

草地开垦人为加速侵蚀的人工降雨试验研究*

白红英 唐克丽 张科利 陈文亮 查 轩

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要 通过野外人工降雨试验分析了人为破坏草被对土壤加速侵蚀的影响。研究结果表明天然草地基本上不发生径流和土壤流失。天然草被破坏开垦后径流量增加 $1273 \sim 3050 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 产沙量增加 $500 \sim 1700 \text{ t}/\text{km}^2$ 。撂荒地(4年)的径流量明显高于天然草地, 但土壤侵蚀量很小, 撂荒地开垦后径流和流失量明显高于天然草地开垦后的径流量和侵蚀量, 其中产沙量为新开垦天然草地的 6.2 倍。草地的地上部分吸水量占降雨量的 15.5%, 天然草地上地形、降雨因子对土壤侵蚀的影响甚微。草地开垦后, 土壤侵蚀量随雨强和坡度的增加而增大。

关键词 人工降雨试验 草地开垦 撂荒地 径流泥沙

Study on Man—made Accelerated Erosion of Grassland Being Reclaimed by Simulated Rainfall Experiment

Bai Hongying Tang Keli Zhang Keli Chen Wenliang Zha Xuan

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

Abstract Effect of grass vegetation destroyed by human on man—made accelerated erosion process has been analysed in this paper, using simulated rainfall experiment. The results show that after grass land being destroyed and reclaimed, runoff yield increases $1273 \sim 3050 \text{ m}^3/\text{km}^2$, sediment yield is $500 \sim 1700 \text{ t}/\text{km}^2$, at single rainfall condition. Soil erosion intensity on the wasteland (wasteland after 4 years) is slight, but the wasteland being cultivated, runoff yield and soil loss is much bigger than those in the grass land being cultivated, and sediment yield is 6.2 times than that of grass land being cultivated. The interception rainfall of leaf and stalk parts is 6.9mm, it occupies 15.5% of rainfall amount. Impact of topography and rainfall on soil erosion is not obvious in grass land, but after grass land being cultivated, soil loss increases with increase of rainfall intensity and slope degree.

Key words simulated rainfall experiment grass vegetation being destroyed wasteland runoff and sediment

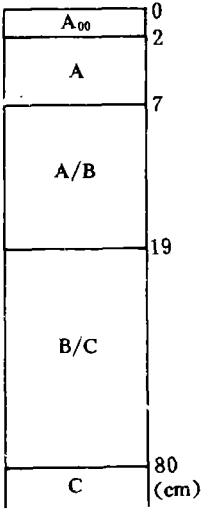
黄土高原在历史上曾分布有茂密的植被,是我国古代文明发源地之一,但由于人类不合理开垦和自然环境变迁及政治、经济等原因,如今土壤侵蚀严重,生态环境恶化。据资料^[1]人为加速侵蚀速

率为自然侵蚀速率的数倍到数百倍。植被对控制水土流失具有良好的作用,植被破坏土壤侵蚀将急剧增加,许多科学工作者已在这方面做了观测、研究等工作,但利用人工降雨装置进行天然草被及其开垦后土壤侵蚀演变的研究,在国内尚未见有关报导。我们利用人工降雨试验,在子午岭林区的边缘地带任家台林场所辖林区研究了人为破坏草被对土壤侵蚀的加速过程及草被防止土壤侵蚀的机理。

1 试验区 and 试验设计

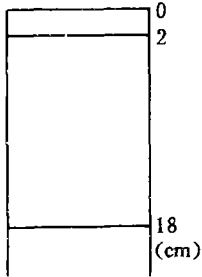
1.1 试验区草地概况

野外人工降雨试验小区均布设于沟间地的天然草地及撂荒地上。天然草地的草被以四季青为主(50%以上),其次有羽茅、芦豆苗、铁杆蒿等,株高 15cm 左右,覆盖度 90%;撂荒地以铁杆蒿为主,覆盖度 30%~40%,枯落物极少,地表板结,结皮上有地衣。土壤剖面匀有一定发育,其剖面及性质如图 1,表 1。



