

干旱胁迫对苗木蒸腾耗水和生长的影响^{*}

李文华, 刘广权, 马松涛, 王鸿哲

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 在玻璃温室内采用盆栽试验研究了不同土壤水分处理对生长在黄绵土上的1年生仁用杏、刺槐和紫穗槐苗的水分特征和生长特征的影响。结果表明, 3个树种的叶片相对含水率和单株耗水量均随土壤水分的降低而降低, 各处理间的单株耗水量差异显著; 叶片饱和亏、保水力和单株水分利用率随土壤干旱胁迫的加剧而有所提高, 不同树种的水分利用率对各处理的反应不同; 根干重、茎干重和生物量等生长特征指标也随土壤水分的降低呈下降趋势, 不同土壤水分处理对紫穗槐的茎重、根重、总生物量及刺槐的根重、总生物量和仁用杏的总生物量影响显著; 其余指标各处理间差异不显著; 土壤含水量在最大田间持水量的52%以上时, 仁用杏才有较大的生物量, 刺槐和紫穗槐才能存活。

[关键词] 仁用杏; 刺槐; 紫穗槐; 水分特征; 耗水量; 干旱胁迫

[中图分类号] S718.43

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)01-0061-05

水资源缺乏已成为全球性的问题, 水分亏缺是限制植物生长的重要因素^[1]。在干旱半干旱地区的大面积造林过程中, 掌握各树种在干旱胁迫下的耗水和生长规律是造林成功的基础, 只有了解各树种的耗水和生长特性, 才能做到适地适树, 充分发挥各树种在生态环境中的作用。

以往对树木耗水的研究多关注瞬时耗水量, 而对树种在生长期内的实际耗水量研究较少, 并且目前采用的各种估算方法间的差异也较大, 与树木的实际耗水量出入较大^[2]。本试验从研究黄土高原常见的仁用杏、刺槐、紫穗槐3个树种的实际耗水量出发, 探讨了3个树种在不同水分梯度下的耗水规律和生长特性, 旨在为干旱半干旱地区的植被恢复和林木培育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

树种 1年生仁用杏、刺槐、紫穗槐苗; 仁用杏品种为龙王帽, 购自陕西榆林; 刺槐、紫穗槐购自陕西吴旗。

土壤 黄绵土采自陕西吴旗县铁边城, 最大田间持水量为18.75%。土壤取回后过筛, 去除杂质后备用。

仪器设备 试验用塑料盆高45 cm, 口径30 cm; 精度0.0001 g电子天平; 德国产(50±0.02) kg精密电子天平。

1.2 试验方法

试验布设 试验在西北农林科技大学林学院玻璃温室内进行, 共设5个土壤水分处理, 分别为土壤最大田间持水量(θ)的100% (处理I), 87.14% (处理II), 70% (处理III), 52% (处理IV)和40% (处理V), 每处理4个重复。植苗前1周, 测定土壤含水率, 使每盆所装土壤换算成烘干土后重量为45 kg。根据设计的土壤含水率计算出每盆的重量, 作为各处理水平的标准盆重。各树种挑选生长基本一致的苗木35株, 随机取15株用烘干法测量生物量, 用以估算试验当年的净生物量, 其余20株进行栽植, 每盆1株, 即每树种20盆。另外, 每个树种各设3盆未植苗对照, 用来估算土壤的水分蒸发量。2002-03-25植苗, 浇一次透水, 以后视土壤的干湿情况适当浇水, 确定苗木成活后, 从5月中旬至10月底按试验设计进行控水处理。每盆土壤表面覆砂石30 kg, 以减少土壤水分蒸发。

测定方法 (1) 单株苗木的蒸腾耗水量用称重法^[3,4]计算, 每5 d称重1次, 称完后加水至各盆的标准重量。单株苗木的蒸腾耗水量= 标准盆重- 称

^{*} [收稿日期] 2003-07-18

[基金项目] 国家林业局重点科学技术研究项目(2000-07); 国家“十五”科技攻关项目(2001BA510B0103)

