

# 不同水分条件对人参榕生长和生理的影响\*

陆奎眉<sup>1\*\*</sup> 陈鹭真<sup>3</sup> 林金水<sup>2</sup> 杜晓娜<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>漳州师范学院生物科学与技术系,福建漳州 363000; <sup>2</sup>福建省热带作物科学研究所,福建漳州 363001; <sup>3</sup>厦门大学生命科学学院,福建厦门 361005)

**摘要** 以3年生人参榕(*Ficus microcarpa*)为试材,采用盆栽调控水分的方法,研究5种不同的水分处理(基质最大含水量的90%~100%,70%~80%,50%~60%,30%~40%和10%~20%)对人参榕生长和生理的影响,为栽培生产提供理论依据。结果表明:随着浇水量的减少,人参榕的株高、冠幅、块根增量均显著下降( $P<0.05$ );人参榕叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性显著增高( $P<0.05$ ),细胞膜相对透性显著增强,脯氨酸和丙二醛(MDA)含量也显著增加;叶片净光合速率( $P_n$ )和蒸腾速率( $T_r$ )呈随浇水量的减少而显著降低;但叶片水分利用效率(WUE)呈显著增加趋势;各处理的叶片初始荧光( $F_o$ )和最大光量子效率( $F_v/F_m$ )差异不显著。在各处理中,70%~80%的最大基质含水量的处理,其人参榕叶片的细胞膜相对透性最低,保护酶活性最弱,脯氨酸和丙二醛含量最低,净光合速率高,从而导致了人参榕具有生长最快、株高、冠幅和最大块根直径增量最大的特点。可见,70%~80%的最大基质含水量为是人参榕种植效果最好的水分管理模式。

**关键词** 人参榕; 光合作用; 叶绿素荧光; 保护酶活性

中图分类号 S68 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2011)10-2179-06

**Effects of soil water condition on *Ficus microcarpa* growth and physiological characteristics.** LU Luan-mei<sup>1\*\*</sup>, CHEN Lu-zhen<sup>3</sup>, LIN Jin-shui<sup>2</sup>, DU Xiao-na<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Zhangzhou Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian, China; <sup>2</sup>Fujian Science Institute of Tropical Crops, Zhangzhou 363001, Fujian, China; <sup>3</sup>School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, **30**(10): 2179-2184.

**Abstract:** A greenhouse pot experiment was conducted to study the effects of different soil water conditions on the growth and physiological characteristics of three years old *Ficus microcarpa* seedlings, aimed to provide an optimum water management mode for the cultivation of this horticultural species. Five treatments were installed, *i. e.*, 90%–100%, 70%–80%, 50%–60%, 30%–40%, and 10%–20% of maximum soil water content. With the decrease of the water content, the seedling height, crown diameter, and root tuber biomass decreased significantly, leaf superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activities, membrane permeability, and proline and malondialdehyde (MDA) contents had significant increase, leaf photosynthetic rate ( $P_n$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) decreased significantly, and leaf water use efficiency (WUE) had a significant increasing trend in the treatments with lower soil water content. No significant differences were observed in the minimum fluorescence yield in light-adapted state ( $F_o$ ) and the quantum yield of PSII photochemistry in dark-adapted state ( $F_v/F_m$ ) among the five treatments. In treatment 70%–80% of maximum soil water content, the leaf membrane permeability, SOD and POD activities, and proline and MDA contents were the lowest while the  $P_n$  was highest, resulting in the quickest seedling growth and the largest increments of plant height, crown diameter, and root tuber biomass, suggesting that this treatment could be the best water management mode for the cultivation of *F. microcarpa*.

**Key words:** *Ficus microcarpa*; photosynthesis; chlorophyll fluorescence; protective enzyme activity.

\* 福建省科技重大专项(2007SZ08010053)和福建省科技创新平台建设项目(2008N2003)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: luanmeilu@163.com

收稿日期: 2011-03-17 接受日期: 2011-07-06

目前市场上畅销的人参榕盆景实际上是以观赏块根为主的小叶榕(*Ficus microcarpa*),经过嫁接修剪造型,因根部膨大,形似人参而得名。近年来,人参榕生产发展很快,产品远销日本、韩国、新加坡、美国、澳大利亚等国家,被国外消费者称为“中国根”,是一个走向世界、具有中国品牌的花卉品种。福建省漳州地区是人参榕主要的生产基地,2004年种植面积达1600多 $\text{hm}^2$ ,年产1458万株(盆),年销售额超过2.34亿元,出口创汇220多万美元,出口量超过全国的80%(陆銮眉等,2010)。

