

# 喀斯特地区不同覆盖下土壤水分变化模拟研究

邵晓贵, 杨 瑞

(贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘 要:** 为探讨不同覆盖方式对喀斯特地区土壤水分变化的影响,于 2009 年 3—5 月对贵州省花江喀斯特典型峡谷区土壤水分进行了动态变化的模拟试验研究。结果表明:(1) 在控制试验条件下,土壤水分的耗散与覆盖方式和覆盖程度有密切关系,土壤水分随时间变化的大小顺序依次是:无覆盖地>薄膜半覆盖地>碎石全覆盖地>枯枝落叶全覆盖地>薄膜全覆盖地;(2) 土壤体积含水量与时间存在着较高的相关性,三次方程最适宜反映土壤体积含水量与时间的关系;(3) 对不同覆盖下的土壤物理性质测定得出,不同覆盖下的土壤的坚实度、孔隙度、容重、渗透性有明显的差异,尽管薄膜覆盖保水效果最好,但其渗透性能和孔隙度都很差,碎石覆盖下的土壤坚实度和渗透速率最大。

**关键词:** 不同覆盖; 喀斯特;  $ECH_2O$ ; 土壤体积含水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0250-04

中图分类号: S152.7

## Simulation on Variations of Soil Moisture Under Different Mulching Techniques in Karst Areas

SHAO Xiao-gui, YANG Rui

(Department of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

**Abstract:** To explore the dynamic process of soil moisture under different mulching techniques in karst areas, an experimental research of soil moisture dynamic changes was carried out in Huajiang typical karst valley area of Guizhou Province from March to May, 2009. The results show that under the controlled condition, the evaporation of soil moisture closely related with the way and area ratio of covering. The magnitude of changes in soil moisture over time was bare land>thin-film semi-covered land>gravel throughout land>litter throughout land>thin-film throughout land. The relationship between soil moisture contents and time was best fitted by third degree polynomial equations. Soil firmness, soil porosity, soil bulk density, and soil permeability differed significantly under different coverings. Although the water-holding capacity of the soil under thin-film throughout treatment was the highest, its permeability and porosity was fairly low. The soil under the gravel throughout has the highest infiltration rate and firmness.

**Keywords:** mulching technique; karst;  $ECH_2O$ ; volume of soil water content

喀斯特地区石漠化是制约我国西南地区经济发展的重要因素,水分变化是岩溶石漠化的驱动力<sup>[1]</sup>,喀斯特地区土壤水分的亏缺是植被恢复的主要限制因子。喀斯特石漠化区自然降水充足,但土壤保水性能差,开发利用率低,造成临时性缺水,喀斯特区土壤水分的变化研究无疑对石漠化治理生态恢复至关重要。

当今对土壤水分研究主要集中在土壤水分时空变化动态,影响因子,土壤水量平衡,不同利用方式下土壤水分变化,不同植被覆盖条件下土壤水分蒸发的

比较等<sup>[2-6]</sup>方面,其研究区域也主要集中于非岩溶地区。岩溶区土壤水分研究也取得了一定的成果<sup>[7-12]</sup>,本文通过对喀斯特地区土壤水分变化室内模拟,分析了不同覆盖方式下的土壤水分动态变化规律,同时测定不同覆盖处理后的土壤水分物理性质,确定不同覆盖方式对土壤物理性质的影响,为进一步合理利用与调控土壤水分和搞好喀斯特地区水土保持提供科学依据,此项研究对喀斯特石漠化地区生态环境建设,人工造林的实践具有十分重要的指导意义。

收稿日期:2010-12-17

修回日期:2011-03-09

资助项目:国家基础研究发展规划项目专题(973 计划)“喀斯特生物适应对策及物种优化配置”(2006CB4032-06);贵州省科技计划项目“喀斯特区次生林结构与森林分类经营技术研究”(黔科合 NY 字[2009]3052);2007 贵州大学大学生创新性计划项目“喀斯特石漠化区土壤水分蒸散与保水技术”(2007062)

