# 滦河典型林分枯落物层与土壤层的水文效应

张 宁[1], 郭宾良[1], 张 楠[2], 张绍杰[1], 张建华[2], 谷建才[1]

(1. 河北农业大学, 河北 保定 071000; 2. 河北木兰围场国有林场管理局, 河北 围场 068450)

**摘 要**: [目的] 研究滦河上游典型林分的枯落物层与土壤层的水文效应,为森林健康监测和评价提供依据。[方法] 对滦河上游 3 种林分的枯落物层未分解层与半分解层进行调查研究。[结果] (1) 油松林的枯落物生物量为 12.03 t/hm$^2$,最大持水量为 19.4 t/hm$^2$,有效拦蓄量为 23.52 t/hm$^2$;落叶松林的枯落物生物量为 9.51 t/hm$^2$,最大持水量为 11.9 t/hm$^2$,有效拦蓄量为 17.03 t/hm$^2$;落叶松白桦混交林的枯落物生物量为 5.54 t/hm$^2$,最大持水量为 13.0 t/hm$^2$,有效拦蓄量为 13.7 t/hm$^2$。(2) 半分解层枯落物浸泡 8 h 已基本达到饱和,而未分解层需浸泡 10 h。枯落物在浸水的前 0.5 h 内吸水速率最大,6 h 左右时吸水速率明显减缓。(3) 落叶松白桦混交林土壤层持水能力最强,为 375.92 t/hm$^2$;油松林土壤层的持水能力最差,为 248.04 t/hm$^2$。利用幂函数对入渗速率与入渗时间进行拟合,其相关系数 $R^2$ 均在 0.98 以上。[结论] 油松林枯落物层的生物量、最大持水量、有效拦蓄量都最大,而落叶松白桦混交林枯落物的土壤持水能力最强。

**关键词**: 枯落物层; 土壤层; 水文效应

**文献标识码**: A **文章编号**: 1000-288X(2015)03-0044-05 **中图分类号**: S715.7

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.005

# Hydrological Effect of Litter Layer and Soil Layer Under Typical Stands in Luanhe River

ZHANG Ning[1], GUO Binliang[1], ZHANG Nan[2], ZHANG Shaojie[1], ZHANG Jianhua[2], GU Jiancai[1]

(1. *Agricultural University of Hebei*, *Baoding*, *Hebei* 071001, *China*;
2. *Mulanweichang Forestry Administration of Hebei Province*, *Weichang*, *Hebei* 068450, *China*)

**Abstract**: [Objective] To study the hydrological effect of typical forest litter layer and soil layer on the upper Luanhe River, in order to provide theoretical basis for monitoring and evaluation of the forest. [Methods] The non-decomposed layer and semi-decomposed layer of three different types forest litter were investigated. [Results] (1) The litter accumulation amount, the maximum moisture capacity, and the effective retaining content of *Pinus tabulaeformis* forest were 12.03, 19.4, and 23.52 t/hm$^2$ respectively, those of larch forest were 9.51, 11.9, and 17.03 t/hm$^2$ respectively, and those of mixed forest of larch and birch were 5.54, 13.0, and 13.7 t/hm$^2$, respectively. (2) It nearly reached saturation in 8 h for semi-decomposed layer, while it needed 10 h for non-decomposed layer. The water absorption rate of litter reached maximum within 0.5 h, and it slowed down obviously at about 6 h. (3) The water holding capacity of soil layer for *Larix gmelini* and *Betula platyphylla* mixed forest was highest, which was 375.92 t/hm$^2$, while it was lowest in soil layer of *Pinus tabulaeformis* forest, which was 248.04 t/hm$^2$. Using the power function to fit the infiltration rate and infiltration time, the correlation coefficient $R^2$ was more than 0.98. [Conclusion] The biomass, maximum water holding capacity, and the effective holding capacity are maximum in the litter layer of *Pinus tabulaeformis* forest, and the mixed forest of larch and birch have the highest soil water holding capacity.

