

# 太行山主要植被枯枝落叶层的水文作用\*

杨立文 石清峰

**摘要** 采用实地测定和人工模拟蒸渗器(Lysimeter)相结合的方法,对太行山主要植被枯枝落叶层的水文作用进行了研究。结果表明:在森林涵养水源过程中,枯枝落叶层不仅可以调蓄2~5 mm的降雨,更重要的是可使土壤增加下渗21.3%~50.3%,减少地表蒸发222.0%,减少地表径流含沙量11.5 kg/m<sup>3</sup>。

**关键词** 太行山 植被类型 枯枝落叶层 水文作用

枯枝落叶层主要由植物的叶子、枝条、芽鳞、花、果实、树皮等组成,同时含有少量的小动物尸体及排泄物等<sup>[1]</sup>。枯枝落叶层水文作用的研究成果<sup>[2~4]</sup>,主要集中在枯枝落叶层本身的结构及静态水文作用上,如形态、组成、持水量等。但在枯枝落叶层的动态水文作用,如对促进渗透、抑制蒸发等方面则需要进一步深入研究。本文通过观测枯枝落叶层对径流、蒸发、渗透等水量平衡因子的影响,为进一步深入研究太行山森林植被的水源涵养作用提供科学依据。

## 1 试验地概况

试验地设在太行山的北部——北京西山,中国林业科学研究院华北林业试验中心内,116° 6 E, 39° 42 N。该区属于北温带亚湿润气候,为典型的大陆型气候,冬春季多风,夏季降雨集中,且多暴雨。年平均气温11.8℃,年平均降水量623.0 mm,土壤主要是在砂页岩坡积物上发育的山地淋溶褐土和山地粗骨性褐土,质地为壤土或沙壤土。土壤容重0.96~1.45,总孔隙度49.87%~59.82%,有机质含量11.8~22.7 g/kg,土层厚度阳坡15~30 cm,阴坡20~60 cm。植被有侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)人工林和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)人工林。侧柏林主要分布在阳坡,30年生,平均树高7.5 m,平均胸径12.0 cm,郁闭度在0.3~0.8之间;油松林主要分布在阴坡,29年生,平均树高6.5 m,平均胸径11.0 cm,郁闭度在0.4~0.7之间。灌木主要有荆条(*Vitex negundo* L. var. *heterophylla* (Franch.) Rehd.)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、蚂蚱腿子(*Myrica dioica* Bunge)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata* Lindl.)、雀儿舌头(*Leptopus chinensis* Bunge)等。平均高1.5 m左右,平均盖度0.8以上。调查地点还有山西平顺、五台,河北平山、阜平,河南辉县以及北京小龙门等。

## 2 研究方法

(1) 枯枝落叶层持水量测定。在太行山区,选取22种主要森林植被类型,测定枯枝落叶层

1996—11—19 收稿。

杨立文副研究员,石清峰(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

\* 本项研究是“八五”科技攻关“太行山生态林业工程生态效益研究”部分内容。

厚度,选 1 m × 1 m 样方,重复 3 次取枯枝落叶层,风干后浸入水中 12 h 测最大持水量。

(2) 下渗量测定。①蒸渗器(Lysimeter)法。蒸渗器规格为 5 m × 2 m × 1.5 m、坡度 25°;处理分别为覆盖油松林枯枝落叶层、栓皮栎林枯枝落叶层和裸地,进行人工模拟降雨试验。②坡面径流小区法。小区设在北京西郊华北林业试验中心的阴坡和阳坡,分别选择 30 年生人工油松林和侧柏林,在地形、坡度、林分等比较一致的地块设立小区。油松林设 3 个小区:保留枯枝落叶层小区、去掉上部 1/2 的枯枝落叶层和全部去掉枯枝落叶层小区;侧柏林设 2 个小区,保留枯枝落叶层小区和全部去掉枯枝落叶层小区。

