

应用压力-容积技术测定 3 个防火树种的水分特征

邹武, 温国胜, 徐贵艳, 周国模, 余树全

(浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 此研究旨在研究防火树种的水分特性, 为南方地区防火树种选择提供理论依据。应用压力-容积(P-V)分析技术测定了木荷 *Schima superba*, 秃瓣杜英 *Elaeocarpus galbripetalus* 和青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 等 3 个防火树种春季、夏季和秋季的水分特征参数, 即初始质壁分离点渗透势 π_p , 饱和含水量时的最大渗透势 π_0 , 细胞弹性模数 ξ , 细胞质壁分离时的共质体水体积量与饱和时共质体水体积量之比 V_p/V_0 。结果表明: ①在不同季节中, 木荷与青冈的 4 项水分特征参数变化趋势与范围相似, 而与秃瓣杜英的相差较大; ②通过比较 3 个树种的 4 项水分参数在 3 个生长季节的平均数, 得出抗旱性排列顺序是青冈 > 木荷 > 秃瓣杜英。图 2 表 1 参 11

关键词: 森林生物学; 压力-容积技术; 防火树种; 水分生理; 抗旱性

中图分类号: S678; S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)01-0076-05

Water characteristics of three fire resistant tree species using pressure-volume (P-V) technique

ZOU Wu, WEN Guo-sheng, XU Gui-yan, ZHOU Guo-mo, YU Shu-quan

(School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: This objective is to provide a basis for chosen of fire resistant tree species in the southern area of China. Physiological indexes of drought-resistance, namely the four water parameters of osmotic potential at the turgor loss point (π_p), water potential at the water saturation point (π_0), bulk modulus of elasticity (ξ), and the rate of bound water in cells (V_p/V_0), for the three fire resistant trees, *Schima superba*, *Cyclobalanopsis glauca*, and *Elaeocarpus galbripetalus*, were studied using the pressure-volume(P-V) technique. Averages of the four water parameters for the three species in three growing seasons (March-May, July-August, and October-November in 2008) were then compared. Results showed that (1) in different seasons, water parameters of *S. superba* and *C. glauca* had similar trends and ranges but were different from *E. galbripetalus*. Also, (2) drought resistance from averages of the water parameters was *C. glauca* > *S. superba* > *E. galbripetalus*. [Ch, 2 fig. 1 tab. 11 ref.]

Key words: forest biology; pressure-volume (P-V) technique; fire prevention trees; water physiology; drought resistance

在树木的生活史中, 水分亏缺在造成树木的生长停滞、伤害和死亡上, 相比其他任何生态因子更为重要, 不仅在干旱半干旱地区如此, 即使在湿润地区, 由于土壤水分条件在不同立地条件下、不同季节的不规则变化, 大多数植物都不同程度地受到干旱胁迫^[1]。在中国南方, 虽然地处湿润地区, 但每年由于季节性干旱胁迫, 导致森林植被落叶及其可燃性增加, 从而引发森林火灾的现象屡见不鲜。因此, 在生物防火林带建设中, 将与抗旱性密切相关的水分特征作为防火树种选择和林带配置的重要

收稿日期: 2009-01-08; 修回日期: 2009-04-15

基金项目: 浙江省重大科技专项重点项目(2006C12060); 杭州市重大科技攻关项目(20052112A11)

作者简介: 邹武, 从事林木生理生态研究。E-mail: puma1984n@163.com。通信作者: 温国胜, 教授, 博士, 从事林木生理生态研究。E-mail: wgs@zjfc.edu.cn

依据之一。木荷 *Schima superba*, 秃瓣杜英 *Elaeocarpus galbripetalus* 和青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 等是中国南方地区重要的防火和人居生态林树种, 含树脂少, 枝叶含水量较多, 不易燃烧, 萌芽再生力强。因此, 木荷、秃瓣杜英和青冈在植被恢复生态建设过程中被广泛应用^[2-4], 但其水分特性的研究鲜见报道。本次研究应用压力-容积分析技术(P-V 技术)测定木荷、秃瓣杜英和青冈等的水分特征参数, 比较其抗旱特征, 揭示其水分特征参数的季节变化和适应范围, 旨在为中国南方地区的生物防火林带及城镇人居生态林的树种选择提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验地设在浙江省临安市浙江林学院东湖校区内, 选择木荷、秃瓣杜英和青冈的壮龄树作为测定对象, 其中每个测定对象分别剪取 3 ~ 5 个枝条, 测试枝条均选标准木树冠中下部, 向阳, 外围发育正常的 1 年生小枝, 剪取小枝的长度约 10 cm。

