

# 人工林草植被蓄水减沙效益的研究

侯喜录 梁一民 曹清玉

(中国科学院  
水利部西北水土保持研究所)

## 摘 要

本文通过26个林草植被径流小区10年和3年观测,分析了陕北安塞黄土丘陵沟壑区不同人工林草植被蓄水减沙效益。结果表明:不同人工林草植被除生长慢的柠条幼林外,其余8个林种均较对照牧荒坡蓄水效益显著;柠条成林、刺槐成林保土减沙效益最好,2~4年生沙棘幼林,1~6年生刺槐幼林、1~6年生刺槐×紫穗槐幼林减沙效益较好;2~4年生侧柏×紫穗槐幼林有一定减沙效益;幼树生长慢的柠条幼林、沙棘×油松、沙棘×杨树叶林无减沙效益。退耕农地种植牧草,蓄水减沙效益均好于对照农耕地,以沙打旺草地效益最好。

**关键词:** 人工林草植被 减沙效益

## STUDY ON WATER CONSERVATION AND SEDIMENT REDUCTION OF ARTIFICIAL VEGETATION

Hou Xilu Liang yimin Cao Qingyu

(Northwest Institute of Soil and Water conservation, Chinese Academy of  
Science and Ministry of Water Conservancy)

## Abstract

The effect of water conservation and sediment reduction on artificial vegetation on loess hilly and gully region in north Ansai is analysed in this paper by 10 years observation from 26 runoff plots. The results showed that 8 species of artificial woodland were much better than wasted rangeland in water conservation except yang slowly growing Caragana woodland. The grown up Caragana Korshskii and Robinia Pseudoacacia were best in sediment reduction; 2-4 years old Hippophae Rhamnoides, 1-6 years old Robinia Pseudoacacia and 1-6 year old Robinia Pseudoacacia mixed with Amorpha Fruticosa better; 2-4 years old Biota Orientalis and Amorpha Fruticosa mixed woodland had some effects on sediment reduction and slowly growing Caragana Korshinskii, Pinus Tabulaeformis mixed with Hippophae Rhamnoides, Hippophae Rhamnoides mixed with Populus Dardiana had none. It could increase the effect of water conservation and sediment reduction by changing

the slope cropland to artificial grassland, of which, the *Astragalus adsurgens* is best.

**key words:** Artificial vegetation, Sediment Reduction

## 0 前 言

黄河中游黄土高原水土流失十分严重,是造成这一地区农业低产和大量泥沙输入黄河的症结所在。根据黄河中游不同地区的泥沙来源统计,流入黄河的泥沙绝大部分来自黄土丘陵沟壑区。其中尤以陕西省北部、山西省西部、内蒙南部和甘肃省东南部一带黄土丘陵沟壑区的水土流失最为严重,是黄河泥沙的主要来源地,因而是目前控制水土流失、减少入黄泥沙、加快水土保持综合治理的重要地区。

为了研究陕北黄土丘陵沟壑区水土流失规律和人工林草植被蓄水减沙效益,寻求水土保持效益高的人工林草植被类型,为该类型区建造人工植被,防治水土流失提供依据。1980年和1986年先后在陕西省北部的安塞县沿河湾镇的县南沟及纸坊沟流域布设不同人工林草植被蓄水减沙效益试验。现将10年和3年径流泥沙观测资料加以整理分析。

## 1 试验区自然条件

试验区地处延河中上游,侵蚀地貌属陕北黄土丘陵沟壑区第二副区。沟壑纵横,地形破碎,土壤疏松,植被稀疏。沟壑密度 $8.15\text{km}/\text{km}^2$ ,海拔高度 $1\,010\sim 1\,400\text{m}$ 。地面坡度组成:梁峁顶部平缓,一般 $3^\circ\sim 10^\circ$ ;梁峁坡较陡,一般 $15^\circ\sim 25^\circ$ ,少数达 $30^\circ$ ;沟坡大多 $35^\circ$ 以上;塌地坡度较缓,一般 $15^\circ\sim 20^\circ$ 。地表的主要组成物质为第四纪黄土,其次为黄土的冲积物、坡积物和河道冲积砂砾等。主要土壤类型有黑垆土、黄绵土、红胶土、灌淤土、石泡土等。其中黄绵土占总面积的 $77.1\%$ ,沟床和沟岸有岩石和红土出露。植被地带属陕北森林草原区,并以草原植被为主、主要是暖温型干草原成分,一般覆盖度 $40\%\sim 60\%$ 。气候属温带大陆季风的半干旱地区,年平均气温 $8.8^\circ\text{C}$ 。极端最低气温 $-23.6^\circ\text{C}$ ,无霜期159天。年平均降雨量 $549.1\text{mm}$ ,但年际和年内分布不均,一年中7、8、9三个月降雨量占年雨量的 $61.1\%$ ,且多暴雨,水土流失严重。据招安水文站的资料,年侵蚀模数 $14\,000\text{t}/\text{km}^2$ 左右,在陕北黄土丘陵沟壑区具有一定的代表性。