(3) 蒸发量测定。环刀称重法,采用环刀取土,分别放置裸露和枯枝落叶层下面,在坡面挖一圆穴,使环刀上沿与地表平齐,每日定时称重测其蒸发量。

(4) 泥沙含量测定。坡面径流小区法(同(2))。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同植被类型的枯枝落叶量及持水量

由于不同植被类型的树种组成、结构以及水热条件的差异,使得枯枝落叶积蓄量差别很

表 1 不同植被类型的枯枝落叶量及枯枝落叶层持水量

| 森林植被类型        | 林龄<br>(a) | 覆被率<br>(%) | 枯枝落叶层     |            |                            |                                    |      |
|---------------|-----------|------------|-----------|------------|----------------------------|------------------------------------|------|
|               |           |            | 盖度<br>(%) | 厚度<br>(cm) | 干重<br>(t/hm <sup>2</sup> ) | 最大持水量<br>(t/hm <sup>2</sup> ) (mm) |      |
| 草甸(阿穆尔莎草等)    | —         | 100        | —         | 3.5        | 5.0                        | 17.0                               | 1.7  |
| 天然落叶松林        | 50        | 60         | 1.0       | 14.0       | 38.4                       | 160.1                              | 16.0 |
| 天然华山松林        | 40        | 80         | 1.0       | 6.0        | 15.0                       | 40.0                               | 4.0  |
| 天然落叶松、辽东栎混交林  | 40        | 95         | 1.0       | 7.0        | 21.0                       | 69.0                               | 6.9  |
| 天然桦木林         | 35        | 60         | 0.7       | 5.5        | 16.0                       | 56.5                               | 5.7  |
| 天然辽东栎林        | 37        | 70         | 1.0       | 12.0       | 33.0                       | 97.0                               | 9.7  |
| 天然山杨、桦树混交林    | 34        | 70         | 1.0       | 7.0        | 19.0                       | 70.0                               | 7.0  |
| 阳坡灌木(荆条)林     | —         | 100        | 1.0       | 4.0        | 9.0                        | 20.0                               | 2.0  |
| 阴坡灌木(胡枝子)林    | —         | 100        | 1.0       | 5.0        | 11.1                       | 47.3                               | 4.7  |
| 阳坡灌草(荆条、白羊草等) | —         | 90         | 0.8       | 2.4        | 6.0                        | 13.0                               | 1.3  |
| 阴坡草坡(野古草等)    | —         | 100        | —         | 1.3        | 4.0                        | 10.0                               | 1.0  |
| 阳坡草坡(白羊草等)    | —         | 80         | —         | 0.2        | 1.2                        | 3.2                                | 0.3  |
| 人工油松林         | 32        | 70         | 1.0       | 11.0       | 22.0                       | 79.3                               | 7.9  |
| 人工落叶松林        | 22        | 90         | 1.0       | 6.6        | 16.5                       | 56.4                               | 5.6  |
| 人工云杉林         | 40        | 90         | 0.9       | 8.0        | 27.4                       | 98.6                               | 9.9  |
| 人工侧柏林         | 31        | 75         | 0.8       | 3.0        | 14.4                       | 40.7                               | 4.1  |
| 人工栓皮栎林        | 33        | 70         | 0.8       | 8.0        | 23.3                       | 83.2                               | 8.3  |
| 人工刺槐林         | 7         | 60         | 0.5       | 2.0        | 4.8                        | 11.0                               | 1.1  |
| 人工栓皮栎林        | 50        | 80         | 1.0       | 13.0       | 35.0                       | 114.4                              | 11.4 |
| 人工白皮松林        | 44        | 90         | 1.0       | 16.0       | 42.0                       | 136.0                              | 13.6 |
| 人工元宝枫林        | 40        | 90         | 0.8       | 7.5        | 18.0                       | 61.8                               | 6.2  |
| 人工侧柏林         | 48        | 90         | 1.0       | 10.0       | 29.9                       | 78.9                               | 7.9  |

