

冀西北山地华北落叶松和白桦林下 枯落物水文特征

邢晓光¹, 沈会涛², 马文才³, 王淮亮¹, 贾志军¹, 刘凤婵¹

(1. 河北省水利技术试验推广中心, 河北 石家庄 050061;

2. 河北省科学院 地理科学研究所, 河北 石家庄 050021; 3. 河北省科学院, 河北 石家庄 050081)

摘要: [目的] 探讨冀西北山区不同人工林枯落物持水特性的差异, 为该地区森林水文循环和森林开发管理提供基础依据。[方法] 以冀西北张家口市崇礼山区的华北落叶松、白桦人工林为研究对象, 在林下设置标准样地, 测定枯落物层厚度和蓄积量, 通过室内浸泡法测定持水特征。[结果] 华北落叶松和白桦林下枯落物层厚度分别为 4.2, 3.4 cm, 枯落物蓄积量为 10.90, 4.92 t/hm²; 浸泡 24 h 后华北落叶松枯落物(未分解层和半分解层)总持水量为 4 228.5 g/kg, 白桦枯落物(未分解层和半分解层)总持水量为 5 208.6 g/kg, 二者的有效拦蓄量分别为 14.06, 8.85 t/hm²。在整个持水过程中, 华北落叶松、白桦林下枯落物持水量、吸水速率与浸水时间的变化规律基本一致, 均在前 4 h 内持水作用较强, 4~8 h 后逐渐变缓, 10 h 后其持水量基本达到饱和; 枯落物持水量与浸水时间存在对数曲线关系, 而吸水速率与浸泡时间存在幂函数关系。[结论] 森林枯落物层发挥水文功能由持水能力和蓄积量共同决定, 在森林经营管理过程中应充分考虑包括树种组成和搭配、林分密度等因子的影响。

关键词: 华北落叶松; 白桦; 枯落物; 水文特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0126-05

中图分类号: S715.3

文献参数: 邢晓光, 沈会涛, 马文才, 等. 冀西北山地华北落叶松和白桦林下枯落物水文特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 126-130. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.004

Hydrological Effects of *Larix Principis-rupprechtii* and *Betula Platyphylla* Forest Litters in Northwest Mountain of Hebei Province

XING Xiaoguang¹, SHEN Huitao², MA Wencai³, WANG Huailiang¹, JIA Zhijun¹, LIU Fengchan¹

(1. Hebei Extension and Experiment Center for Water Technology, Shijiazhuang, Hebei 050061; China;

2. Institute of Geographical Sciences, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050021, China;

3. Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050021, China)

Abstract: [Objective] The differences in litter water-holding characteristics of different plantation types were investigated to provide scientific basis for understanding the forest hydrological cycles and its management in study area. [Methods] *Larix principis-rupprechtii* and *Betula platyphylla* plantations in Chongli mountain of Zhangjiakou City were chosen in this study. We established standard plots under the two forest types. The depth and storage of the litter layer were measured and water-holding characteristics of litter were measured using immersion method. [Results] The litter was as thick as 4.2 cm and 3.4 cm and the total litter volume was 10.90 t/hm² and 4.92 t/hm² in the *L. principis-rupprechtii* and *B. platyphylla* plantations, respectively. The maximum water holding capacity(measured after 24 h immersion) of litter layer in *L. principis-rupprechtii* and *B. platyphylla* were 4 228.5 g/kg and 5 208.6 g/kg, and the corresponding effective water holding capacity were 14.06 t/hm² and 8.85 t/hm², respectively. During the whole water holding process, the water holding capacity, absorption and the immersed time change with same trend, they were

收稿日期: 2015-12-29

修回日期: 2015-12-31

资助项目: 河北省自然科学基金项目“模拟干旱变化对山区灌木生态系统土壤呼吸的影响及其机理”(C2015503008); 河北省科学院科技攻关项目“河北省山区经济林固碳现状及低碳农业对策研究”(16106)

第一作者: 邢晓光(1977—), 男(汉族), 河北省无极县人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水土保持、水环境研究工作。E-mail: 403770318@qq.com.

通讯作者: 沈会涛(1980—), 男(汉族), 河北省望都县人, 博士, 副研究员, 主要从事森林水文研究工作。E-mail: shenhuitao80@126.com.

superior to the rest of time in the first 4 hours and the water holding capacity reached saturation after 10 h immersion. In addition, the relationship between litter water holding capacity and immersed time followed a logarithmic curve, and that between the water absorption rate and immersed time was fitted well with a power function. [Conclusion] Hydrological function of forest litter is regulated by both litter storage and water-holding capacity. Some factors, such as species composition and stand density, should be considered in forest management.

