

倭肯河上游两种林型枯落物和土壤持水特性

刘忠玲, 刘建明, 吕跃东

(黑龙江省林业科学研究所, 哈尔滨 150081)

摘要:为探讨不同树种组成的林分持水特性,采用实地调查与室内浸泡法,对倭肯河上游杂木林和阔叶红松林枯落物的蓄积量和持水特性进行测定,采用环刀法对土壤持水量进行测定。结果表明:两种林型枯落物厚度约 7.5 cm,蓄积量为 8.07~9.85 t/hm²,最大持水量相当于可吸收 2.0~2.5 mm 的降水,有效拦蓄量相当于可吸收 1.0 mm 的降水。枯落物持水量与浸水时间呈对数函数关系($R^2>0.9843$),吸水速率与浸水时间呈幂函数关系($R^2>0.9999$)。两种林型土壤总孔隙度范围为 50.32%~51.41%,非毛管孔隙度范围为 3.00%~4.44%,土壤最大持水量范围为 1 509.74~1 542.17 t/hm²,土壤有效持水量范围为 89.96~133.32 t/hm²。阔叶红松林密度低,生产力高,枯落物层最大持水量、有效拦蓄量,土壤层最大持水量、有效持水量均高于杂木林,但各评价指标差异不显著($p>0.05$)。两林地持水能力中等偏低,以提高森林水源涵养为目标时,可维持现有结构,进一步开展密度调整研究。

关键词:森林水文; 持水特性; 枯落物; 土壤; 杂木林; 阔叶红松林

中图分类号:S715.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)02-0235-07

Characteristics of Litter and Soil Water-Holding of Two Types Forest Stand in Upstream of Woken River

LIU Zhongling, LIU Jianming, LÜ Yuedong

(Heilongjiang Forestry Institute, Harbin 150081, China)

Abstract:To explore the hydrological functions of forest with different tree species, the storage and water-holding characteristics of litter of two types forest stand in upstream of Woken River were surveyed by using field investigation and soaking method, the hydrological characteristics of soil layer were measured by cutting ring method. The results showed that: the litter thickness of two types forest was about 7.5 cm, and the litter storage ranged from 8.07~9.85 t/hm², the maximum water-holding capacity and effective water interception capacity were at range of 2.0~2.5 mm and 1.0 mm rainfall; the water-holding capacity of litter had a logarithmic relation with soaking time ($R^2>0.9843$), and water absorption rate showed a power function with soaking time ($R^2>0.9999$); the total soil porosity, non-capillary porosity, maximum soil water holding capacity, effective soil water holding capacity ranged 50.32%~51.41%, 3.00%~4.44%, 1 509.74~1 542.17 t/hm², 89.96~133.32 t/hm², respectively; broad leaved Korean pine forest had lower density and higher productivity, while the evaluation indexes of water holding capacity such as the maximum water holding capacity and effective interception capacity, the maximum water holding capacity and effective water holding capacity of soil layer were higher than those of mixed forest($p>0.05$). The water holding capacity of the two stands is medium and low. In order to improve the water conservation functions of forest, the existing structure can be maintained and the research on density adjustment can be further carried out.

Keywords: forest hydrology; water-holding characteristics; litter; soil; mixed forest; Korean pine broad-leaved forest

森林枯落物层表面积大,疏松多孔,具有明显的截持降雨、延缓降水沿坡地流失,促进降水下渗,调节地表径流、减少土壤流失及改善土壤理化性质功能,从而起到保持水土和水源涵养的作用,是森林生态系统调节水分分配的第二作用层。根系土壤层具有较高的蓄水能力,其特有的孔隙结构对水分渗透、渗蓄起到调节作用,是第三作用层^[1-4]。不同类型的森林植被会影响森林水文调节效果,浑河上游 4 种林分枯落物最大持水量排序为日本落叶松(*Larix kaempferi*)人工林>辽东栎(*Quercus liaotungensis*)天然次生林>核桃楸(*Juglans mandshurica*)阔叶混交林>冷杉(*Abies nephrolepis*)针阔混交林,长白山 4 种林分枯落物最大持水量排序为白桦(*Betula platyphylla*)林>落叶阔叶林>杂木林>红松(*Pinus koraiensis*)阔叶林,冀西北地区 4 种林分林地持水量白桦林>华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)林>云杉(*Picea wilsonii*)林>山杨(*Populus davidiana*)林,阿什河源头核桃楸—红松林林分保水蓄水能力优于红松纯林及其他红松阔叶混交林^[5-8]。杂木林是北方常见林型,处于不同的演替阶段,郁闭度各异,树种组成复杂,很难用借鉴他人的研究结果来评价本地林分持水能力,阔叶红松林也会由于林内阔叶树种的不同而具有不同的持水能力。

