

# 沿坝地区3种混交林枯落物层与 土壤层水源涵养能力

杨良辰<sup>1</sup>, 张楠<sup>2</sup>

(1. 河北省涉县职业技术教育中心, 河北 涉县 056400; 2. 河北木兰围场国有林场管理局, 河北 围场 068450)

**摘要:** 为了研究沿坝地区3种混交林类型枯落物层与土壤层的水源涵养能力, 利用室内浸泡法与双环刀法对3种混交林的枯落物层和土壤层的水源涵养能力进行了研究。结果表明: (1) 枯落物生物量大小排序为针阔混交林>阔叶混交林>针叶混交林。(2) 最大持水量大小排序为: 叶混交林>针阔混交林>针叶混交林; 有效拦蓄量为阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林; 持水量与浸水时间的回归方程为  $Q = a \ln t + b$  ( $R^2 > 0.89$ ), 持水速率与浸水时间的回归方程为  $V = Kt^n$  ( $R^2 > 0.99$ )。 (3) 土壤总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度最高的均为阔叶混交林, 高于其他两种混交林, 说明阔叶混交林的地理环境更有利于林木的生长和涵养水源; 非毛管孔隙度与土壤持水力密切相关, 其大小排序与土壤持水能力相同, 大小排序为阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林, 3种林分土壤层的初渗速率差距比较大, 大小排序为针叶混交林>阔叶混交林>针阔混交林, 入渗速率与入渗时间回归方程为  $f = at^{-b}$  ( $R^2 > 0.94$ )。

**关键词:** 沿坝地区; 枯落物层; 土壤层; 水源涵养

**中图分类号:** S715.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2019)03-0253-06

## Water Conservation Capacity of Litter and Soil Layer in Three Mixed Forests in Along the Dam Area

YANG Liangchen<sup>1</sup>, ZHANG Nan<sup>2</sup>

(1. Shexian Vocational and Technical Education Center of Hebei Province, Shexian, Hebei 056400, China;

2. Mulan-Weichang Forestry Administration of Hebei Province, Weichang, Hebei 068450, China)

**Abstract:** In order to study the water conservation capacity of the litter layer and soil layer of three mixed forest types along the dam area, the indoor immersion method and the double ring knife method were used to examine the water conservation capacity of the litter layer and soil layer of three mixed forests. The results showed that: (1) the biomass of litter decreased in the order coniferous and broad-leaved mixed forest > broad-leaved mixed forest > coniferous mixed forest; (2) the maximum water holding capacity decreased in the sequence broad-leaved mixed forest > coniferous and broad-leaved mixed forest > coniferous mixed forest; effective storage decreased in the order broad-leaved mixed forest > coniferous and broad-leaved mixed forest > coniferous mixed forest; water holding capacity and water immersion time; the regression equation was expressed as  $Q = a \ln t + b$  ( $R^2 > 0.89$ ), and the regression equation of water holding rate and water immersion time was described as  $V = Kt^n$  ( $R^2 > 0.99$ ); (3) the soil total porosity, non-capillary porosity and capillary porosity were higher in the broad-leaved mixed forest than the other two mixed forests, indicating that the geographical environment of broad-leaved mixed forest was more conducive to forest growth and water conservation; non-capillary porosity was closely related to soil water holding capacity, and its size was the same as soil water holding capacity, which decreased in the order broad-leaved mixed forest > coniferous and broad-

收稿日期: 2018-07-13

修回日期: 2018-07-25

资助项目: 国家自然科学基金“基于森林空间结构的华北落叶松人工林种子萌发及幼苗成活机制研究”(31500523); 河北省林业厅科学技术研究计划资助项目(1705488)

第一作者: 杨良辰(1964—), 男, 河北省涉县人, 本科, 主要从事森林生产技术与水土保持研究。E-mail: yangliangchen@126.com

通信作者: 张楠(1986—), 女, 河北省围场人, 学士, 工程师, 从事林业经营技术研究与水土保持研究。E-mail: 363517454@qq.com

leaved mixed forest>coniferous mixed forest, and the differences of initial infiltration rates of three forest layers were relatively large, and the initial infiltration rates decreased in the order coniferous mixed forest>broad-leaved mixed forest>coniferous and broad-leaved mixed forest; The regression equation of infiltration rate and infiltration time was described as  $f=at^{-b}$  ( $R^2>0.94$ ).

