

## 草被地上和地下部分拦蓄径流和减少泥沙的效益分析

郑粉莉<sup>1,2</sup>, 白红英<sup>2</sup>, 安韶山<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100;  
2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:** 研究草被地上和地下部分拦蓄径流和减少泥沙效益对科学评价草被防止土壤侵蚀的作用有重要科学意义。采用模拟降雨试验, 分析了草被地上和地下部分拦蓄径流和减少泥沙的效益。结果表明, 草被与森林植被一样, 能有效防止土壤侵蚀。当草地地面覆盖达 90% 时, 草被拦蓄径流效益达 90% 以上, 而基本上无侵蚀发生。草被地上部分(茎枝+ 枯落物) 拦蓄径流效益为 23.7%, 其中茎枝部分拦蓄径流效益为 9.0% 和枯落物层拦蓄径流效益为 14.7%, 减少泥沙效益为 44.6%; 草被地下部分土壤体拦蓄径流效益为 72.7%, 拦蓄泥沙效益为 55.4%。

**关键词:** 草被; 冠层和枯落物层; 地下部分; 径流泥沙; 效益

**中图分类号:** S157.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2005)05-0086-02

## The Benefit Analysis for Different Layers of Grass Vegetation Reducing Surface Runoff and Sediment Yield

ZHEN G Fen-li<sup>1,2</sup>, BA I Hong-ying<sup>2</sup>, AN Shao-shan<sup>1,2</sup>

(1. The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi, 712100, China;  
2. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract** Research on benefits for reducing surface runoff and sediment by different layers of grass vegetation is important to assess the role for grass vegetation controlling soil erosion. The simulated rainfall experiment is used to quantify benefits for reducing surface runoff and sediment by different layers of grass vegetation. The research results show that grass vegetation, like forest and bush, can effectively control soil erosion. When surface cover of natural grassland reaches 90%, the benefits for grass reducing surface runoff is above 90% and not any erosion occurs. The layers of canopy and litter grassland reduce runoff and sediment yield by 23.7% and by 44.6%, separately. The ground layer of soil body with dense root system reduces runoff and sediment yield by 72.7% and 55.4%, separately.

**Key words:** grass vegetation; the layers of canopy and litter; the ground layer; surface runoff and sediment yield; benefit

植被防治土壤侵蚀作用分为地上部分(冠层、枯落物层)和地下部分(包含植物根系的土壤体)。关于森林植被不同部分防止土壤侵蚀的机理问题, 许多研究者进行了卓有成效的研究<sup>[1-4]</sup>。而草被作为植被的一部分, 其防止土壤侵蚀的效益与林地有何差异, 草被地上部分及地下部分拦蓄径流、减少泥沙的效益如何等仍是目前研究的薄弱环节, 严重影响草被防止土壤侵蚀作用的科学评价及水土保持生物措施的配置。本文通过模拟降雨试验, 获取草被茎枝部分、枯落物层、土壤体(不扰动土壤表面)及草地开垦(翻耕扰动 0~20 cm 土壤表层)处理下的径流、侵蚀产沙资料, 研究草被不同部分拦蓄径流、减少泥沙的效益, 以期科学评价草被防止土壤侵蚀作用提供科学依据。

### 1 试验方法与设计

#### 1.1 研究区概况

研究区位于子午岭林区富县任家台林场所辖林区, 地理位置为东经 109°11', 北纬 36°05'。地貌类型属于黄土覆盖的

梁状丘陵, 海拔高度 920~1683 m, 相对高差 100~150 m。年平均气温 9℃, 年平均降水量 576.7 mm, 主要集中在 7~9 月, 期间的降水量占全年降水量的 70% 以上。

研究地点位于林区梁坡中上部的天然草地, 其群落组成以四季青为主, 约占群落组成的 50% 以上, 其次为羽茅、铁杆蒿等。地面覆盖度 90%, 地面枯落物厚 2 cm, 土壤剖面有一定的发育, 形成了 A 层(2~7 cm)—A<sub>βca</sub>层(7~19 cm)—B<sub>ca</sub>/C 层(19~80 cm)—C 层的土体构型, 在 A 层腐殖质含量达到 45.2%, A<sub>βca</sub>层的腐殖质含量为 15.79 g/kg, B<sub>ca</sub>/C 层和 C 层的有机质含量与黄绵土类同, 分别为 5.29 g/kg 和 4.33 g/kg。