在生产和栽培人参榕过程中需要消耗大量的水资源,为了提高干旱环境下的适应性和尽可能节省水资源,掌握人参榕的抗旱性和科学合理的水管理模式是生产企业迫切需要解决的问题。但目前有关人参榕的研究报道大多数为生产现状及经验的总结(韩娜等,2008),有关其生理特性的研究还鲜见报道(王莎等,2006),特别是与水分相关的研究还未见报道。植物的抗旱机理十分复杂,生长受限理论认为,低温(Körner,2003)和干旱(Würth *et al.*, 2005)等胁迫并没有限制光合生产,主要是限制细胞分裂和新组织形成而导致植物生长受限。因此,进一步测定分析人参榕生长指标与叶片光合生理指标的关系及其对环境胁迫的响应是很有意义的。本试验通过对不同水分条件下人参榕的叶绿素、脯氨酸、蛋白质、丙二醛含量、保护酶活性、细胞膜相对透性、叶片光合特性和荧光参数等指标的测定,分析不同水分处理对人参榕生长和生理的影响,为理解人参榕对干旱胁迫的响应机制提供理论基础,同时筛选出科学的水管理模式,为花卉企业、农户栽培生产提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地

试验地选在漳州师范学院生物系植物园大埔里。漳州西北多山,东南濒海,属南亚热带季风气候,年平均温度 $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,无霜期330d左右,年平均日照在2000h以上。

### 1.2 材料的选择

试验于2009年9月1日—2010年5月25日进行。供试植株购自星运园艺有限公司。挑选生长健壮、无病虫害、大小相近的3年生植株盆栽人参榕,每盆单株种植,盆的口径为10cm,盆高8cm,基质为椰糠与珍珠岩8:2的混合基质。摆放在盖50%

遮光网的塑料大棚内培养。

### 1.3 试验设计

水分处理分为以下5个处理: $T_1$  40ml自来水(基质最大含水量的90%~100%); $T_2$  32ml自来水(基质最大含水量的70%~80%); $T_3$  24ml自来水(基质最大含水量的50%~60%); $T_4$  16ml自来水(基质最大含水量的30%~40%); $T_5$  8ml自来水(基质最大含水量的10%~20%)。每个处理设5个重复。基质最大田间持水量的测定采用环刀法。于2009年9月4日在基质含水量达到设定要求后,试验期间每天17:00时用称重法控制基质水分含量,使各处理保持在设定的含水量。

### 1.4 植株生长指标的测定

于2009年9月4日和2010年5月24日分别测定植株的株高、冠幅和最大块根直径。株高测定用直尺测量,从地径处量至苗高最高点,读数精确到1cm。最大块根直径用游标卡尺测量,读数精确到0.01mm。冠幅用直尺测量植株冠幅东西向和南北向的长度,读数精确到1cm,取其平均值。于2010年5月23—24日,取植株的成熟叶片,进行生理生化指标的测定。

### 1.5 生理生化指标的测定

**1.5.1 叶绿素含量测定** 选取每棵植株上的成熟叶1~2片,称重、剪碎,在抽提液中(乙醇:丙酮:水=4.5:4.5:1)避光浸泡1d后,取浸出液采用分光光度法测定OD值(李合生等,2000)。

**1.5.2 叶片离子渗漏率测定** 采用电导仪测定叶浸出液电导率(李合生等,2000)。

**1.5.3 叶片酶活性测定** 超氧化物歧化酶SOD活性(NBT光照化学还原法)、过氧化物酶POD活性(愈伤木酚氧化法)(李合生等,2000)。

**1.5.4 丙二醛MDA含量的测定** 采用硫代巴比妥酸(TBA)显色法(李合生等,2000)。

**1.5.5 可溶性蛋白质含量测定** 采用考马斯亮蓝G-250法(李合生等,2000)。

**1.5.6 叶片脯氨酸含量测定** 采用酸性茚三酮法(李合生等,2000)。

**1.5.7 叶片的光合作用特性** 选取每棵植株上的成熟叶3~5片作为平行样。于5月24日9:00—11:00温度较为稳定的时段,利用LI-6400型(美国)光合作用测定系统测量净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ )、叶温下蒸汽压亏缺(VPD),同时计算叶片水分利用率

