

多因素干扰下森林公园枯落物水文效应

郑森, 郭毅, 辛如洁, 李庆华

(山西林业职业技术学院, 太原 030009)

摘要: 为探究森林公园植被的水源涵养能力, 为森林公园植被配置和经营管理提供依据, 研究选取天龙山森林公园6种林分(油松、山杨、刺槐、油松—侧柏混交林、侧柏—油松—杏树混交和灌木林)为研究对象, 通过测定林下枯落物厚度、蓄积量、持水性能和干扰度等指标, 研究不同林分类型枯落物水文效应。结果表明: (1) 所有林分枯落物干扰度范围为无到中度, 厚度范围为0.57~2.63 cm, 山杨最厚, 侧柏—油松—杏混交林最薄; 蓄积量范围为7.20~16.30 t/hm², 油松—侧柏混交林最大, 侧柏—油松—杏混交林最小。 (2) 6种林分除山杨林以外, 半分解层最大持水量均大于未分解层持水量, 其中油松—侧柏最大, 山杨最小; 未分解层最大持水率均大于半分解层, 刺槐最大, 灌木林最小。枯落物的总最大持水量为20.02~27.90 t/hm², 总最大持水率为187.40%~277.89%, 针阔混交林的持水率较高。 (3) 山杨有效拦蓄量最大, 为15.05 t/hm², 而油松最小, 为12.33 t/hm²; 侧柏—油松—杏混交林的拦蓄率最大; (4) 枯落物持水量、持水率与时间分别为对数和幂函数关系, 均在泡水2 h达到极值。综合对比6种林分, 轻度干扰的山杨水文效益最优, 中度干扰的油松纯林、油松—侧柏混交林最差; 阔叶树种水文效应较优于针叶树种, 针阔混交优于纯林。研究结果可为森林公园植被管理和水土保持效益评价提供参考依据。

关键词: 森林公园; 枯落物; 水文效益; 干扰度

中图分类号: S715.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2022)03-0115-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.03.017

Hydrological Effects of Litter in Forest Parks Under Multi

ZHENG Miao, GUO Yi, XIN Rujie, LI Qinghua

(Shanxi Forestry Vocational and Technical College, Taiyuan 030009)

Abstract: To explore the water conservation capacity of vegetation in the forest park and provide a reference for vegetation configuration and management, six typical stands in Tianlong Mountain Forest Park were selected to investigate and analyze the litter thickness, accumulation, water holding and other indicators inside the forest. Soaking methods were used to measure the hydrological effect of litter. (1) The interference and thickness of litter ranged from none to moderate and from 0.57 to 2.63 cm, respectively, among which, *Populus davidiana* gave the largest, and the mixed forest of *Platycladus orientalis*-*Pinus tabulaeformis*-*Armeniaca sibirica* gave the smallest. The accumulation range was 7.20~16.30 t/hm², among which, *Pinus tabulaeformis*-*Platycladus orientalis* mixed forest was the largest, and *Platycladus orientalis*-*Pinus tabulaeformis*-*Armeniaca sibirica* mixed forest was the smallest. (2) Except for *Populus davidiana*, the maximum water holding capacity of the semi-decomposed layer was greater than that of the undecomposed layer, among which, *Pinus tabulaeformis*-*Platycladus orientalis* was the largest and *Platycladus orientalis* was the smallest. The maximum water holding rate of undecomposed layer was larger than that of semi-decomposed layer, the largest was found under *Robinia pseudoacacia* and the smallest under shrub. The range of maximum water holding capacity was 20.02~27.90 t/hm², and the range of maximum water holding rate was 187.40%~277.89%. The water holding rates of coniferous and broad-leaved mixed forest were comparatively higher. (3) The maximum effective storage capacity of tree species was found in *Populus davidiana* with its value of 15.05 t/hm²; the minimum was *Pinus tabulaeformis* of 12.33 t/hm². *Platycladus orientalis*-

收稿日期: 2021-11-02

资助项目: 国家林业局职业教育项目(LYZJ2018YB009); 天龙山森林公园不同景观绿地枯落物水文生态效应研究院级项目(LY20210201)

第一作者: 郑森(1978—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事园林林业景观规划设计、工程与水土保持研究。E-mail: 112972426@qq.com

通信作者: 郑森(1978—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事园林林业景观规划设计、工程与水土保持研究。E-mail: 112972426@qq.com

Pinus tabuliformis-Armeniaca sibirica mixed forest had the maximum storage rate. (4) The relationships of litter water holding capacity and water holding rate with time could be fitted by logarithmic and power functions, respectively. Both of them reached the peak values within two hours of soaking in water. Based on the comprehensive comparison of six forests, light disturbed *Populus davidiana* had the best hydrological benefits; oppositely, moderate disturbed *Pinus tabuliformis-Platycladus orientalis* mixed forests had the worst. The broad-leaved species had better hydrological effects than coniferous species, and the mixed coniferous and broad-leaved species were better than a single species. These consequences can provide references for the vegetation configuration and hydrological benefit evaluation of forest parks.