作者简介:邵晓贵(1987—),男(汉族),甘肃省秦安县人,在读硕士研究生,主要从事流域综合治理领域研究。E-mail:shaoxiaogui@126.com。

通信作者:杨瑞(1979—),男(苗族),贵州省六盘水市人,副教授,主要从事森林经营和森林生态方面的研究。E-mail:yr553017@163.com。

# 1 试验材料与方法

## 1.1 试验材料

试验所用的主要材料有:黄壤土样,RXZ 多段可编程人工气候箱,直径 25 cm 的花盆,直径 3~5 cm 的碎石,枯枝落叶,塑料薄膜,环刀,渗透桶,铝盒,土壤坚实度计,烧杯量筒及其土壤水分测量仪 ECH<sub>2</sub>O (ECH<sub>2</sub>O 传感器是一种电介质型传感器,可将之置于测量介质中,通过测量传感器上电容的变化测定该介质的介电常数或电容率,从而计算出土壤体积含水量),相关实验器材等。

## 1.2 测试方法

用 ECH<sub>2</sub>O 定时测量土壤体积含水量,烘干法测量土壤含水量,坚实度计测定土壤坚实度,渗透桶测定土壤渗透率。用 SPSS 软件进行回归分析。

## 1.3 试验方法

采样区位于贵州省西南部的北盘江镇板围村,该区属于亚热带季风湿润气候,海拔 800~1 150 m,年降雨量 1 200~1 400 mm。岩溶发育强烈,岩石裸露程度高,一般都在 70% 以上,最高区域可达 90% 以上,出露岩层有白云岩、灰岩、白云质灰岩等。该区属于典型岩溶石漠化地区。

在采样区域内选择白云岩发育的黄壤,采取多个点的样品并混合均匀。把土样带回实验室进行风干,并充分混合均匀,采取四分法依次装入花盆,每个花盆装入 5 500 g,并使每个花盆里土壤容重基本相同。把装了风干土的花盆放入水中,水面高度稍高于花盆土面,浸泡花盆内的土壤约 12 h,浸泡后从水中拿出花盆自然搁置 1 h。对不同覆盖处理的花盆编号,设计地膜全覆盖,枯枝落叶全覆盖,碎石全覆盖,地膜半覆盖和对照组无覆盖 5 个处理,每个处理 3 个重复。在土壤深度 5 cm 处对应插入在计算机中设置好的 ECH<sub>2</sub>O 探针,设置测定数据间隔为 2 h,然后用胶带密封插口以免水分蒸散,并将花盆连同 ECH<sub>2</sub>O 探针放入人工气候箱。为了使试验控制条件更接近当地的自然条件,同时便于试验模拟,设置人工气候箱的温度为接近当地日均温 20 °C 和平均相对湿度 80%。33 d 后从 ECH<sub>2</sub>O 中导出数据,并对每个花盆土壤的渗透性、坚实度、含水率进行人工测定。

# 2 结果与分析

## 2.1 土壤体积含水量变化

用土壤水分测量仪 ECH<sub>2</sub>O 对不同覆盖处理的土壤从 2009 年 3 月 18 日 6 时到 2009 年 4 月 20 日 14 时每 2 h 测定 1 次,共测 396 次,通过固定抽样方

法每隔 1 d 抽取 1 组数据,各覆盖取 33 组数据进行处理和和相关分析计算。

2.1.1 不同覆盖处理下土壤水分变化规律 从图 1 和表 1 可以看出,5 种不同覆盖处理的土壤体积含水量随时间的变化都不同程度地有所降低,其降低的趋势也不尽相同,对照组无覆盖的土壤水分变化幅度最大,地膜全覆盖和枯枝落叶全覆盖土壤体积含水量变化最小。土壤体积含水量随时间变化的大小顺序依次是:无覆盖>地膜半覆盖>碎石全覆盖>枯枝落叶全覆盖>地膜全覆。以上结果说明土壤水分耗散与覆盖方式及覆盖程度有密切关系,地膜全覆盖和枯枝落叶全覆盖具有很强的保水效果,而不覆盖和地膜半覆盖下的土壤体积含水量降低到了植物难以吸收利用的程度。

