

台湾中低海拔乡土植物在逆境下之生长活力研究

张俊斌<sup>1</sup>, 陈意昌<sup>2</sup>, 林信辉<sup>1</sup>, 陈芳琼<sup>1</sup>

(1 台湾中兴大学水土保持学系, 台中市 402; 2 台湾“内政部土地重划工程局”)

摘 要: 选取乌心石、肖楠及大叶楠三种台湾中低海拔乡土树种之二年生苗木为供试材料, 测定植物对主要环境因子变化之反应, 并特别对经干旱驯化后植物之形态与生理之反应, 及连续缺水情形下植物叶片萤光测值之变化进行探讨。对不同光度的反应结果得知, 乌心石及肖楠在光度  $300\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时, 其净光合成率仍为光度  $700\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时之 96% 及 92.7%, 显示其较能适应于低光度下, 较具耐荫性。三种苗木之光合最适温度, 乌心石与肖楠约为 30 , 而大叶楠约为 32 , 均属一般热带 C3 型植物之特性。经三个月干旱驯化后之苗木树高增量及地径增量均明显低于对照组, 而肖楠及乌心石驯化组植物根茎比及比叶重亦有明显增加情形, 表现出形态上适应干旱的现象, 而较具耐旱性。驯化处理后之苗木在断水过程中均能在较高的水分应力下维持较高的光合成率, 呈现较强的耐旱性。而肖楠驯化组之气孔导度明显低于对照组, 显示肖楠对缺水逆境产生适应, 能避免因过多失水而造成生理障碍。细胞间隙二氧化碳浓度与外界二氧化碳浓度比值 ( $C_i/C_a$ ) 值变化得知, 三种苗木驯化组测值均小于对照组, 显示历经驯化后植株有增加其气孔因子影响光合成率的现象。虽然遭遇水分逆境, 使其光合成率下降, 但驯化组苗木仍能维持较高的用水效率。植物叶片各萤光测值对连续缺水情况有不同的反应变化, 最小萤光量  $F_o$  值维持不变, 最大萤光量  $F_m$  值随断水天数的增加而下降, 而最适光量子收获量 ( $F_v/F_m$ ) 值主要是受  $F_m$  值的影响; 其次, 在照光下, 各萤光测值最小萤光量  $F_o$ 、最大萤光量  $F_m$ 、测值  $F_t$  及有效光量子收获量  $Yield$  值均呈下降的趋势, 光化学消减值  $Q_P$  随断水天数的增加而下降; 非光化学消减值  $Q_n$  则呈上升后再下降的现象。此不同种间反应差异, 可做为耐性与活力指针上之判断参据。

关键词: 乡土植物、逆境、生长活力

中图分类号: S 796      文章编号: A      文标识码: 1005-3409(2002)03-0136-10

Study on the Growth Activity Responses of  
Three Native Trees to Stress for Middle and Low Elevation in Taiwan

ZHANG Jun-bin<sup>1</sup>, CHEN Yi-chang<sup>2</sup>, LIN Xin-hui<sup>1</sup>, CHEN Fang-qiong<sup>1</sup>

(1 Department of Soil and Water Conservation, Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, China;

2 "Land Consolidation Engineering Bureau, Ministry of Interior Affairs", Taiwan 402, China)

**Abstract:** Three native trees, Formosan Michelia, Taiwan Incense-cedar and Large-leaved Nanmu, were chosen to test their physiological responses to different environmental stresses, including drought stress. Responses of photosynthetic gas exchange and chlorophyll fluorescence following drought acclimation were measured to understand the adaptative responses to water stress. According to the photosynthetic responses to irradiance, Formosan Michelia and Taiwan Incense-cedar had higher photosynthetic rates at low light intensity than Large-leaved Nanmu. In addition, Large-leaved Nanmu was more sensitive to light intensity. The photosynthesis optimum temperature was 30 for Formosan Michelia and Taiwan Incense-cedar and 32 for Large-leaved Nanmu. After three months of the drought acclimation treatment, trees of Taiwan Incense-cedar and Formosan Michelia were better able to acclimate in morphology including height, ground diameter, root:shoot ratio and specific leaf weight. During water withholding treatment, acclimated trees that displayed higher photosynthetic capacity under high soil water potential were more drought resistant. The  $C_i/C_a$  ratios of acclimated trees were lower than those of controls. This implied that stomatal regulation of photosynthesis in acclimated trees was important in controlling the

<sup>1</sup> 收稿日期: 2002-02-02  
作者简介: 张俊斌, 男, 台湾中兴大学水土保持学系 博士候选人; 陈意昌, 台湾“内政部土地重划工程局工程司”; 林信辉, 台湾中兴大学水土保持学系教授; 陈芳琼, 台湾中兴大学水土保持学系硕士。

photosynthetic rate. The leaf conductance of acclimated Taiwan Incense-cedar was lower than the controllable which showed a greater adaptive response to water stress.

**Key words:** native plant; stress; growth activity

## 1 前 言

台湾地区在中低海拔的阔叶林中, 可供为绿化植栽的木本植物虽多, 惟对各乡土树种的基本生理特性较缺乏了解而无法作提供水土保持及生态绿化上之植生参考, 且近年来利用乡土树种为基本素材的观念, 逐渐受到重视。因此, 乡土植物之逆境反应与生态价值, 为水土保持植栽成败之重要依据。

影响植物生长发育的因子有许多, 除植物本身遗传因子外, 外界的环境条件对植物生长及生理的反应影响更大, 植物本身也常因环境因子的变动而改变其生理及生长的反应以适应环境。Levitt(1980)将植物对逆境之反应分为弹性反应及塑性反应两种, 前者在应力消失后将恢复原来之生理作用, 而后者对植物则造成永久性的伤害。而在探讨逆境对植物生长与生理反应时, 常以二氧化碳消耗速率、氧气释放量、叶绿素荧光反应、叶绿素含量及生长速率等做为植物对逆境反应之指针参数(Bolha`r et al., 1989; 小桥澄治等, 1985; 林与章, 1994)。

光合作用为物质生产的基础, 且在环境因子中对于光合作用影响最直接者为水分, Ritchie and Shula(1984), 陈与蔡(1983)等也指出水分状况对光合作用的影响。气孔为大气中二氧化碳及水气进出叶片的主要信道。当植物自土壤吸收的水分不足蒸散作用之散失时, 则需耗用体内贮存之水分以补充, 而使植物体产生缺水现象, 气孔为减少水分之继续散失而关闭, 是阻止植物体内水分散失的主要机制。多篇报告亦认为气孔的关闭是光合作用降低的主要原因(Krampitz et al. 1984; Kramer, 1983)。

植物的用水效率是指二氧化碳固定量与水分蒸散之比值。植物处于水分应力下气孔部分闭合对二氧化碳固定虽然不利, 但相对的能够有效防止水分由叶片蒸散, 叶片能维持较高的水分状态以进行各项生理活动。因此, 植物如有较高的用水效率将有利于植物之生存。郭(1994)认为植物的用水效率因环境因子的变化而调整, 渐近式适度的水分逆境可提高用水效率, 但遭严重的水分逆境时其用水效率反而降低。水分缺乏对于植物生长机能有着不同的伤害程度, 对于植物地上部茎叶的影响较地下部严重, 且其两者比值上的差异可以视为植物对干旱适应性的表现。植物在形态结构和生理上有多方面适应干旱的方式, 遭受缺水时在生理上发生显著的改变, 在地上部最常见的为叶片脱落或叶面积的减少以减少水分的损失(郭, 1992), 或叶表具厚角质层及改变叶片排列角度等, 而在根部方面则借着深或广的根系以增加吸水。藉渗透压调节、改变根系与地上部比例及具储水组织等方面以增加耐旱力(Rieger and Duemmel, 1992)。

