

# 不同种类抗蒸腾叶面肥对山杏 水分利用效率的影响

吴 凤, 郭建斌, 李志洪, 吴玉晴, 白晓敏

(北京林业大学 水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:**研究抗蒸腾叶面对苗木水分利用效率的调节作用, 可为提高苗木成活率提供参考。采用盆栽法试验, 在充分供水的条件下, 用不同叶面肥对山杏进行处理, 对山杏苗木叶片净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)等水分生理指标及其相应的环境因子进行测定。结果表明: 不同叶面肥处理下, 山杏的净光合速率、蒸腾速率日变化都呈双峰曲线, 且净光合速率日变化曲线存在光合午休现象。山杏的水分利用效率在 8:00 左右达到最大值, 10:00—16:00 出现一个低谷, 期间基本保持稳定, 16:00 后逐渐增大。自制叶面肥 A 处理过的山杏水分利用效率最高, 清水对照的山杏水分利用效率最低。自制叶面肥 A 对提高山杏水分利用效率效果最明显, 在干旱地区, 为了提高苗木水分利用效率, 提高苗木栽植的成活率, 可以选择喷施自制 A 种的抗蒸腾叶面肥。喷施抗蒸腾叶面肥不仅能提供植物生长所需养分, 而且还能抑制植物蒸腾作用, 提高植物水分利用效率, 在一定程度上提高植物的生存能力。

**关键词:** 抗蒸腾剂; 叶面肥; 山杏; 光合速率; 蒸腾速率; 水分利用效率

中图分类号: S145

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)02-0156-04

## Impact of Types of Anti-transpirant Foliar Fertilizer on the Water Use Efficiency of *Prunus armeniaca*

WU Feng, GUO Jian-bin, LI Zhi-hong, WU Yu-qing, BAI Xiao-min

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Resistance control action about anti-transpiration foliar fertilization to the water use efficiency (WUE) were studied in order to enhance the plant survival. By using the pot method, the tests were conducted to *Prunus armeniaca* L. with different foliar fertilizers under conditions of sufficient water supply. The net photosynthetic rate (Pn), transpiration rate (Tr) of *Prunus armeniaca* L and their environmental factors were measured so as to get the water use efficiency (WUE) indicators by Pn/Tr. The results showed that net photosynthetic rate (Pn) and transpiration rate (Tr) had two peaks at respectively during the daylight under the treatments of different foliar fertilizer density with midday depression phenomenon. WUE' maximum presented at 8:00 and the WUE got a trough from 10:00 to 16:00, and the period remained stable, after 16:00, it gradually increased. It showed that WUE reached the highest while WUE of comparison was the minimum when used the A of foliar fertilization. The final study results showed that best formulation was type A, so under the arid conditions, we can choose to spray type A of foliar fertilization on leaf surface to improve plant water use efficiency (WUE), and improve survival rate of stock. Spraying the anti-transpiration foliar fertilization on leaf surface can not only provide the necessary nutrients required for plant growth, but also inhibit plant transpiration, improve plant water use efficiency (WUE), and improve the survivability of plants to some extent.

**Key words:** antitranspirant; foliar fertilizer; *Prunus armeniaca* L; net photosynthesis rate; transpiration rate; water use efficiency (WUE)

收稿日期: 2012-07-05

修回日期: 2012-10-19

资助项目: 国家“十一五”科技支撑专题“困难立地工程造林新材料、新产品及应用技术”(2006BAD03A0301)

作者简介: 吴凤(1988—), 女, 湖北省宜昌人, 硕士研究生, 主要研究方向: 生态环境工程。E-mail: windly1988621@126.com

通信作者: 郭建斌(1962—), 男, 陕西省西安人, 副教授, 主要研究方向: 生态环境工程、林业生态工程及水土保持研究。E-mail: jianbinguo@bjfu.edu.cn

