

喀斯特地区人工林凋落物及表层土壤水源涵养功能

张显松¹, 姚健², 薛建辉², 吴永波^{2*}, 刘成刚²

(1 贵州省普定县林业局, 贵州 普定 562100 2 南京林业大学 江苏省林业生态工程重点实验室)

摘要:以贵州省溶岩区 4 种人工林(桉木林、杜仲林、刺槐林、滇柏林)为对象, 对其凋落物及表层土壤的水源涵养功能进行了初步研究。结果表明: 4 种人工林凋落物储量的大小顺序为桉木林 > 杜仲林 > 刺槐林 > 滇柏林, 凋落物持水量呈现桉木林 > 杜仲林 > 刺槐林 > 滇柏林。凋落物持水量与浸泡时间的关系符合指数函数模型, 凋落物吸水速率与浸泡时间的关系符合幂函数模型。人工林土壤持水量的大小关系为桉木林 > 杜仲林 > 刺槐林 > 滇柏林。凋落物饱和含水时相对自由水面蒸发率桉木林为 68.12%, 刺槐林为 76.84%, 杜仲林为 73.70%, 滇柏林为 80.41%。在环境一致条件下, 滇柏林与其他 3 种人工林相比凋落物水分损失较易。

关键词:人工林; 凋落物; 表层土壤; 水源涵养功能; 溶岩区

Study on water conservation function of litter and surface soil of plantations in Karst region // ZHANG Xian-song YAO Jian XUE Jianhui WU Yong-bo LIU Cheng-gang

Abstract The experiment was conducted to study the water conservation of litter and surface layer soil of four plantations (*Robinia pseudoacacia*, *Eucommia ulmoides*, *Alnus ferdinandii* and *Cupressus duclouxiana*) in Karst region in Guizhou province. The results showed that the amount of litter was *A. ferdinandii* > *E. ulmoides* > *R. pseudoacacia* > *C. duclouxiana*. The water holding capacity of litter was *A. ferdinandii* > *E. ulmoides* > *R. pseudoacacia* > *C. duclouxiana*. The relationship between the water holding capacity of the litter and the immersion time could be fitted with an exponential function and the relation between the water absorption speed of the litter and the immersion time could be fitted with a power function. The water holding capacity of the surface soil was *A. ferdinandii* > *E. ulmoides* > *R. pseudoacacia* > *C. duclouxiana*. The evaporation ratio of litter water to free water in *A. ferdinandii*, *E. ulmoides*, *R. pseudoacacia* and *C. duclouxiana* was 68.12%, 73.70%, 76.84% and 80.41%, respectively. The water of litter in *C. duclouxiana* plantation was more easily lost than in other three plantations.

Key words plantation; litter; surface soil; water conservation function; Karst region

First author's address Puding Forestry Bureau of Guizhou Province, 562100 Puding, Guizhou, China

森林凋落物层是森林生态系统重要的组成部分, 凋落物层不仅具有良好的透水性和持水能力, 还能增大地表粗糙度, 起着缓冲和蓄水保水的作用。凋落物层下的森林土壤是形成森林植被水文功能的核心地带, 关系到森林涵养水源潜能强弱。许多学者在不同地区对多种森林类型下凋落物水源涵养功能进行了研究^[1-4]。研究结果表明, 在植被重建恢复的过程中, 人工构建的先锋群落其凋落物层在涵养水源、保持水土方面, 有显著的影响^[5-6], 但是对荒漠化溶岩区人工林凋落物的关注还较少^[7]。西南喀斯特区域是我国非常重要的生态功能区, 由于特殊的地质背景及人为活动的干扰, 面临着严重的生态退化问题。自 2002 年退耕还林, 工程实施以来, 该地区人工植被恢

复取得明显进展。本文对溶岩区刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、杜仲 (*Eucommia ulmoides*)、桉木 (*Alnus ferdinandii*)、滇柏 (*Cupressus duclouxiana*) 4 种人工林的凋落物及表层土壤的水源涵养功能的初步分析。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于贵州省普定县 (105°44'E, 23°18'N), 海拔 1137 m。普定县处于云贵高原东侧斜坡地带, 是典型喀斯特立地环境, 属全国生态环境建设重点地区。北亚热带湿润气候区, 季风交替明显, 春干秋凉, 热量高, 无霜期长, 雨量充沛, 适宜多种林木生长。年平均气温为 15.1℃, 最冷月 1 月平均气温 5.2℃, 最热月 7 月平均气温 22.3℃, 极端最低气温 -11.1℃, 极端最高气温 34.7℃。年均降雨量 1396.9 mm, 降雨季节多集中在 5—9 月, 占全年降雨量的 75% 以上。平均日照时数 1202 h, 无霜期为 289 天, 相对湿度 79%。4 种林分特征见表 1。试验林地土壤为棕色石

