

4种植物气孔对水汽压亏缺敏感度的种间差异^{*}

赵 平, 刘 惠, 孙谷畴

(中国科学院华南植物研究所鹤山丘陵综合试验站, 广东 广州 510650)

摘 要: 利用 CO₂ 交换测定系统和树干液流测定法分别测定了植物的气孔导度 (g_s) 和冠层平均气孔导度 (G_s)。估测热带亚热带植物桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*)、荷木 (*Schinus molle*)、九节 (*Psychotria rubra*)、罗伞 (*Ardisia quinquefolia*) 和马占相思 (*Acacia mangium*) 在水汽压亏缺为 1 kPa 下 g_s 响应叶表面水汽压亏缺 (D_s) 或 G_s 响应叶边界层外水汽压亏缺 (D) 的敏感性与 g_s 或 G_s 大小的关系。研究的结果及文献引用的相关数据显示, 植物气孔对 D_s 敏感度 (dg_s/dD_s) 的种间差异较大, 与参比气孔导度 (g_{ref}) 相关 ($r^2=0.88$)。冠层平均气孔导度 (G_s) 的相应关系则为 $r^2=0.86$ 。在 D_s 或 $D=1$ kPa 下具有高 g_s 或 G_s 的植物, 其 g_s 对 D_s 或 G_s 对 D 的敏感度较高。耐旱阳生植物桃金娘和荷木在 $D=1$ kPa 时有高的 g_s 或 G_s 。对水汽压亏缺的敏感度较高, 而适于遮荫的树种罗伞则有低的 g_s 。对 D 的敏感度较低。基于液流密度 (J_s) 计算的马占相思 G_s 对 D 表现出密切的关系 ($r^2=0.94$), 当 $D=1$ kPa 时, G_s 对 D 的敏感度 $-m$ 为 $72.1 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \ln(\text{kPa})^{-1}$, 表明马占相思在低 D 下有较高的 G_s 。马占相思的 G_s 与液流密度关系为 $r^2=0.45$ 。 G_s 对 D 的敏感度与荷木相近, 是适于华南丘陵坡地生长的耐旱外来树种。

关键词: 叶片气孔导度; 冠层平均气孔导度; 水汽压亏缺; 敏感度

中图分类号: Q945.19 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) 04-0063-06

气孔是植物叶片进行气体交换的主要通道, 在空气水汽压亏缺 (D_s) 较低范围内, 气孔导度会随 D_s 上升而增大, 引起单位叶面积蒸腾速率 (E) 逐渐升高至最大值; 如果 D_s 继续上升, 气孔导度会呈指数降低, 蒸腾速率出现下降; 如果 D_s 明显增高, 气孔会部分关闭^[1]。为避免高 D_s 引起的过度蒸腾, 植物通过关闭气孔和相应降低叶片水势以减少水分的过分散失, 防止生理损伤。Monteith 和 Parkhurst 的早期研究曾指出, 气孔的关闭和开启对蒸腾速率的调节较 D_s 变化更直接^[2]。尽管人们认识到, 气孔的活动是叶片组织失水的一种反馈, 但目前对气孔保卫细胞的响应和信号传输的机制的认识仍然有限, 自 Monteith 和 Saliendra 等分别从 E 和叶片水势角度分析气孔对 D_s 响应以来一直存在较多的争议^[3]。气孔对 D_s 的响应, 与气孔导度 (g_s) 随 D_s 增高而降低的幅度有密切关系。不少研究显示 g_s 对 D_s 响应的敏感度存在较大的种间差异^[4], Yong 等曾指出, 在较低的 D_s 下, 叶片有高的 g_s 的植物, 其气孔对 D_s 的响应较为敏感^[5]。 g_s 对 D_s 增高的敏感度直接反映植物对环境水分状况变化的调节和适应性, 因而可作为选择耐旱树种的

