著 ( $P > 0.05$ )

(表 2)。另外, 不同处理的大果沙枣的净光合速率的日平均值都比尖果沙枣的大。

表 2 不同处理对大果沙枣和尖果沙枣的净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的日均值的影响

树种	灌溉量 / ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	净光合速率 / ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	蒸腾速率 / ( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	水分利用效率 / ( $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )
大果沙枣	1 100	11.56 $\pm$ 3.4 a	12.45 $\pm$ 2.04 a	0.85 $\pm$ 0.25 a
	800	9.80 $\pm$ 1.86 a	11.87 $\pm$ 1.84 a	0.77 $\pm$ 0.14 a
	600	9.77 $\pm$ 2.07 a	9.81 $\pm$ 1.40 a	0.87 $\pm$ 0.22 a
	300	8.99 $\pm$ 2.26 a	10.11 $\pm$ 1.89 a	0.71 $\pm$ 0.17 a
尖果沙枣	1 100	9.54 $\pm$ 2.49 a	12.01 $\pm$ 1.72 b	0.72 $\pm$ 0.17 a
	800	8.93 $\pm$ 1.99 a	11.23 $\pm$ 1.41 b	0.71 $\pm$ 0.17 a
	600	9.51 $\pm$ 1.71 a	9.16 $\pm$ 0.93 ab	0.87 $\pm$ 0.22 a
	300	5.73 $\pm$ 1.46 a	5.55 $\pm$ 0.52 a	0.65 $\pm$ 0.15 a

注释: 根据 Tukey's 检验, 同列不同小写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。所有值均为 7 月 1 日测得的 7 个样本的均值。

### 3.4 不同灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣蒸腾速率的影响

蒸腾速率与净光合速率有十分相似的变化趋势。图 3 显示:  $T_1$  处理的大果沙枣和尖果沙枣的蒸腾速率的日变化曲线呈单峰型, 2 条曲线从清晨逐渐上升到 14:00 左右达到峰值, 然后随温度的降低、光照的减弱逐渐下降;  $T_2$  处理曲线的变化比较复杂

, 大果沙枣、尖果沙枣均呈现双峰曲线, 大果沙枣第 1 个峰值出现在 12:00 左右, 而尖果沙枣则出现在 14:00 左右, 第 2 个峰值都出现在 18:00 左右;  $T_3$  处理的 2 条曲线具有极为相似的变化趋势, 均在 14:00 出现了 1 个小的谷值, 说明二者均有午休现象;  $T_4$  处理的 2 条曲线为双峰变化现象, 且峰值与谷值出现时间基本一致。

不同灌溉量对大果沙枣的蒸腾速率的日均值影响不显著 ( $P > 0.05$ )。随着灌溉量的降低,尖果沙枣的蒸腾速率显著下降 ( $P < 0.05$ )。T<sub>4</sub> 处理的尖果

