

5 种常绿阔叶树幼苗的抗旱性比较

韩 艳, 林夏珍

(浙江林学院 园林学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为了发展节水型园林及为干旱地区绿化提供理论依据, 采用盆栽控水的方法, 研究了不同干旱胁迫对大叶桂樱 *Prunus zippeliana*, 石栎 *Lithocarpus glaber*, 樟树 *Cinnamomum camphora*, 木荷 *Schima superba* 和红叶石楠红罗宾 *Photinia glabra* × *P. fraseri* ‘Red Robin’ 5 种常绿阔叶树幼苗为试材, 采用盆栽控水的方法, 研究干旱胁迫对幼苗地上部形态和生理指标的影响, 比较 5 种树的抗旱性。结果表明, 干旱胁迫对 5 种树幼苗的影响有差异, 随着土壤含水量的下降, 5 种树幼苗地上部形态均发生相应改变, 叶片相对水分亏缺增大, 失水率减小, 相对电导率和脯氨酸质量分数上升, 且变化幅度因树种和胁迫时间而异。综合这些指标进行分析, 同时结合隶属函数法对其抗旱性进行比较, 结果为: 樟树 < 木荷 < 石栎 < 红叶石楠红罗宾 < 大叶桂樱。图 1 表 5 参 21

关键词: 植物学; 抗旱性; 常绿阔叶树幼苗; 生理指标; 比较

中图分类号: S718.43; Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)06-0822-07

Drought resistance in seedlings of five evergreen broadleaf tree species

HAN Yan, LIN Xia-zhen

(School of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: In order to develop “water saving garden” and provide a theoretical basis to the green of arid areas. The experiment was conducted with 5 species tree seedlings of evergreen broad-leaved (*Prunus zippeliana*, *Lithocarpus glaber*, *Cinnamomum camphora*, *Schima superba*, and *Photinia glabra* × *P. fraseri* ‘Red Robin’) under different soil drought stresses such as stop watering for 0 day, 5 days, 10 days, 15 days, 20 days, 30 days and 35 days in pots in order to compare their drought resistant ability. Characteristics and physiological indicators of five tree species were studied with different drought stresses. Results showed that when soil water content for the five evergreen tree species decreased, the leaf relative water deficit increased, the water loss rate decreased, cell membrane permeation increased, and proline content increased. Also the range of different tree species and stress times were not the same. Through comprehensive analysis of these indexes of 5 seedlings, it was concluded that the drought resistant ability of these 5 species decreased in order: *C. camphora* < *S. superba* < *L. glaber* < *Photinia glabra* × *Photinia fraseri* ‘Red Robin’ < *Prunus zippeliana*. [Ch, 1 fig. 5 tab. 21 ref.]

Key words: botany; drought resistance; seedlings of evergreen broadleaf tree species; physiological characteristics; comparative

在全球干旱问题日益严重的情形下, 乡土植物因适应性强, 易于养护管理, 能自然繁衍成林的特点^[1], 在发展节水型园林和丰富城市植物种类多样性方面有重要意义。目前, 有关作物^[2-4], 果树^[5-6]和造林树种^[7]的抗旱研究较多, 园林乡土植物特别是常绿阔叶树种的研究, 较多集中在为了丰富北方

收稿日期: 2008-11-29; 修回日期: 2009-02-20

基金项目: 浙江省林业厅资助项目(07A15);

作者简介: 韩艳, 从事园林植物栽培与应用研究。E-mail: greenhyn@163.com。通信作者: 林夏珍, 副教授, 博士, 从事园林植物栽培与应用研究。E-mail: linxz100@sohu.com