1.2 实验方法

用压力室法测定 P-V 曲线, 得出上述 3 个树种的抗旱水分特征参数。具体步骤: ①将截取的小树枝端前部少许剪掉, 用吸水纸吸干水分, 立即用电子天平(0.000 1)称取小枝鲜质量, 然后把小枝放入清水中, 在室温、阴暗高湿条件下饱和吸水 12 h 以上之后取出, 吸干小枝表面的水分, 立即用电子天平称取饱和吸水质鲜质量。②将称量过饱和鲜质量的小枝装入压力室(Model 600 型植物水势测定仪), 在室温条件下(20 ℃左右), 用 Scholander-Hammel 逐渐升压法测定小枝水势(π_w)及失水体积(V)。③最后取出小枝, 烘干(80 ℃, 烘 24 h), 称得小枝干质量。④根据测得的 π_w 及 V 绘制 P-V 曲线。整个 P-V 曲线是由 2 部分构成的: 上半部分是双曲线, 下半部分是直线, 两者的交点就是初始质壁分离点。从这点以后, 组织失去膨压, 水势就只有渗透势, 即 $\varphi_w = \varphi_s$, 现实环境中达到该状态的植物已失去了活性。P-V 曲线的直线部分的压力(渗透势)和体积(渗透水含量)之间的关系可用 Van't Hoff 提出的溶液的渗透压与溶解一定量溶质的溶液的体积成反比的公式: $\varphi_s = \frac{RTN_s}{V'}$ 。其中: φ_s 表示渗透势, V' 表示溶液体积(指样品中留存的渗透水量), T 表示绝对温度, N_s 表示溶质的渗透有效物质浓度。其中 RTN_s 是常量, φ_s 与 V 是变量, 对于 P-V 曲线中膨压消失前的曲线部分, 组织的水势等于压力势与渗透势之和 $\varphi_w = \varphi_p + \varphi_s$; 在组织失水初期, 其水势的减低主要是由于压力势的减小, 所以曲线部分的 P-V 关系可用下式表示: $(\varphi_w - \varphi_p)V = \text{常量}$, 其中 φ_w 为平衡压的负值, φ_p 为 φ_w 与 φ_s 的差, φ_s 可通过 P-V 曲线的直线部分向纵轴的延伸而求得。P-V 曲线的直线部分借助回归直线而绘制, 渐次对各点进行回归直线而绘制, 渐次对各点进行回归, 直到相关系数突然变小^[5]。

借助 P-V 曲线, 可以计算出每个测试小枝初始质壁分离时的相对含水量、小枝初始质壁分离时的相对渗透水含量及饱和吸水时的质外体水的相对含量(束缚水的相对含量)。各个树种做 3 次重复。实验数据采用 Excel 2003 软件分析。

测定在春季(2008 年 3 - 5 月)、夏季(2008 年 7 - 8 月)、秋季(2008 年 10 - 11 月)进行。

2 结果与讨论

2.1 3 个防火树种在不同季节的 4 项水分参数的比较

π_p 即初始质壁分离点渗透势, 是与小枝的吸水力相关的水分特征参数。由图 1 可见, 木荷在 3 个生长季节的变化趋势是春季最低, 为 -3.008 3 MPa, 夏季最高, 为 -2.505 4 MPa, 秋季位于两者之间, 为 -2.988 5 MPa。秃瓣杜英在 3 个生长季节的变化趋势是春季最低, 为 -2.969 8 MPa, 夏季其次, 为 -2.858 6 MPa, 秋季最高, 为 -2.506 8 MPa。青冈在 3 个生长季节的变化趋势是春季最低, 为 -3.113 9 MPa, 夏季最高, 为 -2.537 6 MPa, 秋季位于两者之间, 为 -2.987 2 MPa。从图 1 可以看出木荷和青冈的变化趋势一致, 而秃瓣杜英在数值和趋势上都有较大的差异。 π_0 即饱和含水量时的最大渗透势, 也是与小枝的吸水力相关的水分特征参数。木荷在 3 个生长季节的变化趋势是春

