

三里庄水库上游水源涵养林不同林分枯落物水容量研究

刘培娟^{1,2}, 杨吉华¹, 李申安¹

(1. 山东农业大学林学院水土保持系, 山东 泰安 271018; 2. 诸城市水利水产局, 山东 诸城 262200)

摘 要:通过对诸城市三里庄水库上游的刺槐林、麻栎林、油松林、刺槐麻栎混交林等主要林分类型的枯落物现存量及其持水性能的研究, 总结出不同林分类型的枯落物的持水特征。结果表明枯落物的积蓄量为刺槐林> 刺槐麻栎混交林> 麻栎林> 油松林, 枯落物的最大持水量为刺槐林> 刺槐麻栎混交林> 麻栎林> 油松林, 枯落物的有效拦蓄量为刺槐林> 刺槐麻栎混交林> 麻栎林> 油松林, 研究结果还表明, 枯落物的粗糙度越大, 截留径流的能力也越强, 枯落物的水容量越大。
关键词: 枯落物层; 持水作用; 水容量
中图分类号: S714.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2007)01-0239-03

Study on Water Capacity of Litter in Different Forest Distribution of Sanlizhuang Reservoir

LIU Pei-juan^{1,2}, YANG Ji-hua¹, LI Shen-an¹

(1. Soil and Water Conservation Department of Forestry College, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018; 2. Zhucheng Water Resources and Aquatic Bureau, Zhucheng, Shandong 262200, China)

Abstract: The litter biomass and its water capacity are studied on the main forest types, *Robinia pseudoacacia* Linn forest, *Quercus acutissima* Carr forest, *Pinus tabulaeformis* Garr forest, *Robinia pseudoacacia* Linn and *Quercus acutissima* Carr forest etc in Sanlizhuang reservoir of Zhucheng City, the biomass max water capacity and decomposition rate are sorted on different forest types. The study result shows that litter amount is *Robinia pseudoacacia* Linn > *Robinia pseudoacacia* Linn and *Quercus acutissima* Carr > *Quercus acutissima* Carr > *Pinus tabulaeformis* Garr, the largest water-holding is *Robinia pseudoacacia* Linn > *Robinia pseudoacacia* Linn and *Quercus acutissima* Carr > *Quercus acutissima* Carr > *Pinus tabulaeformis* Garr, the water effective intercept capacity of the litter is *Robinia pseudoacacia* Linn > *Robinia pseudoacacia* Linn and *Quercus acutissima* Carr > *Quercus acutissima* Carr > *Pinus tabulaeformis* Garr, so the result shows that the more litter surface roughness is, the larger the water capacity is.
Key words: litterfall; water-holding ability; water capacity

枯落物层是森林结构中重要的组成部分, 是森林地表的一个重要覆盖面, 它可以避免雨滴直接击溅土壤, 防止土壤击溅侵蚀。由于增加土壤表面粗糙度, 从而降低地表径流流速, 过滤径流泥沙。枯落物层能促使地表径流转变为流速缓慢的枯落物层间流和层下流, 增加土壤入渗, 削减地表径流量, 对减少土壤侵蚀有重要作用, 形成森林水文效应的第二活动层。

林下枯落物层由林分植物落下的茎叶、枝条、芽、鳞片、花、果实、树皮等凋落物分解而成。在土壤形成过程中, 枯落物层是土壤有机质养分的重要来源。林地枯落物层一般可分为上、中、下三层。上层为未分解层, 在无人破坏的情况下, 它的厚度因树种、生长状况和气温、湿度不同而异; 中层为半分解层, 其有机残体已被分解, 但原形依然可辨; 下层为分解层, 它对增加土壤有机质, 改善土壤结构具有重要的作用。这一层疏松多孔, 通气和水分条件较好, 一般土壤有更大的孔隙率和持水力, 吸收和渗透降水的能力较大。因此, 枯落物层水容量的变化成为森林生态系统研究的重要内容。

为查明三里庄水库上游水源涵养林枯落物层的水容量

变化, 实测了刺槐林、麻栎林、油松林、刺槐麻栎混交林 4 种林分的枯落物分层厚度和枯落物现存量, 测定了枯落物最大持水量, 平均持水速度, 有效拦蓄量, 粗糙度等水文生态指标。从而综合评价各种林分类型的涵养水源, 保持水土及减少地表径流的作用, 为库区森林植被的建设、管理和森林类型的选择提供理论依据。

