

西南喀斯特地区构树苗木对土壤干旱胁迫的生理响应^{*}

魏媛^{1,2}, 喻理飞²

(1. 贵州财经学院 资源与环境管理学院, 贵阳 550004; 2. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025)

摘要: 在西南喀斯特地区, 采用土壤干旱胁迫的方法, 对不同土壤水分条件下一年生构树苗木的生理指标进行了观测, 研究其对土壤干旱胁迫的生理响应。结果表明: 随着土壤干旱胁迫的加剧, 构树的叶水势、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用率都有所下降, 表明构树有较高的耐旱生产潜力, 对水分亏缺的适应能力也较强。阐明了其能够在退化喀斯特生境中生存的生理基础。

关键词: 构树; 幼苗; 干旱胁迫; 生态适应; 西南喀斯特

中图分类号: S718

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0164-04

Physiological Responses of *Broussonetia papyrifera* Seedlings to Soil Drought Stress in Southwest Karst Region

WEI Yuan^{1,2}, YU Lirfei²

(1. School of Resources and Environmental Management, Guizhou College of Finance and Economics, Guiyang 550004, China; 2. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In southwest Karst region, physiological indicators of *Broussonetia papyrifera* seedlings to different soil water conditions were measured by means of soil drought stress, its physiological responses to soil drought stress were studied. The results showed with the aggravation of soil drought stress, leaf water potential, net photosynthesis rate, transpiration, stomata conductance and WUE(water using efficiency) of *Broussonetia papyrifera* seedlings decreased, which indicated *Broussonetia papyrifera* had high drought-tolerant potential productivity and strong adaptability to water deficiency in Karst forest. These illustrated the physiological basis that *Broussonetia papyrifera* can survive in degraded karst habitat.

Key words: *Broussonetia papyrifera*; seedlings; drought stress; ecological adaption; Southwest Karst Region

构树(*Broussonetia papyrifera*)为桑科速生直立落叶乔木, 是一种适应环境能力强, 耐干旱瘠薄、喜光、喜钙、速生、萌芽性强、极易繁殖的树种, 多生于石灰岩山地^[1], 它萌发能力强, 生长迅速。经济价值高, 其叶为优质饲料, 皮为造纸和人造板的上等原料, 叶、茎、果实及乳汁均可入药, 木材可作家具。在贵州喀斯特地区, 作为饲料和纤维用材受到人们的欢迎。

西南喀斯特山区是我国实施退耕还林工程重点地区之一, 因土壤浅薄、保水能力弱, 生境中临时性干旱频繁, 是植物在喀斯特生境中定居的重要限制

因子^[2], 土壤水分制约着西南喀斯特山区的生态建设。因此选择抗旱性强、水分利用效率高的植物成为该地区植被恢复的基本要求。构树是退化喀斯特石漠化地区早期恢复的主要先锋树种之一^[3], 适应于光照强度大的裸地, 但生境中土壤因无植被覆盖, 土壤水分变化剧烈, 临时性干旱更为频繁, 因此, 构树必然有其抵抗临时性干旱的特征、方式、途径, 其中构树苗木在土壤干旱胁迫下适应状况是一种重要体现。近年来我国学者对不同水分条件下木本植物光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的研究十分活跃, 但对构树进行的类似试验却鲜见报道^[4,6]。本文旨在通过对

* 收稿日期: 2009-10-05

基金项目: 国家“十一·五”科技支撑计划项目(2006BAC01A09; 2006BAD03A1006); 国家重点基础研究发展规划项目(973)(2006CB403206); 国家自然科学基金项目(10961008)

作者简介: 魏媛(1976-), 女, 贵州毕节人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 恢复生态及土壤微生物生态研究。E-mail: weiyuan09876@163.com

通信作者: 喻理飞(1963-), 男, 江西新建人, 教授, 博导, 主要研究方向: 喀斯特退化生态系统恢复研究。E-mail: gdyulifei@163.com

