

# 林地枯落物抗冲试验研究

汪有科 吴钦孝 赵鸿雁 刘向东 韩冰

(中国科学院  
水利部西北水土保持研究所)

## 摘 要

通过对枯落物抗冲性测定资料分析,得出枯落物自身抗冲能力与其增强土壤的抗冲效应相一致,抗冲能力大小顺序为油松>山杨>沙棘>刺槐。枯落物的抗冲力还随其厚度增加而提高,与单位面积中的活植物茎数量成正相关。具有枯落物的林地土壤冲失量主要取决于冲刷的前1~3 min,而与更长的冲刷历时关系不大,但与冲刷径流强度关系紧密,每当径流出现增值都会引起土壤冲失量新的峰值。

**关键词** 枯落物 抗冲性 土壤冲失量

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON ANTI-SCOURABILITY OF LITTER ON WOODLAND

Wang Youke Wu Qinxiao Zhao Hongyan Liu Xiangdong Han Bing  
(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation under The Chinese  
Academy of Sciences and The Ministry of Water Conservancy)

## Abstract

Based on the analysing data obtained in the experiment, it has been found that the anti-scourability of litter itself was in keeping with its increasing effect of soil anti-scourability. The order put in accordance with anti-scourability of litter was *Pinus tabulaeformis* > *Populus davidiana* > *Hippophae rhamnoides* > *Robinia pseudoacacia*. It had also a positive correlation to amount of stems of living plant per unit area, and increasing with the thickness of litter. The soil loss on woodland with litter mainly happened in the first 3 min. of scour and did not bear a close relation to more long time of scour. Whenever runoff increased, a new peak value of scouring amount of soil was provoked

**Key words** litter anti-scourability scouring amount of soil

## 引 言

森林枯落物具有良好的水文功能,所以一直是森林水文学研究的主要内容之一。同

时枯落物也具有重要的作用,受到人们的重视。本文是从两个方面研究枯落物的抗冲性能:一是研究枯落物自身抵抗水力冲刷的能力;二是研究枯落物增强土壤的抗冲效应。近年来,土壤抗冲性能的研究已引起愈来愈多的科技人员的关注,有关报道也渐增多<sup>(1,2,3,4,5)</sup>,但总体来看,仍是水土保持科学中的一个薄弱环节,研究的深度、广度均有待加强。枯落物的抗冲性能研究在国内还未见报道,本文也仅仅是作一初步探讨。

## 1 研究方法

冲刷试验用水槽法。取原状土原状枯落物和人工覆盖枯落物为冲刷样本,每个样本在冲刷前先浸泡12h,使其达到饱和含水量状态,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。冲刷坡度选取 $25^{\circ}$ (当地常见坡度),以常见暴雨频率的雨强( $2\text{mm}/\text{min}$ )为标准小区( $20\text{m} \times 5\text{m}$ )内产生的最大流量计算单宽流量作为主要冲刷流量( $4\text{L}/\text{min}$ ),并设计了从 $4 \sim 35.6\text{L}/\text{min}$ 的不同流量进行枯落物抗冲临界值及其它特性的测定。试验过程中,分别在产流初期及每隔 $1\text{min}$ 取一次水样,测定含泥土量,计算不同时段的土壤冲刷量。