孟家岗林场施业区为松花江水系的倭肯河的一级支流源头汇水区,人工林约占森林总面积的 2/3,次生林约占 1/3^[9],人工林的木材生产已经实现了永

续利用,次生林发挥着重要的涵养水源作用。这些次生林主要有两种类型,有多年来一直封山育林形成的杂木林,也有一些是采取栽针保阔经营措施形成的阔叶红松林,而这两种林型的枯落物和土壤持水特性尚不明确。本文以倭肯河源头的杂木林和阔叶红松林为研究对象,分析其枯落物和土壤水文特性,可为水源涵养林的结构调控提供参考。

1 研究区概况

研究地点位于黑龙江省桦南县孟家岗林场(130°32′42″—130°52′36″E,46°20′16″—46°30′50″N),属完达山西麓余脉,以低山丘陵为主,平均海拔 250 m,坡度较为平缓,大部分坡度为 10°~20°,土壤以暗棕壤为主。属东亚大陆性季风气候,年平均气温 2.7℃,极端最高气温 35.6℃,最低气温-34.7℃。年平均降水量 550 mm,无霜期 120 d 左右,≥10℃的积温为 2 547℃^[9]。试验林位于阳坡的中下坡位置,按树种组成可以分为杂木林和阔叶红松林,杂木林为封山育林林分,阔叶红松林为栽针保阔后形成。

2 研究方法

2.1 样地设置

2016 年 5 月,在杂木林(记为 MZ₁)和阔叶红松林(记为 MZ₂)中各设置 3 块 20 m×25 m 标准地,调查样地立地因子,每木检尺,样地基本信息见表 1。

表 1 样地基本特征

样地	树种组成 (胸径≥4 cm)	坡度/(°)	坡向	坡位	林分密度/ (株·hm ⁻²)	平均 胸径/cm	平均 树高/m	郁闭度
MZ ₁	3 栎 2 色 2 胡 2 椴+榆+黄—白—杨	18	南	下	1360±225	10.28±0.31	8.48±0.35	0.7
MZ ₂	3 红 2 水 2 椴 2 栎 1 槐+杨—色	16	南	中	1060±58	15.80±0.12	11.88±0.24	0.8

注:栎、色、胡、椴、榆、黄、白、杨、红、水、槐分别为蒙古栎(*Quercus mongolica*)、色木槭(*Acer mono*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、糠椴(*Tilia mandshurica*)、春榆(*Ulmus davidiana* Planch. var. *japonica* (Rehd.) Nakai)、黄菠萝(*Phellodendron amurense*)、白桦(*Betula platyphylla*)、大青杨(*Populus davidiana*)、红松(*Pinus koraiensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、山槐(*Albizia kalkora*)。

2.2 林下枯落物采集与蓄积量测定

2016 年 5 月下旬,在各标准地内沿一条对角线设置 3 个 50 cm×50 cm 的枯落物收集样方,利用砍刀、枝剪等工具将样方边界内外枯落物断开,记录枯落物层厚度,将每个样方内的枯落物分别按未分解层和半分解层装入密封袋中,即每个标准地收集 6 袋。将分层的枯落物带回实验室,未分解层分选为枝、叶 2 种类型,阔叶红松林未分解层叶分选为针叶、阔叶两种,分别称其自然状态质量,80℃烘箱中烘至恒重后称其烘干质量,以烘干质量推算枯落物蓄积量^[6]。

2.3 枯落物持水的测定

将上述烘干后的样品装入网眼为 0.5 mm 的尼龙网袋中,放置在盛有清水的白盒中浸泡(各类型的

浸泡样品均为每个样方内该类型的全部样品)。分别在浸泡前、浸泡 0.5,1,2,4,6,8,10,24 h 时取出,静置至不滴水时立即称质量,计算持水量、吸水速率、拦蓄量等指标^[6]。

2.4 土壤持水的测定

采用剖面法,在各个样地四角及中心选择 5 个剖面,用环刀(100 cm³)在每个剖面上按照(0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm)分层采样,每层采样 1 个。用烘干法测定土壤含水量;用环刀法测定土壤容重、孔隙度^[7]。

2.5 数据统计与分析

采用 Excel 软件,进行单因素方差分析(one-way ANOVA),显著性水平为 0.05,采用 Excel 制图。

3 结果与分析

3.1 枯落物层厚度和蓄积量

两林分枯落物层厚度和蓄积量差异不显著($p>0.05$), MZ_1 枯落物层厚度大于 MZ_2 , 蓄积量低于 MZ_2 。 MZ_1 未分解层厚度及蓄积量大于半分解层, MZ_2 相反。 MZ_2 未分解层中针、阔叶蓄积量分别为 2.17, 1.44 t/hm², 比值为 1.5 : 1(表 2)。

