

土壤水分连续变化过程对盆栽红叶石楠苗期蒸腾特性的影响

杨 静¹, 王华田¹, 宋承东², 张培法², 王 迎², 谭秀梅¹, 董玉峰¹

(1. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东省泰安市泰山林业科学研究院, 山东 泰安 271000)

摘要: 研究了在连续土壤水分变化过程中盆栽红叶石楠 *Photinia fraseri* 2年生扦插苗的土壤水势、叶片水势和蒸腾速率的日周期变化和连日变化过程, 以期找出土壤水分条件对红叶石楠的蒸腾特性的影响。结果表明: 随干旱胁迫的加重和土壤水势的持续下降, 土壤水势和叶片水势日变化过程均呈V字型, 于10:00-14:00达全天最低值, 且波动幅度随水分胁迫加剧而加大; 日平均蒸腾速率随土壤水势下降逐渐下降, 蒸腾速率日变化波动幅度逐渐减小, 蒸腾速率高峰值出现时间逐渐提前, 由开始胁迫的10:00(3.620 mmol·m⁻²·s⁻¹)提前到最后的8:00(0.952 mmol·m⁻²·s⁻¹)。相关性分析表明, 红叶石楠的蒸腾速率与土壤水势和叶片水势呈极显著($r = 0.804^{**}$)和显著($r = 0.566^{*}$)正相关。图3表1参19

关键词: 植物学; 红叶石楠; 蒸腾特性; 水势

中图分类号: S718.3 文献标志: A 文章编号: 1000-5692(2008)05-0670-05

Water potential and transpiration with decreasing soil moisture in *Photinia fraseri* potted seedlings

YANG Jing¹, WANG Hua-tian¹, SONG Cheng-dong², ZHANG Pei-fa², WANG Ying²,
TAN Xiu-mei¹, DONG Yu-feng¹

(1. Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; 2. Taishan Forestry Academy of Tai'an City, Tai'an 271000, Shandong, China)

Abstract: Diurnal soil and leaf water potential as well as transpiration rate of 2-year-old potted seedlings of *Photinia fraseri* were studied with decreasing soil moisture conditions during the testing period. Also, a correlation analysis between the transpiration rate of the soil versus leaf water potential was conducted. Results indicated that the change of daily soil and leaf water potential was a 'V' shape with daily fluctuation range increasing as drought stress rose during the testing period. As soil water potential decreased over the experimental period, the daily mean transpiration rate decreased with daily fluctuation range decreasing and the transpiration peak occurring sooner. The correlation analysis showed that the correlation between transpiration rate and soil water potential was extremely significant ($r = 0.804$, $P < 0.01$), while that of transpiration rate and leaf water potential was significant ($r = 0.566$, $P < 0.05$). [Ch, 3 fig. 1 tab. 19 ref.]

Key words: botany; *Photinia fraseri*; transpiration rate; water potential

红叶石楠 *Photinia fraseri* 属蔷薇科 Rosaceae 石楠属 *Photinia* 常绿小乔木, 叶、花、果均具有很高的观赏价值。红叶石楠具有耐瘠薄, 耐盐碱, 耐干旱, 病虫害轻和适应性强等诸多优点, 在城市园林绿地建设中具有很大的推广应用前景和显著的生态效益。以往城市园林规划和园林绿地建设中, 在物种选择和配置方面, 过分强调视觉景观和色彩效果, 忽视了水资源短缺城市绿地节水抗旱植物选择和配置问题^[1-3]。近年来, 一些学者开始关注城市林业和城市园林绿植物的耗水性问题, 并着手从生态

收稿日期: 2007-11-22; 修回日期: 2008-03-05

基金项目: 山东省农业良种产业化项目(鲁农良种字[2005]10号)

作者简介: 杨静, 硕士研究生, 从事城市林业和风景林经营研究。E-mail: muyiqingzheng2005@163.com. 通信作者:

王华田, 教授, 博士生导师, 从事森林培育学与森林生态生理研究。E-mail: wanght@sdau.edu.cn

生理方面研究其耗水性和抗旱性^[4-8]。目前国内外对红叶石楠的研究主要集中在微体快速繁殖技术方面^[9-11], 对其生态生理特性的诸多方面尚缺乏必要了解^[12,13]。作者通过对连续水分变化过程中红叶石楠叶片蒸腾作用的日周期和连日变化规律的测定, 分析说明了不同土壤水分对红叶石楠蒸腾作用的影响, 揭示了土壤水势与叶片水势和蒸腾作用的相关关系, 提出了红叶石楠适宜的土壤水分状况, 为北方地区引种、栽培和利用红叶石楠提供理论依据。

1 试验地概况、试验材料和研究方法

1.1 试验地概况

试验地位于山东农业大学林学实验站, 36°11' N, 117°08' E, 海拔为 150 m, 属暖温带季风大陆性气候, 年均气温为 12.8℃, 极端最高气温为 40.0℃, 极端最低气温为 -22.0℃, 无霜期 186.6 d; 年降水量为 600~800 mm, 降水多集中于 7-8 月, 年均相对湿度 65%。

1.2 试验材料与研究方法

试验材料为 2 年生的红叶石楠扦插苗。2006 年 4 月 10 日将供试苗木定植于上口直径为 38 cm, 下口直径 24 cm, 高 30 cm 的泥质花盆中, 每盆 3 株, 装入砂壤土 25.0 kg, 开沟置于大田中, 埋深 25 cm, 正常田间管理。于 6 月上旬苗木生长稳定以后, 选择生长健壮均一的盆栽材料放于距地面 1.0 m 高的桌面。采用随机区组试验设计, 单盆小区, 重复 3 次。测定前 1 d 将盆栽材料灌水至土壤饱和状态, 用双层塑料袋密封花盆, 以防止土壤水分从土壤和盆体表面蒸发, 利用苗木蒸腾耗水形成土壤水势梯度。测定自然光照条件下每日 6:00-18:00 间隔 2 h 土壤水势、叶片水势、叶片蒸腾速率、光照强度和叶室内外空气湿度的连日变化过程, 阴雨天用遮雨棚覆盖。叶片蒸腾速率及各环境因子采用 TPS-1 便携式光合作用测定系统测定, 土壤水势和叶片水势用 HR-33T-R 露点微伏压计测定。测定土壤水势时, 将 PST-55 埋入各树种根际土壤中, 平衡 24 h 后与主机连接, 即可瞬时读取数值。测定叶片水势时, 选择每株顶端以下第 4 片功能叶片, 用直径 0.5 cm 打孔器取小叶圆, 迅速置于 C-52 样品室内, 与主机相连接读取数值。利用 SPSS 数据分析软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同水分条件下红叶石楠土壤水势的连日变化和日变化

土壤水势尤其是根系附近的土壤水势, 能很好地说明植物对土壤水分的利用潜力。土壤水势越高, 越有利于植物吸收利用土壤水分; 反之, 土壤水势越低, 越不利于植物吸收利用土壤水分^[14]。从图 1 可以看出, 随干旱胁迫时间的延长, 红叶石楠土壤水势的连日变化(每天的平均值)呈逐渐下降的趋势。从总体上看, 红叶石楠土壤水势下降呈现 3 个阶段特征: 连续控水前 5 d, 土壤水势下降不大, 保持较高水势; 随干旱胁迫的加深, 控水 5~13 d, 土壤水势急剧下降, 到 9 d 红叶石楠的平均土壤水势已经降到 -2.36 MPa, 到第 13 天降低至 -3.22 MPa; 控水 13 d(严重土壤水分胁迫下)以后, 土壤水势稳定在较低水平上。从日周期变化趋势看, 红叶石楠土壤水势呈早晚高(绝对值小), 午间低(绝对值大)的 V 型。从图 1 中可以看出, 在充足水分条件下(控水当天), 红叶石楠土壤水势很高, 日周期内略有波动, 但幅度很小; 控水 9 d 和 13 d, 由于连续蒸腾失水, 土壤水势日变化剧烈, 第 9 天较第 5 天差异达到极显著($r = 0.955^{**}$), 13 d 较 9 d 差异达到显著($r = 0.842^{*}$)。这可能是蒸腾的加快或减弱引起土壤水势的降低或升高, 具体表现为随着气温的升高及光照的增强, 蒸腾加快并达到峰值, 苗木体内出现水分亏缺, 需要从土壤中大量吸收水分来缓和体内这种水分亏缺的矛盾, 所以土壤水势升高以利于植物吸水。蒸腾减弱时, 土壤水分得以保留, 同时为从外界吸收水分以补充自身的散失, 所以土壤水势又降低。