**Keywords**: litter layer; soil layer; hydrological effects

森林的枯落物在整个森林生态系统中发挥着很重要的作用,不仅对截持降水,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一定的作用,并且它作为森林水文效应的第二活动层,对森林涵养功能的调控具重要意义[1]。土壤层作为森林水文效应的第三活动层,通过土壤毛管空隙

**收稿日期**:2014-09-21 **修回日期**:2014-10-03
**资助项目**:河北省科技厅资助项目"河北省滦河流域水源林经营关键技术研究与示范"(15227652D)
**第一作者**:张宁(1989—),女(汉族),河北省衡水市人,硕士研究生。研究方向为森林可持续经营。E-mail:934827579@qq.com。
**通信作者**:谷建才(1963—),男(汉族),河北省石家庄市人,博士,教授,主要从事林业经营技术研究。E-mail:gujiancai@126.com。

和非毛孔空隙,降水可以被植物利用,贮存起来或者汇入溪流,从而将体现出土壤层透水和贮水的功能。河北木兰围场国有林场位于滦河上游,森林生态系统以针叶林为主体,国内对于该区的研究主要集中在物种多样性、地质、土壤等方面,对水文功能的研究则相对较少[2]。本文对北沟林场 3 种林分枯落物层与土壤层的水文效应做了详细研究,旨在为森林健康的监测和评价提供一定的理论依据[3-5]。

## 1　研究区概况

河北省围场县位于河北省最北部,地处滦河上游,41°47′—42°06′N,116°51′—117°45′E。东与内蒙古赤峰市接壤,南及西南与隆化、丰宁两县连接,北与内蒙古浑善达克沙地毗邻。位于阴山山脉与大兴安岭山脉余脉的交汇处,是连接坝上高原和冀北山地的丘陵山地地带。河北省围场县海拔高 750～1 829 m,该区属大陆性季风型气候区,年平均温度－1.5～4.8 ℃,全年西北部的无霜期为 90～100 d,中部和东南部的无霜期为 100～125 d,年均降水量 380～560 mm,降水季节分配很不平衡。围场县主要包括棕壤、褐土、风砂土、草甸土、沼泽土、灰色森林土、黑土 7 个土类,共 15 个亚类,66 个土属,143 个土种。河北围场植物种类繁多,据调查统计有野生种子植物 90 科 371 属 793 种,有大型真菌 24 科 60 种,有苔藓植物 34 科 83 属 201 种,其中河北新纪录种有 6 种;有蕨类植物 12 科 14 属 22 种。试验地位于河北省围场县木兰林管局北沟林场,调查样地设置在北沟林场的东沟营林区。

## 2　研究方法

### 2.1　枯落物生物量测定

选择落叶松纯林、油松纯林和落叶松白桦混交林 3 种林分设置标准地,各种类型分别选取 3 块,标准地大小为 30 m×30 m,对标准地林分中的林木进行调查(表 1)。在标准地内各采取 5 块大小为 50 cm×50 cm 的样方,分布在标准地 4 个角及中心部位,对于枯落物要测定其厚度,并把未分解层与半分解层分开放置到尼龙袋中,并迅速称其鲜重。最后将其放置在干燥通风处 8 d 以上,在用手触摸枯落物没有潮湿感的时候,就可以称其重量,即是风干重,计算出枯落物生物量,为方便表达,以下枯落物的基本数据均为 5 块样方的平均值。

表 1　不同林分标准地概况

| 林分类型 | 样地规格 | 海拔/m | 坡向 | 坡度/° | 主要树种 |
|---|---|---|---|---|---|
| 落叶松林 | 30 m×30 m | 1 280～1 620 | WN | 20～30 | 落叶松 |
| 油松林 | 30 m×30 m | 1 080～1 220 | W | 18～15 | 油 松 |
| 混交林 | 30 m×30 m | 1 230～1 340 | WS | 20～30 | 落叶松、白桦 |

注:表中混交林指落叶松和白桦混交林。下同。

### 2.2　枯落物持水量和吸水速率的测定

采用室内浸泡法测定枯落物持水量及其吸水速度,先将 5 个小样方内枯落物的总厚度、未分解层和半分解层的厚度测定出来,取各个样方的平均值作为样地内的枯落物的厚度,按照分解程度,收集枯落物分为未分解层与半分解层,迅速称其鲜重,然后将其带回实验室称其烘干以后的质量。最后将枯落物浸入水中后,分别测定其在 0.5,1,2,4,6,8,10 和 24 h 的重量变化,研究其吸水速度和吸水过程[6-8],测定枯落物的持水量(每次取出称重后所得的枯落物湿重与其风干重差值)、吸水速率和饱和持水率。采用以下公式来计算各个含水指标:

$$C=(m_1-m_2)/m_2\times 100\% \quad (1)$$

$$S=(m_3-m_2)/m_2\times 100\% \quad (2)$$

$$W_m=(R_m-R_0)M \quad (3)$$

式中:$C$——枯落物自然含水量(%);$m_1$——样品鲜质量(g);$m_2$——样品烘干质量(g);$S$——饱和持水率(%);$m_3$——样品浸水 24 h 后的质量(g);$W_m$——枯落物的最大拦蓄量(t/hm²);$R_m$——最大持水率(%);$R_0$——平均自然含水量(%);$M$——枯落物蓄积量(t/hm²)。吸水速率为持水量与浸泡时间的比值。

### 2.3　枯落物有效拦蓄量的测定

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[9-11],即:

$$W=(0.85R_m-R_0)M \quad (4)$$

式中:$W$——有效拦蓄量(t/hm²)。下同。

### 2.4　土壤层物理性质的测定

土壤调查采用剖面法,在各标准地选取有代表性样点,分别按 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 取样[12-14]。用烘干法测定土壤含水量,用环刀法测定土壤容重、孔隙度等物理性质,土壤持水力。

$$S'=10\ 000\ hp \quad (5)$$

式中:$S'$——土持水力(t/hm²);$h$——土壤层厚度(m);$p$——非毛管孔隙度(%)。

### 2.5　土壤入渗测定与计算

采用内环直径为 7.5 cm,外环直径为 15 cm 的双

环测定 0—20 cm 的土壤水分入渗过程。其中，初渗率＝最初入渗时段内渗透量/入渗时间（初渗速率为第 1 分钟的入渗速率，最初入渗时段内渗透量的时间为 1 min）；平均渗透速率＝达到稳渗时的渗透总量/达到稳渗时的时间；稳渗率为单位时间内的渗透量趋于稳定时的渗透速率[15-16]。本文选取 Kostiakov 数学模型对实测入渗过程进行拟合。公式如下：

$$f=at^{-b} \tag{6}$$

式中：$f$——$t$ 时间时的瞬时入渗速率（mm/min）；$t$——入渗时间（min）；$a$，$b$——试验资料拟合的参数。

## 3 结果与分析

### 3.1 枯落物生物量

枯落物的现存生物量与林分类型有密切关系。林分树种组成不同，生长状况不同，都与枯落物层的储量有直接关系，这些因素会不同程度地影响到枯落物的输入与分解。如表 2 所示，3 种类型林分类型下枯落物生物量有一定差别。其中，油松林枯落物生物量最大，其次是落叶松林为，落叶松和白桦混交林的枯落物生物量最小，这些差别主要是由于林分内针阔叶树种组成不同所致。此外，根据枯落物的分解程度把枯落物分为未分解层与半分解层，通过分析不同类型林分枯落物未分解层、半分解层储量可以看出，各层次储量所占比例不同，落叶松和白桦混交林下枯落物未分解层所占比例最小，占总储量的 43.1%；而落叶松林下枯落物未分解层所占比例最大，占总储量的 53.8%，这可能是由于阔叶树落叶分解较快，而针叶树落叶难以分解的缘故。

表 2 不同林分枯落物生物量

| 林分类型 | 枯落物平均厚度/cm | | 枯落物总厚度/cm | 枯落物生物量 | | | | 枯落物总生物量/(t·hm$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 未分解 | 半分解 | | 未分解/(t·hm$^{-2}$) | 未分解比例/% | 半分解/(t·hm$^{-2}$) | 半分解比例/% | |
| 落叶松林 | 2.2 | 1.7 | 3.9 | 5.12 | 53.8 | 4.39 | 46.2 | 9.51 |
| 油松林 | 3.7 | 1.2 | 4.9 | 6.21 | 51.6 | 5.82 | 48.4 | 12.03 |
| 混交林 | 1.9 | 1.8 | 3.7 | 2.39 | 43.1 | 3.15 | 56.9 | 5.54 |

### 3.2 枯落物水文效应

3.2.1 **枯落物最大持水量** 3 种类型林分枯落物的最大持水量有所不同（表 3）。油松林的最大持水量最大，为 19.4 t/hm$^2$，落叶松林的最大持水量最小，仅为 11.9 t/hm$^2$；各类型林分枯落物最大持水率的变动范围为 187%～330%。同一类型林分的最大持水率与最大持水量呈现出不同的规律，这主要是因为枯落物自身结构不同有关。枯落物的分解程度也影响枯落物层的持水能力，枯落物分解程度越高，半分解层枯落物生物量越大，枯落物层的持水能力越高。