[作者简介] 李文华(1968-), 男, 新疆库尔勒人, 助理研究员, 主要从事经济林栽培与管理研究。

后重量- 土壤水分蒸发量。水分利用率= 地上部分干物质重/蒸腾耗水量^[1, 5, 6]。(2)保水力用室内自然风干法测定^[7, 8], 测定时间为 07-20。每隔 1 h 用 0.000 1 g 电子天平称重 1 次, 计算叶片的累计失水率。累计失水率= 累计失水量/叶鲜重。(3)叶片相对含水率(RWC)和水分饱和亏(WSD)^[2, 5, 6, 9~11]用烘干法计算, 测定时间为 07-20。WSD/%=(叶饱和重- 叶鲜重)/(叶饱和重- 叶干重)×100%, RWC/%=(叶鲜重- 叶干重)/(叶饱和重- 叶干重)×100%。(4)生长量用常规法测定。每月测 1 次苗木的地径、新梢长。(5)生物量用烘干法测定, 在试验结束时, 将苗木按部位烘干称重。

1.3 统计分析

数据采用 SPSS 软件进行统计分析。

表 1 干旱胁迫对苗木叶片水分特性的影响

Table 1 Effects of drought stress on leaf hydraulic character in young plant							%
处理 Treatment	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>		仁用杏 <i>Prunus ameniaca</i> × <i>sibirica</i>		
	WSD	RWC	WSD	RWC	WSD	RWC	
I	17.82	82.18	9.89	90.11	22.28	77.72	
II	20.50	79.50	12.45	87.55	23.32	76.68	
III	25.15	74.85	14.56	85.44	23.59	76.41	
IV	25.65	74.35	16.02	83.98	25.55	74.45	
V	28.56	71.44	18.22	81.78	36.65	63.35	

叶片水分饱和亏是反映植物体内水分亏缺程度的指标。在相同的水分胁迫下比较各树种叶片的水分饱和亏及其变化幅度, 可以得出它们维持水分平衡能力的大小^[7]。由表 1 可知, 3 个树种叶片的水分饱和亏随土壤水分的减少而升高, 其数值变化较平

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对苗木叶片水分特性的影响

叶片相对含水率是表示植物缺水程度的一个重要指标, 它的多少可以反映植物的保水和抗脱水能力^[8, 11]。从表 1 可以看出, 3 个树种的叶片相对含水率随土壤水分的减少而下降, 但变化幅度不大。紫穗槐的叶片相对含水率在各水分梯度均比刺槐和仁用杏高, 说明紫穗槐的抗旱性更强。仁用杏与刺槐相比, 在土壤水分含量高时, 叶片相对含水率较刺槐低; 在受到中度干旱胁迫时, 叶片相对含水率较刺槐高, 说明仁用杏在中度干旱时的抗旱能力较刺槐强; 在重度干旱胁迫时, 刺槐比仁用杏抗旱。

稳, 说明 3 个树种具有较强的维持体内水分平衡的能力。在各水分梯度中, 紫穗槐的水分饱和亏均小于刺槐和仁用杏, 说明紫穗槐对干旱的适应调节能力较其他 2 个树种强。