表1 不同水分处理对人参榕形态器官变化的影响

Table 1 Effects of different water stress on the growth of *Ficus microcarpa*

处理	含水量(%)	冠幅增量(cm)	株高增量(cm)	块根直径增量(mm)
T <sub>1</sub>	90~100	3.89±0.06 c	4.45±0.03 bc	0.15±0.01 bc
T <sub>2</sub>	70~80	4.23±0.02 d	4.55±0.03 c	0.16±0.01 c
T <sub>3</sub>	50~60	3.72±0.05 b	4.44±0.04 bc	0.13±0.01 abc
T <sub>4</sub>	30~40	3.68±0.05 b	4.39±0.04 ab	0.12±0.01 ab
T <sub>5</sub>	10~20	3.36±0.06 a	4.31±0.02 a	0.10±0.01 a

数值为平均值±标准差(n=5);同列的数值间不同字母表示差异显著(P<0.05)。

(WUE,为瞬时净光合速率与蒸腾速率的比值),每片叶的测定值作5次记录,取平均值。在同一叶片,利用便携式荧光系统(PAM-2100,USA)测定叶绿素荧光参数。

### 1.6 数据分析

用SPSS 13.0统计软件包(美国)对实验数据进行单因素方差分析,采用最小显著差法(LSD)对植物进行种间多重比较并进行相关分析。用Sigma-Plot 10.0科学绘图软件包(美国)制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水分处理对人参榕形态器官变化的影响

随着基质水分减少,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>的冠幅、株高和块根增量均呈下降趋势(表1),其中T<sub>2</sub>增量最高,显著性分析表明与其他处理差异极显著。

### 2.2 不同水分处理对人参榕叶片膜相对透性(离子渗漏率)和丙二醛含量的影响

不同水分处理的人参榕膜相对透性各不相同(图1)随着水分胁迫程度的加强,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>的膜相对透性均呈增强趋势,其中T<sub>5</sub>最高,T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>最低。显著性分析表明,除T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>间差异不显著外,其他处理之间均呈极显著性差异。

从图1可以看出,在不同水分处理条件下,人参榕的MDA含量随着水分胁迫的强度增强而增加,其中T<sub>5</sub>含量最高,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>含量最低。显著性分析表明,除T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>间、T<sub>1</sub>和T<sub>4</sub>间差异不显著外,其他处理之间呈均极显著性差异。

### 2.3 不同水分处理对人参榕叶片POD、SOD活性的影响

随着基质水分减少,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>的SOD活性均呈增强趋势(图2),其中T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>活性最强,T<sub>2</sub>活性最弱,显著性分析表明与其他处理差异极显著。而5种处理的POD活性各异,随着基质水分减少,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>的POD活性均呈增强趋势,其中T<sub>5</sub>活性最强,T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>活性最弱,显著性分析表明与其他处理

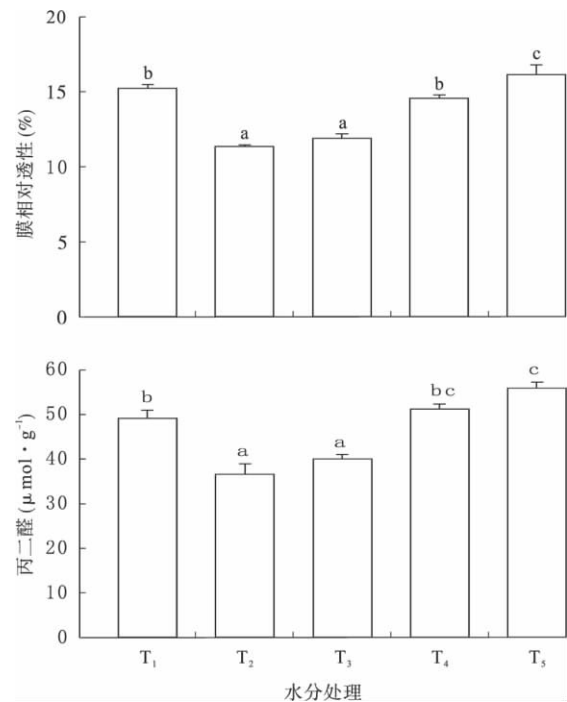


图1 不同水分处理对人参榕膜透性和MDA含量的影响  
Fig.1 Effect of water stress on electric conductivity and MDA content of *Ficus microcarpa*