Keywords: forest park; litter; hydrological benefits; hemeroby

森林在陆地生态系统中占据重要的地位,其结构复杂、功能多样,在拦蓄降水、调节径流、改善水环境、调节小气候等方面发挥关键作用^[1-3]。其中,森林水文包括森林对降雨的拦截、蒸腾、蒸发等一系列过程,是陆地水文循环的一个重要环节^[4-6]。而在森林水文效应中,林下枯落物占据极其重要的地位,能有效减小雨滴对地面的冲击。同时,枯落物以其强大的蓄水能力减小地表径流、促进地下径流形成、降低林内水分蒸发、改善土壤理化性质,是森林有效发挥水土保持和水源涵养功能的重要环节^[7-10]。

森林内枯落物水文效应受多因素影响,如林分类型、林龄、气候、累积厚度、干扰等,其中人为活动干扰对枯落物影响尤为突出。森林干扰包括间伐、修枝、割灌、除草、枯落物收集、踩踏等一系列活动。不同状况的干扰对森林功能发挥影响较大。森林公园是以原有人工林或者天然林为主构建的公园,是森林的一种表现形式。由于其与城市建设关系密切,通常具有一个或者多个生态系统,对调节和改善城市生态环境有重要积极作用。由于其承担观光旅游功能,导致公园内的森林受人为活动干扰较为严重,林内生态环境受到不同程度干扰,其中林下枯落物和土壤所受影响尤为突出。如公园管理对枯落物的抚育、清扫、灌溉、游客踩踏等,造成枯落物数量减少,林地土壤质地变化也间接影响枯落物的吸水过程^[11-14]。目前对森林公园枯落物水文效益研究较少,已有学者^[15]针对枯落物蓄积量和土壤蓄水进行研究,缺乏将人为干扰因素纳入影响枯落物水文效益的环节。本研究将干扰度作为影响枯落物功能效益发挥的因素,为探究在不同干扰情况下,林内枯落物的水文效益对园内森林水土保持功能功效的影响,深入了解森林公园的水文效应和生态环境状况,为森林公园的高效管理和水文循环过程提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西天龙山国家森林公园,海拔 700~

1 500 m,属于暖温带半干旱大陆性季风气候,四季分明,年均降水量约 431.2 mm,主要集中于夏季,占年均降水量的 80%以上;多年平均最高气温 29.3℃,最低气温 8.5℃,分别出现在 7 月和 1 月。土壤以沙壤土为主,质地粗糙,土层较薄,平均 15 cm 左右。研究区植被丰富,乔木树种主要有油松(*Pinus tabuliformis* Carr.)、白皮松(*Pinus bungeana* Zucc. et Endl.)和侧柏(*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco.)、灌木有毛榛(*Corylus mandshurica* Maxim.)、黄刺玫(*Rosa xanthina* Lindl.)、荆条(*Vitex negundo* Linn. var. *heterophylla* (Franch.) Rehd.)等,草本主要有铁杆蒿(*Ligusticum sinense* Oliv.)、鼠李(*Rhamnus davurica* Pall.)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 选择研究区 6 种主要林分类型进行调查,每种林分设置 2 个 20 m×20 m 调查样方,共调查 12 块样方。林分类型为:(I)油松纯林 *Pinus tabuliformis* Carr.、(II)山杨纯林 *Populus davidiana*、(III)刺槐纯林 *Robinia pseudoacacia* Linn.、(IV)油松—侧柏混交林 *Pinus tabuliformis*—*Platycladus orientalis*、(V)侧柏—油松—杏树混交 *Platycladus orientalis*—*Pinus tabuliformis*—*Armeniaca sibirica* 和 (VI)灌木林 Shrubbery。于 2021 年 7—8 月调查,样地内基础参数和指标:海拔、经纬度、坡度、乔木种类、胸径、树高、灌木种类、草本种类以及枯落物、土壤等相关指标。样地基本信息见表 1。

1.2.2 干扰度确定 以调查样地指标(林分结构、地形、海拔等)、踩踏、人工设施、道路距离等指标赋值并设置权重。

$$S = \sum_{r=1}^n (W_1 x_1 + W_2 x_2 \cdots W_n x_n) \quad (1)$$

式中: S 为干扰度值,范围 0~1; W_n 为各指标权重; x_n 为指标标准化值,范围 0~1。

对干扰度值划分等级:无干扰($0 < S < 0.3$)、轻度干扰($0.3 < S < 0.5$)、中度干扰($0.5 < S < 0.7$)、强度干扰

($0.7 < S < 1.0$),经计算 6 种林分干扰程度见表 1。

1.2.3 枯落物调查 在每块样地选取 3 个 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 的小样方,去除草本,判别未分解和半分解层,测量厚度,分别收集到自封袋称重,带回实验室烘干测定自然含水量,计算蓄积量。