叶绿素荧光释放量的测定已广泛地应用在田间试验上,

萤光释放量被当做光合作用系统的探针, 其应用的理论根据, 在于植物体内萤光释放量和碳的同化作用及叶片气体交换有密切的相关性。近年来, 萤光测定更用来探讨逆境伤害对植物影响时光合作用的表现上, 如水分逆境、高温逆境、盐害及空气污染等。Krause and Weis(1984)指出作物遭受逆境时, 光合作用速率下降, 萤光将会增加。萤光释放量可代表叶绿体光化反应中整个电子传递过程从水的氧化至NADP被还原是否顺畅, 由测得各种不同萤光值的改变, 将可推算逆境对光合作用影响的程度。而萤光释放曲线主要可分二部分来探讨即快相及慢相, 在快相的萤光参数中最常被用到的为可变萤光值和最大萤光量的比值( $F_v/F_m$ ), Schreiber and Bilger(1993)认为其值可做为光系统II(PSII)反应中心的最适光量子收获量。Baker(1991)指出PSII在叶片光合成作用遭受环境逆境时扮演一重要角色。

另外, 在探讨逆境伤害时常探讨萤光消减分析, 所谓消减是指在固定光度下叶绿素萤光的减少部分, 主要为光化学消减( $Q_p$ )及非光化学消减( $Q_n$ )。萤光消减分析的主要目地在帮助了解逆境影响的部位。一般而言,  $Q_n$ 值随逆境的开始而增加, 但最后会随逆境的日益严重而下降; 而 $Q_p$ 值通常会随逆境的增加而下降(Mohammed et al., 1995)。卢等(1994)认为水分逆境对PSII的损害部位不仅在氧化侧, 也可能在反应中心上。另一参数为有效光量子收获量 $Yield$ , 多篇报告指出 $Yield$ 比 $F_v/F_m$ 更能反应出光合作用光量子收获量(Genty et al., 1989; Schreiber and Bilger, 1993), 而且其测定方法更为快速及简单, 不须先前的暗处理时间。

因此, 本文特针对三种台湾原生乡土树种乌心石、台湾肖楠及大叶楠对水分逆境的反应进行初步探讨, 试验项目包括植物对主要环境因子(光度、温度)的反应、干旱驯化适应性及叶绿素萤光反应等。希冀所得结果可供为植生绿化之参据。

## 2 试验材料、项目与方法

### 2.1 供试植物材料

本研究主要供试植物为乌心石、台湾肖楠及大叶楠三种乡土原生植物, 而今在生态绿化上渐被采用。乌心石 *Michela compressa* (Maxim.) Sargent, 英名 Formosan michelia; 台湾肖楠 *Calocedrus Formosana*(Florin) florin., 英名 Taiwan incense-cedar; 大叶楠 *Machilus kusanoi* Hay., 英名 Large-leaved nanmu。此三种植物为台湾近来推广之绿化树种之一, 不仅在矿区绿化之平台缓坡上也普遍栽植, 更具水土保持绿美化及边坡稳定之效。

### 2.2 供试验项目与方法

2.2.1 光合成气体交换对主要环境因子之反应试验 采用美国 DDG 公司之 PAC9900 光合成控制系统, 测定时, 除试

验所需控制的变因外,维持同化箱相对湿度为 60%,叶温 30 , CO<sub>2</sub> 浓度 360 mg/kg,光度为 700 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>。对不同光度之反应部分,于同化箱上方以不同密度之白纱网遮盖,藉以调整光度。供试植物在各光度下放置约 30 min 后始测定,光度由零开始逐渐增加至光度至 1 500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>。对不同温度之反应部分,将叶片温度控制在 20 ~ 40 范围,每 5 为一等级,测定各温度下之净光合率及蒸散率。供试植物在各温度下放置约 30 min 适应后始测定。

2.2.2 干旱驯化处理试验 选取植株生长相似,断水处理组及对照组苗木各二株进行干旱驯化试验。断水处理进行时,各树种对照组苗木每隔一天充分浇水,断水处理组苗木在充分浇水后即不再浇水,并避免雨水淋湿。试验开始后每隔一天于上午 9 时至 12 时测定其净光合率、蒸散率及气孔导度等之变化情形,致净光合率趋于零为止,便结束该次断水处理,将处理组苗木复给予充分浇水,开始另一循环之断水处理。驯化试验总计进行约 3 个月。在净光合率与气孔导度之测定部分,采用美国 LI-COR 公司之 LI-6200 型携带式光合成蒸散测定仪进行室内试验,并以一人工光源提供稳定之光度,光源为东亚公司 M 1000 型 1 000 W 之水银灯,透过一流动式水槽以减低照光时灯泡所产生的热量,其光合成有效日照量最大可达 1400 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>。测定时先输入测定室内叶面积大小,调整适量的空气流量使测定室内的相对湿度达到稳定,并控制大气二氧化碳浓度在 360 mg/kg 左右;土壤水分潜势之测定部分则以美国 Wescor 公司之 HR-33T 型之 Dew Point Microvoltmeter 测定水势计(Psychrometer)之露点微电压与渗透潜势(OP)关系曲线,经由 OP= - MIRT = - W/M IRT 公式可得渗透潜势与重量摩尔浓度的关系。其测定程序先以打孔器取下直径 0.6 cm 的滤纸沾湿不同浓度的 NaCl 溶液(0 M ~ 1 M),置入 Wescor C-52 的样品室(Sample Chamber)内,静置约 10 min,测露点微电压及露点温度,测值经下式温度校正后,即可得露点微电压和水分潜势的标准曲线,以计算水分潜势。土壤水分潜势之测定,即取适量的土壤约样品室的 8 分满置于样品室内,静置约 40 min,待其湿度达到平衡后测其露点微电压及露点温度,经温度校正后依标准曲线计算土壤水分潜势;而叶绿素荧光值测定,采用德国 WALZ 公司制叶绿素荧光仪 PAM-2000 配合计算机软件 DA-2000 测定植物之叶片荧光测值,该仪器属可变式荧光光度计(Modulated Fluorescence System),利用一可变光配合增幅器及滤光器做为荧光检测系统如图 1 所示,在测定时只检测该频率该状态的可变光,如此即能有有效的隔绝外界的光线来源,而能在日光下检测叶绿素荧光释放情形。可用于测定荧光释放曲线各参数值  $F_0$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F$ 、 $F_m/F$  (Yield),化学消减( $Q_p$ )、非光化学消减( $Q_n$ )与有效光量子收获量(Yield)及电子传递速率(ETR)值。在生长分析之量测部分,则以盆栽植物于驯化试验完毕后,将植物取下洗根后,并以德国制之 Memmert Ulm400 型烤箱进行干燥作业,以

85 热风温度干燥 48 h 后,待其降至室温时,以测其地上部及地下部干重,并计算根茎比。

2.2.3 连续缺水状况下荧光值变化 为了解连续缺水状况下各荧光值之变化情形,特将三种苗木进行连续断水试验,每隔一天利用叶绿素荧光仪 PAM-2000 测定各荧光参数值,方法如前述。并进行土壤水分潜势的测定。

