

干旱胁迫下不同保水剂处理的水分动态研究

林文杰, 马焕成, 周 蛟  
(西南林学院生态工程研究所, 昆明 650224)

摘 要: 在有限水分条件下, 对盆栽石楠苗木的生长率和存活期、叶片和土壤水分水势动态变化 进行研究。结果表 明: (1) 保水剂能提高土壤田间持水量 10. 8% ~ 93. 2%; (2) 在停止供水后, 有保水剂处理的土壤含水量、水势下降 缓慢, 保水剂用量越大, 效果越好; (3) 苗木叶片相对含水量、叶片水势下降延迟, 苗木的生长受到抑制的时间延后, 保水剂用量越大, 效果越好; (4) 保水剂处理延长苗木的生存期 3. 5 ~ 38. 5 d。  
关键词: 保水剂; 石楠; 水分水势; 干旱; 动态变化  
中图分类号: S 152. 7; S 156. 2 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 02-0121-04

Study on Water Dynamics of Different Hydrogel  
Treatments Under Drought Stress

LIN Wen-jie, MA Huan-cheng, ZHOU Jiao  
(Institute of Ecological Program, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China)

**Abstract:** Under limited water condition, the study was carried out on survival time and growth efficiency of *Photinia serrulata* seedlings and dynamics of water content and water potential of soil and leaves in the pot experiment. The following results were obtained: (1) The hydrogel increased the full field water content by 10. 8% ~ 93. 2%; (2) Water content and potential of soil with hydrogel reduced slowly and the effect increased with the increase of hydrogel content under no water supply condi- tion; (3) Relative water content and water potential of leaves decreased slowly and the seedling growth was retarded later with the increase of hydrogel; (4) Seedlings survival time was prolonged by 3. 5 ~ 38. 5 d by the application of hydrogel.  
**Key words:** hydrogel; *Photinia serrulata*; water content and potential; drought; dynamics

保水剂是一种高吸水性树脂, 其最大的特点是它能吸持大量水分, 保水剂对提高土壤水分含量的研究是当前研究的热点。有许多的研究集中在保水剂对土壤水势与水分特征曲线的影响上<sup>[1~3]</sup>, 同时也有大量的有关保水剂对植物的生长、成活率、作物的产量影响的研究<sup>[4~8]</sup>, 但很少有把土壤的水分状况和苗木的水分状况相结合进行研究。本研究把土壤的水分水势动态变化、苗木水分水势动态变化、苗木生长状况变化及生存期结合起来, 根据水分动力学原理, 从能量的角度阐述了保水剂的保水机理, 为保水剂的应用提供依据。本试验供试树种为石楠(*Photinia serrulata* Lindl), 产于长江以南各省区, 常绿小乔木, 高 10 m。该树种耐荫, 适生于温暖湿润气候, 材质坚韧, 色泽优美, 树形整齐, 为优美的园林树种。在造林中, 使用保水剂能提高造林成活率和苗木的生长, 为该树种在半干旱地区及季节性干旱区推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验条件与材料

本试验是在塑料大棚里进行的, 不受外界降水的影响, 棚内日平均气温为 21℃, 棚内空气相对湿度为 40%。时间为

2003 年 2~5 月, 这是昆明最干旱的季节。供试苗木为一年生石楠苗。将长势均匀的供试苗木于 2003 年 2 月 18 日栽植在于透水的塑料盆中。每盆装有 5 kg 风干红壤, 1 kg 腐殖土, 50 g NPK 复合肥(Triabon)。实验所用的保水剂由德国 Stockhausen 公司提供, 其产品型号为 STOCKOSORB400K。

1.2 试验设计

设置 0 g/pot、20 g/pot、50 g/pot、80 g/pot、100 g/pot、150 g/pot 六个保水剂处理, 将它们分别称为处理 1、处理 2、处理 3、处理 4、处理 5、处理 6 栽植后, 每 2 天浇水一次, 使苗木恢复正常生长, 于 4 月 12 日对各处理充分浇水, 各处理吸水达饱和后, 停止浇水, 使苗木遭受干旱胁迫, 直至所有苗木枯死。同时, 设置一个不加保水剂的处理 7, 该处理在整个实验过程中保持正常供水, 作为对照处理。以上各处理均栽植 5 株。