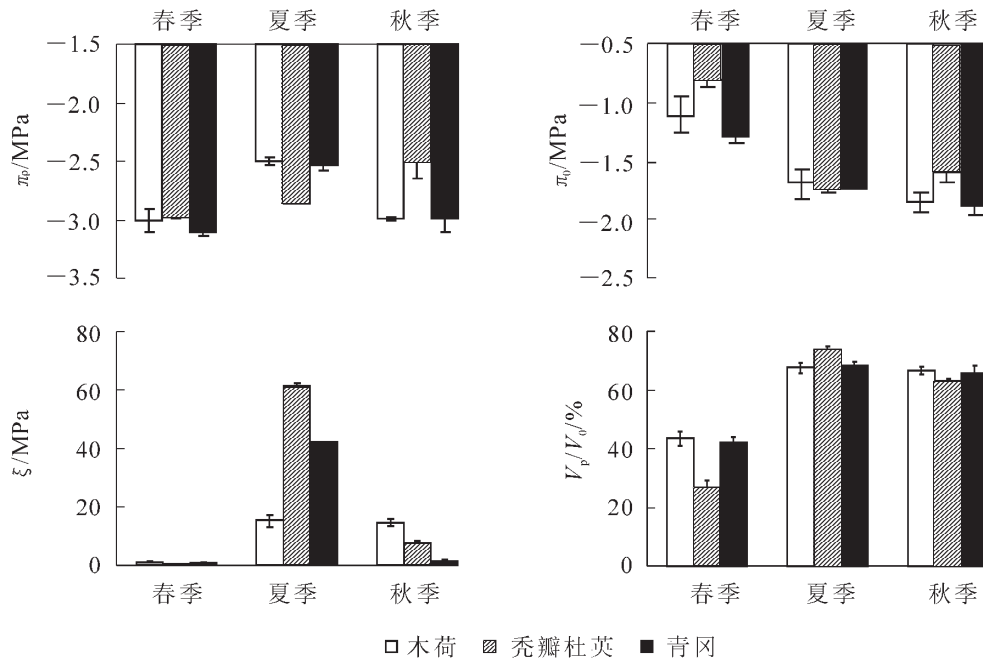


图1 3个树种水分特性的季节变化值

Figure 1 Seasonal changes of water characteristics parameters of three species in the spring, summer and autumn

季最高(-1.106 8 MPa), 夏季降低(-1.690 7 MPa), 秋季最低(-1.857 8 MPa)。秃瓣杜英在3个生长季节的变化趋势是春季最高(-0.823 2 MPa), 夏季最低(-1.742 0 MPa), 秋季位于两者之间(-1.585 8 MPa)。青冈在3个生长季节的变化趋势是春季最高(-1.301 5 MPa), 夏季降低(-1.735 9 MPa), 秋季最低(-1.877 7 MPa)。 ξ 即细胞壁弹性的参数。木荷在3个生长季节 ξ 的变化趋势是春季最小(1.012 0 MPa), 夏季最高(15.282 0 MPa), 秋季位于两者之间(14.623 8 MPa), 夏季和秋季的值相差不大。秃瓣杜英在3个生长季节的变化趋势是春季最小为0.336 2 MPa, 夏季最大为61.604 2 MPa, 秋季居中(7.618 2 MPa)。青冈的变化与木荷一致, 也是春季最小(1.083 4 MPa), 夏季最大(42.257 9 MPa), 秋季居中(1.342 1 MPa)。 V_p/V_0 即细胞质壁分离时的共质体水体积量与饱和时共质体水体积量之比。木荷在3个生长季节的变化趋势是春季最小(43.4%), 夏季最大(67.53%), 秋季位于两者之间(66.63%)。秃瓣杜英在3个生长季节的变化趋势是春季26.78%, 最小, 夏季73.86%, 最大, 秋季为63.25%。青冈在3个生长季节的变化范围是春季41.81%, 最小, 夏季68.42%, 最大, 秋季为65.83%。3个树种在变化趋势上大致相同。

