

干旱胁迫下尖果沙枣幼苗的根系活力和光合特性*

齐曼·尤努斯^{1**} 木合塔尔·扎热¹ 塔衣尔·艾合买提²

(¹新疆农业大学林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052; ²库尔勒市园林绿化管理局, 新疆库尔勒 841000)

摘要 以尖果沙枣1年生实生苗为材料,研究了自然干旱时不同土壤相对含水量对幼苗叶片细胞质膜相对透性、叶片相对含水量、根系活力、光合色素含量和光合参数等指标的影响。结果表明:土壤相对含水量从70% (CK)降到40%时,幼苗根系活力和净光合速率均逐渐上升并达到最大值,分别为 $1178 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $21.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;光合色素含量稳步上升;蒸腾速率和水分利用效率均保持稳定;叶片细胞质膜相对透性保持较低水平。土壤相对含水量从40%降到20%时,幼苗叶片相对含水量仍在50%以上,叶片细胞质膜相对透性仍保持较低水平;根系活力和光合色素含量仍较高;但其他光合参数开始缓慢下降。土壤相对含水量从10%降到5%时,幼苗叶片细胞质膜相对透性急剧上升;叶片相对含水量、根系活力、总叶绿素含量、光合参数均极显著下降;而土壤相对含水量为10%时幼苗表现出最高的水分利用效率。尖果沙枣土壤相对含水量最好控制在40%~50%,其1年生实生苗的永久萎蔫系数为4.3% (土壤相对含水量)。

关键词 自然干旱 尖果沙枣 根系活力 光合特性

文章编号 1001-9332(2011)07-1789-07 **中图分类号** Q948.3 **文献标识码** A

Root activity and photosynthetic characteristics of *Elaeagnus oxycarpa* seedlings under drought stress. QIMAN · Yunus¹, MUHTAR · Zari¹, TAYER · Ahmat² (¹College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; ²Planting Administration Bureau of Korla, Korla 841000, Xinjiang, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(7): 1789-1795.

Abstract: Taking one-year old *Elaeagnus oxycarpa* seedlings as test materials, this paper studied their root activity and leaf cell membrane permeability, relative water content, photosynthetic pigment contents, and photosynthetic parameters at different soil relative moisture contents under natural drought condition. When the soil relative moisture content decreased from 70% (CK) to 40%, the *E. oxycarpa* seedlings root activity and net photosynthetic rate increased gradually and reached their maximum ($1178 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ and $21.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively), photosynthetic pigment contents increased stably, transpiration rate and water use efficiency did not show any significant difference, and cell membrane permeability kept at a low level. When the soil relative moisture content decreased from 40% to 20%, the leaf relative water content was still higher than 50%, cell membrane permeability maintained at a low level, root activity and photosynthetic pigment contents remained high, and other photosynthesis parameters decreased slowly. When the soil relative moisture content decreased from 10% to 5%, the cell membrane permeability increased acutely, but the leaf relative water content, total chlorophyll content, all photosynthesis parameters, and root activity had a significant decrease. The water use efficiency reached the peak when the soil relative moisture content was 10%. To sum up, the optimal soil relative moisture content for *E. oxycarpa* seedlings should be 40%–50%, and the permanent wilting coefficient of the seedlings was 4.3% (soil relative moisture content).

Key words: natural drought; *Elaeagnus oxycarpa*; root activity; photosynthetic characteristics.

* 新疆维吾尔自治区高校科研计划重点项目(XJEDU2005113)资助。

** 通讯作者。E-mail: qimanyin@sina.com

2010-12-06 收稿, 2011-04-09 接受。

干旱胁迫是植物经常遭受的逆境胁迫之一^[1], 每年由于干旱胁迫给生态建设工程造成的损失几乎相当于其他所有环境因子胁迫所造成损失的总和^[2]. 水资源短缺和沙尘暴是我国西北地区典型的气候特点之一, 而且近年来有加剧的趋势^[3-5]. 根系是植物吸收水分、养分及固定植株的器官, 根系的生长、代谢和活力变化可直接影响地上部的生长发育^[6-7]. 光合作用是植物生长的基础, 是植物生产力构成的最主要因素^[8]. 水分状况又是影响光合作用最重要的因子之一^[9-10], 干旱胁迫会导致植物叶片气孔关闭, 严重时甚至损伤叶肉细胞, 导致叶绿体光合机构被破坏^[11]并降低光合酶活性, 使植物的光合速率降低^[12].

