

文章编号: 1001-1498(2006)06-0785-06

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

徐利霞^{1,2}, 杨水平^{1*}, 姚小华², 李生², 任华东²

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所,
国家林业局亚热带林木培育重点开放性实验室, 浙江 富阳 311400)

摘要:采用盆栽控水方法,研究了翅荚木、滇楸和银荆树 3 树种当年生实生苗的光合特性与抗旱性的关系。结果表明:随着干旱胁迫强度的增加和时间的延长,3 树种的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r) 和气孔导度 (G_s) 均呈下降趋势,而胞间 CO_2 浓度则呈上升的趋势;净光合速率日变化曲线逐渐从典型的单峰型转变成双峰型,出现“光合午休”现象。在轻度胁迫和中度胁迫下,净光合速率的降低是由气孔因素和非气孔因素共同引起的;而重度胁迫下,净光合速率的降低主要是非气孔因素引起的。干旱复水后,3 个树种的净光合速率均有明显的恢复。利用隶属函数与反隶属函数法对 3 个树种的抗旱能力进行综合评价,其抗旱能力为:银荆树 > 翅荚木 > 滇楸。

关键词:石漠化地区造林树种;光合特性;抗旱性

中图分类号: Q945.11 **文献标识码:** A

Relations between Seedlings' Photosynthetic Characteristics and Their Drought Tolerance under Water Stress in Rocky Desertification Area

XU Li-xia^{1,2}, YANG Shui-ping¹, YAO Xiao-hua², LI Shen², REN Hua-dong²

(1. College of Resource and Environment, Southwest China University, Chongqing 400716, China; 2. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF; Key Laboratory of Subtropical Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: Water-controlling pot experiments were carried out on characteristics of photosynthesis and drought tolerance under water stress of 3 tree species: *Zenia insignis*, *Catalpa fargesii* f. *duclouxii* and *Acacia dealbata* from a rocky desertification area in Guizhou Province. The results were as follows: As stress increasing and time delaying, the net photosynthesis rate (P_n), transpiration, stomata conduct were gradually decreased but CO_2 concentration in stomata was increased; the diurnal pattern of net photosynthetic rate shifted gradually from a typical single-peaked curve to a double-peaked one that signified midday depression of photosynthesis. The midday depression of photosynthesis under both light and heavier stress may be induced by a combination of stomatal limitation and non-stomatal factors, but under extreme drought conditions, induced mainly by the non-stomatal factors. The depressed P_n could recover when rehydrated under certain drought stress. By a comprehensive evaluation of Fuzzy mathematics, the ability of drought tolerance was arranged from strong to weak as following: *Acacia dealbata* > *Zenia insignis* > *Catalpa fargesii* f. *duclouxii*.

Key words: trees for rocky desertification area; photosynthesis characteristics; drought tolerance

收稿日期: 2005-12-26

基金项目: 国家林业局重点项目“石漠化地区植被恢复与生态重建技术试验示范”(2003-053-L53)和国家林业重点工程科技支撑项目“喀斯特石漠化地区植被恢复与重建技术研究”的部分内容

作者简介: 徐利霞(1978—),女,河南鹤壁人,在读硕士生。

*通讯作者。

在石漠化地区,缺水少土是限制农业经济和社会发展的一个重要因素之一,严重的水土流失还对中下游地区人民的生产、生活构成极大的威胁。因此,研究树木耐旱机理并筛选出耐旱性强的树种,在该类地区进行植被恢复重建、控制水土流失十分迫切。

