

不同土壤水分下刺槐和油松的生理特征

杨建伟^{1,2}, 梁宗锁², 韩蕊莲², 吉士东¹

(1. 南阳师范学院生物系, 河南 南阳 473061; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要 在适宜土壤水分(70% θ_f)、中度干旱(55% θ_f)和严重干旱(40% θ_f)3种土壤水分条件下研究了黄土高原常见造林树种刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)的生长及水分利用特性。结果表明:干旱胁迫使2树种的成活率、干物质累积和光合速率均显著下降。在适宜水分下刺槐的单叶水分利用率(WUE)最高,严重干旱下最低。刺槐和油松的枝条快速生长期主要集中在3-6月,在中度干旱条件,2个树种均可良好生长;在严重干旱下2个树种的生长均受到显著抑制,但刺槐受影响较大,油松受影响较小。在3种土壤水分条件下刺槐耗水量、生物量及水分利用率均显著高于油松。2树种在中度干旱下的总WUE最高,严重干旱下最低。刺槐属于高耗水树种,油松属于低耗水树种,油松的耐旱性强于刺槐。研究结果表明,刺槐在黄土高原缺水地区不适宜大面积栽植,只能用于水分条件较好的立地条件下造林。油松应尽可能在含水量较高的阴坡或沟坡地带造林。

关键词: 土壤水分; 刺槐; 油松; 生长; 水分利用率

中图分类号: Q945.17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2004)03-0012-06

The physiological characteristics of *Robinia pseudoacacia* and *Pinus tabulaeformis* seedlings under different soil water contents YANG Jian-wei^{1,2}, LIANG Zong-suo², HAN Rui-lian², JI Shi-dong¹ (1. Nanyang Normal College, Nanyang 473061, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2004, 13(3): 12-17

Abstract: Under fitted soil water content (70% θ_f), medium drought (55% θ_f) and serious drought (40% θ_f), the growth and water use characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus tabulaeformis* Carr. were studied. The results showed that survival rate, photosynthesis rate and biomass accumulation of two tree seedlings decreased significantly with the soil water content decrease. The water use efficiency of *R. pseudoacacia* leaves was the highest in fitted soil water content, it was the lowest under serious drought. Season of fast branch growth of two tree seedlings was mainly in March - June. Two tree seedlings all grew well under favorable soil water content and medium drought, their growth were all significantly inhibited under serious drought. The total water consumption, biomass and water use efficiency of *R. pseudoacacia* were significantly higher than that of *P. tabulaeformis* under the three soil water contents. The total water use efficiency of the two tree seedlings was the highest at medium drought, that was the lowest under serious drought. The water consumption of *R. pseudoacacia* was higher than that of *P. tabulaeformis*. The ability of drought resistance of *P. tabulaeformis* was higher than that of *R. pseudoacacia*. *R. pseudoacacia* did not have the character of drought resistance plants, so it was not fit to plant widely in loess plateau area and only fit to favorable soil water condition. *P. tabulaeformis* should be planted in areas of high soil water content, such as shady slopes, gaps, channels, etc.

Key words: soil water content; *Robinia pseudoacacia* L.; *Pinus tabulaeformis* Carr.; growth; water use efficiency

刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)是中国三北地区的主要防护林树种,尤其是黄土高原地区的主要造林树种,但在黄土高原的干旱、半干旱地区,各种植物只能依靠当年的降水和灌溉维持生长,在没有灌溉条件的地方,各树种的生长受到严重抑制,加之土地资源的不合理利