冬季景观“南树北移”的抗寒性方面^[8-9], 涉及到干旱胁迫下生理指标和树种抗性强弱较少^[10-12]。笔者以浙江常绿阔叶乡土树种大叶桂樱 *Prunus zippeliana*, 石栎 *Lithocarpus glaber*, 樟树 *Cinnamomum camphora*, 木荷 *Schima superba* 及园林常用树种红叶石楠红罗宾 *Photinia glabra* × *P. fraseri* ‘Red Robin’ 为试材, 以盆栽控水法模拟干旱条件, 研究了持续干旱胁迫对该 5 种树幼苗叶片相对水分亏缺、保水力、相对电导率和脯氨酸质量分数等生理指标的影响, 分析其抗旱能力及抗旱机理, 以期为进一步发展节水型园林和干旱半干旱地区引种及绿化应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2006 年 9 月, 将大叶桂樱、石栎、樟树和木荷的种子进行播种育苗, 红叶石楠红罗宾进行扦插繁殖。2008 年 3 月, 选取整齐一致的 2 年生幼苗, 用原土和珍珠岩盆栽, 各树种 21 盆, 盆子大小为 22 cm × 26 cm, 平均含栽植土约 800 g·盆⁻¹。放置室外进行正常的栽培管理。

1.2 试验设计

2008 年 7 月初将盆苗移入温室, 在干旱胁迫处理前按常规大棚盆栽苗水分管理要求浇水。7 月 21 日停止浇水, 开始进行干旱胁迫处理, 停止浇水 0 (ck), 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 d 观察其形态变化, 测定土壤含水量、叶片相对水分亏缺(RWD)、叶片失水率、相对电导率和脯氨酸(Pro)质量分数等指标, 重复 3 次·处理⁻¹, 测定试样均取成熟叶片, 混合取样, 每日 10:00 的平均温度为 32 ℃ (31 ~ 35 ℃)。

1.3 指标测定

1.3.1 土壤含水量的测定 用土壤水分分析仪(型号: TDR200)测定。

1.3.2 叶片相对水分亏缺的测定 采用称量法^[13]。取鲜叶 1 g 左右(W_t), 称量后用蒸馏水浸泡 24 h, 再称饱和鲜质量(W_i), 最后在 105 ℃ 烘干 12 h, 称量(W_d)。计算公式: 相对水分亏缺(%) = $(W_t - W_d) / (W_i - W_d) \times 100\%$ 。

1.3.3 叶片保水力的测定 随机取各供试树种的叶片 6 片, 擦去表面的水分和尘土称鲜质量, 在室内自然干燥, 于 24 h 后称质量, 然后 105 ℃ 杀青 30 min, 95 ℃ 烘至恒量, 称干质量计算失水率。计算公式: 失水率(%) = $(\text{鲜叶质量} - 24 \text{ h 失水后叶片质量}) / (\text{干叶质量} \times 24) \times 100\%$ 。

1.3.4 相对电导率的测定 由 DDS-11A 型直读电导仪测定^[14]。

1.3.5 脯氨酸质量分数的测定 由磺基水杨酸提取茚三酮比色法测定^[14]。

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 和 SPSS 软件进行数据分析, 并采用隶属函数法^[15-16]综合评价 5 个树种幼苗的抗旱能力。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫条件下盆栽土壤含水量的变化

从图 1 可以看出, 随着干旱胁迫的日益加重, 土壤水分含量呈明显下降趋势。干旱胁迫前期土壤水分散失较快, 失水率较高, 之后水分散失以蒸发和蒸腾作用为主, 土壤失水率变化较为平缓。从图 1 可以看出从正常管理到干旱胁迫的各个阶段各树种土壤含水量及变化趋势基本一致, 保证了试验条件的一致性。

2.2 干旱胁迫对树种生理特性的影响

2.2.1 对叶片相对水分亏缺的影响 由表 1 可以看出在干旱胁迫的过程中, 樟树的叶片相对水分

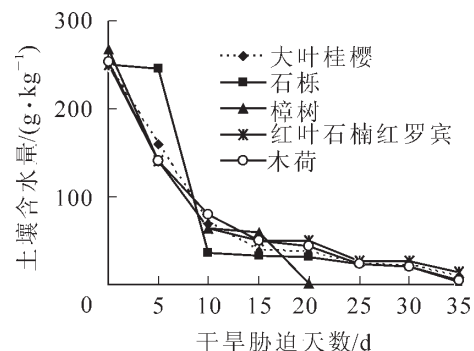


图 1 干旱胁迫下 5 种常绿阔叶树幼苗土壤含水量变化动态

Figure 1 Dynamics of soil moisture and water loss rate under drought stress in five species of evergreen broad-leaved trees seedlings leaves