**Keywords:** along the dam area; litter layer; soil layer; water conservation

枯落物层和土壤层是森林截留降水、减缓降雨速度和涵养水分具有很重要的作用<sup>[1-2]</sup>。木兰围场位于沿坝地区,森林多以针叶为主,其中华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)、油松(*Pinus tabulaeformis*)为主要组成部分,阔叶则以山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betula platyphylla*)为主。森林是生态系统的重要组成部分,其很重要的一个功能是水源涵养,减少水土流失,枯落物层与土壤层作为林分涵养水源的重要部分,对林分发挥水文生态作用具有很大作用,不同森林组成在水源涵养方面的能力也是不一样的,具有一定的差异<sup>[3-5]</sup>。枯落物作为林分发挥水文效应的第二活动层,具有很好的拦蓄能力,能够减少水土流失,避免降雨对土壤的直接冲刷,于此同时还能够改善土壤的结构组成;土壤层作为林分发挥水文效应的第三活动层能够有效的储存一定的水量,发挥起水源涵养的功能。该地区的研究主要集中林分的结构、生长特性、物种多样性、纯林林分的各层次水源涵养能力,但是对混交林的水源涵养能力研究较少。本文通过对沿坝地区 3 种混交林类型枯落物层与土壤层水源涵养能力进行比较研究,能够更加明确得出最优的水源涵养林分类型,以便于为该地区的森林健康经营提供一定的理论依据<sup>[6-7]</sup>。

## 1 研究区概况

围场县位于承德境内,地理坐标为东经 116°32′—

118°14′,北纬 41°35′—42°40′。与内蒙古接壤,处于华北山石区的沿坝地区,是山区与坝上的过渡地带,海拔 750~1 829 m,年平均温度较低为年平均气温 4℃左右,年无霜期 90~125 d,年均降水时间分布很不均匀,集中性比较强,主要在 7—9 月,3 个月份的降雨量占到年降雨量 70%,年均降雨量为 380~560 mm,土壤的种类也较多,总共有 143 个土种,植物种类资源也是非常丰富,野生的种子植物达到 793 种,蕨类植物 22 种。此次的试验地点在围场县木兰林管局的北沟林场。

## 2 研究方法

### 2.1 枯落物层数据测定

2.1.1 枯落物生物量 2017 年 7 月—9 月在沿坝地区的北沟林场,选择针叶混交林、阔叶混交林与针阔混交林 3 种混交林类型设置标准的样地,样地的大小为 30 m×30 m,并对标准地的基本情况进行了调查(表 1),其中郁闭度的测定是通过在样地内随机的设置 100 个样点,在各样点位置上进行抬头垂直直视,判断该样点是否被树冠覆盖,统计被覆盖的样点数,该点数与样点数的比值则是林分的郁闭度。而枯落物生物量的测定则是在选取的标准地里选取样地的 4 个角和中心位置设置 5 块枯落物小样方,大小为 50 cm×50 cm,枯落物测定分未分解层和半分解层,以下枯落物的数据都是均值。

表 1 3 种混交林类型标准地概况

林分类型	海拔/m	坡向	坡度/(°)	郁闭度	主要树种	平均胸径/cm	平均树高/m
针叶混交林	1280	半阴坡	23	0.80	华北落叶松、油松	15.7	11.8
阔叶混交林	1050	半阳坡	16	0.75	白桦、黑桦、山杨、蒙古栎	14.3	12.8
针阔混交林	1160	半阴坡	22	0.85	华北落叶松、白桦、黑桦	16.5	12.9