A₀₀: 枯枝落叶层
A: 黑褐色,腐殖质层,土质松软,细小草根密集
A/B: 浅褐色,颜色明显浅于 A 层,草根较多
B/C: 黄褐色,有菌丝状 CaCO₃ 淀积,草根极少
C: 为黄土母质层

图 1-a 天然草地土壤剖面



0~2cm: 结皮、上有地衣
2~18cm: 为原耕作层,土质较松,有大量根系分布
>18cm: 黄土母质,有 CaCO₃ 淀积,草根极少。

图 1-b 撂荒地土壤剖面

1.2 试验设计

1.2.1 人工降雨装置 人工试验装置采用西北水保所研制的组合侧喷式野外人工降雨装置;降雨时两侧喷头座架之间的距离为 6.5~7.5m,喷头高 8~10m,喷头出水高度 1.5m,降雨高度 10m,降雨雨滴终点速度基本接近天然降雨。供水压力由汽车压力表控制(0.5~1.0kg/cm²),降雨雨强由孔板压力、降雨分布状况确定^[4]

1.2.2 试验设计 小区面积均为 1.5m×5m;降雨量控制一致为 48.36mm;设计了三种雨

强:1. 10mm/min、1. 56mm/min、2. 10mm/min,降雨时间为 41min、31min、23min;选用三种坡度:18°~20°、23°~25°、32°~35°。天然草地、撂荒地均为自然坡面,开垦小区坡面整平,坡度为:19°、24°、33°。本试验设 13 组试验如表(2)。

表 1 天然草地、撂荒地土壤剖面的基本性质

地 类	土层深度 (cm)	有机质 (%)	容 重 (g/cm ³)	硬 度 (kg/cm ³)	孔 度 (%)
天然草地	2~7	4. 517	0. 91	0. 25	63. 66
	7~19	1. 574	1. 01	2. 93	51. 88
	19~80	0. 529	1. 12	16. 22	57. 71
	>80	0. 433	1. 22	12. 60	53. 96
撂荒地	0~3	1. 134	0. 98	1. 01	63. 32
	3~18	0. 991	1. 01	4. 54	60. 75
	>18	0. 441	1. 18	13. 50	55. 47

表 2 人工降雨试验设计

项 目	坡 度 (度)	18°~20°			23°~25°		32°~35°
	雨强(mm/min)	1. 56	2. 10	1. 10	1. 56	2. 10	1. 56
试 验 处 理	天然草地	1	2	—	3	—	4
	割草留枯落物	—	—	—	5	—	—
	割草并除去枯落物	—	—	—	6	—	—
	天然草地开垦	7	—	8	9	10	11
	撂荒地(4 年)	12	—	—	—	—	—
	撂荒地开垦	13	—	—	—	—	—

1. 2. 3 观测项目与数据处理 降雨前后测定土壤水分、容重、硬度,径流发生后,每隔 30min 观测一次水位,并取径流水样分析含沙量、含沙量用烘干法测定。径流量为各时段浑水径流量加取样水量,入渗量由降雨前后土壤含水量计算;地上部分截流量等于降雨量减去入渗量和径流量。

2 试验结果分析

植被具有良好的保土保水作用,主要表现为截流雨水、增加入渗、减少径流、拦截泥沙等方面,植被一旦破坏,其保水保土优势也随之减弱或完全消失,而且水土流失量随雨强、坡度等因子变化而变化。