中国北方大部分属于干旱地区,干旱面积约占全国总面积的 45%<sup>[1]</sup>。干旱地区由于其降水量少且分布不均匀,使人工造林遇到了极大的困难。加之在干旱条件下,蒸腾作用会使植物大量失水,引起水分亏缺和脱水危害。因此,如何在水资源严重亏缺的干旱地区,充分利用有限的水分资源,提高林木的抗旱性,增加造林成活率,已成为亟待解决的重要问题<sup>[2]</sup>。日均净光合速率能反映苗木的光合能力<sup>[3]</sup>,蒸腾速率也是苗木水分状况的生理指标之一,但是它们并不能准确反映苗木的水分利用情况。而水分利用效率是净光合速率与蒸腾速率的比值,能反映树木叶片的瞬间反应能力以及树木对水分的利用情况<sup>[4]</sup>。苗木叶片的水分利用效率体现了植株有效利用水分的情况,是反映植株抗旱能力的一个重要指标。国内外许多学者都对苗木的水分利用效率等方面进行了相关研究,如 Stedvto 等<sup>[5]</sup>对水分胁迫下苗木的重要抗旱性指标——水分利用效率进行了研究;Beatrice 等<sup>[6]</sup>研究发现,干旱胁迫强烈影响林木叶片的水分供应状况以及水分利用效率;魏磊等<sup>[7]</sup>对干旱胁迫下山杏的光合、生理特性进行了研究,发现山杏的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度随着干旱胁迫程度的加强而降低。研究发现植物的根系从土壤中吸收的水分仅有约 1%用于新陈代谢和生长发育,而其他 99%的水分是经植物的蒸腾作用散失掉。而经气孔蒸腾的水分占总蒸腾量的 80%~90%,通过皮孔和角质层蒸腾散失的水分占总蒸腾量的 10%~20%。由此可见,若想提高植物的水分利用效率,就必须降低植物的蒸腾作用,植物的蒸腾作用是由于植物叶片的一些特殊结构所造成的,蒸腾作用所损失得水分并不完全是维持其生命所必需的,因此,如果我们利用一些化学药剂控制这些结构,就能使蒸腾速率显著降低。国外的一些专家指出,这些化学药剂被称为抗蒸腾剂,它们可使植物的水分损耗减少 40%左右。根据它们作用于气孔的方式和抑制蒸腾的机理,大致归纳为 4 类:(1) 气孔阻塞剂。这类药物喷涂叶面,通过阻塞部分开放的气孔来抑制蒸腾,如脂肪醇类;(2) 气孔抑制剂如脱落酸、亚硫酸钠、矮壮素、苯汞醋酸、硅胶和某些链烯琥珀酸类,喷洒叶面后,直接作用于含水的气孔保卫细胞,刺激气孔自动关闭,达到抗蒸腾之目的;(3) 薄膜抗蒸腾剂。这些物质能在叶片外表产生一种物理性载体或形成一层薄膜,阻止水汽经气孔散失,如蜡质和塑料乳剂等;(4) 反光抗蒸腾剂如铝粉、白垩、高岭土等,喷洒后能在叶面形成一层反光介质,减少太阳辐射,降低叶温和叶片与大气之间的蒸腾压梯度,减少蒸腾散热引起的额外耗水。这些抗蒸腾剂

主要是减小植物的气孔开度或关闭部分气孔,在对植物的光合作用和呼吸作用没有明显的不利影响的情况下大幅降低植物的蒸腾作用。为了提高植物的水分利用效率,提高干旱区造林成活率,我们可以在干旱造林区推广使用抗蒸腾剂。

本文以山杏作为供试材料,对喷施抗蒸腾叶面肥后,苗木的蒸腾速率、光合速率及水分利用效率等指标的变化进行研究,探索适合干旱区造林树种的新型抗蒸腾叶面肥,在干旱条件下降低苗木的蒸腾作用,为提高造林苗木的成活率提供一定的技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验采用盆栽的方法,选择 2 a 生高度约为 50 cm,长势良好的山杏实生幼苗,于 2011 年 4 月 6 日植入上口径 30 cm、下口径 25 cm、高 30 cm 的塑料盆栽容器中。盆栽所用土均来自鹫峰国家森林公园当地的黄绵土并配以 10%腐殖土,栽前进行过筛处理,使其均匀。试验期间栽培基质保持自然肥力,不施肥,使其容重接近自然土壤。

试验所用肥料为市场上购买的叶面肥喷施宝以及自制新型抗蒸腾叶面肥 A、B、C。自制肥料中包括 N、P、K、Ca、Mg 等 10 多种植物生长所需的无机离子以及一些增加苗木抗逆性的物质和抗蒸腾剂等,所用肥料的复配参照了各种物质适宜的浓度范围,能满足植物的正常生理需要。自制叶面肥 A、B、C 中添加相同量和种类的植物生长所需的无机离子以及一些增加苗木抗逆性的物质,并分别加入黄腐酸和高岭土,黄腐酸和高岭土作为抗蒸腾剂。黄腐酸属于气孔抑制剂型的抗蒸腾剂,而高岭土属于反光抗蒸腾剂。