收稿日期: 2010-04-14 修回日期: 2010-04-25

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题 (编号: 2006BAD03A0303)。第一作者简介: 张显松 (1972-), 男, 工程师, 主要从事林业科技及管理工。通讯作者: 吴永波, 男, 副教授。E-mail: jian_yao_dh@ yahoo.cn

灰土, 土层平均厚度约 30 cm, 土壤容重在 1.39~1.55 g/cm^3 , 田间持水量在 20%~35% 之间。

表 1 试验林基本群落特征

林分	林龄 /a	密度 株· hm^{-2}	平均胸径 /cm	平均树高 /m	主要林下植物	林地坡位	林地坡度 /°
刺槐林	7	1 845	4.8	3.5	火棘、车钱、野青茅	中坡	15
栎木林	7	2 070	12.7	16.3	苦楝子、臭牡丹、金丝桃、蕨类	中部	22
杜仲林	7	2 700	2.3	2.6	野茅草、插田泡、蛇莓、苦蒿	中部	25
滇柏林	7	3 330	6.5	7.7	火棘、刺薊、紫菀、婆婆纳	中部	18

1.2 研究方法

1.2.1 凋落物含水量

2008年6月在各人工林随机设置3个面积为400 m^2 的样地。每种林分中布置面积为1 $m \times 1 m$ 的样方10个,测定凋落物鲜质量 N (g),并取部分凋落物,在105℃下烘干称其干质量 H (g),计算含水量。计算公式为^[7]:

$$C = \frac{N-H}{N} \times 100\%$$

1.2.2 凋落物最大持水率

每个样地里随机选取10个1 $m \times 1 m$ 的样方,收集样方内全部凋落物,置于105℃的烘箱内烘至恒质量,称干质量 D (kg),然后把烘干的凋落物放置水中浸泡24 h,称湿质量 W (kg),则凋落物最大持水量 M (kg)和持水率 (θ)为^[7]:

$$M = W - D,$$

$$\theta = \frac{W}{D} \times 100\%$$

1.2.3 凋落物持水速率

另取样方内收集的凋落物烘干称量装入尼龙网袋中浸泡,并在浸泡5 min、10 min、15 min、30 min、1 h、2 h、4 h、6 h、8 h、10 h、12 h称其湿质量,计算凋落物的持水率和吸水速率;待浸泡24 h后,称湿质量计算凋落物的最大持水量(饱和持水量)。

1.2.4 凋落物饱和含水量时相对自由水面的蒸发率

在每个样地中随机选取10个直径为30 $cm \times 30 cm$ 的样方。将样方内凋落物放在水中浸泡24 h再置于同面积塑料桶内。向桶中加水使得凋落物浮于水面,然后放在阳光下让其蒸发。试验于2008年6月24日7:00和19:00分别记录初始质量和末质量;记录量变化 ΔG (g),并与相同条件下自由水面蒸发量 ΔG_0 (mm)进行比较,则凋落物饱和含水时相对自由水面的蒸发率 e (%)为:

$$e = \frac{40\Delta G}{\rho\pi d^2\Delta E_0} \times 100\%$$

1.2.5 土壤样品采集与分析方法

每个样地内根据对角线法选取3个剖面,用200 cm^3 环刀分0~10 cm 和10~20 cm 层次采样。由于所选样地为纯灰岩岩组,平均土层厚度一般在20~40 cm 之间^[8],故分2层采样。每个剖面的土壤性质采用环刀法^[9],每层分别取5个环刀样。

2 结果与分析

2.1 凋落物持水量与持水率

4种林分的凋落物储量各不相同(见表2)。栎木林地凋落物鲜重最大,达到14.03 t/hm^2 ,刺槐林地、杜仲林地和滇柏林地凋落物鲜质量分别是4.15 t/hm^2 、7.10 t/hm^2 和2.13 t/hm^2 。凋落物含水率从大到小的排列顺序为栎木林(45%) > 杜仲林(35%) > 刺槐林(25%) > 滇柏林(15%)。栎木林凋落物干质量最高达到9.68 t/hm^2 ,滇柏林凋落物干质量最小,仅为1.81 t/hm^2 。