$$W_1 = M_1 - M_0 \tag{2}$$

式中: W_1 为枯落物自然含水量(g); M_1 为鲜重(g); M_0 为烘干后的重量(g)。

表 1 样地基本信息

样地	地理坐标	海拔/m	平均胸径/cm	平均树高/m	林龄/a	林分密度/(株·hm ⁻²)	干扰状况	干扰度
I	37°44′33″N,112°22′47″E	1459.26	22.1	16.5	35	1400	冲击沟	中度
II	37°44′29″N,112°22′12″E	1232.79	32.8	17.6	28	950	小溪旁	轻度
III	37°44′24″N,112°22′11″E	1235.20	16.4	15.8	27	1360	无	无
IV	37°44′12″N,112°22′41″E	1393.41	11.5	14.6	24	1230	踩踏	中度
V	37°44′14″N,112°22′43″E	1406.85	20.5	17.2	28	860	道路边	轻度
VI	37°44′57″N,112°22′41″E	1223.34	—	3.5	—	—	道路边	轻度

枯落物持水特性采用浸泡法测定。将烘干后的枯落物浸入水中,分别在 0.25,0.5,1,2,4,8,12,24 h 后称重,称量每个时段 2 层枯落物的吸水状况,计算枯落物单位面积的吸水速率、最大持水量、最大拦蓄量和有效拦蓄量。

枯落物含水量和持水率计算:

$$W_h = M_t - M_0 \tag{3}$$
$$R_h = \frac{M_t - M_0}{M_0} \times 100\% \tag{4}$$

式中: W_h 为枯落物持水量(g); R_h 为枯落物持水率(%); M_t 为浸水 t 小时后枯落物的重量(g); M_0 为枯落物烘干的干重(g)。

枯落物最大拦蓄量和有效拦蓄量计算:

$$W_m = (R_{24} - R_0) \times M_{\text{蓄积}} \tag{5}$$
$$W_{\text{有效}} = (0.85R_{24} - R_0) \times M_{\text{蓄积}} \tag{6}$$

式中: W_m 为枯落物最大拦蓄量(t/hm^2); $W_{\text{有效}}$ 为枯落物有效拦蓄量(t/hm^2); R_{24} 为枯落物最大持水率(%); R_0 为枯落物自然含水率(%); $M_{\text{蓄积}}$ 为枯落物蓄积量(t/hm^2);0.85 为有效拦蓄系数。

2 结果与分析

2.1 枯落物蓄积量差异

枯落物蓄积量受林分类型、林龄、气候、土壤、分

解速度等多种因素影响,尤其不同树种枯落物蓄积量差异较大。由表 2 可知,6 种林分类型枯落物厚度依次为 $\text{II} > \text{IV} > \text{I} > \text{III} > \text{VI} > \text{V}$,其中厚度最大的山杨枯落物厚度为 2.63 cm,侧柏—油松—杏树混交林最薄为 0.57 cm。从枯落物分解度来看,山杨和侧柏—油松—杏树混交林的未分解层厚度大于半分解层,其他 4 种林分均显示半分解层厚度大于未分解层厚度。6 种林分枯落物蓄积量大小依次为 $\text{IV} > \text{I} > \text{III} > \text{II} > \text{VI} > \text{V}$,油松—侧柏混交林蓄积量最大,为 $16.30\text{ t}/\text{hm}^2$,其中,未分解层蓄积量 $3.59\text{ t}/\text{hm}^2$,占总量 22.02%,半分解层蓄积量为 $12.71\text{ t}/\text{hm}^2$,占总量 77.98%;蓄积量最小的是侧柏—油松—杏树混交林,总蓄积量为 $7.20\text{ t}/\text{hm}^2$,其中未分解层蓄积量,为 $2.62\text{ t}/\text{hm}^2$,占总蓄积量的 26.39%,半分解层蓄积量为 $4.58\text{ t}/\text{hm}^2$,占总量 63.61%。半分解层蓄积量油松、刺槐与油松侧柏混交林之间无显著差异($P < 0.05$),山杨、灌木林与侧柏—油松—杏树混交林无显著差异($P < 0.05$);未分解层油松、刺槐、油松侧柏混交林、侧柏—油松—杏树混交林、灌木林之间无显著差异($P < 0.05$),山杨、侧柏—油松—杏树混交林、灌木林之间差异不显著($P < 0.05$)。

