

# 黄土丘陵沟壑区主要水保林类型 及草地水保效益的研究

侯喜禄 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

本文分析了黄土丘陵沟壑区主要水保林类型及草地水保效益动态的观测资料,结果表明,柠条成林、刺槐成林、沙棘林保水保土效益好,柠条幼林及沙棘与油松、杨树混交幼林保土效益低于荒坡;林地的侵蚀量与林地的覆盖度呈二次多项式关系,并呈负相关,且覆盖度60%~70%为有效盖度;在林冠郁闭度相近情况下,林地活地被物层盖度越大,林地土壤侵蚀量越小;降雨强度特别是暴雨对林地的径流和冲刷影响极大,而且水土流失主要由暴雨造成,其流失量为总量的20%~97%;人工牧草地水保效益均高于农地,以沙打旺草地最好。

**关键词** 水土保持林 径流 泥沙

## A STUDY ON BENEFITS OF SOIL AND WATER CONSERVATION BY MAIN WOODLAND AND GRASSLAND TYPES IN LOESS HILLY REGION

Hou Xilu

Liang Yimin

Cao Qingyu

(NW Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Conservancy)

## Abstract

The effects of water conservation and sediment reduction of nine woodland types and five grassland types in loess hilly region were analysed in the paper. The results of the experiment showed that the benefits of soil and water conservation in the plantations of *Caragana microphylla* and *Robinia pseudoacacia* were the best of all plantations. Compared with the natural rangeland, they reduced runoff and soil loss by more than 90% and 97%, respectively. In the meantime, the young growth of *C. microphylla* and mixed plantations *Hippophae rhamnoides* with *Pinus tabulaeformis* or *Populus* benefited the water conservation, but did not benefit the sediment re-

duction, they reduced only runoff by 40%, but increased soil loss. The relationship between the erosion modulus of woodland and its cover degree was an equation in quadratic multinomial and 60~70% of cover degree was regarded as effective cover degree for soil and water conservation. Under the same canopy density the erosion modulus reduced with ground cover increase. Rain intensity, especially storm, affected strongly runoff and erosion in woodland, and the water loss and soil erosion were caused dominantly by storm. The conservation benefits in artificial grassland were better than that in farmland. Among them *Astragalus adsurgens* grassland was the best.

**Key words** forest for soil and water conservation runoff sediment

为了研究黄土丘陵沟壑区水土保持林、草的水保效益,寻求水土保持效益高的森林类型及草地,为该类型区恢复和建造植被及“三北”防护林体系建设,防治水土流失提供科学依据。1980年和1986年先后在陕西省安塞县的县南沟及纸坊沟流域布设了本类型区的刺槐林、柠条林、沙棘及其混交林、沙打旺草地等8个水土保持林类型和5个牧草地径流小区,进行其水土保持效益研究。

## 1 试验地区概况及径流小区基本情况

试验地区地处陕北黄土丘陵沟壑区第二副区,气候属暖温带半干旱地区,年平均气温 $8.8^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-23.6^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $3\ 283^{\circ}\text{C}$ ,平均无霜期159天。年平均降雨量 $549.1\text{mm}$ ,但分布不均,7、8、9三个月降水量占年降水量的61.1%,且多暴雨。水土流失严重,土壤侵蚀模数 $14\ 000\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。

试验区地形破碎,梁峁起伏,沟壑密度 $8.06\text{km}/\text{km}^2$ ,海拔高度 $1\ 100\sim 1\ 400\text{m}$ 。地带性土壤为黑垆土,因长期侵蚀而流失,现仅零星分布,主要土壤类型为黄绵土,占总面积的77.1%。此外,还有二色土、红胶土、五花土、石泡土、洪淤土。植被地带属暖温带落叶阔叶林区向温带草原区的过渡带——陕北森林草原区。试验区本世纪30年代曾分布着茂密的次生林,由于人为的破坏,到50年代森林已经绝迹,灌木呈零星分布,形成了以中旱生草本植物群落占绝对的优势植被,一般覆盖度40%~60%。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型水土保持林蓄水保土效益

林地的蓄水保土效益与林种类型、林(树)冠郁闭度或覆盖度、地被物层盖度,降雨强度和暴雨关系密切。现就8个水土保持林类型径流小区和刺槐治理沟的10年、6年和3年观测结果整理分析如下。