用及植被的破坏造成了严重的水土流失。几十年

收稿日期: 2004-02-20

基金项目: 国家自然科学基金(90302005)和中国科学院知识创新基金(KZCX1-06)资助项目

作者简介: 杨建伟(1965-),女,河南西峡人,硕士,副教授,主要从事植物抗旱及水分生理研究工作。

来,黄土高原造林种草取得了一定的成效,但由于没有做到适地适树和适地适林,在只适宜于种植耗水量小的灌木树种和种草的地方种植了高耗水乔木,由于水分条件不能满足,使造林成活率低,树木生长不良,导致了大片低产林的出现,并由此进一步恶化了区域内水分生态条件^[1,2]。在黄土高原现有的人工林中,有相当大面积的林分是以绿化为目的而营造的,很少顾及生产力问题^[3,4],而加强对该区域植被特征的研究对整个黄土高原具有重要意义。在生态效应和树种选择方面进行系统研究,切实提高造林质量,才能从真正意义上做到适地适树^[2,5-7]。

为此,本项目选择在黄土高原已大面积造林的刺槐和油松为研究对象,在人工控制土壤水分条件下,模拟这2个树种生存的土壤水分条件,探讨在不同土壤水分条件下该树种的生长、成活率以及水分利用特征,为确定刺槐和油松林的最适生长环境提供科学的理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料与土壤水分胁迫处理

刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)均为1年生实生苗,由中国科学院安塞生态试验站提供。实验用土为黄绵土,采自安塞生态站,田间持水量为21.5%。设置3种土壤含水量水平:适宜水分、中度干旱、严重干旱,分别是田间持水量(θ_r)的70%、55%、40%(重量含水率),各处理设置5~6盆重复,每盆栽植3~4株,待成活后选择大小基本一致的苗木保留2株,于2001年3月6日植入口径20 cm、高30 cm的生长钵内,置于可移动模拟干旱防雨棚内,雨天用防雨棚遮雨,晴天露天生长。从移栽次日开始,每天定时用电子秤称盆重用控制土壤含水量,并加水补充其蒸腾损失,为排除土壤蒸发,用塑料薄膜覆盖表面裸土。每次用量杯记录加水量,实验持续至10月中旬结束。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 新生枝条生长速率及成活率的测定 新生枝条生长速率:每隔15 d定时定位测量新生枝条长度的变化,计算单位时间的生长速率。成活率测定:实验结束时统计各树种在各种土壤水分条件下的成活数,并与总植入植株数进行对比。

1.2.2 叶水势与含水量的测定 水势的测定:在每

月的晴朗天气上午9:00采样,用小液流法测定,每处理3次重复。叶片含水量测定:选取功能叶,用烘干称重法测定。

1.2.3 水分利用率(WUE)的测定 单叶WUE = 光合速率(Pn)/蒸腾速率(Tr);总WUE = 生长季总生物量/生长季总耗水量。生长季总生物量为实验结束时苗木的总干重减去栽前干重,栽前干重的测定方法为选取与将要移栽的苗木大小一致的苗木10株,烘干称重,取其平均值。光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)的测定:在上午9:00,每处理选用功能叶5~6片,用Licor-6400型便携式光合仪测定。

1.2.4 耗水量的测定 每天定时称盆重,在排除土壤蒸发和苗重的增量后,以盆重的减少量为树种的当日耗水量,并加水补充至设定土壤含水量。总耗水量为整个生长季每天加水量与移栽苗木之前和起苗后土壤含水量变化之和。

2 结果和分析

2.1 土壤干旱对刺槐和油松根系干重、根冠比、总生物量、总耗水量及总WUE的影响

根系的生长是反映植物忍耐干旱胁迫的重要指标之一,不同土壤水分条件下,刺槐和油松根系的各测定指标见表1。从表1可以看出,随着土壤含水量的下降,2树种在整个生长季中根干重、茎叶干重均呈下降趋势。在严重干旱下根干重、茎叶干重均为最低,但根冠比却随土壤干旱的加剧呈上升趋势,即在严重干旱下根冠比为最高,适宜水分下最低,各处理之间的差异性均达到极显著水平。实验结果表明,在干旱胁迫下根和茎叶生长受到明显抑制,但对茎叶的影响更大,在严重干旱下茎叶生长受影响最显著。刺槐在中度干旱和严重干旱条件下的根冠比显著高于油松,表明在严重干旱条件下油松根的生长受影响程度比刺槐大。

