

抗蒸腾叶面肥对苗木抗旱性的调节作用研究

曹晓霞¹, 郭建斌¹, 李文斌¹, 杨晓菲¹, 蒋坤云¹, 秦玲玲²

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

2 华中科技大学 环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

【摘要】 【目的】研究抗蒸腾叶面肥对苗木抗旱性的调节作用, 为提高苗木成活率提供参考。【方法】采用正交试验法, 在不同土壤含水率条件下, 用不同含量的叶面肥对核桃(*Juglans regia*)、山杏(*Prunus armeniaca* L.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)进行处理, 并以清水作对照, 分析不同处理下苗木气孔阻力、蒸腾速率、叶水势等抗旱生理指标的变化, 并运用极差分析的方法对各参试树种的抗旱性进行评价, 筛选出能有效增强苗木抗旱性的叶面肥种类及其含量。【结果】在降低苗木蒸腾速率和增加叶水势方面, 最佳的组合为: 树种选用刺槐, 叶面肥选用2号, 叶面肥含量为0.67~0.83 mL/L, 土壤含水率为10%~15%; 在增加气孔阻力方面, 最优组合为: 树种选用刺槐, 叶面肥选用2号, 叶面肥含量为1.11 mL/L, 土壤含水率为5%。【结论】2号叶面肥能有效提高苗木的抗旱能力, 刺槐是3个树种中抗旱能力最强的树种, 适合作为干旱条件下的造林树种。

【关键词】 叶面肥; 抗旱性; 蒸腾速率; 气孔阻力; 叶水势

【中图分类号】 S718.51⁺2.3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)09-0061-05

Anti-transpiration foliar fertilization on regulatory function of drought resistance

CAO Xiao-xia¹, GUO Jian-bin¹, LI Wen-bin¹, YANG Xiao-fei¹,
JIANG Kun-yun¹, QIN Ling-ling²

(1 Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Ministry of Education, School of Soil and Water Conservation of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2 School of Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: 【Objective】 The article studied resistance control action about anti-transpiration foliar fertilization to the nursery stock drought in order to enhance the plant survival. 【Method】 The method of orthogonal test was used to explore the mechanism on drought resistance of seedlings of several foliar fertilizer. In different conditions of soil moisture, the thesis used different concentrations of foliar fertilizer of different densities to process *Juglans regia*, *Prunus armeniaca* L. and *Robinia pseudoacacia*, and carried on the comparison with the clear water comparison, then determined and analyzed the changes in physiological indicators of drought resistance of the various tests seedling such as stomatal resistance, transpiration rate, leaf water potential under different processings. The study selected leaf surface fertilization types and their ratio, which can effectively enhance the drought resistance by using the method of the pole difference analysis to evaluate the effects of the tested species of drought-resistant. 【Result】 The results showed that plants have an obvious effect on reducing transpiration rate and enhancing the leaf water potential under

* [收稿日期] 2010-03-09

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划专题(2006BAD03A0301)

[作者简介] 曹晓霞(1985—), 女, 山西乡宁人, 在读硕士, 主要从事生态环境工程研究。E-mail: caoxiaoxia112@163.com

[通信作者] 郭建斌(1962—), 男, 陕西韩城人, 副教授, 主要从事生态环境工程、林业生态环境工程研究。

E-mail: jianbinguo@bjfu.edu.cn

the conditions of *Robinia pseudoacacia*, No. 2 fertilizer, the concentration of 0.67—0.83 mL/L, the soil moisture content of 10%—15% were selected. It was the best treatment combination to increase the stomatal resistance while *Robinia pseudoacacia* and No. 2 fertilizer were used, the concentration of 1.11 mL/L and the soil moisture content of 5% were selected. 【Conclusion】 No. 2 fertilizer could improve drought-resistant capacity of plants. *Robinia pseudoacacia* was the tree species with the strongest drought-resistant capacity, which suggested it was suitable as a species to be used in drought conditions.