### 1.2 试验设计

本试验设计为单因素试验,叶面肥种类设置 5 个水平,每个处理重复 5 次。5 个水平分别为:叶面肥自制 A、自制 B、自制 C、市场以及清水对照,在文中出现的图表中分别以 1、2、3、4 和 CK 代表。

试验在 2011 年 5—7 月进行。试验期间,用土壤含水量测定仪每隔一周测定盆栽的土壤含水量,使其保持在 10%左右,以达到黄土高原干旱半干旱地区的平均供水水平。从 2011 年 5 月初开始,选择天气晴朗、无风的日子喷施叶面肥,每隔半个月喷施 1 次,总共喷施 5 次,喷施浓度为稀释 600 倍。从 7 月初叶面肥喷施一周药效稳定后在天气晴朗的一天,随机选取生长良好的分枝,选择完全展开的健康完整叶片,从早晨 8:00 到下午 18:00,每 2 h 观测一次,连续测量一周,每次每株苗木均按照以上方法选取 3 个叶片

重复测定。以求数据更具有普遍性和参考性。测得  $P_n$ 、 $T_r$ ，并计算出平均值以后，将其代入公式  $WUE = P_n/T_r$ ，得出叶片水分利用效率 ( $WUE$ ,  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ )。其中  $P_n$ 、 $T_r$  为在无风、充分供水条件下测得的结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同配方蒸腾叶面肥处理下光合速率的日变化特征

光合作用是植株积累生物量的基础，也是植株品质提高的生理依托，植物能否高产在很大程度上受光合作用的影响<sup>[8]</sup>。而光合速率则反映了不同植物的光合生物学特性，其相应的光合速率日变化曲线的差异反映了植物的内在节律，也体现了各树种对环境的适应性强弱<sup>[9]</sup>。光合速率越大，植物产生的有机物质就越多，利于植株生长发育。新型抗蒸腾叶面肥对各苗木光合速率的影响如图 1 所示。

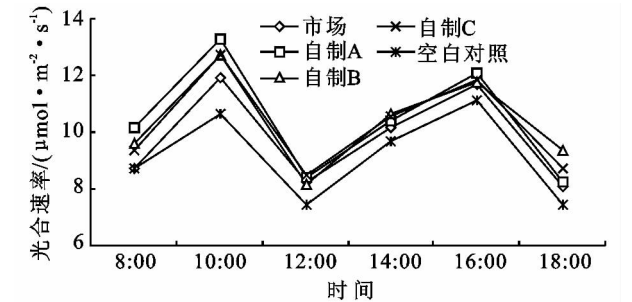


图 1 不同配方蒸腾叶面肥处理对光合速率( $P_n$ )的影响

由图 1 可以看出，5 个不同处理下，山杏的光合速率的日变化趋势基本相同，都为“双峰”曲线。光合速率在早上随光照的增强而不断增大，在 10:00 左右达到光合速率第一峰值，之后逐渐下降，在 12:00 左右，光合速率达到最低，即出现光合“午休”现象。然后逐渐上升，16:00 出现次“高峰”，此后随着太阳辐射下降，光合速率持续下滑。关于造成这种现象的原因，多认为主要是因为午间气温高，光照强从而使叶片的温度过高，抑制了参与光合过程的酶的活性，叶片光合能力下降，其次，温度过高导致气孔闭合也是造成午间光合速率下降的因素之一。

### 2.2 不同配方蒸腾叶面肥处理下蒸腾速率的的日变化特征

对所测定的蒸腾速率按时段取平均值，并在 Excel 里绘制出蒸腾速率的日变化曲线，如图 2 所示。由图 2 可知，不同处理下山杏的蒸腾速率日变化曲线基本一致，都呈“双峰”曲线。在上午 10:00 左右达到一天的最大值即第一高峰，此后苗木为避免蒸腾过度失水而关闭部分气孔，出现了“午休”现象，蒸腾速率

