

黄土高原森林枯枝落叶层保持水土的有效性^{*}

吴钦孝, 赵鸿雁, 韩冰

(西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 采用人工模拟与天然降水相结合的方法, 定量研究了枯枝落叶层保持水土的有效性。研究结果表明, 在黄土高原常见坡度 25° 和暴雨雨强 1~2 mm/min 的条件下, 该地区油松和山杨林枯枝落叶层保持水土的有效厚度为 0.9~1.0 cm, 低于这个数量, 将明显降低其蓄水减沙效益。

[关键词] 枯枝落叶层; 水土保持; 黄土高原

[中图分类号] S714.7

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2001)05-095-04

在森林垂直结构的三个层次中, 枯枝落叶层占有重要的地位。由于它直接覆盖地表, 防止雨滴打击, 并在不断凋落和分解过程中, 改善土壤性质, 增加降水入渗, 对保持水土、涵养水源有巨大的作用。其作用的大小, 主要与其厚度(或蓄积)密切相关。为确定有效保持水土所必需的枯枝落叶数量, 美国、日本、前苏联等国曾进行过有关研究^[1,2], 提出了一些适于该国具体条件的指标。国内涉足该领域的研究起步较晚, 定量研究结果尚少^[3,4]。本研究通过不同厚度枯枝落叶层对保持水土各主要指标有效值的确定, 分析并提出其必要的最低有效厚度, 为建立高效植被和综合治理黄土高原提供科学依据。

1 试验地和判别指标的选择及确定

1.1 试验地

试验在陕西省黄龙山区主要森林植被类型中龄油松(*Pinus tabulaeformis*)和山杨(*Populus davidiana*)林内, 采用人工模拟与天然降水相结合的方法进行。这两种林分分别代表了人工针叶林和天然阔叶林, 分布在阴向坡面, 坡度 25° 左右, 为黄土高原常见坡度, 具有一定代表性。

1.2 判别指标的选择及确定

大量研究^[5,6]表明, 枯枝落叶层保持水土的原理主要在于其滞缓地表径流, 促进水分入渗, 抑制土壤蒸发, 减少土壤溅蚀, 防止表土冲刷等。这些作用机制有利于林地的蓄水和减沙, 所以应成为判别枯枝落叶层保持水土作用的主要指标或指标体系。

1.2.1 滞缓地表径流 利用 1 m × 0.3 m × 0.05 m 的流水槽, 槽内放置原状枯枝落叶, 厚度分别为 0, 0.5, 1, 2 和 3 cm, 坡度 25°; 以径流深 1, 2, 3 和 4 mm 测定径流从入槽至出槽的时间(t), 计算径流速度 $\bar{V} = \frac{L}{t}$, 则枯枝落叶层滞缓径流速度值

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

式中, $\bar{V}_0$ 为无枯枝落叶时的径流速度(cm/s); $\bar{V}_1$ 为有枯枝落叶时的径流速度(cm/s)。

上述方法计算的径流速度为相对值, 可用于比较各处理间的差异程度。

1.2.2 抑制土壤蒸发 将装有相同质量的森林土壤和上覆原状枯落物的盆栽筒, 置于塑料棚下。枯枝落叶层厚度分 0, 2 和 5 cm 3 种, 土壤含水量分别为 110, 165, 220 g/kg。从 4~8 月每天下午 7:00 用蒸发台秤称量, 记录蒸发量, 并加入相应的水分。

1.2.3 减少土壤溅蚀 采用 Ellidon^[7]的土壤溅蚀板收集器, 面积 60 cm × 30 cm, 垂直置于枯落物厚度为 0, 0.5, 1, 1.5 和 2 cm 的林地坡面, 溅蚀板两侧收集槽顶部高出地面 1 cm, 分别收集上溅和下溅的泥沙。连续 2 年雨季每次降雨后, 将收集的泥水样在室内烘干称量, 求出溅蚀量。

1.2.4 防止表土冲刷 采用冲刷水槽法^[8]。流水槽规格同上, 取土器长 20 cm, 宽 10 cm, 高 10 cm。器内放置原状土, 上覆枯落物, 冲刷前先浸泡 12 h, 使其达到饱和含水状态, 但水面不得淹没土样顶部, 以免封闭非毛管孔隙内聚积的空气而影响饱和。枯落

