

# 冀北地区典型林分枯落物层与土壤层的水文效应

宣立辉<sup>1</sup>, 康凡<sup>2</sup>, 谷建才<sup>1</sup>, 黄冬梅<sup>3</sup>

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 廊坊泽通林业公司, 河北 廊坊 065000; 3. 河北农业大学 理学院, 河北 保定 071000)

**摘要:**以丰宁县4种典型林分为研究对象,主要采用室内浸水法和环刀浸泡法,进行了枯落物的持水量、吸水速度以及土壤物理性质等的测定,并对其水文效应进行了研究。结果显示:枯落物的总蓄积在 $9.58\sim 11.50\text{ t/hm}^2$ ,蓄积量大小排序为:杨树针阔混交林>杂木林>杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林;杨树阔叶混交林的最大持水量最大为 $14.56\text{ t/hm}^2$ ,其最大持水率最大为 $295.46\%$ 。土壤的平均容重 $0.77\sim 0.98\text{ g/cm}^3$ ,其大小顺序为:杨树针阔混交林>杂木林>杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林;土壤总孔隙度 $48.98\%\sim 56.72\%$ ,其中最大为杨树阔叶混交林,最小为杂木林;土壤最大持水量在 $623.67\sim 726.33\text{ t/hm}^2$ ,其中最大持水量的最大值是最小值的1.16倍。土壤初渗速率其变动范围在 $23.95\sim 28.12\text{ mm/min}$ ,其中杨树针阔混交林土壤初渗速率最大为 $28.12\text{ mm/min}$ ,榆树阔叶混交林的土壤初渗速率最小为 $23.95\text{ mm/min}$ 。

**关键词:**冀北地区;小坝子乡;枯落物;土壤;水文效应

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)04-0086-06

## Hydrological Effects of Litter and Soil Layers in Typical Stands of North Hebei

XUAN Lihui<sup>1</sup>, KANG FAN<sup>2</sup>, GU Jiancai<sup>1</sup>, HUANG Dongmei<sup>3</sup>

(1. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China; 2. Zetong Forestry Company of Langfang, Langfang, Hebei 065000, China; 3. College of Science, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** Four kinds of typical forests in Fengning County were taken as the research objects, indoor immersion method and ring knife immersion method were adopted to determine the water holding capacity, water absorption rate and soil physical properties of litter, and the hydrological effect was studied. The results showed that the total accumulation of litter was  $9.58\sim 11.50\text{ t/hm}^2$ , the volumes decreased in the order: poplar theropencedrymion > shaw > poplar broad-leaved mixed forest > elm broad-leaved mixed forest; the maximum water holding capacity of poplar broad-leaved mixed forest was  $14.56\text{ t/hm}^2$ , and the maximum water holding rate was  $295.46\%$ ; the average soil bulk densities were between  $0.77\sim 0.98\text{ g/cm}^3$ ; the densities decreased in the order: poplar theropencedrymion > shaw > poplar broad-leaved mixed forest > elm broad-leaved mixed forest; the total soil porosity was  $48.98\%\sim 56.72\%$ , the largest was found in the poplar broad-leaved mixed forest, the minimum was observed in shaw; the maximum soil water holding capacity was  $623.67\sim 726.33\text{ t/hm}^2$ , and the maximum water holding capacity of maximum value was 1.16 times as much as that of the minimum. The initial infiltration rate of soil varied from  $23.95\text{ mm/min}$  to  $28.12\text{ mm/min}$ . The initial infiltration rate in poplar theropencedrymion was  $28.12\text{ mm/min}$ , and the initial infiltration rate in elm broad-leaved mixed forest was minimum, it was  $23.95\text{ mm/min}$ .

**Keywords:** north Hebei; Xiaobazi Township; litter; soil; hydrological effect

枯枝落叶是森林生长过程的自然产物,它在森林水文调节方面有重要功能,可以控制水土流失。枯落物的水文作用主要体现在枯落物的吸水方面,吸水量的多少与其林地现存量、分解状况以及自身的含水量、天气状况等多种因子有关<sup>[1]</sup>。枯落物层作为森林水文作用的第二个功能层,在截持降雨、阻抑径流、减少土壤水分蒸发和土壤流失等方面具有重要作用<sup>[2]</sup>。森林枯落物层是森林涵养水源作用的主要作用层<sup>[3]</sup>。由于接坝山地处于京津冀重要位置,其生态环境极其脆弱又处于极其重要的地位,对冀北生态环境起着重要的作用,所以研究冀北接坝地区典型林分的水文效应变得极其重要。