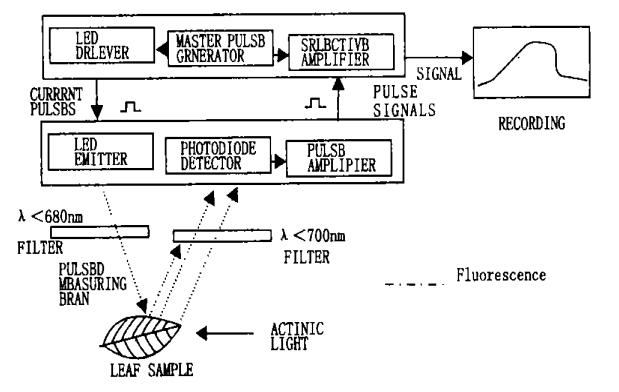


图 1 叶绿素荧光检测系统示意图

### 3 结果与讨论

#### 3.1 光合成气体交换对主要环境因子之反应

3.1.1 对不同光度的反应 以光度为 700 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>、叶温 30 及相对湿度 60% 所测得之净光合率及气孔导度值定为 100,其它不同光度下之测值换算成其百分率。三种苗木对不同光度之试验结果如表 1 所示,由表可知,三种苗木净光合率测值随光度的增加而有增加的趋势,但在光度 700 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>之后,各测值却有下降的情形发生,这种现象和 Marshall & Biscoe(1980)所提出一般 C3 型植物之光 - 光合成曲线呈双曲线反应模式不同,其原因可能在于盆栽苗木种植于网室内,长期光度较低,光度范围约从 0 ~ 1 500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>,和外界自然环境下超过 2 000 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>以上不同,造成植物光适应之改变。三种苗木中以乌心石及肖楠较能适应于低光度下,光度 300 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>时其净光合率仍为 700 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>时的 96% 与 92.7%,而大叶楠仅有 76.3% 左右而已。其中乌心石净光合率对光度的反应最为平缓,而以大叶楠净光合率受光度的影响较大。其中气孔导度对不同光度的反应如表 2 所示,三种苗木之气孔导度变化值与净光合率变化之情形大致相同。所不同的是净光合率的变化较气孔导度之变化情形大。Kanpp 等(1987)也曾指出净光合率对光度的反应较气孔导度快速。在气孔导度对光度的反应中,以乌心石在低光度下的变化情形最不明显,在光度约 100 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>时,其净光合率仅只有光度 700 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>时的 70.2%,然其气孔导度却维持在 96.8%,显示在低光度下,乌心石净光合率的降低受非气孔因子影响较大。三种苗木的气孔导度变化值乌心石约在 0.094 ~ 0.073 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>,肖楠约在 0.105 ~ 0.075 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>,而以大叶楠变化最大约为 0.110 ~ 0.039 μ

mol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 显示光度的大小对大叶楠气孔导度值影响极大。

表 1 叶片净光合成率对不同光度的反应

植物种类	光度/(μmol · m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )							
	100	300	500	700	900	1100	1300	1500
乌心石	2.83±0.07 (70.2)	3.87±0.34 (96.0)	3.97±0.40 (98.5)	4.03±0.49 (100)	3.79±0.67 (94.0)	3.46±0.41 (85.9)	3.12±0.40 (77.4)	2.80±0.19 (69.5)
肖楠	3.30±0.31 (70.1)	4.33±0.06 (92.7)	4.41±0.02 (94.4)	4.67±0.14 (100)	4.01±0.37 (85.9)	3.75±0.28 (80.2)	3.20±0.20 (65.8)	2.77±0.26 (59.3)
大叶楠	2.05±0.31 (46.3)	3.38±0.01 (76.3)	4.11±0.31 (92.8)	4.43±0.39 (100)	3.23±0.31 (72.9)	2.64±0.16 (59.6)	2.49±0.18 (56.2)	2.34±0.12 (52.8)

( ) 内之数值皆以光度为 700 μmol · m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>之测值为 100, 各光度之测值换算成其百分率表示。

表 2 气孔导度对不同光度的反应

植物种类	光度/(μmol · m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )							
	100	300	500	700	900	1100	1300	1500
乌心石	0.091±0.016 (96.8)	0.089±0.013 (94.7)	0.090±0.020 (95.7)	0.094±0.014 (100)	0.086±0.015 (91.5)	0.082±0.012 (87.2)	0.078±0.010 (82.9)	0.073±0.007 (66.4)
肖楠	0.075±0.018 (71.4)	0.090±0.008 (85.7)	0.094±0.006 (89.5)	0.105±0.004 (100)	0.094±0.010 (89.5)	0.090±0.007 (85.7)	0.086±0.004 (81.9)	0.081±0.008 (77.1)
大叶楠	0.039±0.003 (35.5)	0.078±0.011 (70.9)	0.089±0.027 (80.9)	0.110±0.001 (100)	0.084±0.023 (76.4)	0.076±0.022 (69.1)	0.078±0.016 (70.9)	0.074±0.013 (67.3)

3.1.2 对不同温度的反应 为了解苗木对不同温度的反应, 设定仪器同化箱内不同的温度, 加以进行净光合成率及气孔导度值等之测定, 并控制同化箱内之光度约为 700 μmol · m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>左右, 由于同化箱参数设定, 温度设定最高只能达到 40 最低至 20 , 因此温度高于 40 或低于 20 时植株的变化情形便无从得知。三种苗木的净光合成率测值皆随温度的上升而增加, 但当温度达一特定温度时测值即不再上升而随即下降。就植物对温度的反应性而言, 在低温时植物之光合成作用因叶温增加而增加, 但温度高至一特定温度后净光合成率反而降低。一般而言, 光合作用与温度间呈现二次曲线之关系, 即低温时随温度增加光合成率亦增加, 但超过

适温后高温反而抑制光合作用。热带 C3 型植物适温约在 25 ~ 35 , 而 C4型植物约在 35 ~ 40 。三种苗木中乌心石及肖楠之最适温度约为 30 左右。在气孔导度对不同温度反应方面, 气孔导度变化情形和净光合成率相同, 上升至适温后即下降, 显示净光合成率的减少和气孔关闭有关。

3.2 干旱驯化处理

为了解三种苗木在历经干旱驯化后, 其生长反应的变化及遭遇断水时之生理反应, 遂进行干旱驯化处理试验达三个月, 总计乌心石及肖楠共历经 5 个循环而大叶楠则经过了 8 次的循环。于 3 个月, 将驯化组及对照组进行断水反应之比较试验, 所得结果。

表 3 干旱驯化处理对各苗木农艺性状之影响

植物种类	处理	地径增量 /cm	树高增量 /cm	地上部干重 /g	地下部干重 /g	根茎比	比叶重 /(mg · cm <sup>-2</sup> )
乌心石		0.31±0.06	1.10±0.18	11.81±0.19	7.65±1.15	0.65±0.09	10.54±0.54
		0.50±0.07	4.60±1.10	21.8±0.54	13.00±0.80	0.590.05	9.06±0.61
肖楠		0.14±0.01	2.23±1.08	25.25±5.23	16.70±0.80	0.69±0.12	19.13±0.94
		0.66±0.04	6.08±0.18	43.39±2.35	12.20±0.30	0.28±0.02	17.32±0.32
大叶楠		0.21±0.01	2.10±0.01	25.97±0.35	24.55±2.75	0.94±0.11	9.84±0.22
		0.43±0.07	5.25±0.50	30.04±1.93	27.70±0.10	0.93±0.06	10.38±0.07

