

# 森林植被水土保持功能评价

汪有科 吴钦孝 韩冰 焦菊英

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

**摘要** 文章评价了乔层、灌层、草层、枯落物层、根层及盖度对水土保持的影响,认为矮草层和死被层是决定水土保持效益的关键。盖度的有效性与高度关系紧密,草层和死被层仍最为有效。黄土高原人工林水土保持效益不好,其主要原因是没有完好的草层和死被层。如果林分具有良好的结构,黄土高原建造植被的减沙潜势为30%以上。

**关键词** 森林植被 枯落物 盖度 水土保持

## Appraising the Function of Forest Vegetation on Soil and Water Conservation

Wang Youke Wu Qinxiao Han Bing Jiao Juying

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

**Abstract** This paper appraised the effect of arbor, arbuscle, herb, root, litter and cover degree on soil and water conservation. We think that herb and litter is crucial importance, the relation between the effect and height of the cover is a negative correlation. the function of litter and herb is the best on soil and water conservation. At present, the function of planted forest is very poor because there is not good herb and litter. If planted forest With high quality on the loess plateau, it will reduce sand over 30% of the total silt discharge.

**Key words** forest vegetation litter degree of coverage water and soil conservation

## 1 引言

森林,特别是天然林具有水土保持功能,这是大家公认的事实。但并不是有了林就会有很强的水土保持效益。森林在一定范围发挥有效的水土保持功能是因为它具有一定的系统结构和覆盖面(或称覆被率)。不能简单地将一片林或一些树木的效益与森林的效益等同看待,必须看林分是否具有保持水土的结构,其有效范围则决定于结构良好的林分覆被率。本文将着重从林分的质

量因子方面加以评析。

## 2 冠 层

森林冠层往往是复层结构,常有乔木层、灌木层和草层,以往研究较多的是冠层截留作用。冠层截留量因冠层结构不同而有异,不同树草种其截留量不同。黄土高原一般表现为乔木层>草灌木层。乔木层一次最大截留达3—4mm,灌木+草层一次最大截留量达1—2mm(刘向东等,1994)。我们近年测定结果表明乔木冠层年截留量占大气降水量的15%—35%,其中针叶林的截留量占15.6%—38.6%,阔叶林占15%—30%。灌木草本层占1.8%—16%,也有研究认为灌木层截留达14.8%—25.4%(陈永宗等,1988)。其实冠层截留量在水文方面具有一定意义,影响水量平衡,但对保持土壤意义不大。一方面冠层截留绝对值不大,截留能力极有限。虽然相对值较高,但其中非侵蚀性降雨占的比重较大,随着雨量的增加,降雨历时的延长,这种作用就越小。黄土高原的水力侵蚀主要发生在暴雨过程中,在这种情况下冠层起的作用极小,如有前期降雨则更显得微不足道。另一方面,林冠枝叶具有聚集雨滴的作用,使透过冠层的降雨形成新的雨滴谱,雨滴径级增大,单个雨滴对土壤的破坏作用反而比高空直接落向地面的单个小雨滴强。据测定油松林和山杨林林内的最大雨滴直径分别为3.5mm和5.0mm,使得该林内单位面积的降雨动能分别增加3.8和3.7倍(赵鸿雁等,1991年),即使扣除林冠层截留和树干径流(占大气降雨量的15%—19%),其总动能仍大于大气降雨。冠层与雨滴能量公式为 $E=mgh$ ( $E$ 为势能, $m$ 为雨滴质量, $g$ 为重力加速度, $h$ 为枝下高)。因此,从防止雨滴溅蚀的角度来看,人工植被的结构应实行乔、灌、草多层结合的立体结构。覆被层距地面的高度越小则溅蚀越轻。保护乔木纯林下层的草被和枯落物十分重要。事实上仅有乔木层而无林下枯落物和良好草被时,林地的土壤侵蚀反而会增中(黄秉维,1991;保定地区水土保持试验站,1990)。所以我们认为冠层,特别是乔木冠层发挥水土保持作用不是它的截留,而是它能提供丰富的枯落物。

