

限量灌水造林中穴底层施保水剂的效应

王青宁^{1,2}, 王晗生^{1,3*}, 吴高潮², 衣学慧², 鲁晓琳⁴

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 2. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨陵 712100;
3. 中国科学院、水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 4. 咸阳市秦都区林业站, 陕西 咸阳 712000)

摘 要:采用植树穴底层施保水剂的方法,通过测定幼苗的成活、生长、根系垂直分布深度、叶片水分以及土壤水分,对限量灌水造林进行了研究。结果表明使用保水剂条件下幼苗根深变浅,但由于土壤供水条件被改善,对幼苗生长并没有产生消极影响。使用保水剂使叶片含水量提高、幼苗生长量增大。使用保水剂以及地膜覆盖与保水剂结合应用对限量灌水均具有增进作用,其中结合应用的作用更大。保水剂作用的发挥与水分条件相关。使用保水剂使幼苗成活过程放缓,但通过增大灌水量,可使这种不利影响减小。在灌水量 2.5 kg/株下,幼苗高生长量随保水剂用量的增加而增大。而在灌水量 0.5、1.5 kg/株下,保水剂用量至 24 g/株,保水剂不再有继续促进幼苗生长的作用。

关键词:保水剂;造林;灌水;覆盖;成活;生长

中图分类号:S725.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2009)01-0082-05

Effects of Water-Holding Agent on Tree Planting under Limited Irrigation

WANG Qing-ning^{1,2}, WANG Han-sheng^{1,3}, WU Gao-chao², YI Xue-hui², LU Xiao-lin⁴

(1. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Yangling Vocational College of Technology, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Qindu District Forestry Station, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: The method of applying water-holding agent in the pits for planting trees was adopted to study the afforestation under limited irrigation by investigating the seedling survival, growth, root depth, leaf water and soil water contents. The results showed that the root depth with applying the water-holding agent became shallow, but that didn't result in the negative effect on the seedling growth because of the improvement of soil water supplying. Leaf water content increased, and the growth seedlings was promoted. Applying the water-holding agent only and in association with the mulch of plastic film all produced the promotion to the limited irrigation, of which the association acted better. The effect of applying water-holding agent was related with water conditions. Applying the water-holding agent made the seedling survival slow down. However that unfavorable effect on the survival would be decreased through raising the irrigating amount. At 2.5 kg of irrigating water per seedling, the seedling grew increased with the increase of applying water-holding agent. At 0.5 kg or 1.5 kg of irrigating water per seedling, the water-holding agent didn't promote seedling growth any longer as the using amount of the water-holding agent increased to 24 g per seedling.

Key words: water-holding agent; forestation; irrigation; mulching; survival; growth

提高土壤底墒,并对幼苗的根际水分环境进行合理的调控,防止表土层过快变干,充分利用有限的水分,是克服春旱影响而有效进行抗旱造林的重要

环节。保水剂或吸水剂,即人工合成的农用高吸水性树脂(super absorbent polymers)^[1-2],其作用主要是通过增强土壤的持水能力,贮蓄植物暂时不能

(2) 收稿日期:2008-03-27 修回日期:2008-06-13
基金项目: 国家林业局黄土高原林木培育实验室基金及西北农林科技大学科研专项(04ZM062)
作者简介:王青宁,女,副教授,主要从事森林培育及数理统计研究与教学工作。
* 通讯作者:王晗生

利用的多余水分,尤其灌溉水或雨水,减少土壤水分的无效蒸发与下渗,相对集中地在根际持续供应植物水分。作为有利的水分调剂者和节水因素,保水剂多年来在造林中的应用得到了人们较多的关注^[3-7]。本研究借鉴前苏联在流沙地区栽植松树时,在植树穴底部施放泥炭或粘土间层的成功经验^[8],在限量灌水造林^[9]中使用保水剂,并结合地膜覆盖措施,通过幼苗的建成(成活及初期生长)反应,探讨保水剂的作用效果,以期有利于总结限量灌水的方法,对完善传统造林技术有所裨益。