1.3 指标测定

苗木生存期测定: 各苗木在有限水分条件下生存期(苗木死亡以顶芽枯死为准)。

苗木生长指标测定: 在实验的过程中, 每 7 天, 分别对苗木高、地径、新增叶片数进行测定, 以分析各不同处理的苗木树

① 收稿日期: 2003-12-25  
基金项目: 昆明市科技局计划项目、德国 DEGUSS 公司、国家科委推广项目  
作者简介: 林文杰(1972-), 男, 湖南省洞口县人, 西南林学院硕士生, 从事植物生理生态学研究。

高、地径相对增长率,以及新增叶面指数。

土壤水分水势的测定:在实验开始时,用烘干法测定田间持水量,然后每 7 天采用烘干法测定土壤的含水量<sup>[9]</sup>,同时采用 WP<sub>4</sub> 露点水势仪测定相应土壤的水势。

叶片水分水势的测定:从实验开始时,采用称重法定期在测定叶片相对含水量和饱和水分亏缺,同时用 WP<sub>4</sub> 露点水势仪测定相应各处理的叶片水势,一直测定到各处理苗木枯死为止。

叶相对含水量=
$$\frac{\text{自然鲜重}-\text{烘干重}}{\text{吸水饱和鲜重}-\text{烘干重}}\times 100\%$$

水分饱和和亏缺=1—叶相对含水量

土壤含水量、土壤水势、叶片含水量和叶水势均在清晨测定。数据采用 SPSS 的方差分析程序(ANOVA)进行分析,用 LSD 检验进行显著性分析( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分动态变化表

实验开始时,不同保水剂处理都得到充分浇水,保水剂和土壤吸水达最大持水量,各不同保水剂处理的田间持水量随保水剂用量的增大而增大。各处理土壤含水量变化随着蒸散速率均呈下降趋势,前 14 天各不同保水剂处理的土壤含水量下降较快,随着时间的进行,保水剂用量少的处理土壤含水量下降速率迅速减慢,而保水剂用量多的处理土壤含水量下降速率变化不大。在整个实验过程中,各处理的土壤含水量始终随保水剂用量的增加而增加。

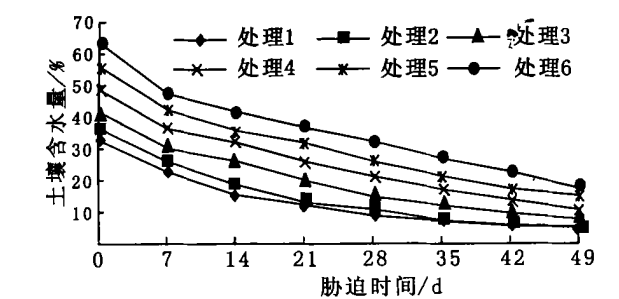


图 1 不同保水剂处理的土壤含水量变化

### 2.2 干旱胁迫下苗木致死期

结果(表 1)表明:随着各处理保水剂用量的增加苗木的生存期延长,除处理 1 和处理 2 之间无显著性差异外,其它各处理之间的生存期差异达显著水平。各不同保水剂处理充分浇水后,停止水分供应,随着土壤水分的减少,苗木逐渐受到干旱胁迫。因不同保水剂处理的土壤含水量及其变化的趋势不同,各不同处理的苗木受到干旱胁迫的时间和程度不同,苗木生存期随着保水剂用量增多而延长。

表 1 不同处理致死期							d
处理	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6	
生存期	24a	27.5a	34.8b	41.4c	52.75d	62.5e	

