

枯枝落叶层阻延径流速度研究

赵鸿雁 刘向东 吴钦孝

(中国科学院
水利部 西北水土保持研究所)

摘 要

本文研究了油松和山杨林枯枝落叶层对径流速度的影响,结果表明,它与坡度、径流深度成正比,与枯枝落叶厚度成反比。枯枝落叶种类不同,其径流速度的变化规律基本一致。

关键词 油松 山杨 枯枝落叶层 径流速度

A STUDY ON RETARDATION OF RUNOFF VELOCITY BY LITTER

Zhao Hongyan Liu Xiangdong Wu Qinxiao

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, The Chinese
Academy of Sciences and The Ministry of Water Conservancy)

Abstract

It is found by study on the runoff velocity in the layer of litter, that the runoff velocity was increasing with slope steepness and depth of runoff and was decreasing with increasing the thickness of litter. Even if the types of litter were different, the changing pattern of runoff velocity in it was about the same.

Key words *Pinus tabulaeformis* *Populus davidiana* Litter runoff velocity

1 前 言

枯枝落叶层是森林生态系统的子系统,它在调节地表径流,改良土壤结构,提高土壤的有机物质,增强土壤表面的抗冲抗蚀性、增加入渗、抑制土壤蒸发等方面具有重要的作用。由于森林土壤表面一般有一层枯枝落叶,对集水区的产汇流有一定的影响。研究枯枝落叶层阻延径流速度对系统认识森林的水文功能和水土保持作用有重要意义。

2 试验方法

在人工油松林和山杨林地采集枯枝落叶,在水中浸泡24h,待吸水饱和后,分层装入流水槽内。流水槽是用白铁皮制作的,长1m,宽0.1m,高0.05m。枯枝落叶种类有

油松和山杨。有5个厚度(0, 0.5, 1, 2, 3 cm); 4个径流深度(1, 2, 3, 4 mm); 6个坡度(5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°)。分别测定径流流出时间。

3 结果与分析

3.1 径流速度的确定

测定径流在枯枝落叶层中的速度比较困难, 为此我们测定径流从进入流水槽到流出流水槽的时间 T 。再用 $\bar{V} = \frac{a}{T}$ 计算径流速度。 a 为流水槽长度, 在此 $a = 100\text{cm}$, \bar{V} (cm/s)。

枯枝落叶阻延径流速度用 ΔV 表示。则

$$\Delta V = \bar{V}_0 - \bar{V}_1$$

式中: V_0 ——无枯枝落叶时的径流速度 (cm/s);

\bar{V}_1 ——有枯枝叶时的径流速度 (cm/s)。

上述方法计算的径流速度是相对指标, 只能比较各处理之间的差异程度。

3.2 枯枝落叶层中径流速度的变化规律

枯枝落叶层降低径流速度的效应显著。没有枯枝落叶时, 径流速度大, 有枯枝落叶时径流速度显著减小(见表1)。例如当 $\alpha = 5^\circ$, $q = 1\text{mm}$, $l = 0$ 时, 径流速度为 3.2cm/s ; $l = 0.5$ 时, 油松枯枝落叶中的速度为 4.9cm/s , 山杨枯枝落叶中为 3.3cm/s , 速度约为 $1/6$ 和 $1/10$ 。又如当 $\alpha = 30^\circ$, $q = 1\text{mm}$, $l = 0$ 时, 径流速度为 59.6cm/s ; $l = 0.5\text{cm}$ 时, 油松和山杨两种枯落物中的速度分别为 9.0cm/s 和 4.7cm/s , 约为前者的 $1/6$ 和 $1/13$ 。

由于枯枝落叶层增加了径流流动的阻力, 使得径流速度随枯枝落叶层厚度增加而变小。如 $\alpha = 10^\circ$, $q = 1\text{mm}$, $l = 0.5\text{cm}$ 时, 油松和山杨枯枝落叶中的径流速度分别为 5.4cm/s 和 3.6cm/s ; 当 $l = 3\text{cm}$ 时, 两种枯枝落叶中的速度分别为 4.2cm/s 和 1.6cm/s 。