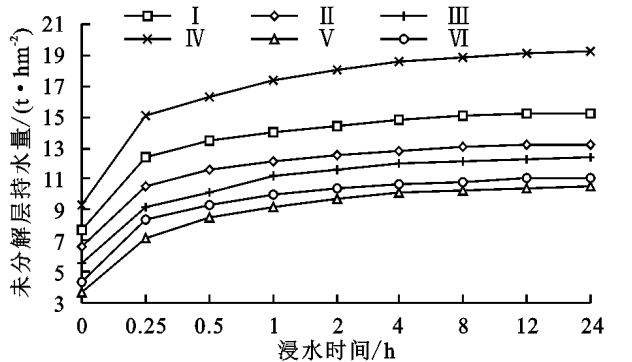
表 2 枯落物蓄积量

林分类型	未分解层			半分解层			总蓄积量	
	厚度/cm	蓄积量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	比例/%	厚度/cm	蓄积量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	比例/%	厚度/cm	蓄积量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
I	0.90	4.07a	30.28	0.93	9.37a	69.72	1.83	13.44
II	2.07	7.12b	64.20	0.57	3.97b	35.80	2.63	11.09
III	0.37	2.43a	20.20	0.60	9.60a	79.80	0.97	12.03
IV	0.80	3.59ab	22.02	1.30	12.71a	77.98	2.10	16.30
V	0.32	2.62b	26.39	0.25	4.58ab	63.61	0.57	7.20
VI	0.30	3.56b	38.03	0.40	5.79ab	61.97	0.70	9.36

注:同列不同小写字母表示不同林分类型间差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.2 枯落物持水过程

枯落物的持水能力与枯落物种类有密切关系,不同林分在不同时段吸水状况有一定差异性。由图 1 可知,未分解层和半分解层的持水量与浸水时间呈幂指数相关关系,随泡水时间增长,枯落物持水量不断增大,在 1 h 后增长速率减缓,最后趋于稳定状态,持水量达最大值。6 种林分各层枯落物持水量与枯落



物蓄积量密切相关关系,蓄积量越大,持水量越大,未分解层和半分解层一致规律;6 种林分的未分解层中,油松纯林持水量和吸水速率均为最大,远高于其他 5 种林分;刺槐纯林持水量最小,0.25 h 吸水速率达高,2 h 后开始趋于稳定。半分解层中,油松侧柏混交林分的持水量最佳,其次是刺槐纯林,最差是杨树纯林。

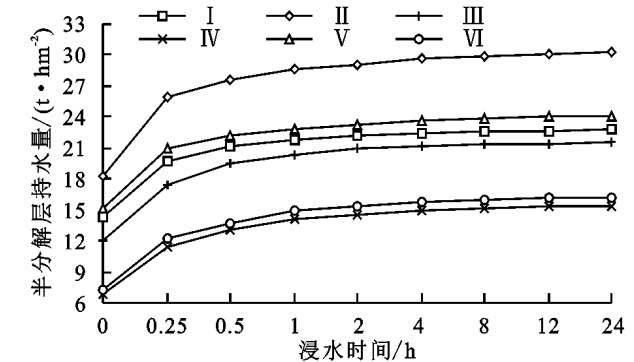


图 1 6 种林分枯落物持水量与浸泡时间过程曲线

枯落物的吸水速率能反映森林对短时强降水的拦蓄能力,是森林水源涵养、水土保持的一项重要指标。由图 2 可知,在 0~2 h,6 种林分未分解层和半分解层吸水速率最大,且呈不断下降趋势,2~24 h 吸水速率逐渐趋于稳定,最后达到最大吸水量。未分解层吸水速率大小依次为 V>III>I>IV>VI>II,其中油松与油松一侧柏混交林吸水速率差异不大;半

分解层中,灌木混交林吸水速率最大,其次为山杨纯林,吸水速率最小为油松侧柏混交林。6 种林分持水速率差异较大,在 0.25,0.5 h,未分解层侧柏—油松—杏树混交林吸水速率分别为 8.79,5.09 t/(hm²·h),山杨纯林为 2.99,1.80 t/(hm²·h);半分解层灌木混交林在 0.25,0.5 h 吸水速率为 8.01,4.74 t/(hm²·h),油松侧柏混交林为 3.42,1.95 t/(hm²·h)。

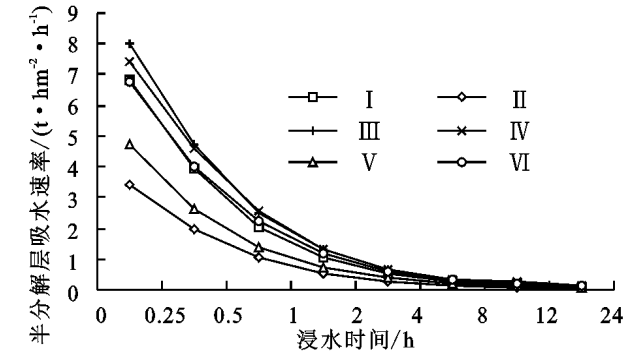
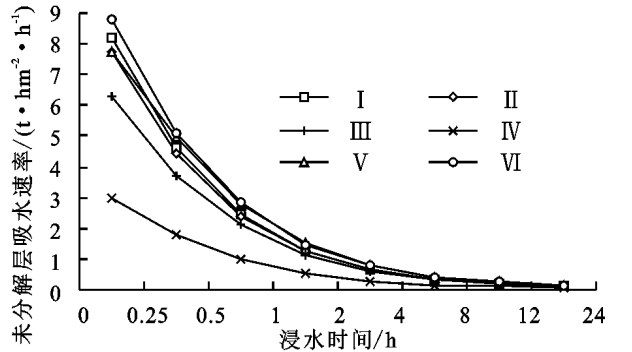