#### 2.1.1 不同类型水土保持林拦蓄降水的效益

表 1 水土保持林草径流小区基本情况

项 目	沟道 名称	地貌 部位	坡 向	坡度	土壤 类型	树 龄	密度 (株/亩)	株高 (m)	胸径 (cm)	林冠郁 闭度(%)	活地被 物层盖 度(%)
柠条成林	县南沟	沟坡	WN45°	27°	黄绵土	14	559	1.4		50~60	40~50
6~15年 刺槐林	"	"	S	"	"	15	74	12.9	12.6	50~65	30~40
1~6年 刺槐林	"	"	ES10°	"	"	6	296	5.0	5.4	60~75	10~15
1~6年 刺槐×紫 穗槐	"	"	ES10°	"	"	6	150 150	.9	5.5	50~60	15~25
2~14年 刺槐林	纸坊沟	"	WN20°	"	"	14	74	11.4	11.2	50~60	20~30
2~4年 柠条林	"	"	ES15°	"	"	4	667	1.36		20~50	5~8
2~4年 沙棘林	"	"	EN20°	"	二色土	4	296	3.1	3.0	65~90	
2~4年 沙棘×油 松	"	"	ES25°	"	"	4	150 50	2.8	3.3	50~60	10~12
2~4年 沙棘×杨 树	"	"	SE40°	"	"	4	296	2.1	2.6	45~55	10~12
天然牧 荒坡	县南沟	"	SE26°	"	黄绵土					50~60	
2~8年 沙打旺	"	"	ES40°	"	"	2~8	2600	0.2~1.5		56~95	
1~5年 苜蓿	"	"	ES40°	"	"	1~5	5558	0.15~0.5		18~60	
2~4年 沙打旺	纸坊沟	"	ES7°	"	"	2~4	2000	0.2~1.47		40~90	
2~4年 红豆草	"	"	ES7°	"	"	2~4	4447	0.5~0.7		25~40	
1~2年 苜蓿	"	"	ES30°	"	"	1~2	5558	0.2~0.25		10~25	
农耕地 (谷子)	"	"	ES37°	"	"	1		0.3~1.0		15~40	
农耕地 (谷子)	县南沟	"	ES40°	"	"	1		0.5~1.5		15~50	

图 1 看出,不同类型的水土保持林平均径流量不同,即蓄水保水效益不同。图中所列 8 个水土保持林类型,与天然荒坡比较均提高了蓄水保水作用。以柠条成林,6~15 年生刺槐成林效益最好,可减少径流量 90% 以上;2~4 年生沙棘林、1~6 年生刺槐林、1~6 年生刺槐与紫穗槐混交林、2~4 年生沙棘与油松、杨树混交林较好,可减少径流量 65.9~78.2%;2~4 年生柠条幼林效益最差,只减少径流 40% 左右。上述资料说明,在牧荒坡植树造林可大大减少地表径流,而且郁闭成林的效益高于幼林,幼林相比,幼树生长快的沙棘其效益高于生长慢的柠条幼林。

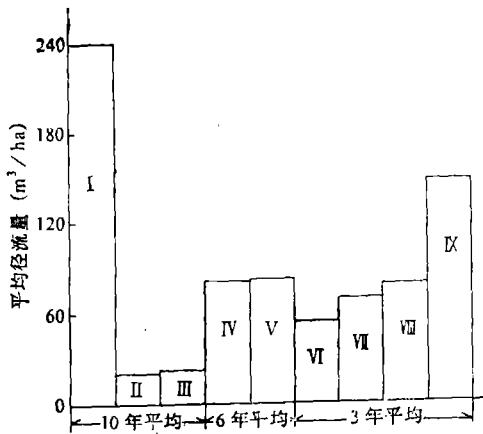


图1 不同水土保持林地表面径流量比较图

### 2.1.2 不同类型水土保持林保土减沙效益

图2可知,不同类型水土保持林的10年、6年、3年平均土壤侵蚀量差异很大,即保土效益不同。以柠条成林和刺槐成林最好,较天然荒坡可减少土壤侵蚀量99%和97%;2~4年生沙棘林、1~6年生刺槐林和刺槐与紫穗槐混交林效益较好,分别减少土壤侵蚀49.7%、39%和37.8%;2~4年生沙棘与油松、杨树混交林及柠条幼林的保土效益低于天然荒坡。