重要参考。
季风常绿阔叶林是华南地区典型的地带性植被, 林地树冠繁茂, 种类繁多。由于长期的人为干扰和破坏, 森林出现退化, 致使部分林地的林冠覆盖度下降, 太阳辐射增强, 风速增大, 加剧了土壤蒸散作用而变得干旱, 并逐渐形成以需光树种为主的植物群落。原来密林中适应遮荫条件的树种则面临经常性的干旱胁迫, 在种间竞争中逐渐处于劣势, 甚至难以存活。不同植物种类的气孔导度对环境水分状况变化调节的差别, 是决定其能否在干旱胁迫下生存和生长的重要因素。通过量化气孔导度响应水汽压亏缺的敏感度, 可为选择适应华南地区季节性干旱环境下生长的植物种类, 为当地退化生态系统进行植被恢复提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 植物材料

选取热带和南亚热带森林常见的几种植物作为实验材料: 荷木 (*Schinus molle*)、桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*) 和九节 (*Psychotria rubra*)

^{*} 收稿日期: 2006-09-12
基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KSCX2-SW-133); 国家自然科学基金资助项目 (30428022 30270230); 广东省自然科学基金资助项目 (031265)
作者简介: 赵平 (1963年生), 男, 博士, 研究员; E-mail: zhao ping@scbg.ac.cn
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

分别生长在自然光的环境, 植株高约 30 m, 罗伞 (*Ardisia quinquegona*) 生长在 50% 自然光的遮荫处, 一般田间管理; 20 年树龄的马占相思 (*Acacia mangium*) 生长在坡地, 当地平均降雨量 1801 mm, 年平均温度 21.7 °C, 自然生长良好。

1.2 单叶气孔导度的测定

利用调节进入 CO₂ 气体交换系统 (ModelMark II Analytical Development Corp. Hoddensden, England) 叶室的干燥空气调节叶室内水汽压亏缺 (D_s , kPa), 在光强 $1\,000 \pm 20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 外界空气 CO₂ 摩尔分数 (C_a) 为 $365 \mu\text{mol mol}^{-1}$, 温度 $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 下, 测定植物叶片的气孔导度 (g_s) 和蒸腾速率 (E)。

1.3 树干液流的测定

根据 Granie 热电耦探针法测定马占相思的树干液流密度 (J), 利用多通道数据采集仪和环境因子监测传感器, 记录树干液流密度和微气候有关参数, 树干液流的测定方法、程序, 树木冠层蒸腾的计算参见文献^[6-7], 结合树木边材厚度计算整树和林段蒸腾, 然后求算冠层平均气孔导度 (G_s)^[8]。

1.4 计算

为了量化 g_s 对 D_s 的敏感度, 根据 Lohannar 等建立如下公式^[9]:

$$g_s = -m \ln D_s + b \tag{1}$$

式中 m 和 b 来自最小二次方回归的参数, g_s 和 $\ln D_s$ 的关系提供了在不同环境条件下不同植物种气孔导度对 D_s 敏感度的基准。当 $D_s = 1 \text{ kPa}$ 时, 气孔导度为参比气孔导度 b ($b = g_{\text{ref}}$); $-m$ 为 g_s 对 D_s 的量化敏感度, 相当于 $-dg_s/d\ln D_s$, $-dg_s/d\ln D_s$ 在整个 D_s 变化范围内比较稳定。