2.2 3个防火树种在3个季节的抗旱性的比较

3个防火树种在春夏秋3个生长季节中各项水分参数的变化范围和大小都不一致, 因此, 我们通过3个季节的平均数来综合评价3个树种在春夏秋3个季节的抗旱性(图2)。 π_p 为秃瓣杜英>木荷>青冈, 秃瓣杜英分别比木荷与青冈高出0.06和0.10 MPa; π_0 为秃瓣杜英>木荷>青冈, 秃瓣杜英分别比木荷与青冈高出0.17和0.25 MPa; ξ 为秃瓣杜英>青冈>木荷, 秃瓣杜英分布比青冈和木荷高出9和13 MPa; V_p/V_0 为木荷>青冈>秃瓣杜英, 木荷分布比青冈和秃瓣杜英高出0.5%和4.5%。

π_p 和 π_0 是与小枝的吸水力相关的水分状况参数, 其值越小, 说明抗旱性越强^[3]。这说明青冈比木荷和秃瓣杜英有更强的抗旱性, 以较低的 π_p 和 π_0 值保持较高的吸水力, 在干旱少雨的季节里能更好地适应环境。 ξ 是表示细胞壁弹性的参数, 该值越大, 表示细胞壁越坚硬, 弹性越小, 也就是说秃瓣杜英比起木荷和青冈, 由于细胞壁坚硬, 弹性较小, 在水分不足时, 能迅速降低膨压, 提高吸水力。 V_p/V_0 值越大, 表示细胞质壁分离发生时, 细胞内束缚水含量较高, 忍耐脱水能力较强^[6-7], 木荷 V_p/V_0 最大, 青冈略小。故可以得出结果: 在3个生长季节中, 通过考察4项水分特征参数的平均值, 抗旱性强弱为青冈>木荷>秃瓣杜英。

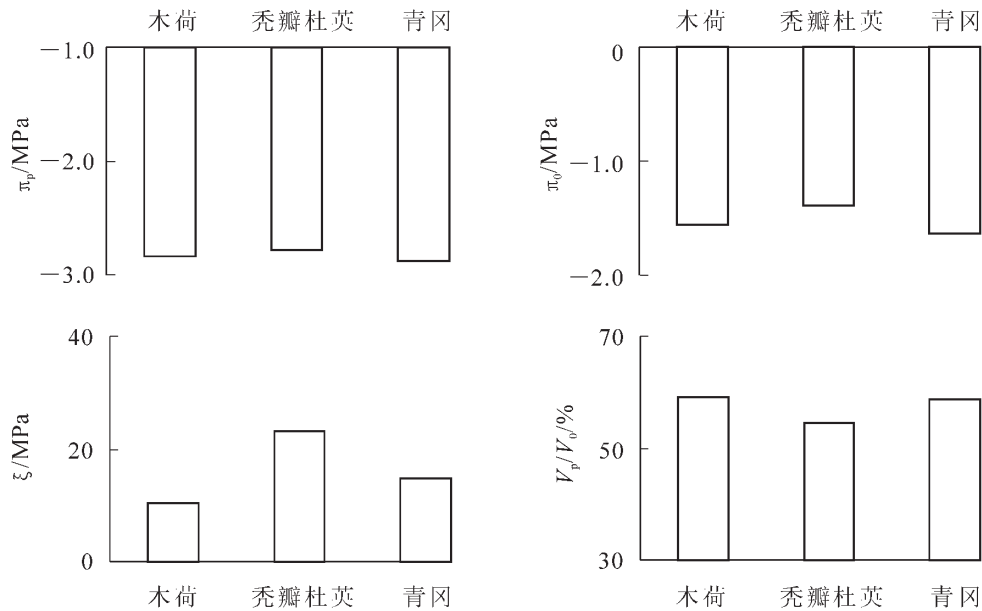


图 2 3 个树种在 3 个季节的水分特征的平均值

Figure 2 Average parameters of water characteristics of three species among the spring, summer and autumn