Key words: foliar fertilization; drought resistance; transpiration rate; stomatal resistance; leaf water potential

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%^[1]。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。加之在干旱的条件下,蒸腾作用会使植物水分大量丢失,引起水分亏缺和脱水的伤害。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^[2]。国内外许多学者都对苗木的抗旱性能指标等相关方面进行了研究^[3],如 Stedvto 等^[4]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^[5]研究发现,干旱胁迫强烈影响林木叶片的水分供应状况;Liu 等^[6]对土壤干旱条件下大豆的气孔阻力及水分利用效率等抗旱指标进行了研究;魏磊等^[7]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;Guo 等^[8]研究了不同程度水分胁迫处理对沙棘幼苗生理生态特征的影响,结果发现,适度水分胁迫能提高沙棘的水分利用效率,降低净光合速率和蒸腾速率,在极端干旱条件下,沙棘幼苗的内在调节机制出现了紊乱;吴祥云等^[9]对科尔沁沙地造林树种进行了研究,结果表明,樟子松抗旱生理机能优于油松及小青杨,其可以作为干旱沙地的主要造林树种;李淑英等^[10]对几种常绿阔叶树在北方地区的抗旱适应性进行了评价,结果表明,常春藤京 8 号 2 龄树木和莢迷抗旱力最强。目前,关于叶面肥对苗木抗旱性影响的研究很少,而林木的抗旱性是通过抗旱鉴定指标得以体现的^[11]。因此,本试验以核桃、刺槐、山杏作为供试材料,研究喷施新型叶面肥后,苗木蒸腾速率、气孔阻力、叶水势等抗旱指标的变化,探索适合干旱区造林树种的新型抗蒸腾叶面肥,以期在干旱条件下降低苗木的蒸腾作用,提高造林苗木的成活率,提供一定的技术支撑。

1 研究区域概况

试验在北京鹫峰国家森林公园温室内进行。鹫

峰国家森林公园坐落于北京市海淀区北安河境内,园内森林覆盖率达 96.2%,植物类型属于温带落叶阔叶林、山地栎林和油松林带。植物生长期为 220 d,无霜期 180 d,晚霜在 4 月上旬,早霜在 9 月上旬。年均气温 11.5℃;7 月份温度最高,多年平均为 25℃;1 月份温度最低,多年平均为 -6℃。年内降水量主要分布在 7—9 月,占全年降雨量的 70%左右。年蒸发量达 1 800~2 000 mm,是年降水量的 3 倍左右。

2 材料与方法

2.1 材料

试验材料为 2 年生实生刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、山杏(*Prunus armeniaca* L.)以及核桃(*Juglans regia*)。试验采用盆栽法。选择地径、高度、长势基本一致的苗木于 2009-03-15 植入上口口径 29 cm、下口径 26 cm、高 30 cm 的塑料盆栽容器中。盆栽所需土均来自鹫峰国家森林公园当地的黄棉土并配以体积分数 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。

2.2 试验设计

采用正交试验法,应用 $L_9(3^4)$ 正交表,按 4 因素 3 水平安排试验(表 1)。叶面肥设置 3 个水平,其中 1 号叶面肥为清水对照(CK);2 号叶面肥为自制抗蒸腾叶面肥,其复配参照了各种物质适宜的含量范围,能满足植物的正常生理需要,叶面肥中包括 N、P、K、Ca、Mg 等十多种无机离子以及一些增加植株抗逆性的物质,输入的外源无机离子对提高植物抗旱性具有重要作用^[12];3 号叶面肥为试验课题组邓春娟 2008 年试验所制叶面肥^[13]。试验共计 9 个处理(表 2),每处理重复 5 次,结果取平均值。

试验期间,用土壤含水量测定仪隔周测定 1 次盆栽的土壤含水率,使其保持在设定的水平。叶面肥的喷施选择在天气晴朗、无风的午后。从 2009 年 5 月初开始喷施,每隔 15 d 喷施 1 次,总共喷施 5 次,观测从 7 月叶面肥喷施完成后开始。

表 1 抗蒸腾叶面肥对苗木抗旱性影响正交试验的因素和水平

影响因素 Influencing factor	水平 Level		
	1	2	3
A 树种 Tree seed	核桃 <i>J. regia</i>	山杏 <i>P. armeniaca</i> L.	刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>
B 叶面肥种类 Fertilizer type	1 号 Number 1	2 号 Number 2	3 号 Number 3
C 叶面肥含量/(mL·L ⁻¹) Foliar fertilization density	1. 11	0. 83	0. 67
D 土壤含水率/% Soil moisture content	5	10	15

