

# 森林植被垂直截留作用与水土保持

刘向东 吴钦孝 赵鸿雁

(中国科学院  
水利部 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

**摘 要** 本文分析了林冠层、灌木草本层、枯枝落叶层的截留量及其削减的降雨能量,并以六盘山林区各森林流域为例,评论了垂直截留作用对林地土壤和森林流域水量收入的影响,阐明了森林植被垂直结构中各层次在保持水土中的地位。

**关键词** 森林植被 垂直截留作用 水土保持

## The Vertical Interception Function of Forest Vegetation and Soil and Water Conservation

*Liu Xiangdong Wu Qin Xiao Zhao Hongyan*

*(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation; Academia Sinica  
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)*

**Abstract** The interception amount and rainfall energy reduced by the layers of canopy, shrub—grass and litter are analysed and their effects on water balance in woodland soil and forest watershed are evaluated in the paper. The place of each layer in forest vertical structure in conserving soil and water is clarified taking an example of forestry watershed in Liupan mountain region.

**Key words** forest vegetation vertical interception function soil and water conservation

森林植被的垂直截留作用分为林冠层截留、灌木草本层截留、枯枝落叶层截留。截留作用是植被的重要功能,在森林治水保土中至少有两种作用,一是减少林地土壤或森林流域的水分收入量,二是消减或削弱降雨动能。本文就这两个问题进行分析,以评价森林植被垂直结构中各层的水土保持能力,为合理经营和管理水土保持林提供科学依据。

### 1 减少林地土壤和流域的水分收入量

落到森林植被以后的降雨,有相当部分未到达林地土壤,而是暂时保留在林冠层、灌木草本

层、枯枝落叶层、通过蒸发作用,返回大气中。这部分水量称为截留量,其数量大小,取决于森林植被垂直结构状况。

1.1 林冠截留量

林冠截留量的大小取决于森林植被的类型,组成、结构、林龄、郁闭度等。中野秀章认为<sup>[1]</sup>,截留功能强的林种,一般应当是蓄积量大的郁闭壮龄林,组成树种的叶细密,小枝呈锐角着生,单位面积叶量大,小枝聚集成稠密的树冠。黄土高原的主要森林类型,一般都具有上述特性。这些森林类型有云杉林、落叶松林、油松林、辽东栎林、山杨林、白桦林以及刺槐人工林、杨树人工林等。综合研究资料表明,林冠截留率占大气降水量的 15%—35%,其中针叶林的截留率 15.6%—38.6%,阔叶林占 15.0%—30.0%(表 1)。笔者在黄龙山测得中龄油松人工林林冠年截留量为 119.6mm,占年降水量的 19.8%,若扣除树干径流量 2.44%,则年截留量为 17.36%;近熟山杨林年截留量为 92.5mm,占年降水量的 15.6%<sup>[2]</sup>。林冠截留量随林冠郁闭度而增大,郁闭度为 0.50 的油松林,林冠截留率占大气降水量的 20.4%,郁闭度为 0.75 的油松林占 21.7%,郁闭度为 0.85 的林分占 29.5%<sup>[2]</sup>。

表 1 不同森林类型的林冠截留率

森林类型	截留率(%)	森林类型	截留率(%)
云杉林	15.6—38.6	白桦林	23.1
油松林	19.4—26.7	辽东栎林	22.5
落叶松林	29.4	红桦林	25.0
山杨林	15.0—18.0	刺槐林	20.0—30.0

1.2 灌木草本层截留量

灌木草本层截留量的大小取决于自身的发育状况,即枝叶量的数量大小。灌木层的生长发育受上层林冠的影响,变化幅度很大。在郁闭度高的林内,灌木草本层稀少,覆盖度低;在郁闭度低的林内,灌木草本层发育较好,覆盖度高。笔者在六盘山区用吸水法<sup>[3]</sup>测定灌木草本层的截留量占大气降水量的 1.8%—16.0%(表 2)。林冠郁闭度高的类型,灌木草本层的截留量小,如华北落叶松、油松、华山松等;林冠郁闭度低的类型,灌木草本层的截留量大,如山杨林、白桦林、辽东栎林等。