2.1.2 枯落物持水量和吸水速率 利用室内浸泡法对 3 种林分的枯落物持水量和持水速率进行测定,先测量枯落物的厚度,根据枯落物分解的程度来进行区分,划分为未分解层与半分解层,然后要快速对其鲜重进行称量,此后带回实验室进行烘干,对其重量进行再次称重,最后将需要测定的枯落物在水中进行浸泡,在 0.5,1,2,4,6,8,10,24 h 对枯落物的重量变化

要进行测定,从而得出枯落物的持水量、持水速率和最大持水率测定枯落物的持水量<sup>[8-10]</sup>。利用下式进行计算:

$$C=(m_1-m_2)/m_2\times 100\% \tag{1}$$

$$S=(m_3-m_2)/m_2\times 100\% \tag{2}$$

$$W_m=(R_m-R_0)M \tag{3}$$

式中:C 为枯落物自然含水量(%); $m_1$  为样品鲜质量

(g); $m_2$  为样品烘干质量(g); $S$  为饱和持水率; $m_3$  为样品浸水 24 h 后的质量(g); $W_m$  为枯落物的最大拦蓄量( $t/hm^2$ ); $R_m$  为最大持水率(%); $R_0$  为平均自然含水量(%); $M$  为枯落物蓄积量( $t/hm^2$ )。

2.1.3 枯落物有效拦蓄量 枯落物对降雨的实际拦蓄量的测定,可以通过有效拦蓄量(modified interception)来进行计算,即:

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

(4)

式中: $W$  为有效拦蓄量( $t/hm^2$ ); $R_m$  为最大持水率(%); $R_0$  为平均自然含水率(%); $M$  为枯落物蓄积量( $t/hm^2$ )。

2.2 土壤层物理性质和土壤入渗过程测定

按照不同的土层深度取样,即土壤剖面法,采用土壤烘干法和环刀法测定需要的土壤特性。其中土壤持水力  $S=10\,000\,hp$ ,式中: $S$  为土持水力( $t/hm^2$ ); $h$  为土壤层厚度(m); $p$  为非毛管孔隙度(%)[11-12]。

采用双环法测定水分入渗土壤的过程,初渗率=最初入渗时段内渗透量/入渗时间;平均渗透速率=达到稳渗时的渗透总量/达到稳渗时的时间。利用 Kostiakov 模型来对水入渗土壤的过程来拟合,在  $f=at^{-b}$  中: $f$  为  $t$  时间时的瞬时入渗速率; $t$  为入渗时间; $a,b$  则是指试验资料拟合的参数。

表 2 3 种混交林类型枯落物生物量

林分 类型	枯落物平均厚度/cm		总厚度/ cm	枯落物生物量				总生物量/ ( $t\cdot hm^{-2}$ )
	未分解	半分解		未分解/ ( $t\cdot hm^{-2}$ )	比例/ %	半分解/ ( $t\cdot hm^{-2}$ )	比例/ %	
针叶混交林	2.9	1.7	4.6	15.67	56.63	12	43.37	27.67
阔叶混交林	1.8	2.0	3.8	16.22	46.24	18.86	53.76	35.08
针阔混交林	1.6	1.8	3.4	20.85	51.75	21.25	48.25	40.29

表 3 3 种混交林类型枯落物最大持水量和最大持水率

林分 类型	最大持水量/( $t\cdot hm^{-2}$ )			最大持水率/%		
	未分解层	半分解层	总和	未分解层	半分解层	总和
针叶混交林	12.9	9.7	22.6	143.5	122.9	133.2
阔叶混交林	25.4	74.7	100.1	246.4	301.6	274.0
针阔混交林	37.8	51.1	88.9	207.0	232.0	219.5

3.2.2 枯落物持水过程 枯落物在浸泡持水过程中有一定的规律,在 0.5 h 内是吸水最快的阶段,随着时间的推移枯落物的持水量不断增加,最后趋于稳定,但是不同的林分枯落物的持水速率也是有差距的,枯落物的这一过程与降雨时枯落物的拦蓄过程有一定的相似性,在降雨的初期,枯落物的拦蓄能力比较强,但是随着枯落物的持水量增加,枯落物的吸持能力降低。枯落物的未分解和半分解层