差异极显著。

### 2.4 不同水分处理对人参榕叶片脯氨酸(Pro)和可溶性蛋白质含量的影响

不同水分处理的人参榕脯氨酸含量各不相同(图3)随着基质水分减少,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>的脯氨酸含量均呈增加趋势,其中T<sub>5</sub>含量最高,T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>含量最低。显著性分析表明,除T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>和T<sub>4</sub>差异不显著外,其他处理之间呈均极显著性差异。由图3可知,不同水分处理的人参榕可溶性蛋白质含量差异不显著。

### 2.5 不同水分处理对人参榕叶片叶绿素含量的影响

从图4可以看出,人参榕树的叶绿素含量因基质水分不同而变化,显著性分析表明,除T<sub>2</sub>和T<sub>5</sub>差异极显著,其他处理之间差异不显著。

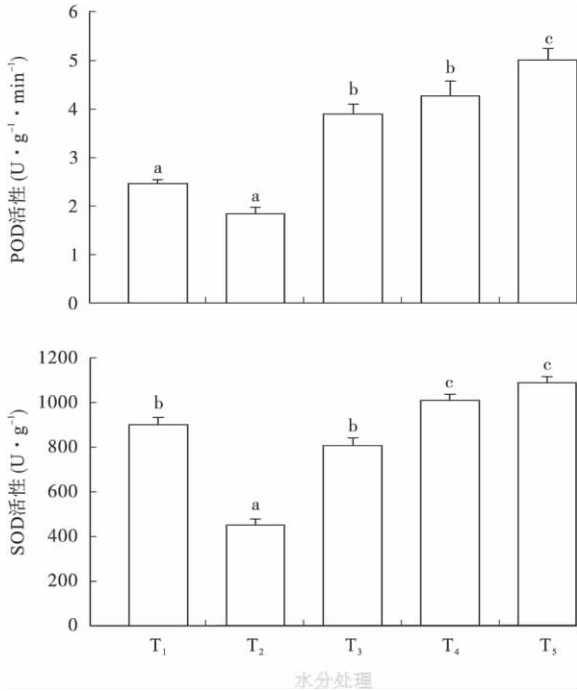


图2 不同水分处理对人参榕 POD 和 SOD 活性的影响  
Fig.2 Effect of water stress on POD and SOD activity of *Ficus microcarpa*

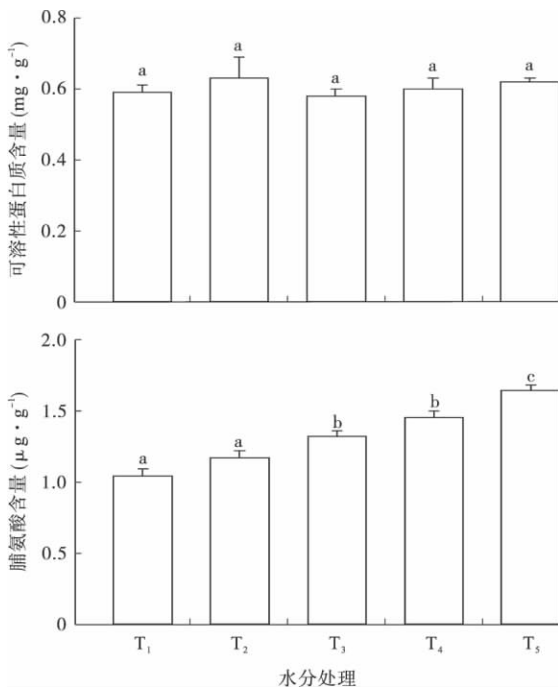


图3 不同水分处理对人参榕脯氨酸(Pro)和可溶性蛋白质含量的影响  
Fig.3 Effect of water stress on proline and soluble protein content of *Ficus microcarpa*