不同字母间为差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.3 苗木生长指标

通过定期地测定苗木的苗高、地径和新增叶片数,计算出各不同的水分胁迫期的苗木的苗高、地径相对增长率和新增叶片数,通过方差分析,与正常浇水(对照)的苗木进行显著性比较。结果(表 2)表明石楠在停止浇水的第一个星期,不同保水剂处理的各生长指标与对照间无显著性差异。随着

蒸散作用进行,土壤水分不断减少,处理 1、2、3、4、5、6 依次开始出现水分胁迫。与正常浇水的处理 7 相比,保水剂用量越大,苗木的各生长指标因干旱胁迫受到抑制的时间延后。这与各不同保水剂处理的土壤含水量下降的规律一致。

表 2 苗木相对增长率表							
生长指标	处理	胁迫时间					
		7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d
苗高 (cm/100 cm/周)	处理 1	17.2	5.86*				
	处理 2	16.8	6.85*				
	处理 3	16.1	9.83	3.22*			
	处理 4	16.6	11.6	6.14	1.83*		
	处理 5	14.4	10.8	7.03	3.97*		
	处理 6	13.8	10.5	6.23	5.16*		
	处理 7	16.3	15.8	9.81	14.04		
地径 (cm/100 cm/周)	处理 1	11.31	2.35*				
	处理 2	13.20	4.14				
	处理 3	10.67	5.15	2.20*			
	处理 4	11.86	5.30	3.85	0.58*		
	处理 5	10.40	8.59	5.71	3.54*		
	处理 6	9.88	8.82	5.87	4.45		
	处理 7	11.11	8.78	7.22	7.32		
新增叶 片数(片 /株/周)	处理 1	12.75	4.5*				
	处理 2	16.25	6.5*				
	处理 3	12	15.2	6.4*			
	处理 4	12.8	12.8	10.6	5*		
	处理 5	14	16.75	14.5	10.75	4*	1.5*
	处理 6	14	15	15.5	14	13.25	6.5*
	处理 7	13.75	14.75	16.25	16.5	15	15.5

\* 表示与浇水之间差异显著( $P<0.05$ )。

2.4 保水剂对土壤水分有效性的影响

图 2 表明,充分浇水时,各种保水剂处理的水势基本一致,随着蒸散作用进行,各处理土壤水势不断下降,但保水剂多的处理土壤水势下降速率更慢,与土壤含水量下降趋势一致。不同保水剂处理的土壤含水量与水势的关系曲线如图 3 所示,通过回归分析,它们呈幂函数关系。在相同土壤水势下,随着保水剂的用量的增大,土壤含水量有不断增大的趋势,但是,其增幅不大。当水势为 $-1.0\text{ MPa}$ 时,处理 1、2、3、4、5、6 的土壤含水量分别为 11.69%、12.27%、13.24%、14.54%、16.78%、17.90%。对大多数植物而言,土壤水势为 $-1.5\text{ MPa}$ 是萎蔫点,此时的保水剂中所吸持水分的 90% 以上已被利用。各种保水剂处理的水势下降趋势与苗木的致死期是相一致的。