## 2 试验方法

**2.1 径流小区的布设** 林草植被径流小区坡度 $27^\circ$ ,水平投影面积 $20\text{m}\times 5\text{m}$ ,四周用水泥板或石板围埂,上方设截水沟,下部有集水槽与积水池或分流箱相连。人工林植被设9个处理,1个对照,两次重复。人工牧草设5个处理,1个对照,两次重复(见表1)。

### 2.2 观测项目与方法

**2.2.1 观测项目:** 降雨、径流、泥沙、覆盖度、土壤水分、枯落物容水量。

**2.2.2 观测方法:** 径流小区雨后取泥水样,称重、澄清、烘干泥样。先算出池、箱

表 1 林草植被径流小区基本情况

项 目		坡 向	年* 龄	密 度 (株/亩)	株 高 (mm)	地* 径 (cm)	郁 闭 度	覆 盖 度 (%)	备 注
人工林植被径流小区	柠条成林	WN45°	14	559	1.4			60~80	
	6~15年刺槐林	S	15	74	11.4	11.2°	0.72~0.8		·胸径
	1~6年刺槐林	ES10°	6	296	6.4	6.2°	0.6~0.8		
	1~6年刺槐×紫穗槐	ES10°	6	314	6.4	6.5	0.7~0.85		
	2~4年柠条林	ES15°	4	667	1.36		2	20~50	
	2~4年沙棘林	EN20°	4	296	3.1	3.0		75~90	
	2~4年沙棘×油松	ES25°	4	296	3.8	3.3		60~70	
	2~4年沙棘×杨树	SE40°	4	296	2.1	2.6		50~60	
	2~4年侧柏×紫穗槐	ES13°	4	296	1.7	1.1		30~50	
	天然牧荒坡	SE26°						40~60	
人工牧草径流小区	2~8年沙打旺	ES40°	3~6	2 600	1.51			90	·生长年限
	2~4年沙打旺	ES7°	4	2 000	1.47			90	
	1~5年苜蓿	ES40°	5	5 558	0.55			60	
	1年生苜蓿	ES30°	1	5 558	0.25			10~25	
	2~4年红豆草	ES7°	4	4 447	0.69			25~40	
	农耕地	ES7°						20~30	作物谷子

注：①密度、郁闭度、覆盖度均为1989年测定数据；

②地统部位均为27°沟坡上。

中泥水体积，用样中的干土重除以取样的泥水体积得含沙量，用含沙量乘以池、箱中泥水体积得泥沙量。用静水浸泡法测其枯落物的持水量。

3 结果分析

3.1 不同人工林种蓄水减沙效益 表2资料说明，不同人工林种蓄水保水效益不同，除生长慢的柠条幼林外，其余林种均比对照天然牧荒坡蓄水保水效益显著。平均年径流量大小顺序：天然牧荒坡>2~4年沙棘×杨树幼林>2~4年沙棘×油松幼林>2~4年沙棘幼林>2~4年侧柏×紫穗槐幼林>1~6年刺槐×紫穗槐幼林>1~6年刺槐林>6~15年刺槐林>柠条成林。从径流量大小排序中得出：柠条成林、刺槐成林蓄水保水效益最好；刺槐、沙棘、紫穗槐等幼树生长快的树种组成的纯林和混交幼林有较好的蓄水效益；柠条幼苗生长慢，幼林无蓄水效益。