## 3 枯落物层

枯落物层在森林土壤生态系统中对水源涵养、养分供应、促进生物活动、能量转化、物质循环、水量平衡和保持土壤等方面具有重要作用。但对枯落物层保持水土的作用很少有人专门研究和报道,我们通过多年的研究认为枯落物层是水土保持林中最重要层次。林下有完好的枯落物层,就没有土壤侵蚀。

### 3.1 枯落物层的截留作用

枯枝落叶的截留能力与其类型、厚度、湿润状况、降雨特性等有关。黄土高原天然次生林一般具有1—3cm厚的枯落物层,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。据测定,六盘山主要森林类型枯落物层的截留量2—3mm。

枯落物本身的吸水量对一次暴雨来说是微不足道的,即对减少地表径流、削减洪峰的作用是很微弱的,尤其是在有前期降雨条件下,它对调节径流的作用可以忽略。枯落物层截留作用小于冠层,但枯落物不会产生增加降雨侵蚀力的作用,对水土保持只起正效应,而林冠往往具有负效应。

### 3.2 削减能量

森林枯落物层是森林土壤独立的发生层次。如果按势能公式: $E=mgh$ ,因 $h$ 为零,所以通过枯落物层的雨滴势能为零。动能也最大程度地被削减,使雨滴侵蚀力消失。据我们测定在林地具

有1cm枯落层时,土壤溅蚀便不发生。当林地坡面时,虽然会形成坡面径流,但枯落物层具有很强的减速作用。从表1可看出,当径流深为1mm,坡度由5°增加至30°时,无枯落坡面径流速度由33.2cm/s增至59.6cm/s,增加26.4cm/s;而有0.5cm枯落物层的坡面虽然坡度同样增加,但油松地流速仅增加2.9cm/s;山杨地增加1.6cm/s。无枯落物的坡面径流速度是有0.5cm枯落物层的6.8倍到13.5倍。根据动能公式  $E=1/2mv^2$ ,那么在  $m$  保持不变时,就意味着无枯落物坡面径流冲刷动能是有枯落物层坡面的82—272倍以上。

表1 两种枯落物层的径流速度

坡度	枯落物厚 cm	油 松 林		山 杨 林	
		流速 cm/s	无枯落物/有枯落物	流速 cm/s	无枯落物/有枯落物
5°	0	33.2		33.2	
5°	0.5	4.9	6.8	3.3	10.1
10°	0	47.4		47.4	
10°	0.5	5.4	8.8	3.6	13.2
15°	0	52.5		52.5	
15°	0.5	6.6	8.0	3.9	13.5
20°	0	55.9		55.9	
20°	0.5	7.5	7.5	4.3	13.0
25°	0	57.1		57.1	
25°	0.5	8.2	7.0	4.6	12.4
30°	0	59.6		59.6	
30°	0.5	9.0	6.6	4.7	12.7

### 3.3 增加土壤入渗

坡面径流是由于降雨不能被土壤全部入渗而引起,增加土壤入渗可减少坡面径流。林地往往较裸地入渗速度大,这与林地枯落物的作用有关。枯落物是土壤有机养分的主要来源,具有改良土壤,增加土壤团粒结构,促进入渗之功效。裸露的土壤,在遭受雨的打击下,常被打得散碎,被分散的土粒,随着下渗水而把表土下面的孔隙堵塞,减弱土壤的入渗能力。保定地区水土保持试验站(1990)观测无枯落物纯刺槐、油松林地和纯侧柏林地径流,发现较裸地增加8%、94%和41%。我们在陕西宜川测定林地枯落物后,其稳渗率降低,仅为原林分的69.2%。刘元宝等(1990)作地面覆盖对径流的影响测试时发现,仅覆盖麦草(100kg/亩)结果径流减少75.65%,其中截留占少部分,并随降雨历时的延长其比重越小,增加入渗减少径流是主要原因。上述事实直观地说明林地枯落物确实具有促进入渗的功能。这方面的专门研究有待加强。