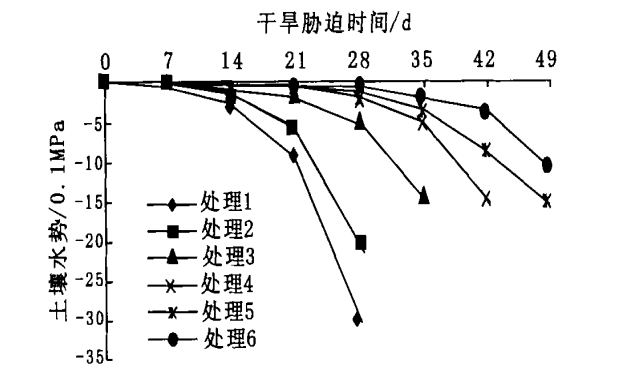
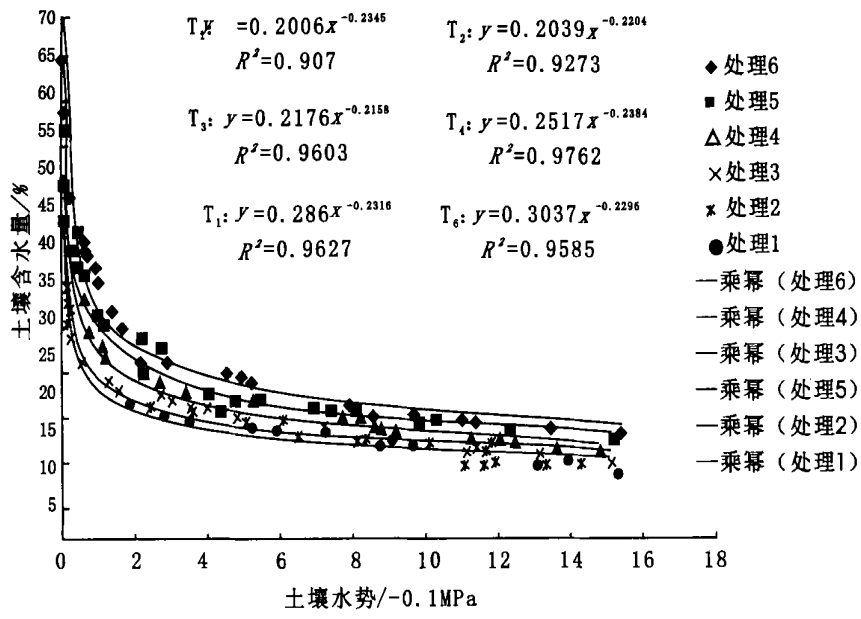


图 2 土壤水势动态变化



(其中: T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub> 分别为处理 1、处理 2、处理 3、处理 4、处理 5、处理 6 的回归方程)

图 3 不同保水剂处理的水分与水势关系

2.5 叶片含水量、水分亏缺、水势动态分析

在停止浇水后的不同时期, 分别对各处理叶片的水分亏缺和叶片的水势进行测定, 结果(图 4, 图 5)表明, 在停止浇水的第 7 天, 各处理叶片的水分亏缺程度和叶片水势与对照基本一致, 说明各处理苗木未受到明显的水分胁迫。在干旱胁迫 14 天后, 处理 1、处理 2 的叶片相对含水量和水势与对照开始下降。随着土壤水分水势的下降, 各不同处理的叶片的相对含水量和水势按保水剂用量的多少依次开始下降, 程度依次增加。说明保水剂所吸持的大量水分能持续地供苗木所利用, 保持叶片的正常含水量, 较长时间地维持苗木的膨压, 从而保证苗木的正常生长发育, 这与各不同保水剂处理的各生长指标的下降趋势是一致的。

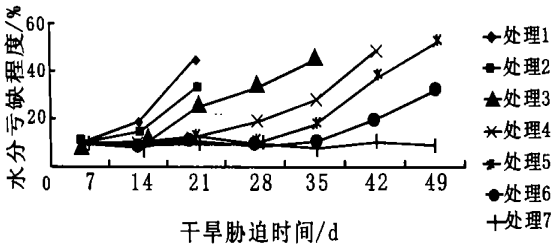


图 4 叶片水分亏缺动态变化

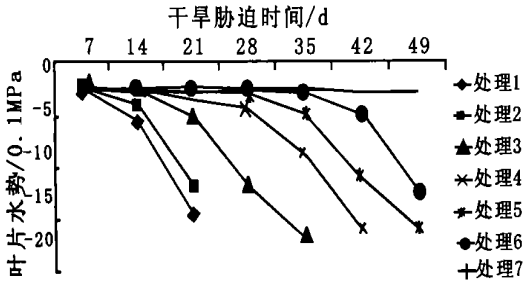


图 5 叶片水势动态变化

3 讨论

在本实验中, 在充分浇水条件下, 各处理的土壤田间持水量随保水剂用量增加而增加, 说明保水剂有很强的吸水性。保水剂用量少的处理在后期土壤水分下降缓慢, 主要是因为土壤中可供利用的水分减少, 这与后期土壤水势下降很低是一致的。而保水剂用量多的处理土壤含水量下降趋势变化不大, 这说明保水剂中所吸持的水分是缓慢释放出来, 其原因可能是保水剂是一种高分子聚集态的网状结构, 所固持的水分不能用一般的物理方法排放出来<sup>[4, 10]</sup>。