表3不同林种土壤侵蚀量比较表明：柠条成林、6~15年刺槐成林保土减沙效益最好；2~4年沙棘幼林、1~6年刺槐×紫穗槐幼林、1~6年刺槐幼林保土减沙效益

较好, 2~4年柠条幼林、2~4年沙棘×油松幼林、2~4年沙棘×杨树幼林保土减

表2 不同林种类型径流量比较

项 目 (年)	汛 期 降雨量 (mm)	天 然 牧荒坡 (对照)	柠 条 成林	2~4年 柠 条 幼林	6~15 年刺槐 成林	1~6年 刺槐 幼林	1~6年 刺槐 × 紫穗槐	2~4年 沙 棘 幼林	2~4年 沙棘 × 油松	2~4年 沙棘 × 杨树	2~4年 侧柏 × 紫穗槐
1980	270.9	184.5	15.9		16.8						
1981	412.1	246.3	64.9		54.4						
1982	235.1	0	0		0						
1983	402.6	214.6	0.94		34.3						
1984	518.6	683.5	97.5		49.2	416.1	421.4				
1985	539.0	268.3	8.94		29.6	36.1	36.1				
1986	246.2	0	0		0	0	0				
1987	213.1	0	0	14.8	0	0	0	11.5	12.4	122.5	95.6
1988	566.5	549.7	7.14	528.7	1.6	5.8	5.4	324.8	392.6	285.7	194.3
1989	353.3	263.8	20.3	318.6	36.2	30.2	30.1	12.6	36.8	91.3	44.3
平均	375.8	241.5	21.6	287.4	22.2	81.4	82.3	116.3	147.3	166.5	111.4
比对照减少比例(%)			91.1	-19.0	90.8	66.6	65.9	51.8	39.0	31.1	53.9

表3 不同林种类型土壤侵蚀量比较

项 目 (年)	汛 期 降雨量 (mm)	天然荒 坡草地 (对照)	柠 条 成林	2~4年 柠 条 幼林	6~15 年刺槐 成林	1~6年 刺槐 幼林	1~6年 刺槐 × 紫穗槐	2~4年 沙 棘 幼林	2~4年 沙棘 × 油松	2~4年 沙棘 × 杨树	2~4年 侧柏 × 紫穗槐
1980	270.9	1044.8	8.0		37.5						
1981	412.1	972.2	14.4		161.4						
1982	235.1	0	0		0						
1983	402.6	1737.8	1.7		73.3						
1984	518.6	3742.8	5.9		21.4	4115.0	4203.1				
1985	539.0	3062.3	1.4		11.8	54.9	49.7				
1986	246.2	0	0		0	0	0				
1987	213.1	0	0	225.9	0	0	0	1548.5	1960.9	505.9	227.9
1988	566.5	614.9	8.4	777.4	1.31	8.9	8.3	115.2	1015.8	1101.9	1286.8
1989	353.3	287.4	7.3	3411.7	27.4	17.8	17.2	67.6	537.4	2787.7	1344.6
平均	375.8	1146.2	4.7	1471.7	33.4	699.4	713.1	577.1	1171.4	1465.2	953.1
比对照减少比例(%)			99.6	-28.4	97.0	39.0	37.8	49.7	-2.2	-27.8	16.8

沙效益都低于天然牧荒坡。这些资料表明, 未郁闭的幼林地, 特别是幼树生长慢并且郁闭度小的幼林地与天然牧荒坡相比, 一般没有保土减沙效益或效益很低。

**3.2 人工牧草地蓄水减沙效益** 表4 不同人工牧草地径流量比较看出, 除1年生苜蓿草地外, 沙打旺、红豆草和2年生以上苜蓿地均比对照农耕地蓄水保水效益高。以沙打旺草地效益最好, 2~8年生沙打旺草地, 即沙打旺一个生长周期中的年平均径流量较农耕地减少70.1%。