### 3.4 增强土壤抗蚀能力

通常用土壤的分散率作为抗蚀的指标。土壤的分散率主要与土壤的物理化学特性有关,特别是与土壤结构胶结物质的数量和质量有密切联系。土壤中有机和无机胶体含量愈高,土壤水稳性团聚体含量愈高,土壤分散率就愈低。森林枯落物恰好具有以上改良土壤结构的功效。田积莹等(1964)早在60年代就在子午岭作了不同植被条件下的土壤抗蚀性,证明有机质越高,分散率则越小,其中灌木地最小,草地及林地层居中,农地最大。土壤的表层和下层相比,表层小于下层。当然也有人发现,当有机质含量很高时(>13%),有机质含量反而与水稳性团聚体之间呈负相关(陆兆熊,1979),但这与目前黄土高原提高土壤有机质含量,增强土壤抗蚀性并不矛盾,因为黄土高原土壤有机质极低,林地约3%,大面积土地不足1%。

### 3.5 提高土壤抗冲性

关于枯落物抗冲性,汪有科等(1991)作了专门研究,得出枯落物自身抗冲能力与其增强土壤

的抗冲效应一致,测试的几种枯落物抗冲能力为油松>山杨>沙棘>刺槐。当林地具有 1cm 的枯落物层时,可抗御 2.2—3.6mm/min 的雨强,黄土高原常见暴雨冲不走这个厚度的枯落物,除非降雨形成较大的股流。上述四种林地如有 1cm 枯落物层,可减少土壤冲失量 47.1%—90.0%,其中油松、山杨枯落物层居高,分别为 90%和 83%。可见枯落物层是水土保持林的重要组成部分。目前黄土高原水土保持林减沙效益不高,其主要原因我们认为是无完好的枯落物层。

### 3.6 抑制土壤蒸发

以裸土为基准,枯落物层抑制土壤蒸发的效应在同一土壤含水量水平时,随覆盖厚度的增加而增大,当土壤水分增加时,抑制效应更大。土壤含水量为 1/2 田间持水量,油松枯落物层由 0cm 增至 2cm 时,每增加 1cm,抑制率增加 6.7%;厚度从 2cm 增加至 5cm 时,每增加 1cm,抑制率增加 4.6%。当土壤含水量为 3/4 田间持水量,枯落物层厚度从 0cm 增加到 2cm 时,每增加 1cm,前者抑制率增大 23.3%,后者增大 33.3%,抑制率增大显著;厚度从 2cm 增加到 5cm,每增加 1cm,前者抑制率增大 8.9%,后者增大 3.6%。可见,枯落物层抑制土壤蒸发的效果随厚度的增加而增强,特别是在 2cm 以内效果更明显。

## 4 根 层

植被根系具有改善土壤结构和固持土壤的功能,早就被人们肯定。但对根系的数量及特性与土壤保持的定量关系以前研究甚少。近年来北京林业大学和中国科学院、水利部西北水土保持研究所分别对植物根系的抗剪强度和根系抗冲效应进行了研究,使根系固土和机得到了更进一步的揭示。

### 4.1 根系抗剪性

孙立达等(1987)研究认为,沙打旺、紫花苜蓿和小叶锦鸡儿在其根系分布范围内对土壤抗剪强度都具有明显的增强作用,这种增强作用随深度的增加而减弱。三种植物中,无论从对土壤抗剪强度的增加值还是斜坡稳定性的提高作用以及这两种作用的影响深度,都是紫花苜蓿最大,小叶锦鸡儿次之,沙打旺最小。

虎榛子群丛对土壤具有较强的固持作用,这种固持作用——对土壤抗剪强度的增强值与虎榛子群丛上部生物量具有紧密的幂函数关系。因此,可以通过虎榛子群丛地上部分生物量来估算对地下 20、40、60、80、100cm 5 个层面土壤抗剪强度的增强值。