一年生构树苗木对土壤干旱胁迫的生理响应进行研究, 了解其对不同水分条件的适应策略, 为喀斯特地区的退化生态系统的恢复及重建供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

选择生长基本一致的一年生构树苗木 24 株, 将其充分浇透水 3 d, 待其土壤相对含水量为: 对照的土壤相对含水量为 $(70 \pm 5)\%$, 轻度胁迫 $(56 \pm 5)\%$, 中度胁迫 $(40 \pm 5)\%$, 重度胁迫 $(25 \pm 5)\%$ 时, 进行各生理抗旱指标的测定。各处理文中简写为“CK, 轻, 中, 重”。

1.2 观测方法

叶水势测定采用压力室法^[7]: 应用 ZLZ-5 型植物水分状况测定仪测定叶水势; 光合测定: 在晴朗无风的天气, 采用 CI-301 PS 光合测定仪 (CID, Inc.) 测定供试样品叶片的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 等指标, 每小时测 1 次, 共测 3 次, 持续 2 min 稳定后记录数据, 每次 4 片叶, 重复 3 次, 取平均值。

1.3 数据处理

实验数据图表绘制采用 Excel 软件, 统计与分析采用 SPSS 12.0 和 DPS 3.01 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤干旱胁迫下叶水势的变化

水势是对植物水分状况最好的单项尺度。它是水的化学势的度量, 它控制着土壤-植物-大气系统中水的移动。植物水势越低 (负值越大) 吸水能力

越大。植物叶水势代表其水分运动的能量水平, 是衡量植物抗旱的一个重要指标。图 1 (左) 表明: 随着水分胁迫程度的加强, 构树苗叶水势呈下降的趋势。与对照 (CK) 相比, 下降幅度轻度胁迫 $< (33.35\%)$ 中度胁迫 $(66.7\%) <$ 重度胁迫 (193.3%) 。干旱条件下, 叶水势降低, 有利于苗木从土壤中吸收水分, 水分下降幅度越大, 植物吸收水分的能力越强^[6]。构树叶水势随着水分胁迫的加剧大幅度下降, 这说明构树的抗旱能力强, 是喀斯特地区的先锋树种之一。

2.2 土壤干旱胁迫下苗木光合速率的变化

光合作用是植物生长和产量形成的生理基础, 受外界和内部的多因子影响。最有影响的外界因子是光照、湿度、 CO_2 浓度、温度、水分和矿质元素等^[8]。因此植物在干旱条件下生长和形成产量的光合生长力即耐旱生产力是鉴定植物耐旱能力最为重要的指标之一。水分胁迫下植物能否保持旺盛的光合作用能力是判断植物抗旱性的一重要参数, 在水分胁迫的研究中, 净光合速率的降低已成为显著的特征。Kramer 认为^[9], 光合作用及其它基本生理过程的减弱, 可能受水分逆境的影响要比其它所有环境因子的总和还大。虽然水分逆境影响植物生理和生长的各个方面, 其减低生长和产量的主要部分是与降低光合作用有关。造成这种降低的原因有 3 方面: (1) 减少光合作用面积; (2) 气孔关闭, 减少了通向叶绿体 CO_2 的供应; (3) 叶绿体结构破坏。在供水良好的条件下, 阔叶树的净光合速率明显高于针叶树。但在干旱胁迫下, 由于树种不同, 其净光合速率下降幅度并不一致。