图 2 枯落物吸水速率与浸泡时间过程曲线

对枯落物持水量、持水速率与浸泡时间进行拟合,表明持水量与浸泡时间呈对数函数关系,持水率与浸泡时间呈幂指数函数关系(表 3)

2.3 枯落物持水特性差异

枯落物的持水能力受林分组成、分解度、含水量以及厚度等因素影响。由图 1 可知,6 种林分最大持水量有一定差异,未分解层最大持水量依次为 II>I>IV>VI>V>III,最大持水量范围在 8.04~12.12 t/hm²,持水率大小依次为 III>V>I>IV>VI>II,其中刺槐纯林最大持水率最大,为 330%,其次是侧柏—油松—杏树混交林(323%),最小为山杨纯林,为 170%;未

分解层油松与山杨最大持水量无显著差异($P<0.05$),其他 4 种林分之间无显著差异($P<0.05$)。由图 3 可知,半分解层最大持水量大小依次为 IV>VI>III>I>V>II,其中持水量最大是油松一侧柏混交林,为 17.53 t/hm²,最小为 11.42 t/hm²。半分解层最大持水率与未分解层差异较大,排序为 II>VI>V>III>I>IV,吸水速率范围在 138%~288%,整体波动范围较大;半分解层中,油松、刺槐、灌木林之间无显著差异($P<0.05$),山杨与侧柏—油松—杏混交林之间无显著差异($P<0.05$),刺槐和油松—一侧柏混交林无显著差异($P<0.05$)。

表 3 枯落物持水量、持水速率与浸泡时间关系

林分类型	层次	持水量(Q)与浸泡时间(t)关系		吸水速率(V)与浸泡时间(t)关系	
		关系式	R ²	关系式	R ²
I	未分解层	$Q=3.15\ln t+9.13$	0.883	$V=14.60t^{-2.057}$	0.924
	半分解层	$Q=3.48\ln t+16.14$	0.912	$V=12.34t^{-2.076}$	0.921
II	未分解层	$Q=4.22\ln t+10.88$	0.918	$V=5.35t^{-1.951}$	0.913
	半分解层	$Q=3.74\ln t+8.05$	0.922	$V=13.61t^{-1.991}$	0.911
III	未分解层	$Q=2.99\ln t+4.56$	0.936	$V=14.24t^{-1.943}$	0.906
	半分解层	$Q=3.66\ln t+17.01$	0.864	$V=8.40t^{-2.081}$	0.925
IV	未分解层	$Q=2.77\ln t+7.82$	0.904	$V=13.85t^{-2.040}$	0.921
	半分解层	$Q=4.92\ln t+20.73$	0.865	$V=6.11t^{-2.053}$	0.922
V	未分解层	$Q=2.85\ln t+5.48$	0.900	$V=15.68t^{-2.011}$	0.919
	半分解层	$Q=3.85\ln t+8.70$	0.904	$V=12.28t^{-2.004}$	0.913
VI	未分解层	$Q=2.98\ln t+6.50$	0.939	$V=11.25t^{-1.973}$	0.913
	半分解层	$Q=4.11\ln t+13.65$	0.890	$V=14.622t^{-2.057}$	0.918

2.4 枯落物拦蓄力分析

拦蓄量直接体现枯落物的水源涵养能力,与林分种类、枯落物厚度、湿度等有密切联系。最大拦蓄量是枯落物吸水极限值,但在实际中枯落物的稳定持水量为最大拦蓄量的 85%,也就是有效持水量。由图 4 可知,本研究中 6 种林分总最大拦蓄量依次为山杨(18.57 t/hm²)>油松—侧柏(18.52 t/hm²)>灌木林(16.48 t/hm²)>油松(16.03 t/hm²)>刺槐(15.77 t/hm²)>侧柏—油松—杏(15.70 t/hm²),各林分总最大拦蓄量差异不大;6 种林分总有效拦蓄量规律与最大拦蓄量规律有一定的相似性,大小依次为山杨(15.04 t/hm²)>油松—侧柏(14.44 t/hm²)>灌木林

(12.78 t/hm²)>侧柏—油松—杏(12.75 t/hm²)>刺槐(12.39 t/hm²)>油松(12.33 t/hm²)。总最大拦蓄量和有效拦蓄量中,山杨与其他 5 种林分之间存在显著差异,其他 5 种林分之间均无显著差异($P<0.05$)。拦蓄率可以反映林分枯落物吸水力,与林分种类有直接联系。本研究中,最大拦蓄率最高为侧柏—油松—杏混交林,为 455.31%,其次为刺槐林(374.16%)、灌木林(358.11%)、山杨林(357.06%)、最小为油松林和油松—侧柏混交林,分别为 276.71%,276.72%;有效拦蓄率大小依次为侧柏—油松—杏(369.01%)>刺槐(301.94%)>山杨(288.37%)>灌木林(280.11%)>油松—侧柏(215.69%)>油松(213.88%)。最大拦蓄率和有效拦蓄率中,油松与油松—侧柏混交林之间无显著差异($P<0.05$),山杨、刺槐与灌木林之间无显著差异($P<0.05$),刺槐与侧柏—油松—杏混交林之间无显著差异($P<0.05$)。