1 材料与方法

1.1 试验条件与供试材料

试验地位于陕西省长武县的王东沟流域,坡面为阳坡,土壤为黄绵土。当地属黄土区南部的暖温带落叶阔叶林地带,高塬沟壑地貌,干旱主要表现为春旱、伏旱,尤其春旱。当地自然条件及试验地的生境状况详见参考文献 9。试验所用保水剂为颗粒型,(河北省唐山博亚科技(集团)有限公司生产的“白金子”)。覆盖地膜为农用塑料薄膜。供试树苗为当地培育的 1 年生刺槐(*Robinia pseudoacacia*)实生苗。

1.2 试验设计与调查测定

在早春时节(3 月),在事先整好的鱼鳞坑中以 40 cm×40 cm×40 cm 的规格开穴植苗。首先在穴底均匀撒施一定量的保水剂,然后以湿土培根,经踏实再灌水,最后进行覆盖。覆盖地膜大小与穴规格相同。每小区植苗 30 株,截干处理,均留干长 5 cm。试验内容及有关处理如下:

①保水剂对限量灌水的作用,保水剂和灌水都设置 4 个处理,它们的用量分别是 0、8、16、24 g/株和 0、0.5、1.5、2.5 kg/株。二因素组合共 16 块小区,灌水下渗后均覆盖薄层松散干土壤。

②保水剂和地膜对限量灌水的综合作用,保水剂处理同①,在中等灌水条件(1.5 kg/株)下均覆盖地膜,计有小区 4 块。

研究指标有幼苗成活率、土壤含水量、根系分布深度、叶片含水量以及树高、基径等,方法详见参考文献 9。方差分析通过 Excel 处理。

2 结果与分析

2.1 保水剂对幼苗成活及生长的影响

幼苗定植后的 3、4 月间,无有效降水^[9],幼苗成活差异主要由试验处理的不同所致。表 1 中所列的 4 月份数据为经过 1 个月时间的第 1 次调查结果,

经平方根及反正弦变换,由方差分析表明,灌水及使用保水剂均对幼苗成活产生极显著($\alpha=0.01$)的影响($F_a=6.99$,灌水 $F=15.35$,保水剂 $F=8.05$)。由 4 月份数据(表 1)可见,与未使用保水剂的情况相同^[9],同一保水剂用量下的幼苗成活率,灌水处理还均高于未灌水的处理。4 个保水剂处理下,灌水处理 0、0.5、1.5、2.5 kg/株的平均成活率分别为 73.3%、87.2%、85.0%、90.0%。但是,保水剂的使用与灌水的作用不同:在未灌水情况下的幼苗成活率,使用保水剂的处理低于未使用保水剂的处理,即使在灌水情况下亦如此。4 个灌水处理下,保水剂处理 0、8、16、24 g/株的平均成活率分别为 90.8%、80.5%、81.7%、82.5%。在灌水量 1.5 kg/株并采用地膜覆盖下,保水剂处理 0、8、16、24 g/株 4 月份的幼苗成活率分别为 90.0%、76.7%、86.7%、83.3%,使用保水剂的处理仍低于未使用保水剂的对照。表明使用保水剂有滞缓幼苗成活的作用。尽管定植时鱼鳞坑中的土壤含水量并不低,深度 40 cm 为 13.84%,深度 100 cm 为 13.37%,但保水剂比较干燥,毕竟又是在穴底集中使用,本身的吸水作用^[1-2],可能影响幼苗新生根的发生与发育进程而阻缓其成活。由 4 月份数据(表 1)计算,4 个保水剂处理下,与灌水处理 0、0.5、1.5、2.5 kg/株对应的幼苗成活率的极差分别为 16.6%、14.7%、10.0%、10.0%。可见,幼苗成活率的变动幅度在随灌水量的增大而缩小。这也就是说增大灌水,可减小保水剂对幼苗成活的不利影响。4 个灌水处理下,与保水剂处理 0、8、16、24 g/株对应的幼苗成活率的极差分别为 13.4%、16.7%、20.0%、20.0%。此表明随保水剂用量的增加,灌水对幼苗成活的影响亦增大。增加保水剂用量相应需要增大灌水量。