: 表驯化组苗木, 表对照组苗木。

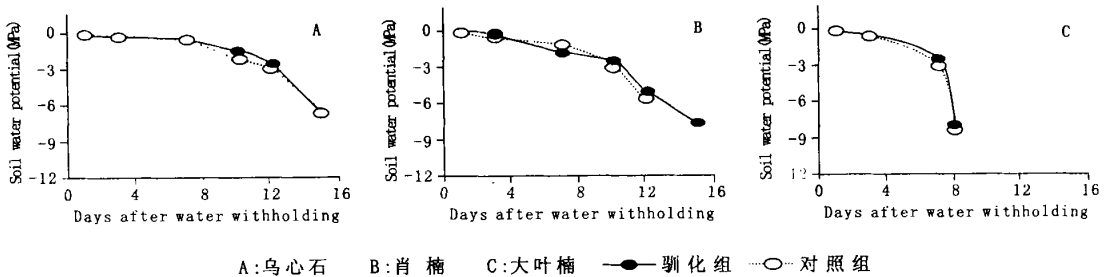


图 2 断水过程中土壤水分势之变化

3.2.1 干旱驯化对植物生长的影响 经三个月的驯化后,各驯化组苗木之地际直径增加量、树高增长量及地上部干重等均较对照组苗木显著降低(表 3),显示三种苗木之生物量累积均受水分逆境的抑制。其中以肖楠的变化最为明显,其驯化组地径增加量仅只有对照组的 21%。在根茎比及比叶重的测值上,肖楠及乌心石的测值均有增加的现象,此和郭(1992)对相思树苗木之研究上有相同的结果,但相反的大叶楠却未有此一趋势,在根茎比方面驯化组和对照组间没有差异,而其比叶重驯化组反而比对照组低,此影响机制尚待进一步的探讨。植物遭受缺水时,生理上会发生显著的改变;而形态上的表现更为明显,最常见的为叶片脱落或减少叶面积以减少水分的损失。而树高、地径及生物量的减少之生长抑制现象亦为植物缺水时常见的结果(Kozlowski, 1982),在此次的试验中也发现相同的结果。Rieger and Duemmel(1992)指出植物整体的抗旱机制上,可藉渗透压调节、根部与地上

部比率的改变及具储水组织等方面增加抗旱力。根据其生物量之累积及根茎比和比叶重的结果得知,本研究之三种乡土苗木中以肖楠对缺水的适应能力最大,较能适应循环式水分逆境,而大叶楠最差。

3.2.2 干旱驯化后植物对断水处理之生理反应 在土壤水分潜势方面,图 2 为断水处理期间土壤水分潜势的变化情形,由图显示土壤水分潜势值随天数之增加有下降的趋势。在断水初期三种苗木之驯化组和对照组间变化不明显。而随着断水天数的增加驯化组及对照组间差异愈加明显,一般而言,驯化组苗木具有较高的土壤水分潜势。由图可知,以大叶楠的变化最为快速,约经过 8 d 其土壤水分潜势即降至  $-7.5\text{ MPa}$ ,其净光合成率已降至零,而乌心石及肖楠则约需 15 d,显示大叶楠对水分的利用极为快速,较不能适应较干旱环境。

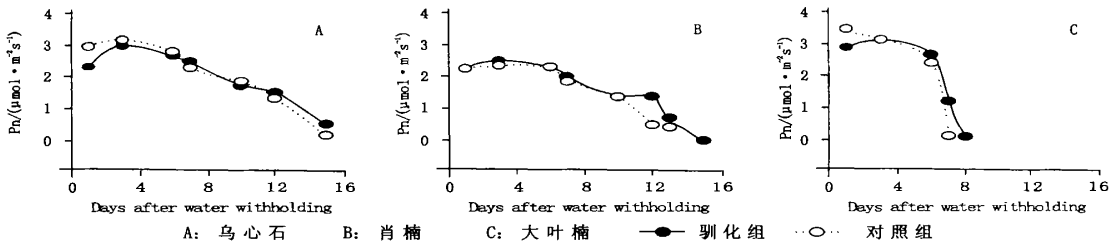


图 3 断水过程中叶片净光合成率之变化

表 4 断水过程中各供试植物之生理现象

树种	天数	SWP	Pn	gs	WUE	Fv/Fm	Yield
乌心石 ( )	1	- 0.02	2.32	0.059	1.752	0.728	0.220
	7	- 0.31	2.49	0.072	1.399	0.725	0.283
	12	- 2.05	1.51	0.057	1.505	0.709	0.176
	15	- 5.95	0.54	0.046	0.685	0.667	0.119
乌心石 ( )	1	- 0.08	2.95	0.071	1.624	0.735	0.263
	7	- 0.48	2.30	0.071	1.484	0.717	0.197
	12	- 2.45	1.36	0.053	1.283	0.672	0.119
	15	- 6.01	0.20	0.051	0.320	0.643	0.081
肖楠 ( )	1	- 0.02	2.29	0.031	2.405	0.740	0.264
	7	- 1.31	2.01	0.026	2.704	0.742	0.179
	12	- 4.45	1.42	0.023	2.928	0.709	0.136
	15	- 6.87	0.04	0.007	0.169	0.577	0.073
肖楠 ( )	1	- 0.01	2.27	0.043	1.841	0.739	0.217
	7	- 0.77	1.87	0.031	2.191	0.733	0.144
	12	- 5.01	0.54	0.019	0.870	0.653	0.091
大叶楠 ( )	1	- 0.12	2.95	0.067	1.890	0.710	0.211
	3	- 0.27	3.16	0.067	2.227	0.750	0.311
	7	- 2.09	1.25	0.025	1.653	0.712	0.178
	8	- 7.51	0.14	0.019	0.327	0.748	0.102
大叶楠 ( )	1	- 0.03	3.49	0.088	1.765	0.731	0.301
	3	- 0.32	3.19	0.078	1.727	0.756	0.330
	7	- 3.63	0.16	0.015	0.399	0.723	0.114

SWP 土壤水分潜势(MPa), Pn 叶片净光合成率( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), gs 叶片导度( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), WUE 叶片用水效率( $\mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ ), Fv/Fm 光系统 II 之最适光量子收率, Yield 光系统 II 之有效光量子收率。

而光合成特性及气孔导度之反应部分,在断水处理过程

中三种苗木之净光合成率均随断水天数的增加而降低,如图 3 所示,显示植物之净光合成率随土壤水分的降低而下降。大致上来说,驯化组苗木其净光合成率之变化在断水初期均较对照组低,显示三种苗木经干旱驯化后其净光合成率的大小均受水分逆境的抑制而降低,但随着天数的增加,土壤水分含量的日渐减少,驯化组苗木之净光合成率比对照组高,由图可知,经干旱驯化处理之苗木均能维持较高的净光合成率或较多的天数。由以上的结果可知,三种供试苗木在历经数个循环的水分逆境后,在生理上已有干旱驯化的现象,光合作用特性已有所调整以适应往后的水分逆境。由三种苗木之净光合成率变化可知,肖楠驯化组及对照组间之光合作用变化现象较乌心石及大叶楠明显。

在气孔导度方面,三种苗木之气孔导度测值也和净光合成率一样随土壤水分含量的减少而变小,且其变化趋势和净光合成率之变化颇为相似。气孔导度变化值乌心石为  $0.09 \sim 0.045\text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;肖楠为  $0.04 \sim 0.01\text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;而大叶楠则为  $0.085 \sim 0.01\text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。图 4 中以肖楠驯化组及对照组的差异最为明显,其驯化组导度值均小于对照组,显示经干旱驯化后之肖楠苗木其气孔导度值有降低的趋势,而使气体进出叶片的阻力变大,使二氧化碳不易进出,相对的也减少了水分的损失。然大叶楠苗木则有相反的结果在断水后期其气孔导度值却较对照组高,表示在土壤水分含量日渐减少的情况下,苗木对气体进出叶片的阻抗反而减少了,显示经驯化后大叶楠苗木缺水时净光合成率的下降在断水