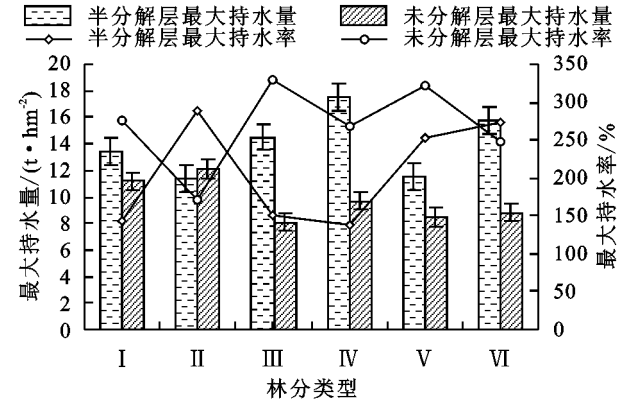
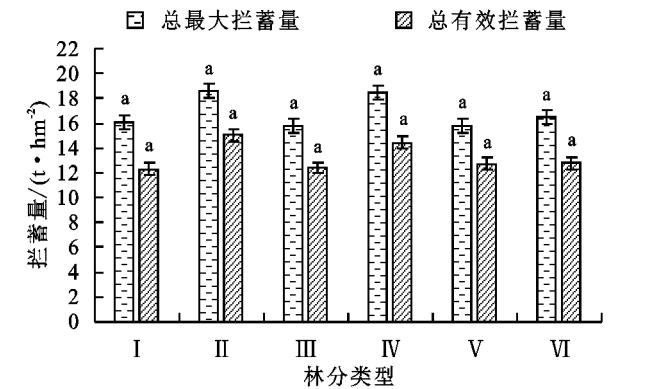


图 3 6 种林分最大持水量和持水率

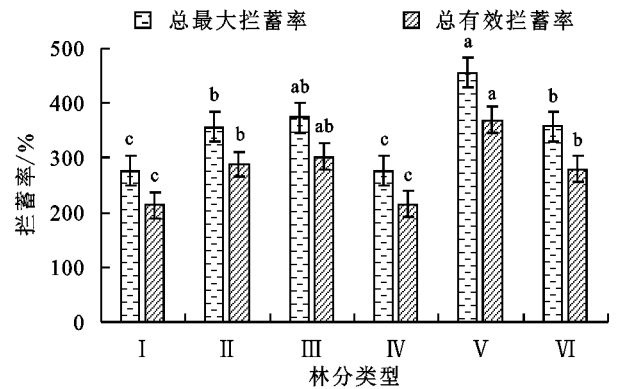


图 4 枯落物拦蓄量和拦蓄率

3 讨论

3.1 枯落物层厚度和蓄积量

枯落物的蓄积量受林分类型和结构、降水、温度、累积时间、外界干扰等多种因素影响^[16]。本研究中 6 种林分干扰度分布在无干扰到中度干扰之间。枯落物未分解层厚度最大为山杨纯林,最小为灌木林,山杨树叶较大,形成枯落物孔隙较大,相对比较疏

松^[17],二者均为轻度干扰(0.3~0.5);研究区灌木林大多属于自然更新,密度较小,枯落物层分解速度较快,灌木林在路边,有轻度人为干扰。未分解层中,油松—侧柏混交林厚度最大、受踩踏的中度干扰,侧柏—油松—杏混交林厚度最小、受轻度干扰,说明一方面踩踏后油松—侧柏混交林枯落物层分解速度较慢,另一方面针阔树种混交的枯落物层分解速度较快。6

种林分枯落物总厚度来看,侧柏—油松—杏树混交林最小,只有 0.57 cm,说明在针阔混交林种,枯落物分解和循环速度最快,这与杨寒月等^[18]、冯楷斌等^[19]研究结果一致。一般来说,枯落物厚度与蓄积量呈正比关系,但在实际情况中,枯落物厚度受其成分、堆积状态和干扰程度影响较大^[19]。此外,本研究的 6 种林分中,枯落物总厚度最大为山杨,蓄积量最大为油松—侧柏混交林,最小为针阔混交林(侧柏—油松—杏),表明针叶林的枯落物木质纤维含量较高,分解速度较慢,林内容易形成较厚的枯落物层。

