

# 宁南山区华北落叶松林枯落物水文特征研究

刘建立<sup>1,2</sup>, 王彦辉<sup>1</sup>, 管伟<sup>3</sup>, 程丽莉<sup>4</sup>, 于澎涛<sup>1</sup>, 熊伟<sup>1</sup>, 徐丽宏<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院 森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 3. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520; 4. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093)

**摘要:** 森林枯落物层具有重要的生态水文功能, 对六盘山北侧叠叠沟小流域华北落叶松林下枯落物吸水速率、释水速率和截留降雨动态变化及其影响因素进行了研究。结果表明, 枯落物吸水速率与浸泡时间呈对数函数关系, 释水速率与时间呈幂函数关系。枯落物饱和持水能力较强, 可达到自身重量的 4 倍。对生长季内枯落物持水量动态变化的观测表明, 当长时间无雨时, 持水量显著下降; 当降雨发生时, 持水量迅速增加, 这种动态过程随着降雨发生而不断重复。此外, 由于林冠下穿透降雨分布不均匀和前期枯落物干燥, 有时可出现枯落物透雨量大于降雨量的现象。对枯落物持水量与环境因子的相关分析表明, 持水量与林内降雨量呈显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 而与林内气温、太阳辐射、风速、大气水势和饱和水汽压差呈显著负相关 ( $P < 0.01$ )。

**关键词:** 六盘山; 华北落叶松; 枯落物; 截留动态; 环境因子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0020-04

中图分类号: S782, S715

## Hydrological Characteristics of *Larix Principi-rupprechtii* Litter in the South Mountainous Area of Ningxia Hui Autonomous Region

LIU Jian-li<sup>1,2</sup>, WANG Yan-hui<sup>1</sup>, GUAN Wei<sup>3</sup>, CHENG Li-li<sup>4</sup>, YU Peng-tao<sup>1</sup>, XIONG Wei<sup>1</sup>, XU Li-hong<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of

Forestry, Beijing 100091, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University,

Beijing 100083, China; 3. Research Institute of Tropical Forestry of CAF, Guangzhou, Guangdong 510520, China;

4. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** To understand the eco-hydrological functions of litter, the water absorbing and releasing speed, the dynamics of holding water, and the effects of environmental factors on holding water were studied. A plantation of larch (*Larix principi-rupprechtii*) in the small watershed of Diedieogou in north side of Liupan Mountains, Ningxia Hui Autonomous Region was selected as research stands. Results showed that the equation for water absorbing speed of litter and its immersed time was  $y = 38.206 \ln x + 133.38$  ( $R^2 = 0.9521$ ) and the equation for water releasing speed of litter and its immersed time,  $y = 339.1e^{-0.0003x}$  ( $R^2 = 0.8806$ ). The water-holding ability of the larch litter was as high as 415.97% of the dry weight. According to the observation on water dynamic process of litter across a growth season, the water content of litter decreased markedly in the case of no rainfall for a long time, but increased after rainfall as a result of water absorption by litter. The drying-up and wetting dynamic process occurred continuously with raining. By correlation analysis, the water amount held in litter was significantly and positively related with rainfall depth, but negatively related with temperature, solar radiation, wind speed, atmosphere water potential, and vapor pressure deficiency ( $P < 0.01$ ).

**Keywords:** Liupan Mountains; *Larix principi-rupprechtii*; litter; water holding dynamics; environment factor

森林枯落物层是森林生态系统的重要组成部分, 作为森林水文功能的第二作用层, 它在涵养水源、防止水土流失等方面发挥着重要的作用, 是森林生态系统功能研究的重要内容<sup>[1,2]</sup>。关于森林枯落物层的水文生态作用, 国内外许多学者进行了大量研究, 在枯

落物的凋落量<sup>[3]</sup>、凋落动态<sup>[4]</sup>、分解速率<sup>[5]</sup>、对土壤结构的改变<sup>[6,7]</sup>、对养分循环的影响<sup>[8,9]</sup>、截持降水<sup>[10,12]</sup>、增强土壤入渗<sup>[13]</sup>和防止土壤侵蚀<sup>[14]</sup>等方面都取得了一定的成果。但是目前对枯落物截留的动态过程和影响因素研究比较少, 而枯落物截留动态过程和影响