国内外许多学者对不同区域内、不同森林类型森林植被下的枯落物和土壤物理性质进行了大量研究,而且在枯落物的凋落量、凋落动态、分解速率、影响地表径流和土壤侵蚀机理等方面取得了一定的成果;国内学者还对枯落物凋落动态及其森林水文过程进行了模拟研究,刘向东等<sup>[4]</sup>认为油松截留量与降雨量的关系符合幂函数关系;土壤水分贮存和水分入渗作为森林植被的主要水文过程和功能是反映森林植被保持水土和涵养水源作用的重要水文参数<sup>[5]</sup>。但目前关于丰宁县小坝子乡榆树阔叶混交林、杨树针阔混交林、杂木林和杨树阔叶混交林 4 种林分枯落物持水能力及土壤物理性质的研究相对较少。本文拟对冀北地区 4 种典型林分的枯落物蓄积量、持水能力和土壤的持水能力进行研究,分析冀北地区枯落物层和土壤层的水文效

应,以期为该地区的生态环境保护提供理论支持。

1 研究区概况

研究区在河北省丰宁满族自治县小坝子乡,地处冀北接坝山区,地理坐标北纬 41°22′8″—41°34′6″,东经 116°12′49″—116°29′30″,土地总面积 31 002 hm<sup>2</sup>。小坝子气候寒冷而干旱,是典型的大陆季风性干旱气候。年平均气温 0.9~6.2℃,无霜期 110~145 d,坝上地区有效年积温 1 082℃,坝下地区有效年积温 1 489℃。年降水量 350~550 mm。地带性植被为温带落叶阔叶林,由于小坝子乡地处农牧交错带,生态系统极其脆弱,是影响京津地区主要沙源地和风沙通道。加之地理地貌和自然条件特殊,以及人类的过度开发和放牧。现有植被主要为原始森林破坏后经过封育或天然更新发展起来的次生林,辅以人工林和经济林。

2 研究方法

2.1 样地调查

在前期踏查的基础上,于 2016 年 7 月底—8 月中旬,在丰宁县小坝子乡进行试验样地调查。根据试验区的地形和植被自然分布情况设置标准样地,采用罗盘仪设置标准地,并选取 4 块面积为 20 m×20 m 的标准地,对林木进行每木检尺,测量胸径、树高等,并记录树种组成、海拔、坡度、郁闭度、林分密度等,其中郁闭度采用目测法测量,各样地基本调查结果见表 1。

表 1 样地基本情况

| 林分<br>类型 | 树种<br>组成    | 海拔/<br>m | 坡度/<br>(°) | 郁闭度  | 平均<br>胸径/cm | 平均<br>树高/m | 林分密度/<br>(株·hm <sup>-2</sup> ) |
|----------|-------------|----------|------------|------|-------------|------------|--------------------------------|
| 榆树阔叶混交林  | 7 榆 2 杨 1 柳 | 757      | 0~5        | 0.75 | 9.13        | 6.04       | 1423                           |
| 杨树针阔混交林  | 6 杨 4 油     | 868      | 0~5        | 0.76 | 12.14       | 8.06       | 1402                           |
| 杂木林      | 4 榆 4 杨 2 油 | 762      | 0~5        | 0.62 | 13.52       | 11.36      | 1349                           |
| 杨树阔叶混交林  | 7 杨 3 柳     | 876      | 0~5        | 0.78 | 7.45        | 5.31       | 1425                           |

2.2 枯落物蓄积量及持水能力的测定

在每块标准地内选取 3 个有代表性的样方,面积为 0.3 m×0.3 m,用钢尺测量并记录枯落物的未分解层、半分解层的厚度并分别装入牛皮纸袋中,带回实验室用精度为 0.1 g 的电子天平称其鲜重,然后放入烘箱内在 85℃ 下烘干后称其干重,以计算单位面积枯落物蓄积量及自然含水率。

采用室内浸泡法<sup>[6]</sup>测定枯落物持水量及吸水速度。将烘干后的枯落物浸入水中,分别测定 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24 h 的重量变化,以每次无水滴下为标准,进行称重,研究其吸水速度及吸水过程。每次取出称重后枯落物湿重与干重的差值,根据重量变化,测定分析枯落物的持水量、吸水速率和