植物能保持水分平衡是维持正常的生长发育最重要的条件之一。植物水分胁迫通常采用植物的水势和植物组织的相对含水量变化表示, 在干旱胁迫时, 植物常表现水势降低、水分亏缺程度增加<sup>[11]</sup>。实验表明, 随着土壤水分的降低, 土壤的水势不断降低。根据水分运动的机理, 水分的流通是通过土壤—植物—大气(SPAC) 途径沿着水势梯度从高到低的方向进行的<sup>[12]</sup>。苗木只有降低水势, 才能从土壤中吸收水分, 因而叶片的水势随着土壤水分含量的减少而降低, 植物的相对含水量不断减少。植物的水势和膨压减小到一定程度, 就会影响植物的正常生理功能。保水剂用量少的处理苗木的苗高、地径相对增长率和新增叶片数受到抑制的时间早、程度大, 这与叶片水势降低和叶片水分亏缺的动态进展是相一致的。同时植物水势的降低还会引起苗木的代谢紊乱, 在实验中, 在不同的水分胁迫期, 不同的保水剂处理的游离脯氨酸和可溶性糖的积累的时间和程度是不一致的(结果未列出), 这与不同保水剂处理的苗木的水分胁迫的时间和程度是一致的。随着土壤水分的减少, 苗木的干旱胁迫增加, 最后导致苗木的枯死。

在有限水分条件下, 可以认为: 保水剂能增加土壤田间含水量。在水分的动态变化过程中, 保水剂能增加土壤含水量, 减缓土壤水势、叶片水势下降、减少叶片水分饱和和亏缺程度, 促进苗木的生长, 延长苗木的生存期。并且随着保水剂用量的增加, 效果更好。

参考文献:

[1] 介绍磊,李有田,韩燕来,等. 保水剂对土壤持水特性的影响 [J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(1): 22– 24.

[2] 黄占斌,张国桢,李秧秧,等. 保水剂特性测定及其在农业中的应用 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 22– 28.

[3] 王砚田,华孟,赵小麦,等. 高吸水性树脂对土壤物理性状的影响 [J]. 北京农业大学学报, 1990, 16(2): 181– 187.

[4] 张富仓,康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应 [J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 74– 78.

[5] Alasdair Barcroft. Superabsorbents improve plant survival [J]. World Crops, 1984, (1/2): 7– 10.

[6] Woodhouse J, Johnson M S. Effect of superabsorbent polymers on survival and growth of crop seedling [J]. Agricultural Water Management, 1991, 20: 63– 70.

[7] Huttermann A, Zommodi M, Reise K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of Pinus halepensis seedlings subjected to drought [J]. Soil and Tillage Research, 1999, 50: 3– 4, 295– 304.

[8] 李秋梅,刘明义,王跃邦. 保水剂在果树丰产栽培中的应用研究 [J]. 中国水土保持, 2000, (7): 26– 27.

[9] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.

[10] 赵兴宝,蔡典雄. 保水剂的特点及应用 [N]. 中国花卉报, 1999– 03– 25.

[11] 王万里. 植物对水分胁迫的响应 [J]. 植物生理学通讯, 1981, (5): 55– 64.

[12] 龙华. 植物的水势 [J]. 生物学通报, 1998, 33(3): 18– 19.