表 1 4、10 月份不同试验处理下的幼苗成活率
Table 1 Seedling survival rate in April and October under different experimental treatments %

灌水量/ (kg·株 ⁻¹)	保水剂用量/(g·株 ⁻¹)			
	0	8	16	24
0	83.3/100	73.3/96.4	66.7/93.3	70.0/90.0
0.5	93.3/93.3	78.6/90.0	86.7/93.3	90.0/90.0
1.5	90.0/100	80.0/100	86.7/100	83.3/100
2.5	96.7/100	90.0/96.7	86.7/96.7	86.7/93.3

注:表中符号“/”左边为 4 月份数据,右边为 10 月份数据

根据每月的调查,4 月以后的小区幼苗成活率还在上升,多数 6~7 月开始稳定。即使使用保水剂的处理,稳定成活率或最终成活率(生长季末 10 月初)也达到了较高的水平,均在 90%以上,相当于或低于未使用保水剂的处理(表 1)。成活率的变动幅度比 4 月份小,与灌水处理 0、0.5、1.5、2.5 kg/株相

应的极差分别为 10.0%、3.3%、0.0%、6.7%。灌水(1.5 kg/株)的同时采用地膜覆盖下,保水剂处理 0、8、16、24 g/株的幼苗稳定成活率分别为 96.7%、93.3%、93.3%、96.7%,情况与此类似。将 10 月份数据(表 1)转换后的方差分析表明,灌水对幼苗稳定成活率仍有显著($\alpha=0.05$)影响($F_a=3.86, F=12.06$),而使用保水剂无显著影响($F_a=3.86, F=3.77$)。显然,这与良好的土壤底墒以及进入 5 月后开始出现有效降水有关^[9]。较大程度的水分供应使得保水剂不足以影响幼苗成活。

表 2 不同试验处理下的幼苗生长量

Table 2 Seedling height and diameter at stem base under different experimental treatments						cm
年份	灌水量/ (kg·株 ⁻¹)	保水剂用量/(g·株 ⁻¹)				
		0	8	16	24	
2005	0	55.3/0.69	56.3/0.67	57.5/0.70	58.0/0.66	
	0.5	56.8/0.65	57.9/0.68	66.4/0.74	58.5/0.70	
	1.5	63.4/0.68	66.7/0.75	73.1/0.77	64.9/0.79	
	2.5	72.2/0.83	74.3/0.82	80.7/0.88	85.9/0.97	
2006	0	60.0/1.05	61.0/0.79	82.0/0.94	82.5/0.92	
	0.5	69.2/0.94	76.0/0.92	85.0/1.03	81.0/1.04	
	1.5	90.7/0.98	92.7/1.12	94.5/1.21	93.0/1.15	
	2.5	95.2/1.00	104.8/1.22	108.3/1.27	109.5/1.35	

注:表中符号“/”左边为苗高,右边为苗基径

表 2 为植苗当年(2005)和次年(2006)生长季末的苗高、基径调查结果。通过方差分析,可知灌水同样对幼苗生长有显著($\alpha=0.05$)的影响($F_a=3.86$, 当年:苗高 $F=50.37$,基径 $F=27.81$;次年:苗高 $F=34.26$,基径 $F=6.56$),但使用保水剂对幼苗高生长有显著影响($F_a=3.86$, 当年 $F=5.86$, 次年 $F=6.61$),而对幼苗径生长无显著影响($F_a=3.86$, 当年 $F=3.46$, 次年 $F=1.66$)。幼苗生长随灌水量的增加有着较为明显的变化规律,由表 2 仍可见灌水的正面影响。与幼苗成活情况不同,同一灌水量处理下,保水剂处理的幼苗高均大于未使用保水剂的对照。可见,使用保水剂对限量灌水具有增进作用。