翅荚木 (*Zenia insignis* Chun)、银荆树 (*Acacia dealbata* Link.)、滇楸 (*Catalpa fargesii* Bur f *douglouxi*(Dode) Gilmour) 3 个树种均为广泛分布在石漠化山区的树种,是固堤保土、荒山造林的优良树种。翅荚木属苏木科 (Caesalpiniaceae) 翅荚木属 (*Zenia* Chun) 落叶乔木,是华南石灰岩地区的特有种,也是我国三级保护植物之一。目前对其研究仅限于分类学及形态结构和特性方面适应性的报道。张祝平等^[1]在自然环境条件下首次对翅荚木的光能利用效率和蒸腾系数等生理生态学特性进行了研究报道。银荆树属含羞草科 (Mimosaceae) 金合欢属 (*Acacia* Mill.) 植物,又名圣诞树、澳洲白色金合欢、鱼骨松,原产澳大利亚,解放初期在昆明开始引种,至今已遍及云南全省。迄今对银荆树的研究仅限于形态学和引种技术方面^[2]。滇楸属紫葳科 (Bignoniaceae) 梓树属 (*Catalpa* L.), 落叶乔木,未见关于滇楸的相关报道。本文研究水分胁迫对 3 个树种幼苗的光合作用的影响,同时对 3 个树种的光合特性与抗旱性的关系进行了分析,以期筛选出更适合石漠化地区生长的树种,为石漠化地区植被恢复提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料处理

试验于 2005 年 9 月 26 日至 10 月 13 日在中国林科院亚林所的塑料大棚内进行。材料为生长健壮一致的翅荚木、滇楸和银荆树 3 个石漠化树种的当年生实生苗,栽于高 9.5 cm、直径 11 cm 的塑料盆中,每盆 3 株,供试土壤为杭州市余杭区长乐镇西山取回的黄壤,田间持水量 15.6%,土壤质量 765.8 g。试验共设 3 个处理:(1)对照:正常浇水;(2)复水处理:当过半数以上的幼苗在早上 6:00 还处于萎蔫状态时复水;(3)干旱胁迫处理:从试验开始起让其自然干旱,直到幼苗死亡,分别在连续 16 d 不浇水(重度胁迫)、连续 10 d 天不浇水(中度胁迫)、连续 4 d 不浇水(轻度胁迫)的条件下测定光合指标。每个

处理 3 盆,3 次重复。

1.2 试验方法

1.2.1 光合作用指标的测定 采用美国 CD 公司生产的 CF310 便携式光合测定系统,统一取植株中部的叶片,对 3 个树种的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i)、水分利用效率 (WUE)^[3] 进行测定。测定时间为 6:30 ~ 18:30,每隔 2 h 测定 1 次。每一叶片重复 3 ~ 5 次,结果取平均值。

1.2.2 土壤含水量 (SWC) 测定 采用 Hydra 土壤水分/盐分/温度测试仪,每天测完光合指标后测定 1 次土壤含水量。每个处理测定 3 次,结果取平均值。

1.2.3 数据处理 根据测定的生理指标,检验 3 个树种幼苗水分利用效率、气体交换特性在处理间的差异显著性。分别计算不同处理条件下树种的净光合速率及蒸腾速率的日平均值^[4]。然后,将测定指标换算成隶属函数值或反隶属函数值用于判断各树种的抗旱性^[5]。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对光合、蒸腾、气体交换特性及水分利用效率的影响

土壤干旱胁迫对翅荚木、滇楸和银荆树幼苗的气体交换特性包括净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r) 和气孔导度 (G_s) 以及水分利用效率 (WUE) 有极显著影响 (表 1)。随土壤含水量 (SWC) 的下降,翅荚木、滇楸和银荆树幼苗的 P_n 、 T_r 、 G_s 均有不同程度下降时,而 C_i 和 WUE 却有不同程度的增加。虽然 3 个树种的 P_n 的变化表现出相同的趋势,即都随着土壤含水量的下降而下降,但 3 个树种之间 P_n 的下降速率存在差异。如图 1 所示,当土壤含水量由 $0.273 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降到 $0.091 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,翅荚木和银荆树的 P_n 都急剧下降,分别下降了 52.4%、38.6%,以后开始缓慢下降。而滇楸是由土壤含水量 $0.273 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 下降到 $0.06 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,下降了 73.7% 以后 P_n 开始缓慢下降。干旱胁迫下 3 个树种 T_r 与 G_s 的变化趋势具有同步性,说明 G_s 的下降是造成 T_r 下降的主要原因,同时也是 P_n 下降的原因之一。Farquhar 和 Sharkey 认为^[6],净光合速率下降伴随着蒸腾速率和胞间 CO_2 浓度的下降,主要是气孔因素,如果净光合速率下降伴随着胞间 CO_2 浓度的上升,则说明净光合速率的下降