Keywords: *Larix principis-rupprechtii*; *Betula platyphylla*; forest litter layer; hydrological effect

张家口崇礼县位于永定河支流清水河上游,属冀西北阴山山脉东段的大马山支脉和燕山余脉交接地带,是张家口市坝上与坝下的过渡型山区,也是永定河上游国家级水土流失重点治理区,随着申奥的成功,带来崇礼县山地不同程度的开发。该县封山育林始于 20 世纪 50 年代,并成立了国有林场,营造了大面积的人工林,构成了以华北落叶松和白桦人工林为主的植被类型,在涵养水源、保持水土及美化环境等方面发挥了巨大的生态服务功能。森林枯落物是森林生态系统的重要组成部分,是森林水文效应的第二活动层,在截持降水、防止土壤溅蚀、阻延地表径流、抑制土壤水分蒸发、增强土壤抗冲性等方面具有重要意义^[1-2]。不同森林类型的枯落物水源涵养功能与树种生物学特性、林分结构等因素密切相关^[3-4],但是这些因素具有明显的区域性特征。冀西北山地作为重要的水源地和防洪区,在该区开展的有关人工林枯落物水文特征研究较少。本研究拟选取冀西北崇礼山地主要乔木人工林树种华北落叶松和白桦 2 种林分类型,从林下枯落物层的水文效应方面对冀西北山地人工林的涵养水源功能进行定量研究,旨在为该地区森林水文循环和森林开发管理提供基础依据。

1 研究区概况

研究区域张家口市崇礼县翠云山森林公园,地理位置 115°24'31"E, N 40°59'50",海拔在 1 650 m。属东亚大陆性季风气候中温带亚干旱区,年平均降雨量 468 mm,主要集中在 7, 8, 9 月,年平均气温 3.9 °C, ≥10 °C 积温 2 183 °C,无霜期 102 d,土壤类型为灰色森林土。主要乔木树种有白桦(*Betula platyphylla*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)等,主要灌木有华北绣线菊(*Spiraea fritschiana*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、毛榛(*Corylus mandshurica*)等。白桦林和华北落叶松林是该区的重要乔木林分类型,在涵养水源、保持水土、维护景观稳定性等方面起着不可代替的作用。

2 研究方法

2.1 枯落物蓄积量测定

于 2015 年 9 月对枯落物进行采样测定,选择研究区内地形、土壤类型、海拔相似、林龄为 50 年的华北落叶松、白桦样地,在典型地段设置面积为 20 m×20 m 的标准地,并对林木进行每木检尺,测量胸径、树高、冠幅等因子(表 1)。

表 1 不同森林类型标准地基本特征

森林类型	海拔/m	坡度/(°)	坡向	郁闭度	树高/m	胸径/cm	土壤类型
华北落叶松	1 690	20	E	0.83	10.5	19.5	灰色森林土
白桦	1 610	16	NE	0.85	9.8	17.8	灰色森林土

利用数码相机在距离地面 1.5 m 高处使用镜头始终保持水平向林冠层拍照,借助 Adobe Photoshop CS5 软件,将照片转为灰度双色调图像,统计整个冠层封闭区域和天空影像的像素。

$$\text{郁闭度} = (1 - \text{冠层范围内天空影像的像素值}) / \text{整个冠层范围像素值}^{[5]}$$

在每块标准样地内,按上、中、下坡面布设 3 个 40 cm×40 cm 的样方,分别测定各样方内枯落物层厚度后,按照未分解层枯落物、半分解层枯落物分别收集装入尼龙袋。将样品带回实验室后称重,在烘箱中 85 °C 烘干至恒重后,计算枯落物储量及自然含水率^[6]。

2.2 枯落物持水量和吸水速率的测定

采用室内浸泡法^[7]测定枯落物持水量及吸水速度。将烘干的未分解和半分解枯落物分别装入尼龙袋内,放入水中浸泡 0.5, 1, 2, 4, 7, 10, 15, 20, 24 h 后称重,每次取出后静置 3 min,当枯落物不在滴水时迅速称重,测量出其吸水速度和吸水过程。所得的枯落物湿重与其干重的差值,即为枯落物浸泡不同时间的持水量,该差值与浸泡时间的比值为枯落物的持水速率,将浸泡 24 h 后枯落物含水率视为最大持水率。每种植被类型做 3 次重复,求其平均值。