3.2.1 坡度对径流速度的影响

由表1可见, 坡度增加, 径流流动的速度增大。如当 $q = 1\text{mm}$, $l = 2\text{cm}$, $\alpha = 5^\circ$ 时, 油松枯枝落叶的速度为 3.9cm/s , 山杨枯落物为 2.0cm/s ; 在 $\alpha = 10^\circ$ 时, 油松和山杨枯落物中的速度分别为 4.4cm/s 和 2.3cm/s , 分别增加了 0.5cm/s 和 0.3cm/s , 当 $q = 4\text{mm}$, $l = 1\text{cm}$, $\alpha = 20^\circ$ 时, 油松和山杨枯枝落叶中的速度分别为 11.6cm/s 和 8.8cm/s , $\alpha = 30^\circ$ 时, 油松和山杨枯落物中的速度分别为 14.9cm/s 和 10.3cm/s , 分别增加了 3.3cm/s 和 1.5cm/s 。由分析可见, 枯枝落叶种类不同, 坡度变大, 径流速度变大, 但其增值有所不同, 油松枯落物大于山杨。

3.2.2 径流深度对径流速度的影响

径流深度增加, 流量变大, 总水势增加, 径流流动的动力增大, 径流速度变大。由表1可见, $\alpha = 15^\circ$, $l = 2\text{cm}$, $q = 1\text{mm}$ 时, 油松和山杨枯枝落叶层中的速度分别为 4.9cm/s 和 2.5cm/s ; 当 $q = 3\text{mm}$ 时, 油松和山杨枯枝落叶中径流速度分别为 7.1cm/s 和 5.6cm/s 。可见径流深度增加油松枯枝落叶中径流速度的增加大于山杨枯落物。

综上所述, 枯枝落叶层中径流流动的规律是随枯枝落叶厚度增加, 速度减小, 随坡度和径流深度的增加, 速度增大。枯枝落叶种类不同, 径流速度不同, 油松枯落物中径

表1 两种枯枝落叶层中的径流速度值 (cm/s)

坡度	枯枝落叶厚 (cm)	油松枯枝落叶 径流深 (mm)				山杨枯枝落叶 径流深 (mm)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
		5°	0	33.2	41.8	48.8	52.9	33.2	41.8
5°	0.5	4.9	6.5	7.8	9.1	3.3	4.9	5.6	7.2
5°	1	4.3	5.9	7.3	8.0	3.0	4.7	5.5	6.8
5°	2	3.9	5.1	5.7	5.9	2.0	3.3	4.4	5.2
5°	3	3.7	4.8	5.5	5.8	1.6	2.3	2.6	2.9
10°	0	47.4	59.7	68.1	72.5	47.4	59.7	68.1	72.5
10°	0.5	5.4	7.4	8.7	10.1	3.6	5.6	7.1	8.4
10°	1	5.3	7.3	8.4	9.6	3.1	4.9	6.3	7.4
10°	2	4.4	5.8	6.6	7.1	2.3	3.9	5.3	6.3
10°	3	4.2	5.5	6.0	6.4	1.6	2.6	3.3	3.8
15°	0	52.5	69.3	82.4	86.4	52.5	69.3	82.4	86.4
15°	0.5	6.6	8.8	9.9	11.1	3.9	6.3	7.9	9.4
15°	1	6.4	8.6	9.7	10.9	3.1	4.9	6.4	7.6
15°	2	4.9	6.5	7.1	7.5	2.5	4.2	5.6	6.8
15°	3	4.8	6.1	7.0	7.4	1.8	2.8	3.4	4.0
20°	0	55.9	79.1	87.4	92.1	55.9	79.1	87.4	92.1
20°	0.5	7.5	9.3	10.7	11.8	4.3	6.5	8.0	9.7
20°	1	7.4	9.2	10.5	11.6	3.1	5.2	7.1	8.8
20°	2	6.3	7.8	8.9	9.6	2.5	4.4	6.0	7.4
20°	3	5.8	7.4	8.3	8.8	1.9	2.8	3.5	4.1
25°	0	57.1	82.9	90.3	96.3	57.1	82.9	90.3	96.3
25°	0.5	8.2	12.0	13.6	14.7	4.6	7.2	9.2	10.6
25°	1	7.6	10.2	11.6	13.0	3.2	5.4	7.4	9.1
25°	2	6.8	8.3	9.7	10.5	2.7	4.6	6.4	7.7
25°	3	6.2	7.4	8.6	9.5	2.0	3.0	3.6	4.3
30°	0	59.6	86.6	102.2	117.1	59.6	86.6	102.2	117.1
30°	0.5	9.0	12.1	14.1	16.2	4.7	7.5	9.5	11.1
30°	1	8.7	11.9	13.5	14.9	3.7	6.3	8.7	10.3
30°	2	6.9	8.5	9.6	10.5	2.8	4.6	6.7	8.6
30°	3	6.6	8.2	9.7	10.2	2.1	3.1	4.1	4.6