以非气孔因素为主,即净光合速率的下降是由于叶肉细胞光合活性的下降造成的。本试验中,3 个树种在干旱胁迫的初期 P_n 与 G_s 同步下降,净光合速率的下降是气孔因素造成的,说明 P_n 下降既有气孔因素又有非气孔因素的限制。处理末期,由于长时间的水分亏缺,导致叶片老化,以至于叶片的各项功能衰退,气孔调节失去作用,叶片光合结构遭到破坏,气孔仅为限制净光合速率的次要因素,而其他非气孔因素则成为主要因素。

表 1 干旱胁迫处理对 3 个树种幼苗气体交换特性影响的方差分析

特性	F 值		
	滇楸	翅荚木	银荆树
净光合速率 P_n	18.33 ^{***}	482.0 ^{***}	133.9 ^{***}
蒸腾速率 Tr	162.1 ^{***}	49.09 ^{***}	287.4 ^{***}
气孔导数 G_s	101.5 ^{***}	101.7 ^{***}	132.9 ^{***}
胞间 CO_2 浓度 C_i	10.43 ^{**}	10.08 [*]	12.94 ^{**}
水分利用效率 WUE	17.75 ^{***}	12.16 ^{***}	25.58 ^{***}

注:***、**、*分别表示在 $P < 0.001$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.05$ 水平上显著相关。