表 2 不同类型人工林凋落物储量

林分	鲜质量 / $t \cdot hm^{-2}$	干质量 / $t \cdot hm^{-2}$	含水率 / %
栎木林	14.03 ± 1.52 ab	9.68 ± 1.05 ab	45.4
刺槐林	4.15 ± 0.32 a	3.32 ± 0.26 ab	25.7
杜仲林	7.10 ± 0.78 a	5.29 ± 0.58 a	35.3
滇柏林	2.13 ± 0.27 a	1.81 ± 0.23 a	15.2

各林分凋落物持水随着浸泡时间的增加水量迅速增长,浸泡5 h后凋落物持水量开始缓慢增长(图1)。

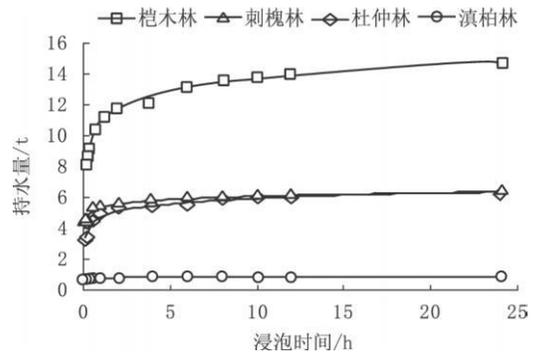


图 1 凋落物持水量与浸泡时间的关系

林地凋落物持水量呈栎木林 > 刺槐林 > 杜仲林 > 滇柏林。浸泡时间达到5 h后,杜仲林地的凋落物持水量开始接近刺槐林地,10 h后杜仲林和刺槐林地凋落物的持水量相近。滇柏林地凋落物持水量在浸泡过程中低于其他3种林地凋落物持水量,且持水量的变化不大,并且在1 h后其持水量几乎达到饱和。4种林分林地凋落物最大持水量的排列顺序依次为:栎木林(14.2 t/hm^2) > 杜仲林(6.18 t/hm^2) > 刺槐林(6.10 t/hm^2) > 滇柏林(0.87 t/hm^2)。用对数方程

对凋落物持水量 W_H 和浸泡时间 t 之间的关系进行拟合, 结果表明 3 种阔叶林的相关系数 (R) 较高, 大于

0.904 且两者显著相关 ($P < 0.001$), 而滇柏林持水量和浸泡时间的相关系数 (R) 为 0.8673 (表 3)。

表 3 不同林分凋落物持水量、持水率与浸泡时间回归方程

林分	持水量与浸泡时间的关系			持水率与浸泡时间的关系		
	关系式	R^2	P	关系式	R^2	P
栎木林	$W_H = 1.1757ht + 10.9850$	0.9727	< 0.001	$W_R = 12.147ht + 113.50$	0.9932	< 0.001
刺槐林	$W_H = 0.3018ht + 5.3866$	0.9040	< 0.001	$W_R = 9.092ht + 162.30$	0.9377	< 0.001
杜仲林	$W_H = 0.5171ht + 4.7484$	0.9494	< 0.001	$W_R = 20.979ht + 192.63$	0.9685	< 0.001
滇柏林	$W_H = 0.0264ht + 0.7868$	0.8673	< 0.010	$W_R = 2.501ht + 74.57$	0.8961	< 0.010

4 种人工林植被凋落物在浸泡时间段内, 凋落物持水率呈现杜仲林 > 刺槐林 > 栎木林 > 滇柏林 (图 2)。杜仲林地凋落物持水率在 2 h 内迅速增长, 此后增长趋于平缓, 栎木林和刺槐林地凋落物的持水率在前 30 m 内增长很快, 此后增长趋于平缓, 并在浸泡 8 h 后趋于饱和。滇柏林地凋落物的持水率从浸泡开始增长速度就较缓慢, 10 h 后趋于饱和。杜仲林地、刺槐林地、栎木林地、滇柏林地的凋落物的最大持水率分别达到 250%、183%、146%、82%, 杜仲林地凋落物显示出较强的持水能力。

合: $W_A = a^b t$, 其中 a b 为关系系数。结果表明, 各林分吸水速率与浸泡时间的理论值很好的拟合了实测结果, 相关系数 R^2 均大于 0.99 两者关系达到了极显著相关水平 ($P < 0.001$) (表 4)。

表 4 凋落物吸水速率 W_A 与浸泡时间 t 的回归方程

林分	关系式	R^2	P
栎木林	$W_A = 1.113t - 0.8943$	0.9976	< 0.001
刺槐林	$W_A = 1.612t - 0.9434$	0.9965	< 0.001
杜仲林	$W_A = 1.882t - 0.8895$	0.9986	< 0.001
滇柏林	$W_A = 74t - 0.9665$	0.9998	< 0.001