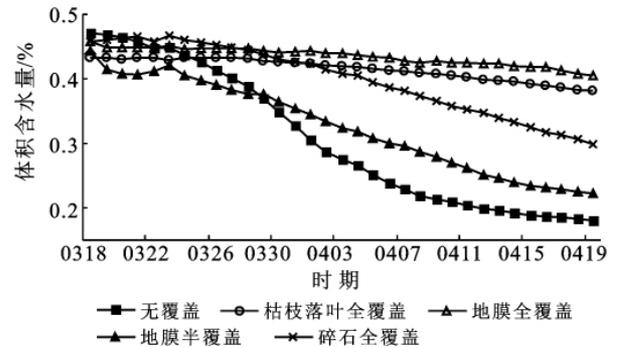


图 1 不同覆盖下土壤体积含水量随时间变化

表 1 不同覆盖下土壤体积含水量变化量比较

覆盖方式	无覆盖	枯枝落叶 全覆盖	地膜 全覆盖	地膜 半覆盖	碎石 全覆盖
变化量	0.289 7	0.051 3	0.05 3	0.220 9	0.159 7
百分比/%	61.57	11.86	11.55	49.82	34.85

注:表中“变化量”是相对于初始土壤体积含水量的变化量。即,初始土壤体积含水量至 30 d 后的土壤体积含水量;“百分比”是土壤体积含水量变化百分比,是指土壤体积含水量的变化量与初始土壤体积含水量之比。即,变化量比上初始土壤体积含水量。

2.1.2 土壤体积含水量随时间变化回归分析 用 SPSS 软件对不同覆盖方式下的土壤体积含水量与时间变化进行回归统计分析,同时进行回归方程显著性检验,显著性水平小于 0.05,可以认为所建立的回归方程有效,得出不同覆盖土壤体积含水量与时间的回归方程(表 2)。

由表 2 可以看出,不同覆盖方式下的土壤体积含水量与时间的 4 种回归方程(线性方程,对数方程,二次方程,三次方程)都具有较高的相关性,只有对数回归方程 R<sup>2</sup> 都小于 0.9,其它的回归方程的 R<sup>2</sup> 都大于 0.9,并且大小差别不大。在所有的回归方程中,3 次方程 R<sup>2</sup> 最大。表明不同覆盖方式下土壤体积含水量与时间之间存在着很高的相关性,同时说明在可控条件下 3 次曲线最适宜反映土壤体积含水量与时间的关系。

表 2 不同覆盖土壤体积含水量与时间的回归方程

覆盖方式	方程	$R^2$	常数	系数 $a$	系数 $b$	系数 $c$
无覆盖	线性	0.951	0.490	-0.011	—	—
	对数	0.842	0.602	-0.115	—	—
	二次	0.973	0.528	-0.017	0	—
	三次	0.994	0.48	-0.002	0	2.26E-05
枯落物全覆盖	线性	0.924	0.444	-0.002	—	—
	对数	0.618	0.445	-0.015	—	—
	二次	0.992	0.433	0	-5.40E-06	—
	三次	0.995	0.430	0.001	0	1.27E-06
地膜全覆盖	线性	0.944	0.458	-0.001	—	—
	对数	0.716	0.470	-0.014	—	—
	二次	0.971	0.453	0	-2.76E-05	—
	三次	0.972	0.454	0	1.17E-05	-3.12E-07
地膜半覆盖	线性	0.985	0.448	-0.007	—	—
	对数	0.800	0.515	-0.073	—	—
	二次	0.986	0.445	-0.007	-1.83E-05	—
	三次	0.994	0.425	-5.20E-05	0	9.29E-06
碎石全覆盖	线性	0.964	0.495	-0.006	—	—
	对数	0.688	0.537	-0.053	—	—
	二次	0.992	0.473	-0.002	0	—
	三次	0.999	0.458	0.003	0	6.75E-06

注：“—”表示无系数。

## 2.2 不同覆盖下土壤物理性质比较

### 2.2.1 土壤坚实度比较

土壤坚实度与土壤质地和含水量有密切关系,坚实度越大,土壤承受能力及耕作阻力越大<sup>[13]</sup>。对同一种方法的测定值,其主要决定于土壤质地、容量和含水量,其中含水量的影响最大。土壤坚实度可预测土壤承载量、耕性和根系伸展的阻力。