表 2 枯落物层厚度及蓄积量

样地	厚度/cm			蓄积量/(t·hm ⁻²)				
	未分解层	半分解层	总计	未分解层			半分解层	总计
				枝	叶	合计		
MZ_1	4.27±0.13a	3.47±0.03a	7.57±0.06a	1.22±0.14a	2.94±0.41a	4.16±0.28a	3.91±0.93a	8.07±1.19a
MZ_2	3.97±0.60a	3.57±0.65a	7.53±0.55a	0.94±0.20a	3.60±0.50a	4.54±0.67a	5.41±0.65a	9.85±1.31a

注:表中数据为平均值±标准误差, $n=3$ 。 同列不同小写字母代表差异显著($p<0.05$), 下同。

3.2 枯落物持水能力

3.2.1 枯落物持水过程 两林分的不同枯落物层持水量随浸水时间的延长均呈对数型增加趋势(图 1, 表 3), 浸水 0.5 h, 持水量急速增加, 持水量可达最大持水量的 72% 以上, 浸水 1~4 h, 持水量增加变缓,

随后持水量增加速度保持稳定, 10 h 持水量达到最大持水量的 93% 以上。 在浸水过程中, 枯落物层持水量 MZ_1 低于 MZ_2 , 差异不显著($p>0.05$)。 MZ_1 未分解层和半分解层含水量相近, MZ_2 半分解层持水量高于未分解层持水量。

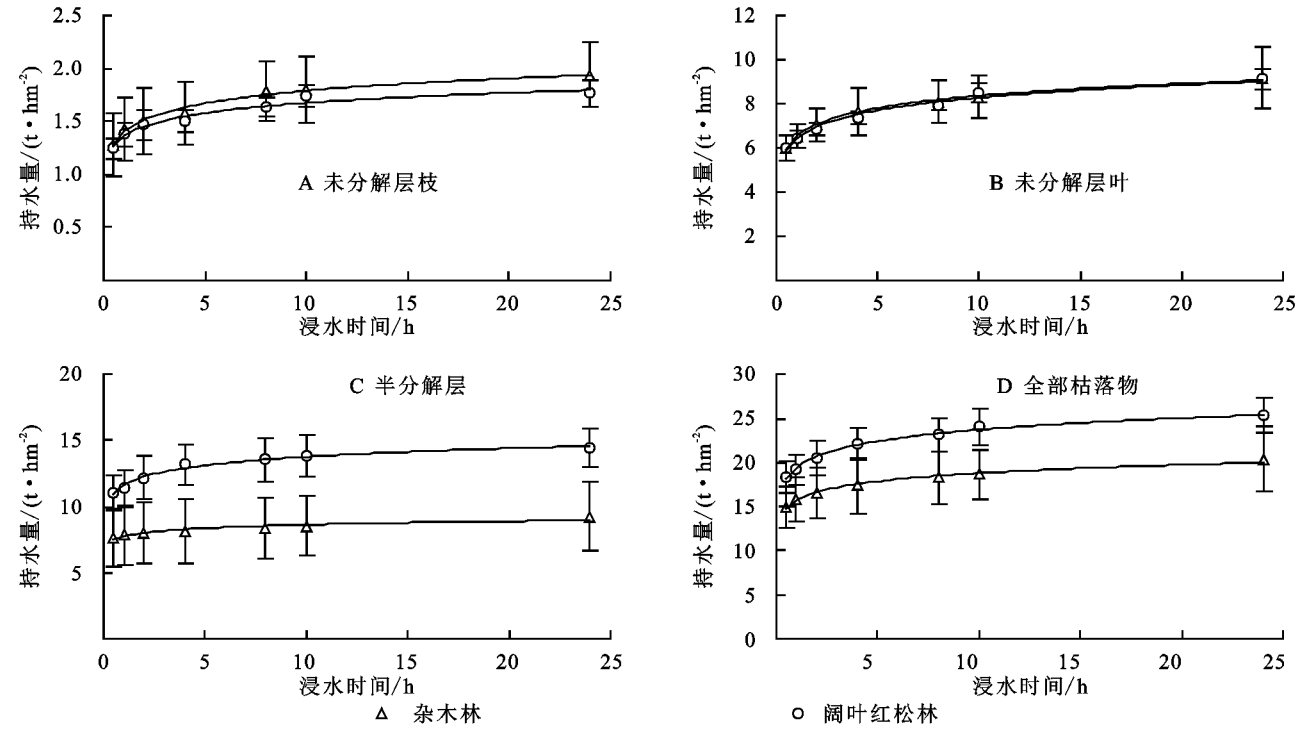


图 1 枯落物持水量随浸泡时间的变化

表 3 枯落物持水量及吸水速率特征曲线拟合

样地	枯落物类型	持水量		吸水速率	
		关系式	R^2	关系式	R^2
MZ_1	未分解层枝	$y=0.1699\ln t+1.3986$	0.9843	$y=1.3972t^{-0.8935}$	0.9998
	未分解层叶	$y=0.8022\ln t+6.5152$	0.9968	$y=6.5093t^{-0.8921}$	1
	半分解层	$y=0.3768\ln t+7.7639$	0.8983	$y=7.7689t^{-0.9548}$	0.9998
	全部枯落物	$y=1.3489\ln t+15.678$	0.9843	$y=15.682t^{-0.9224}$	1
MZ_2	未分解层枝	$y=0.1374\ln t+1.3588$	0.9638	$y=1.3564t^{-0.9088}$	0.9996
	未分解层叶	$y=0.818\ln t+6.4005$	0.9775	$y=6.4025t^{-0.8896}$	0.9998
	半分解层	$y=0.9274\ln t+11.608$	0.9806	$y=11.596t^{-0.9265}$	0.9998
	全部枯落物	$y=1.8827\ln t+19.368$	0.9928	$y=19.355t^{-0.9126}$	0.9999