1 研究地区概况

试验地选在山区丘岭为主的三里庄水库上游小流域, 三里庄水库饮用水源地主要是由扶河与淇河流域和上游青墩水库倒漾河等流域组成, 控制流域面积 240 km², 其中上游青墩水库控制 102 km², 流域内山区占 35%, 丘陵占 60%, 局部平原占 5%, 整个流域呈扇形, 干流坡降为 2‰。气候属暖温带大陆性半湿润季风气候区, 多年平均气温为 18.5℃, 年平均无霜期 196 d, 多年平均降水量 758 mm, 75% 集中在 6~ 9 月份, 最大年降水量 1 303 mm, 多年平均径流深 254 mm, 植被属暖温带阔叶针叶树, 流域内无天然原生植被, 现有林木皆为次生状态天然和人工栽植林木, 主要有油松、侧柏、刺槐、麻栎等,

* 收稿日期: 2006-03-16
基金项目: 山东省水利厅项目“土石山区水土保持植被水文生态效应及优化配置技术的研究”
作者简介: 刘培娟(1978-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事林业生态工程方面的研究; 通讯作者: 杨吉华。

荒坡多为一年或多年生杂草。

2 试验材料与研究方法

2.1 试验材料

试验材料为三里庄水库上游的 10 年生刺槐林、麻栎林、油松林、刺槐麻栎混交林,其中刺槐林密度为 3 300 株/hm²,麻栎林密度 3 000 株/hm²,油松林密度 3 600 株/hm²,刺槐麻栎混交林密度 3 100 株/hm²(槐:栎为 1:2)。

2.2 研究方法

在三里庄水库上游选择具有代表性的林分,按不同立地条件划出 20 m×20 m 的标准地,在标准地内选出 3~5 个样方(每个样方 50 cm×50 cm),将样方内所有的枯枝落叶收入尼龙袋中(称自然湿重),进行浸水法测定。

2.2.1 枯落物的水容量的测定

采用浸水法测定枯落物的水容量,枯落物的最大持水量为枯落物浸水 24 h 后的水容量。

2.2.2 枯落物的平均持水速度测定

分别测定了 15 min、30 min、1 h、2 h、4 h、8 h、15 h、24 h 时间段内的枯落物的平均持水速度。

2.2.3 枯落物积蓄量的测定

在标准地内收取不同层次和不层厚度的林下枯落物,然后称其自然湿重、烘干重,记录未分解层的厚度、半分解层的厚度、分解层的厚度、计算枯落物的分解程度和现存量。

3 结果与分析

3.1 不同林分枯落物的持水作用研究

3.1.1 不同分解层的枯落物持水速度变化规律

不同林分枯落物分层厚度和枯落物持水速度测定结果见表 1 和表 2。

表 1 不同林分枯落物分层厚度及积蓄量

林分类型	枯落物分层厚度/cm					
	未分解层		半分解层和分解层		枯落物层厚度	
	积蓄量	厚度	积蓄量	厚度	积蓄量	厚度
	/cm	/(t·hm ⁻²)	/cm	/(t·hm ⁻²)	/cm	/(t·hm ⁻²)
刺槐林	1.49	2.30	3.00	10.50	4.49	12.80
麻栎林	1.80	3.80	3.50	6.80	5.30	10.60
油松林	1.30	2.90	2.00	6.00	3.30	8.90
刺槐麻栎混交林	1.55	2.80	3.15	8.00	4.70	10.80

林分枯落物层吸水作用的大小,取决于其本身的厚度和性质^[1]。由表 1 可知,阔叶林的枯落物层比针叶林枯落物层厚度大,积蓄量大。阔叶林中,麻栎林的枯落物厚度最大为 5.30 cm,但其积蓄量较小,仅为 10.60 t/hm²。这主要是由于麻栎的叶片较大,且叶片表面有一层蜡质层,枯落物分解较慢,未分解层在枯落物中占的比例较大,为 35.85%。刺槐林枯落物层的积蓄量最大,为 12.80 t/hm²,其次为刺槐麻栎混交林、麻栎林、油松林。表 2 不同林分各层次枯落物持水速度枯落物的持水速度与枯落物的性质和分解程度有关,还与枯落物的水容量有关,由表 2 可知,枯落物持水初期,持水速度大,在 0~15 min 吸水速率最快,随着时间的推移,持水速度逐渐降低,而持水量却在逐渐增加,24 h 后枯落物持水量达最大值,持水速度逐渐趋于零。0~15 min 比 0~30 min 枯落物平均持水速度大 1 倍左右。从各层持水速度来看,枯落物分解层的持水速度大于半分解层和未分解层。

