

## 森林不同水文层次蓄水功能的研究

李红云<sup>1</sup>, 杨吉华<sup>1</sup>, 鲍玉海<sup>1</sup>, 宗萍萍<sup>1</sup>, 于洪泰<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学林学院水土保持系, 山东 泰安 271018; 2. 泰安市水土保持科学研究所, 山东 泰安 271000)

**摘要:** 在总结过去研究成果的基础上, 论述了森林地上层、地表层、地下层三个水文层次的蓄水机理, 系统分析了不同因子对森林不同水文层次蓄水功能的影响, 为以后深入研究森林涵养水源的作用及水土保持林的经营提供理论依据。

**关键词:** 森林; 水文层次; 蓄水能力

**中图分类号:** S715.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2005)05-0175-03

## Study on the Water Conservation Function of Different Hydrology Arrangements of Forest

LI Hong-yun<sup>1</sup>, YANG Ji-hua<sup>1</sup>, BAO Yu-hai<sup>1</sup>, ZONG Ping-ping<sup>1</sup>, YU Hong-tai<sup>2</sup>

(1. Soil and Water Conservation Department of Forestry College,

Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation Science of Taian City, Taian, Shandong 271000, China)

**Abstract:** On the basis of summarizing past research results, the conservation storage mechanism of the ground upper strata, the surface layer and the underground layer, which are the three-hydrology arrangements of forest was described. The authors systematically analyzed the influence on the three-hydrology arrangements conservation storage functions of different factors. It will offer a scientific theoretical foundation for further investigation on forest conservation function and management of forests for soil and water conservation.

**Key words:** forest; hydrology arrangement; water conservation capability

森林作为一个综合自然体, 是陆地生态系统的主体, 是生态平衡的重要调节器, 在维护地球生态平衡与稳定方面发挥着主导作用。1998年夏季我国南北方发生的特大水灾和近几年春季干旱, 华中、华北、西北、东北各地多次出现的泥雨、扬沙及沙尘暴天气一次次地向人们敲响了环境的警钟。保护和发展森林, 发挥其涵养水源、保持水土的功效, 这将是功在当代利在千秋的伟业<sup>[1]</sup>。森林有着巨大的蓄水功能, 它通过地上层(乔、灌、草)、地表层(枯枝落叶)和土壤层三个水文层次对降水进行调蓄。森林每个水文层次的蓄水功能受该层次的结构、性质以及外界因子等诸多因素的影响。本文以整个森林生态系统为对象, 论述了森林不同水文层次的蓄水机理及其影响因子, 为深入研究森林涵养水源的作用和水土保持林的经营及流域综合治理提供理论依据。

### 1 森林地上层蓄水功能的研究

#### 1.1 森林地上层的蓄水机理

大气降雨进入森林生态系统后首先通过林冠层进行第一次水量分配。当雨水落到枝叶的表面, 受枝叶表面吸附力的作用被截留, 逐渐在枝叶的表面形成一层水膜, 这层水膜又吸附其他的雨水, 直到降落在枝叶表面的雨滴重力超过了水膜的表面张力为止<sup>[1]</sup>。林冠层将大气降水分配为林内降

水、树干茎流和林冠截留三部分<sup>[2]</sup>。对于复层结构林分, 降水经过林冠截留后, 大部分雨水透过林冠落到林下木本或草本覆盖层上, 出现了与林冠层相似的再截留过程。

#### 1.2 不同因子对地上层蓄水功能的影响

##### 1.2.1 林冠特性因子对地上层蓄水功能的影响

林冠特性因子(林分类型、林冠结构、林冠郁闭度、树冠的湿润状况等)不同, 林冠的截留率和截留量也不同。首先, 林冠枝叶的粗糙度影响林冠的截留能力。刘向东等的研究表明, 枝叶表面粗糙的树种比枝叶表面光滑的树种的林冠吸水能力强, 截留量大<sup>[3]</sup>。林冠截留量还受林冠枝叶的分布情况的影响。范世香等研究表明, 林冠枝叶空间分布越均匀, 林冠枝叶量越多, 其饱和截留容量越大<sup>[4]</sup>。林分结构是影响其截留量的一个重要因子。据观测, 单层林分的降水截留量低于复层林分<sup>[5]</sup>。林冠截留率与林分郁闭度有很大关系, 林冠层的郁闭度不同, 枝叶量不同, 所产生的总的表面张力也不同, 从而导致林冠层的截留量不同。马雪华等的研究表明, 林冠的郁闭度越大, 其截留降水量就越大; 箭竹-冷杉林郁闭度为0.7, 林冠的截留率为23.40%, 郁闭度为0.3, 林冠截留率为12.66%<sup>[6]</sup>。林冠湿润状况是影响林冠截留率的一个不可忽视的因子。在多雨的季节, 由于连续降雨, 叶、枝、干经常保持潮湿, 截留率较低<sup>[7]</sup>。