阿穆尔莎草(*Cyperus amuricus* Maxim.), 华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr.), 华山松(*Pinus armandi* Franch.), 辽东栎(*Quercus liaotungensis* Kdodz.), 白桦(*Betula platyphylla* Suk.), 山杨(*Populus davidiana* Dode), 荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla* Franch.) Rehd.), 胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.), 白羊草(*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng), 野古草(*Arundinella hirta* (Thunb.) Tanaka), 油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.), 云杉(*Picea meyeri* Rehd. et Wils.), 侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco), 栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.), 刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.), 白皮松(*Pinus bungeana* Zucc. ex Endl.), 元宝枫(*Acer truncatum* Bunge)。

大, 有些林龄大的天然林, 群落结构由乔灌草三层组成, 枯枝落叶的积蓄量较大。一些树叶较难分解的针叶林和叶子较厚的阔叶林也有较厚的枯枝落叶层, 而叶子较薄的灌草植被和刺槐林的枯枝落叶量则较少。对 22 种植被类型的调查结果(表 1)表明, 枯枝落叶层的积蓄量最多可达  $42 \text{ t/hm}^2$ , 最少的只有  $1.2 \text{ t/hm}^2$ , 前者为后者的 35 倍。

总的看, 以乔木为主的植被类型枯枝落叶积蓄量在  $14 \sim 42 \text{ t/hm}^2$  之间(刺槐林除外), 平均为  $23.7 \text{ t/hm}^2$ , 灌草植被在  $1.2 \sim 11.1 \text{ t/hm}^2$  之间, 平均为  $7.1 \text{ t/hm}^2$ , 平均值前者为后者的 3.3 倍。灌草植被的枯枝落叶积蓄量少的主要原因是凋落量少和叶子薄易腐烂, 而刺槐林枯枝落叶积蓄量较少, 除叶子薄易腐烂外, 林龄短(7 a)也是原因之一。

枯枝落叶层持水量大小, 直接关系到对降水量的截留。如果把最大持水量看作枯枝落叶层对降水的最大截留量, 那么各种植被枯枝落叶层对一次降水的截留能力为  $0.3 \sim 16.0 \text{ mm}$ , 但由于平时枯枝落叶层含有一定水分, 实际截留值要小, 有研究表明, 在生长季节不同植被类型的枯落物自然含水量为最大持水量的  $24.5\% \sim 46.2\%$  [3]。照此计算, 枯枝落叶层对次降水的截留量为  $0.2 \sim 10.0 \text{ mm}$ , 多数在  $2.0 \sim 5.0 \text{ mm}$  之间。

### 3.2 枯枝落叶层对土壤下渗的影响

表 2 是利用坡面径流小区对 1993 年和 1994 年天然降雨的观测结果, 表 3 是利用蒸渗器对人工模拟降雨的观测结果。下渗量均是由降水量减去林冠截留量、枯枝落叶层截留量和径流量计算而得, 对降雨时的蒸发量忽略不计。