2.2 不同水分条件下红叶石楠叶片水势的连日变化和日变化

植物叶水势代表着植物水分运动的能量水平, 是判断和预测植物水分亏缺, 衡量植物抗旱的一个重要生理指标^[15], 可作为植物水分状况的最好量度。一般情况下, 植物叶片水势会随着土壤水势的下降而降低, 以利于苗木从土壤中吸收水分, 但不同树种对水分胁迫的反应和适应不同, 水势的下降速

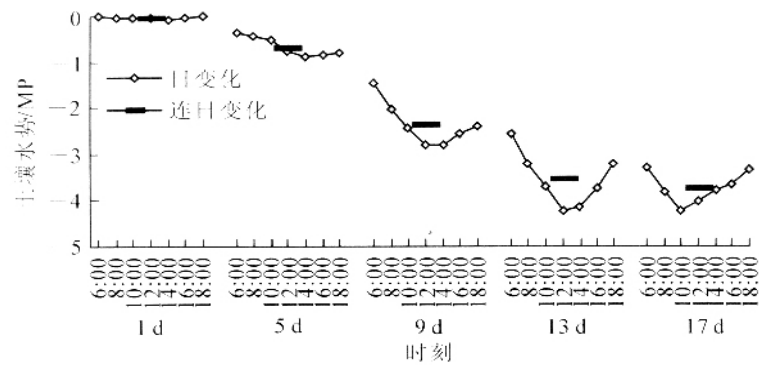


图1 连续水分梯度变化过程中盆栽红叶石楠土壤水势的连日变化和日周期变化过程

Figure 1 Daily and diurnal soil water potential variation of potted *Photinia fraseri* on drought

度也不同^[16]。从图2可以看出, 红叶石楠的叶片水势与土壤水势的连日变化趋势基本相似, 表现为随水分胁迫程度的加深呈递减趋势。叶水势下降较慢, 表明耐旱性越强, 水势的变化越不明显, 植物维持体内正常膨压的能力就越强, 使其能在干旱的环境下依然能促进植物体内水分和养料的运动而供应给植物顶部, 从而使植物保持不萎蔫。在土壤水分充足时, 叶片水势的变化比较平缓。连续控水5 d, 土壤水势下降不是很明显, 之后急剧下降, 到控水13 d以后又趋于平缓, 13 d与1 d相比达到显著差异($r = 0.810^*$)。原因是苗木的日平均蒸腾速率随干旱胁迫的加深逐渐减小, 导致了叶水势的下降, 以增强苗木从土壤中吸水的能力, 来缓和体内水分亏缺的矛盾。