2.6 不同水分处理对人参榕叶片光合作用特性的影响

随着基质水分减少,各处理的  $P_n$  呈降低趋势,

其中  $T_5$  最低(图4);同时,随着基质水分减少,各处理的  $T_r$  呈降低趋势,其中  $T_5$  最低(图5)。但是,水分利用率则随着基质水分减少而增加,在  $T_5$  达到最高(图5)。由图6可知,不同水分处理的人参榕最小荧光  $F_0$  和最大光量子效率  $F_v/F_m$  差异不显著。

2.7 不同水分处理下人参榕生长与部分生理指标的相关分析

从表2可看出,冠幅增量与株高、根径增量呈极显著正相关,与MDA、 $P_n$ 、 $T_r$ 呈显著正相关,与脯氨酸含量呈显著负相关;株高增量与根径增量、MDA、 $P_n$ 、 $T_r$ 呈显著正相关,与脯氨酸含量呈显著负相关;根径增量与 $T_r$ 呈极显著正相关,与 $P_n$ 呈显著正相

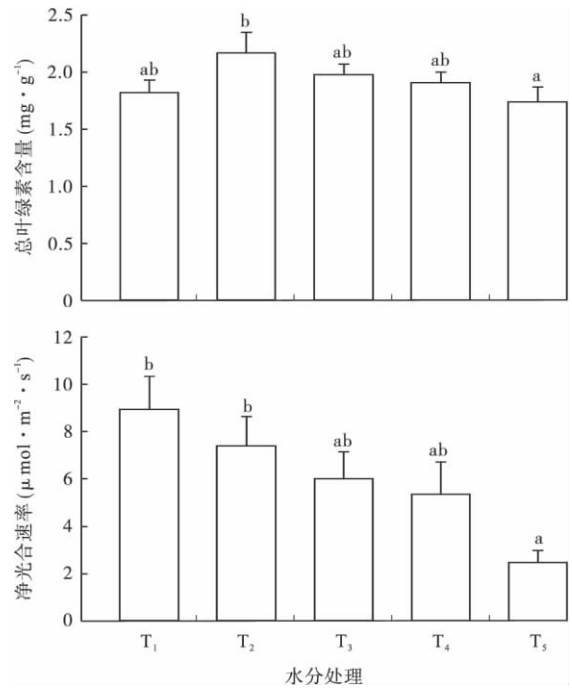


图4 不同水分处理对人参榕叶绿素含量和净光合速率  $P_n$  的影响  
Fig.4 Effect of water stress on Chl(a+b) content and  $P_n$  of *Ficus microcarpa*

表2 人参榕6个指标的相关分析  
Table 2 Correlation analysis of six indices of *Ficus microcarpa*

指标	冠幅增量	株高增量	根径增量	Pro	$P_n$
株高增量	0.96**				
根径增量	0.92**	0.87*			
MDA	0.64*	0.82*	0.53*		
Pro	-0.68*	-0.63*	-0.89*		
$P_n$	0.67*	0.61*	0.86*	-0.98**	
$T_r$	0.77*	0.69*	0.93**	-0.97**	0.98**