表 2 林下灌木草本层截留率

森林类型	截留率(%)	森林类型	截留率(%)
华山松林	2.4	辽东栎林	4.5—16.0
山杨林	2.3—12.6	青杨林	1.7
白桦林	1.8—12.6	山柳林	12.6
红桦林	2.9	灌木林	10.7—17.2

1.3 枯枝落叶层截留量

枯枝落叶层的截留量与自身的蓄积量、分解程度、持水能力有关,也与自身的湿润周期和蒸发速度有关。黄土高原的森林,除少数人工林外,一般都有 1—3cm 厚的枯枝落叶层,蓄积量 10—30t/hm<sup>2</sup>,最大持水量为自身重量的 1.7—3.5 倍,相当于 1.0—6.0mm 当量水深。据测定,六盘山主要森林类型枯枝落叶层的截留量占大气降水量的 5.6%—13.0%,占林内降水量的 7.5%—20.9%<sup>[4]</sup>;作者在陕北黄土丘陵区测得中龄油松林枯枝落叶层的截留量分别占林内降水量的 10.0%和 11.8%(表 3)。

表 3 不同森林类型的枯枝落叶层截留率

森林类型	截 留 率 (%)	
	对大气降水	对林内降水
山杨林	5.64	7.45
白桦林	9.55	13.00
辽东栎林	7.18	8.89
油松林	10.20	11.80
落叶松林	13.00	20.86

2 削弱雨滴动能,防止土壤溅蚀

降雨动能是坡面产生土壤侵蚀的原动能,减弱或消除降雨能量是防止土壤侵蚀的重要措施。森林植被通过林冠层、灌木草本层、枯枝落叶层等的层层截留,大大消减了降雨动能,并将降雨动能转变为渗透势能,从而避免了土壤溅蚀。

2.1 林冠层削减的降雨动能

通常认为林冠层的截留作用削弱了降雨动能。确切地说,林冠层削减的降雨动能是林冠截留和沿树干流入林地的那部分降雨量的能量。余新晓在研究森林植被削减降雨侵蚀能量时提出了计算林冠减弱降雨势能的公式: $E_{\mu}=\rho agH_{\mu}P^b$ ,式中  $ap^b$  为林冠截留量  $I$ 。因此,只要测出林内外降雨量和降雨动能,即可推算出截留作用所削减的降雨能量。黄土高原森林植被的林冠截留量占大气降雨量的 15%—35%,树干径流量占 2%—5%,因此,林冠截留作用消减的降雨动能约占降雨总动能的 17%—40%。

由于林冠枝叶具有聚集雨滴的作用,使透过林冠层的降雨形成新的雨滴谱,雨滴的径级增加,除有较多的小雨滴外,还有一定数量大气降雨不具有的大雨滴,且反复溅击林地某一定位点。赵鸿雁等在黄龙山林区中龄油松林和近熟山杨林林内测到最大雨滴直径分别为 3.5mm 和 5.0mm,使得这两个林分单位面积的降雨动能分别较林外增加 3.8 倍和 3.7 倍<sup>[5]</sup>,即使扣除林冠截留和树干径流那两部分降雨能量,其总动能仍较大气降雨大。因此,透过林冠层的降雨有较大的侵蚀力,若林地无地被物阻挡,将引起更大的土壤侵蚀,这就是林地无地被物覆盖或地被物稀少造成土壤侵蚀量增大的原因。

2.2 灌木草本层消减的降雨动能

灌木草本削减的降雨动能可分为两部分,一为截留降雨所减少的降雨动能,其数量可以按该层截留率计算,约为大气降雨总动能的 2.0%—15.0%,平均 5.6%。二为透过灌木草本层滴入林地的部分,由于降落高度大大降低,动能被削弱。这部分可按该层在林地的覆盖率计算。黄土高原森林植被灌木草本层的覆盖率为 20%—80%,以平均为 50%计,除去前者外,有 44.4%的降雨动能被削弱。