表 2 抗蒸腾叶面肥对苗木抗旱性影响的正交试验设计

处理 Treatment	影响因素 Influencing factor			
	A 树种 Tree seed	B 叶面肥种类 Fertilizer type	C 叶面肥含量/(mL·L ⁻¹) Foliar fertilization density	D 土壤含水率/% Soil moisture content
1	核桃 <i>J. regia</i>	1 号 Number 1	1. 11	5
2	核桃 <i>J. regia</i>	2 号 Number 2	0. 83	10
3	核桃 <i>J. regia</i>	3 号 Number 3	0. 67	15
4	山杏 <i>P. armeniaca</i> L.	1 号 Number 1	0. 83	15
5	山杏 <i>P. armeniaca</i> L.	2 号 Number 2	0. 67	5
6	山杏 <i>P. armeniaca</i> L.	3 号 Number 3	1. 11	10
7	刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>	1 号 Number 1	0. 67	10
8	刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>	2 号 Number 2	1. 11	15
9	刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>	3 号 Number 3	0. 83	5

2.3 测定项目及方法

2009-07,选择晴天,分别采用 LI-1600 稳态气孔计和 Psypro 露点水势仪(Wescor 公司)测定苗木的蒸腾速率、气孔阻力、叶水势,从 08:00—18:00,每隔 2 h 测定 1 次,连续观测 1 周。测定时随机选取生长良好的分枝,选择完全展开的健康完整叶片进行测定,每次每株苗木均按照上述方法选取 3 个叶片重复测定。

3 结果与分析

3.1 抗蒸腾叶面肥对苗木蒸腾速率的影响

蒸腾速率是反映植物抗旱能力的一个重要指标,它能调节植物体的生理机制,使植物适应环境变化^[14]。根据所设计的正交试验,以蒸腾速率作为指标进行直观分析,结果见表 3。

表 3 抗蒸腾叶面肥对苗木蒸腾速率影响的直观分析

项目 Item	蒸腾速率 Transpiration rate			
	A 树种 Tree seed	B 叶面肥种类 Fertilizer type	C 叶面肥含量 Foliar fertilization density	D 土壤含水率 Soil moisture content
平均值 1 Average value 1	2. 603	2. 824	2. 381	2. 310
平均值 2 Average value 2	2. 373	1. 816	2. 091	2. 287
平均值 3 Average value 3	1. 929	2. 265	2. 434	2. 309
极差 Misses extremely	0. 674	1. 008	0. 343	0. 023

从表 3 可以看出,叶面肥种类的极差最大,其次是树种和叶面肥含量,土壤含水率极差最小。说明叶面肥种类的选用对蒸腾速率大小起着非常重要的作用。从蒸腾速率的平均值来看,B 因素叶面肥种类的第 2 水平最好;A 因素树种的第 3 水平最好;C 因素叶面肥含量的第 2 水平最好;D 因素土壤含水率的第 2 水平最好,说明各因素的最优组合是 A₃B₂C₂D₂,即树种用刺槐,叶面肥用 2 号,叶面肥含量 0. 83 mL/L,土壤含水率量为 10%,该组合能有效降低苗木的蒸腾速率。

3.2 抗蒸腾叶面肥对苗木气孔阻力的影响

气孔阻力反映了气孔进行物质传输的能力。根据所设计的正交试验,以气孔阻力作为指标进行直观分析,结果见表 4。从表 4 可以看出,各因素极差排序为 A>B>C>D,说明树种对气孔阻力的影响最大。从气孔阻力的平均值来看,A 因素树种的第 3 水平最好;B 因素叶面肥种类的第 2 水平最好;C 因素叶面肥含量的 3 个水平差异不大,其中第 1 水平最好;D 因素的第 1 水平最好,各因素的最佳组合为 A₃B₂C₁D₁,即树种选用刺槐,叶面肥选用 2 号,叶

面肥含量为1.11 mL/L,土壤含水率为 5%,该组合能有效增大苗木的气孔阻力。

表 4 抗蒸腾叶面肥对苗木气孔阻力影响的直观分析

Table 4 Visual analysis table of foliar fertilization to stomatal resistance s/cm

项目 Item	气孔阻力 Stomatal resistance			
	A	B	C	D
	树种 Tree seed	叶面肥种类 Fertilizer type	叶面肥含量 Foliar fertilization density	土壤含水率 Soil moisture content
平均值 1 Average value 1	7.249	10.347	12.877	12.664
平均值 2 Average value 2	11.806	14.312	11.932	11.852
平均值 3 Average value 3	18.001	12.397	12.247	12.540
极差 Misses extremely	10.752	3.965	0.945	0.812

3.3 抗蒸腾叶面肥对苗木叶水势的影响

从表 5 可以看出,4 个因素中,因素 B 叶面肥种类的极差最大,说明其对叶水势的影响最大;其次为土壤含水率;树种和叶面肥含量对叶水势的影响均较小。从叶水势的平均值可以看出,因素 B 的第 2