两林分的不同枯落物层吸水速率随浸水时间的变化均呈幂指数趋势(图 2, 表 3), 浸水 0.5~4 h, 枯

落物吸水速率直线下降,随后吸水速率下降变缓,直至枯落物吸水速率趋向一致,曲线趋于平直,枯落物吸水饱和(图 2)。在浸水过程中,枯落物层吸水速率

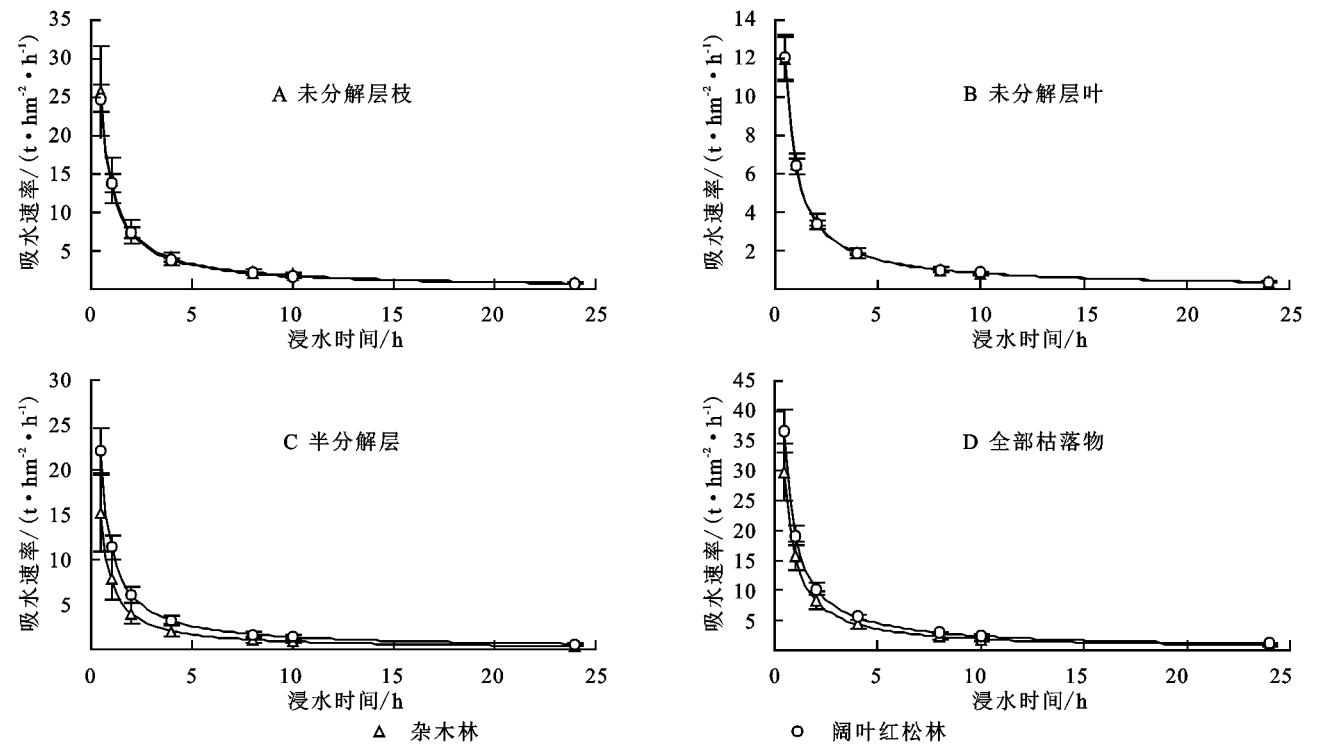


图 2 枯落物吸水速率随浸泡时间的变化

3.2.2 枯落物自然持水量、最大持水量和有效拦蓄量 两林分的不同枯落物层自然含水量均为 $MZ_2 > MZ_1$, 差异不显著 ($p > 0.05$), 半分解层自然含水量高于未分解层(表 4)。

表 4 枯落物自然含水量		t/hm^2		
样地	未分解层		半分解层	全部枯落物
	枝	叶		
MZ_1	$0.70 \pm 0.09a$	$1.74 \pm 0.88a$	$4.86 \pm 1.64a$	$7.29 \pm 2.45a$
MZ_2	$0.71 \pm 0.13a$	$2.36 \pm 0.58a$	$7.72 \pm 1.88a$	$10.79 \pm 2.45a$