2 结果与分析

2.1 以荷木叶片为例的 g_s 、 D_s 与 E 的关系

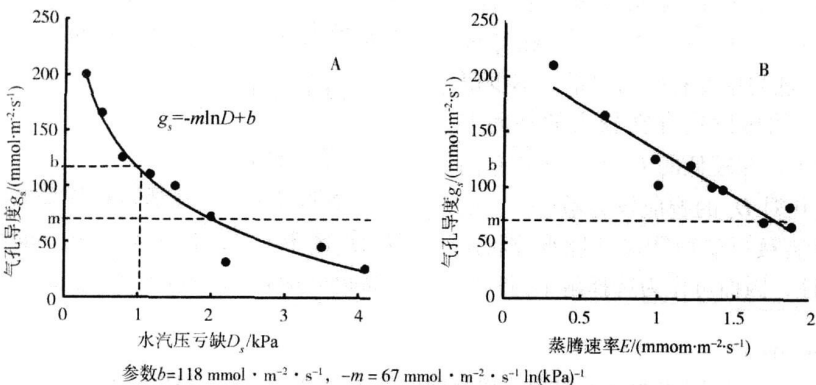


图 1 荷木叶片气孔导度 (g_s) 与水汽压亏缺 (D_s) 和蒸腾速率 (E) 的关系
Fig. 1 Relationship between stomatal conductance (g_s) and water vapor pressure deficit (D_s) as well as transpiration rate (E) in leaves of *S. superba*

图 1 表示荷木叶片气孔导度 (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 与 D_s (kPa) 和 E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 的关系。如图所示, 在较低 D_s 下 g_s 较高, 随 D_s 增高 g_s 而降低。当 $D_s = 1 \text{ kPa}$, $g_s = b$ ($119 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。根据公式 (1), $-m = 67 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \ln(\text{kPa})^{-1}$, 当 $g_s > m$ 时, g_s 随 D_s 增高表现统计意义上的线性关系。 $-m$ 为量化的 g_s 对 D_s 的敏感度, 相当于 $-dg_s/d\ln D_s$, 当 $g_s = 0$ 即气孔完全关闭时 D_s 值为 $e^{b/m}$ 。荷木叶片在 $D_s = 5.8 \text{ kPa}$ 时气孔完全关闭。从图 1B 亦可见 g_s 和 E 的关系, 当 $g_s > m$ 时, g_s 随着 E 增高而降低, 亦表现为统计意义上的线性关系。当 $g_s = m$ 时, E 值达到最大, 气孔对 D_s 敏感度的生理意义表现为蒸腾速率达到最大时的气孔导度。

2.2 叶片水平的气孔对水汽压亏缺的敏感度

表 1 表明在自然条件下几种热带亚热带阔叶树和其他地区的树木有不同的 b (g_{ref}) 和 m ($-dg_s/d\ln D_s$)。生长在自然条件下桃金娘的 b 值较在同等生长条件下的九节和荷木高 ($P < 0.05$) 桃金娘和九节叶片的气孔对 D_s 的敏感度较荷木叶片要高, 而适应遮荫环境的罗伞则有较低的气孔对 D_s 敏感度。 $e^{b/m}$ 代表气孔完全关闭时的水汽压亏缺 (kPa), 同样罗伞表现较低的 $e^{b/m}$, 而在较高 D_s 下, 叶片气孔完全关闭。图 2 所显示的是当 $D_s = 1 \text{ kPa}$ 叶片达到最大蒸腾速率时的气孔导度, 即气孔对 D_s 敏感度 ($-dg_s/d\ln D_s$) 与参比气孔导度 (g_{ref}) 有关。结果表明, 具有高参比气孔导度 (g_{ref}) 的植物, 叶片气孔对 D_s 的敏感度较高, 这一关系受其它环境因素的影响甚小, 有关学者的研究也显示, 在不同光、CO₂ 浓度下, 菜豆的遗传差异都很少影响 $-dg_s/d\ln D_s$ 和 g_{ref} 的关系^[10-11]。

表 1 利用所测定的植物叶片气孔导度估测 $g_s = -m \ln D_s + b$ 公式中两种参数¹⁾

Tab 1 Stomatal conductance values used for evaluating the two parameters in the function $g_s = -m \ln D_s + b$ at leaf level