3 结果与分析

3.1 枯落物生物量

枯落物的存量多少是由很多因素决定的,决定枯落物存量的是林分枯落物的进入量和分解量,而林分枯落物的进入量是与林分树种组成、郁闭度和林下植被生长情况都是有关的。由表 2 可以看出,针阔混交林的枯落物生物量最大,为  $40.29\,t/hm^2$ ,其次是阔叶混交林,大小为  $35.08\,t/hm^2$ ,最小的是针叶混交林为  $27.67\,t/hm^2$ 。此外,3 种林分类型的未分解层和半分解层组成比例也有差异,其中针叶混交林与针阔混交林未分解层的比例大于半分解层,而阔叶混交林半分解层比例大于未分解层;阔叶混交林未分解层所占比例最小,占总储量 46.24%,针叶混交林则最大,占总储量的 56.63%,而针阔混交林居中为 51.75%。

3.2 枯落物水文效应

3.2.1 枯落物最大持水量 3 种林分类型中阔叶混交林的最大持水量最大,为  $100.1\,t/hm^2$ ,其次为针阔混交林,为  $88.9\,t/hm^2$ ,最小的针叶混交林为  $22.6\,t/hm^2$ ;3 种林分类型的最大持水率的范围 133.2%~274.0%,依次为阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林(表 3)。

的持水量也有一定的差距,达到饱和的时间也不相同(表 4)。对 0.25~24 h 之间 3 种类型林分枯落物各层持水量与浸泡时间的关系进行回归分析,得出该时间段内持水量与浸泡时间之间存在如下关系(表 5):

$$Q=a\ln t+b$$

(7)

式中: $Q$  为枯落物持水量( $g/kg$ ); $t$  为浸泡时间(h); $a$  为方程系数; $b$  为方程常数项。

3.2.3 枯落物吸水速率 通过试验表明,3 种类型林分的枯落物的吸水速率具有一定的规律,在 0.25~1 h 内,枯落物由风干状态浸入水中后,枯落物的表面的水势差非常大,枯落物的吸水速率则比较高;随后速率出现了较大的下降,在 6 h 左右时枯落物的下降速率趋于平缓,随着时间推移,枯落物的吸水速率趋于稳定,这种情况是因为随着浸泡的时间不短增

长,枯落物的持水量达到了最大持水量,枯落物持水量趋于饱和,持水速率趋于稳定,枯落物持水速率

的这种规律是由于枯落物表面的水势差由大到小而决定的。

表 4 3 种混交林类型枯落物层持水过程 g/kg

林分类型	层次	0.25 h	0.5 h	1 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	24 h
针叶混交林	未分解	887.4	1006.2	1098.6	1179.3	1251.4	1299.7	1345.1	1382.1	1434.9
	半分解	776.9	900.1	990.6	1075.0	1126.4	1167.7	1190.5	1208.3	1229.4
阔叶混交林	未分解	1887.5	2026.1	2010.9	2119.0	2173.3	2301.4	2398.5	2361.0	2463.6
	半分解	2231.5	2459.7	2589.6	2694.3	2764.8	2845.6	2904.1	2955.6	3015.7
针阔混交林	未分解	1359.1	1529.3	1702.4	1822.9	1877.5	1914.8	1967.7	2001.3	2070.1
	半分解	1429.3	1673.2	1789.8	1896.5	2068.7	2155.5	2231.0	2276.9	2319.6