饱和持水率。采用以下公式计算枯落物的含水指标<sup>[7-8]</sup>,即:

$$C=(m_1-m_2)/m_2\times 100\%$$

$$S=(m_3-m_2)/m_2\times 100\%$$

$$W_m=(R_m-R_o)\times M$$

$$W=(0.85 R_m-R_o)\times M$$

式中:C 为枯落物自然含水量(%); $m_1$  为样品鲜重(g); $m_2$  为样品干重(g);S 为饱和持水率; $m_3$  为样品浸水 24 h 后的质量(g); $W_m$  为枯落物最大拦蓄量(t/hm<sup>2</sup>); $W$  为枯落物有效拦蓄量(t/hm<sup>2</sup>); $R_m$  为最大持水率(%); $R_o$  为平均自然含水量(%); $M$  为枯落物蓄积量(t/hm<sup>2</sup>)。

2.3 土壤水分物理性质的测定

土壤调查采用剖面法,在每块标准地内选取 3 块

土壤剖面,用环刀在挖掘的剖面上按 0—10,10—20,20—40 cm 机械取样,用环刀浸泡法测定土壤容重、孔隙度等物理性质<sup>[9]</sup>,用双环法测定土壤入渗<sup>[10]</sup>,具体公式如下:

$$W=10000Ph \quad (5)$$

式中: $W$  为土壤持水量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ); $P$  为土壤孔隙度(%); $h$  为土壤厚度(m)。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同林分类型枯落物蓄积量

枯落物蓄积量是衡量森林生态系统第一生产力的重要指标,枯落物蓄积量受到枯落物结构、地表积累时间和微生物等对其分解速率的影响,同时林分结构、气象因素、枯落物自身特性以及人类等因素与枯落物储量也密切相关<sup>[11]</sup>。由表 2 可知,4 种林分类型的枯落物的厚度变动范围为 3.7~5.2 cm,其中杨树阔叶混交林枯

落物厚度最大为 5.2 cm,杂木林枯落物厚度最小为 3.7 cm,枯落物厚度由大到小为:杨树针阔混交林>杂木林>杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林,这可能由于针叶林树叶分解较慢,阔叶林树叶分解较快,且凋落物量及其分解速率受林分组成与林分环境的影响。

4 种林分类型下枯落物蓄积量有一定差别,分析不同林分类型枯落物的未分解层和半分解层的储蓄量可知,4 种林分类型枯落物蓄积量变动范围为 9.58~11.50  $\text{t}/\text{hm}^2$ ,其中在未分解层中杨树针阔混交林所占比例最大,占总储量的 49.48%;榆树阔叶混交林所占的比例最小,占总储量的 50.52%。在半分解层中杨树针阔混交林所占比例最大,占总量的 50.52%;榆树阔叶混交林所占比例最小,占总储量的 49.48%,蓄积量大小为:杨树针阔混交林>杂木林>杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林,这一差别主要是树种组成不同造成的。

表 2 不同林分类型枯落物蓄积量

| 林分类型    | 未分解层      |  |           | 半分解层      |  |           | 总蓄积/<br>( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) | 总厚度/<br>cm |
|---------|-----------|--|-----------|-----------|--|-----------|---|------------|
|         | 厚度/<br>cm | 蓄积/<br>( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) | 占总量/<br>% | 厚度/<br>cm | 蓄积/<br>( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) | 占总量/<br>% |   |            |
| 榆树阔叶混交林 | 3.2       | 4.84                                       | 50.52     | 1.7       | 4.74                                       | 49.48     | 9.58  | 4.9        |
| 杨树针阔混交林 | 2.3       | 5.69                                       | 49.48     | 2.1       | 5.81                                       | 50.52     | 11.50                                       | 4.4        |
| 杂木林     | 1.8       | 5.68                                       | 49.69     | 1.9       | 5.75                                       | 50.31     | 11.43                                       | 3.7        |
| 杨树阔叶混交林 | 3.4       | 4.98                                       | 50.66     | 1.8       | 4.85                                       | 49.34     | 9.83  | 5.2        |

#### 3.2 不同林分类型枯落物的持水能力

3.2.1 不同林分类型枯落物最大持水量 枯落物持水量是评价森林涵养水源和保持水土能力的重要指标之一,林地枯落物的持水能力用最大持水量和最大持水率表示<sup>[12]</sup>。由表 3 可知,4 种林分类型的最大持水量不同,枯落物最大持水量变动范围在 13.58~14.56  $\text{t}/\text{hm}^2$ ,其中在未分解层中杨树阔叶混交林的枯落物最大持水量最大,为 14.56  $\text{t}/\text{hm}^2$ ,杂木林枯落物的最大持水量最小,为 13.58  $\text{t}/\text{hm}^2$ ;在半分解层中杨树阔叶混交林的最大持水量最大,为 14.48  $\text{t}/\text{hm}^2$ ,杂木林枯落物的最大持水量最小,为 11.78  $\text{t}/\text{hm}^2$ ;枯落物的最大持水量的大小分别为:杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杨树针阔混交林>杂木林。