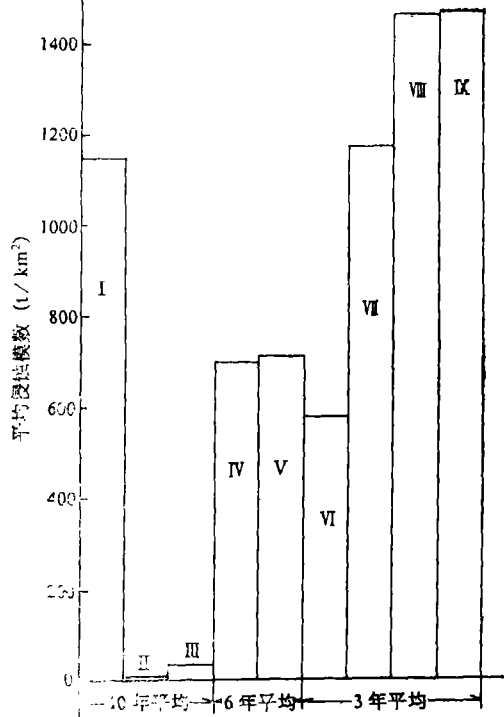


图2 不同水土保持林土壤侵蚀量比较图

### 2.1.3 刺槐治理沟对土壤侵蚀的影响

刺槐治理沟面积300亩,刺槐面积占80%。对比沟面积180亩,农林地各占22%,荒坡占56%。刺槐治理沟对土壤侵蚀影响显著(图3)。治理沟9年平均侵蚀模数1496t/km²·a,对比沟为4869t/km²·a,刺槐治理沟较对比沟可减少土壤侵蚀69.3%。

## 2.2 林地覆盖度及地被物与土壤侵蚀量的关系

### 2.2.1 林地覆盖度与林地土壤侵蚀量的关系

根据观测资料,选择了降雨和林地覆盖度都有代表性的1989年为例。①该年是个平水年,降雨量540mm,但出现了大暴雨,即7月16日暴雨。县南沟降雨量134.0mm,纸坊沟降雨量136.5mm,降雨历时5h59min,平均雨强0.38mm/min,短历时最大雨强1.15mm/min,短时最大降雨持续1.06h。这场暴雨与延安地区有记载以来最大日降雨

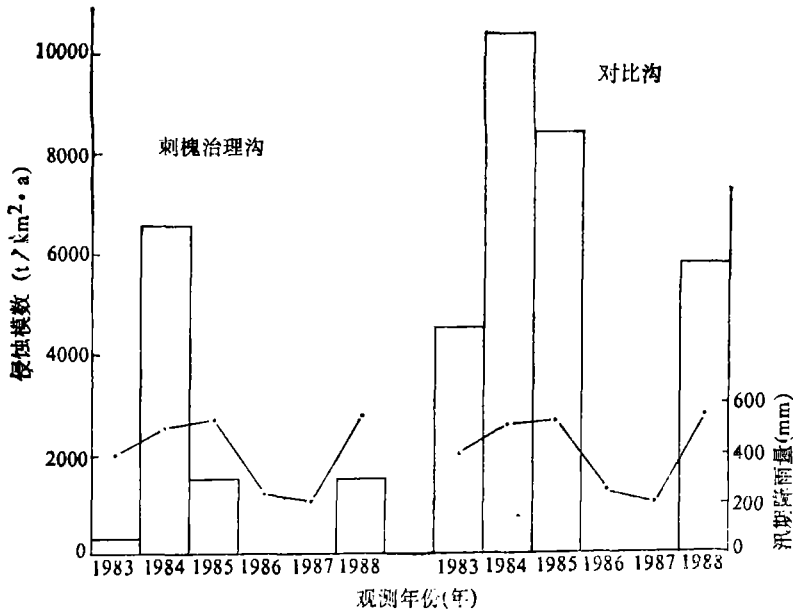


图3 刺槐治理沟与对比沟侵蚀量比较

量139.9mm相当, 重现期20~50 年一遇。

②该年处于幼龄(4 年)的各林地小区已消除了整地因素的影响, 而且郁闭度亦较高, 并形成了活地被物层, 与成林小区可作对比分析。

通过对观测资料的回归分析, 不同类型水土保持林的土壤侵蚀量( $y$ )与林地总覆盖度( $X$ )呈二次多项式关系 $y=10\ 377.87-271.65x+1.78x^2$ ,  $n=9$ ,  $r=0.997$ 。林地的土壤侵蚀量与林地总覆盖度为负相关, 即土壤流失量随林地覆盖度增加而减少, 其60%~70%为有效覆盖度, 覆盖度75%以上林地土壤流失轻微并趋稳定(见图4)。