亏缺呈不断增长趋势,而其他树种都是先下降后上升。在正常浇水条件下,大叶桂樱的叶片相对水分亏缺相对较高,说明它有较强的吸水力,而樟树的叶片相对水分亏缺不断升高,反映植株体内缺水不断加重,表现为提早死亡。干旱胁迫至第 35 天时大叶桂樱有较低的叶片相对水分亏缺,显示较强的抗旱性。各树种叶片相对水分亏缺变化趋势可能与土壤水分含量变化和树种本身接受短时间的抗旱锻炼后自我保护的生理变化有关。由方差分析可知,胁迫第 5 天和第 10 天各树种叶片相对水分亏缺差异不显著,但与第 15, 20, 25, 30 天差异极显著;第 25 天与第 30 天和 35 天之间的叶片相对水分亏缺差异不大,但与第 5, 10, 15 和 20 天差异极显著。

2.2.2 对叶片保水力的影响

从表 2 可以看出,各树种叶片的失水速率随着胁迫程度的加强呈下降趋势,这说明各树种均能以减小叶片的失水速度的方式来抵御干旱胁迫。在正常浇水的情况下,大叶桂樱和樟树叶片含水量较高,但在干旱胁迫下大叶桂樱的叶片失水速率变化较为平缓,樟树的下降最快。干旱胁迫初期(第 5 天),石栎和红叶石楠红罗宾的叶片失水率相比对照有所下降,大叶桂樱、樟树与木荷的叶片失水率变化不明显,可能轻度干旱胁迫对大叶桂樱、樟树与木荷幼苗叶片保持水分的能力影响不大。至第 35 天时大叶桂樱、石栎、红叶石楠红罗宾和木荷的叶片失水率分别为正常浇水的 70.72%, 14.12%, 26.05%与 4.55%,结合方差分析可知大叶桂樱与红叶石楠红罗宾叶片较高的叶片失水率,说明在严重胁迫下该 2 树种较其他树种仍有较高的叶片含水量,在整个干旱胁迫过程中,叶片失水较慢,保水力强。以各树种平均叶片失水率评价植物抗旱能力则顺序为:樟树<木荷<石栎<红叶石楠红罗宾<大叶桂樱。

2.2.3 对相对电导率的影响 由表 3 可知,随着干旱胁迫的加重,5 树种叶片相对电导率均增大。在正常浇水条件下大叶桂樱的相对电导率较大,这可能与树种特性有关。在 0 ~ 20 d 时,除樟树外其他

表 1 干旱胁迫对 5 种常绿阔叶树幼苗叶片相对水分亏缺的影响

Table 1 Effects of drought stress on RWD in five species of evergreen broad-leaved tree seedlings leaves

胁迫时间/d	测试树种叶片相对水分亏缺/%				
	大叶桂樱	石栎	樟树	红叶石楠红罗宾	木荷
0	41.15 abc	25.62 bc	14.96 c	40.55 abc	21.39 bc
5	16.94 c	15.86 c	24.22 c	27.38 c	8.35 c
10	22.08 bc	30.22 bc	30.64 bc	16.78 c	13.72 c
15	36.32 bc	31.50 bc	51.01 ab	40.98 abc	26.67 bc
20	20.83 bc	25.45 bc	78.79 a	40.59 abc	22.41 bc
25	24.94 bc	42.10 abc		48.90 abc	44.22 abc
30	32.67 bc	67.02 ab		48.59 abc	68.46 ab
35	42.52 abc	70.98 a		59.93 ab	85.26 a

说明:多重比较采用最小显著极差法(LSR 法),表中同一行数据中不同字母表示差异极显著($P<0.01$)。

表 2 干旱胁迫对 5 种常绿阔叶树幼苗叶片失水率的影响

Table 2 Effects of drought stress on the dehydration rate in five species of evergreen broad-leaved tree seedlings