收稿日期: 2004-10-13

基金项目: 国家发展计划委员会山区生态环境建设项目

作者简介: 李红云(1979-), 女, 硕士研究生, 主要从事流域综合治理及生态林业工程方面的研究。



### 1.2.2 降雨特性对地上层蓄水功能的影响

林冠截留量的大小受降雨量、降雨强度、降雨频率等降雨性质的影响较大。一般来说,在达到饱和以前,林冠截留量随着降雨量的增加而不断增加,但降雨量与截留量之间的关系却不能确定。马雪华等对亚热带杉木、马尾松人工林的研究表明,当降雨量小于 5 mm 时,林冠截留量随降雨量的增加而急剧增加,之后,林冠截留量的递增速度愈来愈慢,林冠截留量与降雨量之间以幂函数的相关性较好,当降雨量增加到一定程度后,林冠截留能力增加趋缓,最终将达到林冠的饱和截留容量<sup>[8]</sup>。谢春华等据实测数据得出,对处于不同演替阶段的峨眉冷杉林林冠截留量与林外降雨量表现出明显的幂函数关系<sup>[9]</sup>。Merriam 却认为截留量与降雨量之间呈指数递减规律<sup>[10]</sup>。因此,截留量与降雨量之间的关系是很复杂的。

一般来说,降雨强度与林冠截留量呈反比关系。当降雨强度较小时,雨滴的直径较小,雨滴产生的动能就较小,雨滴在表面张力的作用下很容易被林冠所截留;而当降雨强度较大时,雨滴的动能也较大,降雨对林冠枝叶表面的打击力较大,枝叶体的晃动幅度较大,这就加大了重力的作用,使林冠截留量减少。马雪华对四川米亚罗地区高山冷杉林林冠截留降雨量的研究得出,日降雨量小于 5 mm 时,截留率为 45%~55%,日降雨量为 10~15 mm 时,截留率为 20%~30%,日降雨量为 15~20 mm 时,林冠截留率为 10%~20%,日降雨量为 25~30 mm 时,林冠截留率为 5%<sup>[6]</sup>。林冠截留作用还与降雨历时显著相关,截留速率随降雨历时增大而减小<sup>[11]</sup>。降雨频率也是影响林冠截留功能的一个不可忽视的因子。孟广涛等的研究表明,降雨频率对林冠截留率有影响,降水频度大时,林内湿度长期保持在一个较高水平,因而,林冠截留率低<sup>[12]</sup>。

## 2 森林地表层蓄水功能的研究

### 2.1 森林地表层的蓄水机理

降水通过地上层后,到达地表层。森林地表层主要是枯枝落叶层,它可以分为未分解层、半分解层和全分解层三个层次。枯枝落叶层具有较强的蓄水能力,是森林水文效应的第二层次。枯枝落叶层的截留过程可分为截留、渗透和饱和三个阶段。枯枝落叶层还能通过改善地表层土壤物理性状和抑制土壤蒸发等起到间接的蓄水作用。