沙枣蒸腾速率的日均值最小,仅为最大值的 46.21% (表 2)。不同处理的大果沙枣蒸腾速率的日平均值比尖果沙枣的大。

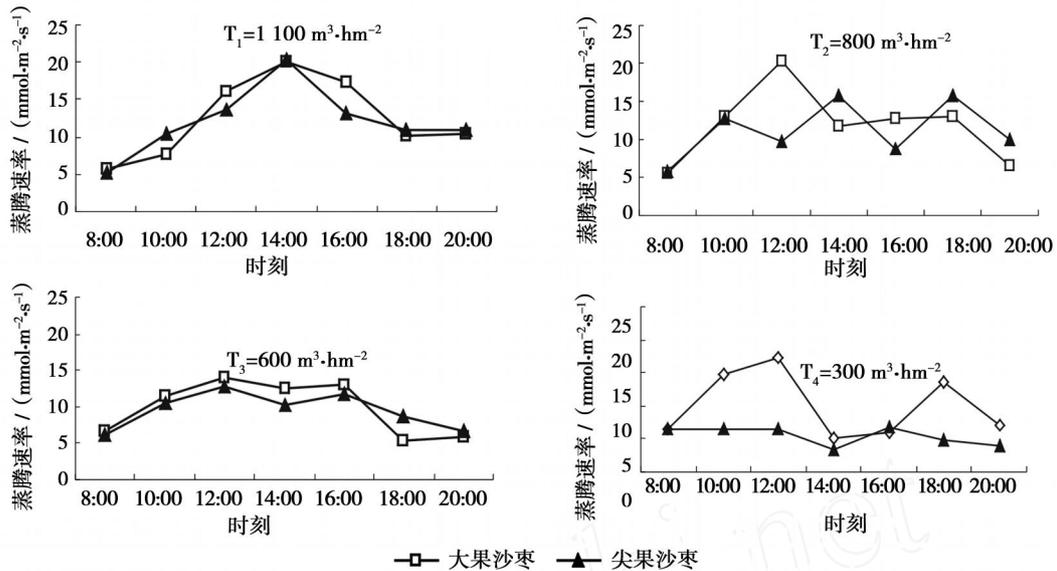


图 3 不同灌溉量条件下大果沙枣和尖果沙枣蒸腾速率的影响

### 3.5 不同灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣的水分利用效率的影响

本实验通过测定 4 个处理的大果沙枣和尖果沙枣在水分胁迫期间的净光合速率 ( $P_n$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ ), 计算出 2 种植物的瞬时水分利用效率。结果表明:不同灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣的水分利用效率的日均值影响都不显著 ( $P > 0.05$ ) (表 2)。4 个处理的大果沙枣的瞬时水分利用效率高于尖果沙枣 (图 4)。在常规 T<sub>1</sub> 灌水条件下,大果沙枣的平

均水分利用率比尖果沙枣高出 18.06%。T<sub>4</sub> 灌水条件下大果沙枣和尖果沙枣的平均水分利用率均最低,分别为 ( $0.71 \pm 0.17$ )、( $0.65 \pm 0.15$ )  $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ , 分别比最高的水分利用效率低 18.39% 和 26.83%。在中度水分胁迫时,大果沙枣和尖果沙枣苗的水分利用效率表现出增加的趋势,比对照 (T<sub>1</sub>) 分别高出 2.3% 和 20.83%。从总的趋势来看大果沙枣的平均水分利用率比尖果沙枣高出 8.11 个百分点。