收稿日期: 2009-01-06

修回日期: 2009-05-25

资助项目: 国家自然科学基金项目(40730631; 40671038; 30671677; 40801017); 科技部“十一五”科技支撑计划项目课题(2006BAD03A1803); 中国林科院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2007038; CAFRIF200702); 科技部科研院所社会公益研究专项(2004DIB3J102); 国家林业局森林生态环境重点实验室项目

作者简介: 刘建立(1978—), 男(汉族), 河北省石家庄市人, 博士后, 研究方向为森林水文和水土保持。E-mail: liujianli7331@sina.com.cn。

通信作者: 王彦辉(1957—), 男(汉族), 河北省安平县人, 博士, 研究员, 研究方向为森林水文。E-mail: wangyh@caf.ac.cn。

因素对正确评价森林涵养水源及其环境效应又是不可缺少的重要指标<sup>[15]</sup>。

六盘山林区位于我国半湿润地区向半干旱地区的过渡带上,生态环境十分脆弱,是我国生态植被恢复的关键地带。由于长期以来对森林植被的破坏,该地区水土流失严重,水资源缺乏,恢复森林植被对涵养水源、改善生态环境等具有重要意义。本研究通过对六盘山北坡华北落叶松林下枯落物水文特征的研究,为该区的水源涵养林建设与植被恢复提供基础理论依据。

## 1 研究区和标准地自然条件

研究区位于宁夏回族自治区固原市(东经  $106^{\circ}09' - 106^{\circ}30'$ , 北纬  $35^{\circ}15' - 35^{\circ}41'$ )原州区叠叠沟林场,该小流域面积为  $25.4 \text{ km}^2$ ,海拔范围  $1975 \sim 2615 \text{ m}$ 。属于典型的大陆性季风气候,该地年均气温为  $6^{\circ}\text{C} \sim 7^{\circ}\text{C}$ ,无霜期  $130 \text{ d}$ 左右,年均降雨量  $428 \text{ mm}$ ,主要集中在7—9月。该区植被的水平分布属于温带草原区的南部森林草原地带,由于长期受到人类强烈干扰,形成了多种土地利用方式镶嵌的景观格局。土壤以灰褐土面积最大,黄土次之。

选择生长良好的华北落叶松人工林,建立1个  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的标准地,其海拔为  $2042 \text{ m}$ ,位于阴坡下部(北偏西  $30^{\circ}$ ),平均坡度  $10^{\circ}$ ;林分密度  $1650 \text{ 株}/\text{hm}^2$ ,平均林龄  $20 \text{ a}$ ,郁闭度  $0.7$ ,平均高  $8.0 \pm 1.59 \text{ m}$ ,平均胸径  $9.0 \pm 3.43 \text{ cm}$ 。本研究枯落物分解和原位截持、释水试验在标准地内进行,枯落物主要采集于标准地外相似区域。乔木林下灌木层不明显,有极少量沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、二色胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz)、绣线菊(*Spiraea* sp.)等,盖度2%左右。草本层主要分布有铁杆蒿(*Artemisa vestita*)、茭蒿(*Artemisa giraldii*)、羽叶凤毛菊(*Saussurea maximowczii*)、白颖苔草(*Carex rigescens*)等,盖度80%。

## 2 研究方法

### 2.1 气象因子测定

利用机械布设的16个雨量筒测定林内穿透雨量,同时结合在样地内和林外设置的美国LF-COR公司生产的LF1401小型自动气象站同步测定降雨、太阳辐射、空气温度、空气相对湿度、风速和风向等,小

气候观测主要是为了分析微气象因子对枯落物蒸发和截留的影响。

### 2.2 枯落物原位截持测定

2006年6月3日至10月21日,在华北落叶松林内放置3个标准雨量筒,切割3个直径  $20 \text{ cm}$ 的林内枯落物样圆,测定厚度后完整地放入雨量筒上面的圆筒内,该圆筒下垫有尼龙网以防止杂质堵塞,雨量筒内放置集水器收集透过枯落物的雨量。每日早上8:00对枯落物称重,同时测定集水器内所收集的透过雨量,并计算枯落物截持雨量。