另从表1可以看出,在适宜土壤水分下,刺槐的总耗水量是中度干旱和严重干旱的1.48倍和2.93倍;油松的总耗水量是中度干旱和严重干旱的1.58倍和2.46倍,很显然在适宜水分下,2树种的总耗水量明显高于中度干旱和严重干旱下的总耗水量。从各树种生物量的高低来看,在适宜水分下苗木的生物量均为最大,严重干旱下干物质累积最少,生物量最低。用生长季总生物量与总耗水量计算总水分

利用率(WUE),2树种均表现为在中度干旱下最高,严重干旱下最低。方差分析显示在不同土壤水分条件下,2树种的总耗水量、总生长量以及水分利用效率差异性均达到了极显著水平(表1)。

在同一土壤水分条件下对2树种总耗水量、总生物量、总WUE进行比较,可以看出,刺槐在适宜水分、中度干旱和严重干旱条件下的总耗水量分别是

油松的55倍、30倍和46倍;在适宜水分、中度干旱和严重干旱条件下,刺槐的总生物量分别是油松的144倍、141倍和137倍;刺槐在适宜水分、中度干旱和严重干旱条件下的总WUE分别是油松的2.63倍、2.59倍和2.98倍。测定结果表明刺槐属于高耗水、高生物量、高水分利用率树种;油松属于低耗水、低生物量、低水分利用率树种。

表1 不同土壤水分条件下刺槐和油松根干重、根冠比、总生物量、总耗水量及总水分利用率(WUE)¹⁾

Table 1 Root dry weight, ratio of root and shoot, total biomass, water consumption and total water use efficiency (WUE) of *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus tabulaeformis* Carr. seedlings under different soil water contents in growth season¹⁾

树种 Species	土壤水含量 Soil water content	根干重/g Root dry weight	地上部干重/g Dry weight of above-ground part	根冠比 Ratio of root and shoot	总生物量/g Total biomass	总耗水量/kg Total water consumption	总WUE/g·kg ⁻¹ Total water use efficiency
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	70% θ _f	78.21aA	97.89aA	0.791cC	153.100aA	24.530aA	6.24bB
	55% θ _f	55.68bB	64.72bB	0.860aA	112.200bB	16.540bB	6.78aA
	40% θ _f	28.03cC	27.73cC	1.010bB	47.230cC	8.360cC	5.66cC
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	70% θ _f	0.67aA	1.15aA	0.580bB	1.060aA	0.446aA	2.37bB
	55% θ _f	0.63bB	0.95bB	0.668aA	0.796bB	0.283bB	2.62aA
	40% θ _f	0.45cC	0.70cC	0.720cC	0.344cC	0.180cC	1.90cC

¹⁾ 相同字母表示差异不显著(SSR检验) The same letters indicate no significant difference (SSR test); 小写字母表示 α=0.05 水平 Small letter means α=0.05; 大写字母表示 α=0.01 水平 Capital letter means α=0.01。

2.2 土壤干旱对刺槐和油松成活率及生长的影响

在不同的土壤水分条件下,刺槐和油松幼苗的成活率不同(表2)。在适宜水分和轻度干旱下,刺槐的成活率均显著高于油松,而在严重干旱下油松的成活率则显著高于刺槐。从中度干旱到严重干旱过程中,刺槐的成活率下降极为显著,而油松的成活率变化不明显。从表3可以看出:2树种在不同土壤水分条件下,生长季各月枝条的生长净增量有明显差异,2个树种枝条的生长速率从大至小依次均为适宜水分、中度干旱、严重干旱。与适宜水分条件相比较,在中度干旱下刺槐和油松枝条生长净增量分别下降了18.72%和19.1%,在严重干旱下分别下降了31.00%和27.71%。油松在适宜水分下的总生长量分别是中度干旱和严重干旱下的1.24倍和3.85倍。刺槐和油松新枝快速生长均集中在3-6月份,这4个月内刺槐在3种土壤水分下的生长量占总生长量的94%、96%和86%;油松在3种土壤水分下的生长量占总生长量的90%、92%和99%。7月份以后,2树种生长显著下降。根据表3还可以看出,刺槐枝条每月的净生长量均显著高于油松,在适宜水分、中度干旱和严重干旱下,整个生长季中刺槐的净生长