尖果沙枣 (*Elaeagnus oxycarpa*) 是胡颓子科胡颓子属多年生灌木或落叶小乔木^[13-14], 其根蘖性强、生长迅速、根系发达, 具有耐风沙、干旱、高温、盐渍化和土壤贫瘠等特点, 是防风固沙、调节气候、涵养水源和水土保持的优良生态树种^[15-16]. 目前对尖果沙枣的耐盐性^[17-18]、核型分析^[19]和立地土壤特征^[20]等已有报道, 但对尖果沙枣抗旱性方面的研究较少^[21], 而对其抗旱阈值的研究尚未见报道. 为此, 本文使用盆栽试验, 研究不同土壤相对含水量对尖果沙枣幼苗叶片相对含水量、质膜相对透性、根系活力、光合色素含量和光合特性的影响, 以期干旱、半干旱地区实施抗旱栽培提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

以尖果沙枣 1 年生实生苗为材料, 于 2007 年 11 月中旬将去果肉的种子播于新疆农业大学林学与园艺学院试验地, 使之越冬自然休眠. 2008 年 5 月 24 日选取长势良好、大小一致的幼苗植入已装土的花盆 (16 cm×50 cm) 中, 土壤为沙子: 松针土 = 3:2 (体积比), 装土量为 10.0 kg, 土壤持水量为 27.7%. 每盆种植 1 株, 移栽后浇灌 Hoagland 营养液 (pH≈6.1), 按常规管理, 每天早、晚补充当天耗散的水量 (用称量法), 土壤相对含水量保持在 70% 左右. 待苗高长到 30 cm 左右时进行再次选苗 (每个处理 6 个重复), 并开始进行水分胁迫处理 (停止浇水), 当土壤相对含水量从 70% (CK, 7 月 19 日) 分别降到 60% (7 月 20 日)、50% (7 月 21 日)、40% (7 月 22 日)、30% (7 月 25 日)、20% (7 月 27 日)、10% (8 月 6 日) 和 5% (8 月 14 日) 时, 测定有关生理指标和光合作用参数. 另外, 测定尖果沙枣 1 年生

幼苗的永久萎蔫系数 (每个梯度 5 个重复), 从 5% 开始, 其土壤相对含水量每降低 0.1% 时浇透水, 观察其恢复情况, 一直到复水不能恢复生长 (观察 20 d 内不能重新生长), 此时的土壤相对含水量即为尖果沙枣幼苗的永久萎蔫系数.

自然干旱试验过程 (7 月 19 日至 8 月 14 日) 中, 共下了 3 次大雨和 2 次微雨, 整个试验过程空气温度和相对湿度的变化趋势见图 1, 在下雨时移入大棚避免雨水对盆土相对含水量产生影响.

1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶片细胞质膜相对透性 采用电解质外渗量法测定. 将新鲜功能叶 (顶部第 6 片真叶, 下同) 用去离子水冲洗两次, 并用滤纸擦干, 放入盛有 15 mL 去离子水的试管中, 振荡 30 min 后静置 20 min, 测定电导率 S_1 , 封管口放入高压锅煮 20 min, 冷却后再振荡 30 min, 静置 20 min 后测定电导率 S_2 , 计算细胞质膜相对透性^[22].

1.2.2 叶片相对含水量 采用烘干称量法测定. 将新鲜的功能叶用吸耳球吹掉表面灰尘称其鲜质量, 立即浸入去离子水, 放置 8 h 后称其饱和质量, 然后将叶片置于烘干箱内烘 48 h 至恒量, 称其干质量^[22].