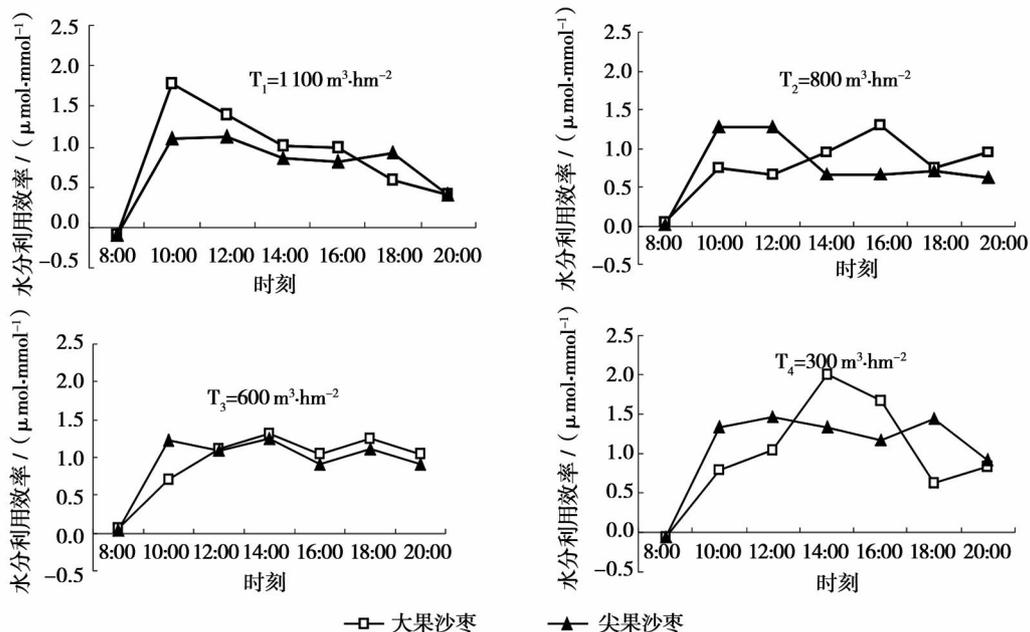


图 4 不同灌溉量对大果沙枣、尖果沙枣水分利用效率的影响

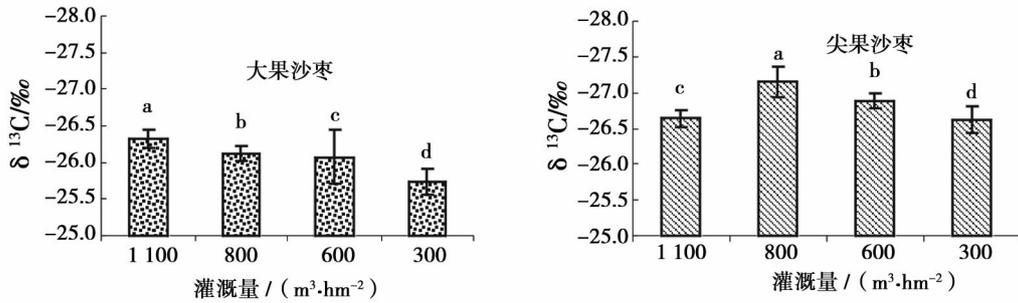


图 5 不同灌溉量对大果沙枣、尖果沙枣稳定碳同位素值的影响  
(根据 Tukey's 检验,不同小写字母表示差异极显著 (P < 0.01))

### 3.6 不同灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣的叶片稳定碳同位素的影响

图 5 所示:灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣的 <sup>13</sup>C 值的影响达到了极显著水平 (P < 0.01)。随着灌溉量的减少和干旱胁迫的加剧,大果沙枣的 <sup>13</sup>C 值具有不同程度的增加趋势;800 m<sup>3</sup> · hm<sup>-2</sup> 灌溉量处理的尖果沙枣的 <sup>13</sup>C 值最大。4 个不同大果沙枣的 <sup>13</sup>C 值为 -25.72‰ ~ -26.34‰,尖果沙枣比大果沙枣的小,为 -26.60‰ ~ -27.16‰,与 Griffiths 的研究结论一致: C<sub>3</sub> 植物的 <sup>13</sup>C 值变化范围是 -15‰ ~ -25‰ 或 -20‰ ~ -30‰ 是的 [26],该文研

究的这 2 种植物也为 C<sub>3</sub> 植物。

### 3.7 2 种沙枣的抗旱性综合评价

植物的抗旱性是一个复杂的综合性状,而隶属函数提供了一种在多指标测定基础上对植物抗旱性进行综合评价的途径。它可以克服仅利用少数指标对植物抗旱性进行评价的不足。因此,利用模糊数学的隶属函数法将 2 个物种的各个抗旱指标换算成隶属函数值,然后,对每个物种的各个指标的抗旱隶属函数值求平均值,平均值越大,说明抗旱性越强。综合评判的结果 (表 2) 表明:大果沙枣比尖果沙枣的抗旱性强。

表 3 2 种沙枣抗旱性的综合评价

植物	净光合速率	蒸腾速率	水分利用效率	水势	<sup>13</sup> C 值	综合评价结果	排序
大果沙枣	0.737 7	0.798 4	0.675 7	0.585 1	0.766 0	0.712 6	1
尖果沙枣	0.462 6	0.581 8	0.396 4	0.432 5	0.227 9	0.420 2	2