植物种类	b(g_{sref})	m($-dg_s/d\ln D_s$)	$e^{b/m}$	来源
荷木 <i>S. superba</i>	151.6	70.8	8.49	本文
九节 <i>P. rubra</i>	227.7	116.6	7.03	本文
桃金娘 <i>R. tomentosa</i>	369.4	216.1	5.5	本文
罗伞 <i>A. quinquegona</i>	48.9	31.8	4.65	本文
相思树 <i>Acacia spp.</i> (6种)	191	113	5.4	文献[12]
圆锥花桉 <i>Eucalyptus pauciflora</i>	328	194	5.4	文献[13]
落叶松 <i>Larix xurolepsis</i>	94	36	>10	文献[14]
北美云杉 <i>Picea sitchensis</i>	154	90	5.5	文献[14]
扭叶松 <i>Pinus contorta</i>	211	89	>10	文献[14]
欧洲赤松 <i>Pinus sylvestris</i>	240	78	>10	文献[14]

1) b为 $g_{sref}/mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, m为 $-dg_s/d\ln D_s$ ($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ in (kPa)⁻¹), $e^{b/m}$ 为气孔完全关闭时外推的水汽压亏缺 (kPa)

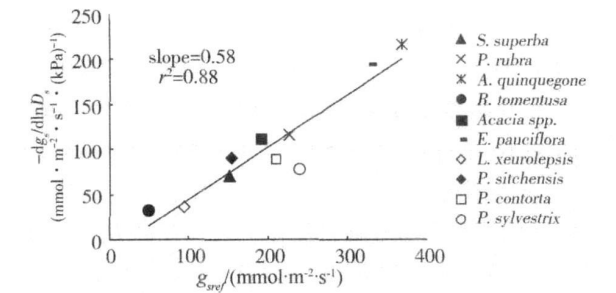


图 2 不同树种叶片气孔导度 (g_s) 对叶表面水汽压亏缺增高敏感度 ($-dg_s/d\ln D_s$) 与在 $D_s=1\text{ kPa}$ 时气孔导度 (g_{sref}) 的关系

Fig 2 The sensitivity of leaf stomatal conductance (g_s) to increasing vapor pressure deficit on leaf surface ($-dg_s/d\ln D_s$) as a function of the reference conductance (g_{sref}) at $D_s=1\text{ kPa}$ in different tree species

2.3 树木冠层水平的气孔导度对水汽压亏缺的敏感度

整个树冠层的水汽压亏缺较叶表面的大, 通常以 G_s 代替 g_s 表示冠层水平的平均气孔导度, 树冠层 (叶边界层以外) 水汽压亏缺为 D . Parke和 Sullivan 等曾证明, 在森林中冠层空气能充分混合, 在这一点测定气温和相对湿度均足以提供 D . 进而

计算 G_s . 比较 g_s 与 D_s 和 G_s 与 D 之间的关系, Meinze 等^[15] 发现, 在 $D=1\text{ kPa}$ 时, $g_s=0.85G_s$ 且 $-dg_s/d\ln D_s=0.67-dG_s/d\ln D$. 从图 3 可见, G_s 对冠层 D 的敏感度 ($-dG_s/d\ln D$) 关系亦表现为线性相关 ($r^2=0.9$), 斜率为 0.65. 结果显示 G_s 对 D 敏感度具有与叶片水平两者相应的相关关系. 在整个林冠层, 不同叶片气孔导度有较大差异, 而 G_s 则是单叶气孔导度的集合. G_s 和 $-dG_s/d\ln D$ 的相关斜率较单叶 g_s 和 $-dg_s/d\ln D_s$ 高, 反映具高 G_s 的树木叶片对 D_s 的敏感度较大, 这种关系比单叶水平的显著.

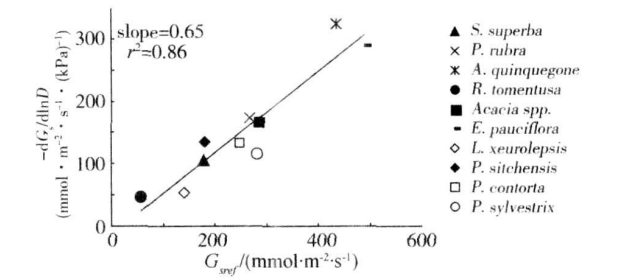


图 3 几种树木冠层平均导度对水汽压亏缺敏感度 ($-dG_s/d\ln D$) 与 $D=1\text{ kPa}$ 时冠层导度 (G_{sref}) 的关系

Fig 3 The sensitivity of mean canopy stomatal conductance to increasing vapor pressure deficit ($-dG_s/d\ln D$) as function of canopy stomatal conductance at $D=1\text{ kPa}$ (G_{sref}) in several tree species