表 2 油松林与侧柏林枯枝落叶层对土壤下渗的影响

| 日 期<br>(年—月—日) | 降雨量<br>(mm) | 油 松 林 枯 枝 落 叶 处 理 |     |          |      |       |      | 侧 柏 林 枯 枝 落 叶 处 理 |      |       |      |
|----------------|-------------|-------------------|-----|----------|------|-------|------|-------------------|------|-------|------|
|                |             | 保 留               |     | 保留下部 1/2 |      | 全部清除  |      | 保 留               |      | 全部清除  |      |
|                |             | (mm)              | (%) | (mm)     | (%)  | (mm)  | (%)  | (mm)              | (%)  | (mm)  | (%)  |
| 1993—07—25     | 36.9        | 36.9              | 100 | 34.0     | 92.1 | 27.5  | 74.5 | 35.6              | 96.5 | 29.3  | 79.4 |
| 1993—08—01     | 27.0        | 27.0              | 100 | 26.2     | 97.0 | 24.3  | 90.0 | 25.0              | 92.6 | 24.2  | 89.6 |
| 1993—08—06     | 64.0        | 64.0              | 100 | 57.5     | 89.8 | 53.5  | 83.6 | 61.1              | 95.5 | 47.8  | 74.7 |
| 1994—07—07     | 138.6       | 138.6             | 100 | 115.0    | 83.0 | 98.6  | 71.1 | 128.0             | 92.4 | 108.6 | 78.4 |
| 1994—07—08     | 74.3        | 74.3              | 100 | 64.3     | 86.5 | 34.3  | 46.2 | 70.7              | 95.2 | 44.3  | 59.6 |
| 1994—07—13     | 91.8        | 91.8              | 100 | 88.9     | 96.8 | 70.8  | 77.1 | 90.2              | 98.3 | 81.0  | 88.2 |
| 1994—07—17     | 104.0       | 104.0             | 100 | 78.9     | 75.9 | 64.0  | 61.5 | 91.6              | 88.1 | 74.0  | 71.2 |
| 1994—07—27     | 31.4        | 31.4              | 100 | 24.8     | 79.0 | 4.9   | 0.5  | 31.4              | 100  | 12.4  | 39.5 |
| 1994—08—09     | 55.0        | 55.0              | 100 | 50.8     | 92.4 | 35.4  | 64.4 | 52.4              | 95.3 | 37.0  | 67.3 |
| 1994—08—14     | 138.9       | 138.9             | 100 | 113.3    | 81.6 | 98.9  | 71.2 | 122.9             | 88.5 | 120.9 | 87.0 |
| 1994—08—21     | 36.0        | 36.0              | 100 | 32.0     | 88.9 | 18.5  | 51.4 | 35.0              | 97.2 | 25.6  | 71.1 |
| 合 计            | 797.9       | 797.9             |     | 685.7    |      | 530.7 |      | 743.9             |      | 605.1 |      |
| 平 均            |             |                   | 100 |          | 85.9 |       | 66.5 |                   | 93.2 |       | 75.8 |

表 2 的 11 次降水资料均为 1993 年和 1994 年的产流降雨, 可以看出, 除 1993 年 8 月 1 日外, 两种林分的产流次雨量均在  $30 \text{ mm}$  以上, 这说明小于  $30 \text{ mm}$  的降雨除了湿润林冠和地表, 基本全部渗入土壤中, 很难产生地表径流, 有枯枝落叶层与无枯枝落叶层之间无明显差别。当降雨量大于  $30 \text{ mm}$  且达到一定强度时, 枯枝落叶层的作用就明显地表现出来, 从油松和侧

柏两种林分看,在 797.9 mm 的总降雨量中,有枯枝落叶层的油松林小区不产流,全部下渗,清除枯枝落叶层小区下渗 530.7 mm,两者相差 267.2 mm;侧柏林的差别为 138.8 mm,两种林分的枯枝落叶层使林地地下渗量分别增加 50.3%和 21.3%,其主要原因是,清除枯枝落叶层后地表失去了保护,在雨滴的直接打击下,表层土壤被击实,同时土壤颗粒被溅起或被流水带动,堵塞了表层土壤的孔隙,雨后对表层土壤(0~7 cm)的测定结果表明,油松林小区,保留枯枝落叶层的和清除枯枝落叶层的土壤非毛管孔隙度、渗透速度分别为 16.44%、21.96 cm/h 和 9.45%、15.46 cm/h,侧柏林小区分别为 8.62%、15.60 cm/h 和 6.41%、11.94 cm/h,两种林分在清除枯枝落叶层后,非毛管孔隙度和渗透速度分别下降了 42.5%、25.6%和 29.6%、23.5%。

不同树种小区之间的差别,除了对土壤的改良作用不同以及枯枝落叶层厚度和盖度的差异外,还有立地条件的不同。枯枝落叶层的厚度和盖度,油松林为 6 cm 和 1.0,侧柏林为 3 cm 和 0.8;油松林地处阴坡,侧柏林在阳坡,两者的土壤非毛管孔隙度和渗透速度也有差异。