两林分的枯落物层最大持水量, 相当于可吸收

MZ_1 慢于 MZ_2 。 MZ_1 未分解层吸水速率在 0.5 h 内大于半分解层, 0.5 h 后小于半分解层吸水速率, 而 MZ_2 半分解层吸水速率在 24 h 内始终大于未分解层。

2.0~2.5 mm 的降水, $MZ_2 > MZ_1$ 。 MZ_2 未分解层最大持水量低于 MZ_1 , 半分解层最大持水量高于 MZ_1 (表 5)。 MZ_1 未分解层最大持水量高于半分解层, MZ_2 未分解层最大持水量低于半分解层。未分解层从枯落物组成来看, 均为叶的最大持水量大于枝条, 表明枯落物未分解层持水量主要受叶片影响。两林分枯落物层最大持水率相当于可吸收自身重量 2.5~2.6 倍的降水(表 5)。 MZ_1 枯落物未分解层枝、半分解层、全部枯落物最大持水率低于 MZ_2 同层最大持水率, 未分解层叶最大持水率显著高于 MZ_2 ($p < 0.05$)。

表 5 枯落物最大持水量和最大持水率

样地	最大持水量/ $(t \cdot hm^{-2})$				最大持水率/%			
	未分解层		半分解层	全部枯落物	未分解层		半分解层	全部枯落物
	枝	叶			枝	叶		
MZ_1	$1.94 \pm 0.31a$	$9.17 \pm 1.41a$	$9.26 \pm 2.64a$	$20.37 \pm 3.71a$	$156.28 \pm 9.25a$	$310.61 \pm 6.83a$	$232.97 \pm 16.11a$	$250.22 \pm 12.40a$
MZ_2	$1.77 \pm 0.13a$	$9.11 \pm 0.43a$	$14.42 \pm 1.49a$	$25.30 \pm 1.92a$	$202.88 \pm 25.99a$	$171.20 \pm 16.05b$	$269.38 \pm 21.11a$	$259.42 \pm 17.91a$

一般用最大持水率(量)估算枯落物层对降雨的拦蓄能力会偏高,而有效拦蓄率(量)则能反映枯落物层对降雨的实际拦蓄情况。两林分的枯落物有效拦蓄量差异不显著 ($p > 0.05$), $MZ_2 > MZ_1$, 未分解层有效拦蓄量高于半分解层(表 6)。两林分的枯落物的有效拦蓄率范围为 114.86%~128.10%, MZ_1 有效拦蓄率高于 MZ_2 , 差异不显著 ($p > 0.05$)。

对 MZ_2 枯落物未分解层不同类型叶片浸水过程中的持水特性进行比较, 阔叶自然水含水量高于针叶自然含水量, 阔叶的最大持水率(量)和有效拦蓄率(量)显著高于针叶最大持水率(量)和有效拦蓄率(量)(表 7)。说明阔叶红松林因其半分解层分解慢储量高(表 2)而在最大持水量和有效拦蓄量指标方面高于杂木林(表 5—6)。

表 6 枯落物拦蓄量和有效拦蓄率

样地	有效拦蓄量/(t·hm ⁻²)				有效拦蓄率/%			
	未分解层		半分解层	全部枯落物	未分解层		半分解层	全部枯落物
	枝	叶			枝	叶		
MZ ₁	0.95±0.21a	6.05±0.33a	3.02±0.67a	10.02±0.72a	75.67±10.02a	212.06±17.36a	77.84±1.97a	128.10±10.32a
MZ ₂	0.79±0.04a	5.38±0.40a	4.54±0.63a	10.71±0.83a	95.68±19.96a	159.34±27.46a	88.81±18.95a	114.86±20.95a

表 7 不同类型叶片枯落物持水特性

叶片类型	自然含水量/ (t·hm ⁻²)	最大持水量/ (t·hm ⁻²)	最大持水率/ %	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	有效拦蓄率/ %
针叶	1.15±0.14a	3.55±0.30b	171.20±16.05b	1.87±0.14b	91.05±10.97b
阔叶	1.21±0.44a	5.56±0.13a	394.00±29.07a	3.51±0.38a	255.92±45.75a

3.3 土壤水文效应

3.3.1 土壤物理性质 林地土壤容重和孔隙度是体现土壤物理性状的基本指标,反映了土壤的整体结构状况。在 0—30 cm 深的土层中,MZ₁土壤容重平均值大于 MZ₂,差异不显著($p>0.05$)。MZ₁土壤总孔隙度、非毛管孔隙度平均值小于 MZ₂,毛管孔隙度均值大于 MZ₂(表 8)。