2. 1 坡度对径流及泥沙量的影响

草被破坏后由于地表裸露,坡度成为影响土壤侵蚀的重要因素之一。表 3 表明了天然草地开垦后、雨强为 1. 56mm/min 时,不同坡度的径流量、产沙量变化情况。从表 3 可知,坡度为 24°、33°时径流量和产沙量分别为 19°时的 1. 5、1. 59 和 3. 31、3. 68 倍,产沙量的增加尤为显著,如图 2 降雨各时段泥沙量的变化情况充分反应了这一现象。这主要是因为随着坡度增加产流时间提前。如处理 9、11 产流时间比处理 7 提前了 1/30%,引起径流、泥沙量增多;其次随着坡度增加,径流流速增加,处理 9、11 坡地上径流流速是处理 7 的 1. 39、1. 81 倍,径流动能增大、冲刷力变大,从而引起径流量、泥沙量增加。从以上分析可以看出 24°、23°坡地与 19°坡地相比产沙量剧增,但二者相比,无论是径

流量还是产沙量都较相近,这进一步说明了在大于 25°的坡耕地上还林还草对防止土壤侵蚀的必要性。

表 3 天然草地开垦后坡度对径流量、产沙量的影响

处 理 号	7	9	11
坡 度	19°	24°	33°
径流量(mm)	19.36	29.03	30.86
比 值	1	1.5	1.59
产沙量(t/km ²)	469	1554	1728
比 值	1	3.31	3.68

2.2 雨强对径流、泥沙的影响

天然草被开垦后,由于地面裸露、雨滴直接打击地面,雨强成为影响水土流失的重要因素之一。

表 4 表明了坡度为 24°、雨强为 1.10、1.56、2.10mm/min 时,径流、产沙量的变化情况,从表 2 可知:雨强为 1.56、2.10mm/min 时其产沙量为 1.10mm/min 时的 20.82、28.96 倍,而且雨强为 1.56、2.10mm/min 时,二者产沙量、径流量相差并不显著。雨强增大引起产沙量增加的原因一方面由于产流时间提前,径流增加、挟沙能力增强。另一方面由于降雨动能增加,雨滴对土壤打击力增大,含沙量增加如图 3。据资料

得出的降雨动能(E)与降雨强度(I)的关系式 $E=21.928I^{0.438}$,计算得三种雨强降雨动能如表

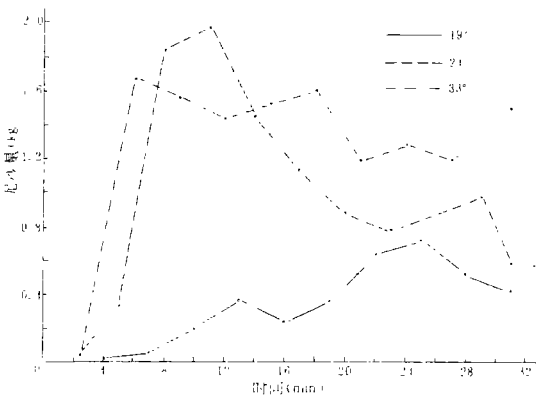
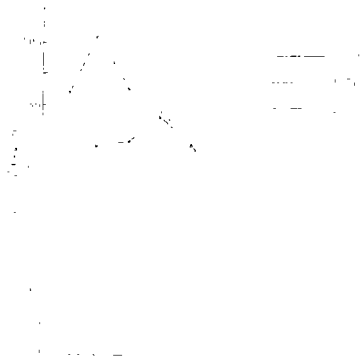


图 2 雨强为 1.56mm/min 时,各降雨时段泥沙量变化

5,从表 5 可知,随降雨动能增加,产流时间提前,含沙量增加,泥沙量也随之变大。

从表 4、图 3 可以看出,雨强为 1.56、2.10mm/min 时,二者无论产沙量、径流量、平均含沙量、产流时间都比较相近,如按表 5 降雨动能计算三种处理之间的比值应相近,但事实并非如此。根据卡普兰人资料^[9]实际降雨动能随雨强变化为波动变化,雨强为 0.83~1.56mm/min 时动能较大,即实际上雨强为 2.10mm/min 时的降雨动能小于 1.56mm/min 时的降雨动能,所以说其较大的产沙量主要由径流冲刷引起。由此说明,土壤侵蚀量随雨强的增加而增大,但