表 4 不同灌溉处理对大果沙枣和尖果沙枣高度和基径的影响

树种	灌溉量 / (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )	定植后高度 / cm	试验时高度 / cm	差值 / cm	定植后基径 / cm	试验时基径 / cm	差值 / cm
大果沙枣	1100	182.60 ± 1.85 a	192.66 ± 10.21 a	10.06	1.24 ± 0.07 a	1.95 ± 0.06 a	0.71
	800	151.90 ± 6.86 a	160.16 ± 5.64 a	8.26	1.19 ± 0.07 a	1.73 ± 0.07 a	0.54
	600	175.80 ± 1.41 a	184.55 ± 7.12 a	8.75	1.22 ± 0.05 a	1.73 ± 0.05 a	0.51
	300	160.75 ± 10.17 a	165.85 ± 9.05 a	5.10	1.21 ± 0.06 a	1.52 ± 0.08 a	0.31
尖果沙枣	1100	112.25 ± 5.50 a	120.51 ± 6.22 a	8.26	0.86 ± 0.06 a	1.37 ± 0.05 a	0.51
	800	118.50 ± 5.21 a	125.05 ± 7.18 a	6.55	0.88 ± 0.04 a	1.24 ± 0.02 a	0.36
	600	119.70 ± 3.36 a	125.48 ± 5.73 a	5.78	0.89 ± 0.03 a	1.30 ± 0.04 a	0.41
	300	123.73 ± 4.97 a	127.94 ± 4.67 a	4.21	0.99 ± 0.06 a	1.20 ± 0.05 a	0.21

注:根据 Tukey's 检验,同列相同小写字母表示差异不显著 (P > 0.05),不同小写字母表示差异显著。

### 3.8 不同灌溉量对大果沙枣和尖果沙枣高度和基径的影响

通过对 2 种沙枣苗增长高度和基径的比较 (表 4) 表明:大果沙枣的增长幅度高于尖果沙枣,并且随灌溉量的不同增加幅度也不同,高度和基径的增长幅度随灌溉量的减少而减小,这个现象直接证明了在不同灌溉水量处理下大果沙枣的抗旱性大于尖果沙枣。

## 4 讨论与结论

(1) 大果沙枣和尖果沙枣的水势、净光合速率、蒸腾速率、水分利用效率、碳稳定同位素值等的变化趋势基本一致,均与不同处理的土壤含水量有关。随灌溉量的减少,在同一时刻测定的土壤含水量也呈现减少趋势,从而影响各个指标的变化。

(2) 通常植物组织的水势愈低,则吸水能力愈

强,反之吸水能力则较弱,这种变化规律可用以确定植物的受旱程度和抗旱能力<sup>[27]</sup>。从 2 种植物的水势日变化值来看,大果沙枣、尖果沙枣在一天中,清晨水势、正午水势和傍晚水势的变化趋势呈“V”字型,清晨水势最高,伴随着气温的升高,蒸腾的加剧,水势值在中午降到一天中的最低点,然后慢慢升高。在 4 个处理中,大果沙枣的水势日平均值明显比尖果沙枣的高,在同等干旱胁迫下尖果沙枣受到的胁迫程度比大果沙枣大,这说明大果沙枣适应干旱的能力比尖果沙枣的大。大果沙枣和尖果沙枣的水势在一天中均随干旱程度的加剧而逐渐降低,这与赵燕等<sup>[28]</sup>对沙柳的研究结论一致。

(3)不同灌水量处理的大果沙枣和尖果沙枣的净光合速率的日变化趋势不同,在一日内有 1 个或 2 个高峰。从总的变化趋势来看,大果沙枣达到峰值的时间较早,而尖果沙枣相对滞后一些。 $1\ 100\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的大果沙枣、尖果沙枣的净光合速率的日平均值最大,分别为  $(11.56 \pm 3.4)$ 、 $(9.54 \pm 2.49)\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $300\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的最小。相同处理的大果沙枣净光合速率日平均值比大于尖果沙枣的大,说明大果沙枣在同等条件下的同化作用比尖果沙枣高。蒸腾速率的日变化趋势与净光合速率的相似,早上的值都较低,经过一段时间的上升,中午达到峰值后又都逐渐下降,这说明在水分胁迫下蒸腾速率的变化可能影响到大果沙枣、尖果沙枣的光合速率。灌溉量  $600$ 、 $300\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的大果沙枣的净光合速率比尖果沙枣的分别高  $0.26$ 、 $3.26\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(4)从水分利用效率来看,不同处理下 2 种沙枣的瞬时水分利用效率从早晨的最低值逐渐上升到最大后,在下午又有所下降。随着干旱程度的加剧,4 个处理的水分利用效率平均值有一定的波动性。 $1\ 100$ 、 $800\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  灌溉量下,大果沙枣比尖果沙枣的水分利用效率值都高,分别高出  $0.13$ 、 $0.06\ \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 。在  $600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理下,2 种沙枣的水分利用效率基本相同, $300\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理下大果沙枣的水分利用效率比尖果沙枣的高  $0.06\ \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ,说明大果沙枣较尖果沙枣有更好的积累有机物能力,也就是说大果沙枣的抗旱性更强些。4 个水分处理的大果沙枣的  $^{13}\text{C}$  值随着干旱胁迫的加剧而不同程度的增加。这可能是因为干旱导致植物叶片的  $^{13}\text{C}$  值升高,水分利用效率增强,有助于植物适应干旱<sup>[5]</sup>。一般而言,瞬时水分利用效率与  $^{13}\text{C}$  所指示的长期水分利用效率是一致的。本研究测得的  $^{13}\text{C}$  值与光