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ 。

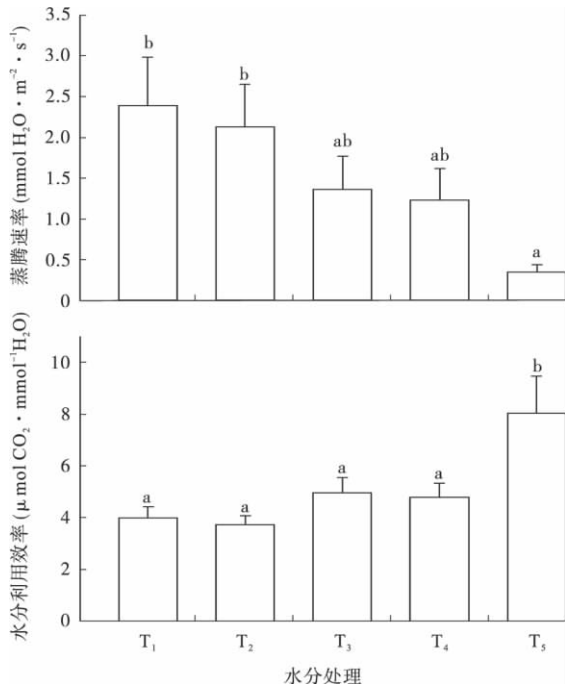


图5 不同水分处理对人参榕蒸腾速率  $T_r$  和水分利用率 WUE 的影响

Fig.5 Effect of water stress on  $T_r$  and WUE of *Ficus microcarpa*

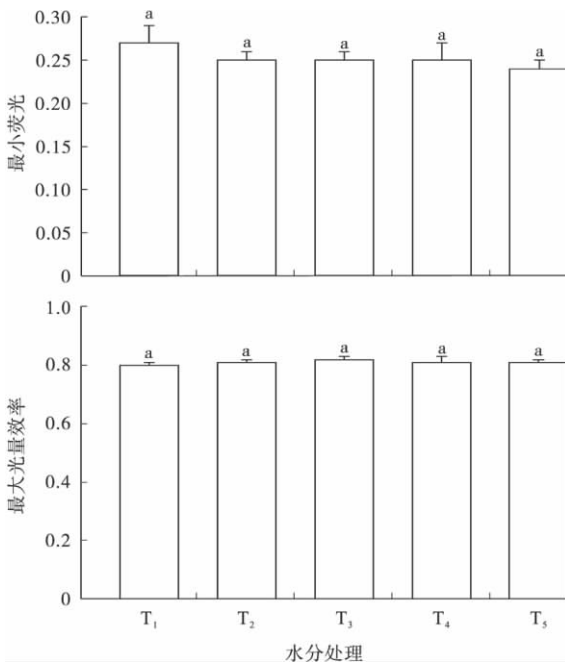


图6 不同水分处理对人参榕最小荧光合最大光量子效率的影响

Fig.6 Effect of water stress on  $F_0$  and  $F_v/F_m$  of *Ficus microcarpa*

关,与脯氨酸含量呈显著负相关。这说明,人参榕的生长与其内部生理特性是密切相关的。

### 3 讨论

植物体内脯氨酸成倍增加保持了细胞与环境渗透平衡,防止了植物体水分散失,还有可能直接影响体内蛋白质的稳定性。水分胁迫下,脯氨酸积累既取决于植物体内的水分变化,同时也与植物体内存在的抗旱机制有关(彭志红等,2003),脯氨酸在干旱环境中具有较高的含量(徐世健等,2000),这与本试验结果一致,试验中人参榕叶片的脯氨酸含量随着基质水分减少而增加,尤其是  $T_5$  的含量最高。相关性分析表明,脯氨酸含量与冠幅、株高、根径增量呈显著负相关,但渗透调节物质脯氨酸含量的变化究竟是适应性生理代谢反应,抑或是细胞伤害的生理表现,还须深入研究。

水分胁迫能导致细胞内物质的外渗和膜透性的增大,膜透性的大小反映了膜的稳定性和植物组织受损伤的程度(刘彦琴等,1997)。在试验中人参榕叶片的膜相对透性随着基质水分减少的加强而增大, $T_5$  其膜相对透性最大,其中  $T_1$  和  $T_4$  时其膜相对透性也极显著地比  $T_2$  高。许多研究指出:当植物处于各种逆境胁迫时,细胞内自由基产生和清除之间的平衡受到破坏而出现自由基的累积,在细胞缺乏保护机制时,它们可能对细胞结构和功能产生不同伤害(曹慧等,2003; Blanke *et al.*, 2004)。水分胁迫下植物体内 SOD、POD、CAT 的活性上升。这与本试验结果一致,在试验中  $T_3$  至  $T_5$  叶片的 SOD、POD 活性随着基质水分减少而增强,其中  $T_1$  的活性也比  $T_2$  高,说明  $T_1$  水量偏多,致使植株处在湿害逆境中,而  $T_4$  和  $T_5$  处在干旱逆境中,生产中不宜采用这3种浇水方式。

植物为了抵御或适应干旱,在生长发育过程中会发生一系列的生理生化变化。在干旱胁迫下可溶性蛋白质含量下降,原因是在干旱胁迫下,水解酶活性增强,导致蛋白质降解(孙存华等,2007)。植物在受到干旱胁迫时,原来一些蛋白的合成受到抑制,体内总蛋白的合成速率下降,同时,又合成一些新的蛋白质,即干旱诱导蛋白。干旱诱导蛋白在植物对逆境的适应过程中起重要的保护作用,可以提高植物对干旱的耐胁迫能力(姚立新等,2009)。本试验中各处理的人参榕可溶性蛋白含量差异不显著,可能是由于人参榕有较强的耐胁迫能力,在逆境胁迫条件下诱导新的蛋白质合成,并参与细胞的渗透调节以及促使保护酶和渗透调节物质合成酶活性增