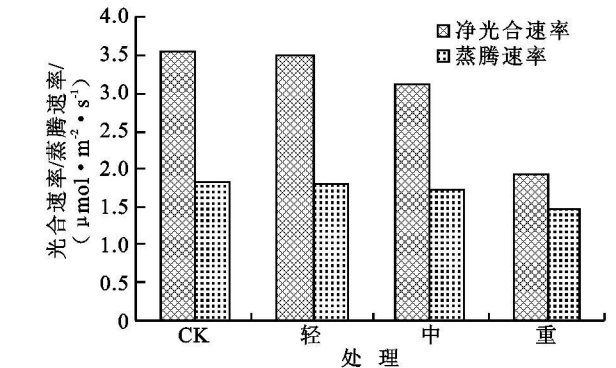
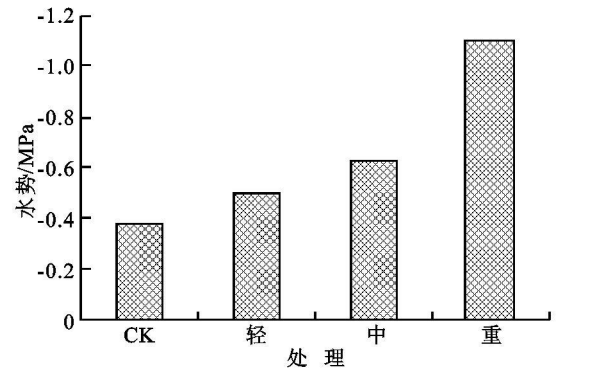


图 1 干旱胁迫下构树叶水势 (左) 及净光合速率、蒸腾速率 (右) 的变化

从图 1 (右) 中可以看出, 水分胁迫下构树净光合速率随胁迫加剧而逐渐下降, 其下降的幅度因胁迫程度而异, 在轻度胁迫时, 构树的净光合速率最大, 其值为 $3.55 \mu mol / (m^2 \cdot s)$, 重度胁迫时最小 $2.48 \mu mol / (m^2 \cdot s)$, 与对 CK 相比, 其下降幅度依次为: 轻度胁迫 $(1.41\%) <$ 中度胁迫 $(12.11\%) <$ 重

度胁迫 (30.14%) 。干旱胁迫过程中净光合速率下降幅度不大, 说明其对干旱胁迫敏感性较小, 干旱胁迫对其光合产物的积累影响不大。

2.3 土壤干旱胁迫下苗木蒸腾速率的变化

蒸腾是控制植物水分关系最主要的因素之一。在 SPAC 中, 植物体内的水分平衡由吸水速率与失

水速率来控制,而失水速率主要决定于植物蒸腾作用的大小。蒸腾作用对液流的上升,矿质和水分的吸收和运输,以及对降低叶温的冷却作用都是不可少的。关于蒸腾作用与植物耐旱性的关系有的研究表明,旱生植物在干旱时期蒸腾作用较小,但在水分充足的条件下又表现出显著的蒸腾量。在干旱胁迫条件下,蒸腾作用与气孔导度都随着水分胁迫的发展而降低^[6],而气孔关闭则是引起树木蒸腾作用大幅下降的主要原因。因此减少气孔蒸腾是树木控制失水,维持体内水分平衡和耐旱的一个关键。

图 1(右)表明:水分胁迫下蒸腾速率随胁迫加剧而逐渐下降,其下降的幅度因胁迫程度而异,在轻度胁迫时,蒸腾速率最大,其值为 $1.81\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,重度胁迫时最小 $1.45\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,与对 CK 相比,其下降幅度依次为:轻度胁迫(0.55%)<中度胁迫(4.41%)<重度胁迫(19.8%)。这说明构树在水分胁迫时蒸腾速率降低不大。

2.4 土壤干旱胁迫下苗木气孔导度的变化

气孔是植物与外界联系的通道,它直接影响和控制着植物的蒸腾作用和光合作用,受风力、温度、光照强度等因素的影响,环境的变化能很快在气孔导度这一指标上反映出来^[10]。水分胁迫能够引起气孔关闭,有利于保持体内水分,推迟水分亏缺发展到有害或致死程度的时间。植物供水良好时,气孔开闭主要受光照,CO₂ 两个因素等控制,表现为昼开夜闭有规律的气孔运动现象。水分亏缺时,水分