## 2 结果与分析

### 2.1 枯落物自身的抗冲能力

枯落物自身的抗冲能力测定取 $1$ 、 $3$ 、 $5\text{cm}$ 枯落物厚度,采用取无活植物原状土和有活植物原状土人工覆盖枯落物两种方式测定其抗冲能力。表1是取农地原状土(无活植物)人工覆盖不同枯落物的抗冲能力测定。从表1可看出,刺槐(*Robinia pseudo-acacia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)三种枯落物的抗冲刷能力随枯落物的厚度增加而增强,特别是油松枯落物尤为明显,而山杨(*Populus davidiana*)枯落物则规律变化不明显(为了更清楚的了解其规律,这里做了5个厚度的冲刷试验),表现为 $1\text{cm}$ 枯落物抗冲能力最小,临界抗冲流量 $5\,340\text{ml}/\text{min}$ ,临界雨强 $2.7\text{mm}/\text{min}$ , $2\text{cm}$ 枯落物抗冲力最强,临界抗冲流量为 $16\,910\text{ml}/\text{min}$ ,临界抗冲雨强 $8.5\text{mm}/\text{min}$ 。此后山杨枯落物( $3$ 、 $4$ 、 $5\text{cm}$ )又出现随枯落物厚度增加而抗冲力浮动现象,显示出山杨枯落物抗冲性能不稳定的特性。这一现象在山杨原状枯落物冲刷测定中也有发生,可能是山杨枯落物浸水后,叶片互相粘连,结构致密,其透水性和对水流的阻力不稳所致。这一问题还有待研究。不同枯落物的抗冲性也存在差异,其抗冲力大小可排序为油松 $>$ 山杨 $>$ 沙棘 $>$ 刺槐。

枯落物抵御冲刷的能力不但与枯落物的种类及厚度有关,还与地面存在的活植物茎(叶)数量有关。我们统一采用 $1\text{cm}$ 厚枯落物,取具有不同数量活草(冰草)茎的土样进行冲刷试验表明,各种枯落物的抗冲能力均随单位面积(在此按 $10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 计)的活草茎数的增加而提高。以冲走全部枯落物为标准可看出,油松枯落物在土样中有1根草茎时便可抵抗最大设计流量( $35\,600\text{ml}/\text{min}$ )和雨强( $17.8\text{mm}/\text{min}$ ),抵抗同样的流量和雨强刺槐需5根草茎,沙棘需7根草茎,而山杨枯落物仍出现一些不规则的现象,如5根草茎时能抵御设计最大流量及雨强,而有7,11根草茎时又出现不能

表 1 不同厚度枯落物自身抗冲能力测定

枯落物种类	枯落物厚度	枯落物抗冲临界值				冲失全部枯落物	
		冲失半分解物		冲失未分解物		流 量 ml/min	雨 强 mm/min
		流 量 ml/min	雨 强 mm/min	流 量 ml/min	雨 强 mm/min		
刺	1	4 450	2.2	4 450	2.2	5 340	2.7
	3	6 230	3.1	6 230	3.1	7 120	3.6
槐	5	7 120	3.6	7 120	3.6	8 010	4.0
沙	1	6 230	3.1	6 230	3.1	6 230	3.1
	3	9 790	4.9	9 790	4.9	9 790	4.9
棘	5	14 240	7.1	14 240	7.1	14 240	7.1
山	1	5 340	2.7	5 340	2.7	5 340	2.7
	2	16 910	8.5	16 910	8.5	16 910	8.5
	3	8 900	4.5	8 900	4.5	13 350	6.7
杨	4	13 350	6.7	13 350	6.7	14 240	7.1
	5	12 460	6.2	12 460	6.2	16 020	8.0
油	1	5 340	2.7	7 120	3.6	9 790	4.9
	3	14 240	7.1	14 240	7.1	14 240	7.1
松	5	19 580	9.8	19 580	9.8	19 580	9.8

抵抗设计最大流量及雨强的情况。抗冲临界流量也是随地面活草茎数的增多而递增，但因为临界流量是以能冲动少量枯落物为标志，所以不是增加每 1 根活草茎都能引起临界流量的反应，而是单位面积上的活草茎增加到一定数量才能引起临界流量的变动。这种反应也因枯落物种类而异，如油松枯落物有 3 根草茎时，即使最大设计流量也达不到临界流量。山杨枯落物则在 1~11 根草茎时临界流量均为 6 230ml/min，13~19 根草茎时临界流量为 10 680ml/min，如表 2 所示。表 1、2 比较可看出，表 1 中临界流量与冲失全部枯落物的流量相同或相近，说明发生临界流量时枯落物全部被冲光或所剩无几。表 2 中临界流量与冲失全部枯落物的流量差异很大，说明有活草时发生临界流量仅能冲失一部分枯落物，不能冲走全部枯落物。实际上，从表 1 中具有 1cm 枯落物的抗冲临界值可看出，1cm 枯落物可抵抗 2.2~3.6mm/min 的雨强，一般均能抵御黄土高原常见暴雨的冲刷，而发生冲失枯落物主要是地表径流汇集，形成较大股流所造成。