2.3 枯落物有效拦蓄量计算

当降水量达到 20~30 mm 后,不论何种植被类

型的枯落物含水量的高低,其实际持水率约为最大持水率的 85% 左右^[4],所以为了更接近实际的拦蓄降水量,采用调整系数 0.85 进行枯落物有效拦蓄量的估算^[8-9],有效拦蓄量计算公式^[8-9]为:

$$W = (0.85R_m - R_0)M \quad (1)$$

式中: W ——有效拦蓄量(t/hm^2); R_m ——最大持水率(%); R_0 ——平均自然含水率(%); M ——枯落物蓄积量(t/hm^2); R_m, R_0, M 均采用采样 3 次重复的平均值。

3 结果与分析

3.1 枯落物蓄积量

枯落物蓄积量受不同林龄、林型、林分组成、人类

活动、枯落物分解速度、枯落物输入量、累计年限等性质影响,在评价森林水文功能时具有重要的地位^[10-11]。枯落物的蓄积量测定结果见表 2,华北落叶松和白桦林下枯落物厚度分别为 4.2 和 3.4 cm,且半分解层厚度均大于未分解层;华北落叶松枯落物蓄积量($10.90 t/hm^2$)大于白桦($4.92 t/hm^2$),这一差别主要是由于针阔叶树种组成不同所致。白桦林下枯落物半分解层所占比例较大,占总蓄积量的 57.7%;而华北落叶松未分解层所占比例较大,占蓄积量的 54.3%,这是由于阔叶树种落叶分解较快,而针叶树落叶难以分解的原因。

表 2 不同森林类型枯落物厚度和蓄积量

森林类型	枯落物厚度/cm			枯落物蓄积量/($t \cdot hm^{-2}$)				总蓄积量/ ($t \cdot hm^{-2}$)
	未分解层	半分解层	总厚度	未分解层	比例/%	半分解层	比例/%	
华北落叶松	1.5	2.7	4.2	5.91	54.3	4.99	45.7	10.90
白桦	1.2	2.2	3.4	2.08	42.3	2.84	57.7	4.92

3.2 枯落物持水过程分析

枯落物持水量与浸泡时间有一定关系,随浸泡时间增长,持水量呈增加趋势,但是其当持水量达到较大值,之后增加浸泡时间,持水量增加幅度趋于平缓^[11-12]。此外,革质、含油脂的树种枯落物持水量和吸水速率比非革质、含油脂量少的树种枯落物慢^[11]。通过浸泡试验,研究了白桦和华北落叶松林下未分解层和分阶层枯落物的持水过程(图 1)。结果表明,在最初浸泡的 2 h 内,枯落物持水量迅速增加,以后随

着浸泡时间的延长呈现不断增加的趋势,但增加速度逐渐放缓。

有研究表明,不同林下枯落物浸水后 0~2 h 内持水量都有一个急速上升的过程,2 h 后随着浸泡时间延长,枯落物持水量的增加变缓并趋于最大值^[7]。这一趋势与枯落物拦蓄地表径流规律相似,即降雨初期,枯落物拦蓄地表径流功能较强,此后随枯落物湿润程度的增加,吸持能力降低,至达到枯落物的最大持水量^[12]。

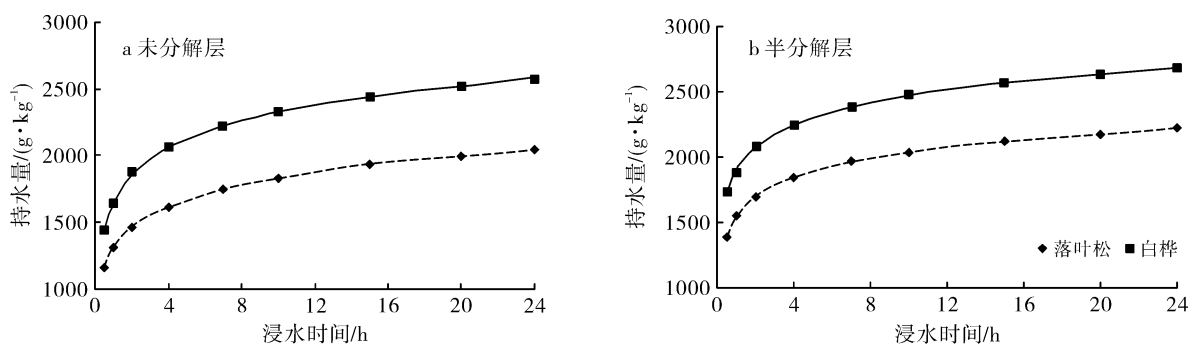


图 1 华北落叶松和白桦林下枯落物层持水量与浸水时间关系

对华北落叶松和白桦林下未分解层、半分解层枯落物持水量与浸水时间之间的关系进行回归分析,得到该时间段内持水量与浸泡时间的拟合模型为(表 3):

$$Q = a \ln t + b \quad (2)$$

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

华北落叶松和白桦林下未分解层、半分解层枯落物吸水速率与浸泡时间的关系见图 2。从图 2 可知,不同林分枯落物不论是未分解层还是半分解层在刚开始浸水时,吸水速率都较高。这是因为枯落物从干燥状态进入水中后,枯落物表面水势差较大;此外,枯落物的细胞间连接物质为水分贮存提供了场所,使枯落物在浸水初期持水量剧增^[12]。