表 8 两种林分不同土壤层的物理性状及持水量

样地	土层深度/ cm	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	毛管孔隙度/ %	最大持水量/ (t·hm ⁻²)	有效持水量/ (t·hm ⁻²)
MZ ₁	0—10	1.00±0.05	60.28±5.84	5.06±1.02	55.22±6.20	602.84±58.39	50.64±10.22
	10—20	1.27±0.06	46.92±4.99	1.80±0.57	45.12±5.28	469.16±49.95	17.98±5.73
	20—30	1.37±0.04	43.77±6.00	2.13±0.72	41.64±5.95	437.72±60.03	21.34±7.19
	0—30	1.21±0.19a	50.32±3.57a	3.00±0.58a	47.33±3.47a	1509.74±256.88a	89.96±12.96a
MZ ₂	0—10	0.90±0.10	54.91±4.10	6.32±1.33	53.40±3027	549.10±41.03	63.16±13.28
	10—20	1.14±0.09	54.23±5.80	3.61±0.51	38.33±3.14	542.26±58.03	36.06±5.06
	20—30	1.35±0.10	45.08±3.34	3.41±0.68	49.16±4.78	450.80±33.45	34.10±6.79
	0—30	1.13±0.07a	51.41±2.70a	4.44±0.60a	46.96±2.65a	1542.17±246.09a	133.32±37.27a

从空间垂直角度来看,随土层深度增加,2 种林分土壤容重逐渐增加,总孔隙度逐渐降低(表 8)。主要原因是随土壤加深,土壤有机质含量逐渐减少,土壤疏松度下降,这也对提高土壤水源涵养能力起着积极作用。土壤孔隙度的变化趋势与容重变化大体相反,杂木林毛管孔隙度逐渐降低,阔叶红松林中非毛管孔隙度逐渐降低;非毛管孔隙度和毛管孔隙度最大值都在 0—10 cm 土层,说明表层土壤通透性较好。

3.3.2 土壤持水能力 MZ₂的最大持水量和有效持水量均高于 MZ₁,差异不显著(表 8, $p>0.05$),随着土层加深,MZ₁最大持水量逐渐减小,MZ₂最大持水量和有效持水量均逐渐减小(表 8)。最大持水量和

有效持水量最大值都在 0—10 cm 土层,说明表层土壤蓄水能力较强。

3.4 枯落物和土壤的水文效应综合评价

森林持水能力主要受枯落物层和土壤层两层影响,可以说林地最大持水量相当于水源涵养能力的理论值,而有效持水量更能反映其实际持水能力^[10]。MZ₂的最大持水量总和、有效持水量总和均高于 MZ₁,表明阔叶红松林的持水量更高(表 9)。2 种林分土壤层最大持水量占林分最大持水量总和的百分比达到 98%以上,土壤层有效持水量占林分有效持水量总和的 90%以上,说明土壤层对森林涵养水源的作用是主要的。

表 9 枯落物层和土壤层的持水总量

样地	枯落物层		土壤层		持水量总和	
	最大持水量	有效持水量	最大持水量	有效持水量	最大持水量	有效持水量
MZ ₁	20.37	10.02	1509.74	89.96	1530.11	99.98
MZ ₂	25.30	10.71	1542.17	133.32	1567.47	144.03

4 讨论与结论

4.1 讨论

MZ₁枯落物层厚度大于 MZ₂,蓄积量低于 MZ₂,主要是由于虽然 MZ₁未分解层厚度大于 MZ₂,但蓄

积量低(表 2)。林分树种组成不同导致枯落叶组成不同,MZ₁林内主要是阔叶树种,叶片之间空隙大,MZ₂是阔叶红松林,针叶分散在阔叶之间,因此可能导致 MZ₁林分虽然未分解层厚度大于 MZ₂,但是蓄积量低于 MZ₂。

MZ₁未分解层厚度及蓄积量大于半分解层,MZ₂未分解层蓄积量小于半分解层,主要是由于MZ₂林内针叶分解速度慢^[11],半分解层枯落物累积多造成的,也表明MZ₁未分解层对持水量影响较大,而MZ₂半分解层对持水量影响较大。对持水量的分析也发现MZ₁未分解层和半分解层含水量相近,MZ₂半分解层持水量高于未分解层持水量(图1)。在浸水过程中,MZ₁枯落物半分解层持水量低于MZ₂(图1),吸水速率慢于MZ₂,而未分解层吸水速率相近(图2),导致在浸水过程中MZ₁枯落物层持水量低于MZ₂枯落物层持水量(图1),吸水速率慢于MZ₂(图2),最大持水量低于MZ₂(表5)。受枯落物蓄积量影响,最大持水率变化规律与最大持水量不完全一致;受自然含水量影响,有效拦蓄率变化与最大持水率不一致(表5—6)。MZ₁未分解层叶最大持水率显著高于MZ₂未分解层叶最大持水率(表5),主要是叶片组成不同,阔叶红松林未分解层内有大量针叶存在,针叶含有较高的油脂,其吸水速率、最大持水率和有效拦蓄率小于阔叶(表6)。有效拦蓄率考虑了自然含水率,有效拦蓄量考虑了自然含水率与储量,更能准确地反映枯落物层对降雨的实际拦蓄情况,MZ₂有效拦蓄量高于MZ₁。枯落物持水量与浸水时间呈对数函数关系,吸水速率与浸水时间呈幂函数关系(表3)。这两种函数模型与前人研究结果一致。