合曲线测得的瞬时水分利用效率的变化有一定的差异,但是总体变化趋势是一致的,大果沙枣、尖果沙枣的瞬时水分利用效率的日均值都是在波动中减小,而大果沙枣的  $^{13}\text{C}$  值是逐渐增加,尖果沙枣的  $^{13}\text{C}$  值是随土壤含水量的减少先减少后增加。干旱胁迫下,植物水分利用效率越大表明其抗旱能力越强,因而对干旱胁迫的适应能力越强<sup>[29]</sup>。稳定碳同位素技术作为一项简捷、快速、高效的技术,已揭示了植物生理生态研究中,尤其是与光合、水分代谢有关的许多问题<sup>[30]</sup>。水分利用效率是植物水分利用状况和抗旱特性的一个客观评价指标,它能为不同生境选择抗旱植物提供理论依据。利用  $\text{C}_3$  植物的  $^{13}\text{C}$  值来测算其长期的水分利用效率,为解决植物水分利用的评价体系提供了一个比较简便的方法。

(5)从生长数据分析, $600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的大果沙枣的高度和基径比尖果沙枣分别高出  $2.97\ \text{cm}$  和  $0.1\ \text{cm}$ ,而  $300\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理下大果沙枣的高度和基径比尖果沙枣分别高出  $0.89\ \text{cm}$  和  $0.15\ \text{cm}$ 。从这个角度说明在较干旱环境下大果沙枣的抗旱性较尖果沙枣强。

根据隶属函数法分析的结果和对植物高度、基径的比较,初步断定大果沙枣的抗旱性强于尖果沙枣。大果沙枣、尖果沙枣的抗旱性的形成是其形态结构和生理功能长期适应外界干旱环境的结果,根据试验结果可以初步认为,当灌水量在  $600 \sim 800\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  之间时,苗木的生长状况和各个抗旱指标都具有一个较好的值,即达到节水的目的又能使植物正常生长;但要进一步了解这 2 种植物的抗旱机制和萎蔫点,还需做更加深入的研究。

## 参考文献:

- [1] 李 阳,齐曼·尤努斯,祝 燕.水分胁迫对大果沙枣光合特性及生物量分配的影响[J].西北植物学报,2006,26(12): 2493 - 2499
- [2] 胡新生,王世绩.树木水分胁迫生理与耐旱性研究进展及展望[J].林业科学,1998,34(2): 77 - 89
- [3] 苏培玺,赵爱芬,张立新.荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J].西北植物学报,2003,23(1): 11 - 17
- [4] 蒋高明,何维明.毛乌素沙地若干植物光合作用、蒸腾作用和水分利用效率及生境间差异[J].植物学报,1999,41(10): 1114 - 1124
- [5] 陈 拓,冯虎元,徐世建,等.荒漠植物叶片碳同位素组成及其水分利用效率[J].中国沙漠,2002,22(3): 288 - 291
- [6] 王云龙,许振柱,周广胜.水分胁迫对羊草光合产物分配及其气体交换特征的影响[J].植物生态学报,2004,28(6): 803 - 809