水平最好,因素 A、C、D 的第 3 水平均最好,各因素的最佳组合为 A₃B₂C₃D₃,即选用刺槐,喷施 2 号叶面肥,叶面肥的含量为 0.67 mL/L,土壤含水率是 15%,该组合能有效提高苗木的叶水势。

表 5 抗蒸腾叶面肥对苗木叶水势影响的直观分析

Table 5 Visual analysis table of foliar fertilization to leaf water potential MPa

项目 Item	叶水势 Leaf water			
	A	B	C	D
	树种 Tree seed	叶面肥种类 Fertilizer type	叶面肥含量 Foliar fertilization density	土壤含水率 Soil moisture content
平均值 1 Average value 1	-1.054	-1.186	-0.989	-1.243
平均值 2 Average value 2	-0.923	-0.659	-0.959	-0.811
平均值 3 Average value 3	-0.909	-1.041	-0.938	-0.083
极差 Misses extremely	0.145	0.527	0.051	0.432

4 结论与讨论

影响林木蒸腾速率的因素很多。有研究表明,土壤水分胁迫对植物蒸腾速率的影响十分突出^[15]。柯世省等^[16]研究表明,随着干旱胁迫程度的增强,云锦杜鹃叶片气孔导度明显降低,蒸腾失水减弱。本研究结果表明,叶面肥种类、叶面肥含量、树种、土壤含水率 4 个因素的不同水平,均能影响苗木的蒸腾速率。其中,叶面肥种类和树种对苗木的蒸腾速率影响均较大。当选用 2 号叶面肥,且其含量为 0.83 mL/L 时,苗木的蒸腾速率最小。据研究,在不显著影响光合速率的前提下,尽可能地降低植物蒸腾速率,是植物适应干旱的一种重要机制^[17]。因此,苗木蒸腾速率的降低是其具有较强抗旱能力的一个重要表现。本试验结果表明,2 号叶面肥苗木具有较强的抗旱能力。

增大气孔阻力能直接减少水分蒸腾,从而有利于植物保持体内的水分平衡,增强苗木抗旱能力。植物气孔阻力的变化机理非常复杂。很多学者对叶片气孔阻力的研究结果不尽相同。徐惠风等^[18]研究表明,乌拉苔草叶片气孔阻力受遮荫的影响较大,遮荫直接影响气孔开闭,气孔阻力对环境的响应也

比较大。本试验结果显示,树种对气孔阻力的影响最明显,不同树种的气孔阻力差异很大。从气孔阻力平均值来看,刺槐的气孔阻力最大,说明在同等条件下刺槐能很好地调节气孔阻力以适应环境,抗旱能力比核桃、山杏强。

叶水势是衡量植物抗旱的一个重要指标,叶水势的高低能反映植物的抗旱能力^[19]。Tang 等^[20]对滇润楠和香樟幼苗的研究发现,干旱初期植物的叶水势无明显变化,随着水分胁迫的加剧,两种树木幼苗的叶水势都发生变化,而且香樟幼苗的叶水势下降较快。本研究结果表明,叶面肥种类对苗木的叶水势影响最大,其次是土壤含水率和树种,叶面肥含量影响较小;叶面肥能有效地控制植物叶片叶水势的降低,而且刺槐相对其他两个树种而言,抗旱性强。

本研究综合蒸腾速率、气孔阻力和叶水势 3 个抗旱指标可知,在 3 个树种中,刺槐的抗旱性能最强;2 号叶面肥能有效增强苗木的抗旱能力。可知在干旱的条件下,应该选用刺槐作为抗旱造林树种,并选择喷施 2 号叶面肥,这样能有效降低苗木蒸腾失水,提高造林成活率。