1.2.3 根系活力 参照 2,3,5-氯化三苯基四氮唑 (TTC) 染色法测定. 用自来水冲洗盆土, 将冲洗出来的根系用蒸馏水洗净, 称取根样品 0.2 g, 放入盛有

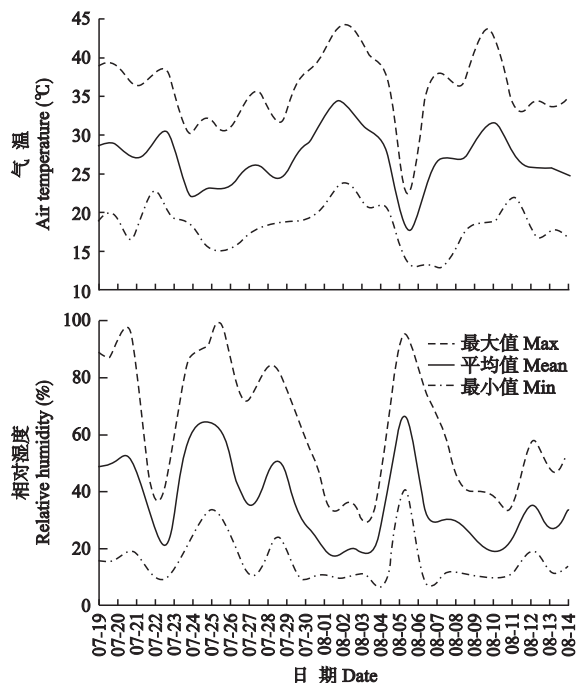


图 1 自然干旱试验过程中空气温度和相对湿度的变化
Fig. 1 Changes of air temperature and relative humidity during experiment period.

5 mL 磷酸缓冲液的试管中,待全部根样取完后再加入 0.4% TTC 溶液 5 mL,放置在 37 °C 的水浴锅里 90 min,然后加 1 mol · L⁻¹ 硫酸 2 mL 终止反应,吸干水分后与乙酸乙酯 10 mL 研磨,以提取红色三苯甲月替(TIF)并在 485 nm 下比色^[22]。

1.2.4 光合色素含量 采用丙酮提取法测定。取代表性的功能叶用吸耳球吹掉表面污物,用刀片切取 1 cm² 样品,再切成小块放入试管中,立即加入 80% 的丙酮溶液 5 mL,塞紧管盖置于黑暗处 48 h (叶片由绿色变为白色为止),然后以 80% 的丙酮为空白进行比色^[22]。

1.2.5 土壤相对含水量 采用称量法测定。当花盆装土时,另取一定量的湿土装入密封袋拿到实验室备用。称取 100 g 湿土 (T_M) 放入铝盒中,然后在 80 °C 下烘至恒量,称干质量 (T_D)。同时称取 100 g 湿土放入已知质量的底筛网 PVC 环管中,将其置于另一个环管(空的)上面,中间用滤纸隔开以免流土,然后灌水一直到土壤表面掩盖水层为止,静置 2 h 使重力水滴流,称其质量,然后减去 PVC 环管的质量,计算出饱和水状态的土质量 (T_B),5 个重复。土壤相对含水量的计算公式如下:

$$\text{土壤相对含水量} = \frac{(T_M - T_D)}{(T_B - T_D)} \times 100\%$$

1.2.6 光合作用参数 用 Li-6400 光合测定系统测定叶片净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s)、水分利用效率 (WUE) 和胞间 CO₂ 浓度 (C_i)。测定时使用光合测定系统控制环境因子,空气 CO₂ 浓度为 (375±5) μmol · mol⁻¹,光合作用有效辐射率为 (2000±1) μmol · m⁻² · s⁻¹,空气温度为 (30±0.5) °C。天气晴朗时在 9:00—10:00 (新疆时间) 测定,每株

苗选取 3 片成熟的功能叶,一个处理测定 6 株。

1.3 数据处理

采用 SPSS 16.0 统计软件进行数据处理和单因素方差分析 (Duncan 法, $\alpha = 0.05$),采用 SigmaPlot 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 干旱条件下尖果沙枣幼苗叶片细胞质膜相对透性、叶片相对含水量和根系活力的变化

2.1.1 叶片细胞质膜相对透性 从图 2 可以看出,随着土壤相对含水量的逐渐降低和时间的延长,尖果沙枣幼苗叶片细胞质膜相对透性呈现出先略微下降后上升的趋势。土壤相对含水量从 70% 降到 60% 时,幼苗叶片细胞质膜相对透性没有明显变化;从 50% 降到 20% 时,叶片细胞质膜相对透性保持在较低而稳定的水平;土壤相对含水量降到 20% 以后,其细胞质膜相对透性开始急剧上升;土壤相对含水量在 10% 和 5% 时,其细胞质膜相对透性分别为 56.3% 和 89.7%,此时,尖果沙枣幼苗受到严重伤害。