表2 不同土壤水分条件下油松和刺槐的成活率

Table 2 Survival rates of *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus tabulaeformis* Carr. seedlings under different soil water contents

土壤含水量 Soil water content	成活率/% Survival rate	
	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>
70% θ _f	100.0	80.0
55% θ _f	91.7	60.8
40% θ _f	42.9	58.0

量分别是油松的3.07、3.10、2.94倍。

结合表1可以看出,与适宜水分条件相比,在中度水分亏缺条件下2树种的总干重均有所下降,刺槐和油松分别下降了26.4%和27.5%;在严重干旱下总干重显著下降,刺槐和油松分别下降了66.8%和64.2%。方差分析显示在3种土壤水分条件下,2树种的生物量差异性均达到了极显著水平(见表1)。

上述实验结果说明,土壤水分含量明显影响各树种的生长及生物量积累,在中度水分亏缺以上的土壤水分条件下2树种均可良好生长,但在严重干旱下2树种的生长均受到显著抑制,但刺槐受影响较大,油松受影响较小,表明油松比刺槐更耐干旱。

表 3 不同土壤水分条件下刺槐和油松各月份枝条生长净增量

Table 3 Growth rate of *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus tabulaeformis* Carr. seedlings under different soil water contents

树种 Species	土壤含水量 Soil water content	生长季各月份枝条生长净增量/cm Branch growth rate in season of growth							
		3月 March	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	合计 Total
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	70% θ_f	1.35	12.46	6.74	1.21	0.75	0.49	0.07	23.07
	55% θ_f	0.00	10.72	6.92	0.31	0.03	0.02	0.76	18.75
	40% θ_f	0.00	6.37	5.73	1.64	0.80	1.22	0.15	15.90
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	70% θ_f	1.00	2.82	1.90	0.98	0.30	0.09	0.38	7.47
	55% θ_f	0.90	2.19	1.50	0.94	0.36	0.14	0.01	6.04
	40% θ_f	0.30	2.40	1.98	0.65	0.07	0.00	0.00	5.40

2.3 土壤干旱对刺槐光合速率、蒸腾速率及单叶水分利用率(WUE)的影响

树种生长及干物质积累的差异与光合速率密切相关,在生长季各月的晴朗天气测定刺槐的光合速率和蒸腾速率,并依此计算单叶 WUE,结果发现,在同一测定时间内,随土壤含水量的降低,刺槐的光合速率明显下降。从各月测定结果看(表 4),刺槐的光合速率从 5 月开始逐渐上升,至 7 月达最高水平,8 月以后下降,光合速率的月变化与枝条的生长速率基本一致;但蒸腾速率则与光合速率规律不同,在整

个生长季中,不同月份以及在同一月份各处理之间的蒸腾速率变化规律不明显。在 3 种土壤水分条件下,刺槐单叶的 WUE 由高至低均为适宜水分、中度干旱、严重干旱,即在适宜水分下单叶 WUE 最高,严重干旱下最低,与最终总 WUE 并不一致。

2.4 土壤干旱对刺槐和油松的叶水势及叶含水量的影响

刺槐和油松在整个生长季(5-10 月)的叶水势和叶含水量测定结果见表 5。从 5 月至 9 月刺槐和油松各处理组的叶水势均有所下降,且随时间延长

表 4 不同土壤水分条件下刺槐生长初期、中期和末期光合速率、蒸腾速率及单叶水分利用率(WUE)的变化¹⁾

Table 4 The changes of photosynthesis rate, transpiration rate and water use efficiency (WUE) of leaf of *Robinia pseudoacacia* L. under different soil water contents on May 10, July 31 and September 15¹⁾