表 3 枯枝落叶层对下渗的影响(蒸渗器法)

| 降雨号次 | 降雨量<br>(mm) | 降雨强度<br>(mm/h) | 针叶小区 |        | 阔叶小区 |        | 裸地小区 |        |
|------|-------------|----------------|------|--------|------|--------|------|--------|
|      |             |                | (mm) | (mm/h) | (mm) | (mm/h) | (mm) | (mm/h) |
| 1    | 89.4        | 59.6           | 81.0 | 54.0   | 82.2 | 54.8   | 63.2 | 42.1   |
| 2    | 60.3        | 40.2           | 57.3 | 38.2   | 58.1 | 38.7   | 46.8 | 31.2   |
| 3    | 30.1        | 20.1           | 30.1 | 20.1   | 30.1 | 20.1   | 24.7 | 16.5   |
| 平均   | 59.9        | 40.0           | 56.1 | 37.4   | 56.8 | 37.9   | 44.9 | 29.9   |

表 3 的结果是在同一小区和同一土壤水分(田间持水量)条件下,采用人工模拟降雨方法取得的,这样消除了小区间的误差。结果表明:覆盖针叶与阔叶之间的下渗量无明显差别而覆盖枯枝落叶层与裸地之间的下渗量则差别非常明显。在 20.1 mm/h 的较小雨强时,覆盖针叶和覆盖阔叶比裸地小区增加下渗 21.9%,在 59.6 mm/h 的较大雨强时,分别增加下渗 28.2%和 30.1%,有随雨强增大而加大的趋势。

### 3.3 枯枝落叶层对地表蒸发的影响

在雨季枯枝落叶层对地面蒸发的抑制作用非常明显。1995 年 8 月份,裸露地表的日蒸发量平均为 1.82 mm,而枯枝落叶覆盖地表的蒸发量只有 0.45 mm。在一个月期间,覆盖枯枝落叶层地面蒸发 13.8 mm,裸露地面蒸发 56.3 mm,枯枝落叶层可使地面减少 42.5 mm 的蒸发,裸露地面的蒸发相当于枯枝落叶层覆盖地面的 4 倍(图 1)。观测表明,枯枝落叶层的存在每年可减少地表蒸发量 222.0%。

抑制蒸发的主要原因是枯枝落叶层为地表创造了一个高湿低温的小气候环境,据测定,8 月份的日平均地表温度,有枯枝落叶层覆盖的比没有枯枝落叶层的低 0.3~2.6℃,相对湿度高 2%~14%。

### 3.4 枯枝落叶层对径流含沙量的影响

枯枝落叶层均匀地覆盖在地表,使降水不能直接接触地表面,雨滴动能被枯枝落叶层所消耗,地表的泥沙不发生击溅,当降水使地表产生径流时,水质清澈泥沙含量较少,如果枯枝落叶层盖度达不到 1.0 时,局部会产生较浑浊的水流,在流经枯枝落叶层时,经过过滤,浑浊度降低,枯枝落叶层越厚,盖度越大,水流也就越清澈(见表 4)。