2.1.2 叶片相对含水量 尖果沙枣幼苗叶片相对含水量随着土壤相对含水量的下降而下降 (图 2)。土壤相对含水量从 70% 降到 50% 时,其叶片相对含水量的变化无显著差异;而土壤相对含水量为 40% 和 30% 时,幼苗叶片相对含水量与对照 (70%) 相比均明显下降,但仍保持较高水平;土壤相对含水量降到 20% 时,虽然叶片相对含水量在 50% 以上,但部分老叶开始发黄;土壤相对含水量降到 10% 和 5% 时,幼苗叶片相对含水量下降到对照的一半,植株叶片发黄较严重,部分枯干。

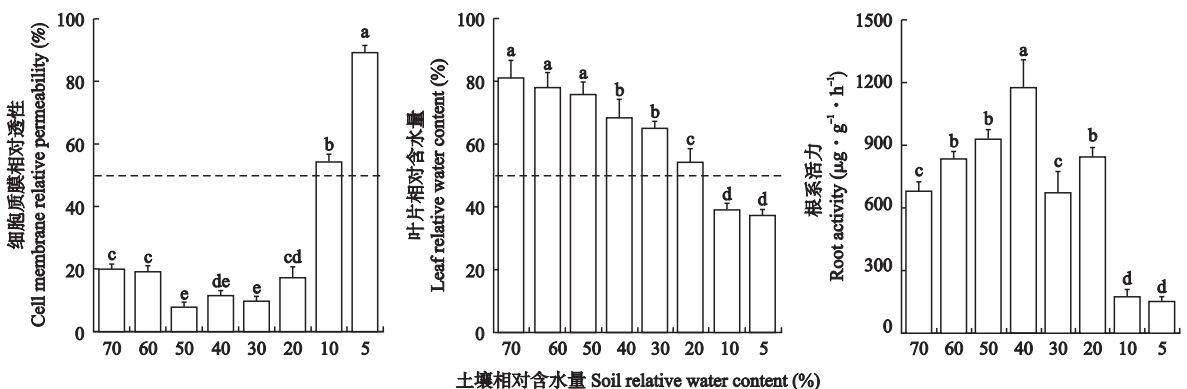


图 2 干旱条件下尖果沙枣幼苗叶片细胞质膜相对透性、叶片相对含水量和根系活力的变化

Fig. 2 Changes of leaf cell membrane relative permeability, leaf relative water content and root activity of *Elaeagnus oxycarpa* seedlings under drought condition (mean±SE).

虚线表示半致死百分率 Dotted line meant semilethal percentage. 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

2.1.3 根系活力 由图2可知,随着土壤相对含水量的下降,尖果沙枣幼苗根系活力呈现出先逐渐增强后下降的趋势。土壤相对含水量从70% (对照)降到40%时,幼苗根系活力一直明显上升,到40%时其根系活力表现最强,为 $1178 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,比对照提高了72.8%;土壤相对含水量降到30%和20%时,虽然幼苗根系活力开始下降,但与对照差异

不大,有部分根系开始发褐;土壤相对含水量降到10%和5%时,幼苗根系活力急剧下降,分别为 181 和 $150 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,且大部分根系开始硬化并严重发褐。

2.2 干旱条件下尖果沙枣幼苗叶片光合色素含量和光合特性的变化

2.2.1 光合色素含量 由表1可以看出,自然干旱

表1 干旱条件下尖果沙枣幼苗叶片光合色素含量的变化

Table 1 Changes of photosynthetic pigment contents of *Elaeagnus oxycarpa* seedlings under drought condition (mean±SE)

土壤相对含水量 Soil relative water content (%)	总叶绿素含量 Total chlorophyll content ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	类胡萝卜素含量 Carotenoid content ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)
70 (CK)	42.18±2.98c	27.14±1.28bc	15.05±1.22c	3.71±0.33d
60	39.44±3.50c	26.01±1.28c	13.43±1.43c	4.64±0.42c
50	55.72±3.37a	33.38±2.79a	22.34±1.08a	4.20±0.25cd
40	52.31±2.35ab	33.08±1.27a	19.23±0.86b	4.14±0.23cd
30	49.09±4.29b	30.52±2.29ab	18.57±1.04b	4.11±0.22cd
20	54.30±3.06a	33.70±1.69a	20.61±1.17ab	4.39±0.23c
10	30.33±4.65d	19.48±2.23d	10.84±1.48d	6.14±0.31a
5	30.27±0.34d	19.51±0.02d	10.76±0.28d	5.46±0.19b

同列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters in the same column meant significant difference at 0.05 level.