当雨强>1.56mm/min时,土壤侵蚀量随雨强增加其增加值趋于平缓。

2.3 草被破坏前后流量和侵蚀量的比较

草地开垦前后由于地面物质变化,径流量、产沙量、产流时间发生了很大变化如表6。

表4 天然草地开垦后雨强对径流量、泥沙量的影响

处 理 号	8	9	10
雨强(mm/min)	1.10	1.56	2.10
径流量(mm)	12.73	29.03	30.50
产沙量(kg)	0.56	11.66	16.22

表5 草地开垦后雨强和雨滴动能与含沙量变化

处 理 号	8	9	10
雨强(mm/min)	1.1	1.56	2.1
动能[J/(m ² ·mm)]	22.86	26.64	30.35
产流时间	3'	2'35"	2'30"
平均含沙量(kg/m ³)	21.01	53.86	56.68

表6 草地开垦前后径流量、泥沙量的变化(1.56mm/min)

处理号	1	7	3	9	4	11	12	13
处 理	天然草地	草地开垦	天然草地	草地开垦	天然草地	草地开垦	撂 荒	撂荒开垦
坡 度	18°~20°	19°	22°~24°	23°	32°~35°	33°	18°~20°	19°
产流时间	22'	4'	21'	2'35"	20'	2'30"	11'	2'30"
径流量(mm)	0.90	19.36	1.04	29.03	1.57	30.86	15.64	34.86
比 值	1	21.51	1	27.91	1	19.66	1	2.23
产沙量(t/km ²)	0	469	0	1554	0	1736	58	2925
比 值	—	—	—	—	—	—	1	54.85

2.3.1 破坏草被对径流量的影响 从表6可以看出天然草地由于草被及枯落物的覆盖,径流量很小,只占开垦后的5%左右,且坡度对径流量影响甚微,如雨强为1.56mm/min,坡度为19°、23°、33°时径流量分别为0.90、1.04、1.57mm,三者相差无几,但草地开垦后径流剧增,分别增加了20.5、26.9、18.7倍,而且径流随坡度的增加而增大;撂荒地(4年)的径流量占开垦后的45%,且撂荒地及其开垦地径流量明显高于同级坡度的天然草地及开垦径流量。草被的保水作用主要归功于土壤入渗量增加、产流时间推迟、地上部分截流等方面。

由图1-a及表1可以看出天然草地土壤剖面有一定发育,A₀₀层具有很好的蓄水作用,腐质殖层有机质含量由母质的0.43%增至4.52%,使孔隙度与母质相比增加了21.66%,土壤渗透作用增强。由降雨前后土壤剖面中水份含量的变化图4可知,在草地、草地去茎叶及枯落物、草地开垦、撂荒、撂荒开垦小区中,降雨入渗深为50、80、30、25、17.5cm,平均入渗速度为16.1、25.8、9.68、8.06、5.64mm/min,天然草地入渗速度为开垦后的1.66倍左右,入渗量为38.27mm是开垦地的2.5倍。撂荒地由于地上部分植物的保护对降雨起了一定的拦截作用,但由于熟化层较浅(如

图 1-b),上层板结,下层硬度大、孔隙度小,其入渗深度和入渗量明显小于天然草地,撂荒地开垦后,由于去除了地上部分的植被保护,地下根系主要集中于表土,团聚体含量少,同天然草地开垦相比其入渗速度减少了42%。撂荒地及开垦后入渗量分别为21.72mm、11.18mm,前者是后者的1.94倍,即草被破坏使土壤入渗量减少了50%~60%。从图4可以看出天然草地去茎叶及枯落物(处理5)后土壤入渗深度高于天然草地,其原因在于草被及枯落物的去除,使入渗时间提前,但由于地面粗糙度的减少,产沙提前,其入渗总量并不高于天然草地。草被一旦破坏,雨滴直接打击地表,细小的颗粒下渗,很快堵塞了土壤孔隙,使得雨水下渗受阻,入渗速度减慢。同时产流时间提前,如雨强为1.56mm/min时,天然草地开垦和撂荒地开垦产流时间分别提前了18'、8'30",使得产沙量增加。径流减少的另一个原因是草地地上部分截流了部分降雨。