作者曾对华南丘陵地区马占相思人工林的水分利用以及冠层与大气水分交换通量进行过研究, 利用 Granier 系统测定了马占相思的树干液流密度 (以质量计 H_2O) ($J/g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), 并计算 G_s ^[7]. 结果显示, 叶片边界层外水汽压亏缺的日变化表现为单峰曲线, 从早上至下午 14:00 左右水汽压亏缺增高, 达到最大值后则见降低. 在 8:30 以前, G_s 逐渐增高, 约在 8:30 时达到最大值, 随后逐渐下降. 从 8:30 至 14:00 G_s 随 D 增高而降低^[7], G_s 较树干液流密度先到达最大值, G_s 与 D 和 G_s 液流密度 (J) 关系见图 4.

从图 4A 可见, 马占相思林 G_s 随 D 增高而降低, 当 $D=1\text{ kPa}$ 时的冠层平均气孔导度 b (G_{sref}) 为 $90 \pm 2\text{ mmol} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 其对 D 的敏感度 m ($-dG_s/d\ln D$) 为 $72.1 \pm 1.8\text{ mmol} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot (kPa)^{-1}$, 当 $G_s > m$, G_s 与 D 的关系为 $r^2=0.94$. 图 4B 显示单树冠层 G_s 与液流密度的关系表现为 $r^2=0.45$. 在日变化进程中液流密度的变化滞后于

G_s 假定树干补充储存的水分很少, 同时忽略同一环境下光影响的差异, 当叶边界层外导度大于 G_s 则树干液流密度的平均值可以反映树冠层的瞬时蒸腾速率。当冠层平均气孔导度达到 m ($dG_s/d\ln D$) 值时有高的树干液流密度, 显示该树种的 G_s 对冠层内 D 有较高的敏感度。利用树干液流法测定 G_s 对冠层内 D 的敏感度, 可以比较不同树木 G_s 对 D 敏感度的种间差异, 是选择耐旱树种的重要生理指

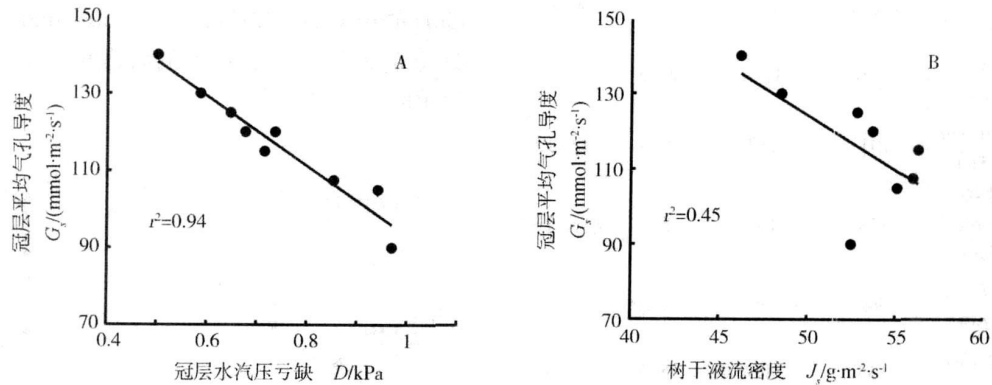


图 4 基于液流测定值的马占相思冠层平均气孔导度 (G_s) 与水汽压亏缺 (D)、树干液流密度 (J_s) 的关系

Fig 4 Sap flux density-based mean canopy stomatal conductance of *A. mangium* in relation to vapor pressure deficit and sap flux density