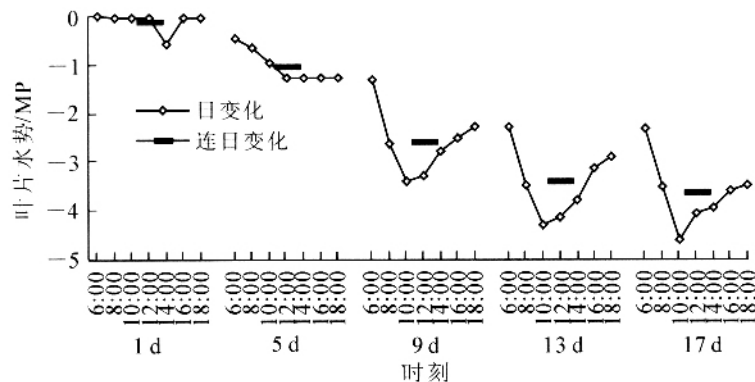


图2 连续水分梯度变化过程中盆栽红叶石楠叶片水势日变化和日周期变化过程

Figure 2 Daily and diurnal leaf water potential variation of potted *Photinia fraseri* on drought

从图2可以看出, 随控水时间的加长, 红叶石楠叶水势总体日变化特点为早晚高(绝对值小)午间低(绝对值大)的V型, 与土壤水势的变化极为相似。植物叶水势日变化规律是由树木蒸腾作用消耗水分和植物根系的水分供应之间存在阻力和时间差造成的。清晨时(6:00)苗木的叶片水势均维持较高水平, 这与清晨太阳辐射弱, 气温低, 空气相对湿度大, 叶片气孔开度小, 蒸腾失水少有密切关系。随着时间进行(6:00-14:00), 气温逐渐升高, 太阳辐射增强, 空气相对湿度降低, 叶片气孔开度加大, 为满足不断增加的蒸腾耗水的需要, 叶水势下降, 以增强从土壤中的吸水能力, 一般于10:00-14:00达全天最低值, 随后随气温的不断下降, 叶片蒸腾减弱, 叶片水势缓慢回升。

2.3 不同水分条件下红叶石楠蒸腾速率的连日变化和日变化

植物的蒸腾特性体现植物的耗水性, 在植物水分代谢中起着很重要的调节支配作用。树木的蒸腾主要依靠根系从土壤中吸收水分, 随着干旱胁迫程度加重, 树木根系吸水能力下降, 蒸腾速率下降, 蒸腾高峰提前。图3为控制水分条件下红叶石楠蒸腾速率随土壤水势梯度变化的连日变化和日周期过程。从图3可以看出, 红叶石楠叶片蒸腾速率的日变化呈先升后降的趋势, 且其日变化的波动由剧烈趋于稳定: 在早晨6:00红叶石楠蒸腾速率相对较小, 随着光照增强, 气温升高, 气孔导度增加, 这

样增大了叶内外的水汽压, 蒸腾速率不断提高, 达到峰值后又开始下降, 说明蒸腾速率日周期主要受日周期大气环境的影响。测定初期, 红叶石楠在中午 10:00 出现蒸腾高峰 ($3.62 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 随着干旱胁迫的进行, 其峰值出现时间提前到 8:00 ($0.952 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 并且有所降低 (13 d 叶片蒸腾速率下降明显, 峰值比 9 d 下降了 48.3%), 避开了一天中的光强和气温最高点, 这样利于适应干旱的环境, 维持自身的水分需要。从图 3 中还能看出, 干旱控水 13 d 以后, 红叶石楠的蒸腾速率日过程曲线均无明显变化, 基本呈平直状态, 说明土壤含水量过低影响了植物正常生理过程。

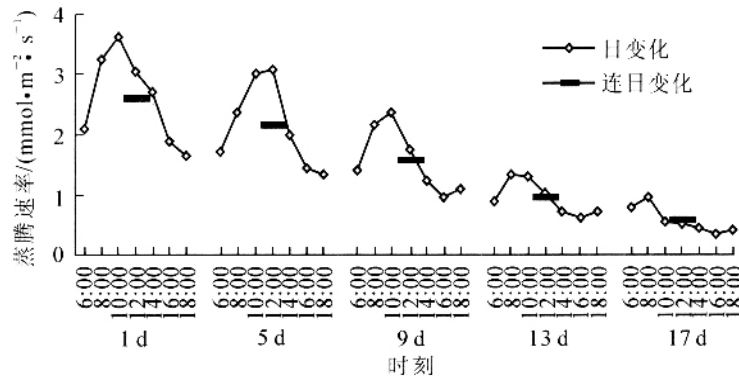


图 3 连续水分梯度变化过程中盆栽红叶石楠叶片净光合速率日变化和日周期变化过程

Figure 3 Daily and diurnal photosynthesis velocity of potted *Photinia fraseri* on drought