表 3 不同林分类型的最大持水量及最大持水率

| 林分类型    | 最大持水量/( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) |       |       | 最大持水率/% |        |        |
|---------|---|-------|-------|---------|--------|--------|
|         | 未分解层                                      | 半分解层  | 总和    | 未分解层    | 半分解层   | 平均     |
| 榆树阔叶混交林 | 14.01                                     | 13.41 | 27.42 | 289.46  | 282.91 | 286.19 |
| 杨树针阔混交林 | 13.85                                     | 11.89 | 25.74 | 243.41  | 204.65 | 224.03 |
| 杂木林     | 13.58                                     | 11.79 | 25.37 | 239.08  | 205.04 | 222.06 |
| 杨树阔叶混交林 | 14.56                                     | 14.48 | 29.04 | 292.37  | 298.56 | 295.46 |

4 种林分类型中枯落物的最大持水率的变动范围 222.06%~295.46%,其中在未分解层中杨树阔

叶混交林的最大持水率最大,为 292.37%;杂木林的最大持水率最小,为 239.08%。在半分解层中杨树阔叶混交林的最大,为 298.56%;杨树针阔混交林最大持水率最小,为 204.65%;不同林分枯落物最持水率的大小分别为:杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杂木林>杨树针阔混交林。

3.2.2 不同林分类型枯落物持水过程 枯落物的持水能力多用于干物质的最大持水量和最大持水率表示,枯落物越干燥,吸水的速度越快;枯落物越多,短时间内吸持的水量越大<sup>[13]</sup>。枯落物持水量与浸水时间的关系如图 1 所示。各枯落物层持水量与浸水时间的关系的排序大小为:杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杨树针阔混交林>杂木林,在最初浸泡的 0.5 h 内,枯落物持水量迅速增加,以后随浸泡时间的增加,呈不断增加趋势,24 h 基本达到饱和。

对 4 种不同林分枯落物做 0.25~24 h 的持水试验,对枯落物未分解层和半分解层持水量与时间的关系进行回归分析,得出该时间段的拟合模型:

$$Q=a\ln t+b \quad (6)$$

式中: $Q$  为枯落物持水量( $\text{g}/\text{kg}$ ); $t$  为浸泡时间(h); $a$  为方程系数; $b$  为方程常数项。不同林分类型枯落物持水量与浸水时间关系式见表 4。