* [收稿日期] 2000-10-19

[基金项目] 国家“九五”攻关项目(96-004-05-12)

[作者简介] 吴钦孝(1937-), 男, 江苏吴江人, 研究员, 博士生导师。主要从事黄土高原植被恢复和森林保持水土的作用与机理研究。

物厚度分别为 0, 1, 2, 3 和 4 cm。以该地区常见暴雨雨强(2 mm/m in)在标准小区(20 m × 5 m)内产生的最大流量计算单宽流量作为冲刷流量(4 L/m in),冲刷历时 15 m in。冲刷过程中,每隔 1 m in 取样 1 次,测定泥沙含量。

2 结果与分析

2.1 滞缓径流速度

枯枝落叶层滞缓径流速度的效应详见表 1。由

表 1 可见, 枯枝落叶层滞缓径流速度的效应十分显著, 即使枯落物厚度仅为 0.5 cm, 在该地区常见暴雨雨强 1~ 2 mm/m in 下裸地产生的径流深度为 1 mm 时, 油松和山杨枯枝落叶层内的径流速度分别为 8.2 和 4.6 cm/s, 只相当于同样条件下无枯落物覆盖时径流速度 57.1 cm/s 的 14.4%和 8.1%, 其中, 山杨枯枝落叶层滞缓径流速度值大于油松。

表 1 枯枝落叶层滞缓径流速度效应

Table 1 Retarding effect of litter on runoff speed								cm/s
枯落物层厚度/cm Litter thickness	径流深/mm Runoff depth							
	油松 <i>P. tabulaeformis</i>				山杨 <i>P. Davidiana</i>			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0.0	57.1	82.9	90.3	96.3	57.1	82.9	90.3	96.3
0.5	8.2	12.0	13.6	14.7	4.6	7.2	9.2	10.6
1.0	7.6	10.2	11.6	13.0	3.2	5.4	7.4	9.1
2.0	6.8	8.3	9.7	10.5	2.7	4.6	6.4	7.7
3.0	6.2	7.4	8.6	9.5	2.0	3.0	3.6	4.3

2.2 抑制土壤蒸发

不同枯落物层厚度下的土壤蒸发量见表 2。由表 2 可见, 枯落物抑制土壤蒸发效应随土壤含水量提高及其厚度增加而增强。该地区林内覆盖 5 cm 枯

枝落叶层下土壤表层水分含量为 165 g/kg, 雨后达田间持水量(220 g/kg), 则其抑制蒸发率在 70%左右。其中山杨枯落物的抑制蒸发效果稍优于油松。

表 2 枯落物层抑制土壤蒸发效应

Table 2 Restraining effect of litter on soil evaporation						
土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Field moisture capacity	林分 Forest stand	枯落物厚度/cm Litter depth				
		0	2	5		
		蒸发量/(g · d ⁻¹) Evaporation capacity	蒸发量/(g · d ⁻¹) Evaporation capacity	抑制蒸发率/% Restrained evaporation rate	蒸发量/(g · d ⁻¹) Evaporation capacity	抑制蒸发率/% Restrained evaporation rate
110	油 松 <i>P. tabulaeformis</i>	9.6	8.3	13.5	7.0	20.8
	山杨 <i>P. davidiana</i>	9.6	8.5	11.5	7.2	25.0
165	油 松 <i>P. tabulaeformis</i>	17.9	11.6	35.2	7.9	55.9
	山杨 <i>P. davidiana</i>	17.9	11.1	38.0	7.3	59.2
220	油 松 <i>P. tabulaeformis</i>	38.5	12.8	66.8	8.7	77.4
	山杨 <i>P. davidiana</i>	38.5	12.9	66.5	8.4	78.2

2.3 减少土壤溅蚀

溅蚀量随枯落物厚度的变化见表 3。由表 3 可见, 林下溅蚀量随枯枝落叶层厚度增加而迅速减少, 当油松枯落物厚 1.0 和 1.5 cm 时, 溅蚀量分别减少

79.6%和 94.0%, 在山杨枯落物厚 0.5 和 1.0 cm 时, 溅蚀量分别减少 76.4%和 97.5%。当枯落物厚度为 2 cm 时, 则两林下均无溅蚀发生。

