

# 黄土丘陵区森林保持水土效益 及其机理的研究

侯喜禄 白岗栓 曹清玉

中国科学院  
水利部水土保持研究所·陕西杨陵·712100

**摘要** 刺槐、柠条、沙棘、沙棘×油松、沙棘×小叶杨幼林到郁闭成林的蓄水保土效益变化分3个阶段。1~3年生为低下阶段,有侵蚀性降雨就会发生水土流失;4年生为由低到高的过渡阶段,蓄水保土效益迅速增加;5年生以上为效益显著阶段。一般在无大暴雨情况下基本不发生水土流失,且60%的林分覆盖度对减少土壤侵蚀量的作用显著。各郁闭成林的枯落物蓄积量和含水量以沙棘及其混交林最多,刺槐林中等,柠条林最少。并且枯落物的厚度是增强土壤抗冲性效应的重要指标。同时森林改善了土壤物理性质,使土壤容重变小,入渗和抗冲性增强。  
**关键词** 森林 保持水土效益 机理

## Study on Benefits of Soil and Water Conservation of Forest and Its Mechanism in Loess Hilly Region

Hou Xilu Bai Gangshuan Cao qingyu

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

**Abstract** Three stages have been divided to benefits of soil and water conservation from thicket to cover-overheaded of *Robinia pseudoacacia*, *Caragana microphylla*, *Hippophae rhamnoides*, *Hippophae rhamnoides* and *Pines tabulaeformis*, *Hippophae rhamnoides* and *Populus simonii* carr. Benefits of soil and water conservation is low in 1~3 year and during this period soil and water loss will be occurred if there have erosive rainfall. In 4 year its benefits of soil and water conservation increase rapidly. The period over 5 year is the one which benefit is very significant. There is no erosion occurred if there have no heavy storm and the forest coverage of 60% has important role to reduce soil loss amount. The accumulated litter amount and holding water capacity among all cover-overheaded forests, *Hippophae rhamnoides* and its mixed forests are highest, *Robinia pseudoacacia* medium, and *Caragana microphylla* is lowest, An important index of improving soil anti-scourability is thickness of litter. Meanwhile, forest can improve soil physical properties, decrease soil density, and increase soil infiltration and anti-scourability.

**Key words** forest benefits of soil and water conservation mechanism

黄土高原水土流失严重闻名于世,而流入黄河的泥沙绝大部分来自黄土丘陵区。因此这一地区仍是目前防治水土流失的重点地区,也是三北防护林体系工程的重点地区。造成水土流失的原因除地形、土壤、降雨外,植被遭到严重破坏是重要原因。所以建造恢复植被是防治水土流失的根本措施。三北防护林体系建设工程上马以来,营造了大量水土保持林。为此研究本区不同林分从幼林到郁闭成林保持水土效益在量上的变化及其机理,对防治水土流失和防护林体系建设具有重要意义和参考价值。

## 1 研究方法

(1)幼林到郁闭成林的保持水土效益的测定,对不同林分径流小区,逐年进行径流、泥沙测验。并记载林冠郁闭度、活地被物盖度。

(2)林分保持水土的机理。刺槐林等枯落物蓄积动态,用收集框逐月收集和测定枯落物凋落量,计算月、年蓄积量。

枯落物蓄积量及容水量的测定,在林内选标准地,沿对角线方向机械布设样方,落叶后收集枯落物,测现存量及容水量

林地土壤物理特性的测定,①土壤容重用环刀测定;②土壤入渗性能用大渗透筒即双环法测定;③土壤抗冲性用原状土冲刷槽法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林分幼林到郁闭成林的蓄水保土效益