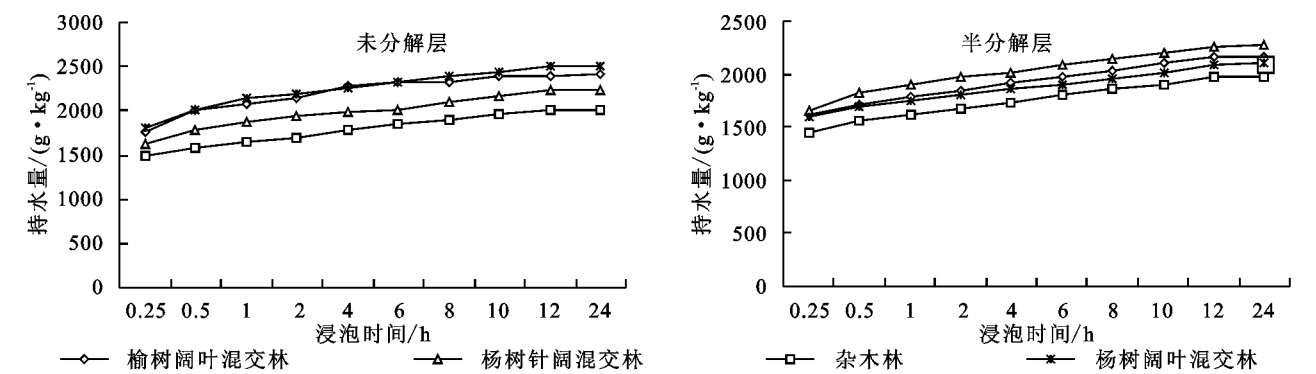


图 1 枯落物未分解层、半分解层持水量与浸泡时间的关系

| 表 4 不同林分类型枯落物持水量与浸水时间关系式 |         |                        |        |
|--------------------------|---------|------------------------|--------|
| 枯落物层                     | 林分类型    | 关系式                    | 相关系数   |
| 未分解层                     | 榆树阔叶混交林 | $Q=287.15\ln t+1779$   | 0.9891 |
|                          | 杨树针阔混交林 | $Q=261.1\ln t+1597$    | 0.9704 |
|                          | 杂木林     | $Q=248.81\ln t+1416.4$ | 0.9540 |
|                          | 杨树阔叶混交林 | $Q=313.15\ln t+1785.2$ | 0.9905 |
| 半分解层                     | 榆树阔叶混交林 | $Q=232.04\ln t+1404.4$ | 0.9528 |
|                          | 杨树针阔混交林 | $Q=268.04\ln t+1626.1$ | 0.9759 |
|                          | 杂木林     | $Q=249.3\ln t+1552.8$  | 0.9454 |
|                          | 杨树阔叶混交林 | $Q=226.62\ln t+1533.2$ | 0.9416 |

3.2.3 不同林分林分类型枯落物的吸水速率 枯落物未分解层和半分解层吸水速率与浸泡时间关系如图 2 所示。各林型枯落物层吸水速率大小排序为:杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杨树针阔混交林>杂木林,枯落物吸水速率在 0.25 h 内最大,之后随着时间的增加吸水速度逐渐减慢,6 h 后下降速度逐渐减慢,24 h 基本达到饱和。

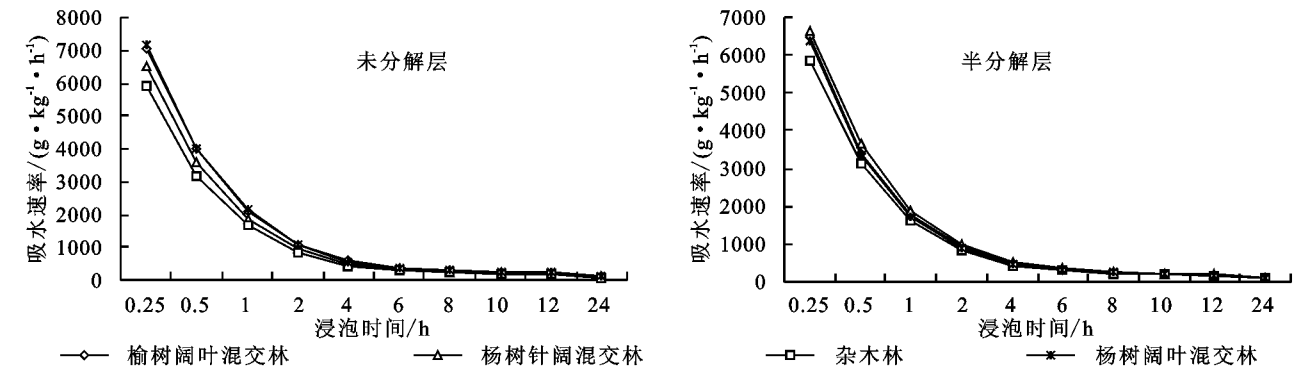


图 2 枯落物未分解层、半分解层持水量与浸泡时间的关系

| 表 5 不同林分类型枯落物吸水率与浸水时间关系式 |         |                       |        |
|--------------------------|---------|-----------------------|--------|
| 枯落物层                     | 林分类型    | 关系式                   | 相关系数   |
| 未分解层                     | 榆树阔叶混交林 | $y=11200x^{-1.8602}$  | 0.9626 |
|                          | 杨树针阔混交林 | $y=10086x^{-1.8607}$  | 0.9639 |
|                          | 杂木林     | $y=8974.8x^{-1.8535}$ | 0.9670 |
|                          | 杨树阔叶混交林 | $y=11275x^{-1.8516}$  | 0.9626 |
| 半分解层                     | 榆树阔叶混交林 | $y=8885.9x^{-1.8606}$ | 0.9666 |
|                          | 杨树针阔混交林 | $y=10275x^{-1.8599}$  | 0.9647 |
|                          | 杂木林     | $y=9822x^{-1.864}$    | 0.9675 |
|                          | 杨树阔叶混交林 | $y=9683.3x^{-1.873}$  | 0.9675 |