图 2 显示,不同覆盖下土壤坚实度的差异主要是由土壤的水分含量和覆盖物的不同引起的。地膜全覆盖下的土壤水分蒸散很少,土壤含水量较高,加之薄膜对土壤的压力很小,土壤结构变化不大,土壤的坚实度很小。碎石覆盖下的土壤坚实度最大是因为碎石过重,加之土壤水分蒸散较大,土壤的结构变化较大,土壤坚实度也就较大。

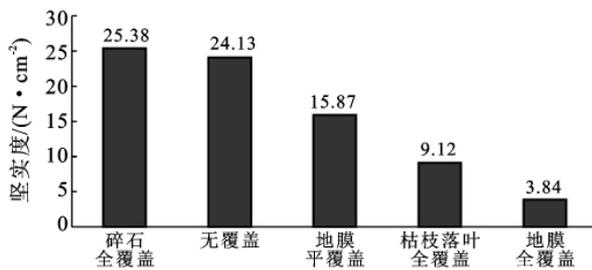


图 2 不同覆盖后土壤坚实度比较

### 2.2.2 土壤渗透性比较

土壤渗透性能是衡量土壤通透性的一项重要指标,是制约坡面径流、土壤侵蚀的重要因子,也是调节土壤水分、预防干旱的土壤物理指标。影响土壤入渗性能最主要的因素是土壤总

孔隙度和非毛管孔隙,这与土壤容重和土壤含水量也有很大关系<sup>[14]</sup>。

表 3 显示,不同的覆盖方式会引起土壤的渗透性发生较大的变化,其中碎石覆盖的土壤渗透系数在 5 种处理中最大,而地膜全覆盖下的土壤渗透系数最小,几乎接近于 0。不同覆盖方式下土壤渗透系数的差异主要是由土壤的水分含量、土壤空隙度和土壤容重不同而引起的。这是因为无覆盖的土壤含水量低于有覆盖处理的土壤含水量,无覆盖的土壤孔隙度和毛管持水率都高于其它的覆盖方式下的土壤毛管持水率,故无覆盖的土壤渗透系数较高。地膜全覆盖下的土壤渗透系数几乎接近于 0,其原因主要是地膜覆盖下土壤含水量最高,总孔隙度很小,土壤通透性较差,进而影响了土壤渗透系数。土壤的通气孔隙很小会使植物烂根腐根,这也是在喀斯特地区农业生产上不习惯使用地膜覆盖的原因。

表 3 不同覆盖方式后的土壤渗透性比较 mm/min

覆盖方式	碎石 全覆盖	无 覆盖	地膜 半覆盖	枯枝落叶 全覆盖	地膜 全覆盖
渗透速率	7.42	5.44	2.66	0.37	0
10 °C 渗透系数	3.72	2.95	1.41	0.18	0

### 2.2.3 土壤水分物理性质比较

土壤容重与孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数,两者直接影响着土壤蓄水和通气性能,土壤容重越小,孔隙度越大,说明

土壤发育良好,利于水分的保持与渗透,并间接影响到土壤肥力状况<sup>[15]</sup>。良好的孔隙状况可以使土壤有较为良好的持水性能,土壤的持水性能决定了土壤水源涵养、保持水土能力的大小<sup>[16]</sup>。

表4显示,不同覆盖方式下土壤自然含水率、土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管持水率、土壤最大持水率的差异都较大。自然含水率的大小顺序是:地膜全覆盖>枯枝落叶全覆盖>碎石全覆盖>地膜半覆

盖>无覆盖。随着土壤自然含水量的降低,各种覆盖处理的土壤容重总体在降低,总孔隙度、毛管持水率、最大持水率在增加。土壤水分含量的大小差异说明不同覆盖后土壤结构和保水性能差异较大,地膜全覆盖和枯枝落叶全覆盖后的土壤保水效果较好,不覆盖和薄膜半覆盖后的土壤水分蒸散速率较大,保水效果差,土壤的含水率很低,而土壤最大持水量,总孔隙度,毛管持水率却较大。