流速度大。

3.3 枯枝落叶阻延径流速度效应与影响因子分析

3.3.1 枯枝落叶厚度与其阻延径流速度效应的关系

由表2可见, 枯枝落叶阻延径流速度的大小与枯枝落叶的厚度成正比。因液体流动

时沿程损失的水头计算公式为 $hf = \lambda \cdot \frac{1}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}$ [3]。

表2 油松和山杨枯枝落叶阻延速度值 (cm/s)

坡度	枯枝落叶厚度 (cm)	油松枯枝落叶 径流深 (mm)				山杨枯枝落叶 径流深 (mm)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
		5°	0.5	28.3	35.3	41.0	43.8	29.9	36.9
5°	1	28.9	35.9	41.5	44.9	30.2	37.1	43.3	46.1
5°	2	29.3	36.7	43.1	47.0	31.2	38.5	44.4	47.7
5°	3	29.5	37.0	43.8	47.1	31.6	39.5	46.2	50.0
10°	0.5	42.0	52.3	59.4	62.4	43.8	54.1	61.0	64.1
10°	1	42.1	52.4	59.7	62.9	44.3	54.8	61.8	65.1
10°	2	43.0	53.9	61.5	65.4	45.1	55.8	62.8	66.2
10°	3	43.2	54.2	62.1	66.1	45.8	57.1	64.8	68.7
15°	0.5	45.9	60.5	72.5	75.3	48.6	63.0	74.5	77.0
15°	1	46.1	60.7	72.7	75.5	49.4	64.4	76.0	78.8
15°	2	47.6	62.8	75.3	78.9	50.0	65.1	76.8	79.6
15°	3	47.7	63.2	75.4	79.0	50.7	66.5	79.0	82.4
20°	0.5	48.4	69.8	76.7	80.3	51.6	72.6	79.4	82.4
20°	1	48.5	69.9	76.9	80.5	52.8	73.9	80.3	83.3
20°	2	49.6	71.3	78.5	82.5	53.4	74.7	84.0	84.7
20°	3	50.1	71.7	79.1	83.3	54.0	76.3	83.9	88.0
25°	0.5	48.9	70.9	76.7	81.6	52.5	75.7	81.1	85.7
25°	1	49.5	72.7	78.7	83.3	53.3	77.5	82.9	87.2
25°	2	50.3	74.6	80.6	85.8	54.4	78.3	83.9	88.6
25°	3	50.9	75.5	81.7	86.8	55.1	79.9	86.7	92.0
30°	0.5	50.6	74.5	88.1	100.9	54.9	79.1	92.7	106.0
30°	1	50.9	74.7	88.7	102.2	55.9	80.3	93.5	106.8
30°	2	52.7	78.1	92.5	106.6	56.8	82.0	95.5	108.5
30°	3	53.0	78.4	92.6	106.9	57.5	83.5	98.1	112.5

其中hf沿程损失的水势 (J)

λ ——阻力系数;

l ——径流流过的长度 (m);

R ——湿周 (m);

v ——速度 (m/s);

g ——重力加速度 (m/s^2)。

当枯枝落叶厚度增加时, λ 增大, hf 增大, 径流流动的动力变小, 径流速度变小, 因而阻延径流速度值增大。如 $\alpha = 5^\circ$, $q = 1mm$, $l = 0.5cm$ 时, 油松枯枝落叶层中阻延径流速度为28.3cm/s, 山杨枯枝落叶为29.9cm/s, $l = 3.0cm$ 时, 油松和山杨枯枝落叶阻延径流速度分别为29.5cm/s和31.6cm/s。又如 $\alpha = 15^\circ$, $q = 1mm$, $l = 1cm$ 时, 油松和山杨枯枝落叶阻延径流速度分别为46.1cm/s和49.4cm/s, $l = 3cm$ 时, 油

松和山杨枯枝落叶阻延径流速度分别为47.7cm/s和50.7cm/s。由此可见, 山杨枯枝落叶阻延径流速度大于油松枯枝落叶。

3.3.2 坡度对枯枝落叶层阻延径流速度值的影响

由坡度和枯枝落叶层中径流速度的关系可知, 坡度增加, 径流速度增加。因此沿程损失的水头 hf 增大, 阻延径流速度值增大。由表 2 可见, 当 $q = 1 \text{ mm}$, $l = 3 \text{ cm}$, α