#### 2.2.2 林地活地被物盖度对土壤侵蚀量的影响

由表2 可以看出, 在林冠层郁闭度和降雨特性相同的情况下, 活地被物层盖度大

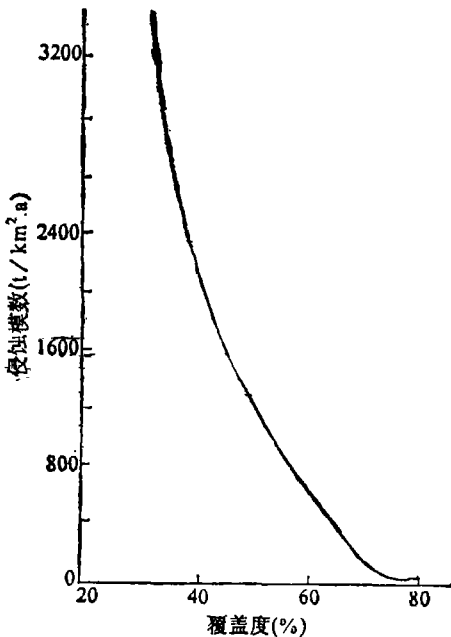


图4 土壤侵蚀量与林地覆盖度关系曲线

的, 土壤侵蚀量小。如15和14龄刺槐林小区, 活地被物层盖度30%~40%的较20%~30%的减少土壤流失量30.7%。柠条灌木林也有同样规律, 15龄的成林与4 龄幼林因前者有良好的活地被物层, 后者活地被物层盖度还很小, 因此在大暴雨情况下土壤流失量幼林为成林的400多倍。说明乔、灌木林的活地被物层对减少林地土壤侵蚀量作用显著。

表2 林地活地被物盖度与土壤侵蚀量的关系

水保林 类 型	树 龄	林冠郁闭度 (%)	活地被物盖度 (%)	降雨量 (mm)	平均雨强 (mm/min)	短时最大雨强 (mm/min)	侵蚀模数 (t/km <sup>2</sup> ·a)	径流量 (m <sup>3</sup> /ha)
刺槐林	15	50~65	30~40	134.9	0.4	1.15	27.4	36.2
刺槐林	14	50~65	20~30	136.5	0.38	1.19	35.8	13.7
刺槐林	14	50~60	30~40	54.3	0.08	0.45	1.13	0.37
刺槐林	13	50~60	20~30	50.7	0.07	0.20	2.81	0.83
刺槐林	6	60~75	10~15	134.0	0.4	1.15	19.3	28.2
刺槐× 紫穗槐	6	50~60	15~25	134.0	0.4	1.15	16.3	28.2
柠条林	15	50~60	40~50	134.0	0.4	1.15	7.3	20.3
柠条林	4	20~50	5~8	136.5	0.38	1.19	3 411.7	298.1
柠条林	14	50~60	40~50	54.3	0.08	0.45	0.51	0.61
柠条林	3	20~40	2~3	50.7	0.07	0.2	7.1	0.41
沙棘林	4	65~90	3~5	136.5	0.38	1.19	67.6	12.6

但对径流的影响不明显。所以在评价林地的水保效益时,林地地被物层的作用不可忽视。

2.2.3 林地枯落物层涵养水分的作用

这一地区放牧林地的枯枝落叶不易积累,仅在封育保护的林地才有一定厚度的枯落物层。林地枯落物层在减少林地水土流失作用中,一是增加地面覆盖,削除溅蚀,二是它具有较强的吸水容水作用,从而涵养水分,保持水土。