刺槐和油松单根对土壤固持力与根的直径呈幂函数关系。二者的固持力均随林龄的增大而迅速增大,随土层深度的增加固持力减小。同一深度和林龄,刺槐林的固持力远高于油松林。

### 4.2 根系的抗冲效应

根系提高土壤抗冲性的作用十分显著,它与 $\leq 1\text{mm}$ 的须根密度关系极为密切,须根密度决定增强土壤抗冲性能效应的大小。

中龄油松人工林提高土壤抗冲性能的最低有效根密度为 26—39 个/100cm<sup>2</sup>,有效深度 70cm;8—12 龄沙棘林根系固土的有效密度较中龄油松林大,在坡度 $\leq 20^\circ$ 和 $> 20^\circ$ 时,分别为 60 个/100cm<sup>2</sup>和 118 个/100cm<sup>2</sup>以上,沙棘林在坡度为 15°、20°和 30°时,有效深度分别为 40cm、30cm 和 20cm。

草本植物根系对降低土壤冲刷量起决定作用,它能使表层土壤的抗冲力提高 17—33 倍。草本植物根系减少土壤冲量与增加土壤抗冲力效应的关系,和它与土壤抗冲性强化值的关系一致。

## 5 盖度与侵蚀

乔、灌、草生物措施对减少侵蚀量的作用十分明显。很多情况下,人们用植被的覆盖度来反映水土保持林的质量。侯喜录(1991)观测结果表明,覆盖度较好的柠条成林地和刺槐成林地,10年观测平均减沙效益达99%,刺槐幼林地6年平均减沙77%,同时据1989年观测资料分析,年侵蚀模数与林地植被盖度呈负相关(图1)。当林地总覆盖度大于60%后,可减少侵蚀量90%以上,且效果稳定。人工草地的减沙效益也与林地有相同的趋势,但减沙效果不如林地显著。

曾伯庆等研究人工草地盖度与产流产沙影响,也认为植物的盖度临界值在60%,即当植被度在60%以下时,作用时大时小,效果不稳定。澳大利亚科学工作者(Lang 和 Contin,1980)在地面为6.8°的草地小区上试验结果表明:地面覆盖度70%是防止水土流失的临界值。

植被盖度较其它特征值(如高度、密度、产量等)更能反映植被的有效性,但应注意地被物的覆盖高度所起的作用,同样的盖度,覆盖层距地面距离越小,其效益越强,所以地面的死被物和矮草覆盖效益最佳。目前的研究往往只反映不同植物种类的盖度,而不反映那一高度的盖度、因此出现同一盖度条件下的水土保持效益多样性问题。如前所述,没有死被物和草被的林地,特别是乔木林,冠层郁闭度虽大,水土流失并不会减小,其至还会增大;反之,死被物和草被覆盖良好的林地,即使林冠郁闭度较小,仍有很好的水土保持效益。因此盖度与侵蚀的研究,必须考虑其高度,下层植被盖度及枯落物状况等因素,这些因素的不同,所得盖度有效性便有很大差异、应用也必然较差。