3.2 枯落物持水特性

6 种林分除山杨林以外,半分解层最大持水量均大于未分解层持水量,其中油松—侧柏最大,山杨最小;未分解层最大持水率均大于半分解层,刺槐最大,灌木林最小,山杨林在小溪旁,枯落物长期受河水浸泡,形成一定差异。6 种林分枯落物总最大持水量大小依次为油松—侧柏(27.90 t/hm^2)>油松(24.65 t/hm^2)>灌木林(24.61 t/hm^2)>山杨(23.54 t/hm^2)>刺槐(22.54 t/hm^2)>侧柏—油松—杏(20.02 t/hm^2),主要是油松—侧柏混交林和油松林分受到冲击和踩踏等干扰较多,且二者蓄积量较大,造成其持水拦蓄能力相对其他林分较强。各林分总最大持水率最大为侧柏—油松—杏树混交林(277.89%),其次是灌木林(263.03%)、山杨林(212.27%),最小为刺槐林(187.40%),侧柏—油松—杏混交林平均林龄较小,林分距离道路较近,枯落物层相对干燥,持水性能较强,也说明混交林水源涵养能力较好^[20]。6 种林分持水速率中,总体以混交林和阔叶树种瞬时吸水速率较大,针叶树种较慢,这与林分类型有直接关系,与刘斌等^[21]、魏强等^[7]研究结果一致。枯落物 2 层持水量与浸泡时间呈对数函数关系,持水率与泡水时间呈幂函数关系,这也与马晓至等^[22]对枯落物吸水特性研究结果一致。

3.3 枯落物水源涵养力

枯落物的拦蓄量可以直接反映枯落物水源涵养能力,最大拦蓄量是枯落物浸泡在静止水中的最大含水量,但实际降水过程中,有效拦蓄量是真实体现某一林分枯落物的水源涵养效果^[23]。本研究 6 种林分中,山杨林分的有效拦蓄量最大(15.04 t/hm^2),最小为油松林(12.33 t/hm^2),这可能由于山杨林大多位于研究区海拔较低的坡下位置,林下枯落物累积较厚,且阔叶树种枯落物吸水性能强^[16]。研究区属于自然保护,区域内人为干扰较为明显,且研究区部分石质山区,坡度较陡,对一些针叶纯林林下枯落物容

易受降雨冲刷,形成枯落物在坡上、坡下厚度差异较大,水源涵养和水土保持效果较差,本研究区中油松纯林、刺槐纯林这种现象尤为明显,造成其拦蓄量和拦蓄率均较低的原因。

4 结 论

(1)天龙山森林公园内 6 种林分枯落物厚度因其干扰度不同有明显的差异,枯落物层最厚为山杨林,蓄积量最大为油松—侧柏混交林;最薄为侧柏—油松—杏树混交林,其蓄积也为最小。

(2)6 种林分枯落物半分解层最大持水量均大于未分解层持水量,总最大持水量为油松—侧柏,侧柏—油松—杏树混交林总持水量最小,枯落物吸水速度均在 2 h 达最高。

(3)6 种林分有效拦蓄量也受到较为明显的人为干扰,最大为山杨,油松最小,其中灌木林、侧柏—油松—杏树混交林和刺槐最大拦蓄差异不大。侧柏—油松—杏树混交林的有效拦蓄率最大,最小为油松—侧柏和油松,阔叶树种有效拦蓄能力大于针叶树种。

参考文献:

- [1] 周佳雯,高吉喜,高志球,等.森林生态系统水源涵养服务功能解析[J].生态学报,2018,38(5):1679-1686.
- [2] 龚诗涵,肖洋,郑华,等.中国生态系统水源涵养空间特征及其影响因素[J].生态学报,2017,37(7):2455-2462.
- [3] 梁文俊,魏曦,赵伟文,等.关帝山不同林分结构华北落叶松林枯落物水文效应[J].水土保持学报,2021,35(2):324-329,337.
- [4] 王忠禹.黄土丘陵区典型植被枯落物分布特征及其水文效应[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [5] 杨家慧,谭伟,卯光宪,等.黔中不同龄组柳杉人工林枯落物水源涵养能力综合评价[J].水土保持学报,2020,34(2):296-301,308.
- [6] 李阳,万福绪.黄浦江中游 5 种典型林分枯落物和土壤水源涵养能力研究[J].水土保持学报,2019,33(2):264-271.
- [7] 魏强,凌雷,张广忠,等.甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性[J].应用生态学报,2011,22(10):2589-2598.
- [8] 刘斌,鲁绍伟,李少宁,等.北京西山 6 种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2015,29(4):73-78,137.
- [9] 刘京晶,马岚,薛孟君,等.不同处理下油松枯落物减流减沙效应试验研究[J].水土保持学报,2019,33(4):126-132.
- [10] 王美莲,王飞,姚晓娟,等.不同林龄兴安落叶松枯落物及土壤水文效应研究[J].生态环境学报,2015,24(6):925-931.
- [11] 朱芳,白卓灵.旅游干扰对鄱阳湖国家湿地公园植被及土壤特性的影响[J].水土保持研究,2015,22(3):33-39.

[12] 张瑾.旅游干扰对重庆市黄水国家森林公园枯落物及土壤蓄水能力的影响[J].水土保持通报,2020,40(6):29-35.