表3 刺槐林枯枝落叶蓄积量及容水量

项 目	测时 定间	树 龄	树 高 (m)	胸 径 (cm)	密 度 (株/亩)	1m <sup>2</sup> 干重 (kg)	1ha 干重 (kg)	1kg 样吸水量 (kg)	1ha 吸水量 (kg)
老林塌	89.11	13	9.9	9.0	227	0.52	5 161	1.9	9 789
老林塌	90.11	14	11.0	9.9	227	0.7	7 000	1.8	12 600
蟠龙山	89.11	15	13.3	14.4	200	0.5	3 466	2.3	7 935
杜庄沟口	89.11	13	11.4	11.2	84	0.3	2 574	2.1	5 526
杜庄沟口	90.11	14	12.1	12.0	84	0.25	2 500	2.1	5 250
蟠龙山	89.11	16	10.1	7.6	300	0.5	5 016	1.7	8 734
寺坝塌	89.11	8	11.0	9.1	267	0.3	3 129	2.1	6 571
寺坝塌	90.11	9	11.8	10.3	267	0.6	6 000	1.6	9 600
龙山峁	89.11	8	6.4	6.3	222	0.3	2 865	1.3	3 613
龙山峁	89.11	9	7.5	7.2	222	0.4	4 250	1.7	7 225

表3所列刺槐林枯落物蓄积量及容水量,8~16年生不同密度的刺槐林,每年每公顷的枯落物量达2 865~6 000kg,其吸水量为本身重量的1.7~2.3倍,每公顷的容水量为5 250~12 600kg,相当于0.5~1.3mm降水。

2.3 降雨强度及暴雨对林地水土流失的影响

表4为5年中有代表性的降雨、径流观测资料,从表中可以看出,降雨强度和暴雨对林地水土流失影响极大。降雨强度越大,水土流失越严重,而且水土流失主要由暴雨造

表 4 降雨强度及暴雨对林地径流量和侵蚀量的影响

水保林 类 型	树 龄	覆盖度 (mm)	降雨量 (mm)	平均 雨强 (mm/min)	短时 最大 雨强 (mm/min)	径流量 (m <sup>3</sup> /ha)	占年 总量 比例 (%)	侵蚀 模数 (t/km <sup>2</sup> )	占年 总量 比例 (%)
刺槐林	14	70~80	136.5	0.38	1.19	13.7	97.2	35.8	97.0
刺槐林	14	70~80	19.7	0.05	0.52	0.39	2.8	1.14	3.0
刺槐林	15	70~80	134.0	0.4	1.15	36.2	100	27.4	100
刺槐林	11	70~80	60.5	0.4	1.34	23.6	79.7	9.5	80.5
刺槐林	11	50~70	23.7	0.37	0.44	6.1	20.6	2.3	19.5
刺槐林	10	70~80	108.0	0.25	0.45	31.5	64.0	3.9	18.2
刺槐林	10	70~80	69.8	0.08	0.42	6.5	13.2		
柠条林	15	75~85	134.0	0.4	1.15	20.3	100	7.3	100
柠条林	14	75~85	29.5	0.09	0.75	6.5	91.0	7.8	92.9
柠条林	13	60~70	23.7	0.37	0.44	4.3	48.0	0.67	47.9
柠条林	12	70~80	69.8	0.08	0.42	12.3	13.6	1.04	17.6
柠条林	12	70~80	108.0	0.25	0.45	19.3	19.8	3.6	61.0
沙棘林	4	65~90	136.5	0.38	1.19	12.6	100	67.6	100

成，其径流量占年总量的20%~97%，土壤侵蚀量占年总量18%~97%，个别年份达100%。如1989年7月16日大暴雨，各观测林地都发生了严重的水土流失，无论成林或幼林的流失量都占年总量的97%~100%。因此防治水土流失，主要是防治暴雨造成的水土流失，造林种草增加地表覆盖是最好的途径和方法之一。