表4 不同人工牧草地径流量比较

项 目 (年)	汛 期 降雨量 (mm)	农 地 (对照)	2~8年生 沙打旺	2~4年生 沙打旺	1~5年生 苜 蓿	1~2年生 苜 蓿	2~4年生 红豆草	备 注
1980	270.9	237.4	105.4					1 到 2 年生苜蓿因 补种, 实际 为 1 年生
1981	412.1	301.0	98.6					
1982	235.1	0	0		0			
1983	402.6	247.4	45.4		85.4			
1984	518.6	414.5	90.2		383.9			
1985	539.0	277.3	33.8		236.9			
1986	246.2	4.2	0		1.5			
1987	213.1	0		14.5		17.5	9.9	
1988	566.5	101.0		64.4		365.4	241.4	
1989	353.3	199.4		89.5		241.4	130.2	
平均	375.8	178.2	53.3	56.1	141.5	208.1	127.2	
较对照减少比例(%)			70.1	68.5	20.6	-16.8	28.7	

表5 不同人工牧草地土壤流失量比较表明：人工牧草地均比农耕地保土减沙效益好，尤其沙打旺草地的保土减沙效益显著。2~8年生沙打旺草地和2~4年生沙打旺

表5 不同人工牧草地土壤侵蚀量比较

项 目 (年)	汛 期 降雨量 (mm)	农 地 (对照)	2~8年生 沙打旺	2~4年生 沙打旺	1~5年生 苜 蓿	1~2年生 苜 蓿	2~4年生 红豆草	
1980	270.9	4417.8	164.8					
1981	412.1	2010.9	54.3					
1982	235.1	0	0		0			
1983	402.6	4430.5	234.7		607.6			
1984	518.6	5347.8	69.2		2503.2			
1985	539.0	8142.8	14.4		6347.6			
1986	246.2	23.4	0		2.4			
1987	213.1	0		241.9		300.3	246.0	
1988	566.5	1043.4		53.1		758.3	758.2	
1989	353.3	4860.8		743.1		3695.7	4497.3	
平均	375.8	3027.7	76.8	340.0	1892.2	1584.8	1823.8	
较对照减少比例(%)			97.5	88.8	37.5	47.7	39.8	

草地分别比农耕地减少土壤侵蚀量97.5%和88.8%。说明退耕陡坡农耕地种植人工牧草，不仅能提供饲料、绿肥，提高土壤肥力增加单产，同时还能大大减少水土流失。

3.3 不同人工林草植被和同一林草植被不同年份水土流失差异悬殊的原因 从以上2、3、4、5表看出，在6~9月汛期降雨量相近时，林草植被相同而径流量悬殊很大？究其原因：汛期降雨量系指6~9月份的降雨量总和，虽然出现不同年份汛期

降雨量相近，但各年份的降雨次数和雨强不同，尤其暴雨的次数和强度的差异。因水土流失主要由暴雨所造成，据观测，暴雨造成的水土流失量，一般占总流失量的20%~80%（见表6）。现从1984年（汛期降雨518.6mm）和1988年（汛期降雨566.5mm）为例，这两年汛期降雨量相近，但同一林草植被如柠条成林、6~15年生刺槐成林、农耕地等小区所产生的径流量相差几倍到几十倍。前者分别为97.5m<sup>3</sup>/ha、49.2m<sup>3</sup>/ha、414.5m<sup>3</sup>/ha，后者为7.1m<sup>3</sup>/ha、1.6m<sup>3</sup>/ha、101.0m<sup>3</sup>/ha，前者分别为后者的13.6倍、30.3倍、4.1倍。

表6 暴雨与水土流失的关系

降雨日期 (年、月、日)	降雨量 (mm)	平均雨强 (mm/min)	短时最大 降雨历时 (min)	短 时 最大雨强 (mm/min)	天然荒坡草地				柠 条 成 林			
					侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	占年总 量比例 (%)	径流量 (L/ha)	占年总 量比例 (%)	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	占年总 量比例 (%)	径流量 (L/ha)	占年总 量比例 (%)
1984.8.3	108.0	0.25	136	0.56	915	24.4	133760	19.6	3.6	61.0	19251.6	19.8
1985.8.5	60.5	0.4	33	1.34	2671.7	82.7	190861	71.1	7.3	51.6	4633.0	51.8
1985.6.15	23.7	0.37	48	0.44	359.2	11.7	66045	24.6	0.7	50.0	4304	48.2
1989.7.16	134	0.14	68	0.14	287.4	100	267775	100	7.3	100	20328	100