2.2 枯落物增强土壤抗冲的效应

2.2.1 枯落物厚度对土壤冲刷的影响

枯落物厚度与减少土壤冲刷的效应测试列于表 3，在冲刷流量 4 L/min、坡度 25°、冲刷历时 15min 的相同条件下，各地类均随枯落物厚度的增加其土壤冲失量减少。农地无枯落物时土壤冲失量达 596.8g，当覆盖有 1cm 枯落物时其土壤冲失量降为 114.5g，减少 80.8%，覆盖 2cm 枯落物可减少土壤冲刷量 92.8%。刺槐林地无枯落物土壤冲失量

表 2 有活草茎(叶)的枯落物抗冲能力测定

枯落物厚度及类型	冲失不同枯落物所需流量 (ml/min)				冲样中具有 活草茎(叶)数 (根)
	少量半分解物	少量未分解物	大部分枯落物	全部枯落物	
1 cm 刺槐 枯落物	5 340	5 340	8 010	13 350	1
	6 230	6 230	13 350	16 910	3
	7 120	7 120	16 910	无	5
	8 900	8 900	16 020	无	7
	8 900	8 900	18 690	无	9
	8 900	8 900	15 130	无	11
	10 680	10 680	21 360	无	13
	10 680	10 680	30 260	无	15
	21 360	21 360	无	无	17
	10 680	10 680	无	无	19
1 cm 山杨 枯落物	6 230	6 230	9 790	15 130	1
	6 230	6 230	10 680	25 810	3
	6 230	6 230	21 360	无	5
	6 230	6 230	21 360	35 600	7
	6 230	6 230	21 360	无	9
	6 230	6 230	16 020	21 360	11
	10 680	10 680	16 020	无	13
	10 680	10 680	21 360	35 600	15
	10 680	16 020	21 360	无	17
	10 680	10 680	21 360	无	19
1 cm 油松 枯落物	16 020	16 020	无	无	1
	16 020	16 020	无	无	3
	无	无	无	无	5
	无	无	无	无	7
1 cm 沙棘 枯落物	8 010	8 900	13 460	24 920	1
	10 680	10 680	18 690	24 920	3
	10 680	10 680	18 690	30 260	5
	14 240	14 240	35 600	无	7
	16 020	16 020	35 600	无	9
	16 020	16 020	35 600	无	11
	16 020	16 020	35 600	无	13
	16 020	16 020	26 700	无	15
	16 020	16 020	35 600	无	17
	16 020	16 020	无	无	19

注: “无”表示在最大设计流量(35 600ml/min)不发该栏的冲失

171.6g, 有1cm枯落物土壤冲失量为90.8g, 有2cm枯落物土壤冲失量28.7g, 3cm枯落物土壤冲失量10.2g, 超过3cm枯落物时土壤冲失量等于0。沙棘林地去枯落物土壤冲失量168.4g, 有1cm枯落物土壤冲失量72.6g, 有2cm枯落物土壤冲失量仅5.5g, 枯落物超过2cm土壤冲失量为0。山杨和油松地去枯落物土壤冲失量分别为37.0、27.5g, 当枯落物超过1cm便无土壤冲失。可见枯落物厚度是保持水土的重要指标。

### 2.2.2 枯落物类型对土壤冲刷的影响

不同种类的枯落物减少土壤冲刷的效应有两种情况：(1) 土壤结构、含根量相同条件下的抗冲效应, 其效应大小主要取决于枯落物自身的抗冲特性；(2) 自然状态下的枯落物抗冲效应, 其土壤结构及根系含量往往不同。

农地人工覆盖抗冲试验可看成是土壤结构、含根量相同条件下纯枯落物的效应(表4)。试验表明, 沙棘、刺槐、山杨三种枯落物增强土壤的抗冲效应较为接近, 油松枯落物增强土壤抗冲的效应最为显著。枯落物增强土壤抗冲的效应和枯落物自身的抗冲能力相一致, 即油松>山杨>沙棘>刺槐。自然状态下的枯落物抗冲的效应可由表3看出, 在各种枯落物及厚度中也表现出与枯落物自身抗冲性相一致的特性。