对 4 种不同林分枯落物做 0.25~24 h 的吸水试验,对枯落物未分解层和半分解层吸水速率与时间的关系进行回归分析,得出该时间段内吸水速率与浸泡时间存在拟合模型(表 5)为:

$$v=kt^n \tag{7}$$

式中: $v$  为枯落物吸水速率 $[g/(kg \cdot h)]$ ;  $t$  为浸泡时间(h);  $k$  为方程系数;  $n$  为指数。

3.3 不同林分类型枯落物的拦蓄能力

枯落物有效拦蓄量反映了枯落物的实际拦蓄降水能力,是判断枯落物对降水拦蓄的真实指标<sup>[14]</sup>。从表 6 中有效拦蓄量与有效拦蓄率可以看出:在未分解层中有效拦蓄量大小排序为:杨树阔叶混交林(11.84 t/hm<sup>2</sup>)>榆树阔叶混交林(11.41 t/hm<sup>2</sup>)>杨树针阔混交林(11.28 t/hm<sup>2</sup>)>杂木林(11.07 t/hm<sup>2</sup>);在半分解层中有效拦蓄量大小排序为:杨树阔叶混交林(11.01 t/hm<sup>2</sup>)>榆树阔叶混交林(10.16 t/hm<sup>2</sup>)>杂木林(9.09 t/hm<sup>2</sup>)>杨树针阔混交林(9.07 t/hm<sup>2</sup>)。

3.4 不同林分类型土壤层水文效应

3.4.1 不同林分土壤容重 土壤容重是土壤紧实度的敏感指标,它受林分土壤发育状况的影响,也是表征土壤质量的一个重要参数,反映土壤透水性、通气性和根系延展时阻力的大小<sup>[15]</sup>。由图 3 可知,随着土层深度的增加土壤容重不断增加。榆树阔叶混交林中林地土壤容重从 0—10 cm 的 0.76 g/cm<sup>3</sup> 增加到 20—40 cm 的 0.78 g/cm<sup>3</sup>;杨树针阔混交林中林地土壤容重从 0—10

cm 的 0.95 g/cm<sup>3</sup> 增加到 20—40 cm 的 1.01 g/cm<sup>3</sup>; 杂木林中林地土壤容重从 0—10 cm 的 0.93 g/cm<sup>3</sup> 增加到 20—40 cm 的 0.98 g/cm<sup>3</sup>; 杨树阔叶混交林中林地土

壤容重从 0—10 cm 的 0.76 g/cm<sup>3</sup> 增加到 20—40 cm 的 0.82 g/cm<sup>3</sup>。这是因为土层深度的增加土壤有机质含量逐渐减少, 土层也越来越结实。

表 6 不同林分类型不同层次的拦蓄能力

| 枯落物层 | 林分类型    | 枯落物风干重/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 自然<br>含水率/% | 最大<br>持水率/% | 最大<br>拦蓄率/% | 有效<br>拦蓄率/% | 最大拦蓄量/有效拦蓄量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) (t·hm <sup>-2</sup> ) |
|------|---------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|
| 未分解层 | 榆树阔叶混交林 | 4.84                             | 10.34       | 289.46      | 279.12      | 235.70      | 13.51 11.41   |
|      | 杨树针阔混交林 | 5.69                             | 8.61        | 243.41      | 234.80      | 198.29      | 13.36 11.28   |
|      | 杂木林     | 5.68                             | 8.28        | 239.08      | 230.80      | 194.94      | 13.11 11.07   |
|      | 杨树阔叶混交林 | 4.98                             | 10.86       | 292.37      | 281.51      | 237.65      | 14.02 11.84   |
| 半分解层 | 榆树阔叶混交林 | 4.74                             | 26.12       | 282.91      | 256.79      | 214.35      | 12.17 10.16   |
|      | 杨树针阔混交林 | 5.81                             | 17.89       | 204.65      | 186.76      | 156.06      | 10.85 9.07  |
|      | 杂木林     | 5.75                             | 16.21       | 205.04      | 188.83      | 158.08      | 10.86 9.09  |
|      | 杨树阔叶混交林 | 4.85                             | 26.71       | 298.56      | 271.85      | 227.06      | 13.18 11.01   |

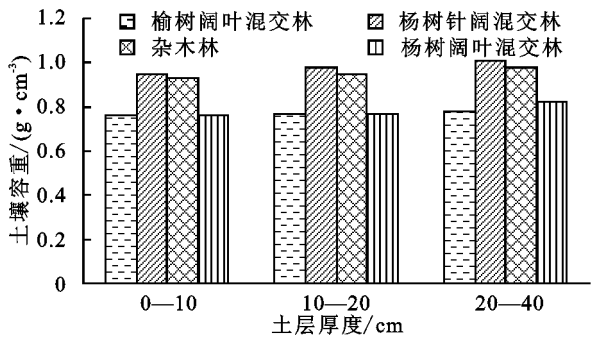


图 3 不同林分土壤容重垂直变化

4 种不同林地类型的土壤容重在 0—40 cm 土层厚度内, 土壤容重均值的变化范围在 0.77~0.98 g/cm<sup>3</sup>, 其中杨树针阔混交林土壤容重最大为 0.98 g/cm<sup>3</sup>, 榆树阔叶混交林土壤容重最小为 0.77 g/cm<sup>3</sup>。4 种不同林分类型土壤容重的平均变化趋势由大到小排序为: 杨树针阔混交林>杂木林>杨树阔叶混交林>