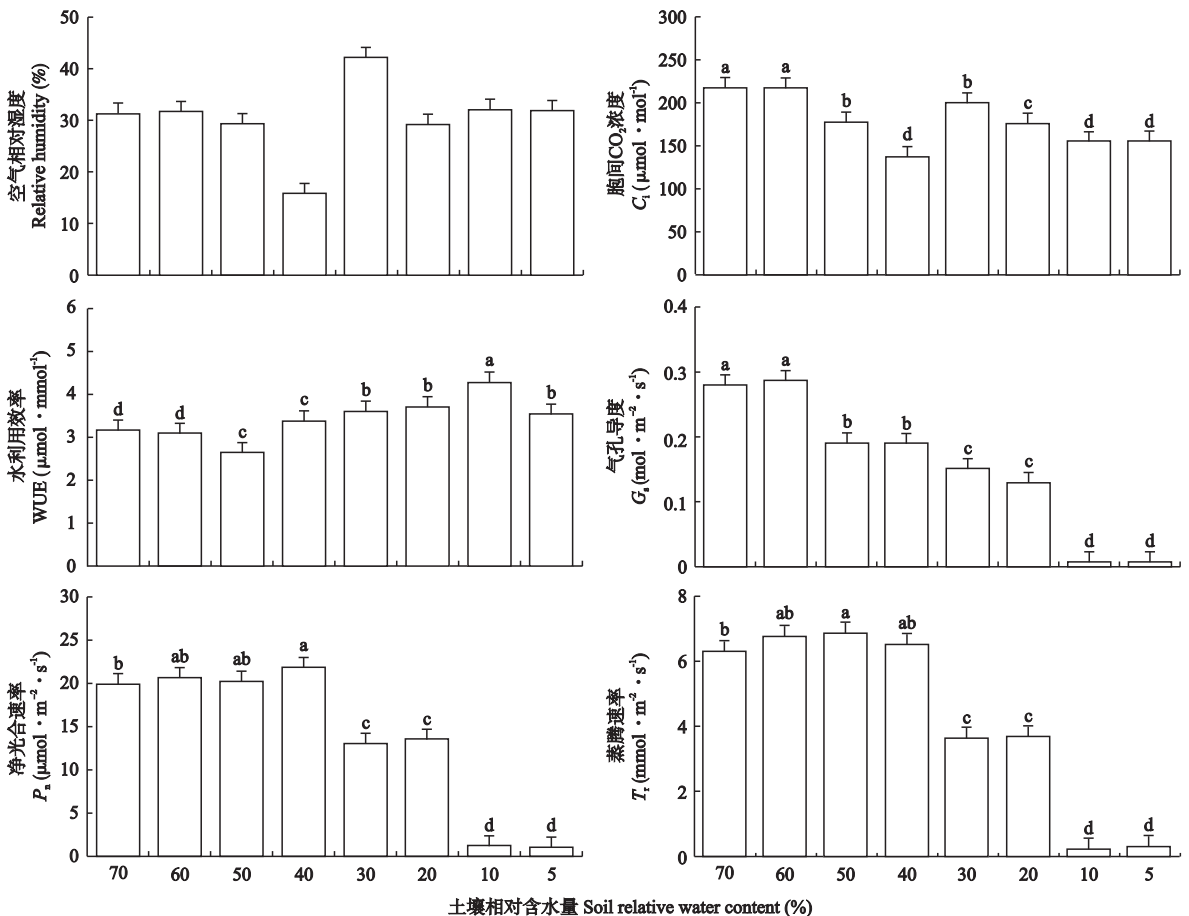


图3 干旱条件下尖果沙枣幼苗光合参数的变化

Fig. 3 Changes of photosynthetic parameters of *Elaeagnus oxycarpa* seedlings under drought condition (mean±SE).