3.2.2 **枯落物持水过程** 枯落物持水量与浸泡时间具有一定的相关关系。由表 4 可知，在最初浸泡的半个小时内，枯落物持水量迅速增加，而后随着浸泡时间的延长呈现不断增加的趋势，且增加速度逐步放缓。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[7]。此外，半分解层枯落物持水量在浸泡 8 h 时已基本达到饱和，而未分解层持水量浸泡 10 h 时基本达到饱和。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）：

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

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。

表 3 3 种林分枯落物最大持水量和最大持水率

| 林分类型 | 最大持水量/(t·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 |
| 落叶松林 | 5.5 | 6.4 | 11.9 | 187 | 278 | 233 |
| 油松林 | 11.3 | 8.1 | 19.4 | 192 | 289 | 241 |
| 混交林 | 7.5 | 5.5 | 13.0 | 258 | 330 | 294 |

表 4 不同林下各枯落物层持水量

| 林分类型 | 层次 | 不同浸泡时间枯落物层持水量/(g·kg$^{-1}$) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.25 h | 0.5 h | 1 h | 2 h | 4 h | 6 h | 8 h | 10 h | 24 h |
| 落叶松林 | 未分解 | 1 788.9 | 1 978.5 | 2 106.4 | 2 148.9 | 2 198.5 | 2 294.2 | 2 311.4 | 2318.1 | 2 414.9 |
| | 半分解 | 2 238.3 | 2 554.4 | 2 641.3 | 2 745.5 | 2 777.9 | 2 828.3 | 2 865.7 | 2856.2 | 2 841.2 |
| 油松林 | 未分解 | 1 888.6 | 2 028.5 | 2 013.4 | 2 120.8 | 2 174.3 | 2 300.1 | 2 399.0 | 2366.2 | 2 563.3 |
| | 半分解 | 2 987.1 | 3 261.0 | 3 434.9 | 3 319.6 | 3 450.8 | 3 432.9 | 3 471.0 | 3516.6 | 3 708.5 |
| 混交林 | 未分解 | 2 334.3 | 2 219.7 | 2 688.4 | 2 722.5 | 2 879.3 | 2 906.8 | 2 986.3 | 3059.4 | 3 180.3 |
| | 半分解 | 3 189.8 | 3 257.1 | 3 334.7 | 3 346.3 | 3 330.4 | 3 342.7 | 3 372.8 | 3381.9 | 3 442.7 |

表 5　不同林分枯落物层持水量与浸泡时间关系

| 枯落物层 | 关系式 | $R^2$ |
|---|---|---|
| 落叶松林 | $Q=269.50\ln t+1\ 790.0$ | 0.987 |
| | $Q=275.69\ln t+2\ 313.3$ | 0.942 |
| 油松林 | $Q=279.87\ln t+1\ 807.9$ | 0.860 |
| | $Q=254.85\ln t+3\ 035.5$ | 0.854 |
| 混交林 | $Q=420.77\ln t+2\ 176.7$ | 0.882 |
| | $Q=96.423\ln t+3\ 196.0$ | 0.904 |

3.2.3　**枯落物吸水速率**　试验表明,3 种类型林分的枯落物的吸水速率表现出一定的规律性(表 6)。在浸水初期 0.5～1 h 内,枯落物吸水速率最大,之后吸水速率急剧下降,6 h 左右时下降速度明显减缓,随浸泡时间延长,枯落物吸水速率趋向一致。这主要是因为随着浸泡时间增长,枯落物持水量接近其最大持水量,也就是说枯落物持水量逐渐趋于饱和,其增长速度随之减缓所致。