2.3 凋落物饱和含水量时相对自由水面的蒸发率

试验结果表明, 桶内装有凋落物的质量变化栎木林平均为 3.32 kg/m^2 , 刺槐林为 3.74 kg/m^2 , 杜仲林为 3.59 kg/m^2 , 滇柏林为 3.8 kg/m^2 ; 该段时间内自由水面的蒸发为 6.2 mm 。根据计算公式, 4 种人工林凋落物饱和含水时相对自由水面蒸发率栎木林为 68.12%、刺槐林为 76.84%、杜仲林为 73.70%、滇柏林为 80.41%。

2.4 土壤的物理性质及其持水量

各种人工林土壤密度及孔隙度变化如表 5 所示。由表 5 可以看出, 杜仲林土壤密度最高, 在 0~10 cm 为 1.51 g/cm^3 , 10~20 cm 为 1.55 g/cm^3 , 滇柏林土壤密度最低 0~10 cm 为 1.39 g/cm^3 。杜仲林地土壤非毛管孔隙度明显高于其他 3 种人工林地, 在 0~10 cm 和 10~20 cm 处分别达到 7.2% 和 6.6%, 杜仲林地毛管孔隙度和总孔隙度均要高于其他 3 种人工林地。

根据凋落物的最大持水量和土层的最大持水量, 计算得出 4 种人工林的综合水源涵养功能, 如表 6 所示。可以看出, 栎木林综合持水量 (1.22586 t/lm^2) 最大, 杜仲林 (1.01532 t/lm^2) 和刺槐林 (0.91874 t/lm^2) 次之, 滇柏林综合持水量 (0.50005 t/lm^2) 最小。凋落物最大持水量在综合持水量中占有比例排序依次为栎木林 (1.15%) > 刺槐林 (0.66%) > 杜仲林 (0.61%) > 滇柏林 (0.18%)。在 4 种人工林样地中, 土壤层 (0~20 m) 的持水量均超过 98%, 表明土壤层在涵养水源功能中发挥主要作用。

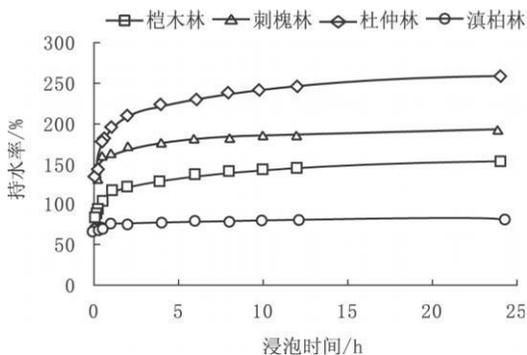


图 2 凋落物持水率与浸泡时间的关系

凋落物持水率 W_R 与浸泡时间 t 用对数方程模拟。结果表明 3 种阔叶林的相关系数 (R) 较高, 大于 0.93 且两者显著相关 ($P < 0.001$), 滇柏林持水量和浸泡时间的相关系数 (R) 为 0.8916 (表 3)。

2.2 凋落物的吸水速率

杜仲林地的凋落物吸水速率在浸泡后最大, 刺槐林地的凋落物和栎木林地的吸水速率次之, 滇柏林地凋落物吸水速率最小。浸泡在 0.5 h 时, 4 种林地杜仲、刺槐、栎木和滇柏吸水速率分别是 3.652 、 3.325 、 2.157 和 $150 \text{ g/(kg} \cdot \text{h)}$, 4 h 后下降到 548 、 434 、 308 和 $19 \text{ g/(kg} \cdot \text{h)}$, 并且此后继续缓慢下降。浸泡 24 h 后下降到 104 、 76 、 60 和 $3 \text{ g/(kg} \cdot \text{h)}$, 反映出 4 种林地凋落物吸水速率的差异性, 3 种阔叶林凋落物的吸水速率要远高于滇柏林地凋落物的持水速率。

对凋落物吸水速率与浸泡时间用幂函数进行拟

表 5 土壤密度及孔隙度

林分	土壤密度 /g cm ⁻³		非毛管孔隙度 /%		毛管孔隙度 /%		总孔隙度 /%	
	0~10 cm	10~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~10 cm	10~20 cm
柞木林	1.39	1.42	6.8	5.3	41.6	37.2	48.4	42.5
刺槐林	1.42	1.44	7.2	6.6	38.4	35.6	45.6	42.2
杜仲林	1.51	1.55	7.8	6.1	45.7	37.5	53.5	43.6
滇柏林	1.39	1.48	6.2	5.7	38.7	33.5	45.9	39.2