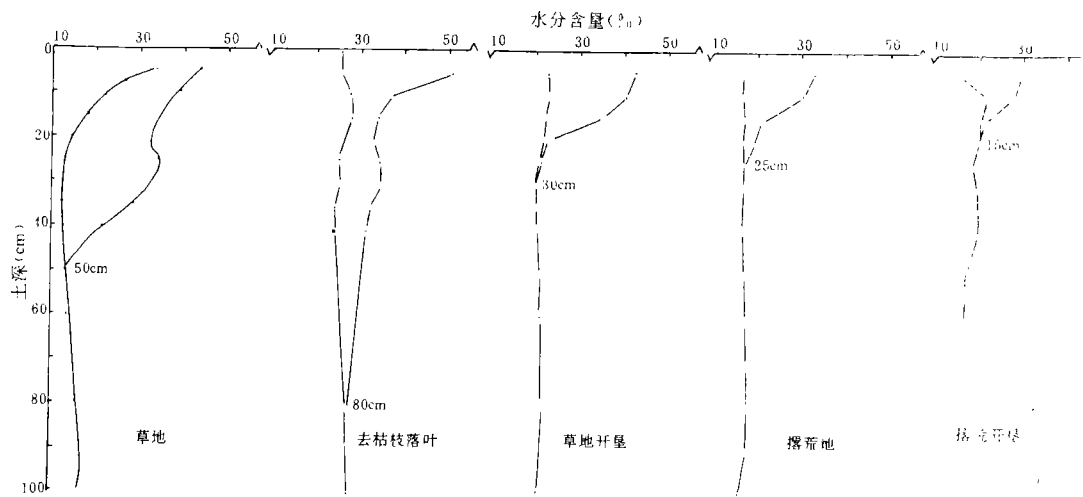


图 4 水分随土壤剖面深度变化

为判明草被各部分的保水保土作用,我们对坡度为22°~24°,雨强为1.56mm/min的天然草地进行了三种处理:去茎叶、去茎叶及枯落物质、开垦。各处理的观测值如表(7)。

表 7 天然草地进行不同处理后径流量、泥沙量变化

处 理	3	5	6	9
	天然草地	去茎叶	去茎叶及枯落物	开 垦
产流时间	21'	20'	3'	2'35"
径流量(mm)	1.04	3.63	7.89	29.63
减少径流效益	96%	87%	73%	—
入渗量(mm)	38.27	37.65	36.31	15.16
产沙量(t/km ²)	0	0	69	1546
减沙效益	100%	100%	95%	—

从表7计算得知,天然草被茎叶截流量为2.49mm,枯落物吸水量为4.35mm,即地上部分共截流6.85mm,占降雨量的15.5%,减径流效益达23%;处理3和处理5由于地上部分及根系的良好保护均无土壤侵蚀发生,即100%拦沙,除去枯落物(处理6)后,雨滴直接打击地面,有土壤侵蚀发生,且产流时间与开垦后产流时间相差不大,但径流量和产沙量同垦地相差很大,天然草地地下部分减径流效益显著,减沙效益达95%,这主要是因为植物根系交错盘绕,固结土体,从而增强了

土壤的抗冲刷能力^[4] 即根系对降低土壤冲刷量起决定作用。

2.3.2 破坏草被对土壤泥沙量的影响 表6表明了草地开垦前后泥沙量的变化情况,从表可知天然草被100%拦沙,无论坡度大小都没有侵蚀发生;撂荒地泥沙量也只占开垦后的1%左右。天然草地开垦后产沙量增加469~1728t/km²,而且随坡度、雨强的增大而增加(如图2、表4)。