### 2.3 枯落物持水及其吸水速率测定

利用浸泡法测定林下枯落物的持水容量。首先,在华北落叶松林下随机选取3个  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 枯落物样方,并现场记录枯落物层的厚度,由于枯落物层分层不明显,所以本实验将枯落物层作为一个整体处理。对所采集的枯落物进行风干,去除土壤颗粒并称重,然后将枯落物放入土壤筛,再将装有枯落物的土壤袋置入盛有清水的容器中,水面高于土壤袋。将枯落物浸入水中的累积时间为  $0.5, 1, 2, 4, 8, 10, \dots, 24 \text{ h}$ 时,将枯落物连同土壤袋一并取出,静置  $5 \text{ min}$ 左右直至枯落物不滴水为止,迅速称取枯落物的湿重并记录。从枯落物湿重与其风干重的差值可以得到枯落物在浸泡不同时间时的持水量,其与浸水时间的比值既为枯落物的吸水速度。把充分饱和后的枯落物置于林内,同理观测其释水过程,研究期间无降雨和其它人为干扰。

## 3 结果与分析

### 3.1 研究期间气象特征

于2006年生长季内利用自动气象站对华北落叶松林内和林外的小气候进行观测。结果表明(表1),林内平均气温较林外低  $1.1^{\circ}\text{C}$ ,林内空气相对湿度较林外高  $4.1\%$ 。林外太阳辐射和风速明显高于林内,林外地温也明显高于林内,其中  $20 \text{ cm}$ 深度的地温高于  $40 \text{ cm}$ 地温。

### 3.2 枯落物持水量与泡水时间的关系

枯落物的吸水动态有下列特点:开始浸入水中时,吸水量和吸水率都很高,这是由于枯落物从风干状态浸入静水中后,枯落物中的死细胞间或枝叶表面的水势较低,加之枯落物中有大量分解和半分解的碎屑,表面积比较大,所以吸水率较高。

表1 华北落叶松林内和林外的小气候比较

项目	降雨量/ mm	平均气 温/ $^{\circ}\text{C}$	空气相对 湿度/ $\%$	太阳辐射/ ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )	风速/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	20 cm 地温/ $^{\circ}\text{C}$	40 cm 地温/ $^{\circ}\text{C}$
林外	465	15.1	64.8	45.9	2.3	17.2	16.4
林内	177	14.0	68.9	16.9	0.3	14.5	12.1

从图 1 的吸水过程可看出, 在开始吸水的 4 h 内, 华北落叶松林枯落物的吸水率就达到了接近最高的水平, 为 362.59%; 当吸水达到一定时间后, 吸水速率虽然还会继续增加, 但吸水量和吸水速率增加不会很大, 如在吸水过程的 6~8 h, 枯落物吸水率为 380.45%; 在吸水 24 h 后基本达到动态平衡, 枯落物吸水率达到饱和, 最终稳定在自重的 415.97%。

从图 1 的释水过程可得出, 在释水过程初期的

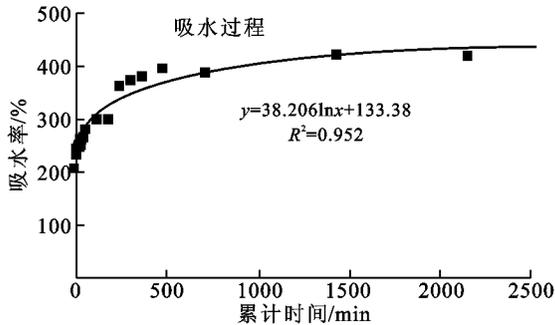
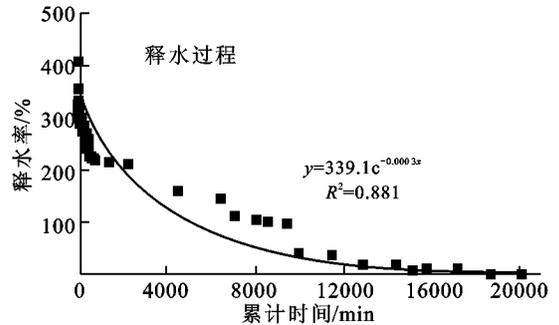


图 1 华北落叶松林枯落物的吸水率和释水率变化过程

12 h 以内, 枯落物释水呈线性递减, 枯落物含水率由饱和状态的 415.9% 迅速减少到 215.7%, 减少量达 200%。

随着释水过程进行, 枯落物含水率虽仍然下降, 但下降中呈现一定波动, 主要是因为昼夜交替, 枯落物在白天呈释水过程, 在夜晚枯落物又能通过吸收空气中的水汽增加自身重量。在枯落物释水 6 d 后, 基本达到风干状态。