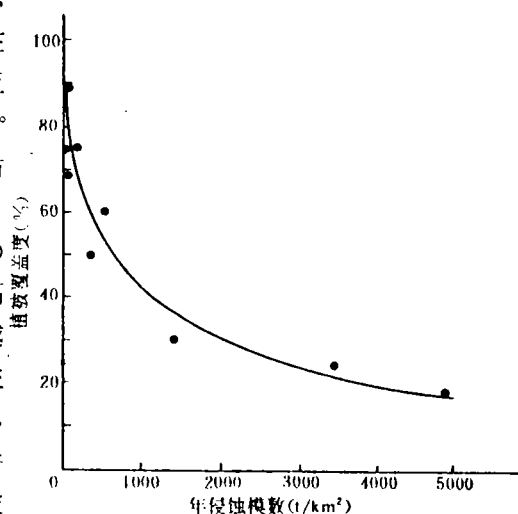


图1 人工乔灌林地侵蚀量与植被覆盖度的关系

## 6 森林覆被与水土保持

### 6.1 森林的宏观效益

大面积的植被效益究竟如何,看法不一,特别对黄土高原植被效益的认识分歧较大。在此我们也谈点自己的看法。

森林水土保持作用包含两方面:一是对水的作用;二是对土的作用。

黄土高原的森林对径流的影响如何?也有不同看法。刘昌明等分析黄土高原森林对年径流的影响认为,非林区的年径流量较林区大1.7—3.0倍,林区的径流系数较非林区小40%—60%。我们分析近30年来黄河中游产流规律,得出的结论与刘昌明一致。森林的这一效应,从水文意义上讲是个损失,而对水土保持而言,是就进入渗,有效利用,地表径流小则土壤流失必然轻,二者是一致的,所以从水土保持角度讲是有益的。

森林保持土壤的作用也是明显的,从目前黄土高原输沙量和径流含沙量分布来看,不论输沙量还是含沙量其最高值均发生在无林地带,对于林区(如子午岭、吕梁山、六盘山)两者都是最小的。可见森林的水土保持功能是强大的。目前人工林效益较差,主要的是林下无良好的草被和死

被物,应在经营上下功夫。

## 6.2 森林覆被率与土壤侵蚀

我们选择黄土高原有森林植被的 18 个流域,面积由 43.9—25 154km<sup>2</sup>,分布于泾河、北洛河、清涧河、延河、三川河、汾川河、渭河、香水河等流域。通过对这些流域的林率与土壤侵蚀模数进行分析,得出土壤侵蚀模数(Y)与林率(X)线性关系较好(图 2),关系式如下:

$$Y = 7\,624.259 - 80.652\,3X$$

$$(n = 18, \quad r = 0.948)$$

土壤侵蚀模数与林率呈负相关,林率越大,土壤侵蚀量越小。当林率达 85% 以上,减沙效益高于 90%,若林率高于 95% 时,土壤侵蚀量也接近零。

## 6.3 黄土高原森林(植被)与减沙潜势估算

黄土高原森林植被可恢复的程度及其减沙效益如何,仍是人们关心的大事,但目前看法也不同,其中因为植被本身的复杂性等因素,还无一种大家公认的好方法估算宏观植被减沙效益。在此我们仅想试计算几种情况下的森林减沙值,供同仁讨论。

首先在此以“七五”黄土高原综合考察队编写的《黄土高原地区植被资源及其合理利用》一书划分的

森林植被带,为建造森林植被的界线。按该书划分的森林带和森林草原带范围,约占黄土高原总面积的 43%,子午岭绝大部分属森林草原带,即子午岭主要表征为森林草原特点。

(1)假设森林带和森林草原带无人为干扰,全部恢复成良好的植被,侵蚀量为 0,那么约每年减少输沙量 5.971t。占黄河输沙量 16 亿 t 的 37.3%。

(2)假设在整个森林带和森林草原带范围,均能建成子午岭林区所涉及的水文控制区(包含非林区范围),林率为 39.4%—97.0%,平均侵蚀模数为 757.15t/km<sup>2</sup>·a。则可年减少输沙量 5.053 亿 t,占黄河总输沙量的 31.6%。

(3)如果按整个黄土高原地区的宜林地面积约 30% 的数字计算、只要达到林下无土壤流失的造林质量,减沙效益也至少有 30%。当森林分布比重在水土流失严重区较大时,其效益还可提高。以上(1)、(2)两种算法,虽然森林和森林草原带范围较一些论著中偏小,即森林和森林草原带还可北移,但由于人口因素所制,该范围的森林覆被潜势达不到上述值。(3)中的 30% 面积,因为是目前宜林地面积,故有可能实现。但能否发挥较强的水土保持功能,关键是如何经营水土保持林、搞好水土保持林的质量,特别是,能保护好林下的草被和死被物水土保持效益便可上去,否则只能是低效林的状况。