表 5 3 种混交林类型枯落物层持水量、持水率与浸泡时间关系

林分类型	层次	持水量与浸泡时间关系式	$R^2$	持水量与浸泡时间关系式	$R^2$
针叶混交林	未分解	$Q=252.16\ln(t)+850.73$	0.9850	$V=1072.9x^{-0.895}$	0.9996
	半分解	$Q=215.15\ln(t)+767.85$	0.9939	$V=2534.3x^{-0.937}$	0.9998
阔叶混交林	未分解	$Q=361.41\ln(t)+1821.6$	0.8960	$V=958.19x^{-0.9}$	0.9990
	半分解	$Q=353.47\ln(t)+2215.1$	0.9970	$V=1632.2x^{-0.911}$	0.9993
针阔混交林	未分解	$Q=324.15\ln(t)+1343.9$	0.9922	$V=2054.5x^{-0.941}$	0.9998
	半分解	$Q=96.423\ln(t)+3196.0$	0.9841	$V=1754.4x^{-0.893}$	0.9994

3.2.4 枯落物有效拦蓄量 最大持水量能够反映枯落物的最大持水潜力,而最大持水率在一定程度上能够反映枯落物的持水能力,但是枯落物的真实的拦蓄能力一般都是通过有效拦蓄量这个指标体现,

造成这种情况是由于没有把枯落物在测定前的自然含水状况考虑在内,这样会导致高估林分的拦蓄能力,因此有效拦蓄能力更能合适的表达林分的拦蓄能力。

表 6 3 种混交林类型枯落物层有效拦蓄能力

层次	林分类型	枯落物累积量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	自然 含水率/%	最大 持水率/%	有效拦蓄量/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	有效 拦蓄深/mm
针叶混交林	未分解	15.67	9.87	143.49	7.15	0.72
	半分解	12.00	15.61	122.94	7.41	0.74
阔叶混交林	未分解	16.22	7.94	246.36	12.42	1.24
	半分解	18.86	9.70	301.57	13.08	1.31
针阔混交林	未分解	20.85	5.83	207.01	8.16	0.82
	半分解	21.15	6.44	231.96	9.02	0.90

林分类型下不同层次枯落物的拦蓄能力见表 6,枯落物未分解层最大持水率大小排序为:阔叶混交林( $246.36 t/hm^2$ )>针阔混交林( $207.01 t/hm^2$ )>针叶混交林( $143.49 t/hm^2$ ),半分解层最大持水率大小排序为:阔叶混交林( $301.57 t/hm^2$ )>针阔混交林( $231.96 t/hm^2$ )>针叶混交林( $122.94 t/hm^2$ );未分解层有效拦蓄量大小排序为:阔叶混交林( $12.42 t/hm^2$ )>针阔混交林( $8.16 t/hm^2$ )>针叶混交林( $7.15 t/hm^2$ ),半分解层有效拦蓄量大小排序为:阔叶混交林( $13.08 t/hm^2$ )>针阔混交林( $9.02 t/hm^2$ )>针叶混交林( $7.41 t/hm^2$ ),有效拦蓄量能够在一定程度上反映林分枯落物层的拦蓄能力,因此 3 种林分

类型的拦蓄能力中最大的为阔叶混交林,其次为针阔混交林,最小的为针叶混交林。

3.3 土壤层的水文效应

3.3.1 土壤层的物理性质 土壤容重说明土壤的松散程度及孔隙状况,反映了土壤的透水性、通气性和根系生长的阻力状况,土壤容重小,表明土壤疏松多孔,结构性良好,容重大则相反,通过对林分土壤层的解析,该林龄 3 种混交林的水平根系主要集中在 30—40 cm 左右,而且考虑到实际操作问题,选择的土层厚度为 0—40 cm。

由表 7 可以看出,3 种混交林土壤容重变化趋势规律相同,即随土层深度加深土壤容重逐渐增大,出

现这种现象的原因主要是因为随土层深度增加,土壤有机质含量逐渐减少,土壤团聚性降低,从而增加了土壤的紧实度,表层土壤疏松、底层土壤则相反;3 种混交林类型土壤容重的总体有一定的差距,其中针叶混交林最大,为 1.15 g/cm<sup>3</sup>,阔叶混交林次之,为

1.08 g/cm<sup>3</sup>,针阔混交林最小,为 0.89 g/cm<sup>3</sup>;总孔隙度反映了饱和持水量的大小,两者的排序相同:阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林;而非毛管孔隙度与土壤持水力密切相关,其大小排序为:阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林。