未分解层自然含水量低于半分解层(表4),有效拦蓄量高于半分解层(表6),表明在无雨时,林内枯落物水分主要贮存在半分解层,在降雨时,未分解层能发挥更大的截持降雨作用。持水量随浸水时间呈对数增长,吸水速率随浸水时间呈幂指数下降,说明林地枯落物对短时、高强度的降雨有较好的拦蓄功能^[7],林内降雨小于1.5 mm时,试验林分内将不会产生地表径流(图1)。

有研究表明,冀北地区杂木林枯落物蓄积量11.43 t/hm²^[1],老秃顶子国家级自然保护区杂木林枯落物蓄积量13.77 t/hm²^[2],吉林延边八家子林业局杂木林枯落物蓄积量4.67 t/hm²,红松阔叶林枯落物蓄积量4.62 t/hm²^[6],辽宁省清原甘井子林场的杂木林枯落物蓄积量15.58 t/hm²^[11],辽宁省试验林场以槭属、椴树属、榆属为主的林分枯落物蓄积量11.6 t/hm²^[12],辽西海棠山自然保护区杂木林枯落物蓄积量3.68 t/hm²^[13],阿什河流域天然杂木林林分枯落物蓄积量5.96 t/hm²^[14],针阔混交林枯落物蓄积量22.48 t/hm²^[15],这些林分的枯落物最大持水量范围为10.9~75.19 t/hm²。本试验林分枯落物蓄积量为8.07~9.85 t/hm²,最大持水量20.3~25.3 t/hm²,与

其他地区杂木林和阔叶红松林相比较,枯落物层持水能力水平中等偏下。

一定土壤厚度条件下土壤的贮水能力取决于暂时蓄存在非毛管孔隙中的自由重力水^[13]。MZ₁土壤容重平均值大于MZ₂,土壤总孔隙度、非毛管孔隙度平均值小于MZ₂,毛管孔隙度均值大于MZ₂(表8),说明MZ₂土壤非毛管孔隙度大,土壤通透性好,降水下渗较快,从而减少地表径流,起到更好地涵养水源作用。土壤有效持水量取决于非毛管孔隙度,所以MZ₂有效持水量也高于MZ₁。

冀北地区阔叶杂木林0—40 cm非毛管孔隙度8.62%,有效持水量323 t/hm²^[1],辽西海棠山自然保护区杂木林0—40 cm土壤非毛管孔隙度1.40%,有效持水量为55.8 t/hm²^[13],阿什河上游阔叶红松林土壤0—40 cm非毛管孔隙度9.57%,有效持水量392.80 t/hm²^[15],长白山阔叶红松林土壤0—30 cm非毛管孔隙度14.21%,有效持水量426.46 t/hm²^[16],本试验林分土壤非毛管孔隙度3.00~4.44%,有效持水量89.96~133.32 t/hm²,与其他地区杂木林和阔叶红松林相比较,土壤持水能力水平中等。

4.2 结论

试验两种林型枯落物厚度约7.5 cm,总蓄积量为8.07~9.85 t/hm²,最大持水量相当于可吸收2.0~2.5 mm的降水,最大持水率相当于可吸收自身重量2.5~2.6倍的降水,有效拦蓄量相当于1.0~1.1 mm的降水。枯落物持水量与浸水时间呈对数函数关系($R^2 > 0.9843$),吸水速率与浸水时间呈幂函数关系($R^2 > 0.9999$)。土壤容重变化范围为1.13~1.21 g/cm³,随着土层深度增加,容重增加。土壤最大持水量范围为1 509.74~1 542.17 t/hm²,土壤有效持水量范围为89.96~133.32 t/hm²。土壤层有效持水量占林分总持水量的90%以上。

本试验区域的两种林型,阔叶红松林密度低,长势好,郁闭度高。阔叶红松林枯落物层蓄积、最大持水量和有效拦蓄量,土壤总孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量、有效持水量均高于杂木林。以森林水源涵养为功能导向时,两种林型无显著差异,可不进行结构调整,进一步开展林分密度调整对枯落物和土壤持水影响的研究。

致谢:研究中得到了孟家岗林场的大力支持,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 宣立辉,康凡,谷建才,等.冀北地区典型林分枯落物层与土壤层的水文效应[J].水土保持研究,2018,25(4): 86-91.

[2] 周娟,陈丽华,郭文体,等.大辽河流域水源涵养林枯落物持水特性研究[J].水土保持通报,2013,33(4):136-141.