- [7] 陈小凤, 李杨瑞, 叶燕萍, 等. 利用叶绿素荧光参数和净光合速率评价引进禾本科牧草的抗旱性 [J]. 草业科学, 2007, 24 (5): 53 - 57
- [8] 何玉惠, 蒋志荣, 王继和. 两种驼绒藜属植物的抗旱生理研究 [J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40 (2): 212 - 215
- [9] 魏永霞, 张忠学, 王立敏. 东北半干旱区大豆抗旱灌溉最佳供水模式的盆栽试验研究 [J]. 灌溉排水学报, 2006, 25 (3): 34 - 37
- [10] 何炎红, 郭连生, 田有亮. 白刺叶不同水分状况下光合速率及其叶绿素荧光特性的研究 [J]. 西北植物学报, 2005, 25 (11): 2226 - 2233
- [11] 赵广东, 刘世荣, 马全林. 沙木蓼和沙枣对地下水位变化的生理生态响应 I 叶片养分、叶绿素、可溶性糖和淀粉的变化 [J]. 植物生态学报, 2003, 27 (2): 228 - 234
- [12] 李雪华, 蒋德明, 阿拉木萨, 等. 科尔沁沙地 4 种植物抗旱性的比较研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (11): 1385 - 1388
- [13] 邓 雄, 李小明, 张希明, 等. 塔克拉玛干 4 种荒漠植物气体交换与环境因子的关系初探 [J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8 (5): 445 - 452
- [14] 邓 雄, 李小明, 张希明, 等. 4 种荒漠植物气体交换特征的研究 [J]. 植物生态学报, 2002, 26 (5): 605 - 612
- [15] 徐世健, 安黎哲, 冯虎元, 等. 两种沙生植物抗旱生理指标的比较研究 [J]. 西北植物学报, 2000, 20 (2): 224 - 228
- [16] 聂小兰. 沙枣的研究现状及展望 [J]. 北方园艺, 2007 (4): 67 - 69
- [17] 辛艳伟. 沙枣的开发和利用 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (2): 399 - 400, 402
- [18] 黄俊华, 买买提江, 杨昌友, 等. 沙枣研究现状与展望 [J]. 中国野生植物资源, 2005, 24 (3): 26 - 28, 33
- [19] 李 阳, 齐曼·尤努斯, 安 萍. 渗透胁迫对新疆大果沙枣幼苗叶片膜脂过氧化及膜保护酶的影响 [J]. 新疆农业大学学报, 2005, 28 (2): 47 - 50
- [20] 中国科学院兰州沙漠研究所. 中国沙漠植物志 (第二卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 392 - 395
- [21] 李 阳. 两种沙枣的苗期抗旱特性研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2006
- [22] 李良厚, 李吉跃, 付祥建, 等. 黑樱桃与山樱桃幼苗光合作用的比较研究 [J]. 林业科学研究, 2007, 20 (1): 130 - 134
- [23] 苏 波, 韩兴国, 李凌浩, 等. 中国东北样带草原植物  $^{13}\text{C}$  值及水分利用效率对环境梯度的响应 [J]. 植物生态学报, 2000, 24 (6): 648 - 655
- [24] 徐利霞, 杨水平, 姚小华. 石漠化地区 3 个树种幼苗在水分胁迫下的光合特性与抗旱性关系 [J]. 林业科学研究, 2006, 19 (6): 785 - 790
- [25] 薛慧勤, 孙兰珍, 甘信民. 花生品种抗旱性综合评价及其抗旱机理的数量分析 [J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17 (1): 83 - 87
- [26] Griffiths H. Carbon isotope discrimination and the integration of carbon assimilation pathways in terrestrial CAM plants: commission and review [J]. Plant Cell and Environment, 1992, 15: 1051 - 1062
- [27] Mirza A F, Granhall U. Sennarby-Forsse plant growth, leaf water potential, nitrogenase activity and nodule anatomy in *Lotus corniculatus* as affected by water stress and nitrogen availability [J]. Trees-Structure and Function, 1997, 12 (1): 42 - 48
- [28] 赵 燕, 李吉跃, 刘海燕, 等. 水分胁迫对 5 个沙柳种源苗木水势和蒸腾耗水的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2008, 30 (5): 19 - 25
- [29] 刘海燕, 李吉跃, 赵 燕, 等. 干旱胁迫对 5 个种源沙柳 (*Salix psammophila*) 气体交换及水分利用效率的影响 [J]. 干旱区研究, 2007, 24 (6): 815 - 820
- [30] 刘海燕, 李吉跃. 稳定碳同位素在植物水分利用效率研究中的应用 [J]. 西北林学院学报, 2008, 23 (1): 54 - 58