成为气孔关闭的决定性因素,植物可以通过关闭气孔而减少蒸腾失水。气孔开闭变化对植物水分状况及 CO₂ 同化有着重要的影响,是整个植株对水分胁迫最为敏感的指标^[11]。图 2(左)表明,当苗木受到土壤干旱胁迫时,气孔导度随着土壤含水量的下降而下降。在轻度胁迫时,气孔导度为 $63.67\text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,重度胁迫时为 $29.78\text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,与 CK 相比,其下降幅度依次为:轻度胁迫(8.12%)<中度胁迫(26.75%)<重度胁迫(53.23%)。构树叶片气孔导度随着水分胁迫加剧而依次减小,这说明其减少蒸腾而控制失水的能力较强,从而最大程度地节约水分,提高抗旱能力。

2.5 土壤干旱胁迫下苗木水分利用效率的变化

单位水量通过叶片蒸腾散失时光合作用所形成的有机物的量表示为 $WUE = P_n/E$,即为单位叶面积上叶片的净光合速率与蒸腾速率之比, WUE 表达的是作物对水分吸收利用过程效率的一个指标,常被来衡量一个地区水资源利用水平的高低^[12]。 WUE 越大,表明单位重量消耗的水分所固定 CO₂ 数量越多。干旱胁迫下植物 WUE 越大表明其节水能力越大。提高水分利用效率是植物在水分胁迫下忍耐饥饿能力的一种适应方式。在一定的水分胁迫范围内,当叶片气孔导度减小,蒸腾速率下降的同时,净光合速率也随之下降,然而水分利用效率却升高,这在许多实验中有过报道。

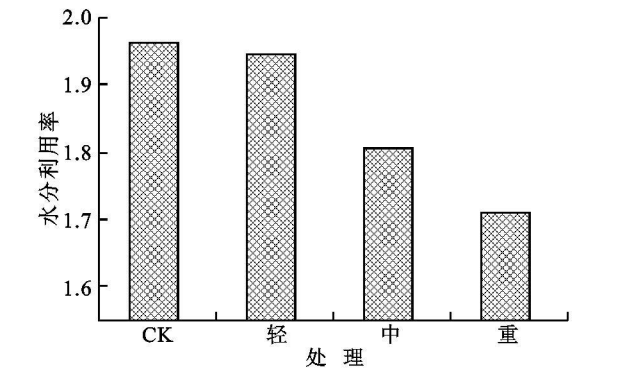
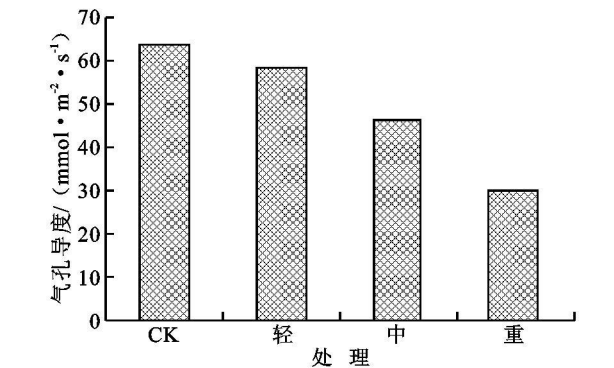


图 2 干旱胁迫下气孔导度(左)及水分利用效率(右)的变化

从图 2(右)中可以看出,水分胁迫下 WUE 随胁迫加剧而逐渐下降,其下降的幅度因胁迫程度而异,在轻度胁迫时, WUE 为 1.96,重度胁迫为 1.71,与 CK 相比,其下降幅度依次为:轻度胁迫(0.86%)<中度胁迫(8.04%)<重度胁迫(12.79%)。构树在水分轻度胁迫时 WUE 下降不大,表现出其能维持较高的节水能力和光合生产潜力,对干旱有一定适应的能力。