#### 1.2 人工降雨试验设计

降雨装置采用中国科学院水利部西北水土保持研究所研制的野外人工降雨设备<sup>[5]</sup>, 试验小区面积为 1.5 m × 5 m。试验处理包括天然草地(保留原始地面条件)、取掉地上茎枝部分保留枯落物层、取掉茎枝部分和枯落物层(取掉地上部分不扰动土壤)及天然草地开垦(翻耕扰动 0~20 cm 土壤表

收稿日期: 2005-07-19

基金项目: 国家自然科学基金西部重大研究计划项目“近 140 年子午岭地区植被—侵蚀—土壤互动作用及机理(90302001); 国家 973 项目(2002CB111502)

作者简介: 郑粉莉(1960-), 女, 陕西蓝田人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程和预报及土壤侵蚀环境效应评价研究。

层, 模拟开垦裸露地)。试验处理见表 1。

表 1 人工降雨试验设计及其试验结果

处理	处理号	坡度 /°	径流量 / (m <sup>3</sup> · km <sup>-2</sup> )	比例	侵蚀量 / (t · km <sup>-2</sup> )
天然草地	1		1040	1	0
取掉茎枝保留枯落物	2	23~ 25	3640	3.5	0
取掉茎枝和枯落物	3		7910	7.61	693.3
天然草地开垦(0~ 20 cm)	4		29030	27.91	1554.5

\* 降雨量为 48.4 mm, 降雨强度为 1.56 mm/min。

1.3 观测项目与数据处理

每次降雨前后测定土壤水分、容重。坡面产流后, 每隔 3 m 观测径流量并取径流泥沙样, 含沙量用烘干法测定。径流总量为各时段浑水径流量加上所取水样的径流量; 侵蚀量为各时段径流量 × 各时段含沙量之总和。

设天然草地的径流量为 R<sub>1</sub> 和侵蚀产沙量为 S<sub>1</sub>, 取掉茎枝部分保留枯落物的径流量为 R<sub>2</sub> 和侵蚀产沙量为 S<sub>2</sub>, 取掉茎枝部分和枯落物(取掉地上部分不扰动土壤)的径流量为 R<sub>3</sub> 和侵蚀产沙量为 S<sub>3</sub>, 天然草地开垦处理的径流量为 R<sub>4</sub> 和侵蚀产沙量为 S<sub>4</sub>, 则茎枝部分拦蓄径流、减少泥沙效益的计算公式为

$$BRj = \frac{R_1 - R_2}{R_2} \times 100\%$$

$$BSj = \frac{S_1 - S_2}{S_2} \times 100\%$$

式中: BRj——茎枝部分拦蓄径流的效益(%); BSj——茎枝部分减少泥沙的效益(%).

枯落物层拦蓄径流、减少泥沙效益的计算公式为

$$BRk = \frac{R_2 - R_3}{R_3} \times 100\%$$

$$BSk = \frac{S_2 - S_3}{S_3} \times 100\%$$

式中: BRk——茎枝部分拦蓄径流的效益(%); BSk——茎枝部分减少泥沙的效益(%).

土壤体拦蓄径流、减少泥沙效益计算的公式为

$$BRt = \frac{R_3 - R_4}{R_4} \times 100\%$$

$$BS t = \frac{S_3 - S_4}{S_4} \times 100\%$$

式中: BRt——茎枝部分拦蓄径流的效益(%); BS t——茎枝

表 3 降雨强度和地面坡度对草地拦蓄径流、泥沙效益的影响<sup>[6]</sup>

处理	坡度 /°	径流量 / (m <sup>3</sup> · km <sup>-2</sup> )	比例	侵蚀量 / (t · km <sup>-2</sup> )	雨强 / (mm · min <sup>-1</sup> )	坡度 /°	径流量 / (m <sup>3</sup> · km <sup>-2</sup> )	比例	侵蚀量 / (t · km <sup>-2</sup> )
天然草地	18~ 20	900	1	0					
	23~ 25	1040	1.16	0	1.56	18~ 20	900	1	0
	32~ 35	1570	1.74	0	2.10		1273	1.41	0

表 4 天然草地与开垦 10 年农地土壤剖面的基本性质比较

土壤深度/mm	有机质 / (g · kg <sup>-1</sup> )	容重 / (g · cm <sup>-3</sup> )	总孔度 / %	土壤深度/mm	有机质 / (g · kg <sup>-1</sup> )	容重 / (g · cm <sup>-3</sup> )	总孔度 / %
2~ 7	45.2	0.91	65.66	开垦 10 年的农地	0~ 19	8.4	1.05
7~ 19	15.7	1.01	61.88		19~ 39	5.7	1.32
19~ 80	5.3	1.12	59.74		39~ 62	5.0	1.28
> 80	4.3	1.22	53.96		62~ 105	4.0	1.23

2.2.3 表层土壤

枯落物经微生物分解形成褐色的腐殖质层, 能有效改善土壤理化性状, 增加降雨入渗及根系对土壤盘绕固结, 提高土壤抗冲抗蚀性能。试验资料表明, 在同样试验条件下, 当取掉草地茎枝部分和枯落物层时, 由于草被植被下发育的土壤

部分减少泥沙的效益(%).