表 3 不同试验处理下生长季每月的土壤含水量

Table 3 Soil water content of every month in growing season under different experimental treatments															%
灌水量/ kg/株	土层/cm	4 月 21 日		5 月 22 日		6 月 23 日		7 月 25 日		8 月 26 日		10 月 8 日		10 月 27 日	
		未使	使用	未使	使用	未使	使用	未使	使用	未使	使用	未使	使用	未使	使用
0	40	10.13	12.62	12.59	14.18	6.84	6.94	10.88	12.79	12.94	12.96	21.37	21.70	19.38	20.07
	100	9.64	12.63	10.76	13.42	8.10	9.52	9.56	11.89	10.67	11.77	19.12	19.28	17.90	18.23
0.5	40	12.78	13.41	13.18	13.44	6.81	6.62	13.31	13.63	11.49	12.93	20.70	20.99	19.39	19.53
	100	11.65	13.31	10.58	12.59	9.39	9.50	11.35	12.28	9.94	11.25	18.65	19.12	18.21	18.43
1.5	40	13.57	13.91	15.62	14.93	8.18	8.38	15.30	11.20	13.47	12.35	21.49	21.95	19.04	19.19
	100	13.13	13.33	13.97	14.46	9.56	10.22	12.91	10.85	11.08	10.25	18.44	19.03	17.71	17.81
2.5	40	12.95	14.12	13.04	14.43	5.77	6.61	12.44	9.58	13.05	12.16	21.05	21.90	18.89	20.35
	100	13.19	13.98	12.09	13.54	8.08	8.76	12.50	9.18	11.77	10.64	19.65	20.15	17.88	18.63

注:表中“使用”列数据为 3 个使用保水剂处理的平均值,“未使”即未使用保水剂。图 1 示例与此相同。

至 5 月份,尤其在一年当中土壤水分含量较低 的 6 月份,仍可见使用保水剂有助于土壤水分的保

在灌水量 2.5 kg/株时,保水剂处理 0、8、16、24 g/株的幼苗高,随用量的增大而增高。而在灌水量为 0.5、1.5 kg/株时,保水剂处理低于 16 g/株,随其用量增大,幼苗亦都增高,但用量至 24 g/株时,幼苗却不再增高而开始下降。在不灌水条件下,保水剂用量较大时,幼苗高几乎不变。这类似于前述幼苗成活所受保水剂的负面影响。

地膜覆盖对限量灌水具有增进作用^[9],而地膜覆盖下再使用保水剂,仍对限量灌水的作用有进一步的提高。在灌水量 1.5 kg/株并采用地膜覆盖下,保水剂处理 0、8、16、24 g/株当年的幼苗高分别为 65.8、69.4、78.0 和 69.4 cm,基径分别为 0.72、0.74、0.84 和 0.78 cm;次年的幼苗高分别为 103.6、104.0、105.2 和 104.3 cm,基径分别为 1.08、1.27、1.28 和 1.19 cm。保水剂用量至 24 g/株时,幼苗生长量亦开始下降。由此也说明保水剂发挥作用需要良好的水分条件。

2.2 保水剂对土壤水分的影响

由表 3 可见,幼苗定植后经过 1 个月时间,对于每个灌水处理,使用保水剂的土壤含水量(4 月 21 日)均比未使用的对照高。如 4 个保水剂处理 0、8、16、24 g/株的土壤含水量,在未灌水条件下,深度 40 cm 分别为 10.13%、12.64%、12.94%、12.27%;深度 100 cm 分别为 9.64%、12.79%、12.61%、12.48%。在灌水 0.5 kg/株时,深度 40 cm 分别为 12.78%、12.7%、13.76%、13.78%;深度 100 cm 分别为 11.65%、12.67%、13.64%、13.62%。在 4 个灌水处理下,保水剂处理 0、8、16、24 g/株的平均土壤含水量(4 月 21 日),深度 40 cm 分别为 12.36%、13.17%、14.05%、13.32%,深度 100 cm 分别为 11.90%、13.09%、13.65%、13.20%。从总的平均情况看,土壤含水量随保水剂使用量的增大有升高的趋势。