后期受非气孔因子( $Ci/Ca$ )的影响增大了。其中乌心石苗木驯化组和对照组间差异不大。

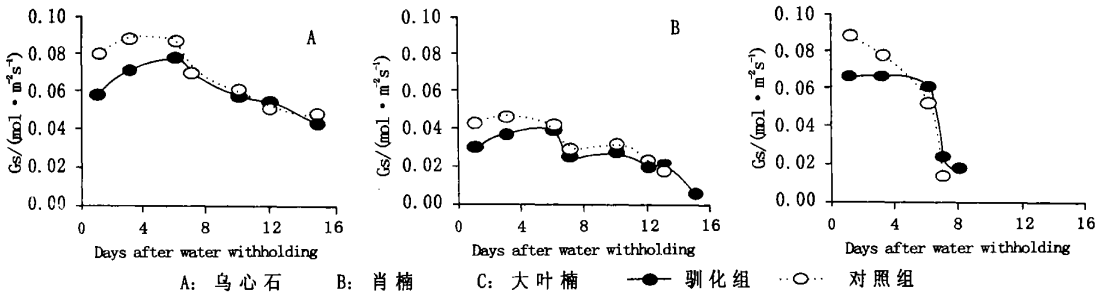


图 4 断水过程中叶片气孔导度之变化

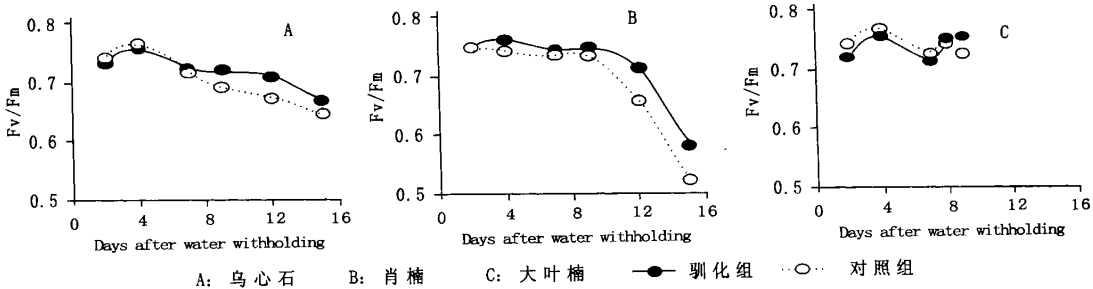


图 5 断水过程中叶绿素荧光值  $F_v/F_m$  之变化

由净光合成率和气孔导度的相关性分析得知乌心石驯化组为 0.930<sup>\*</sup>, 对照组为 0.895<sup>\*</sup>; 肖楠驯化组为 0.944<sup>\*</sup>, 对照组为 0.948<sup>\*</sup>; 而大叶楠驯化组为 0.994<sup>\*</sup>, 对照组为 0.984<sup>\*</sup>, 此可发现三种苗木不管驯化组及对照组其净光合成率的下降和其气孔导度值均有极大的相关性, 其中以大叶楠的相关系数最高, 依此结果得知, 至断水结束日止, 大叶楠净光合成率的下降受气孔导度值的影响较乌心石及肖楠大。至于叶片内部的变化情形则可部分以叶绿素荧光释放量来检测。而叶绿素荧光测值部分, 图 5 为至结束断水时日, 净光合成率小于零为止, 三种苗木  $F_v/F_m$  值的变化情形, 由图可看出肖楠及乌心石的测值均有随天数的增加而有

下降的趋势, 且驯化组苗木之测值较对照组高, 然大叶楠则无此现象, 其测值近似。乌心石苗木测值由 0.75 降至 0.65 左右; 肖楠则由 0.75 降至 0.55; 至于大叶楠测值变动更小, 仅于 0.75 至 0.70 间跳动而已。

表 5 为净光合成率  $P_n$  值和  $F_v/F_m$  值及  $Yield$  值的相关性分析, 由表可发现乌心石及肖楠苗木其  $F_v/F_m$  值及  $Yield$  值和  $P_n$  之相关系数极高, 显著水准可达 1%, 而对大叶楠苗木则无此一现象, 其  $F_v/F_m$  值和  $P_n$  相关性低, 然其  $Yield$  和  $P_n$  却有较高的值, 可能是测值太少, 暗处理时间不足, 由于缺水使得  $Q_a$  还原受阻, 或是其  $PSII$  尚未因水分逆境而受影响。

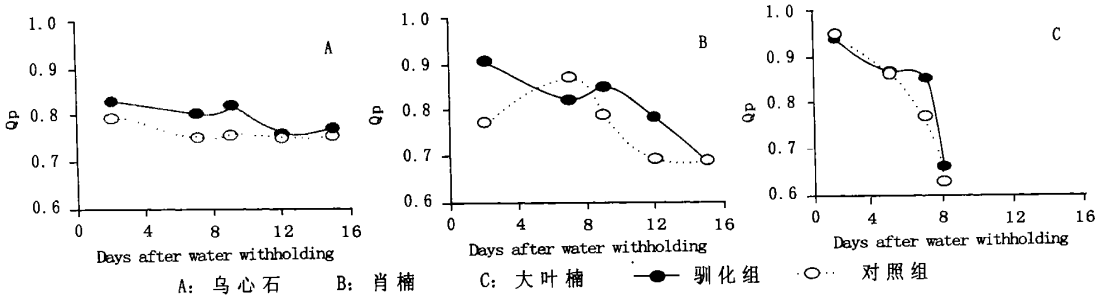


图 6 断水过程中叶绿素荧光值  $Q_p$  之变化

图 6.7 为三种苗木在断水过程中  $Q_p$  和  $Q_n$  的变化曲线, 大致上而言,  $Q_p$  测值有随断水日数的增加而有下降的趋势, 其中以大叶楠及肖楠的变化情形较为明显, 大叶楠的测值由原先 0.94 降至 0.65; 肖楠则由 0.9 降至 0.7, 而以乌心石的变化情形最小, 仅下降 0.05 而已。  $Q_p$  值的下降表示初次电子接受者  $Q_a$  已因缺水而受到伤害, 使其还原量减少, 可能是  $Q_a$

已遭破坏亦或是酵素暗反应二氧化碳固定过程已遭抑制。而各苗木的  $Q_n$  值则均有上升的现象, 此也显示各苗木之光合作用受水分逆境影响已无法充份利用叶绿体所吸收的光能,  $ATP$  的合成或消耗受阻, 并可能以热形式释放出而导致  $Q_n$  的增高。各驯化组及对照组间也有明显差异, 一般而言, 驯化组  $Q_p$  值高于对照组, 而其  $Q_n$  值则低于对照组。由此结果得

知,经干旱驯化后的苗木在对缺水逆境时,所吸收的光能中有较多的部分应用于光化学反应的进行,而以热的方式释放的情形则低于对照组。Bolha'r - Nordenkampf 及 Oquist( 1993) 指出缺水时导致气孔关闭抑制了光合作用的进行及二氧化碳固定受阻,由于二氧化碳固定受阻使得  $ATP$  及  $NADPH$  的消耗降低,使色素质体间质子梯度增加,电子传递链间呈还原态,而降低了电子传递能力。而质子梯度的增加使得  $Q_n$  值上升,荧光值下降;反之,由于光系统  $II$  初次电子接受者  $Q_a$  的还原态增加,使得  $Q_p$  值下降,而荧光量上升。因此,在水分逆境下叶绿素荧光值的变化量和  $Q_p$  及  $Q_n$  有极大的相关性。

细胞间隙二氧化碳浓度部分,  $Ci/Ca$  值表示非气孔因子的影响,  $1 - Ci/Ca$  值之大小则表示气孔因子的影响程度。一般来说,  $C3$  型植物之  $Ci/Ca$  值约介于  $0.6 \sim 0.8$  间,而  $C4$  型植物则约为  $0.2 \sim 0.4$  间。 $Ci/Ca$  值之变化情形,如图 8 所示。在断水初期乌心石及大叶楠之测值约维持在  $0.8$  左右,而肖楠则在  $0.7$  间变化,此结果显示肖楠之光合成能力受气孔因