由图 3 可以看出, 红叶石楠叶片蒸腾速率连日变化(每天的平均值)随胁迫时间的增加呈递减趋势。在测定初期, 由于土壤水分状况比较好, 供试苗木的蒸腾速率比较大, 随着测定时间的增加, 由于苗木蒸腾耗水而使土壤干旱胁迫逐渐加重, 供试苗木的蒸腾速率逐渐降低, 说明随着蒸腾耗水量的逐渐增加, 土壤中可利用水分逐渐减少, 土壤含水量是决定树木耗水量的主要因素。干旱胁迫第 9 天, 蒸腾速率日平均值为 $1.56 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 反映了其控制失水和维持体内水分平衡能力较强, 是适应干旱的一种方式, 因此, 红叶石楠抗旱性较强, 充分供水下的红叶石楠蒸腾速率是土壤水分严重胁迫下的 6.48 倍。

2.4 红叶石楠叶片蒸腾作用与土壤、叶片水势及大气环境因子间的相关性分析

相关分析结果表明(表 1), 蒸腾速率与叶片水势相关性显著($r = 0.566^*$), 蒸腾速率与土壤水势的相关性极显著($r = 0.972^{**}$), 说明红叶石楠的蒸腾强度与叶片水势和土壤水分状况密切相关。蒸腾速率与叶片温度和光照强度分别呈极显著和显著正相关, 植物为了保护叶片不被强光和高温灼伤烫伤, 蒸腾适当的水分可以带走过多的水分, 起到散热降温的作用^[17,18]; 与大气湿度呈负相关, 说明当空气相对湿度增大时, 蒸腾速率降低, 而随其他因子的增加而上升。气孔运动受许多因素的调节, 如二氧化碳、光、温度、水分和风等。相关分析表明, 土壤水势对气孔导度的影响较大, 相关性达到极显著水平, 说明叶片气孔的开张受土壤水分的影响很大, 土壤水势是影响气孔作用的主导因子, 随土壤水分状况变化而变化, 土壤水分充足时气孔导度大, 干旱条件下气孔导度减少。叶片水势与土壤水势呈极显著相关, 与环境因子的相关性均未达到显著水平, 大气湿度与气孔导度呈正相关, 相关性较小。

3 结论

随土壤水势降低, 根系的吸水速率下降, 从而导致叶片水势的相应降低^[19]。在土壤水分从饱和状态到干旱胁迫的连续变化过程中, 红叶石楠的土壤水势和叶片水势日变化曲线均呈 V 字型, 且波动幅度随水分胁迫加剧而加大; 土壤水势和叶片水势的连日变化(每天的平均值)呈下降趋势, 土壤水势 9 d 较 5 d 差异达到显著, 叶片水势 13 d 与 1 d 相比达到显著差异。

在干旱胁迫下, 红叶石楠的蒸腾速率随土壤水分梯度下降呈先升后降的趋势, 且日变化的波动由剧烈趋于稳定; 蒸腾速率连日变化(每天的平均值)呈递减趋势, 随着干旱胁迫程度加重, 蒸腾速率高峰值出现时间由 10:00 提前到 8:00。

表1 盆栽条件下红叶石楠叶片蒸腾速率与叶片水势及环境因子之间的双变量相关性

Figure 1 Bivariate correlation between transpiration and leaf water potential of potted Photinia fraseri and the environmental factors