表 7 3 种混交林类型土壤的物理性质

样地号	土层深度/cm	土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	有效持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )	毛管持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )	饱和持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )
针叶混交林	0—10	1.00	6.78	43.68	50.46	67.80	436.80	504.60
	10—20	1.11	5.68	41.02	46.70	56.80	410.20	467.00
	20—40	1.35	4.55	39.54	44.09	91.00	790.80	881.80
	平均	1.15	5.67	41.41	47.08	56.70	414.13	470.83
阔叶混交林	0—10	1.03	7.36	69.04	76.40	73.60	690.40	764.00
	10—20	1.08	6.17	57.21	63.38	61.70	572.10	633.80
	20—40	1.12	4.89	51.09	55.98	97.80	1021.80	1119.60
	平均	1.08	6.14	59.11	65.25	61.40	591.13	652.53
针阔混交林	0—10	0.81	6.97	56.21	63.18	69.70	562.10	631.80
	10—20	0.89	5.94	43.84	49.78	59.40	438.40	497.80
	20—40	0.97	4.78	40.16	44.94	95.60	803.20	898.80
	平均	0.89	5.90	46.74	52.63	58.97	467.37	526.33

3.3.2 土壤层的渗透性 土壤渗透性是土壤物理性质的主要特征之一,它代表了入渗的速度,而且还是林分水源涵养的指标之一。土壤的渗透性越好,林分的水源涵养能力越强,土壤的流失也会比较小,地表的径流也会比较少,从而减少林分土壤的被侵蚀的程度。3 种混交林土壤的入渗过程比较相似(图 1)。

距比较大,大小排序为:针叶混交林(49.21 mm/min)>阔叶混交林(45.31 mm/min)>针阔混交林(24.39 mm/min),随着时间的不断推移,土壤的入渗速率会趋于稳定,各林分的稳渗速率大小排序为:阔叶混交林(4.11 mm/min)>针阔混交林(1.86 mm/min)>针叶混交林(0.45 m/min),呈现这种情况的主要原因为:阔叶混交林的土壤层的非毛管孔隙数量多,对于土壤的水分渗入非常有利,渗透性也会比较强。

表 8 3 种混交林类型土壤渗透的速率及渗透数学模型

林分类型	初渗速率/(mm·min <sup>-1</sup> )	稳渗速率/(mm·min <sup>-1</sup> )	回归方程	R <sup>2</sup>
针叶混交林	49.21	0.45	$f=113.45t^{-1.559}$	0.9408
阔叶混交林	45.31	4.11	$f=37.292t^{-0.684}$	0.9718
针阔混交林	24.39	1.86	$f=23.448t^{-0.802}$	0.9831

4 结论

- (1) 生物量的大小与很多因素有关,决定枯落物生物量的为枯落物的进入量和分解量,3 种混交林枯落物生物量大小排序为:针阔混交林>阔叶混交林>针叶混交林,林分未分解层和半分解层组成比例也有差异,其中针叶混交林与针阔混交林未分解层的比例大于半分解层,而阔叶混交林半分解层比例大于未分解层。
- (2) 3 种混交林中最大持水量大小排序为:阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林,枯落物最大持水

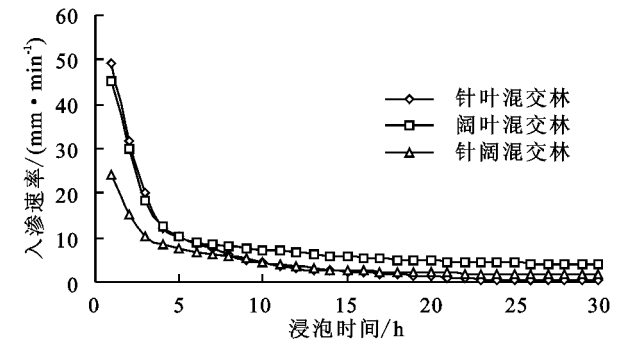


图 1 3 种混交林类型土壤入渗

从图 1 可以看出,针叶混交林在 24 min 时达到了稳渗,阔叶混交林在 29 min 时达到了稳渗,针阔混交林在 26 min 时达到了稳渗,通过对入渗速率与入渗时间进行线性回归分析,发现二者之间存在较好的幂函数关系(表 8):