子之影响较乌心石及大叶楠大。而至后期三种苗木之测值均急速上升,且各驯化组苗木之测值均小于对照组,其中尤以肖楠之差异最为明显。依此结果得知,经干旱驯化后之苗木有增加其气孔因子影响的现象(驯化组气孔导度变小),而减少了非气孔因子影响光合成率的比例。

表 5 断水处理过程中净光合成率  $P_n$  和  
荧光测值  $Fv/Fm$  及  $Yield$  之关系

X 轴 Y 轴		乌心石(I)		乌心石(II)	
		回归方程式	r	回归方程式	r
$Fv/Fm$	$P_n$	$Y = -18.56 + 28.76X$	$0.916^{**}$	$Y = -15.49 + 24.77X$	$0.934^{**}$
$Yield$	$P_n$	$Y = -0.34 + 9.91X$	$0.902^{**}$	$Y = -0.65 + 14.44X$	$0.928^{**}$
X 轴 Y 轴		肖楠(I)		肖楠(II)	
		回归方程式	r	回归方程式	r
$Fv/Fm$	$P_n$	$Y = -7.49 + 12.85X$	$0.943^{**}$	$Y = -5.74 + 10.39X$	$0.856^{**}$
$Yield$	$P_n$	$Y = -0.16 + 9.85X$	$0.851^{**}$	$Y = -0.72 + 14.55X$	$0.899^{**}$
X 轴 Y 轴		大叶楠(I)		大叶楠(II)	
		回归方程式	r	回归方程式	r
$Fv/Fm$	$P_n$	$Y = 1.19 + 0.93X$	$0.002_{ns}$	$Y = -49.32 + 68.58X$	$0.382_{ns}$
$Yield$	$P_n$	$Y = -0.85 + 13.23X$	$0.902_{ns}$	$Y = -1.70 + 15.96X$	$0.975^{*}$

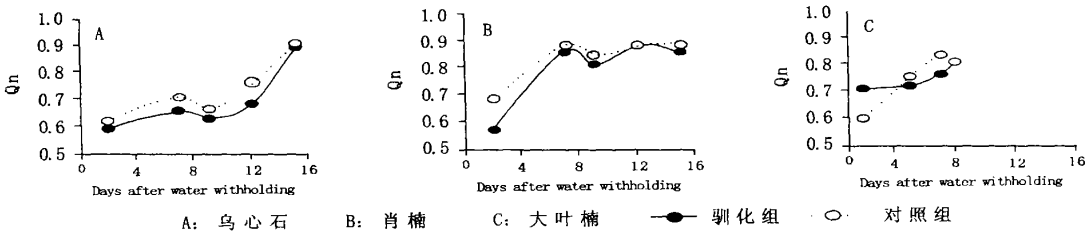


图 7 断水过程中叶绿素荧光值  $Q_n$  之变化

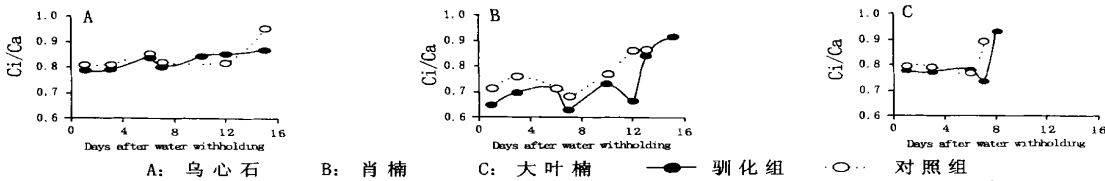


图 8 断水过程中叶片  $Ci/Ca$  值之变化

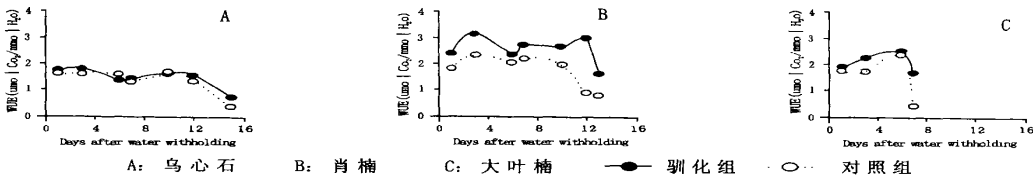


图 9 断水过程中苗木用水效率之变化

在植物用水效率方面,三种苗木在断水处理期间其用水效率的变化情形如图 9 所示,由图可看出各驯化组及对照组苗木之用水效率变化趋势相似,且驯化组苗木之用水效率皆大于对照组苗木,此结果可由前述驯化组及对照组之气孔导度变化及  $Ci/Ca$  变化得到左证。尤其以肖楠之变化趋势最为显著,约增高  $15\% \sim 35\%$ ,大叶楠及乌心石次之。

用水效率可做植物耗水程度的一指针。一般而言,植物之用水效率愈高表示该植物在该时期应付干旱环境的能力愈高。用水效率也常因环境因子的改变而有所调整以适应环境,郭( 1994) 曾指出渐进式适度的水分逆境可提高植物的用水效率。本试验的结果亦显示相同的结果,表示在经历数个循环的水分逆境后,三种苗木为适应干旱其用水效率逐渐