[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.
- Li Y Q, Zheng S W, Chen H, et al. Review and progress of drought-resistance tree species [J]. World Forestry Research, 2007, 20(1):10-14. (in Chinese)
- [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.
- Zhang H, Wang B T, Zheng P L. The study on transpiration rate of the black locust under different soil water content in semi-arid region Loess Plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2):122-125. (in Chinese)
- [3] Turkan I, Bor M, Ozdenir F, et al. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress [J]. Plant Science, 2005, 168:223-231.
- [4] Stedvto, Katerjin, Puertos-molina H, et al. Wateruse efficiency of sweet sorghum under water stress conditions: Gas exchange investigations at leaf and canopy scales [J]. Field Crops Research, 1997, 54:221-234.
- [5] 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, 143:876-892.
- [6] Liu F, Andersen M N, Jensen C R. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying [J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 54:33-40.
- [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.
- Wei L, Cui S M. The effect of soil drought stress on photosynthetic character of *Prnus armeniaca* [J]. Acta Agriculture Boreali-Sinica, 2008, 23(5):194-197. (in Chinese)
- [8] Guo W H, Li B, Huang Y M, et al. Effects of different water stresses on ecophysiological characteristics of *Hippophae rhamnoides* seedlings [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(10):1238-1244.
- [9] 吴祥云,王晓娇,李宏昌,等. 科尔沁沙地主要造林树种抗旱生理生态特性 [J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(3):3-4.
- Wu X Y, Wang X J, Li H C, et al. Physiological and ecological characteristics of drought resistance of the main afforestation tree species in Horqin sandy land [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(3):3-4. (in Chinese)
- [10] 李淑英,周连第,兰彦平. 几种常绿阔叶树在北方地区抗旱适应性评价 [J]. 北京农学院学报, 2005, 20(4):12-16.
- Li S Y, Zhou L D, Lan Y P. Study on the drought resistance and adaptive form of subtropical evergreen broadleaved in northern China [J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2005, 20(4):12-16. (in Chinese)
- [11] 刘 萍,康峰峰,王旭航. 林木抗旱鉴定指标及数量分析方法研究进展 [J]. 河南林业科技, 2006, 26(2):20-23.
- Liu P, Kang F F, Wang X H. Advance in studied on identification indexes and methods of quantitative analysis for tree drought resistance [J]. Journal of Henan Forestry Science and Technology, 2006, 26(2):20-23. (in Chinese)
- [12] 苏梦云. 杉木幼苗在渗透胁迫下脯氨酸积累及 Ca 的调节作用研究 [J]. 林业科学研究, 2003, 16(3):335-338.
- Su M Y. The role of calcium in praline accumulation under osmotic stress in leaves of Chinese fir seeding [J]. Forest Research, 2003, 16(3):335-338. (in Chinese)
- [13] 邓春娟. 新型抗蒸腾叶面肥在火炬树、刺槐、白榆上的应用 [D]. 北京:北京林业大学, 2009.
- Deng C J. The application of new anti-transpiration leaf surface fertilization on *Rhus typhina nutt*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila* L. [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009. (in Chinese)
- [14] 李洪建,柴宝峰,王孟本,等. 北京杨水分生理生态特性研究 [J]. 生态学报, 2000, 20(3):417-422.
- Li H J, Chai B F, Wang M B. Study on the water physioecological characteristics of *Populus beijingensis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(3):417-422. (in Chinese)
- [15] Moneveux P, Rekika D, Acevedo E, et al. Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes [J]. Plant Science, 2006, 170:867-872.
- [16] 柯世省,魏 燕,陈贤田,等. 云锦杜鹃气孔导度和蒸腾速率对水分的响应 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(21):6363-6365, 6369.
- Ke S X, Wei Y, Chen X T, et al. Response of the stomatal conductance and transpiration rate of *Rhododendron fortunei* leaves to water deficit [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2007, 35(21):6363-6365, 6369. (in Chinese)
- [17] Lu J Y, Shan L, Gao J F. Unsufficient irrigation and its physiological bases [J]. Acta Bot Boreal Occident Sin, 2002, 22(6):1512-1517.
- [18] 徐惠风,刘兴土,沙 策,等. 遮荫条件下乌拉苔草叶片气孔阻力与脯氨酸、叶绿素含量的研究 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2004, 20(3):232-234.
- Xu H F, Liu X T, Sha L, et al. Study on the correlation between praline, chlorophyll and stoma block under shadings [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2004, 20(3):232-234. (in Chinese)
- [19] 喻方圆,徐锡增, Roberin. 水分和热胁迫对5种苗木生长及生物量的影响 [J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2003, 27(4):10-14.
- Yu F Y, Xu X Z, Roberin. Effects of water and heat stress on the seedling height growth and biomass of five trees [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2003, 27(4):10-14. (in Chinese)
- [20] Tang T T, Zhao L S, Dong Y, et al. Effect of drought dress on seedling chlorophyll fluorescence and leaf water potential of *Machilus yunnanensis* and *Cinnamomum camphora* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(4):16-20.