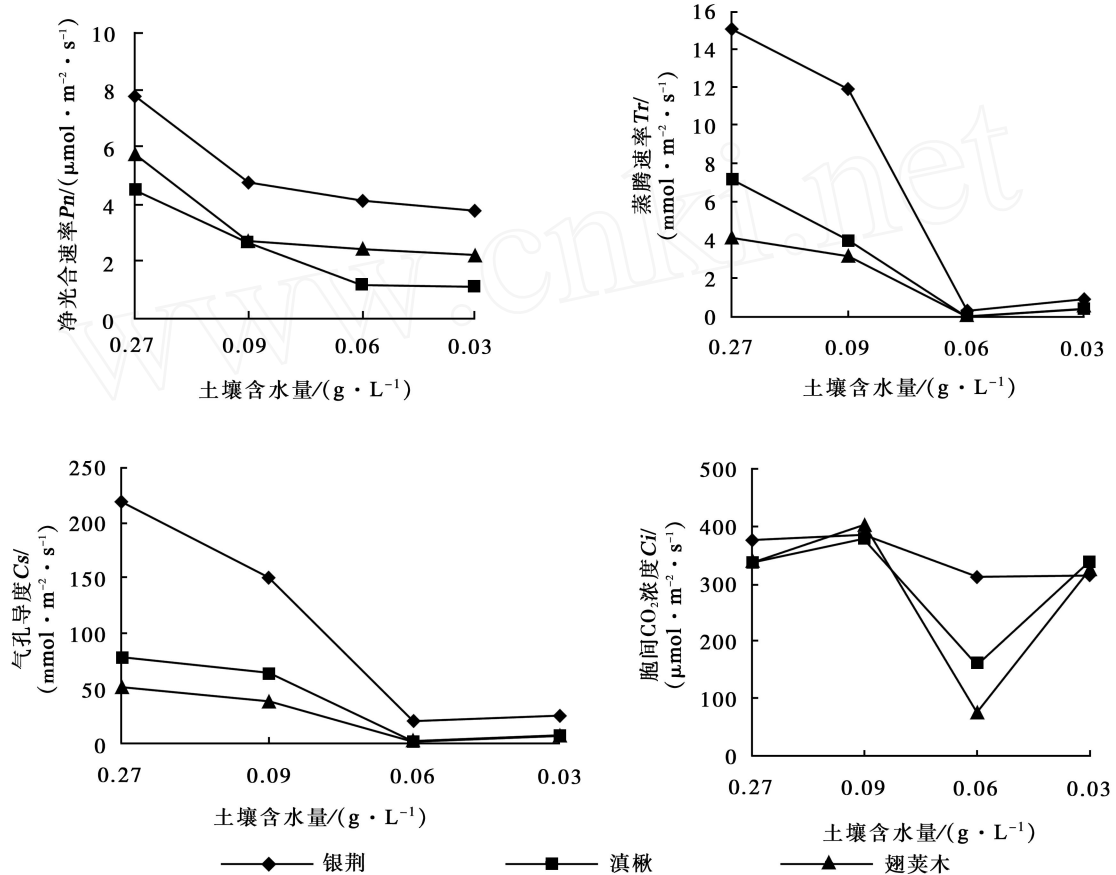


图 1 自然干旱对 3 个树种光合速率、蒸腾速率和气体交换特性的影响

2.2 干旱胁迫及复水对 3 个树种净光合速率和蒸腾速率日变化的影响

在不同干旱胁迫下,3 个树种净光合速率 (P_n) 表现出相同的变化趋势(图 2),即在正常水分条件下 P_n 的日变化属单峰型曲线,随着胁迫程度的加剧,则转变成双峰型曲线,且最大峰值也随胁迫时间的延长而逐渐减小。正常水分条件下,滇楸、翅荚木和银荆树 3 个树种的 P_n 逐渐升高,并分别于 8 30、11 30、13 00 左右达到峰值,之后各自缓慢下降,直至 16 30 左右随着光强的减弱, P_n 急剧下降。干旱

胁迫下 3 个树种的 P_n 日变化均成双峰型曲线,峰值也比对照提前,且两次峰值出现的时间也大致相同。第 1 个峰值较高,出现在 10 30 左右,而第 2 个峰值较低,出现在 16 30 左右。这种变化与一天中光强、气温、相对湿度及蒸腾速率等的变化有关^[7]。本次试验表明,3 个树种在复水后 3 d,净光合速率皆有不同程度的恢复。从图 2 可以看出:银荆树净光合速率恢复能力明显大于滇楸和翅荚木。滇楸和翅荚木复水后 3 d 的日变化值均低于对照。相反银荆树经过抗旱炼苗后,净光合速率明显高于对照。