3.1.2 不同分解层的枯落物持水量变化规律

图 1、图 2、图 3、图 4 为刺槐林、麻栎林、油松林、刺槐麻栎混交林每层枯落物的浸水时间与单位面积持水量过程线。

由图 1,刺槐林枯落物单位面积持水量,分解层持水量值在各时段远远大于另外两层,一般大 1 倍左右,持水量变幅为分解层在 0~15 min 最大,未分解层、分解层在 0~30 min 最大,以后相对稳定,到 24 h 达最大值。从各层次枯落物的平均持水速度来看,各林分分解层的平均持水速度皆大于半分解层和未分解层。在 0.25 h 内,刺槐林的枯落物平均持水速度最大,分解层和半分解层的持水速度分别为 4.66 kg/h 和 0.98 kg/h,其次是刺槐麻栎混交林、麻栎林、油松林。因此,林地枯落物的持水作用主要表现在 2 h 内,特别是 30 min 以内,所以枯落物的水源涵养作用主要表现在前 30 min 以内,这对减轻雨滴击溅侵蚀,减少地表径流,增加土壤入渗时间,提高水源涵养作用具有重要意义^[2]。

表 2 不同林分各层次枯落物持水速度

林分类型	枯落物层次	不同观测时段/h				枯落物平均持水速度/(g·h ⁻¹)			
		0.25	0.5	1	2	4	8	15	24
刺槐林	1	4.66	2.33	1.25	0.63	0.31	0.25	0.09	0.05
	2	0.98	0.57	0.31	0.17	0.09	0.07	0.04	0.01
	3	1.48	0.57	0.50	0.27	0.15	0.10	0.04	0.04
麻栎林	1	4.32	0.92	0.50	0.27	0.15	0.10	0.04	0.04
	2	0.80	0.50	0.27	0.14	0.07	0.05	0.02	0.01
	3	0.92	0.54	0.23	0.14	0.07	0.05	0.02	0.01
油松林	1	0.32	0.18	0.10	0.05	0.25	0.15	0.01	0.01
	2	0.40	0.20	0.10	0.06	0.03	0.25	0.01	0.01
	3	1.00	0.50	0.25	0.14	0.07	0.05	0.02	0.01
刺槐	1	4.42	0.93	0.50	0.20	0.10	0.15	0.02	0.04
麻栎混	2	0.26	0.50	0.02	0.08	0.03	0.02	0.01	0.01
交林	3	0.48	0.52	0.19	0.10	0.04	0.02	0.02	0.01

注:1 表示分解层,2 表示半分解层,3 表示未分解层。

3.1.3 不同分解层的枯落物最大持水量变化规律

在森林生态系统中,地表枯落物层对于水源涵养、养分供应、促进生物活动,加快能量转化,物质水量平衡和保持水土等方面具有重要作用。

由表 3 可以看出,刺槐林枯落物的最大持水量最大,为 3.59 mm,油松林内枯落物最大持水量最低,仅为 1.47 mm。该试验区区内各林分最大持水量的大小顺序为:刺槐林>刺槐麻栎混交林>麻栎林>油松林;最大持水率的大小顺序为刺槐林>刺槐麻栎混交林>麻栎林>油松林。总体来看,阔叶林枯落物的最大持水量大于针叶林。这是因为试验区内针叶林地的水分条件较差,林内枯落物层积蓄量较小,且枯落物层中未分解层占的比重较大。枯落物层最大截留量与其最大持水量接近。由表 3 可知,该试验区内,刺槐林内枯落物层截持降雨的能力最强,油松林最弱。

不同林分类型枯落物持水率的差异,是由于枯落物的组成成分不同,分解层和半分解层的厚度不同,不同厚度下的持水量是不同的。最大持水量可以反映枯落物在短时间的 1 次暴雨中可能最大的截持水量。因该区一般降雨历时短,故对于 1 次大暴雨的截水量而言,枯落物截留率是很小的,由此可见枯落物的截留能力是有限的^[3]。

3.2 不同林分类型枯落物水容量的研究

林分枯落物层是水土保持的第二作用层,是评价森林植被涵养水源功能的重要因素,枯落物饱和水容量取决于枯落物吸水率和单位面积枯落物数量,枯落物越多,吸水率越大,吸水 and 过滤地表径流的作用越强,吸收和减缓地表径流的冲刷,其水文作用越大。吸水率的大小可以反映水容量的大小,吸水率越大,水容量越大^[4]。