表 6　不同浸泡时间 3 种林分枯落物层的平均吸水速率

| 林分类型 | 层次 | 不同浸泡时间的平均吸水速率/(g·kg$^{-1}$·h$^{-1}$) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.25 h | 0.5 h | 1 h | 2 h | 4 h | 6 h | 8 h | 10 h | 24 h |
| 落叶松林 | 未分解 | 7 155.6 | 3 957.0 | 2 106.4 | 1 074.5 | 549.6 | 659.5 | 288.9 | 231.8 | 100.6 |
| | 半分解 | 8 953.2 | 5 108.8 | 2 641.3 | 1 372.8 | 694.5 | 851.5 | 358.2 | 285.6 | 118.4 |
| 油松林 | 未分解 | 7 554.4 | 4 057.0 | 2 013.4 | 1 060.4 | 543.6 | 676.2 | 299.9 | 236.6 | 106.8 |
| | 半分解 | 11 948.4 | 6 522.0 | 3 434.9 | 1 659.8 | 862.7 | 1087.0 | 433.9 | 351.7 | 154.5 |
| 混交林 | 未分解 | 9 337.2 | 4 439.4 | 2 688.4 | 1 361.3 | 719.8 | 739.9 | 373.3 | 305.9 | 132.5 |
| | 半分解 | 12 759.2 | 6 514.2 | 3 334.7 | 1 673.2 | 832.6 | 1085.7 | 421.6 | 338.2 | 143.4 |

3.2.4　**枯落物有效拦蓄量**　林分类型下不同层次枯落物的拦蓄能力见表 7。在本研究中,之所以采用有效拦蓄量来评价枯落物对降水的拦蓄能力,主要是因为最大持水量并不能代表枯枝落叶层对降雨的实际截留量,它只能反映枯枝落叶层持水能力的大小,用最大持水率来估算枯枝落叶层对降雨的拦蓄能力,其结果会有所偏高,不能真实反映出枯枝落叶层对降雨的实际拦蓄效果,故采用有效拦蓄量来反映枯枝落叶层对一次降水拦蓄能力,该指标主要与枯落物数量、水分状况、降雨特性有关。从有效拦蓄率看,各林分未分解层均小于半分解层。由于不同林分枯落物的蓄积量不同,所以有效拦蓄量和有效拦蓄量深的变化规律也不尽相同,未分解层中,油松林的有效拦蓄能力最强,为 23.52 t/hm$^2$,落叶松白桦混交林有效拦蓄能力最弱。

表 7　不同林分枯落物层有效拦蓄能力

| 林分类型 | 层 次 | 枯落物累积量/(t·hm$^{-2}$) | 自然含水率/% | 最大持水率/% | 有效拦蓄率/% | 有效拦蓄量/(t·hm$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 落叶松林 | 未分解 | 5.12 | 7.5 | 187 | 151.45 | 7.75 |
| | 半分解 | 4.39 | 24.8 | 278 | 211.50 | 9.28 |
| 油松林 | 未分解 | 6.21 | 9.9 | 192 | 153.30 | 9.52 |
| | 半分解 | 5.82 | 5.1 | 289 | 240.55 | 14.00 |
| 混交林 | 未分解 | 2.39 | 6.9 | 258 | 212.40 | 5.08 |
| | 半分解 | 3.15 | 6.7 | 330 | 273.80 | 8.62 |

### 3.3　土壤层的水文效应

3.3.1　**土壤层的物理性质**　如表 8 所示,3 种林分类型土壤容重的总体变化不大。落叶松林的土壤容重最大,油松林的次之,落叶松白桦混交林的最小。总孔隙度的变化趋势为:落叶松白桦混交林>油松林>落叶松林。而非毛管孔隙度与土壤持水力密切相关,表现为:落叶松白桦混交林>落叶松林>油松林。土壤持水能力表现为:落叶松白桦混交林持水能力最强,落叶松林的次之,油松林土壤的持水能力最差。

3.3.2　**土壤层的渗透性**　土壤渗透性能越好,地表径流越少,土壤的流失量也相应减少,因此,土壤的渗透能力是影响土壤侵蚀的重要因素之一,是土壤水文效应评价的重要指标。从表 9 中得知:3 种林分土壤的初渗速率相差较大,落叶松白桦混交林的初渗速率为 24.7 mm/min,油松林的只有 18.3 mm/min,但随着时间的推移,入渗速率逐渐减慢,当达到一定时间时趋于定值。最终的稳渗速率落叶松白桦混交林为 0.9 mm/min,落叶松林为 0.8 mm/min,油松林为 0.6 mm/min。分析主要原因为:落叶松白桦混交林土壤上下土层的非毛管孔隙数量多,有利于土壤水分的