胁迫时间 / d	测试树种叶片失水率/%				
	大叶桂樱	石栎	樟树	红叶石楠红罗宾	木荷
0	7.82 ± 0.02 bA	5.17 ± 0.10 aA	6.25 ± 0.10 aA	4.30 ± 0.05 aA	5.94 ± 0.04 aA
5	8.01 ± 0.03 aA	5.07 ± 0.10 abA	6.34 ± 0.09 aA	3.81 ± 0.07 bB	6.24 ± 0.10 bB
10	7.52 ± 0.03 cB	5.05 ± 0.07 abA	6.17 ± 0.10 aA	3.58 ± 0.08 cC	5.90 ± 0.05 bB
15	7.02 ± 0.10 dC	4.93 ± 0.12 bA	4.01 ± 0.11 bB	1.71 ± 0.09 dD	5.02 ± 0.02 cC
20	6.44 ± 0.10 eD	4.07 ± 0.10 cB	0.87 ± 0.07 cC	2.02 ± 0.10 deDE	4.36 ± 0.06 dD
25	6.33 ± 0.10 eD	3.66 ± 0.10 dC		1.90 ± 0.05 eDE	3.99 ± 0.10 eE
30	6.03 ± 0.12 fE	0.76 ± 0.10 eD		1.87 ± 0.06 fE	0.62 ± 0.02 fF
35	5.53 ± 0.11 gF	0.73 ± 0.03 eD		1.12 ± 0.12 gF	0.27 ± 0.11 gG

说明:多重比较采用最小显著极差法(LSR 法),小写字母表示 0.05 显著水平,大写字母表示 0.01 极显著水平。

树种相对电导率先下降后上升, 但 20 d 后, 随着干旱胁迫程度的加深, 各种树叶片质膜透性显著增大。由方差分析与得出, 处理 20 d 后的相对电导率与前 20 d 具有显著差异。说明胁迫 20 d 后, 干旱胁迫对 5 树种细胞膜系统产生胁迫效应。此时, 盆栽土壤的含水量已降到 $2.1 \sim 49.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.2.4 对脯氨酸质量分数的影响 由表 3 可以看出各树种脯氨酸的变化整体呈上升趋势, 也有呈先降低后上升的现象。当干旱胁迫时间延长时, 土壤中的水分逐渐减少, 植物吸收水分的难度加大, 体内脯氨酸质量分数增多, 以增加其吸水能力和保持膜的完整性。干旱胁迫 15 d 后, 各树种脯氨酸质量分数增加的幅度逐渐增大, 不同树种的反应不尽相同。樟树在胁迫 15 ~ 20 d 时, 脯氨酸达到高峰, 同时地上部呈现枯黄死亡状态; 干旱胁迫 20 d 时, 大叶桂樱、石栎、红叶石楠红罗宾和木荷的脯氨酸质量分数达到了对照的 3.16%, 2.57%, 1.54% 与 1.04%; 至 35 d 严重干旱胁迫时, 红叶石楠红罗宾和木荷的脯氨酸质量分数突增, 大叶桂樱和石栎的脯氨酸质量分数变化较为平缓, 甚至有下降趋势, 此种现象可能源于随着干旱胁迫的进一步加剧, 植物组织因严重萎蔫、碳水化合物供给减少以及酶的活性丧失而导致游离脯氨酸积累量的减少。以脯氨酸的累积量和累积速度来衡量植物的抗旱能力, 则为: 樟树 < 木荷 < 石栎 < 红叶石楠红罗宾 < 大叶桂樱。

表 3 干旱胁迫对 5 种常绿阔叶树幼苗叶片相对电导率和脯氨酸质量分数的影响

Table 3 Effects of drought stress on the relative electricity and Pro in five species of evergreen broad-leaved tree seedlings leaves