2.3 3 个防火树种各水分参数间的相关性分析

相关分析表明(表 1), 木荷在 3 个生长季节中, π_p 与 π_0 呈负相关, 但其影响较小。 π_p 与 ξ 和 V_p/V_0 呈正相关, 其值也较小。 π_0 与 ξ 和 V_p/V_0 呈较强的负相关性。 ξ 和 V_p/V_0 呈较好的正相关性。秃瓣杜英在 3 个生长季节中, π_p 与 π_0 和 ξ 呈负相关, 但其影响较小。 π_p 与 V_p/V_0 呈正相关, 其值也较小。 π_0 与 ξ 和 V_p/V_0 呈较强的负相关性。 ξ 和 V_p/V_0 呈较好的正相关性。青冈在 3 个生长季节中, π_p 与 π_0 呈较弱的负相关。 π_p 与 ξ 和 V_p/V_0 呈较强的正相关。 π_0 与 ξ 呈较弱的负相关, 与 V_p/V_0 呈强的负相关。 ξ 与 V_p/V_0 呈较弱的正相关。

表 1 木荷、秃瓣杜英和青冈各项水分特征参数之间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients among *Schima superba*, *Elaeocarpus galbripetalus*, *Cyclobalanopsis glauca* parameters of water characteristics

特征参数	木荷			秃瓣杜英			青冈		
	π_p	π_0	ξ	π_p	π_0	ξ	π_p	π_0	ξ
π_0	-0.338 0			-0.561 4			-0.475 8		
ξ	0.564 0	-0.967 8		-0.181 5	-0.711 8		0.979 0	-0.286 6	
V_p/V_0	0.557 4	-0.969 8	0.999 9	0.513 5	-0.998 4	0.750 7	0.732 9	-0.947 1	0.578 9

3 结论与讨论

3 个树种各项水分特征参数在不同生长季节中表现出不同的变化趋势和大小。木荷与青冈的 4 项水分参数的变化趋势和大小都比较接近, 而秃瓣杜英与木荷和青冈的差别较大。通过比较 4 项水分参数在 3 个生长季节的平均值, 可以得出抗旱性的排列顺序是青冈 > 木荷 > 秃瓣杜英。因此, 在生物防火林带建设中, 应根据不同的立地条件选择和配置具有不同水分特征的树种。在山脊或山坡的上部, 一般土层较薄, 土壤含水量较低, 在干旱季节也就是防火季节, 树种受到较强的干旱胁迫, 应优先选择和配置抗旱性强的木荷和青冈; 而在山坡的中下部, 土层较厚, 可适当加大秃瓣杜英的配置比例。根据中国南方生物防火林带主要是沿山脊线建立的特点, 初步认为木荷是较为理想的生物防火树种。

根据 Turner 等对植物耐旱机制的讨论, 对于大多数植物, 植物的抗旱性即为耐旱性。膨压与水

势的最大变化率和初始失膨点总体渗透势这2个指标,是植物忍耐低水势能力的一种测度。膨压与水势的最大变化率可说明树木的渗透调节能力,是表明保持膨压能力大小的一个指标,其主要作用是降低树木水势,增加对土壤水分的吸收。在这2个指标中初始失膨点总体渗透势是与树木生理功能联系较紧密的临界点水分状况指标,许多研究均指出膨压的丧失将会影响许多生理活动的正常进行^[8],如一树木所处土壤水分状况低于其初始失膨点总体渗透势时,无论树木是延迟脱水类型还是忍耐脱水类型,对于树木正常生命活动乃至生存都是危险的信号。根据目前对压力-容积(P-V)技术所获耐旱性水分生理指标运用的研究结果和本研究结果分析,初始失膨点总体渗透势在树木耐旱性评价中占有最重要地位。而在上述结论中,抗旱性强的木荷其初始质壁分离点渗透势 π_p 相比其他2个树种都小,这一结果进一步证实了运用P-V技术所测初始质壁分离点渗透势来评价树木耐旱性是可行的和可靠的^[9]。