持(表 3)。此进一步表明保水剂在地表蒸发强烈的旱季有明显的保墒作用,使用保水剂下的较好土壤水分条件有利于幼苗的成活与生长。在干旱缓苗期比较典型且幼苗大量成活的 4 月份,使用保水剂下的土壤水分条件并不限制幼苗的成活。使用保水剂使幼苗成活过程放缓,可能是由于保水剂在初期对幼苗根系的发育产生了一定的不利影响所致。

进入 7 月,旱季结束,转而雨季,客观上有利于土壤贮存雨水,土壤含水量开始上升。在林木生长旺盛时节 的 7、8 月份,尽管土壤已进入以蓄墒为主要特征的时期,但在较高的灌水量处理(1.5、2.5 kg/株)下使用保水剂,由于幼苗有较大的生长量(表 2)而消耗较多的水分,使用处理的土壤水分含量比未使用的对照低(表 3)。如 7 月份,4 个保水剂

处理 0、8、16、24 g/株的土壤含水量,在灌水 1.5 kg/株时,深度 40 cm 分别为 15.3%、12.45%、9.7%、11.45%,深度 100 cm 分别为 12.91%、11.56%、9.87%、11.13%;在灌水 2.5 kg/株时,深度 40 cm 分别为 12.44%、9.18%、9.17%、10.38%,深度 100 cm 分别为 12.5%、9.2%、8.88%、9.47%。相反,在未灌水和低灌水处理 0.5 kg/株下,由于幼苗生长量较小(表 2)而耗水量相对较少,使用处理可比未使用的对照蓄存较多的水分(表 3)。在 10 月份,气温下降,林木停止生长,4 个灌水处理下的土壤含水量,使用保水剂的处理均比未使用的对照高。此种蓄水特征是造林次年(2006)幼苗继续表现出生长差异(表 2)的基础。

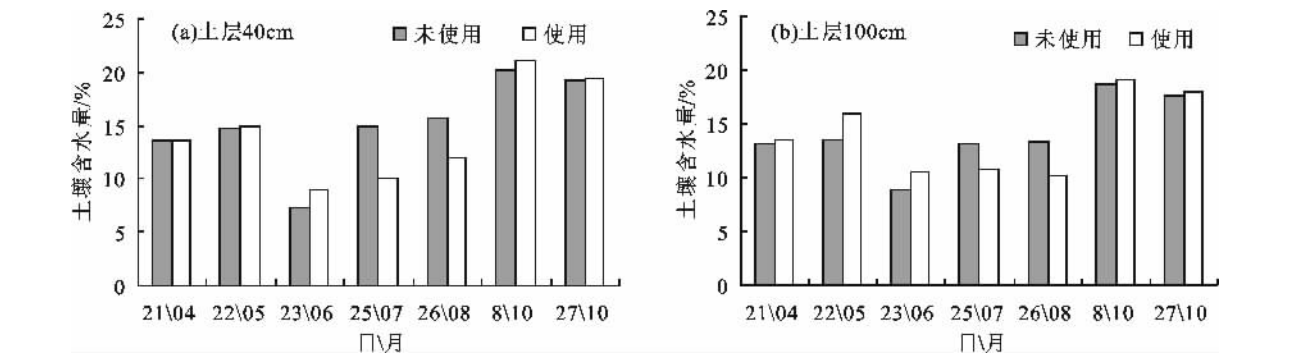


图 1 使用保水剂的土壤水分效应(地膜覆盖、灌水量 1.5 kg/株)

Fig. 1 Effect of applying water-holding agent on soil moisture (mulch of plastic film, 1.5kg of irrigating water per seedling)

由图 1 可见,地膜覆盖下使用保水剂所表现的蓄水保墒性能同上。如在水分状况较差的 6 月份,保水剂处理 0、8、16、24 g/株的土壤含水量,深度 40 cm 分别为 7.24%、9.08%、7.87%、9.66%,深度 100 cm 分别为 8.89%、10.23%、9.83%、11.58%,使用保水剂的处理均高于未使用的对照。毕竟地膜覆盖不是完全覆盖,使用保水剂有进一步减少土壤无效蒸发的功效。