$$f=at^{-b} \quad (R^2>0.94)$$

式中:f 为入渗速率(mm/min);a,b 为常数;t 为入渗时间(min)。

从表 8 可以看出,3 种混交林土壤层的初渗速率差

率范围为133.2%~274.0%,依次为阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林,反映了3种林分中阔叶混交林的持水潜力最大,针叶混交林最小;有效拦蓄量:阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林,反映了3种混交林中真实拦蓄量最大的为阔叶混交林,出现这种差异主要是因为林分枯落物层不同层次的生物量不同,因此3种林分中最优的水源涵养林为阔叶混交林;持水量与浸水时间的回归方程为 $Q=alnt+b$  ( $R^2>0.89$ ),持水速率与浸水时间的回归方程为 $V=Kt^n$  ( $R^2>0.99$ )。枯落物持水测定采用了浸泡法,虽然在一定程度上反映了林分的真实拦蓄量,但是对于特定降雨情况的拦蓄能力还需要进一步的研究。

(3) 3种林分类型总孔隙度、非毛管孔隙度和毛管孔隙度最高的均为阔叶混交林,高于其他两种混交林,说明阔叶混交林的地理环境更有利于林木的生长和涵养水源;非毛管孔隙度与土壤持水力密切相关,其大小排序与土壤持水能力相同,大小排序为:阔叶混交林>针阔混交林>针叶混交林,3种林分土壤层的初渗速率差距比较大,大小排序为:针叶混交林(49.21 mm/min)>阔叶混交林(45.31 mm/min)>针阔混交林(24.39 mm/min),3个混交林稳渗大小排序为:阔叶混交林(4.11 mm/min)>针阔混交林(1.86 mm/min)>针叶混交林(0.45 m/min),入渗速率与入渗时间回归方程为: $f=at^{-b}$  ( $R^2>0.94$ )。

#### 参考文献:

- [1] 徐娟,余新晓,席彩云.北京十三陵不同林分枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2009,23(3):189-193.
- [2] 姜海燕,赵雨森,陈祥伟,等.大兴安岭岭南几种主要森林类型土壤水文功能研究[J].水土保持学报,2007,21(3):149-153.
- [3] 张晓蓓.宁夏六盘山南侧华北落叶松人工林生态水文影响的密度效应评价[D].河北保定:河北农业大学,2012.
- [4] 张宁,梁丽双,常月梅,等.冀北山地落叶松4种典型林分的结构研究[J].中南林业科技大学学报,2015,22(6):20-27.
- [5] 张宁,郭宾良,于士涛,等.冀北山地4种典型落叶松林分生态功能研究[J].水土保持研究,2015,22(2):320-327.
- [6] 孙艳红,张洪江,杜士才,等.四面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,2009,23(5):109-113.
- [7] 赵阳,余新晓,吴海龙,等.华北土石山区典型森林枯落物层和土壤层水文效应[J].水土保持学报,2011,25(6):148-152.
- [8] 白晋华,胡振华,郭晋平.华北山地次生林典型森林类型枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持学报,2009,23(2):84-89.
- [9] 梁晓娇,王树力.阿什河源头不同类型红松人工林枯落物与其土壤水文特性[J].水土保持学报,2017,31(1):140-145.
- [10] 杨振奇,秦富仓,李晓琴,等.砭砂岩区主要造林树种枯落物及林下土壤持水特性[J].水土保持学报,2017,31(3):118-122.
- [11] 谈正鑫,万福绪,张涛.盱眙人工林枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持研究,2015,22(4):184-188.
- [12] 张焜.重庆四面山4种类型天然林水文功能研究[D].北京:北京林业大学,2012.