由表3还可看出, 土壤冲失量不但与其表面的枯落物厚度、种类相关, 而且与土壤

表3 枯落物增强土壤的抗冲效应

冲 样 坡 度	冲 刷 流 量 (L/min)	冲 刷 时 间 (min)	枯 落 物 厚 度 (cm)	农地覆针叶		刺槐枯落物		沙棘枯落物		山杨枯落物		油松枯落物	
				土 壤 冲 失 量 (g)	无土 枯壤 落减 物少 (%)	土 壤 冲 失 量 (g)	去土 掉枯 落物 减少 (%)	土 壤 冲 失 量 (g)	去土 掉枯 落物 减少 (%)	土 壤 冲 失 量 (g)	去土 掉枯 落物 减少 (%)	土 壤 冲 失 量 (g)	去土 掉枯 落物 减少 (%)
25°	4	15	0	596.8	0	171.6	0	168.4	0	37.0	0	27.5	0
25°	4	15	1	114.5	80.8	90.8	47.1	72.6	56.9	6.2	83.2	2.76	90.0
25°	4	15	2	43.2	92.8	28.7	83.3	5.5	96.7	0	100	0	100
25°	4	15	3	38.5	93.5	10.2	94.1	0	100	0	100	0	100
25°	4	15	4	36.3	93.9	0	100	0	100	0	100	0	100
25°	4	15	5	32.1	94.6	0	100	0	100	0	100	0	100

中的根系量有关。如农地铺枯落物5cm仍有32.1g的土壤冲失量, 其值大于去掉枯落物的林地土壤冲失量, 几种林地去枯落物后的土壤冲失量仍保持与枯落物自身抗冲性一致。这是因为它们土壤中的根系含量(表5)顺序也为油松地>山杨>沙棘地>刺槐地。上述特性说明枯落物自身的抗冲性能是决定其增强土壤抗冲性的关键。为什么抗冲性能好的枯落物其下面的植物根系也较多, 尤其是小于1mm的营养根十分丰富, 这可能是抗冲性好的枯落物可形成较多的腐殖质(此现象在实地能看到), 促进各种营养根系生长的原因。当然根系的分布还与群落特性及种间竞争等有关, 这仍是有待研究的问题。

### 2.2.3 枯落物对土壤冲刷过程的影响

图1是5种土地类型的冲刷过程曲线, 4种林地土壤都具有1cm的枯落物, 冲刷流

表 4 人工覆盖枯落物增强土壤的抗冲效应

枯落物厚 (cm)	冲刷流量 (L/min)	冲刷历时 (min)	坡 度	不同枯落物覆盖土壤冲失量 (g)			
				油 松	沙 棘	刺 槐	山 杨
1	4	15	25°	114.5	198	206.3	178.8
3	4	15	25°	38.5	137	151.3	159.5
5	4	15	25°	32.1	93.5	99	96.8

表 5 不同地类表层(0~10cm)根系含量

根 级 mm	不同地类根系含量(湿重 g)				
	油 松	山 杨	刺 槐	沙 棘	农 地
< 1	11.76	10.1	5.2	5.2	2.1
1 ~ 2	5.91	3.4	1.6	2.1	0
> 2	0.75	3.1	2.3	3.0	0
合计	18.42	16.6	9.1	10.3	2.1

量 4 L/min，坡度25°。从土壤冲失量随时间变化看，各种地类的冲刷强度均随时间而急剧减少，有枯落物和没枯落物及不同枯落物的土壤冲失过程差异很大。抗冲性差的土地不但各时段土壤冲失量均高于抗冲性强的土地，而且发生冲失的历时也不同。农地在整个冲刷过程中均有土壤冲失，沙棘和刺槐在 3 min后土壤冲失为零，油松和山杨约在 1 min后便无土壤冲失。说明当发生径流时如流量不变，有 1 cm枯落物林地表土流失主要发生在前 1~3 min内，而与 3 min以后的径流发生历时关系不大。