2.3 枯枝落叶层削弱的降雨动能

枯枝落叶层削弱的降雨动能也可分为截留作用减弱的降雨动能和透过枯枝落叶层所削弱的降雨动能。前者为大气降雨总动能的 5.6%—13.0%,平均 9.1%,后者可将透过林冠层、灌木草本层的降雨动能全部削弱,并可变为透势能。

3 森林植被垂直截留作用的评价

3.1 减少了输入林地土壤的降水量

森林植被垂直结构各组成部分截留面作用的大小依次为林冠层—枯枝落叶层—灌木草本

层。本文 1.2 节中提到,灌木草本层的截留量受上层林冠郁闭度的影响,即是林冠截留量高,灌木草本层截留量低。如果林冠层和枯枝落叶层都保持在最佳截留面状态,则灌木草本层的截留量取其最小值,综合表 1、2、3,可得到森林植被垂直截留总量为 26%—44%,平均为 35%(表 4),输入林地的降雨仅占 56%—74%,平均为 65%。黄土高原一般年降水量 400—600mm,按森林植被垂直截留的平均值计算,输入林地土壤的降水量仅 260mm—390mm。

表 4 黄土高原主要森林类型垂直截留作用损失的雨量(%)

森林类型	垂 直 截 留 量			
	合 计	林冠层	灌木草本层	枯枝落叶层
华北落叶松	43.40	29.40	1.00	13.00
油 松	38.30	26.70	1.40	10.20
山 杨	25.94	18.00	2.30	5.64
辽 东 栎	34.18	22.50	4.50	7.18
白 桦	34.45	23.10	1.80	9.55

3.2 减少了输入流域的降雨量

森林植被垂直截留作用也使输入流域的降雨总量减少。表 5 为六盘山林区森林植被垂直截留作用对流域总降雨量的影响,由表可以看出,全林区输入的降雨量平均减沙 80.9mm,占总降雨的 12.4%。其中森林覆盖率高的流域,如暖水河,水洛河,泾河干流等,分别减少 106.3mm, 113.2mm,108.7mm,占该流域降雨量的 16.8%,16.6%,15.8%。森林覆盖率低的流域,如庄浪河,减少 3.3mm,占总雨量的 0.5%。

表 5 六盘山森林植被垂直截留对流域雨量的影响

流域名称	流域面积 (km <sup>2</sup> )	森林植被盖度		流域平均降 水量(mm)	森林植被截 留率(%)	截留量 (mm)	输入流域的降水量	
		面积(hm <sup>2</sup> )	(%)				(mm)	占总降雨的(%)
渭河水系	197.0	5674.4	28.8	627.0	35.0	63.2	563.8	89.9
渝 河	110.6	3155.4	28.5	607.0	35.0	60.5	546.5	90.0
甘渭河	24.1	415.4	17.2	615.0	35.0	37.0	578.0	94.0
庄浪河	18.4	28.0	1.5	637.0	35.0	3.3	633.7	99.5
水洛河	43.9	2075.6	47.3	684.0	35.0	113.2	570.8	83.4
泾流水系	1070.3	37286.0	36.6	661.0	35.0	84.7	576.3	87.2
泾河干流	455.0	20456.3	45.0	690.0	35.0	108.7	581.3	84.2
暖水河	172.0	8240.1	47.9	634.0	35.0	106.3	527.7	83.2
颍 河	286.0	6907.0	24.2	629.0	35.0	53.3	575.7	91.5
策底河	107.0	1682.6	15.7	678.0	35.0	37.3	640.7	94.5
合 计	1267.3	42960.4	35.3	655.0	35.0	80.9	574.1	87.6

注:1. 森林流域植被截留量(mm)= $\frac{\text{流域的森林面积} \times \text{流域平均降雨量} \times \text{植被截留率}}{\text{流域总面积}}$   
=流域平均降雨量×森林覆盖率×植被截留率