胁迫时间/d	测试树种叶片相对电导率/%					测试树种叶片脯氨酸/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)				
	大叶桂樱	石栎	樟树	红叶石楠红罗宾	木荷	大叶桂樱	石栎	樟树	红叶石楠红罗宾	木荷
0	36.18 b	31.62 d	29.23 d	30.53 b	22.05 c	361.33 c	252.86 c	578.98 c	244.79 c	322.58 c
5	35.07 b	28.71 d	39.25 d	26.36 c	39.31 c	421.62 b	539.77 b	775.26 b	573.92 b	341.76 c
10	40.24 b	50.61 c	55.38 c	39.62 b	73.85 a	358.59 c	256.93 c	399.87 d	223.29 c	289.28 c
15	43.35 b	50.63 c	68.58 b	41.68 b	50.58 b	744.12 b	484.23 c	2 145.80 a	619.42 b	393.96 c
20	48.62 b	59.75 b	88.29 a	45.11 b	66.07 b	1 141.71 a	649.55 b	2 167.20 a	375.87 c	335.03 c
25	66.33 a	63.43 b		51.98 a	70.88 a	1 142.41 a	1 480.46 a		357.73 c	407.27 b
30	73.08 a	52.07 c		75.93 a	87.64 a	1 985.51 a	2 204.59 a		387.18 c	518.91 b
35	76.46 a	74.72 a		76.69 a	91.31 a	1 156.53 a	1 965.22 a		1 185.84 a	1 209.60 a

说明: 多重比较采用最小显著极差法(LSR 法), 表中同一行数据中不同字母表示 0.05 显著水平。

2.3 干旱胁迫条件下不同树种形态特征的变化

在持续干旱胁迫条件下, 植株地上部形态变化(表 4)体现在叶色(新叶黄化, 焦边, 褐变枯萎), 叶变形(褶皱, 卷曲), 叶片状态(饱满, 下垂萎蔫), 并伴有一定的黄化现象。不同树种形态变化对干旱胁迫反应不同, 大叶桂樱、石栎和红叶石楠红罗宾叶片质地较硬, 叶片轻微失水会出现褶皱、卷曲, 胁迫严重时整个叶片下垂萎蔫, 而樟树和木荷在干旱胁迫初期新叶就表现为下垂。

胁迫 0 ~ 5 d 时, 各树种基本正常; 至第 10 天时除樟树萎蔫比较严重外, 其他树种叶片出现轻微的失水现象; 胁迫至第 15 天, 樟树已有 1/3 叶片枯黄萎蔫, 其他 4 种树幼苗才出现明显的老叶或嫩叶萎蔫现象; 胁迫至第 20 天时, 樟树全株枯黄萎蔫, 基本死亡, 石栎下垂现象由嫩叶扩展到嫩梢, 红叶石楠红罗宾和木荷全株叶片下垂; 胁迫第 35 天时, 木荷全株枯黄萎蔫, 石栎部分嫩叶没有失绿, 其余叶片干枯死亡, 大叶桂樱老叶枯黄脱落, 2/3 植株萎蔫, 红叶石楠红罗宾 3/4 植株叶片枯黄萎蔫。

2.4 各树种抗旱性综合评价

树种的抗旱性是一个复合性状, 不是由某个单一指标决定。本试验采用模糊数学中的隶属函数法^[15-16]对 5 种常绿阔叶树幼苗在持续干旱胁迫下所测得的 4 项抗旱指标的隶属值进行累加, 取平均数进行树种间比较, 以综合评定抗旱性。对已测各性状用下式求出各树种、性状的具体函数值。

