

技术与方法 Techniques and Methods

一种简易准确测定木质部导水率的新方法

王明浩, 张晓玮, 王婧如, 赵长明*

兰州大学生命科学学院, 草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州730000

摘要: 木质部导水率作为植物水力结构特征的重要指标, 被广泛应用于植物水分运输等相关研究, 而目前对于测定木质部导水率的仪器存在着价格昂贵、操作复杂等缺点, 在普通实验条件下难以推广。因此, 根据冲洗法原理设计了一种简易准确测定木质部导水率的新方法, 并利用该方法分别测定了垂柳(*Salix babylonica*)、胡杨(*Populus euphratica*)、榆叶梅(*Amygdalus triloba*)和紫丁香(*Syringa oblata*)四种木本植物的木质部导水率和边材比导率, 结果显示该方法简便可行、数据可靠, 值得在植物水分生理教学实验和科学研究中推广应用。

关键词: 木质部; 导水率; 比导率; 水分运输

A Simple and Accurate Method for Measuring Hydraulic Conductivity in Xylem

WANG Ming-Hao, ZHANG Xiao-Wei, WANG Jing-Ru, ZHAO Chang-Ming*

State Key Laboratory of Grassland Agro-Ecosystems, School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Xylem hydraulic conductivity as an important index of plant hydraulic architectures, which has been widely used in plant water transport and other related research, however, the current instruments for determination of xylem hydraulic conductivity are difficult to promotion in ordinary experimental conditions, because these instruments are expensive or complex operation and so on faults. Here, a simple and accurate method to determine xylem hydraulic conductivity was designed, and then the xylem hydraulic conductivity of four woody species (*Salix babylonica*, *Populus euphratica*, *Amygdalus triloba* and *Syringa oblata*) were measured. The results showed that these data were reliable and this method was convenient and feasible. Taken together, this method is worth promoting in plant water physiological experiment teaching and scientific research.

Key words: xylem; hydraulic conductivity; specific conductivity; water transport

植物为了维持体内水分平衡形成了一套完备的水分吸收、运输和散失的连续系统, 即植物的根表皮细胞顺着水势梯度从土壤中吸收水分, 并沿着根和茎部导管输送到叶片, 再通过叶片蒸腾作用散失到大气中的水分运输系统, 即土壤-植物-大气连续体(soil-plant-atmosphere continuum, SPAC) (谭孝沅1983; 何春霞等2007)。同时植物为适应特定环境条件下的生存竞争, 又形成了不同的形态结构特征和水分运输供给策略, 即水力结构特征(李吉跃和翟洪波2000; 王丁等2009; Tyree和Ewers 1991)。目前, 植物水力结构特征参数, 如导水率(K_b)、边材比导率(K_s)、叶比导率(LSC)、胡伯尔值(H_v)等, 被广泛应用到植物木质部栓塞化程度(翟洪波等2003; 徐新武等2009; Domec等2006; Hacke等2006)和植物抗旱性(李吉跃和翟洪波2000; 王丁等2009; Sperry 2011; Mcculloh等2012)

等植物水分生理的研究中。这些水力结构特征参数通常在木质部导水率(即单位时间内通过植物茎段的水流量与引起该水流量的压力梯度的比值)的基础上计算得到(李吉跃和翟洪波2000)。因此, 木质部导水率的测定既是植物水力结构特征研究的基础和必需环节, 也是广大从事植物水分生理教学和研究人员必需掌握的基本实验方法。

目前国内外测定植物导水率常用的方法有解剖学法、蒸发通量法、超声波检测法和“冲洗法”(杨启良等2007; 王丁等2009; 张硕新和Richter 1996; Lo Gullo和Salleo 1991)等。解剖法只能确定

收稿 2012-11-30 修定 2013-01-10

资助 兰州大学2012年度实验技术创新基金(2012-06)和国家自然科学基金(31170571)。

* 通讯作者(E-mail: zhaochm@lzu.edu.cn; Tel: 0931-8914305)。

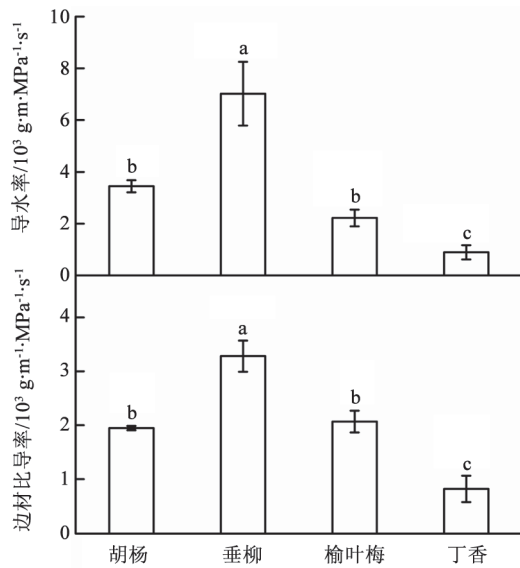


图2 垂柳、胡杨、榆叶梅和丁香的导水率(K_h)及边材比导率(K_s)比较

Fig.2 Hydraulic conductivity (K_h) and specific conductivity (K_s) of *S. babylonica*, *P. euphratica*, *A. triloba* and *S. oblata* 不同小写字母代表物种间在0.05水平上存在显著性差异。

丁香的导水率、边材比导率最低, 胡杨和榆叶梅介于两者之间, 且两者的导水率和边材比导率没有显著差异($P < 0.05$)。这一结果说明, 所测4个树种中垂柳的木质部输水能力和输水效率最强, 胡杨和榆叶梅次之, 丁香最弱。这与Ewers等(1991)对乔木、灌木、藤本所做的研究结果相符, 即藤本植物有最高的 K_s 值, 而灌木的 K_s 值最低, 乔木在二者之间(李吉跃和翟洪波2000)。