2. 流域基本情况,见参考文献[4]

森林植被垂直截留作用损失的降雨量是森林生态系统水量平衡中重要的支出项,对林分或森林流域的水分收入来说法,力求减少此项,对森林保持水土来说,力求加大此项。

3.3 次降雨对林地和森林流域降雨输入的影响

上述截留损失量是一时段或一年所观测资料统计得到的数据。它是由若干次降雨组成,每次降雨并不都是侵蚀性降雨,也并非都能产生洪水,特别是小强度降雨可能被植被截留,对林地的水土流失影响较小或没有影响。因此,进一步分析次降雨的截留作用,特别是侵蚀性降雨的截留作用,对评价森林保持水土,调节洪峰流量的能力更具有实践意义。观测结果表明,在雨季如有

10mm 的降雨过程中龄油松林和近熟山杨林林地坡面使可产生径流,以此为标准,油松林的林冠一次截留量平均每次为 2.8—4.0mm,截留率 8.8%—18.8%,平均 12.7%(表 6)。全年平均 46 次,占总降雨次数 32.6%,枯枝落叶层一次截留量为 1.4—2.8mm,截留率 4.0%—17.4%,平均 7.4%,平均 18 次,占降雨次数的 48.6%(表 7)。山杨林林冠一次截留量 1.8—5.7mm,截留率 12.0%—14.8%,平均 12.4%,降雨 18 次,占同期总降雨次数的 26.5%(表 6)。可见,森林植被一次性垂直截留量比较小,次数也不多。据观测,林冠一次性最大截留量 4—5mm,灌木草本层 0.8—1.0mm,枯枝落叶层 2—3mm。如各层都保持最佳截留状态,则森林植被一次性最大垂直截留量 7—9mm,约占降雨量的 12%—20%。实现这一截留量对林地土壤水分输入的损失较大,每公顷达 70—90t,如林地不能抑制土壤蒸发和增强雨水下渗,将加深土壤的干燥化。

表 6 不同降雨量级的林冠截留量

降雨量级(mm)	森林类型	观测次数	占总降水次数的比例(%)	截留量(mm)	截留率(%)
10.0—20.0	油松林	22	15.6	2.8	18.8
20.1—30.0		14	9.9	2.9	11.5
30.1—40.0		5	3.5	3.2	9.6
40.1—50.0		5	3.5	4.0	8.8
10.1—15.0		6	8.8	1.8	14.7
15.0—20.0	山杨林 (有叶期)	3	4.4	2.5	14.9
20.1—25.0		2	2.9	3.0	13.2
25.1—30.0		4	5.9	3.0	10.8
30.1—40.0		1	1.5	4.0	12.8
40.1—50.0		2	2.9	5.7	12.0

注:资料来源见参考文献[2]

表 7 在林冠下油松枯枝落叶层对不同降雨量级的截留量

降雨量级(mm)	观测次数	占总降水次数的比例(%)	截留量(mm)	截留量(%)
10.1—20.0	7	18.9	2.1	17.4
20.1—30.0	2	5.4	2.4	10.0
30.1—40.0	3	8.1	1.4	4.0
40.1—50.0	5	13.5	2.8	6.7
50.1—60.0	2	5.4	2.4	4.7

实现森林植被一次性最大垂直截留量,对森林流域的雨量输入也相应减少,以最大截留量 8.0mm 计,表 5 中的渭河水系各河流,分别减少 25.2 万 t、3.3 万 t、0.2 万 t、16.6 万 t,若都能转变为地表径流,分别为 2.3mm、1.4mm、0.1mm、4.1mm 水深,占全年地表径流量的 1.6%、0.9%、0.1%、1.8%;渭河水系各河流分别减少 163.7 万 t、65.9 万 t、55.3 万 t、13.5 万 t,分别为 3.6mm、3.8mm、1.9mm、1.3mm 水深,占年地表径流量的 2.5%、3.6%、2.1%、0.9%。可见,森林植被垂直截留作用所减少的雨量对河流洪水的调节能力较小。