由表 4 可以看出,刺槐林枯落物的吸水率最大,为

261.5%, 因此, 其水容量最大。油松林枯落物的吸水率最小, 仅为 149.2%, 油松林枯落物的水容量最小。刺槐麻栎混交林枯落物的吸水率为 210.9%, 明显高于麻栎纯林枯落

物的吸水率, 这表明刺槐麻栎混交林的枯落物水容量要明显高于麻栎纯林, 具有较好的蓄水效果。由表 4 还可以看出, 阔叶林枯落物的蓄水效果要好于针叶林。

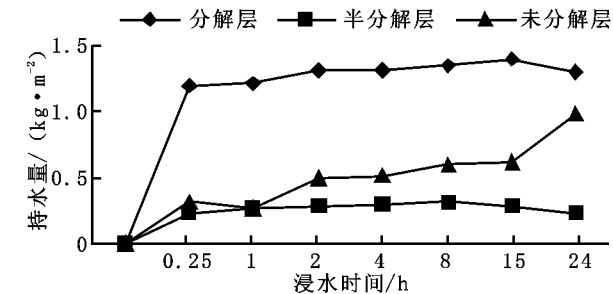


图 1 刺槐林持水过程线

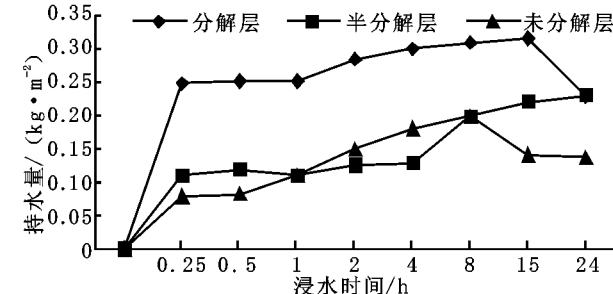


图 3 油松林枯落物持水过程

表 3 不同林分枯落物持水量对比表

林分类型	积蓄量/ (t·hm ⁻²)	最大持 水率/%	最大持 水量/mm
刺槐林	12.80	280	3.59
麻栎林	10.60	193	2.05
油松林	8.90	175	1.47
刺槐麻栎混交林	10.80	232	2.51

表 4 不同林分枯落物持水能力测定表

林分类型	枯落物	时间	烘干重	吸水量	吸水率
	湿重/kg	/h	/kg	/kg	/%
刺槐林	0.737	8	0.318	0.852	261.50
麻栎林	0.321	8	0.289	0.610	158.60
油松林	0.237	8	0.223	0.333	149.20
刺槐麻栎混交林	0.451	8	0.293	0.618	210.90

3.3 不同林分枯落物对降雨的有效拦蓄量研究

最大持水率一般只反应枯落物层持水能力的大小, 而不能反应对实际降水的拦截状况, 它不仅没有考虑到雨前枯落物层的自然含水量状况, 又不符合它对降雨的拦蓄量。据研究, 降雨达到 20~30 mm 以后, 不论各种林型, 枯落物层含水量高或低, 持水率约为最大持水率的 85%, 所以用最大持水率来估算枯落物层拦蓄降雨的能力偏高, 应按下面的公式和方法来计算^[5]。

$$W = (0.85R_m - R_0) \times M$$

式中: W ——有效拦蓄量 (t/hm^2); R_0 ——平均自然含水率 (%); R_m ——最大持水率 (%); M ——枯落物积蓄量 (t/hm^2)。

由表 5 可知, 在自然状态下, 刺槐林、麻栎林、油松林、刺槐麻栎混交林枯落物的有效拦蓄量分别为 38.9 t/hm^2 、15.6 t/hm^2 、14.9 t/hm^2 、15.8 t/hm^2 , 分别相当于 3.89 mm、1.56 mm、1.49 mm、1.58 mm 的降水, 因此刺槐林的有效拦蓄量最好, 试验区内各林分有效拦蓄量的大小顺序为刺槐林> 刺槐麻栎混交林> 麻栎林> 油松林。