进增高, 使其免受缺水逆境所伤害。

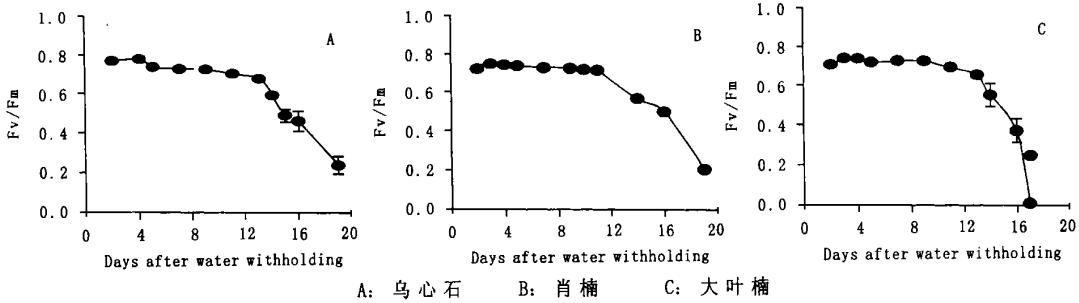


图 10 连续断水过程中各苗木荧光值  $F_v/F_m$  之变化

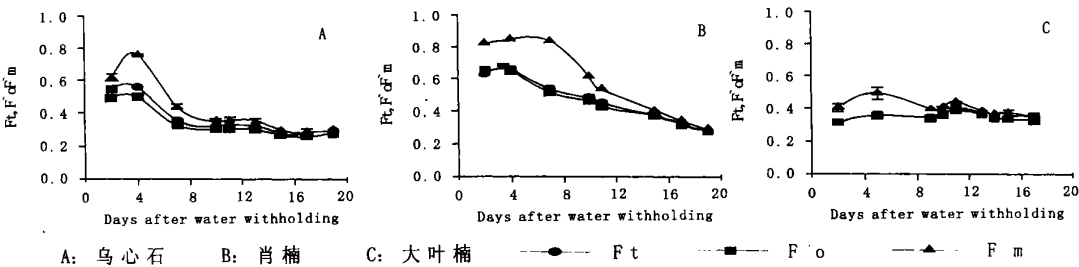


图 11 连续断水过程中各苗木荧光值  $F_t$ 、 $F_o$ 、 $F_m$  之变化

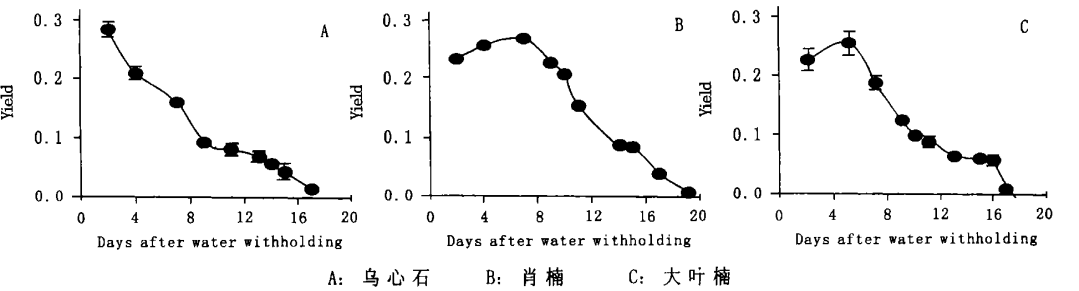


图 12 连续断水过程中各苗木荧光值  $Yield$  之变化

4 连续缺水状况下荧光测值变化

为了解连续缺水下植物生理的反应, 特以测定叶片净光合成率及叶绿素荧光值的变化来探讨, 由于仪器的限制以致于叶片净光合成率测定仅能到达净光合成率为零为止, 在净光合成率小于零时叶片内部的反应又是如何? 则以叶绿素荧光值的变化来判断, 在此主要探讨连续缺水情况下, 植物叶片的  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、 $Yield$ 、 $F_t$ 、 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $Q_p$ 、 $Q_n$  值的变化, 以期了解叶片对缺水之反应。并连续测定直至仪器检测不出为止。试验结果在断水期间三种苗木的最小荧光量  $F_o$  值均没有明显的变化, 由于  $F_o$  值代表由补光色素系统释放之荧光量, 此时光系统 II 呈完全氧化状态( $PSII_{open}$ )。稳定的测值显示随着土壤水分的日渐缺乏补光色素系统并未受到水分逆境的影响。惟在最后一天, 其测值才有变化, 其中乌心石及肖楠之测值均下降, 而大叶楠则呈上升现象, 造成此现象的原因是在土壤水分日益缺乏的情形下, 肖楠及乌心石苗木, 叶片补光色素系统捕捉光能的能力下降, 而减少了  $F_o$

值, 相反的大叶楠苗木却能将捕捉的光能以荧光释放的方式来减少过多的光能对光系统造成伤害。三种苗木最大荧光量  $F_m$  值的变化, 均随土壤水分的日益减少而下降, 直至最后和  $F_o$  值相等, 过程中  $F_o$  值变动不大, 因此  $F_v/F_m$  (图 12) 的下降主要受  $F_m$  值的影响, 比较净光合成率和  $F_v/F_m$  值的变化可发现  $F_v/F_m$  值在断水初期变化不大, 至净光合成率测不出后其测值才有较明显的下降, 乌心石及大叶楠约在第 13 d; 而肖楠则约在第 11 d。表示植物在遭受水分逆境时, 其光系统 II 的活性初期受水分的缺乏影响不大, 最终才影响了光合作用的进行。依此结果得知, 肖楠光合成电子传递链受缺水影响较乌心石及大叶楠快。

为断水期间各苗木日照下基本荧光量 ( $F_t$ )、最小荧光量 ( $F_o$ ) 及最大荧光量 ( $F_m$ ) 的测值变化曲线如图 11 所示,  $F_o$  及  $F_m$  值所代表的意义和  $F_o$  及  $F_m$  是相同, 唯在日照下由于  $Q_p$  及  $Q_n$  值的加入 (光照下, 光化学反应的进行使得  $Q_p$  值增加; 或是  $Q_n$  值发生改变), 使得  $F_o$  和  $F_m$  值的大小和



$F_o$  及  $F_m$  不同。大致上而言, 三种测值也是随断水日数的增加而有下降的现象, 其变化趋势和  $F_o$  及  $F_m$  相似, 显示水分逆境也会影响日光下之萤光量, 各测值下降的结果导致  $Yield = (F_m - F_t / F_m)$  (图 12) 也跟着产生变化, 其测值主要受  $F_m$  及  $F_t$  两者所共同调整。此结果也和  $F_v / F_m$  的变化相同。

光化学消减值 ( $Q_p$ ) 及非光化学消减值 ( $Q_n$ ) 的变化为,  $Q_p$  值逐渐下降, 而  $Q_n$  值则是上升后再下降, 配合净光合成率的变化曲线可看出当净光合成率达最大时,  $Q_n$  值最低, 而  $Q_p$  值则上升, 当净光合成率开始受水分逆境下降, 至测值测不出, 即光合成率和光呼吸率达平衡时, 植物对逆境已产生一应对方式, 藉由非光化学消减值 ( $Q_n$ ) 上升, 可能以热的方式消散及萤光方式将过多的能量排除以阻止过多的光能对光系统造成伤害, 但随着逆境的增加, 到最后叶绿体遭受到严重破坏, 叶片呈现枯死、易碎甚至落叶的现象, 此时叶片组织已完全破坏殆尽, 生理生化反应也因逆境而停止。

## 5 结论与建议

台湾中低海拔之乡土原生植物乌心石、肖楠为石灰石矿区 10 大栽植植物之一, 并进行撒播试验, 尤其乌心石更是矿区平台缓坡常见之栽植树种之一, 而樟科大叶楠由于其生长快速、树干通直, 也是近年来极力推广之树种之一。三种植物均可做为边坡植生资材之应用。且三种植物不同的生理特性可将其应用至不同的环境中。在控制环境下对主要环境因子的试验结果得知, 三种苗木中, 乌心石及肖楠较能适应于低光度下, 显示乌心石及肖楠较具耐荫性。气孔导度值对光度的反应较净光合成率快速。对不同温度的反应结果显示, 乌心石及肖楠的光合成最适温度约为 30℃, 而大叶楠则约为 32℃, 均属一般热带 C3 型植物之特性。

干旱驯化处理试验之结果, 驯化组苗木之农艺性状、净光合成率、气孔导度、用水效率、 $C_i / C_a$  值及各萤光测值均表

现出对干旱驯化之适应现象。就气孔导度变化而言, 肖楠驯化组和对照组差异最明显, 显示经干旱驯化后的肖楠植株其气孔导度因循环式水分逆境而有所向下调整, 以适应往后的水分逆境。反之, 乌心石及大叶楠却无此适应性反应现象。由萤光测值  $F_v / F_m$  的变化显示, 乌心石及肖楠苗木驯化组测值均高于对照组, 即经干旱驯化后之苗木对水分逆境的反应有迟缓之情形。 $C_i / C_a$  值变化显示苗木在遭遇缺水初期光合成率的下降主要是气孔因子所控制, 而至后期非气孔因子的影响急剧增加。另驯化组之  $C_i / C_a$  值均较对照组低, 显示历经循环式水分逆境后植株有增加其气孔因子影响光合成率的现象, 而减少了非气孔因子影响的比例。虽然遭遇缺水逆境, 使其净光合成率下降, 但驯化组苗木仍能维持较高的用水效率, 显示经干旱驯化后之苗木透过叶片组织与生理上的调节以适应往后的水分逆境。在对干旱环境适应最为良好者为肖楠。在连续缺水过程中各萤光测值对缺水有不同的反应,  $F_o$  值在断水期间维持不变,  $F_v / F_m$  值的下降主要是因  $F_m$  值的降低所导致。而随着断水天数的增加, 光化学消减值  $Q_p$  值有下降的趋势; 非光化学消减值  $Q_n$  值则有上升后再下降的现象。显示植物遭受水分逆境时光合作用电子传递系统也连带受到影响, 电子携带者的排列状态或组织都因而改变, 光化学作用能力下降 ( $Q_p$  下降) 及非光化学方式 ( $Q_n$  上升) 的变化, 是植物在遭遇水分逆境时将过多能量消耗的方式之一。