3 结论与讨论

(1) 本试验结合西南喀斯特地区特殊的地理生态条件,通过对该地区土壤干旱胁迫下构树苗木叶水势、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及水分利用效率的研究表明:在土壤干旱胁迫下,构树苗木各生理指标均有所下降,说明其在一定水分胁迫的干旱生境中,具一定的保水、持水和抗脱水能力,可作为退化喀斯特石漠化地区造林的先锋树种。

(2) 植物耐旱能力大小是一种复合性状, 植物耐旱性是一个多指标、多重复的过程, 而且植物在不同的时期表现出的耐旱性不同。由于时间限制。本文从宏观的角度, 用定性和定量相结合的评价方法对构树一年生幼苗的耐旱适应性进行了初步研究, 根据实验结果, 初步认为构树具有一定的耐旱性, 在一定程度上阐明了其能够在喀斯特生境中生存的生理基础。

(3) 西南退化喀斯特山区因植被稀少, 水土流失严重。水分作为植物生存的基本生活因子, 在南方喀斯特山区更具有其特殊的生理生态意义, 如何选择耐旱品种, 减少植物无效蒸腾所散失的水分, 对于西南退化喀斯特植被的恢复及重建有着极为重要的意义。目前多数学者认为轻度干旱胁迫下, 净光合速率降低主要受气孔限制; 中度干旱胁迫状态下, 净光合速率降低由气孔和非气孔因素共同限制; 严重干旱胁迫下, 非气孔因素是净光合速率降低的主要原因^[13-17], 但其关系及影响机理有待于深入的研究。

参考文献:

- [1] 祁承经, 汤庚国. 树木学(南方本)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 371.
- [2] 朱守谦, 韦小丽. 乌江流域喀斯特石质山地水分特征研究: 喀斯特森林生态研究(四)[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003.
- [3] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中. 喀斯特森林不同种组的耐旱适应[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(1): 19-22.
- [4] 廖行, 王百田, 武晶, 等. 不同水分条件下核桃蒸腾速率与光合速率的研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 30-34.
- [5] 杨娜, 王冬梅, 王百田, 等. 土壤含水量对紫穗槐蒸腾速率与光合速率影响研究[J]. 水土保持应用技术, 2006(3): 6-9.
- [6] 李文华, 刘广权, 马松涛, 等. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水和生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(1): 61-65.
- [7] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [8] 李方民, 王勋陵, 岳明, 等. 人为扰动对黄帝陵侧柏生理生态学特性的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(2): 239-241.
- [9] Krammer, Inchezdiaz M F, Turgor P J. Differences and warter stress in maize and sorghum leaves during drought and recovery[J]. Exp. Bot. 1989, 88: 511-515.
- [10] 张华, 王百田, 郑培龙. 黄土半干旱区不同土壤水分条件下刺槐蒸腾速率的研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 122-125.
- [11] Femandez R T, Perry R I, Flore J A. Drought response of young apple tree On three rootstocks ⑤. Gas change chlorophy ⑥ fluorescence. water relations and leaf abscisic acid[J]. Amer. Sor. Hon. Sci., 1997, 122(6): 841-848.
- [12] 周欣, 郭亚芬, 魏永霞, 等. 水分处理对大豆叶片净光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(3): 374-376.
- [13] 邓雄, 李小明, 张希明, 等. 4种荒漠植物气体交换特征的研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 605-612.
- [14] Rensburg L. Comparative analysis of differential drought stress induced suppression and recovery in carbon dioxide fixation stomatal and non-stomatal limitation in *Nicotiana tabacum* L. [J]. Journal of Plant Physiology, 1993, 142(3): 296-306.
- [15] Hasio T C. Plant responses to water stress[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1973, 24: 519-570.
- [16] Cregg B M, Zhang J W. Physiology and morphology of *Pinus sylvestris* from diverse sources under cyclic drought stress [J]. Forest Ecology and Management, 2001, 154: 131-139.
- [17] 冯玉龙, 巨关升, 朱春全. 杨树无性系幼苗光合作用和PV水分参数对水分胁迫的响应[J]. 林业科学, 2003, 39(3): 30-36.