幼林和郁闭成林保持水土的效益差别很大,研究幼林到郁闭成林保持水土效益的变化规律,认识和掌握森林保持水土量变过程及其机理。

表1 各年逐月降雨量 单位:mm

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
1987	0	4.7	7.9	58.7	27.1	62.2	77.8	50.4	30.4	72.3	13.3	0	404.8
1988	2.1	2.7	30.0	7.6	53.8	100.5	174.8	259.0	77.7	13.9	0.1	2.0	729.2
1989	18.9	16.5	9.5	52.9	14.7	68.9	168.0	47.7	104.2	10.6	25.6	4.9	543.2
1990	5.4	24.8	28.5	53.3	50.4	33.8	137.4	103.8	90.2	30.4	19.0	3.2	580.2
1991	11.0	23.3	27.9	30.4	92.3	78.1	71.9	81.8	73.1	38.3	16.5	0	544.6
1992	4.9	10.1	9.3	26.1	42.2	47.2	36.9	193.1	43.1	24.8	8.4	0	446.1
1993	14.9	6.6	14.3	34.7	49.2	40.1	116.6	77.9	9.0	65.6	26.5	0	455.4
1994	3.2	26.0	0	90.2	6.2	59.4	72.9	137.1	78.5	69.2	12.1	3.6	558.4

2.1.1 1~3年生幼林蓄水保土效益低下阶段 表1观测年份降雨情况和表2不同林分、树龄径流量及侵蚀量比较看出,1~3年生幼林保持水土的效益还很低,无论在丰水年、平水年或干旱年,只要出现侵蚀性降雨,各林分小区都会发生水土流失。有无暴雨只是流失量多少的区别。其原因是林分郁闭度小,地被物层也未形成。

2.1.2 4年生幼林的蓄水保土效益为由低到高的过渡阶段 此阶段林地蓄水保土效益迅速增加,并以生长快、覆盖度高的沙棘及其混交林增长最快,刺槐林增长中等,柠条林最慢。如表2中一年中沙棘林效益还差,径流量为农地的1.8倍、侵蚀量为6.8倍。4年生沙棘效益迅速增长,较农

地可减少径流量96.7%、侵蚀量99.8%。一年生刺槐林径流量为农地的1.1倍,侵蚀量为1.8倍。4年生刺槐林较农地可减少径流量77.5%、侵蚀量99.3%。2年生柠条林的径流量和侵蚀量与农地接近,而4年生柠条林虽然侵蚀减少90%以上,但径流量仍高于农地。

表2 不同林龄林分径流量及侵蚀量比较

年 份	1~8年生 刺槐林		2~9年生 柠条林		1~8年生 沙棘林		1~8年生 沙棘×油松		1~8年生 沙棘×小叶杨		农地 (对照)	
	径流量	侵蚀量										
	(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )
1987年	41.61	411.50	37.76	225.85	67.58	1548.46	64.89	1960.93	41.22	505.90	37.45	227.91
1988年	36.08	54.94	104.49	777.36	77.70	115.18	120.08	1015.44	109.04	1101.85	12.67	5435.75
1989年	28.30	17.83	298.06	3411.56	12.60	67.63	24.97	537.44	91.30	2787.72	237.20	7297.65
1990年	15.64	13.77	144.59	172.50	3.34	5.77	5.52	5.51	44.20	20.53	125.71	2542.39
1991年	0	0	9.47	26.70	0	0	0	0	0	0	139.43	3909.98
1992年	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49.05	142.80
1993年	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994年	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47.35	120.46

2.1.3 5年生以上幼林蓄水保土效益为显著阶段 除直播造林的柠条林因覆盖度低,第5年仍有水土流失,其余林分已郁闭成林,地被物层也逐步形成,在无大暴雨的情况下基本不发生水土流失。