与此同时,相同树种的4项水分特征参数在不同季节的变化幅度和趋势是不相同的,由于所测定的水分特征参数受多种因素的影响^[9-11],所以在实际应用中,必须考虑各种影响因素,进行综合分析。有关上述3个防火树种的抗旱性的研究还应结合其他方法进行深入研究。

参考文献:

- [1] 朗格 O L. 水分与植物生活——问题与现状研究[M]. 樊梦良, 译. 北京: 科学出版社, 1985: 264 - 272.
- [2] SCHULTE P J, HINCKLEY T M. A comparison of pressure-volume curve data analysis techniques [J]. *J Exp Bot*, 1985, **36**: 1590 - 1602.
- [3] MAJOR J E, JOHNSEN K H. Shoot water relations of mature black spruce families displaying a genotype \times environment interaction in growth rate III. Diurnal patterns as influenced by vapor pressure deficit and internal water status [J]. *Tree Physiol*, 2001, **21** (9): 579 - 587.
- [4] WHITE D A, BEADLE C L, WORLEDGE D. Leaf water relations of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* and *E. nitens*: seasonal, drought and species effects [J]. *Tree Physiol*, 1996, **16** (8): 469 - 476.
- [5] 田有亮, 郭连生. 应用P-V技术对7种针阔叶幼树抗旱性的研究[J]. 应用生态学报, 1990, **1** (2): 114 - 119.
TIAN Youliang, GUO Liansheng. Application of P-V technology on seven kinds of needle-leaved saplings drought research [J]. *J Appl Ecol*, 1990, **1** (2): 114 - 119.
- [6] 李吉跃. 油松侧柏苗木抗旱性初探[J]. 北京林业大学学报, 1988, **10** (2): 23 - 29.
LI Jiyue. *Tabulaeformis orientalis* seedlings of drought-resistance [J]. *J Beijing For Univ*, 1988, **10** (2): 23 - 29.
- [7] 李庆梅, 徐化成. 油松P-V曲线主要水分参数随季节和种源的变化[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1992, **16** (4): 326 - 335.
LI Qingmei, XU Huacheng. *Pinus tabulaeformis* P-V curve of the main water parameters with the seasons and the changes in seed source [J]. *J Plant Ecol Bot*, 1992, **16** (4): 326 - 335.
- [8] 孙志虎, 王庆成. 应用PV技术对北方4种阔叶树抗旱性的研究[J]. 林业科学, 2003, **39** (2): 33 - 38.
SUN Zhihu, WANG Qingcheng. The drought resistance of four broad-leaved species in the north of china with PV technique [J]. *Sci Silv Sin*, 2003, **39** (2): 33 - 38.
- [9] 郭连生, 田有亮. 运用PV技术对华北常见造林树种耐旱性评价的研究[J]. 内蒙古林学院学报, 1998, **20** (3): 1 - 8.
GUO Liansheng, TIAN Youliang. The use of PV technology for common tree species in North China drought tolerance evaluation study [J]. *J Inner Mongolia For Coll*, 1998, **20** (3): 1 - 8.
- [10] 温国胜, 张国盛, 吉川贤. 干旱胁迫对臭柏水分特性的影响[J]. 林业科学, 2004, **40** (5): 84 - 87.
WEN Guosheng, ZHANG Guosheng, YOSHIKAWA Ken. Effect of drought stress on water characteristics of *Sabina vulgaris* [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (5): 84 - 87.
- [11] 顾振俞, 文建雷, 胡景江, 等. 应用P-V技术对元宝枫水分生理特点的研究[J]. 西北林学院学报, 1999, **14** (4): 7 - 22.
GU Zhenyu, WEN Jianlei, HU Jingjiang, et al. The application of P-V technology on the water physiological characteristics of *Acer truncatum* Bunge research [J]. *J Northwest For Univ*, 1999, **14** (4): 7 - 22.