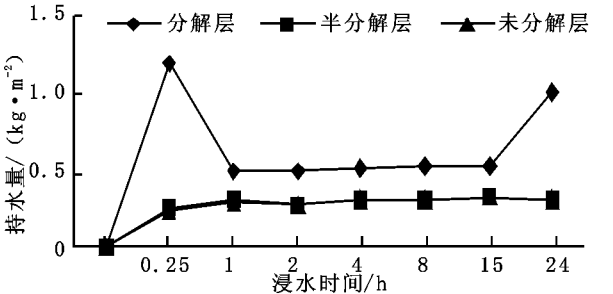


图 2 麻栎林枯落物持水过程线

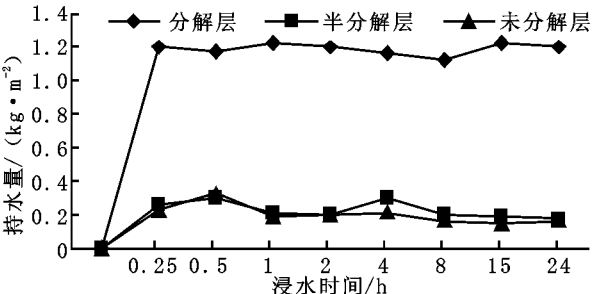


图 4 刺槐麻栎混交林枯落物持水过程线

表 5 枯落物层对降雨的有效拦蓄量

林分类型	积蓄量/ (t·hm ⁻²)	最大持 水率/%	最大拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	自然含 水率/%	有效拦 蓄率/%	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)
刺槐林	12.80	214.90	30.12	84.09	136.64	38.90
麻栎林	10.60	135.60	24.95	70.81	250.61	15.60
油松林	8.90	124.60	20.16	60.01	132.20	14.90
刺槐麻栎混交林	10.80	176.70	53.42	60.20	360.21	15.80

3.4 不同枯落物的粗糙度与水容量关系的研究

枯落物增加地表粗糙度, 从而增加水容量, 枯落物粗糙率反映坡面薄层水流所受到的阻力。枯落物的粗糙率系数与谢才 (Chezy) 公式中的谢才系数 C 值成反比, 根据公式 $n = 0.008Z^{0.455}$ (Z ——植被覆盖度; n ——糙率) 来计算不同林分枯落物的粗糙率系数。

植被覆盖度虽然不直接反映枯落物的多少, 但在此与枯落物有着密切联系。坡面的糙率系数随枯落物量的增加而升高, 试验表明, 枯落物量与糙率系数 n 值呈指数正相关^[5], 本文用植被覆盖度推求糙率系数, 结果见表 6。

表 6 不同林分枯落物的粗糙率

林分种类	植被覆盖度 Z /%	枯落物的粗糙率系数 n
刺槐林	42.420	0.2561
麻栎林	29.346	0.2286
油松林	28.310	0.2282
刺槐麻栎混交林	30.254	0.2382

由表 6 得出不同植被坡面糙率 n 值: 刺槐林为 0.256 1, 麻栎林为 0.228 6, 油松林为 0.228 2, 刺槐麻栎混交林为 0.238 2, 刺槐林的粗糙度最大, 油松林的最小, 其次为刺槐麻栎混交林、麻栎林。植被覆盖度越大, 糙率越大, 枯落物的糙率增加, 拦蓄地表径流的能力越强, 枯落物的持水能力越大。

不仅枯落物的数量及其性质影响糙率系数, 而且表土层厚度、土壤机械组成及土壤石砾含量、孔隙度等都影响糙率系数的大小。 n 值较大的地表, 其水分渗透性能也较好。

枫在黄土半干旱区生长所允许的土壤水分最大亏缺程度。心理念,确定元宝枫树种在该区适宜生长的 SWC 阈值为 11%~15%。

(4) 根据干旱半干旱区提高水分利用效率的林业管理核

参考文献:

[1] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 中国高等教育出版社, 2001. 85-183.

[2] 张光灿, 刘霞, 贺康宁, 等. 金矮生苹果叶片气体交换参数对土壤水分的响应[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 66-72.

[3] 许振株, 周广胜, 李晖. 羊草叶片气体交换参数对温度和土壤水分的响应[J]. 植物生态学报, 2004, 28(3): 300-304.

[4] 田晶会, 贺康宁, 王百田, 等. 黄土半干旱区侧柏气体交换和水分利用效率日变化研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 42-46.

[5] 田晶会, 贺康宁, 王百田, 等. 不同土壤水分下黄土高原侧柏生理生态特点分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 175-178, 183.

[6] 田晶会, 贺康宁, 王百田, 等. 黄土半干旱区侧柏蒸腾作用及其与环境因子的关系[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(3): 53-56.

[7] 顾振瑜, 胡景江, 文建雷, 等. 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.