逐渐下降在中午 12:00 时到达低谷，16:00 出现次“高峰”，此后随着太阳辐射下降，蒸腾速率持续下滑。

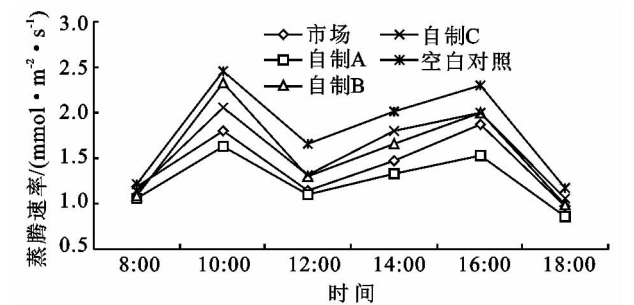


图 2 不同配方蒸腾叶面肥处理对蒸腾速率( $T_r$ )的影响

山杏在 10:00 左右达到一天中蒸腾速率的最大值，其中空白对照组的蒸腾速率最大，为  $2.5 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，喷洒自制 A 处理的最小，为  $1.85 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，之后，光合辐射及气温进一步提升，导致叶面气孔开度减小，蒸腾速率降低，随后蒸腾速率在 16:00 左右达到一天中的第二个峰值，第二个峰值的蒸腾速率均低于第一峰值，16:00 以后，蒸腾速率迅速下降，到 18:00 左右，降至最低水平。在 10:00 左右喷洒自制叶面肥 A 的蒸腾速率小于空白对照在 12:00 左右的蒸腾速率“低谷”值。且喷洒自制叶面肥 A 的蒸腾速率在一天中都基本处于所有处理中的最低水平，说明喷洒自制叶面肥 A 能抵抗外界环境胁迫，有效降低苗木的蒸腾速率。而空白对照组的蒸腾速率在一天中都基本处于所有处理中的最高水平。

### 2.3 不同配方蒸腾叶面肥处理下叶面水分利用效率的的日变化特征

水分利用效率 ( $WUE$ ) 是植物光合与蒸腾特性的综合反映，反映了植物对水分的利用效率<sup>[10]</sup>。按公式  $WUE = P_n/T_r$  计算不同测定时刻山杏叶片的水分利用效率，做出日变化曲线图 (图 3)。由图 3 可见， $WUE$  的变化规律与  $P_n$ 、 $T_r$  的变化规律明显不同。

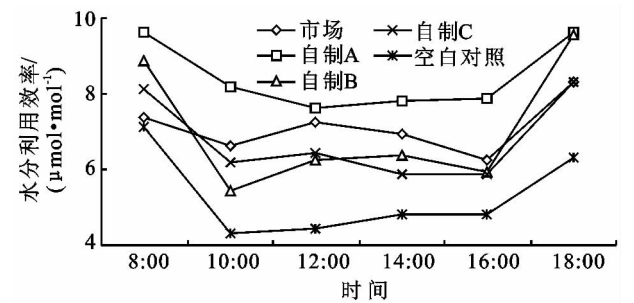


图 3 不同配方蒸腾叶面肥处理对叶片水分利用效率( $WUE$ )的影响

不同叶面肥处理下，山杏幼苗的水分利用效率的变化范围为  $4.32 \sim 9.61 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。在早上 8:00 开始测定时，叶片的水分利用效率最大，这主要是因

为在 8:00 左右,随着太阳辐射的增加,净光合速率增加较快,而空气湿度相对较大,蒸腾速率水平较低,所以水分利用效率最大<sup>[11]</sup>。喷施自制叶面肥 A 的处理在这一时段水分利用效率很大,达到了  $9.6 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。之后不同处理的叶片水分利用效率之间变化不大,空白对照的叶片水分利用效率为最小,只有  $7.15 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。10:00 以后由于光照增强、气温上升、空气的相对湿度明显下降、叶内外水蒸气压差的上升,引起气孔部分关闭而限制了  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  的扩散,此时 WUE 逐渐下降。在 10:00—16:00 出现一个低谷,而且在此期间,WUE 波动不明显,说明这个时段,苗木叶片的水分利用效率都不高。16:00 之后随着时间的推移,叶片的水分利用效率均逐渐升高,在 18:00 左右再次出现一个小高峰。从日平均水分利用效率来看,清水对照的水分利用效率最低,自制叶面肥 B、自制叶面肥 C 以及市场上购买的叶面肥处理下山杏的水分利用效率比较接近,自制叶面肥 A 处理下山杏水分利用效率最高。