2.3 保水剂对幼苗根系深度及叶片含水量的影响

用土钻(直径 9.4 cm)法在造林次年调查幼苗的根系垂直分布深度,可知不使用保水剂的对照处理,在 4 个灌水量 0、0.5、1.5、2.5 kg/株条件下的幼苗根深分别为 80、80、90、120 cm,而使用保水剂的处理,其幼苗根深均比同一灌水量条件下未使用保水剂的对照低。如保水剂处理 8、16、24 g/株的幼苗根深,在未灌水条件下分别为 70、60、70 cm,在灌水量 0.5 kg/株时分别为 40、60、60 cm。在 4 个灌水处理下,保水剂处理 0、8、16、24 g/株的幼苗平均根深分别为 90、70、60、80 cm。灌水(1.5 kg/株)的同时采用地膜覆盖下,保水剂处理 0、8、16、24 g/株的幼苗根深分别为 90、70、70、70 cm,变化情况与此相

同。这可能与保水剂浅层穴底施用,降水易于聚集土壤剖面上部有关。此与沙地植树在穴底层施泥炭的效果类似^[8]。一般地,在缺水情况下,幼苗根系分布深,有利于其抗旱生存。但在使用保水剂改善水分条件的情况下,由前所述,幼苗根系分布相对浅,并没有影响其生长。

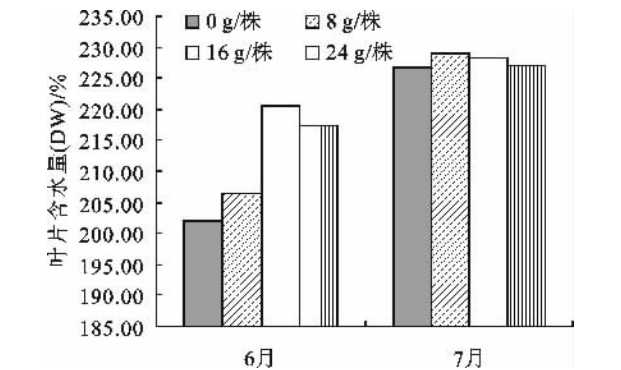


图 2 叶片含水量对使用保水剂的响应

Fig. 2 Response of leaf water content to applying water-holding agent

由图 2 可见,幼苗定植后至旱季末(6 月 25 日),在 4 个灌水处理下,使用保水剂的叶片平均含水量(占干重%)均比不使用的对照高,且随使用量

的增大有升高的趋势。如保水剂处理 0、8、16、24 g/株的叶片含水量,在未灌水条件下分别为 181.9%、203.96%、215.9%、189.59%,在灌水量 0.5 kg/株时分别为 191.48%、211.36%、218.17%、222.68%。雨季时期(7 月 28 日)的叶片含水量比旱季末高(图 2),不同处理仍有如同旱季末的变化规律,但在 4 个保水剂处理之间的变幅缩小。叶片平均含水量的极差,在旱季末为 18.53%,雨季时期为 2.15%。雨季时期叶片含水量的较小变动幅度(图 2),可能是由于此时期供水较充分而在一定程度上掩盖了保水剂的功能。事实上,保水剂的良好作用也只有在较为干旱的条件下展示出来。

灌水(1.5 kg/株)的同时采用地膜覆盖下,保水剂处理 0、8、16、24 g/株的叶片含水量,在旱季末(6 月 25 日)分别为 212.12%、222.22%、215.27%、221.75%,在雨季时期(7 月 28 日)分别为 218.53%、227.10%、220.23%、225.00%,使用保水剂的处理亦均比不使用的对照高。叶片含水量的这种差异与前述幼苗生长的表现一致。可能由于地膜覆盖对保障水分供应有利,旱季末和雨季时期叶片含水量的变动幅度相似。

3 小结与讨论

旱区造林的一个显著特征就是重视应用有关的物质材料和方法,以期通过高效利用有限的水分促进幼苗的建成,其中保水剂就是这方面的一个代表。目前,保水剂的使用方法有许多种,如蘸根、拌土等,本研究从操作便利的角度出发,借鉴前苏联沙地造林经验,采用了植树穴底层施的方法。结果表明穴底层施保水剂是可行的,使用中仍然需要注意水分条件^[2]。