( 上接第 114 页)

(3) 确定模糊关系矩阵。模糊关系矩阵是用隶属度写出的一个数学矩阵,即

$$R=\begin{matrix} & \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1j} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2j} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mu_{i1} & \mu_{i2} & \cdots & \mu_{ij} \end{matrix}$$

式中:  $\mu_{ij}$  表示第  $i$  种因素的环境质量数值,属于第  $j$  类评价标准的隶属度。

$$\mu_{ij}=\begin{cases} 0 & (0 \leq c_j < \alpha_j \text{ 或 } c_i \geq \alpha_{j+1}) \\ (c_i-\alpha_j)/(\alpha_{j+1}-\alpha_j) & (\alpha_j < c_j < \alpha_{j+1}) \\ 1 & (\alpha_j = c_j) \end{cases}$$

(4) 权重矩阵  $A$  的计算。

$$a_i=(c_i/s_i)/\sum_{i=1}^i(c_i/s_i),\sum_{i=1}^m a_i=1$$

式中:  $c_i$  表示第  $i$  种因子的实际值;  $s_i$  为第  $i$  种因子标准评判值的均值

(5) 综合评判矩阵  $B$  的获得。

$$B=A\circ R$$

式中 “ $\circ$ ” 为算子,选用 “ $\cdot \odot$ ” 运算方式。

表 3 岷江上游部分地区评价因子的取值								
点位	岩性	构造	地形地貌	植被生态	地表水地下水	土壤类型	地质灾害	
汶川县	4.7	4.5	1.8	3.6	3.6	4.2	1.7	1.2
卧龙	3.5	2.4	2.1	1.4	1.8	1.9	2	1.8
茂县	4.9	4.3	2.1	3.7	3.5	4.3	1.6	1.3
卡龙镇	3.1	1.2	3.2	1.3	2.7	2.0	2.3	1.1

根据以上建立的模糊综合评价模型可得:

参考文献:

[1] 郭永明. 岷江上游土地资源保护性利用 [J]. 山地研究, 1993, (4): 12– 16.

[2] 岷江上游综合考察队. 岷江上游森林生态问题综合考察报告 [J]. 四川林业科技, 1980, (增刊): 1– 31.

[3] 任称罗日尔. 理县草地资源的合理利用与保护 [J]. 西南民族学院学报(自然科学版), 1994, 20(1): 92– 95.

[4] 包维楷,王春明. 岷江上游山地生态系统的退化机制 [J]. 山地学报, 2000, 18(1): 57– 62.

[5] Cendrero A, Keller E A, John W, et al. Geoenvironmental units as a basis for the assessment, regulation and management of the Earth's surface [A]. In: Cendrero A, et al eds. Planning the Use of the Earth's Surface [C]. Berlin: Springer Verlag, 1992.

[6] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.

汶川县:  $B=A\circ R=(0.0722,0.1138,0.1136,0.448,0.2524)$  评价分级: 较差

卧龙:  $B=A\circ R=(0.1034,0.6204,0.1727,0.1035,0)$  评价分级: 良

茂县:  $B=A\circ R=(0.0598,0.126,0.1199,0.4222,0.2721)$  评价分级: 较差

卡龙镇:  $B=A\circ R=(0.1691,0.3059,0.4688,0.0562,0)$  评价分级: 中

从计算结果可以看出卧龙区的生态环境地质质量最好,其次是卡龙镇,最差是汶川县和茂县,这与现场的实际情况基本一致。可见评价效果良好,其评价值能充分反映一个地区的生态环境地质质量的真实情况,为政府或技术管理部门决策提供可靠的科学依据。

3 结 论

(1) 利用模糊数学方法评价生态环境地质质量是可行的。因为,一是充分利用了生态环境地质中所存在的模糊性特点;二是充分考虑了评价因素指标值、评价因素权重和评价因素间交互作用对生态环境质量的共同影响。

(2) 利用模糊数学方法评价生态环境地质质量的结果提供了较多、较准确的信息。一是从单因素评价结果中可获得评价因素优劣的准确信息;二是从生态环境地质综合评价结果中可获得生态环境地质质量优劣的准确信息。

(3) 单因子量化评价的精度直接影响综合评价结果的精度。其量化值最好能在现场确定或部分在现场确定。同时其量化标准在条件允许时应进一步精确或细化,提高综合评价的可靠性。