表 2 基于液流法测定值估测的在公式 $G_s = -m \ln D + b$ 中的两个参数¹⁾

植物种类	b	m	$e^{b/m}$	来源
热带森林树种 tropical forest tree species	53	30	5.9	文献[16]
楝如树 Anacardium excelsum	89	45	7.2	文献[15]
南欧油松 Pinus Pinaster	138	99	4.0	文献[17]
Goupia glabra	194	91	8.4	文献[18]
欧洲赤松 Pinus sylvestris	111	75	4.4	文献[6]
马占相思 Aca cia mangium	90	72.1	5.8	本文

1) 参数 b m 和 $e^{b/m}$ 与表 1 相同

3 讨论

在田间, 气孔导度的变化受多种因素的影响, 如光合有效辐射、水汽压亏缺和叶片水分状况, 不同种类植物叶片气孔导度对水汽压亏缺 (D_s) 响应的敏感度不同, 反映它们不同的调控水分状况的能力, 而调控能力的强弱, 表现植物耐旱能力的大小, 但这种大小通常难于量化和进行种间比较。早期 Sandford 和 Jarvis^[14] 曾指出, 当 D_s 比较低时, 气孔导度对水汽压亏缺的敏感性与气孔大小成正相关。尽

标。

比较不同作者的研究结果 (表 2) 可知, 马占相思林的 G_s 较一般热带树种高^[16], 近似本地树种荷木 (本文) 和欧洲赤松^[6]。具有高的 G_s 的树种, 对水汽压亏缺变化响应的敏感度较高, 有利于调节叶片水势和蒸腾速率, 表现较强的耐旱性。

管 g_s 随不同光、 CQ 甚至遗传的差异有所变化^[10-11], 但对 D_s 的敏感度仍随 $D_s=1$ kPa 时的参比气孔导度 (g_{sref}) 而增高。Oren 等曾证明不同的散孔材和环孔材树种的气孔导度敏感度 ($-d g_s/d \ln D_s$) 与 g_{sref} 相关 ($r^2=0.92$), 斜率为 0.60^[19], 冠层水平两者的关系亦表现相同的结果, $-d G_s/d \ln D$ 对 G_{sref} 的斜率为 0.59。荒漠植物如 Ephedra nevadensis 的两者斜率为 0.42, 显著低于中生性植物。荒漠环境的水汽压亏缺日变化较大, 在高 D_s 下气孔对叶片水势的调节不明显, 对 D_s 的敏感度较中生植物低。热带阔叶树叶形较大, 且林内的风速低 (如 <0.3 $m \cdot s^{-1}$), 水汽压边界层导度 (g_b) 低和相应较低的 g_b/g_s , G_s 对 D 的敏感度 ($-d G_s/d \ln D$) 与 G_{sref} 关系斜率达 0.65 与中生植物相同。本文结果显示, 利用 G_s 对 D 敏感度来判断气孔对植物蒸腾速率和水势的调控较单叶的估测更为合理。Macfarland 等^[20] 曾指出, 水分限制条件下桉树 (Eucalyptus globulus) 的 G_s 是较叶面积指数或其他叶特性更为重要的生长决定因素。以树干液流法所得数据来估测 G_s 对 D 的敏感度, 不失为一种准确、简易和可靠的方法, 能反映环境因子对植物水分利用的调节作用。

Schaffer 等曾指出, 树木可以通过提高树干边材面积与冠层总叶面积的比率, 使气孔保持适度开放,

边材面积的增大能增加水分供给, 减少水分胁迫, 提高耐旱能力^[21]。以往研究结果表明, 树干液流密度能反映整树 G 对蒸腾速率和叶片水势调节^[18]。尽管我们的测定结果显示 G_s 与 J_s 间的关系仅为 $r^2 = 0.45$, 但其反映的是树冠层集合叶片的状况, 而不是单叶测定所代表的仅具有较高最大气孔导度的阳生叶片。引种的外来树种马占相思, 其 G 对 D 敏感性与本地荷木相似, 表明其能适应于华南地区季节性干旱环境, 是适合当地进行植被恢复的重要优选树种。