表 3 溅蚀量随枯落物厚度的变化

Table 3 Changes of splash erosion amount with litter thickness

枯落物厚度/cm litter thickness	油松 <i>P. tabulaeformis</i>		山杨 <i>P. davidiana</i>	
	溅蚀量/g Splash erosion amount	相当于无枯落物覆盖的比例 Ratio to non-litter covering	溅蚀量/g Splash erosion amount	相当于无枯落物覆盖的比例 Ratio to non-litter covering
0	36.65	100.0	32.05	100.0
0.5	17.47	47.7	7.55	23.6
1.0	7.47	20.4	0.80	2.5
1.5	2.20	6.0	0.00	0.0
2.0	0.00	0.0	0.00	0.0

2.4 防止表土冲刷

对覆盖不同厚度枯落物的土壤抗冲刷试验结果(表 4)的分析表明, 枯枝落叶层的抗冲效应随其厚度增加而增强, 覆盖有 1 cm 厚油松和山杨枯落物时, 可减少土壤冲刷量 89.8% 和 83.2%, 覆盖 2 cm 时, 即可完全防止冲刷发生。这里同样厚度枯落物的减沙效果油松亦稍好于山杨。

表 4 枯落物层减少表土冲刷效益

Tab 4 Effect of forest litter on reducing scouring amount of surface soil

枯落物厚度/cm Litter thickness	油松 <i>P. tabulaeformis</i>		山杨 <i>P. davidiana</i>	
	土壤冲刷量/g Scouring amount of soil	相当于无枯落物覆盖的比例/% Ratio to non-litter covering	土壤冲刷量/g Scouring amount of soil	相当于无枯落物覆盖的比例/% Ratio to non-litter covering
0	27.5	100.0	37.0	100.0
1	2.8	10.2	6.2	16.8
2	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0

2.5 枯枝落叶层保持水土的有效性分析

综上所述可见, 枯枝落叶层的各水文生态指标均与自身厚度有关, 其共同规律是随着厚度增加, 径流速度降低, 土壤蒸发量、土壤溅蚀量和冲刷量减少, 控制水土流失效应增强。如果将枯枝落叶层的这些效应增强达 70%~80% 确定为有效, 那么枯枝落叶层阻滞径流速度的有效厚度为 0.5 cm, 在这个厚度范围内, 径流速度降低 85% 以上; 枯枝落叶层抑制土壤蒸发的有效厚度为 5 cm, 在这个厚度范围内, 土壤水分 165~220 g/kg 时蒸发量减少约 70%; 枯枝落叶层防止土壤溅蚀的有效厚度为 0.5~1.0 cm, 在这个厚度范围内, 林地土壤溅蚀量减少 75%~80%; 枯枝落叶层减少土壤冲刷的有效厚度为 1 cm, 在这个范围内可比无枯落物覆盖土壤减少冲刷量 80% 以上, 可有效抵御 20 mm/min 暴雨雨强的冲刷。

3 有效厚度的确定

确定上述各指标值以后, 为分析各指标之间的相互作用和相互联系, 指出各项指标在指标体系中的相对地位和相对影响, 本研究采用层次分析法确定各项指标的权重。为此, 根据试验数据, 对指标

滞缓地表径流(B_1)、抑制土壤蒸发(B_2)、减少土壤侵蚀(B_3)、防止表土冲刷(B_4), 关于枯枝落叶层保持水土目标(A)建立起如下判断矩阵A-B

A	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	1	9	3	2
B_2	1/9	1	1/3	1/6
B_3	1/3	3	1	1/2
B_4	1/2	6	2	1

利用 MATLAB 软件计算了 A-B 判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=4.0104$, 其对应的特征向量

$$W = \begin{bmatrix} 0.8335 \\ 0.0859 \\ 0.2578 \\ 0.4810 \end{bmatrix}$$

对判断矩阵进行一致性检验表明, 度量判断矩阵的偏离一致性指标 $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4.0104-4)/3=0.0035$, 随机一致性指标 $RI=0.89$, 随机一致性比率 $CI/RI=0.0039<0.1$, 故 A-B 判断矩阵的一致性良好。