条件下随着土壤相对含水量的逐渐下降,尖果沙枣幼苗叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 含量均呈现先缓慢上升后降低的趋势。土壤相对含水量从 70% 降到 50% 时,幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量均有所上升,一直到土壤相对含水量为 20% 时叶绿素含量保持较高而稳定的水平。可见,20% 的土壤相对含水量是尖果沙枣幼苗叶片叶绿素含量的阈值,即开始下降的拐点。土壤相对含水量降到 10% 和 5% 时,叶绿素含量大幅下降,幼苗叶片开始严重发黄和枯干。土壤相对含水量在 70% 至 10% 阶段,幼苗叶片类胡萝卜素含量随着土壤相对含水量的下降而逐渐上升,到 10% 时达到最大值,为 $6.14 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$,降到 5% 时类胡萝卜素含量开始明显下降,但仍高于对照。

2.2.2 光合特性 由图 3 可知,自然干旱条件下随着土壤相对含水量的下降,尖果沙枣幼苗净光合速率呈先逐渐上升后急剧下降的趋势。土壤相对含水量从 70% 降到 40% 时,尖果沙枣幼苗净光合速率缓慢上升,土壤相对含水量为 40% 时的净光合速率显著高于对照;土壤相对含水量降到 30% 时,幼苗净光合速率开始显著下降。土壤相对含水量在 30%、20%、10% 和 5% 的幼苗净光合速率均显著低于对照,降幅分别为 35%、32%、94% 和 94%。整个干旱处理过程中蒸腾速率的变化趋势与净光合速率的变化趋势一致。随着土壤相对含水量的下降,尖果沙枣幼苗的水分利用效率表现出逐渐上升趋势,当降到 10% 时出现最高点,为 $4.25 \mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$,此后开始下降。尖果沙枣幼苗叶片气孔导度随着土壤相对含水量的降低而降低,土壤相对含水量为 60% 时幼苗气孔导度与对照没有明显差异,此后均显著下降,土壤相对含水量在 50%、40%、30% 和 20% 时,幼苗气孔导度的下降幅度较缓慢,土壤相对含水量在 10% 和 5% 时,幼苗气孔导度再次快速下降后基本平稳。整个试验过程中,除了土壤相对含水量在 40% 和 30% 的空气相对湿度有明显波动外,其他时段的空气相对湿度均在 $30\% \pm 2.5\%$ 。总体来看,幼苗叶片胞间 CO_2 浓度有明显下降趋势,但土壤相对含水量在 40%、30% 时的胞间 CO_2 浓度随空气湿度的波动而变化。

3 讨 论

干旱是抑制植物光合作用的最主要环境因子之一^[23],所以,光合作用的强弱也可作为判断植物长势和抗旱性强弱的指标^[24]。干旱引起植物水分胁迫,从而对植物的生长、光合作用、呼吸作用、营养代

谢等产生不良影响^[25]。根是植物吸收水分和矿质元素的主要器官,根系活力表示根系新陈代谢活动的强弱,是反映根系吸水能力的一项综合指标,已有研究表明,随着干旱胁迫和盐胁迫的加重,玉米^[26]和苦楝^[27]的根系活力均呈现先增后降的趋势。

本试验结果表明,自然干旱下土壤相对含水量从 70% (对照) 降到 40% 时,虽然尖果沙枣幼苗叶片相对含水量和气孔导度有所下降,但其根系活力、光合色素含量和净光合速率均逐渐上升。土壤相对含水量为 50% 时,幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b 含量均表现出最高值,分别为 33.38 和 $22.34 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。土壤相对含水量为 40% 时,根系活力和净光合速率达到最大值,净光合速率为 $21.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。说明轻度干旱土壤可能有利于尖果沙枣幼苗根系活力的提高,同时增加了叶片中的叶绿素 a 和叶绿素 b 含量,根系活力的提高保证了体内新陈代谢所需水分,叶片中增多的叶绿素 a 和叶绿素 b 含量提高了有效光能的捕获率,从而增强了幼苗的净光合速率,促进了植株的健壮生长^[28-29]。

土壤相对含水量从 40% 降到 20% 时,虽然幼苗叶片相对含水量继续下降,但仍在 50% 以上,细胞质膜相对透性和根系活力仍处于与对照相同的水平,叶片光合色素含量也保持稳定;净光合速率和蒸腾速率均开始下降,由于净光合速率的下降幅度小于蒸腾速率,其水分利用效率仍有上升趋势。此时段,由于土壤相对含水量降到 20% 所需要的时间较长(8 d),尖果沙枣幼苗的光合作用受到一定程度的抑制。