加,最终使总可溶性蛋白质含量升高。

本研究表明,随着基质水分减少,各处理人参榕叶片的净光合速率、蒸腾速率呈降低趋势,其中 $T_5$ 最低;而各处理的水分利用效率呈增加趋势,其中 $T_5$ 最高。但各处理的最小荧光 $F_0$ 和最大光量子效率 $F_v/F_m$ 差异并不显著,表明这5种处理还没有对人参榕植株叶片的PSII反应中心构成威胁,其PSII光化学效率也没有受到明显的抑制作用,说明干旱胁迫并没有限制人参榕的光合生产,它的冠幅、株高、根径增量变小可能是由于水分不足影响了细胞分裂和伸长而导致植株生长受限,具体有待于进一步深入研究。本研究支持Körner(2003)和Würth等(2005)提出的生长受限理论,认为生长受限理论是人参榕抗旱的主要机理。在试验中 $T_1$ 的净光合速率最高,但与 $T_2$ 的净光合速率差异不显著,其株高、冠幅、块根增量均比 $T_2$ 小,可能是由于 $T_1$ 处在轻微湿害逆境中,生长受阻。在水分干旱逆境下,由于人参榕植株净光合速率降低、渗透调节能耗和维持生长能耗增加等原因,导致植株生长量减少,致使人参榕株高、冠幅、块根增量均呈下降趋势。

在各处理中, $T_2$ 的人参榕叶片的细胞膜相对透性和保护酶活性最弱,脯氨酸和丙二醛含量最低,净光合速率高,它的株高、冠幅和最大块根直径增量最大,长势最好。 $T_5$ 的人参榕膜相对透性最大,保护酶活性最强,脯氨酸和丙二醛含量最高,净光合速率最低,表现为干旱的胁迫影响了生长,它的株高、冠幅和最大块根直径增量最小,长势最差。综合各项形态学和生理指标, $T_2$ (基质水分保持在最大含水量的70%~80%)是人参榕种植效果最好的水分管理模式。

#### 参考文献

曹慧,韩振海,许雪峰. 2003. 水分胁迫下对苹果属植物叶

片叶绿素降解的膜脂过氧化损伤作用. 中国农业科学, 36(10): 1191-1195.

韩娜,潘东明. 2008. 人参榕研究进展. 亚热带植物科学, 37(1): 82-84.

李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.

刘彦琴,张丰雪,杨敏生. 1997. 电导率在白杨杂种无性系耐旱性鉴定中的应用. 河北林果研究, 12(4): 301-305.

陆奎眉,沈林洪,王梅荣. 2010. 栽培基质对小叶榕块根生长的影响. 中国土壤与肥料, (2): 71-74.

彭志红,彭克勤,胡家金,等. 2002. 渗透胁迫下植物脯氨酸积累的研究进展. 中国农学通报, 18(4): 80-83.

孙存华,李扬,贺鸿雁,等. 2007. PEG6000渗透胁迫对黎幼苗叶片渗透调节物质的影响. 安徽农业科学, 35(25): 7784-7786.

王莎,赵林森. 2006. 昆明市区小叶榕对冬季非节律性低温的生理反应. 林业调查规划, 31(5): 110-113.

徐世健,安黎哲,冯虎元,等. 2000. 两种沙生植物抗旱生理指标的比较研究. 西北植物学报, 20(2): 224-228.

姚立新,朱锐,马雯彦,等. 2009. 植物抗旱、抗寒性鉴定与生理生化机理研究进展. 安徽农业科学, 37(25): 11864-11866.

Blanke MM, Cooke DT. 2004. Effects of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stolons and leaves. *Plant Growth Regulation*, 42: 153-160.

Körner C. 2003. Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology*, 91: 4-17.

Würth MKR, Pelaez-Riedl S, Wright SJ, et al. 2005. Non-structural carbohydrate pools in a tropical forest. *Oecologia*, 143: 11-24.

作者简介 陆奎眉,女,1968年生,教授级高级农艺师。主要从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail: luanmeilu@163.com

责任编辑 李凤芹