3.4 削减降雨动能分析

森林植被垂直结构各组成层次削减降雨动能的能力依次是枯枝落叶层—灌木草本层—乔木层。枯枝落叶层,即 A 层,一般均分布于林地土壤表面,上层为未分解的落叶和枯枝,具有粗大孔隙或缝隙,结构松软,渗透能力极强;能承受雨滴打击;下层为半分解状态的落叶枯枝,持水能力强,能阻缓雨水流动,并使其缓慢渗入土层,从而大大削弱降雨动能,减少了土壤溅蚀量。据韩冰对中龄油松林和近熟山杨林测定的溅蚀结果表明,林地土壤溅蚀量随枯枝落叶层的厚度增加而减少(表 8),当有 0.5—1.0cm 厚的枯枝落叶层时,土壤溅蚀量减少 80%以上。其次是灌木草本

层,可削减降雨动能的 20%—80%。林冠层减弱的降雨动能很少,且透过冠层后的降雨,在树冠距地面超过 8m 时,反而将加大降雨侵蚀力。

表 8 林地枯落物对溅蚀的防护作用

油松林	厚度(cm)	0	1	2	3
	溅蚀量(g/m)	99.22	20.78	6.65	4.20
	占%	100.00	20.90	6.70	4.20
山杨林	厚度(cm)	0	0.5	1	2
	溅蚀量(g/m)	116.60	19.01	11.69	0.53
	占%	100.00	16.70	10.00	0.50

## 4 结 语

森林植被垂直各层减少输入林地或森林流域降雨量的大小依次为林冠层—枯枝落叶层—灌木草本层,而削弱降雨动能的大小依次为枯枝落叶层—灌木草本层—林冠层。其中枯枝落叶层在森林植被总截留作用中占主导地位,由于它的存在,不仅能直接截留降雨,减少输入林地的雨量,更重要的是它能削弱降雨动能,并将动能转变为渗透势能,减少了水土流失。因此从保持水土的要求出发,应改变那种将林地枯枝落叶扫除或在林内放牧,让牲畜任意采食落叶枯枝的做法,切实保护好枯枝落叶层。

## 参考文献

- 1 中野秀章著,李云森译.森林水文学.中国林业出版社,1983 年
- 2 刘向东等.黄土丘陵区油松人工林和山杨林林冠对降水的再分配及其对土壤水分的影响.中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊,第 14 集,1991 年
- 3 刘向东等.对六盘山森林截留降水作用的研究.林业科技通讯,1982 年第 3 期
- 4 刘向东等.水源林效益.六盘山自然保护区科学考察,宁夏出版社,1989 年
- 5 赵鸿雁等.油松人工林和天然山杨林林内降雨动能的研究.中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊,第 14 集,1991 年

(上接第 7 页)

## 参考文献

- 1 中国科学院黄土高原综合考察队.黄土高原地区农林牧业综合发展与合理布局.科学出版社,1991 年,258
- 2 中国科学院、宁夏回族自治区固原县综合考察队.宁夏固原县综合农业区划与应用.宁夏人民出版社,1988 年,246
- 3 刘昌明,吴凯.黄河中游黄土高原森林减沙效应研究的梗概,中国科学院地理研究所,1982 年,6—11
- 4 侯喜禄,曹清玉等.陕北黄土区不同森林类型水土保持效益的研究.西北林学院学报,1994,9(2):20—24
- 5 汪有科,吴钦孝等.林地枯落物抗冲机理研究.水土保持学报,1993,7(1):75—80
- 6 D. A. Harcharik 等,霍应强译.恢复利用流失土地的人工造林.广东林业科技,1979, No.4, 17—21
- 7 Bond J. J. and Wills W. O. Soil water evaporation, surface residue rate and placement effect. Soil Sci Soc Amer Proc 1969, 33, 445—448