表 6 4种人工林的水源涵养功能 /t hm⁻²

林分	凋落物最大持水量	土壤饱和持水量			综合持水量
		0~10 cm	10~20 cm	合计	
柞木林	14.15	597.54	614.17	1211.36	1225.86
	(1.15)	(48.74)	(50.10)	(98.85)	(100)
刺槐林	6.10	450.42	462.22	912.64	918.74
	(0.66)	(49.03)	(50.31)	(99.34)	(100)
杜仲林	6.18	487.42	521.72	1009.14	1015.32
	(0.61)	(48.01)	(51.38)	(99.39)	(100)
滇柏林	0.87	262.77	236.41	499.18	500.05
	(0.18)	(52.55)	(47.27)	(99.82)	(100)

注: 括号内数据为百分比。

3 结 语

(1) 凋落物储量对凋落物的水源涵养功能具有重要作用, 凋落物储量越多, 持水能力越强, 其水源涵养功能越好。4种人工林凋落物干质量分别为柞木林 9.68 t/hm²、杜仲林 5.29 t/hm²、刺槐林 3.32 t/hm²、滇柏林 1.81 t/hm², 最大持水率依次分别为 146%、250%、183% 和 86%, 最大持水量依次分别为 14.15 t、6.18 t、6.10 t 和 0.87 t, 说明凋落物的持水能力主要取决于凋落物的干质量。凋落物持水量与浸泡时间、凋落物持水率呈对数方程 $W = ah(t) + b$ 变化, 凋落物吸水速率与浸泡时间呈反曲线关系 ($W_A = a \cdot t^b$), 以上关系均达显著水平 ($P < 0.001$)。

(2) 不同林地的表层土壤容质量在 1.39~1.55 g/cm³ 之间, 差异不大, 是由于造林时间短。不同人工林林地类型对土壤容质量的影响不甚明显。杜仲林具有较高的非毛管孔隙度, 说明杜仲林的表层土壤排水能力较好, 在降水较少情况下能有效吸收水分。4种人工林土壤饱和持水量依次为柞木林 > 杜仲林 > 刺槐林 > 滇柏林。

(3) 凋落物蒸发是森林水分耗损的途径之一, 由于凋落物蒸发难以观测和确定, 因此这方面的报道较少^[14]。凋落物蒸发通过改变土壤表层的温度和湿度进而影响植物生长, 特别是种子和幼苗的成活。实验选取凋落物饱和含水时相对自由水面蒸发率作为指标对 4种人工林进行研究, 结果表明滇柏林凋落物蒸发率 (80.41%) 高于其余 3种阔叶林。这与阎俊华等^[10]和吴鹏飞等^[11]的研究结果一致, 说明在相同环境下, 阔叶林凋落物水分较针叶林凋落物水分难损

失, 阔叶林凋落物比针叶林凋落物更有利于保持土壤水分。滇柏林的营建更有利于溶岩区的生态恢复, 但其凋落物储量较小且水源涵养功能较差, 与阎俊华等^[10]研究结果一致。因此, 就凋落物涵养水源功能而言, 滇柏纯林对溶岩区生态恢复的效果并不理想。

参考文献

- [1] Evrendilek F, Celik I, Kili S C Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest grassland and cropland in Turkey [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 59: 743-752.
- [2] 孙艳红, 张洪江, 程金花, 等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 107-109.
- [3] 朱金兆, 刘建军, 朱清科, 等. 森林凋落物层水文生态功能研究 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5): 30-34.
- [4] 薛立, 何跃君, 屈明, 等. 华南典型人工林凋落物的持水特性 [J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 415-421.
- [5] 王珠娜, 王晓光, 史玉虎, 等. 三峡库区秭归县退耕还林工程水土保持效益研究. 中国水土保持科学 [J]. 2007, 5(1): 68-72.
- [6] 宫渊波, 麻泽龙, 陈林武, 等. 嘉陵江上游低山暴雨区不同水土保持林结构模式水源涵养效益研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 28-32, 36.
- [7] 覃勇荣, 曾艳兰, 蒋光敏, 等. 不同植被恢复模式凋落物水分涵养能力比较研究——以桂西北喀斯特石漠化地区为例 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 179-184.
- [8] 朱守谦. 喀斯特森林生态研究 (III) [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003.
- [9] 张万儒, 徐本彤. 森林土壤定位研究方法. 北京: 中国林业出版社, 1986.
- [10] 阎俊华, 周国逸, 唐旭利, 等. 鼎湖山 3种演替群落凋落物及其水分特征对比研究 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 509-512.
- [11] 吴鹏飞, 朱波. 不同林龄段柞柏混交林生态系统的水源涵养功能 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(3): 94-101.

(责任编辑 周贤军)