### 2.2 不同因子对地表层蓄水功能的影响

#### 2.2.1 枯落物蓄积量与其性质对地表层蓄水功能的影响

枯枝落叶层的蓄水能力用干物质的最大持水率(%)来表示,枯落物的最大持水率(%)和单位面积枯落物的蓄积量之积即为最大持水量。树种不同,枯枝落叶层的吸持水能力也不相同。杨吉华等对山丘地区几种树种枯枝落叶层的研究表明,阔叶林枯枝落叶层的最大持水量高于针阔混交林,而针阔混交林枯枝落叶层的最大持水量又高于针叶林<sup>[13]</sup>。枯枝落叶层的组成成份是影响森林地上层蓄水功能的一个很重要的因子。不同枯枝落叶层的最大持水率不同,苔藓为 587%,软阔叶为 386%,硬阔叶为 250%,乔灌木枝干为 152%,针叶为 172%<sup>[14]</sup>。枯枝落叶的分解程度不同,其持水能力有很大差异。常绿针叶林的未分解层、半分解层和全分解层的蓄水量所占的比重分别为 18.8%、56.8%和 24.4%<sup>[15]</sup>,其中,半分解层的持水能力最高。林分类型不同,枯枝落叶层的蓄水量会大不相同。六盘山乔木林地枯枝落叶层的最大持水量为 23~78 t/hm<sup>2</sup>,灌木林枯枝落叶层的最大持水量 4~18 t/hm<sup>2</sup><sup>[13]</sup>。林地枯落物蓄积量对其持水量影响

较大,一般来说,枯落物越厚,蓄积量越大,枯落物层的吸持水量也越大,但是,枯落物年吸持水量与枯落物蓄积量之间并非直线关系。研究表明,郁闭度为 0.8 的人工刺槐林,当枯落物蓄积量从 500 g/m<sup>2</sup> 增加到 1 000 g/m<sup>2</sup> 和 1 500 g/m<sup>2</sup> 时,其年截留降水量从 23.5 kg/(m<sup>2</sup>·a) 增加到 36.51 kg/(m<sup>2</sup>·a) 和 49.75 kg/(m<sup>2</sup>·a),仅增加 55.4% 和 112%,这与枯落物一边蓄水一边透水的持水特点有关<sup>[16]</sup>。森林郁闭度对枯枝落叶层的持水量有一定影响。郁闭度的差异,必然引起林内水热条件及其生物量变化,造成枯落物蓄积量及持水量不同。据闫文德等的研究,郁闭度越大,地表层枯落物蓄积量越大,持水量相应的增加<sup>[17]</sup>。

### 2.2.2 降雨特性对地表层蓄水功能的影响

地表层枯枝落叶的蓄水功能还与降雨特性有关系。降雨量不同,枯落物截留率不同。吴钦孝等对山杨次生林枯落物层截留降水作用的研究表明,降水量在 5 mm 以下时,枯落物可截留其中的一半以上,直至全部截留;降水量在 5 mm 以上时,截留率明显降低<sup>[18]</sup>。因此,枯落物层的截留率随降水等级的增加而减小。刺槐林地枯落物为 500~625 g/m<sup>2</sup> 的情况下,雨量小于 2.86 mm 时,降雨全部被枯落物所吸收;当降雨量大于 2.86 mm 时,枯落物开始出现下渗,但尚未饱和;降雨量增至 45 mm 以上时,持水饱和,达到稳定阶段,由此可知,枯落物持水量的增加过程比降水量增加缓慢<sup>[16]</sup>。

### 2.2.3 地形因子对地表层蓄水功能的影响

地形因子(坡度、坡位、坡向等)也是影响地表层蓄水功能的重要因子。在坡地上,枯落物中的水分会产生沿坡向下的重力分力,促使水分沿坡向下移动,从而降低枯落物的持水量。在降雨初期,枯落物持水少,坡度的影响不显著,随降雨量的增大,坡度的影响更加明显。坡度为 30°、25°、20°、15° 的森林的饱和持水量的比为 1:1.05:1.15:1.28,这个比例关系较坡度的变化小,说明枯落物持水能力相对比较稳定<sup>[16]</sup>。坡向也会影响枯落物持水量,张理宏等研究表明,阴坡灌木林枯落物最大持水量比阳坡灌木林枯落物的最大持水量大<sup>[19]</sup>。