[13] 王东丽,郝可欣,梁潇洒,等.干扰对固沙樟子松林凋落物特征及持水性的影响[J].浙江农林大学学报,2019,36(6):1125-1133.

[14] 杜雪,王海燕,耿琦,等.云冷杉针阔混交林枯落物持水性能[J].水土保持学报,2021,35(2):361-368.

[15] 杨霞,陈丽华,康影丽,等.辽东低山区 5 种典型水源涵养林枯落物持水特性[J].生态学杂志,2019,38(9):2662-2670.

[16] 赵鹏,马佳明,李艳茹,等.太行山典型区域不同林分类型枯落物水文效应[J].水土保持学报,2020,34(5):176-185.

[17] 马佳明,赵鹏,刘雪莹,等.崇陵流域不同林分类型枯落物水文效应研究[J].生态环境学报,2021,30(4):691-699.

[18] 杨寒月,张光辉,张宝军.黄土丘陵区沟坡典型植物群落枯落物蓄积量及其持水性能[J].中国水土保持科学,2019,17(3):83-90.

[19] 冯楷斌,张暘暘,郭敬丽,等.冀北山地不同类型白桦林枯落物及土壤持水性能研究[J].林业资源管理,2016(2):74-80.

[20] 胡晓聪,黄乾亮,金亮.西双版纳热带山地雨林枯落物及其土壤水文功能[J].应用生态学报,2017,28(1):55-63.

[21] 刘斌,鲁绍伟,李少宁,等.北京西山 6 种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2015,29(4):73-78,137.

[22] 马晓至,毕华兴,王珊珊,等.晋西黄土区典型林分枯落物层水文生态特性研究[J].水土保持学报,2020,34(6):77-83,88.

[23] 张佳楠,张建军,张海博,等.晋西黄土区典型林分水源涵养能力评价[J].北京林业大学学报,2019,41(8):105-114.

(上接第 114 页)

[5] 赵超,王书芳,徐向舟,等.重力侵蚀黄土沟壑区沟坡产沙特性[J].农业工程学报,2012,28(12):140-145.

[6] 曹银真.黄土地区重力侵蚀的类型和成因[J].中国水土保持,1985(6):8-13.

[7] 王俊豪,魏云杰,梅傲霜,等.基于无人机倾斜摄影的黄土滑坡信息多维提取与应用分析[J].中国地质,2021,48(2):388-401.

[8] 杨吉山,姚文艺,马三保,等.黄土高原沟壑区小型重力侵蚀影响因素分析[J].水土保持研究,2010,17(6):5-8.

[9] 牛全福,冯尊斌,党星海,等.黄土区滑坡研究中地形因子的选取与适宜性分析[J].地球信息科学学报,2017,19(12):1584-1592.

[10] 高健健,艾琦森,郝鲁东,等.基于无人机技术的重力侵蚀影响因素研究[J].人民黄河,2020,42(10):100-103.

[11] 郑书彦.重力侵蚀分类研究[J].水土保持研究,2008,15(5):46-48.

[12] Guo W Z, Xu X Z, Zhu T X, et al. Changes in particle size distribution of suspended sediment affected by gravity erosion: A field study on steep loess slopes [J].Journal of Soils and Sediments,2019,20(2):1730-1741.

[13] 唐川.云南怒江流域泥石流敏感性空间分析[J].地理研究,2004,24(2):177-185.

[14] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵小流域沟坡水热条件及其生态修复初探[J].自然资源学报,2004,19(2):183-189.

[15] 段钊,赵法锁,陈新建.陕北黄土高原区崩塌发育类型及影响因素分析:以吴起县为例[J].自然灾害学报,2012,21(6):142-149.

[16] 林超,李昌文.阴阳坡在山地地理研究中的意义[J].地理学报,1985,40(1):20-27.

[17] Qiu H J, Regmi A D, Cui P, et al. Slope aspect effects of loess slides and its spatial differentiation in different geomorphologic types [J].Arabian Journal of Geosciences,2017,10(15):e344.

[18] 汤国安,李发源,刘学军.数字高程模型教程[M].3 版.北京:科学出版社,2016.

[19] 吴森,李虎杰,陈国辉,等.基于贡献率权重法的区域滑坡影响因子敏感性分析[J].中国地质灾害与防治学报,2016,27(1):26-31.

[20] 杨寒月,张光辉,张宝军.黄土丘陵沟壑区沟坡典型植物群落生长特征[J].水土保持研究,2019,26(2):62-68.

[21] 赵兴阳,徐向舟,蒋云钟,等.暴雨条件下植被对黄土沟坡重力侵蚀的影响[J].水土保持学报,2020,34(1):58-63.

[22] 袁湘秦,赵法锁,陈新建,等.陕西省绥德县地质灾害易发性区划[J].灾害学,2017,32(1):117-120,125.

[23] 余璐,徐向舟,张茂省,等.黄土高原重力侵蚀对地貌因素的敏感性分析[J].水土保持学报,2019,33(4):119-125.