土壤含水量 Soil water content	生长初期(5月10日) Early season of growth (May 10)			生长中期(7月31日) Medium season of growth (July 31)			生长末期(9月15日) Late season of growth (September 15)		
	Pn	Tr	WUE	Pn	Tr	WUE	Pn	Tr	WUE
70% θ_f	6.58aA	2.26aA	2.91bB	18.50aA	2.39aA	7.74aA	5.20aA	2.25a	2.31aA
55% θ_f	6.17aA	2.16aA	2.85aA	15.20bB	2.42aA	6.28bB	4.70bB	2.14a	2.20aAB
40% θ_f	5.78aA	2.22aA	2.60bB	15.03bB	2.50aA	6.01bB	3.75cC	2.02a	1.85bB

¹⁾ 相同字母表示差异不显著(SSR 检验) The same letters indicate no significant difference (SSR test); 小写字母表示 $\alpha = 0.05$ 水平 Small letter means $\alpha = 0.05$; 大写字母表示 $\alpha = 0.01$ 水平 Capital letter means $\alpha = 0.01$; Pn: 光合速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Photosynthesis rate; Tr: 蒸腾速率/ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Transpiration rate; WUE: Water use efficiency.

表 5 不同土壤水分条件下刺槐和油松的叶水势及叶含水量变化¹⁾

Table 5 The changes of water potential and water content of *Robinia pseudoacacia* L. and *Pinus tabulaeformis* Carr. leaves under different soil water contents in season of growth¹⁾

树种 Species	土壤含水量 Soil water content	生长季各月份叶水势/mPa 和叶含水量/% Water potential and water content in season of growth				
		5月15日 May 15	6月15日 June 15	7月18日 July 18	8月21日 August 21	9月23日 September 23
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	70% θ_f	-0.8(65.6)	-0.6(65.2)	-0.8(65.3)	-1.2(61.7)	-1.1(61.0)
	55% θ_f	-1.0(65.0)	-1.3(64.0)	-1.4(63.5)	-1.6(61.0)	-1.7(59.3)
	40% θ_f	-1.0(64.1)	-1.7(59.7)	-2.0(57.8)	-2.2(58.0)	-2.7(56.8)
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	70% θ_f	-0.7(67.1)	-0.8(66.6)	-1.2(66.4)	-1.2(64.8)	-1.3(63.6)
	55% θ_f	-0.8(65.6)	-1.3(63.4)	-1.6(63.9)	-1.7(63.9)	-2.0(61.0)
	40% θ_f	-1.0(64.6)	-1.4(58.6)	-2.2(59.6)	-2.4(60.0)	-2.8(59.0)

¹⁾ 括号中的数值表示叶含水量 The numbers in brackets indicate the water content of leaf.

降低明显。在严重土壤干旱条件下,2树种叶水势变化最为显著,至胁迫后期时,刺槐和油松的叶水势分别降至 -2.7 mPa 和 -2.8 mPa ;水势下降幅度较大的是油松,刺槐下降幅度较小。2树种的叶含水量随干旱程度的加剧及胁迫时间延长,均呈现降低趋势,至胁迫129 d时,中度干旱下刺槐和油松的叶含水量分别降至59.3%和61.0%;在严重干旱下,刺槐和油松的叶含水量分别降至56.8%和59.0%,与适宜土壤水分条件下比较,中度干旱和严重干旱下2树种的叶含水量分别下降了2.8%、4.1%和6.9%、7.3%。

上述结果说明,土壤含水量能够明显影响树种的含水量,干旱胁迫下刺槐叶含水量下降幅度最大,油松下降较少。叶含水量的变化趋势与叶水势变化基本一致,但在相同水分条件下,油松的叶含水量均比刺槐高,表明油松的叶保水能力高于刺槐。