[8] 文建雷, 刘志龙, 王姝清. 水分胁迫条件下元宝枫的光合特征及水分利用效率[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(2): 1-3.

[9] 王斌瑞. 晋西黄土高原主要树种凋萎湿度的研究[J]. 北京林业大学学报, 1988, 10(4): 17-23.

[10] 山仑. 旱地农业中有限水高效利用的研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(1): 8-13.

[11] Farquhar GD, Sharkey TD. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Ann Rev Plant Physiol, 1982, 33: 317-345.

[12] 许大全. 光合作用气孔限制分析中一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.

[13] Tezara W, Lawlor DW. Effects of water stress on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower[A]. Mathis P. Photosynthesis: from Light to Biosphere[M]. Hague: Kluwer Academy Publishers, 1995. 625-628.

[14] Kanedhi M, Kunitomo E, Inagaki N, et al. Water stress affects on ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and its relationship to photosynthesis in sunflower leaves[A]. Mathis P. Photosynthesis: from light to Biosphere[M]. Hague: Kluwer Academy Publishers, 1995: 597-600.

[15] 山仑, 陈培元. 干旱区农业的自然生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 1-17, 159-173.

[16] 陈玉民, 孙景生, 肖俊夫. 节水灌溉的土壤水分控制标准研究[J]. 灌溉排水, 1997, 16(1): 24-28.

[17] 王斌瑞, 王百田. 黄土高原径流林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996. 10-20.

(上接第 241 页)

4 结 论

(1) 枯落物的持水能力是整个森林生态系统水分循环中的重要一环,是反映枯落物层水文作用的一个重要指标,枯落物的持水量与其自身结构分解状况有关,不同林分类型、不同分解层次的枯落物持水量是 24 h>12 h>8 h>4 h>2 h>1h。由于不同林分内枯落物的积蓄量和分解程度不同,枯落物的持水速度和最大持水量也不同,持水速度的大小顺序为刺槐林>刺槐麻栎混交林>麻栎林>油松林,最大持水量的大小顺序为刺槐林>刺槐麻栎混交林>麻栎林>油松林,这说明刺槐林枯落物的持水性能最好。

(2) 林分内的枯落物积蓄量越大,吸水率越大,则该林分的饱和水容量越大,枯落物减少地表径流的作用就越强。试验区内各林分的吸水率大小顺序为刺槐林>刺槐麻栎混交林>麻栎林>油松林,由此看出,阔叶林枯落物的蓄水效果

要优于针叶林枯落物的蓄水效果。

(3) 不同林分枯落层的有效拦蓄量: 刺槐林>刺槐麻栎混交林>麻栎林>油松林,拦蓄量分别为: 38.9 t/hm²、15.8 t/hm²、15.6 t/hm²、14.9 t/hm²。这说明刺槐林有效拦蓄量最好。

(4) 不同生长状况的林下枯落物,粗糙度不同,水容量不同,通过对该区域枯落物粗糙率系数进行研究后结果表明: 枯落物的粗糙率越大,截留径流的能力也越强,枯落物的水容量越大。试验区各林分的粗糙率的大小顺序为刺槐林>刺槐麻栎混交林>麻栎林>油松林。这说明刺槐林的水容量最大,保持水土的作用最好。

上述研究结果说明,在三里庄水库林分类型中,刺槐林在涵养水源,保持水土,减少地表径流等各方面均优于油松林,其次为刺槐麻栎混交林、麻栎林,因此在库区植被的建设和绿化中,林分类型的选择和枯枝落叶的保护对于涵养水源、保持水土、减少洪峰流量具有重要的意义。

参考文献:

[1] 王佑民. 中国林地枯落物保持水土作用研究概况[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 108-112.

[2] 于志民, 王礼先. 水源涵养林效益研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999. 150-220.

[3] 于新晓, 于志民, 等. 水源保护林培育经营管理评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 89-128.

[4] 刘向东, 吴钦孝, 等. 黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(4): 8-15.

[5] 张洪江, 远藤泰造, 等. 几种林木枯落物对粗糙率系数 n 值的影响[J]. 水土保持学报, 1994, 8(4): 4-10.

[6] 吴钦孝, 赵鸿雁, 刘向东, 等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 23-28.

[7] 李德生, 刘文杉, 等. 窝铺山区森林植被水土保持效益及资源植物开发利用途径的研究[J]. 水土保持研究, 1994, 1(2): 96-109.

[8] 杨吉华, 张永涛, 李红云. 不同林分枯落物的持水性能及对表层土壤理化性状的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 141-144.