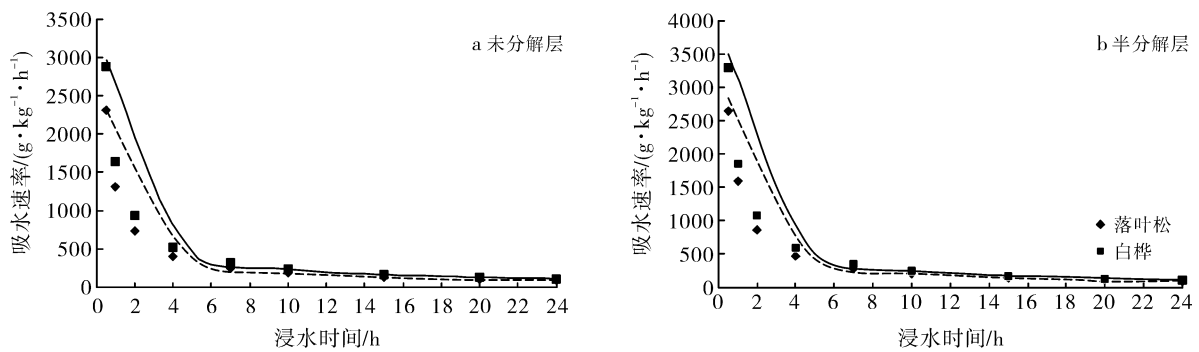


图 2 华北落叶松和白桦林下枯落物层吸水速率与浸水时间关系

在枯落物的整个吸水过程中,前 0~2 h 内,未分解层和半分解层吸水速率呈直线下降;吸水 10 h 后吸水速率变化趋于平稳。枯落物在迅速吸水初期对于短历时、大暴雨所产生的地表径流有显著的影响作用,其持水能力是调节森林生态系统水分循环的重要环节^[7]。

对华北落叶松和白桦林下不同层次枯落物吸水速率与浸泡时间进行拟合,得出该时间段内吸水速率与浸泡时间的关系为(表 3):

$$v = kt^n \tag{3}$$

式中: V ——枯落物吸水速率 $[g/(kg \cdot h)]$; k ——方程系数; n ——指数。

表 3 华北落叶松和白桦林下枯落物持水量、吸水速率与浸水时间关系

森林类型	枯落物层	持水量(Q)与时间(t)关系	吸水速率(V)与时间(t)关系
华北落叶松	未分解层	$Q = 228.99 \ln(t) + 1\ 307.1, R^2 = 0.985$	$V = 1\ 304.9 t^{-0.855}, R^2 = 0.974$
	半分解层	$Q = 213.95 \ln(t) + 1\ 548.0, R^2 = 0.979$	$V = 1\ 539.2 t^{-0.879}, R^2 = 0.982$
白桦	未分解层	$Q = 294.85 \ln(t) + 1\ 648.3, R^2 = 0.993$	$V = 1\ 643.4 t^{-0.852}, R^2 = 0.991$
	半分解层	$Q = 245.74 \ln(t) + 1\ 906.9, R^2 = 0.984$	$V = 1\ 892.9 t^{-0.885}, R^2 = 0.989$

3.3 枯落物的持水能力

从表 4 可以看出,白桦林下未分解层和半分解层枯落物自然含水率低于华北落叶松,然而最大持水率则高于华北落叶松,这是由于枯落物的分解程度制约着其持水率,分解程度越高,其半分解层越多,则持水能力越强,所以阔叶林的最大持水率高于针叶林^[12]。最大持水量并不能代表枯落物对降雨的截留量,只能反映枯落物层持水能力的大小,用最大持水率来估算

枯落物层对降雨的拦蓄能力则偏高,不符合它对降雨的实际拦蓄效果,有效拦蓄量才是反映枯落物对一次降水拦蓄的真实指标,其与枯落物数量、水分状况、降雨特性等有关^[11]。经计算,白桦枯落物有效持水量和有效持水率均大于华北落叶松枯落物的有效持水量、有效持水率,这是因为最大持水量和有效持水量与枯落物本身的蓄积量有关,而蓄积量又与枯落物的分解状况、本身的厚度等相关^[13]。