### 2.3 森林地表层的抑制蒸发功能

枯落物覆盖对土壤蒸发有明显的抑制作用,地表层枯落物的抑制蒸发功能是枯落物层的间接蓄水功能。杨立文等通过对太行山主要植被枯落物层水文作用的研究指出,在 1995 年 8 月份,裸露地表的日蒸发量为 1.82 mm,而有枯落物覆盖的地表日蒸发量仅为 0.45 mm。一个月期间,覆盖有枯落物的地表蒸发量仅为 13.8 mm,而裸地蒸发量为 56.3 mm,枯落物的存在每年可减少地表蒸发量的 22.0%<sup>[20]</sup>。吴钦孝等对黄土高原森林枯落物层的研究表明,枯落物层抑制土壤蒸发效应随土壤含水量的提高和枯落物层厚度的增加而增强<sup>[21]</sup>。长期无雨土壤已经很干旱的情况下,有枯落物覆盖的土壤水分蒸发接近无枯落物覆盖的同类土壤的水分蒸发,土壤含水量为 1/2 田间持水量时,2 cm 和 5 cm 厚度的油松枯落物覆盖处理,5 个月平均日蒸发量分别比裸地减少 13.5% 和 27.1%,土壤水分田间持水量时,分别减少 66.8% 和 77.4%<sup>[22,23]</sup>。

## 3 森林土壤层蓄水功能的研究

### 3.1 森林土壤层蓄水机理

森林土壤层的土壤是森林水文效应的第三层次。土壤层蓄水功能的强弱主要取决于土壤的土层厚度、土壤容重、孔隙度等物理性状。由于林木根系和枯枝落叶层改善了土壤物理性状,土壤的蓄水和透水性能增加<sup>[24,25]</sup>,土壤层的蓄水能力增强。林地土壤层是大气降水的主要蓄存库和调节器,在



森林水循环中有着重要的作用。

### 3.2 不同因子对土壤蓄水功能的影响

森林土壤的蓄水能力依林分类型、土壤类型、土壤层次等因子的不同而不同。不同林分类型,土壤层的物理性状不同,其蓄水功能大小也不同,乔木林林地土壤蓄水能力优于灌木,优于草地,阔叶林林地土壤蓄水能力优于针叶林<sup>[3,26-30]</sup>。就同一类型的林分而言,林地土壤的类型不同,土壤的理化性状也不同,从而影响土壤的蓄水能力。高人等对辽宁东部山区几种主要森林植被类型土壤矿质层蓄水能力的研究表明,同一森林类型暗棕壤的有效蓄水能力小于棕壤的有效蓄水能力,不同类型土壤蓄水能力的差异率可达14.4%<sup>[29]</sup>。

林地土壤的层次不同,树木对土壤的物理性状的影响也明显不同,因此,其蓄水能力也存在差异。研究表明,同一林地内,表层土壤的蓄水能力最强,土层越深,土壤蓄水能力越弱<sup>[31,32]</sup>。坡向也是影响土壤蓄水能力的一个重要因子。坡向不同,林木对土壤的影响程度以及土壤自身的风化程度不同,土壤层的蓄水能力也存在差异。研究表明,就同一种林分而言,阴坡土壤的蓄水能力高于阳坡<sup>[33]</sup>。