土壤相对含水量降到 10% 时,虽然幼苗水分利用效率和类胡萝卜素含量均达到最大值,但其叶片相对含水量下降到 50% 以下,根系活力显著下降,叶片质膜相对透性大幅上升,幼苗开始受到严重伤害。土壤相对含水量降为 5% 时,幼苗叶片细胞质膜相对透性已达到 89.7%;叶绿素 a 和叶绿素 b 含量开始大幅下降;气孔导度的明显下降(气孔因素)及叶绿素 a 和叶绿素 b 含量受到损失(非气孔因素),导致 CO_2 同化效率减弱,从而使幼苗净光合速率大幅下降。

综上所述,种植尖果沙枣幼苗时,土壤相对含水量最好控制在 40% ~ 50%,才能促进幼苗的健壮生长。通过复水试验得知,相对含水量降到 4.4% 的土壤中央果沙枣幼苗仍然有一定的存活能力,复水后重新出叶,尖果沙枣 1 年生实生苗的永久萎蔫系数为 4.3% (土壤相对含水量)。

参考文献

- [1] Li Q-F (李清芳), Ma C-C (马成仓), Shang Q-L (尚启亮). Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2007, **18**(3): 531–536 (in Chinese)
- [2] Sun C-H (孙存华), Li Y (李扬), Du W (杜伟), et al. Photosynthetic characteristics of *Chenopodium album* L. grew under drought-stress condition. *Bulletin of Botanical Research (植物研究)*, 2007, **27**(6): 715–720 (in Chinese)
- [3] Gong L (贡力), Le C-L (勒春玲). Problems about ecological environment construction and water resources sustainable utilization in northwest China. *Journal of Desert Research (中国沙漠)*, 2004, **24**(4): 513–517 (in Chinese)
- [4] Li Y-H (李耀辉). New advances of research on sand-dust storm during recent years in China. *Journal of Desert Research (中国沙漠)*, 2004, **24**(5): 616–622 (in Chinese)
- [5] Pan X-L (潘晓玲), Ma Y-J (马映军), Gao W (高炜), et al. Eco-environmental evolution in arid area of west China. *Journal of Desert Research (中国沙漠)*, 2004, **24**(6): 663–673 (in Chinese)
- [6] Davies WJ, Zhang J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1991, **42**: 55–76
- [7] Zhou Z-L (周照留), Zhao P (赵平), Tang L (汤利), et al. Effects of wheat and broad bean intercropping on the root activity and root nodulation of broad bean. *Journal of Yunnan Agricultural University (云南农业大学学报)*, 2007, **22**(5): 665–671 (in Chinese)
- [8] Yao Q-Q (姚庆群). The Photosynthetic Properties of *Hevea brasiliensis* and Its Response to Drought Stress. Master Thesis. Haikou: South China Tropic Agricultural University, 2006 (in Chinese)
- [9] Han R-H (韩瑞宏), Lu X-S (卢欣石), Gao G-J (高桂娟), et al. Photosynthetic physiological response of alfalfa (*Medicago sativa*) to drought stress. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 2007, **27**(12): 5229–5237 (in Chinese)
- [10] Li S-H (李树华), Xu X (许兴), He J (何军), et al. Study on photosynthetic physiology characteristic of *Cynanchum komarovii* under water stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica (西北植物学报)*, 2004, **24**(1): 100–104 (in Chinese)
- [11] He Y-H (何炎红), Guo L-S (郭连生), Tian Y-L (田有亮). Photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence of *Nitraria tangutorum* at different leaf water potentials. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica (西北植物学报)*, 2005, **25**(11): 2226–2233 (in Chinese)
- [12] Lawlor DW, Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, 2002, **25**: 275–294
- [13] Fang W-P (方文培), Zhang Z-R (张泽荣), Song Z-P (宋滋圃), et al. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*. Beijing: Science Press, 1983 (in Chinese)
- [14] Huang J-H (黄俊华), Mamatjan (买买提江). Study on the classification of *Elaeagnus* in Xinjiang. *Bulletin of Botanical Research (植物研究)*, 2005, **25**(3): 268–271 (in Chinese)
- [15] Xin Y-W (辛艳伟). Exploiture and application of *Elaeagnus angustifolia* L. *Journal of Anhui Agricultural Sciences (安徽农业科学)*, 2007, **35**(2): 399–400 (in Chinese)
- [16] Li Y (李阳), Qiman · Yunus (齐曼 · 尤努斯), Zhu Y (祝燕). Effects of water stress on photosynthetic characteristics and biomass partition of *Elaeagnus moorcroftii*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica (西北植物学报)*, 2006, **26**(12): 2493–2499 (in Chinese)
- [17] Alijan · Mamat (艾力江 · 麦麦提), Qiman · Yunus (齐曼 · 尤努斯), Gong Q (公勤). Effects of NaCl stress on lipid peroxidation and activity of antioxidant enzymes in *Elaeagnus oxycarpa*. *Journal of Fruit Science (果树学报)*, 2008, **25**(4): 531–536 (in Chinese)
- [18] Gong Q (公勤), Qiman · Yunus (齐曼 · 尤努斯), Alijan · Mamat (艾力江 · 麦麦提). Effects of salt stress on ion distribution and osmotic adjustment substances in *Elaeagnus oxycarpa* Schlecht. *Nonwood Forest Research (经济林研究)*, 2008, **26**(3): 34–37 (in Chinese)
- [19] Yu W-W (于玮玮), Yan G-R (阎国荣). Karyotype analysis of *Elaeagnus moorcroftii* Wall. ex Schlecht. and *Elaeagnus oxycarpa* Schlecht. *Northern Horticulture (北方园艺)*, 2010(6): 141–143 (in Chinese)
- [20] Huang J-H (黄俊华), Mamatjan (买买提江), Sheng J-D (盛建东). Properties of the soil under *Elaeagnus oxycarpa* forest in the north Jundar Basin. *Soils (土壤)*, 2005, **37**(3): 330–333 (in Chinese)
- [21] Muhtar · Zari (木合塔尔 · 扎热), Qiman · Yunus (齐曼 · 尤努斯), Ruxan · Musa (如鲜 · 木沙). Effect of water stress on plant biomass and several physiological characters of *Elaeagnus oxycarpa* Schlecht.