## 2.2 林分覆盖度对土壤侵蚀量的影响

根据1989年观测资料及回归分析,所得林地土壤侵蚀量与林分覆盖度呈二次多项式关系。其关系式:

$$y = 1037.8 - 271.65x + 1.78x^2$$

林地土壤侵蚀量与林分覆盖度呈负相关。土壤侵蚀量随林分覆盖度的增加而减少,当覆盖度增加到60%时,林地减少土壤侵蚀量的效益最显著。

表3 不同林分覆盖度的土壤侵蚀量

林分 类型	树 龄	年降 雨量 (mm)	汛期 雨量 (mm)	覆盖度 (%)	径流量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )
刺槐林	20	529.0	289.4	95.0	0	0
沙棘林	9	529.0	289.4	92.0	0	0
沙棘×油松	9	529.0	289.4	90.5	0	0
沙棘×小叶杨	9	529.0	289.4	95.0	0	0
沙棘林	2	529.0	289.4	56.5	112.31	218.38
沙棘×油松	2	529.0	289.4	62.5	90.08	160.81
沙棘×小叶杨	2	529.0	289.4	60.0	93.75	107.25
荒地		529.0	289.4	28.0	134.90	527.26
油松	2	529.0	289.4	10.5	122.0	1523.02
农地		529.0	289.4	35.0	75.40	971.40

表3所列1994年实测资料,在未发生大暴雨的情况下,林分覆盖度由10%、28%增加到56%、60%,林地土壤侵蚀量由1523.02t/km<sup>2</sup>、527.26t/km<sup>2</sup>减少到218.38t/km<sup>2</sup>、107.25t/km<sup>2</sup>,减少土壤侵蚀量的效益显著。同1989年的观测分析结果相符。

## 2.3 林地枯落物层的蓄水保土功能

林地枯落物层覆盖地表,减轻雨滴对地表土壤的溅击作用,同时有较强的吸水容水作用。并

通过阻碍和吸收地表径流,延长径流时间和形成过程,减缓了径流速度,从而大大减轻了地表径流的冲刷作用。

### 2.3.1 不同林分枯落物蓄积动态 (1)刺槐林枯落物蓄积动态.刺槐林枯落物凋落动态.据

表4 刺槐林枯落物凋落动态及凋落量

凋落量 (t/hm <sup>2</sup> )	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月凋落量	0.09	0.09	0.09	0.08	0.45	0.18	0.17	0.20	0.30	0.90	0.38	0.15
%	2.9	2.9	2.9	2.6	14.6	5.8	5.5	6.5	9.7	29.2	12.3	4.9
累积凋落量	0.09	0.18	0.27	0.35	0.80	0.98	1.15	1.35	1.65	2.55	2.93	3.08
%	2.9	5.8	8.8	11.4	26.0	31.8	37.3	43.8	53.6	82.8	95.1	100

1993~1994年在黄土丘陵沟壑区的安塞县实测刺槐林枯落物凋落动态及凋落量见表4。刺槐林枯落物凋落过程在一年中有两个凋落高峰期,一是5月下旬的开花期,占全凋落量的14.6%。二是9月下旬至11月下旬的落叶期,凋落量为年总量的51.2%。全年蓄积量为3.08t/hm<sup>2</sup>;刺槐林枯落物的分解率,据测定,刺槐林枯落物的年度分解率为36%~50%,每年有1.1~1.5t/hm<sup>2</sup>的有机质被分解为腐殖质归还林地土壤,增加了土壤肥力,改善了土壤结构,增强了林地土壤的蓄水保土功能。(2)柠条林枯落物凋落及分解。柠条灌木林落叶期较早,一般9~10月,且落叶量少,分解率高。年分解率为80%~100%。

表5 不同林分枯落物蓄积量及容水量

林分	树	枯落物层	枯落物	单位干重	枯落物
类型	龄	厚度	数量	吸水量	容水量
		(cm)	(t/hm <sup>2</sup> )	(kg/kg)	(t/hm <sup>2</sup> )
刺槐林	9	4~5	3.08	2.2	6.78
沙棘林	9	4~6	4.75	2.5	11.88
沙棘×油松	9	4~5	4.15	2.2	8.72
沙棘×小叶杨	9	5~7	4.80	2.3	11.04
柠条林	10	1~2	0.35	2.2	0.77