榆树阔叶混交林。

3.4.2 不同林分土壤孔隙度 土壤孔隙的组成直接影响土壤通气透水性和根系穿插的难易程度, 并且对土壤水、肥、气和微生物活性等发挥着不同的调节功能<sup>[16]</sup>。由表 7 可知, 4 种不同林分下毛管孔隙度由浅入深逐渐增大。其变动范围为 40.37%~46.65%, 由大到小的顺序为: 杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杨树针阔混交林>杂木林。4 种不同林分土壤非毛管孔隙度的变动范围为 8.62%~9.32%, 由大到小的排序分别为: 杨树阔叶混交林(9.32%)>榆树阔叶混交林(9.05%)>杨树针阔混交林(8.78%)>杂木林(8.62%)。

总毛管孔隙度随着土壤厚度的加深而逐渐减少, 4 种不同林分类型土壤总孔隙度的变化范围为 48.98%~56.72%, 由大到小的排序为: 杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杨树针阔混交林>杂木林。

表 7 不同林型土壤物理性状及持水量

| 林分<br>类型 | 土层<br>深度/cm | 非毛管孔<br>隙度/% | 毛管<br>孔隙度/% | 总毛管<br>孔隙度/% | 最大持水量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 毛管持水量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 有效持水量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) |
|----------|-------------|--------------|-------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 榆树阔叶混交林  | 0—10        | 17.90        | 49.80       | 67.70        | 677.00                          | 498.00                          | 179.00                          |
|          | 10—20       | 5.50         | 46.90       | 52.40        | 524.00                          | 469.00                          | 55.00                           |
|          | 20—40       | 3.75         | 43.25       | 47.00        | 940.00                          | 865.00                          | 75.00                           |
|          | 平均          | 9.05         | 46.65       | 55.70        | 713.67                          | 610.67                          | 103.00                          |
| 杨树针阔混交林  | 0—10        | 15.70        | 47.90       | 63.60        | 636.00                          | 479.00                          | 157.00                          |
|          | 10—20       | 4.10         | 41.20       | 45.30        | 453.00                          | 412.00                          | 41.00                           |
|          | 20—40       | 6.55         | 34.30       | 40.85        | 817.00                          | 686.00                          | 131.00                          |
|          | 平均          | 8.78         | 41.13       | 49.92        | 635.33                          | 525.67                          | 109.67                          |
| 杂木林      | 0—10        | 15.40        | 46.40       | 61.80        | 618.00                          | 464.00                          | 154.00                          |
|          | 10—20       | 4.20         | 40.80       | 45.00        | 450.00                          | 408.00                          | 42.00                           |
|          | 20—40       | 6.25         | 33.90       | 40.15        | 803.00                          | 678.00                          | 125.00                          |
|          | 平均          | 8.62         | 40.37       | 48.98        | 623.67                          | 516.67                          | 107.00                          |
| 杨树阔叶混交林  | 0—10        | 18.20        | 50.80       | 69.00        | 690.00                          | 508.00                          | 182.00                          |
|          | 10—20       | 5.80         | 47.60       | 53.40        | 534.00                          | 476.00                          | 58.00                           |
|          | 20—40       | 3.95         | 43.80       | 47.75        | 955.00                          | 876.00                          | 79.00                           |
|          | 平均          | 9.32         | 47.40       | 56.72        | 726.33                          | 620.00                          | 106.33                          |

3.4.3 不同林分土壤蓄水能力 土壤层是水分涵养的重要层次,土壤持水量是反映水文效应的重要指标<sup>[17]</sup>。表 7 可知,4 种不同林分土壤的土壤的最大持水量来看,其变动范围为 726.33~623.67 t/hm<sup>2</sup>。其大小顺序是杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杨树针阔混交林>杂木林,其中杨树阔叶混交林的最大持水量是杂木林的 1.16 倍。林地的有效持水量变动范围为 103.00~109.67 t/hm<sup>2</sup>。