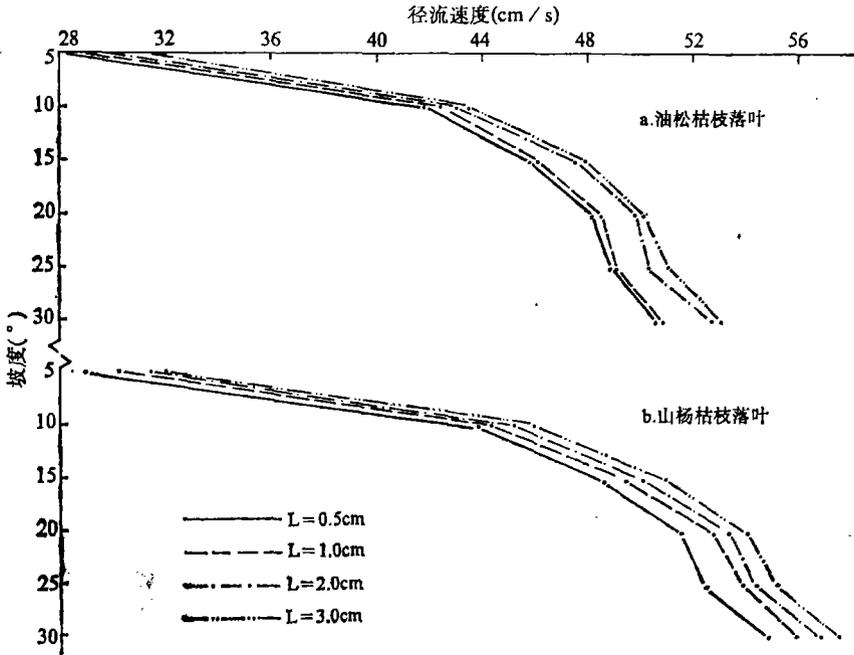


图 1 坡度与径流速度的关系

$= 5^\circ$ 时, 油松和山杨枯枝落叶阻延径流速度分别为29.5cm/s和31.6cm/s; $\alpha = 30^\circ$ 时, 油松和山杨枯枝落叶的阻延值分别为53.0cm/s和57.5cm/s。又如: $q = 3 \text{ mm}$, $l = 2 \text{ cm}$, $\alpha = 10^\circ$ 时, 油松和山杨枯落物的阻延径流速度分别为61.5cm/s和62.8cm/s; $\alpha = 20^\circ$ 时, 油松和山杨枯落物阻延速度值分别为78.5cm/s和84.0cm/s。可见, 坡度增加, 山杨枯枝落叶阻延径流速度大于油松枯枝落叶。

由图 2 可以看出, 坡度从 0 逐渐增加到 10° 时, 枯枝落叶阻延径流速度值变化大, 曲线较陡; 当 $\alpha = 20^\circ$ 以后, 曲线变化较平稳, 枯枝落叶阻延径流速度的增加较小。

3.3.3 径流深度与枯枝落叶阻延径流速度的关系

径流深度增加, 枯枝落叶阻延径流速度增大 (见表 2)。例如当 $\alpha = 10^\circ$, $l = 0.5 \text{ cm}$, $q = 1 \text{ mm}$ 时, 油松和山杨枯枝落叶的阻延值分别为42.0cm/s和43.8cm/s; $q = 4 \text{ mm}$ 时, 油松和山杨枯枝落叶阻延径流速度值分别为62.4cm/s和64.1cm/s。由此可见, 径流深度增加, 山杨枯枝落叶层阻延径流速度值略大于油松枯枝落叶层。

由图 3 可见, 径流深度在 $1 \sim 3 \text{ mm}$ 时, 曲线变化大, 即阻延径流速度随径流深度增加快。当径流深度大于 3 mm 时, 曲线变化较慢, 阻延径流速度随径流深度增加较小。