表6 枯落物增强土壤的抗冲效应

冲刷坡度	农地覆盖针叶											
	刺槐枯落物			沙棘枯落物			油松枯落物					
	冲	刷	枯	土	较无	土	较去	土	较去	土	较去	
量	流	物厚	壤	物土	壤	掉枯	壤	掉枯	壤	掉枯		
(L/min)	(min)	(cm)	失	壤	冲	落物	冲	落物	冲	落物		
			量	减少	量	土壤	量	减少	量	减少		
			(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)		
25°	4	15	0	596.8	0	171.6	0	168.4	0	27.5	0	
25°	4	15	1	114.5	80.8	90.8	47.1	72.6	56.9	2.76	90.0	
25°	4	15	2	43.2	92.8	28.7	83.3	5.5	96.7	0	100	
25°	4	15	3	38.5	93.5	10.2	94.1	0	100	0	100	
25°	4	15	4	36.3	93.9	0	100	0	100	0	100	
25°	4	15	5	32.1	94.6	0	100	0	100	0	100	

(3)沙棘林枯落物凋落及分解。沙棘林较刺槐及柠条林落叶晚,一般叶片需经几次霜打后才开始凋落。凋落时期约在11月上旬至12月上旬。年分解率为60%~80%,改良土壤作用良好。

2.3.2 不同林分枯落物的吸水容水作用 林地枯落物有较强的吸水容水作用,因此有较好的涵养水分功能。不同林分枯落物蓄积量和容水量不同,从表5看出,沙棘及其混交林枯落物层的蓄积量和容水量最多,刺槐林次之,柠条林最少。因树种而异,其吸水量一般为自身重量的2.2~2.5倍,单位面积的容水量为0.77~11.88 t/hm<sup>2</sup>。

2.3.3 枯落物厚度增强土壤抗冲性的效应 据汪有科等研究,枯落物厚度与增强土壤抗冲刷的效应见表6。在冲刷流量4L/min,坡度25°,冲刷历时15min的相同条件下,不同林地随枯落物厚度的增加土壤冲失量减少。农地无枯落物时土壤冲失量达596.8g,当覆盖有1cm、2cm、3cm枯落物时,其土壤冲失量较无枯落物的冲失量分别减少80.8%、92.8%、93.5%。刺槐林地去掉枯落物的土壤冲失量为171.6g,覆盖1cm的为90.8g、2cm为28.7g、3cm为10.2g,枯落物厚度超过3cm时土壤冲失量等于0。沙棘林地去掉枯落物的土壤冲失量为168.4g,有1cm枯落物的土壤冲失量为72.6g,2cm为5.5g,超过2cm的为0。油松林地去掉枯落物的土壤冲失量为27.5g,枯落物厚度超过1cm时便无土壤冲失。可见林地枯落物层尤其枯落物的厚度是防治土壤冲失的重要指标。

## 2.4 林地土壤物理性质的改善

林分枯落物的分解和植物根系的腐烂,增加了土壤肥力,改善了土壤结构和物理性质。从而影响到土壤的入渗和抗冲性。

2.4.1 林地土壤容重的变化 土壤容重是土壤的一种物理性质,它与土壤孔隙率高低有关,并影响土壤的保水能力和渗透性能。表7看出,各种林地的土壤容重均较农地小。并且不同林分的土壤容重成林比幼林小,特别是林地表土壤容重变小。

表7 不同林分土壤容重比较

土层深度 (cm)	刺槐成林 (g/cm <sup>3</sup> )	柠条成林 (g/cm <sup>3</sup> )	柠条幼林 (g/cm <sup>3</sup> )	沙棘成林 (g/cm <sup>3</sup> )	沙棘幼林 (g/cm <sup>3</sup> )	农地 (对照) (g/cm <sup>3</sup> )
0~10	1.14	1.04	1.17	1.11	1.16	1.22
10~25	1.25	1.14	1.33	1.26	1.31	1.34
25~50	1.25	1.22	1.34	1.25	1.35	1.34
50~100	1.33	1.31	1.34	1.36	1.34	1.35
100~150	1.38	1.20	1.35	1.35	1.36	1.36
150~200	1.39	1.18	1.36	1.36	1.36	1.35
平均	1.29	1.18	1.32	1.28	1.31	1.33