表 4 干旱胁迫对 5 种常绿阔叶树幼苗形态特征的影响

Table 4 Effects of drought stress on the modality characteristic in five species of evergreen broad-leaved tree seedlings leaves					
胁迫时间 / d	测试树种幼苗形态特征				
	大叶桂樱	石栎	樟树	红叶石楠红罗宾	木荷
0~5	正常	正常	正常	正常	正常
10	叶缘呈现波状, 嫩叶黄化	个别叶片出现焦边和卷曲(沿叶脉)	全株叶片失水下垂(沿叶脉), 焦边	个别叶片发生卷曲	老叶部分下垂
15	部分老叶有枯黄现象	嫩叶下垂,个别叶片出现焦边	1/3 枯黄萎蔫	老叶下垂, 个别叶片出现焦边枯黄现象	老叶下垂, 个别叶片出现焦边、枯黄甚至脱落
20	老叶有枯黄现象	嫩梢褶皱下垂,老叶有焦边象	全部叶子枯黄萎蔫, 植株死亡	全株下垂, 部分老叶褐变萎蔫	叶子下垂, 部分老叶褐变萎蔫
25	老叶波皱状, 枯黄脱落, 1/2 植株萎蔫	1/3 叶片枯黄萎蔫		老叶褐变干枯, 整个植株叶子暗黄绿色	1/3 老叶褐变萎蔫
30	全株叶片呈波皱状, 1/2 植株萎蔫	2/3 叶片枯黄萎蔫		2/3 植株枯黄萎蔫	2/3 植株叶片枯黄萎蔫
35	老叶枯黄脱落, 2/3 植株萎蔫	部分嫩叶没有完全失绿, 其余干枯死亡		3/4 植株叶片枯黄萎蔫	全部叶子枯黄萎蔫, 植株死亡

$$X_{ij} = (x_{ij} - x_{jmin}) / (x_{jmax} - x_{jmin}); \tag{1}$$

$$X_{ij} = (x_{jmax} - x_{ij}) / (x_{jmax} - x_{jmin})。 \tag{2}$$

式中, X_{ij} 为 i 树种 j 指标的隶属函数值, x_{ij} 为 i 树种的 j 性状值, x_{jmin} 为各树种 j 性状的最小值, x_{jmax} 为各树种 j 性状的最大值。当 j 性状与植物的抗旱性成正相关时用(1)式, 当 j 性状与植物的抗旱性成负相关时用(2)式, 结果详见表 5。各种树抗旱性指标的隶属平均值越大则表明该种树抗旱性越强, 由此做出排序: 樟树<木荷<石栎<红叶石楠红罗宾<大叶桂樱, 其结果与观察到的地上部形态变化一致。

表 5 抗旱性指标的隶属函数值及综合评价

Table 5 Drought indexes value of the subordination function value and synthetical evaluation						
树种	指 标				隶属平均值	排序
	相对水分亏缺	叶片保水力	相对电导率	脯氨酸		
大叶桂樱	1.00	1.00	0.72	0.41	0.78	1
石栎	0.17	0.27	0.79	0.32	0.39	3
樟树	0.05	0.53	0.46	0.00	0.26	5
红叶石楠红罗宾	0.00	0.00	1.00	0.97	0.49	2
木荷	0.22	0.31	0.00	1.00	0.38	4

3 结论与讨论

在相同的水分胁迫条件下, 通过对各种树叶片相对水分亏缺的比较, 可以反映它们维持水分平衡能力的大小^[17]。本研究中, 在干旱胁迫后期各树种离体叶片相对水分亏缺呈明显的上升趋势, 其中第 35 天时大叶桂樱有较低的叶片相对水分亏缺, 显示较强的抗旱性。植物叶片失水速率或保水力反应了植物细胞内自由水和束缚水的状况, 是鉴定植物抗旱力的重要指标^[18]。抗旱性强的树种, 失水较慢, 保水率较大^[19]。从研究结果看, 在持续干旱的过程中各树种的失水速率随着胁迫程度的加强呈下降趋势, 这说明各树种均能以减小叶片的失水速度的方式来抵御这种干旱胁迫。

植物组织在受到各种不利的环境条件危害时, 细胞膜的结构和功能首先受到伤害, 细胞膜透性增

大^[14], 且这种膜透性的变化程度与树种具有一定的关系。本研究中, 在持续干旱胁迫下各树种相对电导率不断增大的趋势证实了这点。脯氨酸作为渗透调节物质, 它在逆境下的累积效应说法不一^[20-21]。在本研究中, 各种树幼苗离体叶片游离脯氨酸质量分数随干旱胁迫加重而升高, 且不同树种变化速率和累积量不同。可见, 测试的 5 种常绿阔叶树幼苗体内脯氨酸对干旱胁迫环境做出了积极的响应。