表 5 不同人工牧草地径流量、侵蚀量比较

项 目	农地(对照)		沙打旺		紫花苜蓿		红豆草	
	径流量 (m <sup>3</sup> /ha)	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	径流量 (m <sup>3</sup> /ha)	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	径流量 (m <sup>3</sup> /ha)	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )	径流量 (m <sup>3</sup> /ha)	侵蚀量 (t/km <sup>2</sup> )
1980年	237.4	4417.8	105.4	164.8				
1981年	301.0	2010.9	98.6	54.3				
1982年	0	0	0	0	0	0		
1983年	247.4	4430.5	45.4	234.7	85.4	607.6		
1984年	414.5	5347.8	90.2	69.2	383.9	2 503.2		
1985年	277.3	8142.8	33.8	14.4	236.9	6 347.6		
1986年	4.2	23.4	0	0	1.5	2.4		
1987年	37.5	227.9	39.2	241.9	40.4	300.3	37.2	246.0
1988年	102.7	5435.8	69.0	53.1	106.6	758.3	104.7	758.2
1989年	237.2	7297.6	89.5	743.1			130.2	4 467.3
平均	185.9	3733.5	57.1	157.6	122.1	1 502.8	90.7	1 823.8
比例(%)	100	100	30.7	4.2	65.7	40.3	48.4	48.8

## 2.4 人工草地的水土保持效益

表5为不同品种人工草地3~10年的径流泥沙观测资料,它表明在陡坡地上种植沙打旺、紫花苜蓿、红豆草等人工牧草地,均较农耕地减少径流和土壤侵蚀,但不同品种的人工草地水土保持效益不同。以沙打旺草地的水土保持效益最好,较农地减少径流量69.3%,侵蚀量95.8%;紫花苜蓿和红豆草稍差,较农地可以减少径流量分别为34.3%、51.6%、减少侵蚀量为59.7%、51.2%。说明退耕陡坡农地种植牧草,不仅提供饲料、绿肥和增加土壤肥力,同时大大减少水土流失。

## 3 结 论

3.1 水土保持林类型不同,水土保持效益不同,柠条成林、刺槐林效益最好。柠条成林、6~15年刺槐林,较天然荒坡(对照)减少径流量90%和90.8%,减少侵蚀量99.6%和97.1%;1~6年刺槐林、1~6年刺槐×紫穗槐、2~4年沙棘林效益较好,较天然荒坡可减少径流量66.2%、65.9%、78.2%,减少侵蚀量39%、37.8%、47%;2~4年沙棘与油松、杨树混交林和2~4年柠条幼林,保水效益好于荒坡,分别减少径流量71%、66.6%、39.1%,但保土效益还低于荒坡。

3.2 水土保持刺槐林治理沟对(集水区)土壤侵蚀的影响显著。6年平均侵蚀模数 $1\,495\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$ ,较一般治理沟(侵蚀模数 $4\,868.7\text{ t/km}^2\cdot\text{a}$ )减少土壤侵蚀量69.3%。

3.3 水土保持林地的侵蚀量与林地覆盖度呈二次多项式关系, $y=10\,377.87-271.65x+1.78x^2$ ,即林地覆盖度越大,侵蚀量越小,且65%的覆盖度为林地有效覆盖度,当覆盖度达75%以上时,林地侵蚀轻微。林地侵蚀量与林龄的关系为,随林龄增大,土壤侵蚀量减小,有指数函数递减趋势,有效林龄5~7年,7年以后,林地侵蚀量甚微。

3.4 水土保持林的地被物层的水土保持作用较大,而活地被物层对林地土壤侵蚀量影响显著,但对径流影响不明显。在林冠郁闭度相近情况下,林地活地被物层盖度越大,土壤侵蚀量越小,尤其在暴雨中作用更明显。

3.5 降雨强度特别是暴雨对林地的径流量和侵蚀量影响极大,降雨强度越大,水土流失越严重。水土流失主要由暴雨造成,其径流量占年总量的20%~97%,侵蚀量为18%~97%。

3.6 沙打旺、紫花苜蓿、红豆草等牧草地,较农地(对照)水土保持效益均好。但牧草品种不同其效益亦不同,以沙打旺草地效益最好,较农地可减少径流量69.3%、侵蚀量95.8%;紫花苜蓿和红豆草稍差,比农地减少径流量34.3%、51.6%,减少侵蚀量59.7%、51.2%。

3.7 天然荒坡与林地相比较,产生的地表径流最多,农耕地与人工草地或林地比较,产生的泥沙最多。因此在荒沟荒坡植树造林和退耕陡坡农地种植牧草增加地表覆盖,是防治水土流失和发展生产的有效途径。