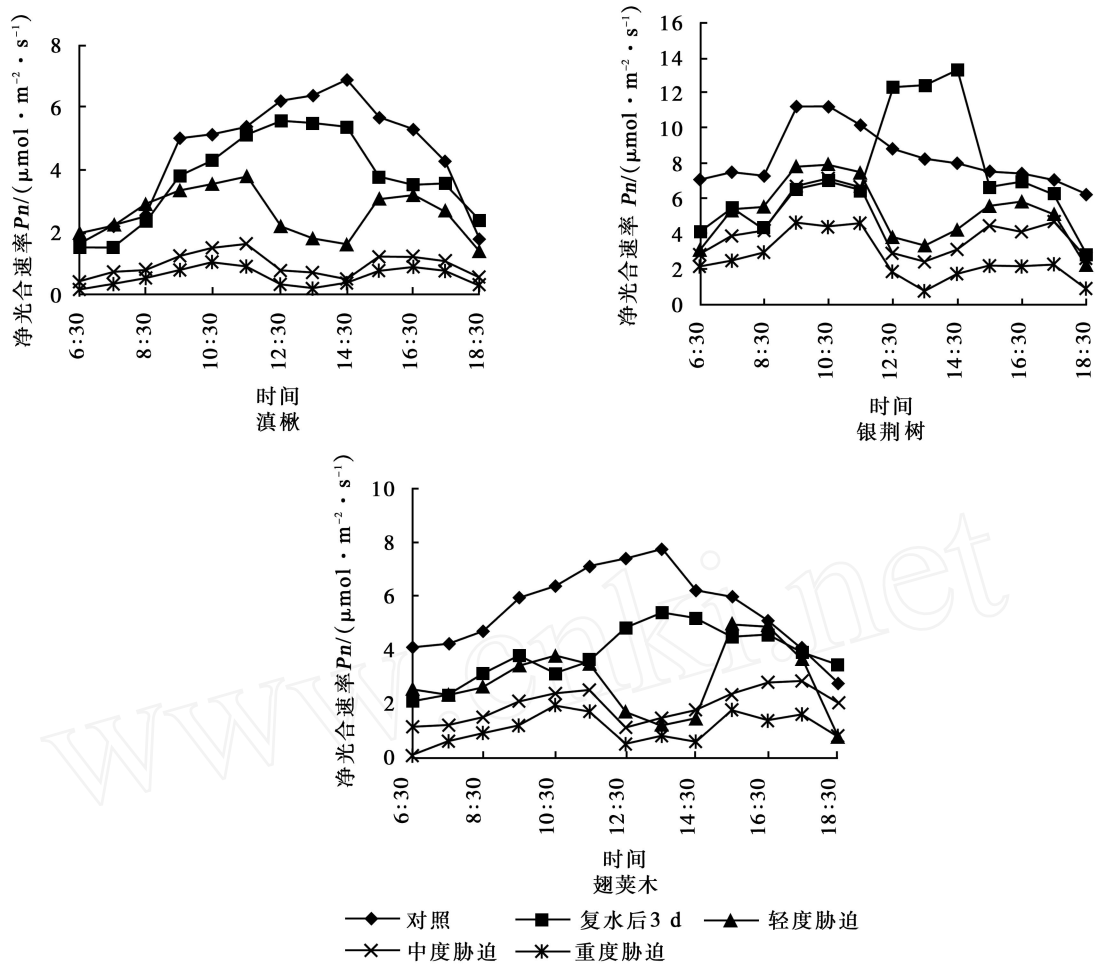


图 2 干旱胁迫及复水对滇楸、翅荚木和银荆幼苗净光合速率日变化的影响

翅荚木、滇楸和银荆树的所有处理的蒸腾速率 (T_r) 的日变化均呈单峰型曲线 (图 3); 但其峰值出现的时间不同, 随胁迫程度的加剧, 峰值前移。在正常水分条件下, 从 6:30 开始, 随着气温升高, T_r 逐渐增大, 翅荚木和滇楸到 12:00 左右达到峰值, 之后呈波动变化, 到 16:00 左右急剧下降; 而银荆树在 14:00 左右达到一天的最高峰, 之后急剧下降。自然干旱胁迫条件下, T_r 随着气温的升高逐渐增加。在轻度胁迫条件下, 翅荚木、滇楸和银荆树的峰值分别出现在 11:30、11:00 和 12:30 左右。重度胁迫下, 各树种分别在 9:30、8:30 和 10:00 左右达到峰值, 之后 T_r 上下波动, 基本上呈缓慢下降趋势。3 个树种复水后 3 d 的蒸腾速率均有不同程度的恢复, 但由于胁迫后受害程度和恢复能力的不同因而恢复程

度和时间存在一定差异。此外, 翅荚木和滇楸复水的峰值仅高于重度胁迫, 而银荆树的峰值高于中度胁迫, 表明银荆的恢复能力强于另外两个树种。

2.3 3 种苗木抗旱生理反应与适应能力的综合评价

植物的抗旱性是一个复杂性状, 而隶属函数提供了一种在多指标测定基础上对材料抗旱性进行综合评价的途径, 可以克服仅利用少数指标对一两个品种进行评价的不足^[8]。因此, 利用模糊数学的隶属函数法将供试树种各个抗旱指标换算成隶属函数值。然后, 将每个树种的各个指标的抗旱隶属函数值进行累加, 求其平均值, 平均值越大, 说明抗旱性越强。通过综合评判 (表 2), 3 个供试树种的抗旱能力为: 银荆树 > 翅荚木 > 滇楸。