2.4.2 林地土壤入渗性能的提高 据1994年在安塞县对林地土壤入渗性能的测定,林地土壤入渗性能均高于荒地。初渗率刺槐林为3.75mm/min、柠条林为5.22mm/min、沙棘林为2.84mm/min、荒地为1.56mm/min,柠条林最高为荒地的3.3倍。稳渗率刺槐林为2.80mm/min、柠条林为1.31mm/min、沙棘林为1.54mm/min、荒地为0.79mm/min,刺槐林最高为荒地的3.5倍。由此看出,林地具有较高的渗透性能。

2.4.3 林地土壤抗冲性能 根据1994年对刺槐、柠条、沙棘林土壤抗冲性测定结果,三种林地土壤的抗冲性均较荒地高,说明森林能增强土壤的抗冲性能。0~5cm土壤表层的抗冲性以柠条林最高,刺槐、沙棘林次之。在土壤为均质黄绵土的刺槐、柠条林地从土层深度0~5cm、15~20cm、45~50cm、95~100cm的土壤全部剖面,由上到下土壤抗冲刷性随土层深度和冲刷坡度的增加及植物根量的减少而减弱。对黄土高原来说,如何提高土壤的抗冲性,对减少和防治水土流失具有重要的实际意义。

### 3 结 论

1、刺槐、柠条、沙棘×油松、沙棘×小叶杨幼林到郁闭成林的蓄水保土效益的变化分三个阶段。1~3年生为效益低下阶段,只要出现侵蚀性降雨就会发生水土流失,4年生幼林的效益为由低到高的过渡阶段。生长快、覆盖度高的沙棘及其混交林的效益增长最快,较农地可减少径流量96.7%、侵蚀量99.8%。刺槐林增长较快,可减少径流量77.5%、侵蚀量99.3%,4年生直播柠条林因覆盖度低效益增长慢,虽能减少侵蚀量90%以上,但径流量仍高于农地;5年生以上的林分为效益显著阶段。除柠条林外其余林分已郁闭成林,地被物层也逐步形成,在无大暴雨情况下基本不发生水土流失。且林分覆盖度达60%时林地减少土壤侵蚀量的作用显著。

2、从林地枯落物蓄积动态及蓄水保土功能看,刺槐林枯落物一年中有两个凋落高峰期,第一5月下旬的开花期,凋落量占14.6%,第二落叶期,凋落量占51.2%。全年蓄积量3.08t/hm<sup>2</sup>,容水量6.78t/hm<sup>2</sup>,年分解率36%~50%。柠条林叶片9~10月凋落,蓄积量0.35t/hm<sup>2</sup>,容水量0.77t/hm<sup>2</sup>,年分解率80%~100%。沙棘林落叶较晚,并经几次霜打后凋落,10月下旬至11月下旬为凋落期。年蓄积量4.75t/hm<sup>2</sup>,容水量11.88t/hm<sup>2</sup>,年分解率60%~80%。

3、在相同的冲刷条件下,枯落物厚度增强土壤抗冲性效应为:刺槐林枯落物厚度超过3 cm、沙棘林超过2 cm、油松林超过1 cm时,土壤无冲刷。

4、森林枯落物的分解和根系的腐烂,增加了土壤肥力,改良了土壤结构和土壤物理性质,使土壤容重变小、入渗和抗冲性增强。

#### 参考文献

- 1 汪有科等. 林地枯落物抗冲试验. 中国科学院水利部水土保持研究所集刊,第14集,1991,59~61
- 2 侯喜禄等. 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,第2期,1984,22
- 3 吴钦孝等. 油松、山杨林枯枝落叶层蓄积动态的研究. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,第14集,1991,53~54
- 4 侯喜禄等. 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,第14集,1991,99~100