### 3.3 枯落物持水的动态变化

图 2 中给出了华北落叶松林枯落物持水的动态变化, 从图中可以看出, 通常在降雨发生时枯落物便开始大量吸水, 一般来说降雨量越大, 持水也会越大, 枯落物的含水量增值日期, 即截留降水日期, 正好与降水日期相吻合。降水次数少的较多时间内, 枯落物层含水量, 即截留量的变化幅度较小, 反之, 则变化幅度较大。但也有例外, 例如在气候比较干燥的 8 月份, 在经历 15 d 的晴天后, 8 月 14 号降雨量达到了 64 mm, 而枯落物持水量却相对于其他降雨量时小。这是由于这时候的枯落物已相当干燥, 由于表面张力作用形成了大的孔隙, 从而使得枯落物截持水量减少。并且在这段时间内空气湿度小, 蒸发量大, 造成了枯落物表面蒸发加大。

### 3.4 枯落物持水量与环境因子的关系

影响林内枯落物持水量的因素有很多, 主要包括降雨量、降雨期间的气温、太阳辐射、大气水势、饱和气压差以及风速等。由于各种影响因素之间存在一

定的相互影响, 因此采用偏相关分析更能说明不同因素对枯落物持水量的真实影响。

在分析生长季内降雨特征及气象因子对枯落物截留量的影响(表 2)后看出, 华北落叶松林下枯落物截留量与降雨量呈显著正相关( $P < 0.01$ ), 与气温、太阳辐射、风速、大气水势和饱和气压差呈显著负相关( $P < 0.01$ )。

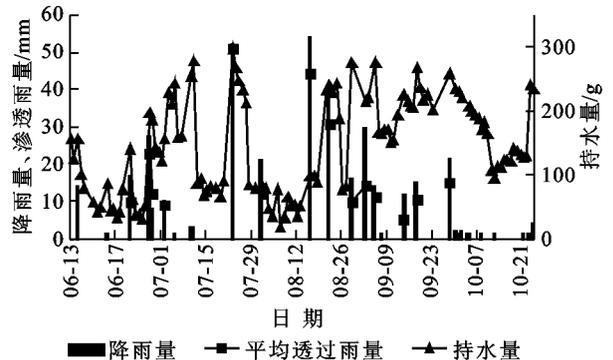


图 2 华北落叶松林内枯落物持水的动态变化(2006 年)

表 2 枯落物截留量与降雨及各气象因子的偏相关分析

项目	降水量/ mm	气温/ ℃	太阳辐射/ ( $W \cdot m^{-2}$ )	风速/ ( $m \cdot s^{-1}$ )	大气水势/ MPa	饱和气压差/ MPa
枯落物持水量/mm	0.252 4	- 0.341 9	- 409 8	- 0.323 2	- 0.318 2	- 0.408 2
<i>P</i>	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

## 4 讨论

### 4.1 枯落物持水和释水性能研究

枯落物持水能力与枯落物的数量、组成、分解情

况等有关, 一般测定结果认为, 最大持水量大约为自身重量的 2~4 倍<sup>[16]</sup>。本研究对六盘山北侧华北落叶松枯落物层持水量的研究结果也是如此, 其持水量是烘干重的 415.97%。枯落物的吸水速率和持水能

力是紧密联系的,吸水速率快能够将林内降水迅速累积起来,从而达到减少地表径流发生和增强保持水土的效果。枯落物的吸水速率与枯落物的结构、分解程度、干燥程度等有关,不同时间段内枯落物吸水速率不同<sup>[17]</sup>。本研究采用浸水法测定枯落物的饱和持水率。结果表明,枯落物在浸泡 10 h 后既可达到饱和。不同森林树种的枯落物达到浸水饱和的时间有差别,这可能与枯落物的结构和化学性质有关<sup>[18]</sup>。

在释水过程初期的 12 h 以内,枯落物释水量呈线性递减;之后随着释水过程进行,枯落物含水率虽仍然下降,但下降中呈现一定波动,主要是因为昼夜交替,枯落物在白天呈释水过程,在夜晚通过吸收空气水汽增加自身重量。在枯落物释水 6 d 后,基本达到风干状态。枯落物的缓慢失水是其延长径流历时的重要原因之一。