由上述研究可以看出, 除樟树外其他 4 种树种均具有一定的抗旱能力。在连续干旱 15 d 后, 其盆栽土壤含水量降到 $33.3 \sim 50.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 除樟树外, 大叶桂樱等 4 种树种的幼苗才出现明显的老叶或嫩叶萎蔫; 第 20 天时, 4 种树种幼苗才出现嫩梢及整个植株的萎蔫, 此时如果有水分供给, 则植株可以恢复生长; 干旱胁迫至第 35 天时大叶桂樱和红叶石楠红罗宾尚存活, 表现了极强的抗旱性。此外所选树种均为观赏性好的常绿阔叶树种, 大叶桂樱目前还处于野生状态, 在全世界水资源短缺的环境下, 如果能推广应用于园林绿化中, 不仅可以节水, 而且在高温干旱的夏季可以节省大量的劳动力。

在温室以盆栽控水的方法进行植物抗旱性试验是一种较好的试验方法, 但是, 盆栽控水条件下植物根系所涉及的土壤面积有限, 不能向外伸展以获得水源。再者, 盆栽干旱的土壤不能从周围获得水分随昼夜变化而变化, 同时成年树一般比幼苗抗旱性强, 通过幼苗盆栽控水法获得的抗旱时间较野外生长的成年树要短。

参考文献:

- [1] 孙卫邦. 乡土植物与现代城市园林景观设计[J]. 中国园林, 2003, **19** (7): 63 - 65.
SUN Weibang. Importance of indigenous plants in their application to the modern urban landscape architecture [J]. *J Chin Landscape Archit*, 2003, **19** (7): 63 - 65.
- [2] 王付欣, 谢德意, 王惠萍, 等. 干旱胁迫对短季棉生理生化特性的影响[J]. 中国棉花, 2001, **28** (11): 16 - 17.
WANG Fuxin, XIE Deyi, WANG Huiping, *et al.* Effect of drought stress on the short season cotton physiological and biochemical characteristics [J]. *China Cotton*, 2001, **28** (11): 16 - 17.
- [3] 许育彬, 陈越, 付增光. 甘薯的抗旱生理及栽培技术研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2004, **22** (1): 128 - 131.
XU Yubin, CHEN Yue, FU Zengguang. Advance of research on drought-resistant physiology and cultivation techniques of sweet potato [J]. *Agric Res Arid Area*, 2004, **22** (1): 128 - 131.
- [4] HUDAK C M, PATTERSON R P. Vegetative growth analysis of a drought-resistant soybean plant introduction [J]. *Crop Sci*, 1995, **35**: 464 - 471.
- [5] 彭立新, 束怀瑞, 李德全. 水分胁迫对苹果属植物抗氧化酶活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, **12** (3): 44 - 46.
PENG Lixin, SHU Huairui, LI Dequan. Effects of water stress on the activities of antioxidant enzymes of *Malus* L. plant [J]. *Chin J Eco-agric*, 2004, **12** (3): 44 - 46.
- [6] 黄永红, 陈学森, 冯宝春. 果树水分胁迫研究进展[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2005, **36** (3): 481 - 484.
HUANG Yonghong, CHEN Xuesen, FENG Baochun. Research progress of water stress in fruit trees [J]. *J Shandong Agric Univ Nat Sci Ed*, 2005, **36** (3): 481 - 484.
- [7] 曹福亮. 中国南方主要造林树种耐盐耐旱机理研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [8] 王琳, 杨喜田, 朱红梅. 常绿阔叶树种耐寒性选择研究[J]. 上海农业学报, 2006, **22** (1): 56 - 59.
WANG Lin, YANG Xitian, ZHU Hongmei. Studies on selecting hardy evergreen broad-leaved trees [J]. *Acta Agric Shanghai*, 2006, **22** (1): 56 - 59.
- [9] 田如男, 薛建辉. 6 个常绿阔叶乔木树种抗寒性研究[J]. 西南林学院学报, 2005, **25** (4): 110 - 117.
TIAN Runan, XUE Jianhui. A study on cold resistance of six evergreen broad-leaved tree species [J]. *J Southwest For Coll*, 2005, **25** (4): 110 - 117.
- [10] 申亚梅, 童再康, 张露. 干旱胁迫对红叶石楠等 3 个观赏品种生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2006, **28** (3): 397 - 402.
SHEN Yamei, TONG Zaikang, ZHANG Lu. Effect of drought stress on physiological characteristics in three ornamental plants of *Photinia* spp. [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2006, **28** (3): 397 - 402.
- [11] 王明怀, 陈建新. 红锥等 8 个阔叶树种抗旱生理指标比较及光合作用特征[J]. 广东林业科技, 2005, **21** (2): 1 - 5.