使用保水剂对幼苗的成活过程有阻缓的作用,但通过增大限量灌水,可减小这种不利影响。幼苗成活后,保水剂可促进其生长,尤其高生长。幼苗高生长量随保水剂用量的增加有着较为明显的变化规律。但在低、中量灌水(0.5、1.5 kg/株)下,保水剂用量至较高水平(24 g/株)时,保水剂不再有继续促进生长的作用。显示出保水剂作用的发挥与水分条件相关。对于幼苗建成,增加保水剂用量的同时也需要增大限量灌水。

蓄水保墒是旱区造林保障幼苗建成的一项重要土壤管理内容。无论旱季保墒,还是雨季蓄水,使用保水剂都产生了一定的效果。尽管保水剂的使用有降低幼苗根系的垂直分布深度,但由于土壤供水条

件的改善,幼苗生长并没有因此受到负面影响。使用保水剂的叶片含水量比不使用的对照高,表明使用保水剂促进幼苗生长具有一定的生理基础。

限量灌水本身可促进幼苗生长,而使用保水剂如同地膜覆盖对限量灌水的作用具有增进性。地膜覆盖下再使用保水剂比单纯地膜覆盖或单纯使用保水剂具有综合的叠加效应,表明同时使用保水剂和地膜对限量灌水的作用还可有进一步的提高。

干保水剂的吸水过程可降低土壤对幼苗的供水能力,对幼苗成活构成一定的威胁。为避免这种不利影响,保水剂有必要浸水后再施用,或者在雨季整地时就施用,使其提前吸足水分。有试验表明^{[5]1)},在不浇水的情况下,即使造林使用保水剂,幼苗成活效果不明显(保水剂蘸根),甚至有反作用(保水剂直施土壤拌土);而在浇水的情况下,可显著提高造林成活率,其中使用保水剂效果更为突出。可以说水分条件优越时,保水剂是不需要的。由本研究可见保水剂的使用和水分条件之间的耦合关系,需要进一步研究,以寻求二者的适宜结合点。保水剂在一定条件下的施用量和使用方法值得关注。不同类型树种对使用保水剂有何差异性反应,包括穴底层施在内的诸多使用方法的优缺点、应用条件也都需要对比评价分析,以达到有效使用保水剂的目的。

致谢:本研究得到中国科学院长武农业生态试验站以及陕西省林业技术推广总站的大力支持,特致谢忱。

参考文献:

[1] 李景生,黄韵珠.土壤保水剂的吸水保水性研究动态[J].中国沙漠,1996,16(1):86-91.

[2] 王晗生,王青宁.保水剂农用抗旱增效研究现状[J].干旱地区农业研究,2001,19(4):38-45.

[3] 王九龄,孙健.华北石质低山阳坡应用吸水剂抗旱造林试验初报[J].林业科技通讯,1984,(11):16-20.

[4] 王儒贵,吴国军.干旱地区应用高吸水性树脂育苗造林试验[J].林业科技通讯,1987(2):10-12.

[5] 史兰波,李云荫.保水剂在节水农业中的应用[J].生态农业研究,1993,1(2):89-93.

[6] 王斌瑞,贺康宁,史长青.保水剂在造林绿化中的应用[J].中国水土保持,2000(4):22-24.

[7] 姚洪林,和子杰,齐凯,等.提高沙地含水量的研究[J].干旱区资源与环境,1992,6(2):73-79.

[8] 李鸣冈,刘鹤心,刘中民,等.包兰铁路中卫段腾格里沙漠地区铁路沿线固沙造林的研究[M]//中国科学院林业土壤研究所.林业集刊.第三号.北京:科学出版社,1960:1-112.

[9] 衣学慧,王晗生,王晓群.旱区限量灌水造林对幼苗建成的影响[J].西北林学院学报,2008,23(1):87-91.