草被控制土壤侵蚀的作用主要表现在两个方面:一是减少径流,降低了径流的冲刷作用(如表

6),由于径流量减少,冲刷动能降低,径流对土壤颗粒的搬运作用也随之减弱。撂荒地开垦与天然草地开垦相比,由于其土壤剖面较浅、残留于土中的细小根较少,入渗量、抗径流冲刷力明显减弱,使产沙量高于天然草地开垦5.2倍(如图5)。二是降低了含沙量。从表6知,在草地降雨时,土壤由于草被及枯落物的覆盖,降雨动能被削弱,土壤表层溅蚀很少发生或不发生。而草地开垦后,由于地面裸露、土体松散、土壤抗冲力变弱,土壤溅蚀强烈,即使较大的颗粒也能被搬运^[5] 草地开垦后,平均含沙量增加21.01、53.86、56.68g/L;撂荒地开垦后平均含沙量由3.40增至74.03g/L,即增加了20.77倍。而且

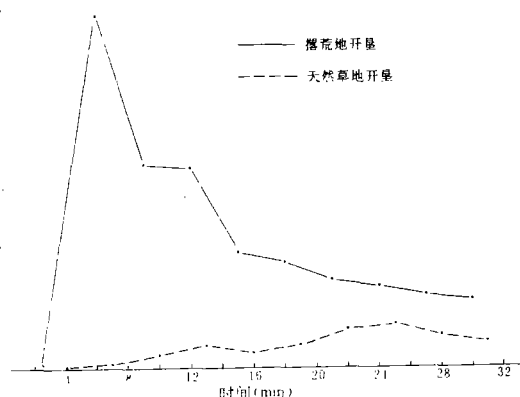


图5 天然草地与撂荒地开垦后泥沙量随时间变化图

无论是含沙量还是泥沙总量,草被开垦后,随坡度、雨强增加都有明显增加,而有草被覆盖时,即使坡度在35°也没有土壤侵蚀发生。由此可知,在黄土丘陵地区,对大于25°的坡耕地实行退耕撂荒,基本上可控制水土流失。

3 结 论

3.1 天然草被由于茎叶、枯落物保护及根系的固土能力,基本上不产生径流,土壤侵蚀也基本不发生。

3.2 人为破坏草被使土壤入渗量减少50%~60%。天然草地开垦后径流量增加了20倍左右,产沙量增加500~1700t/km²,随着开垦次数增多,根系分解、土壤结构破坏,产沙量将不断增加。

3.3 4年的撂荒地拦沙效益达98%,但撂荒地开垦后土壤流失量高于天然草地开垦后的5.2倍,因此对于土壤流失严重的农地,通过改良土壤、弃耕撂荒就能很好的控制水土流失。

3.4 在草被覆盖下,坡度、雨强因子对土壤侵蚀的影响甚微,植被一旦被破坏,土壤流失量则随坡度、雨强的增加而增大,坡度大于24°时,土壤侵蚀量急剧增加,因此在黄土丘陵地区,对坡度大于20°的坡耕地,实行退耕撂荒就能收到较好的水土保持效益。

参考文献

- [1]唐克丽.黄土高原土壤侵蚀过程和生态环境演变的关系.黄河流域环境演变与水沙运行规律,北京:地质出版社,1991
- [2]陈文亮.组合侧喷式野外人工模拟降雨装置.水土保持通报,1984(5)
- [3](英)M.J柯克比等.土壤侵蚀.水利电力出版社
- [4]吴牧孝等.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究——Ⅱ.草木植物根系提高表层土壤抗冲刷力的试验分析.水土保持通报,1990(1)
- [5]崔元保等.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)