6~15年生刺槐林				2~8年生沙打旺草地				农 耕 地			
侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	占年总量 比 例 (%)	径流量 (L/ha)	占年总量 比 例 (%)	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	占年总量 比 例 (%)	径流量 (L/ha)	占年总量 比 例 (%)	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	占年总量 比 例 (%)	径流量 (L/ha)	占年总量 比 例 (%)
3.85	18.0	31467.5	64.0	5.6	8.1	42957	47.6	2082.8	38.9	161980	39.1
9.5	80.0	23576.8	79.6	10.0	70.8	23272	69.0	6878.9	84.5	195035	70.3
2.3	19.5	6054.2	20.4	4.2	29.2	10478	31.1	1129.9	13.9	68909	24.8
27.4	100	36168.4	100					4860.8	100	199399	100

在1984年汛期降雨40次，其中暴雨2次。如8月3号的暴雨，降雨量108.0mm，历时7h6min，平均雨强0.25mm/min，短历时最大降雨历时76min，短历时最大雨强0.56mm/min，各林草植被小区都发生了严重水土流失。表5中的牧荒坡草地、柠条成林、6~15年生刺槐成林、2~8年生沙打旺草地和农耕地所产生的地表径流量分别占年径流总量的19.6%、19.8%、64%、47.6%、39.1%；1988年汛期降雨共53次，虽有两场较大的降雨，但雨强较小，即6月25日降雨量54.3mm，平均雨强0.08mm/min，只有农耕地和牧荒坡小区产生轻度水土流失。8月7日降雨量42.0mm，平均雨强0.06mm/min，这次降雨各小区均无发生水土流失。特别是1988年没有大暴雨，因此水土流失轻，径流量较1984年小几倍到几十倍之差。

表中统计资料还表明：牧荒坡草地基本上较所有人工林植被径流量大，刺槐及柠条成林、沙棘林减沙效益最显著；人工草地特别是沙打旺草地均比农耕地蓄水减沙效益高，因牧荒坡草地表土紧实，渗透性差，最易产流，所以径流量最大。农耕地土壤疏松，植被覆盖度小，虽能吸收渗透一定的降雨，但很快饱和而产生大量径流，冲走大量疏松土壤。

刺槐成林蓄水减沙效益高的原因在于：该地区沟坡营造的刺槐林生长较好，郁闭度

较大，对降雨的截留作用较大。尤其林地枯落物量较多、持水量较高（见表7），如5~15年生刺槐林地每公顷枯落物量可达1238~3780kg，持水量达2352~7972kg。能够发挥较好的涵养水分、保持水土的作用。

表7 刺槐、油松、沙棘林地枯落物量及持水量

项 目	树龄 (Y)	树 高 (m)	胸 径 (cm)	密 度 (株/ha)	lha采样重 (kg)	lha干重 (kg)	lkg持水量 (kg)	lha持水量 (kg)
刺槐	1	0.71	0.8	3330		54.5	1.7	93.0
刺槐	2	1.5	1.7	3330		118	1.7	201
刺槐	3	3.0	3.9	3330		447	1.6	715
刺槐	4					763	2.1	1602
刺槐	5					1238	1.9	2352
刺槐	6					1975	2.0	3950
刺槐	8	11.0	9.1	4005	3502	3129	2.1	6571
刺槐	8	6.4	6.3	3330	3802	2880	1.3	3744
刺槐	13	12.4	14.2	2505	6503	3780	1.7	6426
刺槐	15	13.3	14.4	3000	7604	3466	2.3	7972
油松×紫穗槐	13	3.1	3.1	4500	3002	2166	1.4	3032
沙棘	3	2.4	1.8	4447	2514	1301	1.2	1561
柠条		1.47		8385	1001	772	1.3	1004

从表8径流系数与林种关系看到，不同的人工林种在1989年7月16日降雨量136.5mm的大暴雨和7月22日16.5mm降雨量的一般侵蚀性降雨情况下。径流系数差异很大，