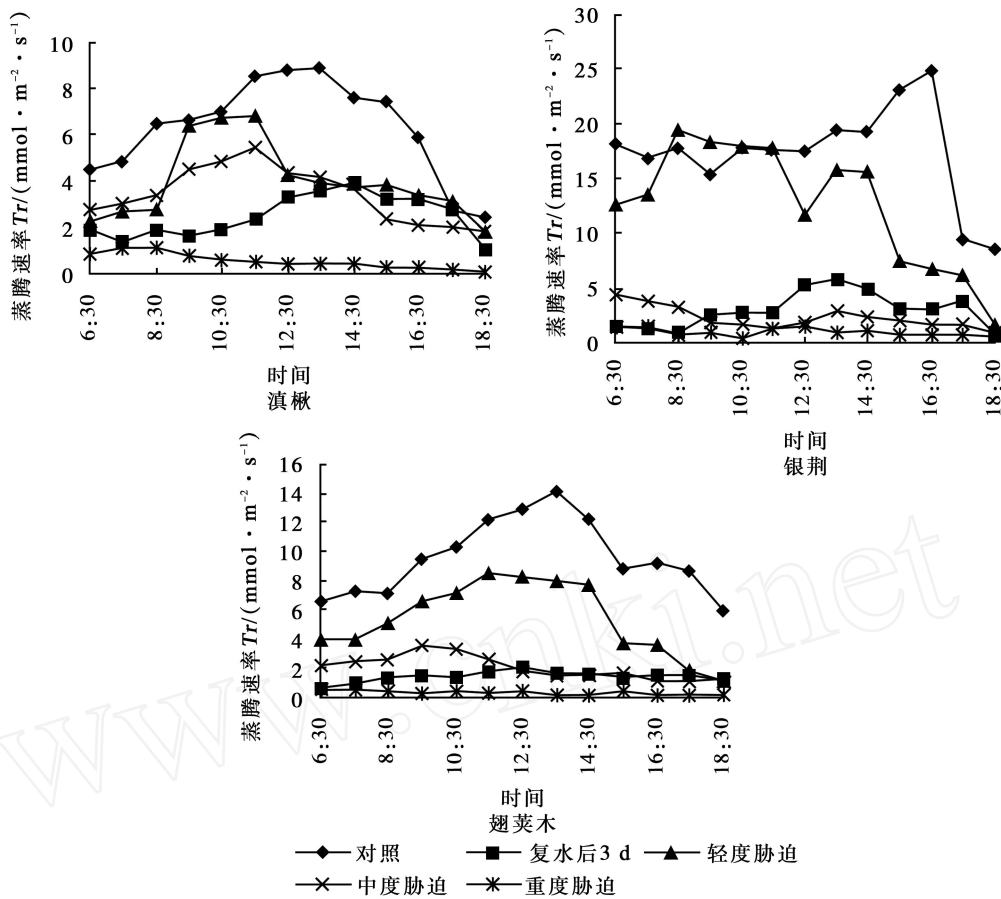


图 3 干旱胁迫及复水对滇楸、翅荚木和银荆幼苗蒸腾速率日变化的影响

表 2 3 个树种光合蒸腾性能指标与抗旱性的综合评价

树种	净光合速率 P_n	蒸腾速率 Tr	气孔导度 G_s	胞间 CO_2 浓度 C_i	水分利用效率 WUE	综合评判结果	位次
银荆树	1.000	0.232	5.000	0.800	3.014	5.089	4
滇楸	0.348	0.188	0.255	5.414	0.241	2	3
翅荚木	0.310	0.250	0.053	5.500	0.756	8.374	1

注:表中的数值分别代表各树种抗旱指标的数值加权值。

3 结论与讨论

(1)在干旱胁迫条件下,石漠化 3 个树种翅荚木、滇楸、银荆树幼苗的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)和水分利用效率 (WUE)均受到显著影响,但不同树种受到的影响不同。研究表明,光合作用对叶片水分亏缺的反应十分敏感,在轻度水分胁迫时,光合速率的下降幅度较小;但随水分胁迫程度的加剧,叶片水势下降到某一阈值后,光合速率开始大幅度下降^[9]。不同树种叶片的光合作用对干旱胁迫的反应不同。本试验结果显示,随着土壤含水量的下降,3 个树种的净光合速率呈显著下降趋势,这与 3 个树种幼苗蒸腾