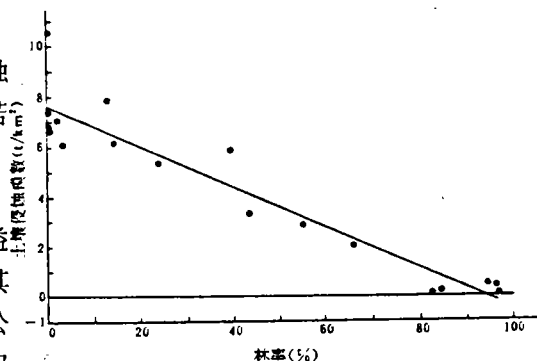


图 2 森林林率与土壤侵蚀量的关系

## 参考文献

- 1 刘向东等. 森林植被垂直截留作用与水土保持. 水土保持研究, 1994 (3)
- 2 陈永宗等. 黄土高原现代侵蚀与治理. 科学出版社, 1988

- 3 赵鸿雁等. 油松人工林和天然山杨林林内降雨动能的初步研究. 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊, 1991, 第 14 集
- 4 黄秉维. 森林生态系统在水土保持中的作用. 森林与人类, 1991, 特刊
- 5 保定地区水土保持试验站. 乔木纯林地面侵蚀观测试验研究. 中国水土保持, 1990, 第 8 期
- 6 刘元宝等. 坡耕地不同地面覆盖的水土流失试验研究. 水土保持学报, 1990, (1)
- 7 田积莹等. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀指标的初步研究. 土壤学报, 1964, 12(3)
- 8 汪有科等. 林地枯落物抗冲试验研究. 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊, 1991, (14)
- 9 孙立达等. 沙打旺, 紫花苜蓿和小叶锦鸡儿的根系对斜坡稳定性的影响. 水土保持学报, 1987, (2)
- 10 侯喜录等. 黄土丘陵沟壑区主要水保林类型及草地水保效益的研究. 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊, 1991, (14)
- 11 曾伯庆等. 人工草地植被度对产流产沙影响的研究. 晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验研究文集, 1990
- 12 刘昌明等. 黄土高原森林对年径流影响的初步分析. 地理学报, 1978, 33(2)

(上接第 23 页)

留作用所减少的降雨量并不都具有水土保持意义。如降雨量小, 对土壤侵蚀的影响甚微, 甚或没有影响, 只有降雨量较大, 截留作用所减少的雨量较多时, 对土壤侵蚀才具有影响。两年观测结果表明, 枯枝落叶层一次截留量在 1.0mm 以下的次数平均每年 13 次, 占总降雨次数的 43.3%; 1—2mm 的次数 12 次, 占降雨次数的 40.0%; 2—3mm 次数 4 次, 占 13.3%; 3—4mm 的次数 1 次, 占 3.4%, 其中最大截留量 3.14mm。可见, 截留作用所减少的降雨量在 3mm 以下的次数占 90.0%, >3mm 的次数占 3.4%, 截留作用减少的雨量对水土流失的直接影响有限。截留作用的重要意义是它的间接效益, 即削弱降雨动能, 将动能转变为透势能, 防止土壤溅蚀。

### 3 结 论

中龄油松人工林枯枝落叶层的截留量占同期雨量的 10.07%, 占林内降雨量的 11.8%, 比林冠截留量低 5.0%; 枯枝落叶层的截留量随降雨量增加而增大, 随自身含水量的增加而减少; 一次最大截留量为 3.14mm, >2mm 的截留量占 13.3%, >3.0mm 的截留量占 3.4%, 截留作用减少的降雨量对水土流失的影响有限。

### 参考文献

- 1 R. 李, 张建列译. 森林水文学. 东北林学院出版, 1984 年
- 2 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, 25 卷(3)
- 3 中野秀章, 李云森译. 森林水文学. 中国林业出版社, 1983 年