#### 4.2 枯落物持水量动态变化

由于室内人工模拟实验不能完全反映天然降水条件下的吸水过程,而掌握枯落物的吸水过程和动态关系,对于深入研究枯落物的水文过程和水文状况必不可少,所以在野外实地研究枯落物的截持降雨和透过水量过程就显得十分重要。枯落物自然含水量反映枯落物在自然状态下的持水能力,它也能反映出该季节林内的水分状况。

枯落物持水量的变化趋势与降雨量的变化趋势相似,表明枯落物的自然含水量与降水之间有较好的一致性,即枯落物自然含水量随着降雨量增大而增大,但存在滞后效应。

研究中发现了一个较特殊的现象,就是在一些降雨过程中,枯落物层的透过雨量要大于降雨量,造成这一现象的原因可能是由于林内华北落叶松树冠对降水空间分布影响后所形成的漏斗效应<sup>[19]</sup>。

在进入 9 月份以后,由于蒸发量减少和降雨比较集中,枯落物含水量接近或者达到饱和,从而使枯落物持水量保持在一个较高的水平。在 10 月份以后,由于气候变干,风速较大,降雨减少,枯落物含水量有所下降。

#### 4.3 枯落物持水量与气象因子的关系

枯落物层的截留量与枯枝落叶数量有直接的关系,也与枯落物的分解程度有关,分解程度高,吸收、截留的量;反之则小。除此之外,枯落物层的截留量还与当地的气象条件、降雨量有关。已有的研究指出<sup>[20]</sup>,枯落物层截留量的大小取决于自身的湿润频率和干燥速率,两者均与降水次数、大气湿度、风力和太阳辐射有关。对生长季内降雨特征及气象因子影响枯落物截留量的分析表明,枯落物截留量与降水量呈显著正相关( $P < 0.01$ ),与气温、太阳辐射、风速、大气水势和饱和气压差呈显著负相关( $P < 0.01$ )。

#### [参 考 文 献]

- [1] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 196-198.
- [2] 韦红波, 李锐, 杨勤科, 等. 我国植被水土保持功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 489-496.
- [3] 鲍文, 包维楷, 丁德蓉, 等. 岷江上游人工油松林凋落量及其持水特征[J]. 西南农业大学学报, 2004, 26(5): 567-569.
- [4] Sykes G M, Bunce R G H. Fluctuations in litter fall in a mixed deciduous woodland over a three-year period 1966-1968[J]. Oikos, 1970, 21: 326-329.
- [5] 陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 204-222.
- [6] Bray J R, Gotham E. Litter production in forest of the world[J]. Advanc. Ecol. Res., 1964, 2: 104-158.
- [7] Mu C Y. Measurement of Terrestrial Rant Community[M]. Beijing: Science Press, 1981.
- [8] 朱金兆, 刘建军, 朱清科, 等. 森林凋落物层水文生态功能研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(516): 30-34.
- [9] 李叙勇, 孙继坤, 常直海, 等. 天山森林凋落物和枯枝落叶层的研究[J]. 土壤学报, 1997, 34(4): 406-417.
- [10] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 139-143.
- [11] 李红云, 杨吉华, 鲍玉海, 等. 山东省石灰岩山区灌木林枯落物持水性能研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 44-46.
- [12] 余新晓, 赵玉涛, 程根伟. 贡嘎山东坡峨眉冷杉林地被物分布及其水文效应初步研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 4(5/6): 14-18.
- [13] 李德生, 张萍, 张水龙, 等. 黄河库区森林土壤蓄水能力研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(1): 25-28.
- [14] 王佑民. 中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 108-113.
- [15] 赵鸿雁, 吴钦孝, 从怀军, 等. 黄土高原人工油松林枯枝落叶截留动态研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 381-385.
- [16] 谢锦升, 杨玉盛. 侵蚀红壤人工恢复的马尾松林水源涵养功能研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(2): 48-52.
- [17] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 亚高山针叶林人工恢复过程中凋落物动态分析[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1494-1496.
- [18] 刘世荣, 孙鹏森, 温远光. 中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 16-22.
- [19] 时忠杰, 王彦辉, 熊伟, 等. 单株华北落叶松树冠穿透降雨的空间异质性[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 2877-2886.
- [20] R 李. 森林水文学[M] 张建列译. 沈阳: 东北林学院出版社, 1984.