草被拦蓄径流效益和减少泥沙效益为上述三部分之和

2 结果分析

2.1 草被减少土壤侵蚀的效益分析

试验资料表明, 天然草地与草地开垦处理相比, 拦蓄径流效益为 96.4%, 拦蓄泥沙效益为 100% (表 2), 并随着坡度和雨强的增加, 草地上的径流量也随着增大, 而仍无侵蚀发生(表 3)。这一研究结果与蔡平等在同一研究地区采用同一降雨设备进行的森林植被减沙效益研究的结果类同<sup>[7]</sup>; 表明草被植被与森林植被一样, 能有效防止土壤侵蚀。

表 2 草被不同部分拦蓄径流、泥沙效益<sup>[6]</sup>

草被不同部分	减少径流量 / (m <sup>3</sup> · km <sup>-2</sup> )	拦蓄效益 / %	减少侵蚀量 / (t · km <sup>-2</sup> )	拦蓄效益 / %
茎枝	2600	8.96	-	-
枯落物层	4270	14.71	693.3	44.6
土壤体	21120	72.75	861.2	55.4
三部分之和	27990	96.40		100

2.2 草被防止土壤侵蚀的机理

2.2.1 茎叶部分对降雨截留的作用

表 1 表明, 在同样的试验条件下, 当取掉草被地上茎枝而仍保留枯落物时, 径流量同草地相比, 增加 3.5 倍, 而无侵蚀发生。研究资料还表明, 草被茎枝叶部分拦蓄径流量 2.6 mm, 占降雨量的 5.38%, 草被茎叶部分拦蓄径流效益为 8.96%。将此数值与同一观测点的林地林冠截留率(截留率为 23.6%)<sup>[8]</sup>相比, 此数值显然小于林地树冠层对降雨的截留作用。

2.2.2 枯落物层减少径流和侵蚀的作用

在同样试验条件下, 当取掉茎枝和枯落物层时, 径流量同草地相比, 增加了 7.6 倍, 侵蚀量净增加 693.3 t/km<sup>2</sup> (表 1)。试验资料还表明, 草地枯落物层拦蓄径流量 4.3 mm, 占降雨量的 8.9%, 拦蓄径流效益为 14.71%; 拦蓄泥沙量为 44.6%。

作为草被的地上部分, 即草被的茎叶部分和枯落物层共拦蓄径流量 6.9 mm, 占降雨量的 14.26%, 拦蓄径流效益为 23.67%; 拦蓄泥沙量为 693.3 t/km<sup>2</sup>, 拦蓄泥沙效益为 44.60%。此研究结果为留茬、免耕、残茬覆盖等水土保持措施提供了科学依据。

表 3 降雨强度和地面坡度对草地拦蓄径流、泥沙效益的影响<sup>[6]</sup>

处理	坡度 /°	径流量 / (m <sup>3</sup> · km <sup>-2</sup> )	比例	侵蚀量 / (t · km <sup>-2</sup> )	雨强 / (mm · min <sup>-1</sup> )	坡度 /°	径流量 / (m <sup>3</sup> · km <sup>-2</sup> )	比例	侵蚀量 / (t · km <sup>-2</sup> )
天然草地	18~ 20	900	1	0					
	23~ 25	1040	1.16	0	1.56	18~ 20	900	1	0
	32~ 35	1570	1.74	0	2.10		1273	1.41	0

表 4 天然草地与开垦 10 年农地土壤剖面的基本性质比较

土壤深度/mm	有机质 / (g · kg <sup>-1</sup> )	容重 / (g · cm <sup>-3</sup> )	总孔度 / %	土壤深度/mm	有机质 / (g · kg <sup>-1</sup> )	容重 / (g · cm <sup>-3</sup> )	总孔度 / %
2~ 7	45.2	0.91	65.66	开垦 10 年的农地	0~ 19	8.4	1.05
7~ 19	15.7	1.01	61.88		19~ 39	5.7	1.32
19~ 80	5.3	1.12	59.74		39~ 62	5.0	1.28
> 80	4.3	1.22	53.96		62~ 105	4.0	1.23