### 参考文献

- [1] 殷有,周永斌,崔建国,等. 林冠截留模型[J]. 辽宁林业科技, 2001, (5): 10-12
- [2] 宋轩,李树人,姜凤,等. 长江中游栓皮栎林水文生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 76-79
- [3] 刘向东,吴钦孝,苏宁虎. 六盘山林区森林树冠截留、枯枝落叶层和土壤水稳性质的研究[J]. 林业科学, 1989, 25(3): 220-227
- [4] 范世香,裴铁军,蒋德明,等. 两种不同林分截留能力的比较研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 671-674
- [5] 杨玉盛,陈光水,谢锦升. 论森林水源涵养功能[J]. 福建水土保持, 1999, (3): 3-7
- [6] 马雪华. 四川米亚罗地区高山冷杉林水文作用的研究[J]. 林业科学, 1987, 23(3): 253-265
- [7] 曹成有,郭荫槐,刘玉学,等. 辽宁东部山区主要森林类型林冠截留降水的研究[J]. 林业科技通讯, 1997, (4): 19-20
- [8] 马雪华,杨茂瑞,胡星弼. 亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[J]. 林业科学, 1993, 29(3): 199-206
- [9] 谢春华,关文彬,吴建安,等. 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 69-70
- [10] Merriam R A. A note on the interception loss equation[J]. J. Geophys Res, 1960, 65: 3850-3851
- [11] 王鸣远,王礼先. 三峡库区马尾松林分对降雨截留效应的研究[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(4): 74-81
- [12] 孟广涛,朗南军,方向京,等. 滇中华山松人工林的水文特征及水量平衡[J]. 林业科学研究, 2001, 14(1): 78-84
- [13] 杨吉华,柳凯生,宫瑞,等. 山丘地区森林保持水土效益的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 47-52
- [14] 黄礼隆. 川西亚高山暗针叶森林涵养水源性能的初步研究[A]. 见:周晓峰. 中国森林生态系统定位研究[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1994. 400-412
- [15] 刘伦辉,刘文耀. 滇中山地主要植物群落水土保持效益比较[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 36-42
- [16] 王佑民,刘秉正. 黄土高原防护林生态特征[M]. 北京:中国林业出版社, 1994. 232-236
- [17] 闫文德,张学龙,王金叶,等. 祁连山森林枯落物水文作用的研究等[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(2): 7-14
- [18] 吴钦孝,刘向东,苏宁虎,等. 山杨次生林枯枝落叶层蓄积量及其水文作用[J]. 水土保持学报, 1992, 6(1): 71-76
- [19] 张理宏,李昌哲,杨立文. 北京九龙山不同植被水源涵养作用的研究[J]. 西北林学院学报, 1994, 9(1): 18-21
- [20] 杨立文,石清峰. 太行山主要植被枯枝落叶层的水文作用[J]. 林业科学研究, 1997, 10(3): 181-188
- [21] 吴钦孝,赵鸿雁,韩冰. 黄土高原森林枯枝落叶层保持水土的有效性[J]. 西北农林科技大学学报, 2001, 29(5): 95-98
- [22] 苏宁虎. 林地枯落物最佳蓄积量确定方法的探讨[J]. 生态学报, 1998, 8(2): 148-153
- [23] 赵鸿雁,吴钦孝,刘向东. 森林枯枝落叶层抑制土壤蒸发研究[J]. 西北林学院学报, 1992, 7(2): 14-20
- [24] 白育英. 大青山水源涵养林生态效益的研究[J]. 内蒙古林业科技, 2000, (4): 16-19
- [25] 阎树文. 黄土地区不同森林类型的水土保持效益研究[J]. 水土保持通报, 1986, 6(2): 1-5
- [26] 车克钧,傅辉恩,贺红元. 祁连山水源涵养林效益的研究[J]. 林业科学, 1992b, 28(6): 544-548
- [27] 何东宁,王占林,张洪勋. 青海乐都地区森林涵养水源效能研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(1): 71-78
- [28] 郝占庆,王力华. 辽东山区主要森林类型林地土壤涵蓄水性能的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 237-241
- [29] 高人,周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型土壤矿质层蓄水能力分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(1): 31-34
- [30] 袁春明,朗南军,孟光涛,等. 长江上游云南松林水土保持生态效益的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 87-90
- [31] 李德生,张萍,张水龙,等. 黄前库区森林土壤蓄水能力研究[J]. 南京林业大学学报, 2004, 28(1): 25-28
- [32] 王冬米. 森林土壤透水性蓄水性能的研究[J]. 林业科技开发, 2000, 14(4): 10-12
- [33] 郭立群,王庆华,周洪昌,等. 滇中高原区主要森林类型林地土壤蓄水功能[J]. 云南林业科技, 1999, (1): 26-31

## 4 结论与建议

(1) 森林地上层的蓄水功能受降雨特性和林冠特性因子的影响较大。其中,林分结构、林分郁闭度和降雨量是影响森林地上层蓄水量的重要因子。森林地表的蓄水功能受枯枝落叶层的蓄积量、性质以及降雨特性、地形因子的影响较大。其中,以枯落物的蓄积量、组成结构以及降雨特性的影响最大。森林能有效地改善土壤的物理性状,增加土壤的非毛管孔隙度,提高土壤的渗透性,加快地表水与地下水之间的转化,增强土壤的蓄水能力,林地土壤的蓄水功能受林分类型、土壤类型、土壤层次和坡向等因子的影响较大。

(2) 在森林不同水文层次的蓄水功能的研究方面,还存在一些薄弱环节,今后应重点注意加强以下几方面的研究:林冠截留量与降雨量之间的关系;地形因子对林冠截留量的影响;枯枝落叶层截留降水的机理;枯枝落叶的分解状况与其持水能力的关系;土壤层蓄水量与外界因子的关系模型;森林土壤层的水分变化动态;森林各个水文层次蓄水量的测算方法等。