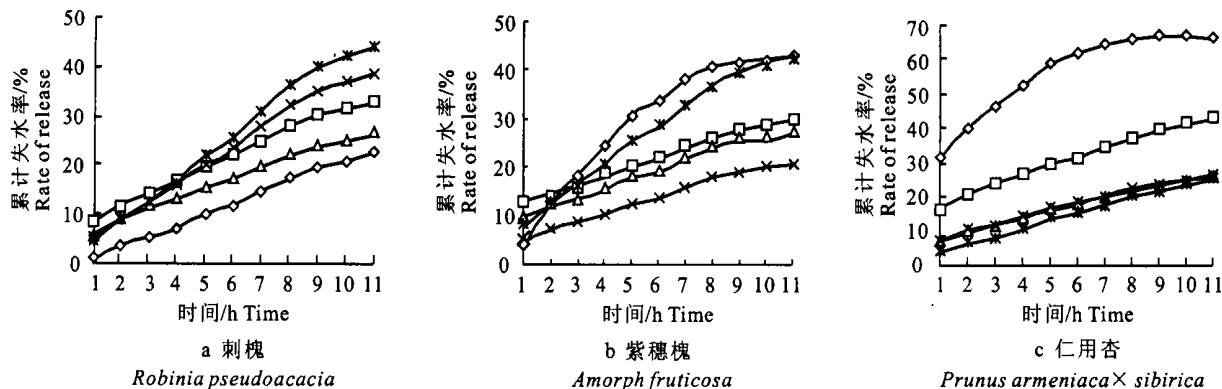


图 1 3 个树种叶片累计失水率

- ◇ - . 处理 I; - □ - . 处理 II; - △ - . 处理 III; - × - . 处理 IV; - * - . 处理 V

Fig 1 The leaf water-holding ability of three plants

- ◇ - . Treatment I; - □ - . Treatment II; - △ - . Treatment III; - × - . Treatment IV; - * - . Treatment V

2.2 干旱胁迫对苗木叶片保水力的影响

植物叶片的保水力通常用来表示植物组织的抗

脱水能力^[7, 12, 13]。由图 1 可以看出, 在正常供水条件下, 仁用杏叶片的累积失水率明显高于刺槐和紫穗

槐。随着土壤干旱的加剧, 3 个树种的累积失水率间的差异越来越小, 其变化幅度也越来越小。在处理 I 和处理 II 条件下, 仁用杏叶片经 11 h 后分别失去自身含水量的 66.2% 和 42.27%, 较同时期刺槐和紫穗槐高; 在处理 III 时该值为 25.73%, 与同时期刺槐和紫穗槐相差不大; 在处理 IV 和处理 V 时该值分别为 26.43% 和 24.6%, 比同时期刺槐和紫穗槐低。在土壤水分较好时, 叶片保水力强弱顺序为刺槐> 紫穗槐> 仁用杏; 中度干旱时, 3 个树种叶片保水力相近; 重度干旱时, 叶片保水力强弱顺序为仁用杏> 紫穗槐> 刺槐。表明在干旱胁迫条件下, 仁用杏叶片的保水力较刺槐和紫穗槐强。

表 2 干旱胁迫对苗木实际耗水量的影响

Table 2 Effect of drought stress on water-consumption of young plant													kg
处理 Treat- ment	7 月 July			8 月 August			9 月 September			10 月 October			
	刺槐 <i>Robinia pseudoa- cacia</i>	紫穗槐 <i>Am orpha fruti- cosa</i>	仁用杏 <i>Prunus am eniaca</i> × <i>sibirica</i>	刺槐 <i>Robinia pseudoa- cacia</i>	紫穗槐 <i>Am orpha fruti- cosa</i>	仁用杏 <i>Prunus am eniaca</i> × <i>sibirica</i>	刺槐 <i>Robinia pseudoa- cacia</i>	紫穗槐 <i>Am orpha fruti- cosa</i>	仁用杏 <i>Prunus am eniaca</i> × <i>sibirica</i>	刺槐 <i>Robinia pseudoa- cacia</i>	紫穗槐 <i>Am orpha fruti- cosa</i>	仁用杏 <i>Prunus am eniaca</i> × <i>sibirica</i>	
I	7.84 a	9.45 a	16.82 a	8.68 a	9.18 a	15.66 a	8.17 a	7.07 a	6.44 a	4.46 a	3.04 ab	4.30 a	
II	6.30 a	7.28 b	14.86 ab	6.59 b	6.95 b	13.31 ab	6.10 b	5.13 b	6.32 a	3.62 a	3.32 a	4.03 a	
III	4.30 b	4.04 c	11.2 b	3.99 c	3.99 c	10.27 b	3.38 c	2.56 c	5.80 a	1.87 b	1.85 b	3.44 a	
IV	1.32 b	1.49 d	4.08 c	1.31 d	1.48 d	4.47 c	1.13 d	0.43 d	1.98 ab	0.60 c	0.41 c	0.95 ab	
V	死亡 Dead	死亡 Dead	0.96 c			1.31 c			0.94 b			0.35 b	

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P > 95\%$)。下表同。
Note: The different small letters indicates significant difference ($P > 95\%$) in the same column. The following tables are the same.