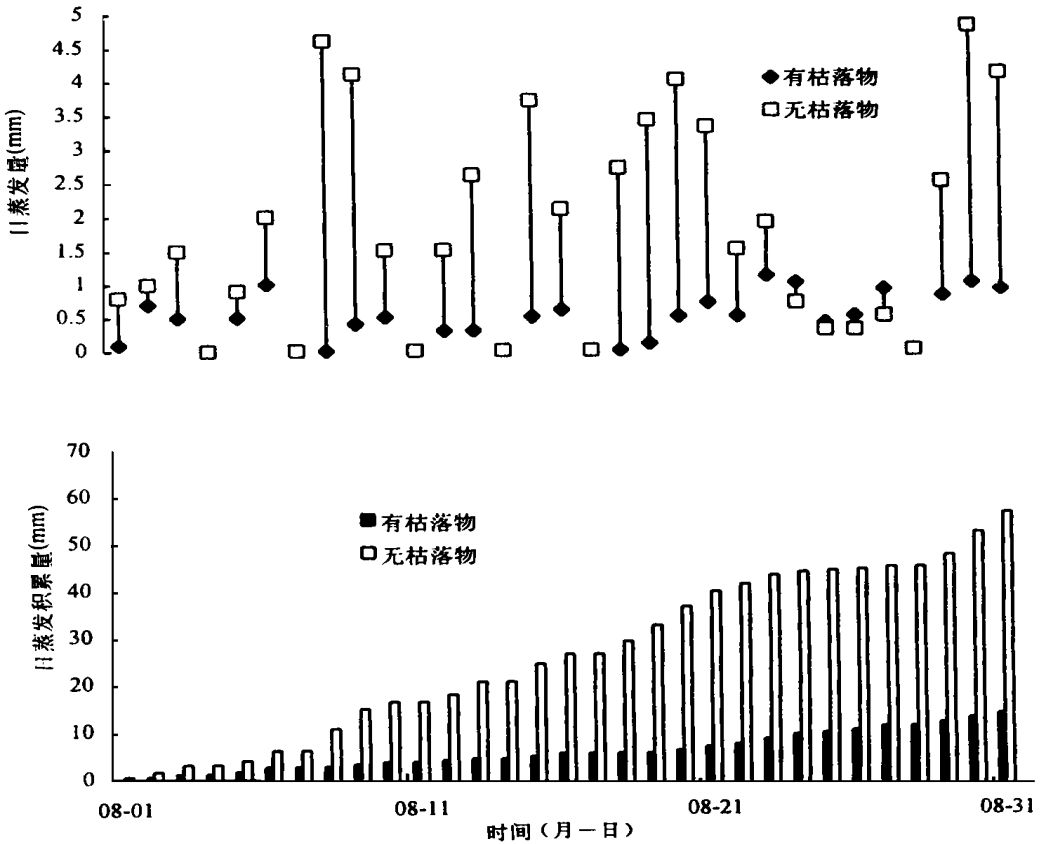


图 1 油松林有、无枯枝落叶层的地表蒸发量(1995 年)

表 4 有、无枯枝落叶层径流中的泥沙含量

(单位:  $\text{kg}/\text{m}^3$ )

| 时 间<br>(年—月—日) | 降水量<br>(mm) | 油松林枯枝落叶处理 |          |      | 侧柏林枯枝落叶处理 |      |
|----------------|-------------|-----------|----------|------|-----------|------|
|                |             | 保留        | 保留下部 1/2 | 全部清除 | 保留        | 全部清除 |
| 1993—07—25     | 36.9        | 未产流       | 3.8      | 41.9 | 1.6       | 5.4  |
| 1993—08—01     | 27.0        | 未产流       | 1.0      | 4.3  | 0.6       | 3.1  |
| 1993—08—06     | 64.0        | 未产流       | 7.1      | 45.4 | 0.9       | 18.0 |
| 1994—07—07     | 138.6       | 未产流       | 10.8     | 59.2 | 2.0       | 48.6 |
| 1994—07—08     | 74.3        | 未产流       | 4.3      | 12.9 | 1.9       | 13.1 |
| 1994—07—13     | 91.8        | 未产流       | 2.8      | 6.6  | 3.0       | 6.7  |
| 1994—07—17     | 104.0       | 未产流       | 5.9      | 12.9 | 4.2       | 7.8  |
| 1994—07—27     | 31.4        | 未产流       | 5.5      | 18.6 | 未产流       | 10.2 |
| 1994—08—09     | 55.0        | 未产流       | 1.4      | 24.4 | 0.0       | 2.1  |
| 1994—08—14     | 138.9       | 未产流       | 1.8      | 28.1 | 2.5       | 8.3  |
| 1994—08—21     | 36.0        | 未产流       | 2.8      | 12.0 | 0.0       | 1.7  |
| 平 均            | —           | —         | 5.2      | 23.4 | 1.0       | 12.5 |