缩略注释: D : 叶边界层外水汽压亏缺; D_s : 叶表面水汽压亏缺; g_s : 对水汽的气孔导度; G_s : 对水汽的冠层平均气孔导度; $g_{sD=1}$: 水汽压亏缺 $D=1$ kPa 时的气孔导度; $G_{sD=1}$: 水汽压亏缺 $D=1$ kPa 时的冠层平均气孔导度; E : 单位叶面积蒸腾速率; J_s : 树干液流密度

参考文献:

- [1] MONTEITH J L. A reinterpretation of stomatal response to humidity [J]. *Plant Cell and Environment* 1995, 18: 357—364
- [2] MOTT K A, PARKHURST D F. Stomatal response to humidity in air and helix [J]. *Plant Cell and Environment* 1991, 14: 509—515
- [3] SALENDRA N Z, SPERRY J S, COMSTOCK J P. Influence of leaf water status on stomatal response to humidity hydraulic conductance and soil drought in *Betula occidentalis* [J]. *Planta* 1995, 196: 357—366
- [4] MC—NAUGHTON K G, JARVIS P G. Effects of spatial scale on stomatal control of transpiration [J]. *Agricultural and Forest Meteorology* 1991, 54: 279—301
- [5] YONG J W H, WONG S C, FARQUHAR C D. Stomatal response to change in vapor pressure difference between leaf and air [J]. *Plant Cell and Environment* 1997, 20: 1213—1216
- [6] GRANIER A, BIRON P, BRÉDA N, et al. Transpiration of trees and forest stands: short and long-term monitoring using sapflow methods [J]. *Global Change Biology* 1998, 4: 265—274
- [7] ZHAO P, LU P, MA L, et al. Combining sap flow measurement based canopy stomatal conductance and ^{13}C discrimination to estimate forest carbon assimilation [J]. *Chinese Science Bulletin* 2005, 50: 2021—2027
- [8] KÖSNER B, FALGE E M, ALSHMER M, et al. Estimating tree canopy water use via xylem sapflow in an old Norway spruce forest and a comparison with simulation based canopy transpiration estimates [J]. *Annales des Sciences de Forestiers* 1998, 55: 125—139
- [9] LOHAMMAR T, LARSSON S, LINDERS S, FALK S Q. FAST—simulation models of gaseous exchange in Scots Pine [J]. *Ecological Bulletin (Stockholm)* 1980, 32: 505—523
- [10] MORISON J L, GIFFORD R M. Stomatal sensitivity to carbon dioxide and humidity [J]. *Plant Physiology* 1983, 71: 789—796
- [11] COMSTOCK J, EHLINGER J. Stomatal response to humidity in common bean (*Phaseolus vulgaris*): implication for maximum transpiration rate, water use efficiency and productivity [J]. *Australian Journal of Plant Physiology* 1993, 20: 669—691
- [12] ULLMANN J, LANGE O L, ZIEGLER H, et al. Diurnal courses of leaf conductance and transpiration of mistletoes and their hosts in central Australia [J]. *Oecologia* 1985, 67: 577—587
- [13] KÖRNER C, COCHRANE P M. Stomatal response and water relation of *Eucalyptus pauciflora* in summer along an elevational gradient [J]. *Oecologia* 1985, 66: 443—455
- [14] SANDFORD A P, JARVIS P G. Stomatal response to humidity in selected conifers [J]. *Tree Physiology* 1986, 2: 89—103
- [15] MENZER F C, GOLDSIEIN G, HOLBROOK N M, et al. Stomata and environmental control of transpiration in lowland tropical forest tree [J]. *Plant Cell and Environment* 1993, 16: 429—436
- [16] GRANIER A, HUC B, BARIGAH S T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factor [J]. *Agricultural and Forest Meteorology* 1996, 78: 19—27
- [17] GRANIER A, LOUSTAU D. Measuring and modeling the transpiration of a maritime pine canopy from sap flow data [J]. *Agricultural and Forest Meteorology* 1994, 51: 309—319
- [18] GRANIER A, HUC B, COLIN F. Transpiration and stomatal conductance of two rain forest species growing in plantation (*Simarouba amara* and *Goupiia glabra*) in French Guyana [J]. *Annales de Science forestiers* 1992, 49: 17—24
- [19] OREN R, SPERRY J S, KATUL G G, et al. Survey and synthesis of intra- and inter-specific variation in stomatal sensitivity to vapor pressure deficit [J]. *Plant Cell and Environment* 1999, 22: 1575—1526
- [20] MACFARLAND C, ADAMS M A, WILIE D A. Productivity, carbon isotope discrimination and leaf traits of tree of *Eucalyptus globulus* Labill. in relation to water availability [J]. *Plant Cell and Environment* 2004, 27: 1515—1524
- [21] SCHÄFER K V R, OREN R, TENHUNEN J D. The effects of tree height on crown level stomatal conductance [J]. *Plant Cell and Environment* 2000, 23: 365—375