3 讨 论

在黄土高原的干旱、半干旱地区,春季干旱多风严重影响人工造林成活率,加之严重的水土流失,树木在生长过程中经常面临着严重的土壤干旱,特别是在黄土高原的森林-草原带,属于丘陵沟壑区,造林所面对的不同立地条件土壤水分差异很大,研究不同树种生长的特点及水分利用效率具有重要意义。结合对其他树种(杨树 *Populus simonii* Carr. 和沙棘 *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi)的研究表明:土壤干旱使各树种成活率显著降低^[8],在严重干旱下,除了油松的成活率达到50%以上,其余树种成活率降至40%左右。由此证明,在黄土高原造林时如果要达到50%以上的成活率,必须保证土壤含水量高于55%田间持水量。由于该地区经常面临冬春连续干旱,0~40 cm土壤的含水量非常低而不适宜造林,因此,需要有明确的指标来判断能否造林,而本文的这一结论对指导黄土高原冬春干旱季节的造林具有重要意义。

干旱胁迫能使树木光合速率下降,进而影响树木的生长。高玉葆等对不同种群物质生产与水分利用特征的影响研究表明,轻度与中度胁迫对干物质生产的影响相近并与对照无显著差异,只有重度胁迫导致干物质产量的降低^[9]。本研究结果证实,土壤水分含量明显影响各树种的生长及生物量^[8],刺

槐和油松的枝条快速生长主要集中在3~6月,7月以后枝条生长缓慢,干物质积累逐渐减少,尤其是在严重干旱条件下各树种的生长及干物质积累均受到显著抑制,但刺槐受影响程度大于油松。在黄土高原有相当多的人工林土壤含水量处于田间持水量的30%以下,而大部分的降雨又主要集中在7~9月份,在3~6月份正是黄土高原雨季来临前土壤水分最为亏缺的时期,因此土壤中的含水量不能满足高耗水性树种快速生长和干物质快速积累所需的水分条件,这也正是造成黄土高原杨树林、刺槐林生长发育不良,而形成大面积“小老树”的主要原因。

胁迫处理能提高植物水分利用率^[10~12],但也有研究证实干旱胁迫能导致植物水分利用率降低^[13],对于本项目所研究的几个树种而言,随着土壤干旱的加剧,刺槐和杨树的光合速率和单叶WUE随之下降,从高至低依次是适宜水分、中度干旱、严重干旱;但沙棘与杨树、刺槐不同,其单叶WUE表现为中度干旱高于其他2种水分处理^[8],说明对于不同的植物,单叶瞬间所测定的WUE水平在不同的干旱胁迫条件下结果不同。

叶水势是反映植物缺水最敏感的指标之一,叶含水量则可以直接反映植物体内的水分状况。韩蕊莲等人^[14]研究证明随土壤含水量的下降,沙棘叶水势和叶含水量下降明显,并证明沙棘具有低水势耐旱特征。顾振瑜等^[15]证明元宝枫(*Acer truncatum* Bunge)具有低水势的耐旱特征。王孟本等人^[16]对柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)的水分生理生态学研究表明,林地土壤含水量与小枝叶水势和叶含水量关系密切。本研究结果表明,土壤干旱对各树种叶水势及叶含水量有较大的影响。在严重缺水条件下,各树种叶水势和叶含水量变化最为剧烈,在杨树、刺槐、沙棘和油松4个树种中,杨树的水势下降较小而叶含水量下降最多,刺槐、沙棘和油松这3个树种的叶保水能力强于杨树,具有低水势的抗旱能力^[8],而目前在黄土高原广泛栽植的杨树并不具有低水势的耐旱特征。本文所研究的2个树种中,油松的叶含水量在同一水分条件下均比刺槐高,表明油松叶的保水能力高于刺槐,油松相对于刺槐来说具有低水势的耐旱特征。