总之由上分析可知, 枯枝落叶阻延径流速度与坡度、径流深度, 枯枝落叶厚度都成

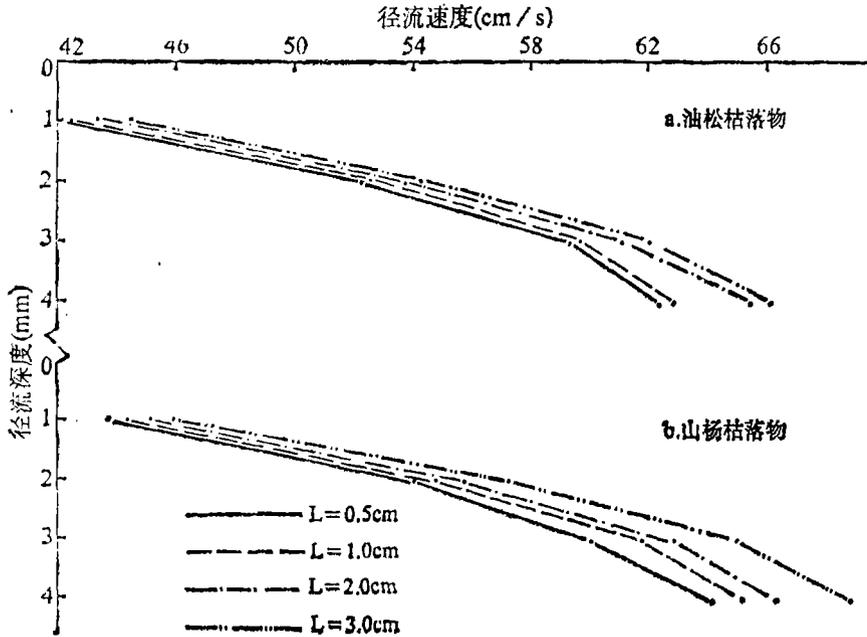


图2 径流深度与径流速度的关系

正相关。枯枝落叶种类不同，其阻延径流速度的变化规律基本一致，只是大小数量有别，山杨枯枝落叶层阻延径流速度略大于油松枯枝落叶层。

3.4 枯枝落叶阻延径流速度与 α 、 q 、 l 的多元回归分析

关于坡面流速 v 与径流深 q （单宽流量）；坡度 α （比降）的关系式前人研究较多，主要描述坡面径流速度 v 与 q 、 α 的关系式有如下几个：

层流式 $v = k \cdot q^{2/3} \cdot \alpha^{1/3}$

紊流式 $v = k \cdot q^{2/5} \cdot \alpha^{0.3}$

谢才式 $v = k \cdot q^{1/2} \cdot \alpha^{1/2}$

尼尔式 $v = k \cdot q^{1/2} \cdot \alpha^{1/3}$

徐在庸式 $v = k \cdot q^{1/2} \cdot \alpha^{1/3}$

曼宁式 $v = \frac{1}{n} \cdot q^{0.67} \cdot \alpha^{1/2}$

- 式中 v ——坡面径流速度 (cm/s)；
- k 、 n ——阻力系数和粗糙度；
- q ——径流深或单宽流量 (m)；
- α ——坡度或比降。

从这些公式不难看出：坡面径流的速度与坡度，径流深度都为正相关。由于实验条件的不同，方程式的系数有所不同，公式的实质是一样的，都可以归结为 $v = k \cdot \alpha^a \cdot q^b$ 。

枯枝落叶层阻延径流速度与坡度、枯枝落叶厚度，径流深度也成正相关。与坡面流

速对比我们提出枯枝落叶层阻延径流速度的模型为 $v = k \cdot \alpha^a \cdot q^b \cdot l^c$ 。容易证明该模型有如下几个特点:

首先该模型与坡面径流速度的公式形式相似,只是多了一项枯枝落叶厚度,该项可视为粗糙度,表示了坡面速度的 k 值,由于枯枝落叶的粗糙度确定困难,故用其厚度表示。

其次模型中 v 与 α 、 q 、 l 的关系和我们以上枯枝落叶阻延径流速度与 α 、 q 、 l 的单一因子关系分析一致,所以该模型能够对它们起到综合作用。

最后,坡面流速中 k 、 n 表示粗糙度,而提出模型中的 k 值表示比例常数或回归常数。因为在计算枯枝落叶阻延径流速度时,流水槽的阻力被减掉了,而枯枝落叶的粗糙度用 l 表示,故 k 为 α 、 q 、 l 的比例常数。

为了对 $v = k \alpha^a q^b l^c$ 求解,确定 k 、 a 、 b 、 c , 两端取以 e 为底的对数,则化为:

$$n v = \ln k + a \ln \alpha + b \ln q + c \ln l。$$

再用最小二乘法原理经计算机计算,得到两种枯枝落叶阻延径流速度的多元回归方程式如下:

$$\text{油松枯枝落叶: } \Delta V = 17.2 \alpha^{0.365} \cdot q^{0.343} \cdot l^{0.05}$$

$$n = 96 \quad R = 0.85 \quad FF = 79.3 \quad \alpha = 0.001 \text{ 时回归显著。}$$

$$\text{山杨枯枝落叶: } \Delta V = 18.2 \alpha^{0.36} \cdot q^{0.365} \cdot l^{0.043}$$