表4 不同覆盖处理后土壤水分物理性质比较

覆盖方式	自然含水率/ %	容重/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	总孔隙度/ %	毛管持水率/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	最大持水率/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
地膜全覆盖	41.856	1.336	18.83	105.203	153.822
枯枝落叶全覆盖	41.185	1.441	19.30	115.071	143.417
碎石全覆盖	22.655	1.243	38.84	282.229	314.601
地膜覆盖50%	18.414	1.175	41.97	331.816	362.777
无覆盖	9.023	1.126	52.91	443.228	473.313

### 3 结论

在试验控制条件下,保持相同的初始含水率、容重、温度、湿度、深度,但不同的覆盖的喀斯特黄壤体含水量随时间推移而降低,但降低的程度和趋势不尽相同,同时不同覆盖方式下的土壤物理性质有明显的差异。不同覆盖方式各有优缺点,到底哪种覆盖方式最适合保持喀斯特区土壤水分并利于植物生长发育,要依据当地的自然经济技术状况进行选择。薄膜全覆盖和枯枝落叶全覆盖保水效果较好,但其土壤的孔隙度、渗透性、持水率较低;不覆盖、地膜半覆盖的土壤恰好相反。根据本试验研究和喀斯区的土壤、气候和经济技术状况,在石漠化区植树造林、封山育林等植被恢复过程中最好选择碎石覆盖。

本试验只是对喀斯特白云岩发育的黄壤土水分进行了室内模拟研究,且试验控制条件一定。今后对喀斯特地区其它岩石发育的土壤水分变化,对其它覆盖方式、不同温度不同湿度、不同深度土壤水分规律要深入进行研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 赵中秋,后立胜,蔡运龙.西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨[J].地学前缘,2006,13(3):185-189.  
 [2] 尚爱军,卜耀军,艾海舰,等.榆林沙区土壤水分时空格局及动态变化规律研究[J].水土保持学报,2008,22(4):86-89.  
 [3] 刘士余,左长清,朱金兆.地被物对土壤水分动态和水量平衡的影响研究[J].自然资源学报,2007,22(3):424-433.

[4] 劳文科,吴孔运.喀斯特地区不同土地利用方式下包气带土壤水分动态特征[J].地球与环境,2008,36(2):119-124.  
 [5] 王红梅,谢应忠,陈祥.黄土高原坡地土壤水分动态特征及影响因素[J].宁夏农学院学报,2004,25(4):62-65.  
 [6] 熊伟,王彦辉,程积民,等.不同植被覆盖条件下土壤水分蒸发的比较[J].中国水土保持科学,2005,3(3):65-68.  
 [7] 朱守谦,韦小丽.乌江流域喀斯特石质山地人工造林技术试验[J].山地农业生物学报,1999,18(3):138-143.  
 [8] 祝小科,朱守谦.乌江流域喀斯特石质山地人工造林配套技术[J].贵州林业科技,1999,27(1):12-15.  
 [9] 程星,於芳.喀斯特土壤水分变化研究[J].地球与环境,2005,33(S):139-143.  
 [10] 张继光,苏以荣,陈洪松,等.桂西北喀斯特区域土壤水分动态变化研究[J].水土保持通报,2007,27(5):32-36.  
 [11] 李安定,卢永飞,韦小丽,等.喻理飞花江喀斯特峡谷地区不同小生境土壤水分的动态研究[J].中国岩溶,2008,27(1):56-62.  
 [12] 杜雪莲,王世杰.喀斯特高原区土壤水分的时空变异分析:以贵州清镇王家寨小流域为例[J].地球与环境,2008,36(3):193-201.  
 [13] 陈勇阁,石永年.土壤的物理力学性质分析[J].农机化研究,2002,5(2):60-60.  
 [14] 姚贤良,程云生.土壤物理学[M].北京:农业出版社,1986:20-46.  
 [15] 李洪建,王孟本,柴宝峰.黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J].应用生态学报,2003,14(4):515-519.  
 [16] 林建椿.枫香与杉木、马尾松混交林土壤水分物理性质的研究[J].亚热带水土保持,2007,19(30):1-3.