速率和胞间 CO_2 浓度的变化规律密切相关。在土壤水分过少的情况下,3 个树种因为水分亏缺而导致气孔导度和蒸腾速率降低。适度干旱胁迫下,水分利用效率有一定程度的提高,这是因为蒸腾速率的下降幅度较净光合速率的下降幅度高。这一结果与 Heitholt^[10]和姬兰柱等^[11]的研究结果一致。

(2)研究结果表明,在正常水分条件下,3 个树种的净光合速率和蒸腾速率日变化均呈单峰型曲线。干旱胁迫条件下,随着胁迫时间的延长,3 个树种的净光合速率日变化曲线由单峰型转变成双峰型,即“光合午休”现象的出现。这既与 3 个树种自身的生理特性有关,同时与一天中气温、光强、相对湿度及蒸腾速率的变化有关。蒸腾速率的日变化在所有处理条件下均表现为单峰型曲线。光合作用受抑制不仅表现在逆境过程中,而且在逆境解除后,其恢复能力的大小也体现出逆境对光合作用抑制程度的高低^[12]。本试验表明,复水后 3 d,3 个树种叶片净光合速率都有较明显的恢复,但不同树种恢复的程度不同。这是因为 3 个树种受到胁迫后净光合速率虽有较大幅度下降,但尚未损伤光合器官及生理

机能,因此仍具有较强的恢复能力。

(3)运用隶属函数或反隶属函数法对 3 个树种的抗旱性进行综合评价,其结果表明:银荆树最抗旱,翅荚木次之,滇楸相对较差。这 3 个树种是石漠化山区乡土树种,因此本身就具有抗旱的性状。通过统计比较得出银荆树更适合在土壤渗漏性强,保水能力差,经常造成临时性土壤干旱的石漠化地区生长。

参考文献:

- [1] 张祝平,何道泉,敖惠修,等. 粤北石灰岩山地主要造林树种的生理生态学特性 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17 (2): 133 ~ 142
- [2] 邓学渊,华秀. 优良树种银荆与黑荆 [J]. 四川林勘设计, 1995, 3: 31 ~ 33
- [3] Nijs I, Ferris R, Blum H. Stomatal regulation in a changing climate: A field study using free air temperature increase (FATL) and free air CO₂ enrichment (FACE) [J]. Plant Cell Environment, 1997, 20 (8): 1041 ~ 1050
- [4] 阿布力米提·买买提明,张俊佩,裴东. 不同类型核桃的光合和蒸腾性能对土壤水分胁迫响应的研究 [J]. 河北农业大学学报, 2004, 27 (4): 26 ~ 31
- [5] 杨敏生,裴保华,朱之悌,等. 白杨双交杂种新无性系抗旱性鉴定指标分析 [J]. 林业科学, 2002, 38 (6): 36 ~ 42
- [6] Farquhar GD, Sharkey TD. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317 ~ 345
- [7] 文建雷,刘志龙,王姝清. 水分胁迫条件下元宝枫的光合特征及水分利用效率 [J]. 西北林学院学报, 2003, 18 (2): 1 ~ 3
- [8] 魏永胜,梁宗锁,山仑,等. 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
- [9] 刘建伟,刘雅荣,王世绩. 不同杨树无性系光合作用与其抗旱能力的初步研究 [J]. 林业科学, 1994, 30 (1): 83 ~ 87
- [10] Heitholt J J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen and water-stressed winter wheat [J]. Agronomy Journal, 1989, 81 (3): 464 ~ 469
- [11] 姬兰柱,肖冬梅,王淼. 模拟水分胁迫对水曲柳光合速率及水分利用效率的影响 [J]. 应用生态学报, 2005, 16 (3): 408 ~ 412
- [12] 张维强,沈秀瑛. 水分胁迫和复水对玉米叶片光合速率的影响 [J]. 华北农学报, 1994, 9 (3): 44 ~ 47