2.3.2 苗木单株实际总耗水量的变化 由表 3 可知, 土壤水分对 3 个树种单株实际总耗水量的影响达到显著水平。3 个树种的单株实际总耗水量随土壤含水率的下降而减少; 仁用杏在各土壤水分梯度

2.3 干旱胁迫对苗木实际耗水量的影响
2.3.1 苗木实际耗水量的月变化 由表 2 可知, 随土壤干旱的加剧, 3 个树种在各月份的单株实际耗水量均呈减少趋势, 且各处里间差异显著。同一树种在不同月份的单株耗水量不同, 仁用杏和紫穗槐在 7、8 月耗水量较大, 刺槐在 7、8、9 月耗水量较大。7、8 月时, 仁用杏在各土壤水分处理中的实际耗水量远高于刺槐和紫穗槐。在试验过程中, 刺槐和紫穗槐在处理 V 条件下于 07-25 全部死亡。因此, 在实际生产中要根据土壤水分条件和 3 个树种的单株耗水规律, 合理安排 3 个树种的栽植地块。

的单株实际总耗水量均高于刺槐和紫穗槐, 刺槐和紫穗槐的耗水量基本相同。说明仁用杏在整个生长期内需水量均高于刺槐和紫穗槐。因此, 仁用杏在造林时应选择土壤水分较好的地块。

表 3 干旱胁迫对苗木水分利用率和生长量的影响

Table 3 Effect of drought stress on WUE and growth of three young plants						
树种 Plant	处理 Treat- ment	茎重/g Dry weight of shoot	根重/g Dry weight of root	总生物量/g Biomass	总耗水量/kg Water- consumption	水分利用率/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) WUE
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	I	27.56 a	47.32 a	97.11 a	36.839 a	0.783 a
	II	27.38 a	51.09 a	95.39 a	29.815 b	0.840 ab
	III	11.23 a	21.60 a	45.36 ab	17.825 c	0.636 a
	IV	6.76 a	12.04 b	22.58 b	5.810 d	1.293 b
	V	死亡 Dead				
紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	I	31.31 a	78.82 a	132.764 a	37.31 a	0.857 a
	II	30.35 a	77.34 a	131.712 a	29.33 b	1.019 a
	III	13.62 b	56.30 b	82.794 b	16.09 c	0.781 a
	IV	10.47 b	30.64 c	48.002 c	5.22 d	1.796 b
	V	死亡 Dead				
仁用杏 <i>Prunus ameniaca</i> × <i>sibirica</i>	I	64.874 a	58.474 a	129.519 a	59.30 a	1.074 a
	II	60.841 a	57.566 a	124.152 a	51.98 a	1.594 a
	III	54.953 a	53.311 a	123.347 ab	42.76 a	1.759 a
	IV	40.654 a	39.244 a	85.897 c	13.53 b	4.017 a
	V	36.089 a	33.510 a	73.598 c	4.05 b	11.879 b

2.4 干旱胁迫对苗木水分利用率的影响
水分利用率是用来描述植物生长量与水分利用状况之间关系的指标。由于计算时所用的水分概念不同, 水分利用率的表达方式就不同^[1, 2, 4, 5, 7, 12, 14, 15]。