## 2.4 不同配方蒸腾叶面肥处理叶面水分利用效率比较

水分利用效率是反映树木生产过程中的能量转化效率,评价水分亏缺条件下树木生长适宜程度的一个综合生理生态指标,它也在一定程度上反映了树木的耗水性和抗旱性。为了比较不同叶面肥处理下山杏苗木的水分利用效率大小,用 SPSS 17.0 对试验计算出的水分利用效率数据进行单因素方差分析。结果表明,不同种类叶面肥处理下,山杏叶片的水分利用效率差异极显著。再采用  $q$  检验进行多重比较,将差异性显著的数据放入不同的子集中。喷施叶面肥自制 A、自制 B、自制 C 市场与清水对照之间两两差异均为极显著,所以分别归入不同的子集。也就是说,新型抗蒸腾叶面肥处理对山杏叶片瞬时水分利用效率影响显著。不同种类叶面肥处理下山杏叶片的瞬时水分利用效率日均值从大到小依次为自制 A、市场、自制 C、自制 B、对照。

## 3 结论

从试验结果来看,山杏在不同叶面肥处理下,其净光合速率和蒸腾速率的日变化都呈现出双峰曲线。净光合速率和蒸腾速率的两个峰值分别出现在上午 10:00 和下午 16:00 左右。水分利用效率在早晨 8:00 左右最大,10:00—16:00 出现一个低谷,期间基本保持稳定,16:00 后逐渐增大。通过研究不同叶面肥处理下山杏幼苗的水分利用效率来反映苗木的抗旱能力,结果表明:不同叶面肥处理对山杏叶片水分

利用效率影响显著。不同叶面肥处理下山杏叶片的水分利用效率日均值按从大到小依次为:自制叶面肥 A、市场上购买的叶面肥、自制叶面肥 B、自制叶面肥 C、清水对照。

结果表明,喷洒自制叶面肥 A 处理下山杏的水分利用效率日均值最大,即两种抗蒸腾剂共同作用下山杏的水分利用效率日均值是最大的,说明了两种抗蒸腾剂共同作用对水分利用效率的影响要比单独使用一种抗蒸腾剂对水分利用效率的影响明显。两种抗蒸腾剂共同作用对蒸腾速率和光合速率的影响也明显大于单独使用一种抗蒸腾剂的作用效果。在干旱地区,为了减少苗木蒸腾失水,提高苗木栽植的成活率,可以在幼苗生长期选择喷施自制 A 种的抗蒸腾叶面肥。

## 参考文献:

- [1] 黎燕琼,郑绍伟,陈泓,等. 林木抗旱性研究及其进展[J]. 世界林业研究,2007,20(1):10-14.
- [2] 张华,王百田,郑培龙. 黄土半干旱区不同土壤水分条件下刺槐蒸腾速率的研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):122-125.
- [3] 王颖,李湛东,张学培,等. 7 种园林树种在不同配置环境中水分利用效率的探讨[C]. 全国观赏性植物多样性及其应用研究会,2004:380-384.
- [4] 董智,马宇飞,李丽红,等. 4 个紫花苜蓿品种分枝期光合速率,蒸腾速率日变化及其影响因子分析[J]. 中国草地学报,2009,31(3):68-71.
- [5] Stedvto P, Katerjin N, Puertos-molina H, et al. Water use efficiency of sweet sorghum under water stress conditions: gas exchange in vest igitations at leaf and canopy scales[J]. Field Crops Research,1997,54(3):221-234.
- [6] Beatrice M B T, Brosche M, Renadt J, et al. Gradual soil water depletion results in reversible changes of gene expression, protein profiles, ecophysiology, and growth performance in *Populus euphratica*, a Poplar growing in arid regions [J]. Plant Physiology,2007,143(2):876-892.
- [7] 魏磊,崔世茂. 干旱胁迫对山杏光合特性的影响[J]. 华北农学报,2008,23(5):194-197.
- [8] 孙建华,王彦荣,余玲. 紫花苜蓿生长特性及产量性状相关性研究[J]. 草业学报,2004,13(4):80-86.
- [9] 姜中珠,赵雨森,陈祥伟. 白桦和真桦光合特性及水分利用效率的比较[J]. 东北林业大学学报,2009,37(8):11-12.
- [10] 张建国,李吉跃,沈国舫. 树木耐旱特性及其机理研究[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
- [11] 熊伟,王彦辉,于澎涛. 树木水分利用效率研究综述[J]. 生态学杂志,2005,24(4):417-421.