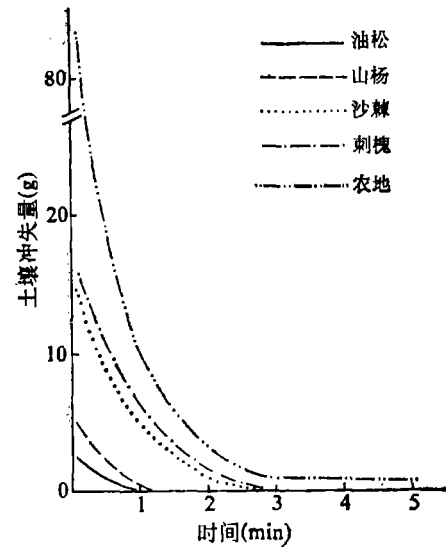


图 1 不同地类土壤冲刷曲线

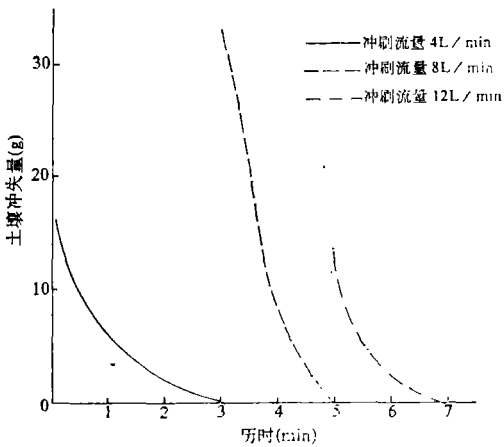


图 2 流量变化与土壤冲刷曲线

图 2是具有 1 cm 沙棘枯落物的土地变换流量冲刷曲线。冲刷流量采用 4 L/min、8 L/min和12L/min 三种。当每一流量下的土壤冲失量为零时，变换新的大流量，此时土壤冲刷曲线又出现新的高峰值，发生新的冲刷过程，而冲刷变化过程（曲线形式）

和前一过程相似。每一冲失过程均不超过 3 min。这说明土壤冲刷量受流量变化的影响很大,如果流量不变,土壤冲失便很快结束。自然界中的径流往往是随降雨历时的延长,土壤入渗率降低,地表水增多,逐渐汇集更多的分散径流形成股流,所以流量常有一个增值过程,这一过程可能是土壤冲失的主要过程。

### 3 结 论

#### 3.1 不同枯落物其自身的抗冲能力不同

供试枯落物抗冲能力大小排序为油松>山杨>沙棘>刺槐。枯落物自身抗冲能力与其单位面积中具有活植物茎(叶)数量成正相关,并随枯落物的厚度增加而提高。

#### 3.2 枯落物增强土壤抗冲能力也随其厚度而提高,并与枯落物自身抗冲能力相一致自身抗冲能力强的枯落物其增强土壤的抗冲效应也显著。

#### 3.3 抗冲性强的枯落物其下面的根系含量较多是其土壤抗冲效果好的重要原因

#### 3.4 发生土壤冲失的时间在不同枯落物有所不同

具有 1 cm 枯落物时,油松、山杨地一般土壤冲失发生在冲刷的前 1 min 内,刺槐、沙棘土壤冲失发生在冲刷的前 3 min 内,而对照农地(无枯落物)则整个冲刷过程中均有土壤流失。有枯落物土壤其冲失量与 3 min 后的径流冲刷历时关系不大,而与径流量的增值成正相关,径流量每次增值都能引起土壤流失强度出现新的峰值。

### 参 考 文 献

- 〔1〕李勇,吴钦孝.油松人工林根系对土壤抗冲性能的增强效应,《水土保持学报》,1990年第 1 期
- 〔2〕吴钦孝、李勇.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究,《水土保持学报》,1990年第 1 期
- 〔3〕王佑民等.刺槐林地土壤抗蚀性的研究,《林业科技通讯》,1984年第 5 期
- 〔4〕蒋定生.黄土区不同利用类型土壤抗冲刷能力的研究,《土壤通报》,1979年第 4 期
- 〔5〕苏宁虎.森林枯落物的水文作用研究概况,《陕西林业科技》,1984年第 4 期