本研究用地上部分干物质重与苗木生育期总耗水量的比值表示水分利用率。表 3 表明,不同的土壤水分处理对 3 个树种的水分利用率影响均达到显著水平。仁用杏的水分利用率随土壤水分的减少而上升,并且在各土壤水分梯度均高于刺槐和紫穗槐。刺槐和紫穗槐的水分利用率随土壤水分的减少而呈波动状态,均为先升后降又升;二者在处理 II 和 IV 时的水分利用率较高,均以处理 IV 最高。3 个树种在受到土壤干旱胁迫时,仁用杏通过提高水分利用率来抵御干旱,表现出比刺槐和紫穗槐更强的抗旱能力。

2.5 干旱胁迫对苗木生长的影响

由表 3 可知,3 树种的茎重、根重、总生物量均随土壤水分的减少而减少,其生长明显受到土壤水分的影响。不同土壤水分处理对紫穗槐的茎重、根重、总生物量的影响均达到了显著水平;对刺槐根重和总生物量的影响达到显著水平,而对茎重影响不显著;对仁用杏茎重、根重的影响未达到显著水平,而对总生物量的影响达到了显著水平。土壤含水率在 40% θ (处理 V) 时,刺槐、紫穗槐供试苗全部死亡,而仁用杏无死亡,这也说明仁用杏的耐旱能力更强。

3 结论与讨论

3.1 干旱胁迫对苗木水分特征的影响

在黄土高原,水分是影响树木水分特征和生长特征的主导因素。植物的水分特征是植物对环境变化的一种结构上的响应,是植物忍耐干旱胁迫强弱的指示剂,如水分饱和和亏、水分含量等^[2, 8, 9, 16, 17]。本研究结果基本支持这一点。叶片保水力的大小可反映植物组织持水性和抗旱能力的大小^[7, 13],本研究结果表明,随土壤水分含量减少,仁用杏叶片的保水力增加,而刺槐、紫穗槐的下降。

3.2 干旱胁迫对苗木单株耗水量的影响

研究植物的耗水量变化规律对干旱半干旱地区森林经营和经济林发展有着十分重要的现实意义。目前,国内外学者对此规律的研究大多集中在以蒸腾速率为指标,关注的是植物的瞬时耗水量,较少对树种的实际耗水量进行定量研究。本研究通过盆栽试验,对黄土高原常见的 3 个造林树种的单株耗水量变化规律进行了研究,认为仁用杏、刺槐、紫穗槐的单株耗水量随土壤水分的减少而显著减少,在土壤水分充足和适宜时,单株耗水量随土壤含水量降低而降低的幅度不大;在土壤中度 and 严重干旱时,随土壤含水量的降低而大幅度降低,耗水量明显减少,这与李吉跃等^[3]的研究结果相似。

3.3 干旱胁迫对苗木水分利用率的影响

仁用杏的单株耗水量、水分利用率均比刺槐和紫穗槐高,其水分利用率随土壤干旱胁迫的加剧而提高,说明仁用杏是通过提高水分利用率来适应干旱环境的。刺槐和紫穗槐在土壤含水率为 87.14% θ (处理 II) 和 52% θ (处理 IV) 时,水分利用率高,这一研究结果与杨建伟等^[1]的类似。

3.4 干旱胁迫对苗木生长特征的影响

植物的生长行为是受到多种环境因子综合作用后的最终表现。在黄土高原地区,土壤水分是制约树木生长的主要环境因子^[1, 5]。本研究认为,不同的土壤水分处理对仁用杏、刺槐和紫穗槐的总生物量有显著影响,总生物量随土壤水分的下降而减少。仁用杏要获得较大的生物量,土壤水分含量不应低于 52% θ (处理 IV);刺槐和紫穗槐能忍受的最低土壤含水率为 52% θ 。各土壤水分处理对 3 个树种的茎重、根重和生物量有着不同的影响,这一结论与文献^[7, 8, 12]的研究结果不同,这可能是由于不同树种的生长特性不同而造成的。

[参考文献]