刺槐在3种土壤水分条件下的根干重、茎叶干重、总生物量、总耗水量与总WUE均明显高于油松。与同时所研究的其他2树种相比,油松和沙棘属于

低耗水树种,刺槐和杨树属于高耗水树种^[8]。各树种的根冠比随土壤干旱的加剧而上升,在中度干旱和严重干旱下刺槐的根冠比显著高于油松。结合在陕北安塞缺水地区对各树种根系的观察测量,刺槐林的根系最长可深达 8~10 m,从耗水量和根的生长情况来看,这也许是黄土高原刺槐林“土壤干层”形成的主要原因。在 3 种土壤水分条件下刺槐和油松的总生物量、总耗水量从高至低依次表现为适宜水分、中度干旱、严重干旱,但总 WUE 在中度干旱下最高。严重干旱下各树种生长受到严重抑制,干物质累积少,因此水分利用效率最低(对杨树和沙棘的测定也得出相同结果)。实验结果显示通过控制土壤含水量在田间持水量的 45%~55% (中度干旱范围),即可将有限水资源做最优化配置。

鉴于上述结果,在西北干旱、半干旱地区造林时,要特别注意当地土壤水分是否能达到不同树种生长对水分的要求,尽可能使有限的水资源得到充分合理的利用,提高水分利用率。尤其是在黄土高原地区,仅有的降水主要集中在 7-9 月份,3-6 月的水分条件不能满足刺槐和杨树这些高耗水量树种快速生长及干物质积累对水分的需要,所以在黄土高原造林时,对于杨树和刺槐等高耗水量树种应尽可能建立在阴坡、沟道等立地水分条件较好的地带,而沙棘和油松则既可营造在含水量较高地带也可营造在含水量较低的立地条件下。

参考文献:

[1] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与可持续发展[M]. 北京:科学出版社,1998. 37-70.

- [2] 魏天兴,余新晓,朱金兆,等. 黄土区防护林主要造林树种水分供需关系研究[J]. 应用生态学报,2001,12(2):185-189.
- [3] 孙长忠,黄宝龙,刘淑明,等. 黄土高原荒坡与林地土壤水分变化规律研究[J]. 应用生态学报,2000,11(4):523-526.
- [4] 孙长忠,沈国防. 对我国人工林生产力评价与提高问题的几点认识[J]. 世界林业研究,2001,14(1):76-80.
- [5] 侯庆春,韩蕊莲. 黄土高原植被建设中的有关问题[J]. 水土保持通报,2000,20(2):53-56.
- [6] 李洪建,柴宝峰,王孟东. 北京杨水分生理生态特性研究[J]. 生态学报,2000,20(3):417-422.
- [7] 王世绩,闵曾琪,刘雅荣,等. 十种杨树苗木水分关系的研究[J]. 林业科学,1982,18(1):6-14.
- [8] 杨建伟,韩蕊莲,魏宇昆,等. 不同土壤水分对杨树、沙棘水分关系及生长的影响[J]. 西北植物学报,2002,22(3):579-586.
- [9] 高玉葆,刘峰,任安芝,等. 不同类型和强度的干旱胁迫对黑麦草实验种群物质生产与水分利用的影响[J]. 植物生态学报,1999,23(6):510-520.
- [10] 王慧. 环境因子对冬小麦的水分利用率的影响[J]. 生态学报,1996,16(6):584-590.
- [11] 接玉玲,杨洪强,催明刚,等. 土壤含水量与苹果叶片水分利用率的关系[J]. 应用生态学报,2001,12(3):387-390.
- [12] Thomas H. Characteristics of *Dactylis glomerata* L., *Lolium perenne* L. and *L. multiflorum* Lam. plants[J]. Annals of Botany, 1986, 57: 211-223.
- [13] Heitholt J J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen-and water-stressed winter wheat[J]. Agronomy Journal, 1989, 81: 464-469.
- [14] 韩蕊莲,梁宗锁,邹厚远. 在土壤不同干旱条件下沙棘耗水特性的初步研究[J]. 沙棘,1991(4):33-35,38.
- [15] 顾振瑜,胡景江,文建雷. 元宝枫对干旱适应性的研究[J]. 西北林学院学报,1999,14(2):1-6.
- [16] 王孟本,李洪建,柴宝峰. 柠条的水分生理生态学特性[J]. 植物生态学报,1996,20(6):494-501.