[3] Vitale M, Savi F, Daniela B, et al. Modeling of early stage litter decomposition in *Mediterranean* mixed forests: Functional aspects affected by local climate[J]. Journal of Biogeosciences and Forestry, 2015,8(4):517-525.

[4] Arunachalam A, Kusum A, Pandey H N. Fine litter fall and nutrient dynamics during forest regrowth in the humid subtropics of north-eastern India[J]. Forest Ecology and Management, 1998,110(1/3):209-219.

[5] 顾宇书,邢兆凯,韩友志,等.浑河上游 4 种典型林分类型枯落物持水特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(1):31-36.

[6] 郑金萍,郭忠玲,徐程扬,等.长白山主要次生林的枯落物现存量组成及持水特性[J].林业科学研究,2011,24(6):736-742.

[7] 胡静霞,杨新兵,朱辰光,等.冀西北地区 4 种纯林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持研究,2017,24(4):304-310.

[8] 梁晓娇,王树力,阿什河源头不同类型红松人工林枯落物及其土壤水文特性[J].水土保持学报,2017,31(1):140-145,152.

[9] 王磊,贾炜玮,李凤日.孟家岗林场森林景观结构动态分析[J].植物研究,2008,28(4):497-502.

[10] 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,2016,35(2):74-80.

[11] 韩友志,邢兆凯,顾宇书,等.浑河上游白桦冷杉等 4 种林分枯落物储量及持水特性[J].东北林业大学学报,2011,39(11):15-18.

[12] 朱丽晖,李冬,邢宝振.辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能[J].辽宁林业科技,2001,28(1):35-37.

[13] 吕刚,曹小平,卢慧,等.辽西海棠山森林枯落物持水与土壤贮水能力研究[J].水土保持学报,2010,24(3):203-208.

[14] 杨洪学,蒙宽宏,孟祥楠,等.阿什河流域不同林分类型枯落物持水能力研究[J].防护林科技,2005,22(5):14-17.

[15] 赵雨森,韩春华,张宏光,等.阿什河上游小流域主要林分类型土壤水文功能研究[J].水土保持学报,2012,26(2):203-208.

[16] 杨弘,李忠,裴铁藩,等.长白山北坡阔叶红松林和暗针叶林的土壤水分物理性质[J].应用生态学报,2007,18(2):272-276.

(上接第 234 页)

[21] 廉毅,高枫亭,沈柏竹,等.吉林省气候变化及其对粮食生产的影响[J].气候变化研究进展,2007,3(1):46-50.

[22] 杨慧,王永军,吕艳杰,等.吉林省半干旱区 45 年气候变化及基于 Hybrid-Maize 的玉米品种成熟期选择[J].玉米科学,2017,25(6):51-57.

[23] 郭春明,任景全,刘玉汐,等.气候变化下吉林省春玉米冷害特征研究[J].中国农学通报,2018,34(7):104-110.

[24] 祝小琳.吉林省生态型农业建设研究[D].长春:吉林大学,2016.

[25] 房世波.分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J].自然灾害学报,2011,20(6):13-18.

[26] 曹士亮,于芳兰,王成波,等.降水量与积温对玉米气象产量影响的综合分析[J].作物杂志,2009(3):62-65.

[27] 刘昌,张红日,赵相伟,等.山东省气候变化及其对冬小麦—夏玉米产量的影响[J].水土保持研究,2020,27(3):379-384.

[28] 方文松,刘荣花,马志红,等.河南省冬小麦干旱评估指标初探[J].气象与环境科学,2008,3(16):12-14.

[29] 薛昌颖,霍治国,李世奎,等.华北北部冬小麦干旱和产量灾损的风险评估[J].自然灾害学报,2003,12(1):131-140.

[30] 卢明湘,李林,贾国娟.区域气候变化与人为因素对农业生产的影响[J].湖北农业科学,2012,51(8):1569-1572.

[31] 郭建平,高素华,刘玲.气象条件对作物品质和产量影响的试验研究[J].气候与环境研究,2001,6(3):361-367.

[32] 李喜明,黄德林,李向阳.气候变化引起的玉米产量变化的影响分析:基于中国农业多区域 CGE 模型[J].新疆农垦经济,2013(8):1-6.

[33] 杨俊玲,梁凤霞,王晓腾.吉林地区气候变化对农业生产的影响[J].吉林农业科学,2012,37(2):55-58.

[34] 李永华,高阳华,廖良兵,等.重庆地区玉米气象产量变化及气候影响因子科析[J].西南大学学报:自然科学版,2007,29(3):104-109.

[35] 陈素英,张喜英,邵立威,等.农业技术和气候变化对农作物产量和蒸散量的影响[J].中国生态学报,2011,19(5):1039-2047.

[36] 熊伟,杨婕,林而达,等.未来不同气候变化情景下我国玉米产量的初步预测[J].地球科学进展,2008,23(10):1092-1101.