Interspecies Variations in Stomatal Sensitivity to Vapor Pressure Deficit in Four Plant Species

ZHAO Ping LU Hui SUN Guochou

(Heshan Hill Land Interdisciplinary Experimental Station, South China
Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Stomatal conductance at leaf and canopy levels (g_s and G_s) was measured by employing CO_2 exchange—measuring system and sap flow measurements to evaluate the stomatal sensitivities ($-dg_s/d\ln D_s$ or $-dG_s/d\ln D$) in proportional to magnitude of g_s or G_s to water vapor pressure deficit (D) under condition of $D=1$ kPa. However, the magnitude of the stomatal sensitivity varied considerably among species. The sensitivity was correlated with the reference stomatal conductance (g_{ref}) with a slope of 0.58 at leaf-level ($r=0.88$) and with a slope of 0.65 at canopy-level ($r=0.86$). The results showed that the species with higher g_s or G_s at low D_s or D showed a higher sensitivity to D_s or D . Sun plant such as *Rhodomyrtus tomentosa* and *Schinus molle* had stomata higher stomatal conductance and exhibited a greater sensitivity to D_s at leaf-level and to D at canopy-level. However, a shade-tolerant species *Adiantum quinquangulatum* with lower stomatal conductance was less sensitive to D_s or D . Mean canopy stomatal conductance (G_s) was measured by using sap flow measurement in whole tree of *Acacia mangium*. The relationship between G_s and D was close ($r=0.94$). When $D=1$ kPa, the sensitivity of G_s to D ($-m$) was $72.1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \ln (\text{kPa})^{-1}$ showing $G_s > m$. The relationship between mean canopy stomatal conductance and sap flux density was $r=0.45$. A higher G_s at low D in *A. mangium* showed a greater sensitivity to D , which is similar to that of *S. molle*, implying that it be well capable of regulating leaf water potential if grown in subtropical environment where seasonal dry period occurs.

Key words: stomatal conductance; mean canopy stomatal conductance; vapor pressure deficit; sensitivity to vapor pressure deficit

(上接第 62 页)

Synthesis and Antioxidant Activity Evaluation of L-ascorbyl 6-p-Hydroxy Benzoate

WU Xinqin QIAO Wei YAN Suijun LI Feng LIN Jinglin MALin

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: L-ascorbyl 6-p-hydroxy benzoate (APHB) was prepared by esterification of L-ascorbic acid and p-hydroxy benzoic acid. The antioxidant properties were evaluated by several methods: scavenging effect on hydroxyl radical, superoxide radical, DPPH radical and reducing power. The results showed that APHB had significant antioxidative properties and could be a potential VC derivative.

Key words: L-ascorbic acid; p-hydroxy benzoate; L-ascorbyl 6-p-hydroxy benzoate; synthesis; antioxidant