- seedlings. *Journal of Xinjiang Agricultural University* (新疆农业大学学报), 2009, **32**(2): 14-18 (in Chinese)
- [22] Zou Q (邹琦). *Experiment Instruction of Plant Physiology*. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [23] Dou X-Y (窦新永), Wu G-J (吴国江), Huang H-Y (黄红英), *et al.* Responses of *Jatropha curcas* L. seedlings to drought stress. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(7): 1425-1430 (in Chinese)
- [24] Hui H-X (惠红霞), Xu X (许兴), Li Q-R (李前荣). Exogenous betaine improves the photosynthesis of *Lycium barbarum* under salt stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2003, **23**(12): 2137-2142 (in Chinese)
- [25] Liu C-L (刘长利), Wang W-Q (王文全), Cui J-R (崔俊茹), *et al.* Effects of drought stress on photosynthesis characteristics and biomass allocation of *Glycyrrhiza uralensis*. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2006, **26**(1): 142-145 (in Chinese)
- [26] Siqinbateer (斯琴巴特尔), Wu H-Y (吴红英). Effect of different stress on roots activity and nitrate reductase activity in *Zea mays* L. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2001, **19**(2): 67-70 (in Chinese)
- [27] Miao H-X (苗海霞), Sun M-G (孙明高), Xia Y (夏阳), *et al.* Effects of salt stress on root activity of *Melia azedarach* L. seedlings. *Journal of Shandong Agricultural University* (山东农业大学学报), 2005, **36**(1): 9-12 (in Chinese)
- [28] Wang M (王森), Dai L-M (代力民), Ji L-Z (姬兰柱), *et al.* Effect of drought stress on apparent resource utilization efficiency of *Quercus mongolica*. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(3): 275-280 (in Chinese)
- [29] Wang M (王森), Dai L-M (代力民), Ji L-Z (姬兰柱). Effect of soil moisture status on some eco-physiological indexes of dominant tree species in the pine broadleaf forest of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2002, **21**(1): 1-5 (in Chinese)

作者简介 齐曼·尤努斯,女,1963年生,教授.主要从事植物逆境生理生态研究. E-mail: qimanyan@sina.com.cn

责任编辑 张凤丽
