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 $(K_{\rm b})、边材比导率(K_{\rm s})、叶比导率(LSC)、胡伯尔$ 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的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

297

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)。

木质部导管输导能力和阻塞比例,无法定性测量, 而且需要做超薄切片在电镜扫描下观察导管中气 泡,因而耗时较长。蒸发通量法需要测定土-根界 面土壤水势以及植物各个组成部分的水势,导水 率需根据植株蒸发通量与土壤和叶片水势差值的 比率来计算,由于测定工序较多导致精度不高。 超声波检测法所需的仪器设备昂贵,而且它易受 到木质部组成和细胞差异的影响,测量精度还有 待提高。"冲洗法" (Sperry等1988) 所测量的是栓塞 化的累积结果及对水分运输造成的影响,测量结 果与导水率下降直接相关,因而更适合测量较长 时间内不同因素所引起的栓塞化程度。基于以上 分析,我们利用冲洗法原理设计了一种测定木质 部导水率的新方法,该方法在操作简单、造价低 廉的同时,具有测量准确、易于实现的优点,可以 应用到植物体内水分运输的教学实验以及植物水 分生理相关的科学研究中。

材料与方法

木质部导水率测定装置如图1所示,整体装置 由医用塑胶管(内径6 mm)相连。量筒储水后与茎 段之间形成压力差;配有鲁尔接头的医用三通阀, 上接量筒,下接茎段,另一端连接一支注射器,调 整三通阀出水方向并利用注射器可以排除装置中 气泡,防止气栓或气泡进入木质部;茎段连接方向 与植物导管运输水分方向一致;移液管用以测量 通过茎段的冲洗液流量,替代前人的称重法,减少 了操作误差,同时可根据茎段的实际流量选择合





适量程的移液管。装置所需材料均为实验室常用 材料,成本经济,操作简便。为验证本文方法的准 确性,我们做了以下试验。

试验于2012年10月在兰州大学草地农业生态 系统国家重点实验室进行。以兰州大学种质资源 圃内的多年生垂柳(Salix babylonica L.)、胡杨 (Populus euphratica Oliv.)、榆叶梅[Amygdalus triloba (Lindl.) Ricker]和紫丁香(Syringa oblata Lindl.)为待试材料。选取相同高度向阳面的一年 生枝条,剪下后立即用湿布包住,带回实验室,每 一树种取3棵长势一致的树且每棵树测量3个重 复。冲洗液为经过玻璃砂芯过滤装置(滤膜孔径 0.2 µm)过滤并在-0.06~-0.1 MPa负压下抽气处理 30 min的去离子蒸馏水。在水中垂直横切采集的 植物枝条,轻轻环切除去两端表皮,露出木质部, 用封口膜缠绕两端处数圈,再次在水中垂直横切, 随即连接茎段塑胶管(塑胶管直径可根据茎段直径 选择),既可防止空气进入导管影响结果,又可确保 连接的密封性。最终垂柳和胡杨的茎段长度约10 cm, 榆叶梅和丁香的茎段长度约5 cm。

按照图1连接整个装置,将去离子水倒入量筒 (500 mL)中,用注射器将装置中的气泡排净。植物 茎段水平放置于实验台,使量筒液面与茎段垂直 距离为1 m,移液管一端接塑胶管与植物茎段相 连。利用量筒中水柱产生的水压,迫使植物离体 茎段产生一定的水流,稳定5 min后记录单位体积 水流量所用时间,计算水流速度F(kg·s⁻¹)。

导水率(K_h)与边材比导率(K_s)的计算公式(李 吉跃和翟洪波2000)为:导水率=水流速度/压力梯 度,即 K_h = $F\cdot L/\Delta P$;边材比导率=导水率/边材面积, 即 K_s = K_h/A_w 。其中,F为通过离体茎段的水流速度, L(m)为茎段长度, ΔP (MPa)为引起该茎段水流动 的压强, A_w (m²)为茎段边材横截面积。测量完单 位体积水流量所用时间后,用直尺测量茎段长度 (L);同时,为区分茎段的心材和边材将近主枝端用 1%番红染色2 h,再用游标卡尺测量茎段横截面直 径和心材直径,并计算茎段边材横截面积。应用 SPSS统计分析软件,进行数据统计分析。

结果与讨论

通过对4个树种的导水率和边材比导率计算 分析表明(图2), 垂柳的导水率、边材比导率最高,

298





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= 0.0001*A*_w²-0.0042*A*_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 mol·L⁻¹草酸溶液作为冲洗液,认为它们测量木质部导水率时



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-大气连统体的水分传输. 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, l1 (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 (*Psuedotsuga 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 Acdemic 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, Donelly 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

300