边材面积和导水率线性回归(图3)发现, 导水率主要受边材面积大小的影响, 茎段边材面积越大, 导水率越高。用多项式拟合边材面积与导水率之间的关系, 能得到理想的拟合结果: $K_h = 0.0001A_w^2 - 0.0042A_w + 0.0477$ ($R^2 = 0.7819$, $P < 0.01$)。这与翟洪波等(2003)测定油松一年生枝条导水率得出的“茎段直径越大, 导水率越高”结果一致。因油松一年生枝条忽略其心材面积, 所以茎段直径与本文的边材面积可视为等同。

基于以上试验结果分析表明, 该方法能够准确测定植物木质部导水率, 且操作简单, 易于实现。本试验中选用了去离子水作为冲洗液, 也有学者使用一定浓度的KCl溶液或 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 草酸溶液作为冲洗液, 认为它们测量木质部导水率时

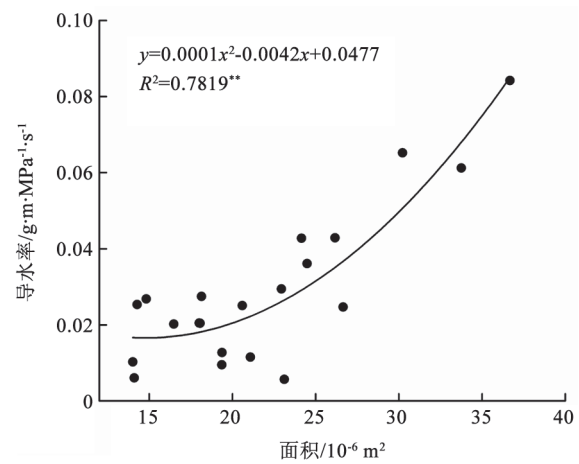


图3 导水率与茎段面积的关系

Fig.3 Relationship between hydraulic conductivity and stem cross sectional area

**代表在0.01水平具有显著性。

的稳定性较好, 更接近实际导水率(翟洪波等2003; Hacke等 2006), 然而有些树种却反映出不稳定性, 即不同冲洗液对植物材料的导水率大小的影响并不一致(徐新武等2009), 因此, 根据待测物种的不同需考虑选择不同的冲洗液。另外, 针对裸子植物导水率普遍较小的情况(Pallardy 2008), 在测定裸子植物导水率时建议选择待测茎段应较短(但长度至少大于管胞的最大长度)或者直径较大。最后, 鉴于目前用于测定木质部导水率的方法和仪器普遍存在对植物体破坏较大及所得数据缺乏实时性的缺陷, 将来需进一步加强木质部导水率原位测定方法的研究。

参考文献

- 何春霞, 李吉跃, 郭明(2007). 树木树液上升机理研究进展. 生态学报, 27 (1): 329~337
- 李吉跃, 翟洪波(2000). 木本植物水力结构与抗旱性. 应用生态学报, 11 (2): 301~305
- 翟洪波, 李吉跃, 聂力水(2003). 油松的水力结构特征. 林业科学, 39 (2): 14~20
- 谭孝沅(1983). 土壤-植物-大气连续体的水分传输. 水利学报, (9): 1~10
- 王丁, 薛建辉, 姚健(2009). 林木水力结构与抗旱性研究综述. 中国沙漠, 29 (4): 711~717
- 徐新武, 樊大勇, 谢宗强, 张守仁, 张想英(2009). 不同冲洗液对毛白杨和油松枝条水力导度和抵抗空穴化能力测定值的影响. 植物生态学报, 33 (1): 150~160
- 杨启良, 张富仓, 李志军(2007). 用高压流速仪测定植物的水分传导. 灌溉排水学报, 26 (4): 53~56

- 张硕新, Richter H (1996). 木本植物木质部的空穴和栓塞化. 西北林学院学报, 11 (3): 1~9
- Domec JC, Lachenbruch B, Meinzer FC (2006). Bordered pit structure and function determine spatial patterns of air-seeding thresholds in xylem of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*; Pinaceae) trees. *Am J Bot*, 93: 1588~1600
- Ewers FW, Fisher JB, Fichtner K (1991). Water flux and xylem structure in vines. In: Putz FE, Mooney HA (eds). *The Biology of Vines*. Cambridge: Cambridge University Press, 1: 127~160
- Hacke UG, Sperry JS, Wheeler JK, Castro L (2006). Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. *Tree Physiol*, 26: 689~701
- Lo Gullo MA, Salleo S (1991). Three different methods for measuring xylem cavitation and embolism: a comparison. *Ann Bot*, 67 (5): 417~424
- Mcculloh KA, Johnson DM, Meinzer FC, Voelker SL, Lachenbruch B, Domec JC (2012). Hydraulic architecture of two species differing in wood density: opposing strategies in co-occurring tropical pioneer trees. *Plant Cell Environ*, 35 (1): 116~125
- Pallardy SG (2008). *Physiology of Woody Plants*. 3rd ed. Oxford: Elsevier Academic Press, 316
- Sperry JS (2011). Hydraulics of vascular water transport. In: Wojtaszek P (ed). *Mechanical Integration of Plant Cells and Plants*. Berlin: Springer-Verlag, 303~327
- Sperry JS, Donnelly JR, Tyree MT (1988). A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem. *Plant Cell Environ*, 11: 35~40
- Tyree MT, Ewers FW (1991). The hydraulic architecture of trees and other woody plants. *New Phytol*, 119: 345~360