- [1] 杨建伟,韩蕊莲,魏宇昆,等.不同土壤水分状况对杨树、沙棘水分关系及生长的影响[J].西北植物学报,2002,22(3):579-586
- [2] 何维明.水分因素对沙地柏实生苗水分和生长特征的影响[J].植物生态学报,2001,25(1):11-16
- [3] 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
- [4] 廖观荣,钟继洪,郭庆荣,等.土壤水分对幼龄桉树蒸腾和生长的影响[J].土壤与环境,2001,10(4):285-288
- [5] 李丽霞,梁宗锁,韩蕊莲.土壤干旱对沙棘苗木生长及水分利用的影响[J].西北植物学报,2002,22(2):296-302
- [6] 任书杰,李世清,王俊.半干旱农田生态系统覆膜进程和施肥对春小麦耗水及水分利用效率的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(4):1-4
- [7] 孙明亮,石诒来.山东青石山区主要经济树种的抗旱性[J].山东农业大学学报,1999,30(4):336-344
- [8] 谢演峰,沈惠娟,罗爱珍,等.南方 7 个造林树种幼苗抗旱生理指标的比较[J].南京林业大学学报,1999,23(4):13-16
- [9] 阮成江,李代琼,姜峻,等.半干旱黄土丘陵区沙棘的水分生理生态及群落特性研究[J].西北植物学报,2000,20(4):621-627

- [10] 郭惠清, 田有亮 杨幼树水分生理指标和光合强度与土壤含水量关系研究[J]. 干旱资源与环境, 1998, 12(2): 101- 106
- [11] 王 森, 代力民, 姬兰柱 土壤水分状况对长白山阔叶红松林主要树种叶片生理生态特性的影响[J]. 生态学杂志, 2002, 21(1): 1- 5
- [12] 肖春旺, 董 鸣, 周广胜, 等 鄂尔多斯高原沙柳幼苗对模拟降水量变化的响应[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 171- 176
- [13] 董学军, 陈仲新, 陈锦正 毛乌素沙地油松的水分关系参数随不同土壤基质的变化[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 385- 392
- [14] 李文华, 吴万兴, 张忠良 土壤水分对仁用杏水分和生长特征的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(4): 139- 144
- [15] 杨敏生, 裴保华, 张树常 树木抗旱性研究进展[J]. 河北林果研究, 1997, 12(3): 87- 93
- [16] 梁宗锁, 李 敏, 王俊峰 沙棘抗旱生理机制研究进展[J]. 沙棘, 1998, 11(3): 8- 13
- [17] 李良厚, 贾志英, 付祥健 土壤水分胁迫下苗木水分参数变化的研究[J]. 河南农业大学学报, 1999, 33(1): 92- 99

Effect of drought stress on transpiration and growth characteristics of young plant

L I Wen-hua, L I U Guang-quan, M A Song-tao, WANG Hong-zhe

(College of Forestry, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Shaanxi, Yangling 712100, China)

Abstract: In green-house, pot-cultured 1-year *Robinia pseudoacacia*, *Amorpha fruticosa* and *Prunus amurica* × *sibirica*'s growth and water character were studied under different treatment of soil moisture. The main results showed that: relative water content (RWC) of three plants leaves and water consumption declined with the declining soil moisture. Water consumption was significantly affected by different treatment of soil moisture; water potential, water-holding capacity and water use efficiency was improved with increased water stress of soil moisture, water use efficiency of different plant was differently affected by different treatment of soil moisture; dry weight of shoot, dry weight of root and biomass declined with the declining of soil moisture; dry weight of shoot, dry weight of root and biomass of *Amorpha fruticosa* and dry weight of root, biomass of *Robinia pseudoacacia* and biomass of *Robinia pseudoacacia* were insignificant under different treatment of soil moisture; It was above 52% θ of soil moisture for *Prunus amurica* × *sibirica* to get bigger biomass, *Robinia pseudoacacia* and *Amorpha fruticosa* can survive.

Key words: *Robinia pseudoacacia*; *Amorpha fruticosa*; *Prunus amurica* × *sibirica*; hydraulic characteristics; water consumption; drought stress