表 4 华北落叶松和白桦枯落物持水能力指标

森林类型	枯落物层	自然含水率/%	最大持水率/%	最大持水量/ ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)	有效持水率/%	有效持水量/ ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)
华北落叶松	未分解层	47.5	204.5	12.09	126.4	7.47
	半分解层	53.6	218.4	10.90	132.1	6.59
白桦	未分解层	36.7	257.3	5.35	182.2	3.79
	半分解层	45.9	263.6	7.49	178.2	5.06

4 结论

(1) 对冀北山地 2 种人工林枯落物蓄积量调查结果显示,华北落叶松林下枯落物蓄积量($10.90 \text{ t}/\text{hm}^2$)高于白桦($4.92 \text{ t}/\text{hm}^2$);各层次蓄积量所占比例不同,华北落叶松和白桦未分解层枯落物

分别占总蓄积量的 54.3%和 42.3%。

(2) 2 种林分枯落物层持水量的研究表明:白桦枯落物最大持水量($5\ 208.6 \text{ g}/\text{kg}$)高于华北落叶松($4\ 228.5 \text{ g}/\text{kg}$)。从 2 种林分枯落物持水过程来看,在最初浸泡的 2 h 内,枯落物持水量迅速增加,以后随浸泡时间的延长增加速度逐渐趋于平缓。枯

落物吸水速率在前 0.5 h 内最大,之后急剧下降,7 h 后下降速度明显减缓。华北落叶松枯落物拦蓄能力(14.06 t/hm²)强于白桦(8.85 t/hm²),其中,不同层次枯落物的拦蓄能力不同,华北落叶松未分解层大于半分解层,而白桦则为半分解层高于未分解层。

[参 考 文 献]

- [1] 王美莲,王飞,姚娟娟,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.
- [2] 喻阳华,李光容,严令斌,等.赤水河上游主要树种枯落物调蓄水分效应[J].中国水土保持科学,2015,13(3):39-44.
- [3] 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.
- [4] 吴迪,辛学兵,赵明扬,等.北京九龙山不同林分枯落物及土壤水文效应[J].林业科学研究,2014,27(3):417-422.
- [5] 秦仲,李湛东,成仿云,等.夏季栎树群落冠层结构对其环境温湿度的调节作用[J].应用生态学报,2015,26(6):1634-1640.
- [6] 胡淑萍,余新晓,岳永杰.北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2008,22(1):146-150.
- [7] 沈会涛,由文辉,蒋跃.天童常绿阔叶林不同演替阶段枯落物和土壤水文特征[J].华东师范大学学报:自然科学版,2010(6):35-44.
- [8] 鲁绍伟,陈波,潘青华,等.北京山地不同密度侧柏人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2013,27(1):224-229.
- [9] 陈国鹏,曹秀文,王会儒,等.白龙江干旱河谷岩生植物持水性能.水土保持学报,2014,28(1):102-105.
- [10] 梁文俊,丁国栋,周美思,等.冀北山地油松和落叶松林下枯落物的水文效应[J].水土保持通报,2012,32(4):71-74.
- [11] 陈波,杨新兵,赵心苗,等.冀北山地 6 种天然纯林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2012,26(2):196-202.
- [12] 宋庆丰,杨新兵,张金柱,等.雾灵山典型林分枯落物和土壤水文效应[J].生态环境学报,2009,18(6):2316-2320.
- [13] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地阴坡枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2011,25(2):97-103.
- [17] 官丽莉,周国逸,张德强,等.鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物量 20 a 动态研究[J].植物生态学报,2004,28(4):449-456.
- [18] 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.
- [19] 张伟,杨新兵,张汝松,等.冀北山地不同林分枯落物及土壤的水源涵养功能评价[J].水土保持通报,2011,31(3):208-238.
- [20] Zhang Jiguang, Chen Hongsong, Su Yirong, et al. Spatial variability of surface soil moisture in a depression area of karst region[J]. Clean-Soil, Air, Water,2011,39(7):619-625.
- [21] Peng Wanxia, Song Tongqing, Zeng Fuping, et al. Spatial distribution of surface soil water content under different vegetation types in northwest Guangxi, China[J]. Environmental Earth Sciences,2013,69(8):2699-2708.
- [22] 王轶浩,王彦辉,谢双喜,等.六盘山小流域地形.植被特征与土壤水文物理性质的关系[J].生态学杂志,2012,31(1):145-151.
- [23] 刘芝芹,郎南军,彭明俊,等.云南高原金沙江流域森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2013,27(3):165-169,173.

(上接第 125 页)