据此得 4 个指标滞缓地表径流(B_1)、抑制土壤蒸发(B_2)、减少土壤溅蚀(B_3)、防止表土冲刷(B_4)

关于枯枝落叶层保持水土目标(A)的权重向量

$$W = \begin{bmatrix} 0.5027 \\ 0.0518 \\ 0.1555 \\ 0.2901 \end{bmatrix}$$

根据上述试验结果,山杨林枯枝落叶层对每个单指标的有效厚度(X_i , i 为 1, 2, 3, 4)为 0.5, 5.0, 0.5 和 1.0 cm, 油松林枯枝落叶层对每个单指标的有效厚度(X_i , i 为 1, 2, 3, 4)为 0.5, 5.0, 1.0 和 1.0 cm。从而得到枯枝落叶层保持水土的有效厚度

$$T = \sum V_i X_i \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

山杨: $T = 0.5 \text{ cm} \times 0.5027 + 5.0 \text{ cm} \times 0.0518 + 0.5 \text{ cm} \times 0.1555 + 1.0 \text{ cm} \times 0.2901 = 0.9 \text{ cm}$

油松: $T = 0.5 \text{ cm} \times 0.5027 + 5.0 \text{ cm} \times 0.0518 + 1.0 \text{ cm} \times 0.1555 + 1.0 \text{ cm} \times 0.2901 = 1.0 \text{ cm}$

4 结论和建议

1) 黄土高原山杨、油松林枯枝落叶层保持水土的有效厚度为 0.9~1.0 cm, 低于这个厚度, 其蓄水减沙的效果将有明显的降低。其中山杨林枯落物的效果在总体上稍优于油松, 表明了这两种枯落物在结构上的某种差异。

2) 该地区的天然林内一般有 1~3 cm 的枯枝落叶层, 保护好这一作用层, 是山区营林工作的重要任务。但多数人工林, 由于人为扫除、牲畜采食等多种原因, 失去枯枝落叶层的保护, 致使水土保持效益普遍低下。为了充分发挥森林保持水土、涵养水源的作用, 积累、形成和保护这一死地被层, 具有不可忽视的重要意义。

3) 由于不同地区的气候、土壤、地貌、地形等条件不同, 应根据环境特点、具体目标, 选择适宜指标, 确定不同林分枯枝落叶层的有效厚度。

[参考文献]

- [1] Harcharik D A. 恢复利用流失土地的人工造林[J]. 霍应强译. 广东林业科技通讯, 1979, (4): 17- 21.
- [2] 井上宏. 森林状态与地表侵蚀(地被物的效果)[J]. 水土保持译丛, 1978, (1): 63- 70.
- [3] 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, 1983, 8(2): 147- 153.
- [4] 汪有科, 吴钦孝, 赵鸿雁, 等. 林地枯落物抗冲机理研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 75- 80.
- [5] 孙立达, 朱金兆. 水土保持林体系综合效益研究与评价[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 276- 284.
- [6] 吴钦孝. 黄土高原植被保持水土功能和机理研究及趋势[A]. 中国科学院水利部水土保持研究所、黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点试验室主编. 土壤侵蚀环境调控制与农业持续发展[C]. 西安: 陕西人民出版社, 1995: 63- 68.
- [7] 江忠善, 刘 志. 降雨因素和坡度对溅蚀影响的研究[J]. 水土保持学报, 1989, 3(2): 29- 35.
- [8] 李 勇, 吴钦孝, 朱显谟, 等. 黄土高原根系提高土壤抗冲性能的研究[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 1- 5.

Effectiveness of forest litter to soil and water conservation

WU Qin-xiao, ZHAO Hong-yan, HAN Bing

(Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract Using the method of artificial simulation combined with natural rainfall, the effectiveness of forest litter to soil and water conservation has been discussed quantitatively in the paper. The results of the study showed that the effective thickness of the litter of *P. tabulaeformis* and *P. davidiana* standing for soil and water conservation in the Loess Plateau is 0.9- 1.0 cm. The benefits to water storage and sediment reduction will be decreased obviously when litter amount is lower than that thickness. So the protection of litter layer in stand is an important task for forest management in mountain regions.

Key words: forest litter; soil and water conservation; Loess Plateau