有关植物之生长活力之判断, 国内外有以光度、气孔导度、叶绿素值及萤光测值等方式来作为指针参数, 本研究, 以各种判断方式来评估台湾中低海拔三种乡土原生植物, 在水分逆境下之生长活力, 然各指针值, 仍有相当之差异性。因此, 未来应贯连各种测值之影响, 而以统一之模式来评估植物生长活力, 如此才能有更详尽地以量化模式, 来判断植物在逆境中之反应与指针值之权重。

## 参考文献:

- [1] 林信辉, 章裕宾. 以 SPAD-502 叶绿素计做为保育植物活力指针之研究[J]. “水土保持学报”, 26(1): 55-63.
- [2] 陈清义, 蔡贤贤. 草莓对缺水之生理反应[C]. 夏季蔬菜生产改进研讨会专辑, 1983, 139-182.
- [3] 郭耀纶. 相思树苗木生理及生长对水分逆境之反应[J]. 中华林学季刊, 1992, 25: 33-44.
- [4] 郭耀纶. 从生理和形态上比较共存之相思树与蒲姜对干旱环境之适应[J]. 中华林学季刊, 1994, 27(2): 37-54.
- [5] 卢仁明, 张其德, 匡廷云. 水分紧迫对小麦光系统 II 的影响[J]. “植物学报”, 1994, 36(2): 93-98.
- [6] 小桥澄治, 小林达明, 增田拓朗. 绿化树木活性度诊断 2, 3 试[J]. 绿化技术, 1985, 11(2): 3-8.
- [7] Baker, N R. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis[J]. *Physiol. Plant*, 1991, 81: 563-570.
- [8] Bolhar-Nordenkamp, H R, S P Long, N R Baker et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field, a review of current instrumentation[J]. *Functional Ecol.* 1989, 3: 497-514.
- [9] Genty, B, J M Briantais, N R Baker. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. *Biochim. et Biophys. Acta.*, 1989, 990: 87-92.
- [10] Kozłowski, T T. Water Supply and Tree Growth, Part I: Water Deficits[J]. *For. Abstract*, 1982, 43(2): 57-95.
- [11] Kramer, P J. Water Relation of Plants[M]. New York: Academic Press, 1983. 489.
- [12] Krampitz, M J, K, Klug, H P Fock. Rate of photosynthetic CO<sub>2</sub> uptake, Photorespiration CO<sub>2</sub> evolution and dark

rspiration in water stressed sunflower and bean leaves[J]. Photosynthetica, 1984, 8(3): 322– 328.

[ 13 ] Krause, G H, E Weis. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. II. Interpretation of the fluorescence signals[J]. Photosynthesis Research, 1984, 5: 139– 157.

[ 14 ] Levitt, J. Responses of Plants to Environmental Stress[ M ]. New York: Academic Press, 1980. 670.

[ 15 ] Levitt, J. Relationship of dehydration rate to drought avoidance, dehydration tolerance and dehydration avoidance of cabbage leaves, and to their acclimation during drought-induced water stress[ J]. Plant, Cell and Environ, 1985, 8: 287– 296.

[ 16 ] Marshall, B, P V Biscoe. A model for C3 leaves describing the dependence of net photosynthesis on irradiance. I. Derivation[J]. J. Exp. Bot., 1980, 31: 29– 39.

[ 17 ] Mohammed, G H, W D Binder, SL Gillies. Chlorophyll fluorescence: A review of its practical forestry applications and instrumentation[J]. Scand. J. For. Res, 1995, 10: 383– 410.

[ 18 ] Moldau, H, J Sober. Decreased in Ci/Ca- ratio under conditions favouring assimilate[ Z]. 1988.

[ 19 ] Ritchie, S W, R G Shula. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance[ J]. Crop Sci., 1984, 30: 105– 111.

[ 20 ] Schreiber U, W Bilger. Progress in chlorophyll fluorescence reseach: major developments during the past years in retrospect[J]. Progr. Bot, 1993, 54: 151– 173.

( 上接第 135 页 )

特别是西部地区现代沙漠化土地的分布和面积,是正确制定沙漠化防治措施和科学规划、合理开发利用沙区土地资源的基础。但由于不同研究者在概念、类型划分标准和方法上的不统一,致使有关我国沙漠化土地的分布、面积资料很不一致,对我国沙漠化现状评估、动态监测和沙害防治以及对外宣传和争取国际合作都带来严重的不良影响。为改变这种状

况,建议国家组织有关部门和专家在统一沙漠化概念、类型划分指标和工作方法的基础上,对我国沙漠化土地的分布、面积及其动态变化以及成因等问题进行认真复查和研究,以便在新世纪初对我国沙漠化现状有个正确评估,为目前实施的西部大开发中的防沙治沙和土地资源的合理开发利用提供科学依据,并为今后长期动态监测建立准确的比较基准。

表 2 中国沙漠化土地分布和面积

km<sup>2</sup>

省 区	西 部				东 部			
	面 积	轻 度	中 度	重 度	省区	面积	省区	面积
新疆	769205	25743	84220	659241	北京	580	山东	7505
西藏	213395	16580	9682	187133	天津	257	河南	6627
青海	116272	19271	12385	84616	河北	29311	湖北	2318
甘肃	142379	15345	10429	90918	山西	7853	湖南	554
宁夏	12358	5315	2889	4154	辽宁	3287	广东	1197
内蒙古	355510	166159	30183	159168	吉林	4941	海南	733
陕西	14628	10130	3052	1446	黑龙江	3786	合计	77640
四川	9513	8855	445	212	江苏	5756	—	—
贵州	75	41	16	18	浙江	1	—	—
广西	2431	2412	9	11	江西	1016	—	—
云南	769	333	383	54	安徽	1276	—	—
合计	1636535	270183	153692	1186972	福建	642	—	—

参考文献:

[ 1 ] 朱震达,刘恕. 中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1981. 1.

[ 2 ] 朱震达. 关于沙漠化地图编制的原则与方法[ J ]. 中国沙漠, 1984, 4( 1 ): 4– 15.

[ 3 ] 朱震达,刘恕,邸醒民. 中国的沙漠化及其治理[ M ]. 北京: 科学出版社, 1989. 4, 6– 7, 11– 16, 109.

[ 4 ] 朱震达. 关于中国土地荒漠化概念的商榷[ J ]. 中国沙漠, 1998, 18( 增刊 1 ): 1– 5.

[ 5 ] 朱俊凤,朱震达,等. 中国沙漠化防治[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1999. 2– 5, 114– 117.

[ 6 ] 董玉祥. “荒漠化”与“沙漠化”[ J ]. 科技术语研究, 2000, 2( 4 ): 18– 21.

[ 7 ] 董光荣,申建友,金炯,等. 关于“荒漠化”与“沙漠化”的概念[ J ]. 干旱区地理, 1988, 11( 1 ): 58– 61.

[ 8 ] 杨根生,刘阳宣,史培军. 有关沙漠化几个问题的探讨[ J ]. 干旱区研究, 1986, ( 4 ): 73– 78.

[ 9 ] 吴正. 浅议我国北方地区的沙漠化问题[ J ]. 地理学报, 1991, 4( 3 ): 267– 274.

[ 10 ] 朱震达,陈广庭,等. 中国土地沙质荒漠化[ M ]. 北京: 科学出版社, 1994. 36, 60– 80.

[ 11 ] 董光荣,高尚玉,金炯,等. 青海共和盆地土地沙漠化与防治途径[ M ]. 北京: 科学出版社, 1993. 41– 44.

[ 12 ] 朱震达,等. 中国荒漠化( 土地退化) 防治研究[ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 6– 7.

[ 13 ] 朱震达. 中国沙漠 沙漠化 荒漠化及其治理对策[ M ]. 北京: 科学出版社, 1999. 246– 247.