3.4.4 不同林分土壤入渗特征 土壤的渗透性是林分涵养水源的重要指标。土壤渗透性的好坏直接关系到地表径流的大小,渗透性能越好,地表径流越少,土壤侵蚀量也会相应减少<sup>[18]</sup>。表 8 为 4 种不同林分土壤的入渗速率。4 种不同林分类型的土壤初渗速率差别较大,其变动范围为 23.95~28.12 mm/min,其中杨树针阔混交林土壤初渗速率最大,为 28.12 mm/min,榆树阔叶混交林的土壤初渗速率最小,为 23.95 mm/min;当达到一定时间渗透速率趋于稳定,为 1.76~1.96 mm/min,差别较小。其平均渗透速率的大小顺序为:杨树针阔混交林>杂木林>杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林。

| 表 8 不同林分土壤入渗速率 mm/min |       |      |       |
|-----------------------|-------|------|-------|
| 林分类型                  | 初渗速率  | 稳渗速率 | 平均渗透率 |
| 榆树阔叶混交林               | 23.95 | 1.85 | 12.90 |
| 杨树针阔混交林               | 28.12 | 1.96 | 15.04 |
| 杂木林                   | 26.55 | 1.75 | 14.15 |
| 杨树阔叶混交林               | 24.88 | 1.76 | 13.32 |

4 结论

(1) 4 种林分类型下枯落物的总蓄积最小值为 9.58 t/hm<sup>2</sup>,最大值为 11.50 t/hm<sup>2</sup>,蓄积量大小为:杨树针阔混交林>杂木林>杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林。

(2) 4 种林分类型下枯落物持水量的最大值与最小值分别为值为:14.56,13.58 t/hm<sup>2</sup>,其大小顺序为:杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杨树针阔混交林>杂木林。其最大持水率为 222.06%~295.46%,其大小分别为:杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杂木林>杨树针阔混交林。

(3) 4 种林分类型下土壤的平均容重 0.77~0.98 g/cm<sup>3</sup>,其大小顺序为:杨树针阔混交林>杂木林>杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林。土壤总孔隙度 48.98%~56.72%,其大小顺序为:榆树阔叶混交林>杨树阔叶混交林>杨树针阔混交林>杂木林。

(4) 4 种林分类型下土壤的有效持水量 103.00~109.67 t/hm<sup>2</sup>。最大持水量 623.67~726.33 t/hm<sup>2</sup>,其大小顺序为:杨树阔叶混交林>榆树阔叶混交林>杨

树针阔混交林>杂木林,其中杨树阔叶混交林的最大持水量是杂木林的 1.16 倍。

参考文献:

[1] 张振明,余新晓,牛键值,等.不同林分枯落物层的水文生态功能[J].水土保持学报,2006,19(3):139-143.

[2] 吴钦孝,刘向东.山杨次生林枯枝落叶蓄积量及其水文作用[J].水土保持学报,1992,6(1):71-76.

[3] LEER. Forest Hydrology[M]. New York: Columbia University Press, 1980.

[4] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁.黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究[J].水土保持学报,1991(4):87-92.

[5] 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:自然科学版,2004,26(5):567-571.

[6] 杨龙.梵净山黔桐林的结构与动态[J].植物生态学与地植物学丛刊,1983(3):204-214.

[7] 饶良懿,朱金兆,毕华兴.重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J].北京林业大学学报,2005,27(1):33-37.

[8] 田育新,李锡泉,吴建平,等.小流域森林生态系统林地土壤渗透性能研究[J].水土保持研究,2006,13(4):173-175.

[9] 陈波,孟成生,赵耀新,等.冀北山地不同海拔华北落叶松人工林枯落物和土壤水文效应[J].水土保持学报,2012,26(3):216-221.

[10] 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.

[11] 贾剑波,刘文娜,余新晓,等.半城子流域 3 种林地枯落物的持水能力[J].中国水土保持科学,2015,13(6):26-32.

[12] 陈倩,周志立,史琛媛,等.河北太行山丘陵区不同林分类型枯落物与土壤持水效益[J].水土保持学报,2015,29(5):206-211.

[13] 石媛,鲁绍伟,陈波,等.河北雾灵山不同密度油松人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2014,28(3):92-97.

[14] 温亚飞,杨新兵,钟良子.冀北山地不同树种组成桦木林枯落物及土壤水文效应[J].河北林果研究,2016,31(4):337-344.

[15] 刘浩,郑文升,张毅,等.城市土地集约利用度与城市化综合水平协调度分析:以环渤海地区为例[J].华中师范大学学报:自然科学版,2012,46(5):616-623.

[16] 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.

[17] 庞梦丽,朱辰光,翟博超,等.河北省太行山区 3 种人工水土保持林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持通报,2017,37(1):51-56.

[18] 卢振启,黄秋嫻,杨新兵.河北雾灵山不同海拔油松人工林枯落物及土壤水文效应研究[J].水土保持学报,2014,28(1):112-116.