表8 径流系数与林种类型的关系

林 种	径 流 量 (L/ha)	径 流 深 (mm)	径流系数 (%)	备 注
6年生刺槐林	30217.9	3.02176	2.3	降雨量136.5mm、 平均雨强0.15mm/min、 短历时最大雨强 1.15mm/min
15年生刺槐林	13987.0	1.3687	1.0	
4年生柠条林	315554.2	31.5554	23.1	
4年生侧柏×紫穗槐	41745.3	4.17453	3.5	
4年生沙棘林	12578.8	1.25788	0.92	
4年生沙棘×油松	35619.5	3.56195	2.6	
4年生沙棘×杨树	89447.2	8.94472	6.6	
6年生刺槐林	0	0	0	降雨量16.5mm 平均雨强0.18mm/min 最大雨强0.52mm/min
15年生刺槐林	386.21	0.038621	0.2	
4年生柠条林	2488.0	0.2488	1.5	
4年生侧柏×紫穗槐	2882.3	0.28823	1.7	
4年生沙棘×油松	0	0	0	
4年生沙棘×杨树	1217.3	0.12173	0.7	

6年和15年生刺槐成林的径流系数最小。这说明无论是大暴雨,还是一般侵蚀性降雨,刺槐成林地产生的地表径流量均较少。柠条成林的蓄水减沙效益,主要取决于柠条枝干丛生并能与杂草共生,有利于拦阻径流泥沙。枯落物易分解,有改良土壤作用,林地土壤容重小(见表9),土壤渗透性较好。沙棘幼林能较快起到蓄水减沙效益,主要是沙

表9 不同林草类型土壤容重

(g/cm<sup>3</sup>)

土层深度 (cm)	柠条成林	6~15年 刺槐林	2~8年 沙打旺草地	天然牧荒坡	农耕地
0~8	1.04	1.44	1.39	1.44	1.22
25~25	1.14	1.25	1.34	1.24	1.37
45~50	1.22	1.25	1.37	1.24	1.42
100~105	1.31	1.33	1.43	1.27	1.44
150~155	1.20	1.38	1.42	1.33	
195~200	1.18	1.39	1.40	1.42	
平均	1.18	1.34	1.39	1.32	1.32

棘幼林生长迅速,并且造林后第3年林地有大量根蘖苗萌生,五年可达高度郁闭覆盖地表,加之根系浅而密集,沿水平方向生长,能固结表土。沙打旺草地蓄水减沙效益在人工草地中最好,主要原因是沙打旺草地密度大、生长好、株高、覆盖度大,2~3年可形成高郁闭的草地。其次是沙打旺的改良土壤作用。

## 4 结 论

4.1 不同人工林种的蓄水减沙效益不同,除生长慢的柠条幼林外,其余8个林种均比对照天然牧荒坡蓄水效益高。其径流量大小排序:天然牧荒坡>2~4年沙棘×杨树幼林>2~4年沙棘×油松幼林>2~4年沙棘幼林>2~4年侧柏×紫穗槐幼林>1~6年刺槐×紫穗槐林>1~6年刺槐林>6~15年刺槐成林>柠条成林。而柠条成林、刺槐成林的保土减沙效益最好;由沙棘、刺槐、紫穗槐等幼树生长快的树种组成的纯林及混交幼林亦有较好的保土减沙效益;幼树生长慢、郁闭度低的幼林与天然牧荒坡相比,一般没有保土减沙效益或效益很低。

4.2 不同品种的人工牧草地,除1年生苜蓿外,沙打旺、红豆草、2年生以上的苜蓿等草地均较对照农耕地蓄水减沙效益高,以沙打旺草地效益最好。说明退耕陡坡农地种植牧草,不仅能提供饲草、绿肥,培肥地力增加单产,还能大大减少水土流失。

4.3 坡面的土壤流失量主要来自陡坡农耕地,牧荒坡的地表径流量大于营造的人工林地。为了加速黄土高原治理,减少水土流失和入黄泥沙,必须在荒山大力营造生长快、效益高的刺槐、柠条、沙棘等水土保持林。从长远观点出发,为了提高林地的防护及经济效益,还要营造乔、灌混交林或乔灌草混交复层植被。如沙棘×油松、沙棘×杨树、油松×紫穗槐、刺槐×油松(阴坡刺槐林改造)等。同时要大搞基本农田建设,提高粮食单产,逐步退耕陡坡农耕地种草造林,还林还牧。对一时退不下来的陡坡农地,可实行草粮带状间轮作或草灌带状间作,既能保持水土,又能提供饲草改良培肥土壤,提高产量。