项目	蒸腾速率	叶片水势	土壤水势	气孔导度	叶片温度	光照强度	大气湿度
蒸腾速率	1.000						
叶片水势	0.566*	1.000					
土壤水势	0.894**	0.814**	1.000				
气孔导度	0.911**	0.700*	0.752**	1.000			
叶片温度	0.708*	0.180	0.326	0.493	1.000		
光照强度	0.854**	0.489	0.222	0.530	0.903**	1.000	
大气湿度	- 0.276	0.513	0.539	0.554	0.542	0.417	1.000

说明: ** 表示在 $\alpha = 0.01$ 水平上达到极显著性水平, * 表示在 $\alpha = 0.05$ 水平上达到显著性水平。

红叶石楠的蒸腾速率与气孔导度、土壤水势呈极显著正相关, 与叶片水势呈正显著相关; 土壤水势与叶片水势、气孔导度呈极显著正相关; 蒸腾速率与叶片温度和光照强度分别呈极显著和显著正相关, 与大气湿度呈负相关。

参考文献:

- [1] 沈淑红, 倪棋节. 水型园林——城市可持续发展的必然要求[J]. 中国园林, 2003(12): 54 - 57.
- [2] 卜永吉, 刘敏, 查玉国, 等. 关于节水型园林绿地中存在问题及其对此的研究[J]. 现代园林, 2007(2): 28 - 32.
- [3] 张瑞利. 植物景观的节水设计[J]. 山西建筑, 2007, 33(12): 344 - 345.
- [4] 李吉跃, 周平, 招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1380 - 1386.
- [5] 周平, 李吉跃, 招礼军. 北方主要造林树种苗木蒸腾耗水特性[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5): 50 - 55.
- [6] 王进鑫, 黄宝龙, 王明春, 等. 侧柏幼树不同生长阶段对水分的敏感性与蒸腾效率[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 711 - 718.
- [7] 李向义, 赵强, 何兴元, 等. 策勒绿洲前缘两种植物的水分生理生态特性[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 171 - 174.
- [8] MICHAEL M, DAVID T. Effects of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stolons and leaves[J]. Plant Growth Regul, 2004, 42: 153 - 160.
- [9] 邱国金, 史云光, 汤庚国. 红叶石楠组织培养工厂化扩繁技术研究[J]. 山西农业大学学报, 2006, 26(4): 332 - 334.
- [10] 李际红, 韩笑娇, 卢胜西, 等. 红叶石楠生根培养与根系活力的研究[J]. 园艺学报, 2006, 33(5): 1129 - 1132.
- [11] 朱玉球, 童再康, 黄华宏, 等. 红叶石楠硬枝水培生根试验[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(1): 28 - 32.
- [12] 申亚梅, 童在康, 张露. 干旱胁迫对红叶石楠等3个观赏品种生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(3): 397 - 402.
- [13] 曹晶, 姜卫兵, 翁忙玲, 等. 夏秋季旱涝胁迫对红叶石楠光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(1): 163 - 172.
- [14] 刘昌明, 王会肖. 土壤-作物-大气系统水分过程与节水调控[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [15] 阮成江, 李代琼. 半干旱黄土丘陵区沙棘叶水势及其影响因子[J]. 陕西林业科技, 2000(1): 1 - 4.
- [16] 马履一, 王华田, 林平. 北京地区几个造林树种耗水性比较研究[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(2): 1 - 7.
- [17] LAGERGREN F, LINDROTH A. Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden[J]. Agric For Meteorol, 2002, 112(2): 67 - 85.
- [18] PAMELA L N, EDWARD P G, LEWIS T. Comparison of transpiration rates among salt cedar, cottonwood and willow trees by sap flow and canopy temperature methods[J]. Agric For Meteorol, 2003, 116: 73 - 89.
- [19] 王百田, 张府娥. 黄土高原主要造林树种苗木蒸腾耗水特性[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(6), 93 - 97.