$$n = 96 \quad R = 0.92 \quad FF = 161.2 \quad \alpha = 0.001 \text{ 回归显著。}$$

建立模型不仅是为了预测与计算,更重要的是通过参数的确定,可以综合地比较分析。从上述回归方程可以看出:无论是油松枯枝落叶层还是山杨枯枝落叶层,坡度对其阻延径流速度的影响基本相似,且系数介于层流式与曼宁式的系数之间。如油松枯枝落叶的 $a = 0.365$,山杨枯落物的 $a = 0.36$;当 $\alpha = 30^\circ$ 时,两者的 α^a 值相差为 0.058。径流深度对两种枯枝落叶层阻延径流速度的差异不明显,且系数 b 介于层流与紊流式之间。当 $q = 4 \text{ mm}$ 时,油松枯枝落叶与山杨枯枝落叶的 q^b 值相差为 0.043。不同枯枝落叶厚 l 影响径流速度阻延值差异更小,如两种枯枝落叶的 l^c 值(在 $l = 3 \text{ cm}$ 时)相差为 0.002。由此可见,两种枯枝落叶阻延径流速度差异不大。

4 结 论

4.1 枯枝落叶层中径流速度的变化规律是:随坡度和径流深度的增加,径流速度增大;随枯枝落叶厚度增加,速度变小。油松枯枝落叶层中的速度大于山杨枯枝落叶层。

4.2 枯枝落叶阻延径流速度与坡度,径流深度,枯枝落叶厚度都成正比例关系。枯枝落叶种类不同,阻延径流速度的规律一致,但山杨枯枝落叶比油松枯枝落叶阻延径流速度值大。

4.3 两种枯枝落叶阻延径流速度与坡度、径流深度、枯枝落叶厚度的多元回归方程式分别是:

表2 几种森林涵蓄降水的能力* (mm)

类 型	饱和持水量	6~11月平均 土壤含水量	涵蓄降水量	其中非毛管孔 隙涵蓄量
白桦林	364.7	227.0	137.7	62.3
辽东栎林	377.3	210.1	167.2	62.6
山脊辽东栎林	378.9	221.4	157.5	71.7
华北落叶松林	413.0	179.0	234.0	76.3

*按80cm土层计算

5 结 论

5.1 六盘山森林土壤发育良好,一般具有1~5cm厚的枯枝落叶层和12~13cm厚的腐殖质层,有机质含量7.4%~13.4%,结构疏松,多孔隙,但土层浅薄,含有砾石,影响对降水的贮蓄能力。

5.2 六盘山主要森林的最大贮水能力为2 700~5 600 t/ha,相当于270~560 mm水深,其中非毛管孔隙贮水量为390~1 100 t/ha,相当于39~110 mm水深,毛管饱和持水量2 100~5 000 t/ha,相当于210~500mm水深。

5.3 六盘山森林土壤对降水的涵蓄能力应包括非毛管孔隙滞蓄量和部分毛管孔隙持水量,受土壤含水量的影响,而有季节变化,全年平均涵蓄降水量为138~234 mm(按0.7m土层深计算),其中非毛管孔隙滞蓄量占32.6%~45.5%,毛管孔隙占54.5%~67.4%。

参 考 文 献

- [1] M.J.柯克比主编,刘新仁等译。《山坡水文学》,哈尔滨工业大学出版社,1989年
- [2] 宁夏林业厅自然保护区办公室等。《六盘山自然保护区科学考察》,宁夏人民出版社,1988年
- [3] 王永安。药姑山林区森林贮水量的初步测算,《水土保持通报》,1986年4期
- [4] 刘向东等。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年3期
- [5] 刘向东等。六盘山森林保持水土生态功能的评价,《水土保持学报》,1987年1期

(上接第70页)

$$\Delta V_{\text{油}} = 17.2\alpha^{0.385} \cdot q^{0.346} \cdot [0.05]$$

$$\Delta V_{\text{山}} = 18.2\alpha^{0.360} \cdot q^{0.365} \cdot [0.048]$$

参 考 文 献

- [1] 刘家冈等。阔叶红松林枯枝落叶滞蓄地表径流的一维模型,《应用生态学报》,1990,第1卷2期,p107~113
- [2] M.J.柯克比主编,刘新仁等译。《山坡水文学》,哈尔滨工业大学出版社,1989.7
- [3] 周善生主编。《水力学》,高等教育出版社,1980.7