快速下渗，土壤的渗透性能强，而油松林土壤的非毛管孔隙较少，土壤的渗透性差。在入渗过程中，落叶松林和落叶松白桦混交林达到稳渗时的时间差不多，油松林与前两者相差较大，在 24 min 时达到稳渗。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 9）：

$$f=at-b \quad (R^2\geqslant 0.98)$$

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

表 8 不同林分类型土壤的物理性质

| 林分类型 | 土壤容重/（g·cm$^{-3}$） | 土壤厚度/cm | 自然含水率/% | 非毛管空隙度/% | 毛管空隙度/% | 总毛管空隙度/% | 土壤持水力/（t·hm$^{-2}$） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 叶松林 | 1.28 | 56 | 21.33 | 4.85 | 37.89 | 42.74 | 271.6 |
| 油松林 | 1.19 | 53 | 17.53 | 4.68 | 44.88 | 49.56 | 248.04 |
| 混交林 | 1.16 | 74 | 36.85 | 5.08 | 49.21 | 54.29 | 375.92 |

表 9 土壤渗透的速率及渗透数学模型

| 林分类型 | 初渗速率/（mm·min$^{-1}$） | 稳渗速率/（mm·min$^{-1}$） | 稳渗时间/min | 回归方程 | $R^2$ 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 落叶松林 | 20.9 | 0.8 | 30 | $f=19.982t-0.928\ 1$ | 0.996 |
| 油松林 | 18.3 | 0.6 | 24 | $f=20.121t-1.040\ 0$ | 0.991 |
| 混交林 | 24.7 | 0.9 | 33 | $f=29.680t-1.036\ 0$ | 0.983 |

## 4 结论

（1）滦河上游不同类型种林分枯落物结构不同，水文相应也有所差异，3 种不同林分类型枯落物的生物量在 5.54～12.03 t/hm$^2$，其中油松林枯落物的储量最大，落桦混交林的储量最小。

（2）枯落物最大持水量在 11.9～19.4 t/hm$^2$，油松林枯落物的持水量最大；枯落物最大持水率在 233%～294%，落桦混交林的持水率最大；枯落物在浸水的前 0.5 h 内吸水速率最大，6 h 左右时吸水速率明显减缓；油松林的有效拦蓄能力最强，为 23.52 t/hm$^2$，落叶松白桦混交林有效拦蓄能力最弱。

（3）落叶松白桦混交林土壤层持水能力最强，为 375.92 t/hm$^2$，油松林最小为 248.04 t/hm$^2$；不同林分土壤的初渗速率相差较大，华北落叶松白桦混交林的初渗速率最大，为 24.7 mm/min，但是 3 种林分土壤的稳渗速率相近，对入渗速率和入渗时间进行拟和，相关系数 $R^2$ 在 0.98 以上。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 于志明，王礼先. 水源涵养林效益研究[M]. 北京：中国林业出版社，1991：32-37.

[2] 吴钦孝，赵鸿雁. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 水土保持学报，1998，4(2)：23-28.

[3] 王雄宾，余新晓. 华北土石山区油松林生态系统健康评价[J]. 中国水土保持科学，2009，7(1)：97-102.

[4] 张振明，余新晓. 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.

[5] Kavvaadias V A，Alifragis D，Tsiontsis A，et al. Litter fall litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystem in Northern Greece[J]. Forest Ecology Management，2001，144(1/2/3)：113-117.

[6] 王卫军，赵婵璞，姜鹏，等. 塞罕坝华北落叶松人工林水源涵养功能研究[J]. 中南林业科技大学学报，2013，33(2)：66-68.

[7] Nunez D，Nahuelhual L，Oyarzun C. Forests and water：the value of native forests in supplying water for human consumption[J]. Ecological Economics，2006(5)：606-616.

[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] 徐娟，余新晓. 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.

[10] 韩同吉，裴胜民，张光灿，等. 北方石质山区典型林分枯落物层涵蓄水分特征[J]. 山东农业大学学报，2005，36(2)：275-278.

[11] 胡淑萍，余新晓. 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.

[12] 朱丽晖，李冬. 辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能[J]. 辽宁林业科技，2001(1)：35-37.

[13] 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.

[14] 刘世荣，温远光，王兵，等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京：中国林业出版社，1996.

[15] 孙艳红，张洪江，程金花，等. 缙云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，2006，20(2)：106-109.

[16] 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.