- WANG Minghui, CHEN Jianxin. A study on the photosynthetic characters and physiological indexes of drought resistance for eight broad leaved tree species [J]. *J Guangdong For Sci Technol*, 2005, **21** (2): 1 – 5.
- [12] 谭勇, 梁宗锁, 安玉艳. 冬季干旱胁迫下黄土高原三种常绿树种叶片渗透调节物质变化研究[J]. 水土保持研究, 2007, **14** (3): 70 – 73.
- TAN Yong, LIANG Zongsuo, AN Yuyan. Primary study on changing adjustment substance of leaves of three evergreen tree species in winter and water stress in loess plateau [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2007, **14** (3): 70 – 73.
- [13] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导: 植物组织含水量测定[M]. 北京: 高等教育出版社, 1980: 2 – 5.
- [14] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [15] 魏永胜, 梁宗锁. 利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性[J]. 草业科学, 2005, **22** (6): 33 – 36.
- WEI Yongsheng, LIANG Zongsuo. Comprehensive evaluation on alfalfa drought-resistance traits by subordinate function values analysis [J]. *Pratacult Sci*, 2005, **22** (6): 33 – 36.
- [16] 兰巨生, 胡福顺. 作物抗旱指数的概念和统计方法[J]. 华北农学报, 1990, **5** (2): 20 – 25.
- LAN Jusheng, HU Fushun. Drought crops index and the concept of statistical methods [J]. *J Agric Sci North China*, 1990, **5** (2): 20 – 25.
- [17] 谢寅峰, 沈惠娟, 罗爱珍, 等. 南方7个造林树种幼苗抗旱生理指标的比较[J]. 南京林业大学学报, 1999, **23** (4): 13 – 16.
- XIE Yinfeng, SHEN Huijuan, LUO Aizhen, *et al.* A study on the physiological indexes of drought-resistance to seedlings of seven afforestation tree species in the south of China [J]. *J Nanjing For Univ*, 1999, **23** (4): 13 – 16.
- [18] 张卫华, 张方秋, 张守攻, 等. 3种相思幼苗的抗旱性研究[J]. 林业科学研究, 2005, **18** (6): 695 – 700.
- ZHANG Weihua, ZHANG Fangqiu, ZHANG Shougong, *et al.* Study on the drought-resistance of three seedlings of *Acacia* [J]. *For Res*, 2005, **18** (6): 695 – 700.
- [19] 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.
- LI Xuehua, JIANG Deming, A Lamusa, *et al.* A comparative study on drought-resistance of four plant species in Kerqin sandy land [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, **13** (11): 1385 – 1388.
- [20] 向佐湘, 许桂芳, 蒋文君. 干旱胁迫对4种刺篱植物抗性生理生化指标的影响[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24** (1): 7 – 11.
- XIANG Zuoxiang, XU Guifang, JIANG Wenjun. Drought stress on physiological and biochemical processes in four spiny plant species [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24** (1): 7 – 11.
- [21] 曹帮华, 张明如, 翟明普, 等. 土壤干旱胁迫下刺槐无性系生长和渗透调节能力[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (2): 161 – 165.
- CAO Banghua, ZHANG Mingru, ZHAI Mingpu, *et al.* Growth and osmotic adjustment of *Robinia pseudoacacia* clones under drought stress [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22** (2): 161 – 165.