表 4 说明: 枯枝落叶层对径流泥沙含量的影响非常明显。在人工油松林中, 有完整枯枝落叶层保护时, 不产生坡面径流, 雨水经过渗透以壤中流或地下径流的方式流出, 水质清澈, 当去掉上部 1/2 枯枝落叶层时, 径流的泥沙含量平均为  $5.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 全部去掉枯枝落叶层时, 径流

的泥沙含量平均为  $23.4 \text{ kg/m}^3$ ; 在人工侧柏林中, 保留枯枝落叶层时, 径流的泥沙含量只有  $1.0 \text{ kg/m}^3$ , 全部去掉枯枝落叶层时, 径流的泥沙含量为  $12.5 \text{ kg/m}^3$ , 后者比前者高出 11.5 倍。

## 4 结 语

(1) 太行山不同植被类型的枯枝落叶量差异较大。乔木林植被的量较多, 平均  $23.7 \text{ t/hm}^2$ ; 灌草植被的量较少, 平均  $7.1 \text{ t/hm}^2$ 。总体看枯枝落叶层的蓄水能力在  $0.3 \sim 16.0 \text{ mm}$  之间, 乔木林植被平均  $8.3 \text{ mm}$ ; 灌草植被平均  $1.8 \text{ mm}$ 。枯枝落叶层雨季的蓄水量在  $0.2 \sim 10.0 \text{ mm}$ 。

(2) 枯枝落叶层可以增加土壤的入渗量。在 1993 和 1994 年两年间  $797.9 \text{ mm}$  的产流雨量中, 30 年生人工油松和侧柏林地, 有枯枝落叶层比没有的分别可增加入渗量  $267.2 \text{ mm}$  和  $138.7 \text{ mm}$ 。模拟试验表明, 有枯枝落叶层比没有枯枝落叶层可增加  $54.6\%$  的入渗量, 占降雨量的  $20\%$ 。

(3) 枯枝落叶层具有抑制地面蒸发的作用, 其大小与土壤含水量成正比。在雨季一个月的蒸发量, 覆盖枯枝落叶层地面为  $13.8 \text{ mm}$ , 裸露地面达  $56.3 \text{ mm}$ , 相差 3 倍。

(4) 枯枝落叶层的保护地表和过滤作用可使径流变得清澈。在 30 年生人工油松林和侧柏林的坡面径流中, 保留下部  $1/2$  枯枝落叶层或全部保留的比全部清除的分别减少泥沙含量  $18.2 \text{ kg/m}^3$  和  $11.5 \text{ kg/m}^3$ 。

## 参 考 文 献

- 1 马雪华. 森林水文学. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- 2 张仰渠, 雷瑞德, 谢应忠. 秦岭林区华山松林的水文作用. 北京: 测绘出版社, 1989, 134 ~ 143.
- 3 刘向东, 吴钦孝, 苏虎宁. 六盘山林区森林树冠截留、枯枝落叶层和土壤水文性质的研究. 林业科学, 1989, 25(3): 220 ~ 227.
- 4 刘文耀, 刘伦辉, 郑征, 等. 滇中常绿阔叶林及云南松林水文作用的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(2): 159 ~ 166.

# The Hydrologic Action of Litter on Main Vegetation in Taihangshan Mountain

*Yang Liwen Shi Qingfeng*

**Abstract** This paper dealt with the hydrologic action of litter on main vegetation in Taihangshan Mountain. The results showed: in the process of water conservation by the forest, the litter can regulate and hold rainfall amount  $2 \sim 5 \text{ mm}$ , increase infiltration amount  $21.3\% \sim 50.3\%$ , decrease soil surface evaporation  $22.0\%$ , and decrease runoff silt content in the earth's surface  $11.5 \text{ kg/m}^3$ .

**Key words** Taihangshan Mountain vegetation kind litter hydrologic action