具有良好的理化性状(表 4), 增加降雨入渗及根系对土壤盘绕固结, 提高了土壤的抗冲性(表 5)<sup>[8]</sup>等, 使径流量减少 72.75%, 侵蚀产沙量减少了 55.4%。

自然草被覆盖下的草地, 其地上部分和地下部分作为一

(下转第 111 页)

- [22] Plata Bedmar, R Cobo Rayan, E Sanz Montero et, et al Influence of the Puentes reservoir operation procedure on the sediment accumulation rate between 1954- 1994 [A ] In: Commission Internationale des Grands Barrages Proc 19th Congress Grands Barrages [C ] Florence, Italy, 1997, Q. 74, R. 52, 835- 847.
- [23] Poesen J, J Nachtergaele, G Verstraeten, et al Gully erosion and environmental change: importance and research needs [J]. Catena, 2003, 50(2- 4): 91- 133
- [24] 张信宝, 李少龙, 王成华, 等 黄土高原小流域泥沙来源的<sup>137</sup>Cs法研究[J]. 科学通报, 1989, (3): 210- 213
- [25] 杨明义, 田均良, 刘普灵 应用<sup>137</sup>Cs研究小流域泥沙来源[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(3): 49- 53
- [26] 文安邦, 张信宝, 沃林DE 黄土丘陵区小流域泥沙来源及其动态变化的<sup>137</sup>Cs法研究[J]. 地理学报(增刊), 1998, 53(6): 124- 133
- [27] 庄作权 利用放射化学及地球化学方法追踪德基水库集水区之泥沙来源[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 195- 198
- [28] Wasson R J, R L Clark, P M Nanninga <sup>210</sup>Pb as a chronometer and tracer, Burrinjuck Reservoir, Australia [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1987, 12: 399- 414
- [29] 王秀玉, 曾而康, 万玉松, 等 应用<sup>210</sup>Pb法测定鄱阳湖底泥的沉积速率[J]. 核技术, 1987, 10(12): 15- 18
- [30] Murry Murray A S, Marten R, Johnson A, et al Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry [J]. J. Radioanalytical and Nucl Chem. Articles, 1987, 115: 263- 288
- [31] Wallbrink P J, A S Murray. Determining soil loss using the inventory ratio of excess lead- 210 to cesium- 137 [J]. Soil Science Society of American Journal, 1996, 60: 1201- 1208
- [32] Sutherland R A, T Kowalchuk, E de Jong Cesium- 137 estimates of sediment redistribution by wind [J]. Soil Science, 1991, 151: 387- 396
- [33] VandenBygaart A J, D J King, P H Groenevelt, et al Cautionary notes on the assumptions made in erosion studies using fallout <sup>137</sup>Cs as a marker [J]. Can. J. Soil Science, 1999, 79: 395- 397.
- [34] 万国江, P G Appleby. 环境生态系统散落核素示踪研究新进展 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(2): 172- 177.
- [35] 李勉 小流域侵蚀与产沙关系的<sup>137</sup>Cs、<sup>210</sup>Pb示踪研究 [D]. 杨陵: 中国科学院水土保持研究所, 2002
- [36] 李少龙, 苏春江, 白立新, 等 小流域泥沙来源的<sup>226</sup>Ra分析法 [J]. 山地研究, 1995, 13(3): 199- 202
- [37] Murray A, Ellen Wohl, Jon East Thermooluminescence and excess <sup>226</sup>Ra decay dating of Lake Quaternary fluvial sands, East Alligator River [J]. Australia Quaternary Research, 1992, 37: 29- 41.

(上接第 87 页)

个复合系统, 防止土壤侵蚀的发生发展。因此, 关于草被各部分之间的耦合关系有待做进一步的研究。

表5 草地与农地冲刷量的比较

土地利用	深度/cm	冲刷量 (g·min <sup>-1</sup> )	土地利用	深度/cm	冲刷量/ (g·min <sup>-1</sup> )
草地	0- 15	4.5	农地	0- 20	97.2
	15- 45	7.4		20- 35	94.2
	45- 75	8.8		35- 62	100
	75- 150	93.1		62- 150	100

#### 参考文献

- [1] 朱显谟 黄土高原植被因素对于水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1960, 8(2): 110- 120
- [2] 李勇, 吴钦孝 黄土高原植被根系提高土壤抗冲性能研究 I 油松人工林根系对土壤抗冲性能的增加效应[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 1- 5
- [3] 汪有科, 吴钦孝, 赵鸿雁, 等 林地枯落物抗冲机理研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 75- 80
- [4] 汪有科 森林植被水土保持功能评价[J]. 水土保持研究, 1994, 1(3): 24- 30
- [5] 陈文亮 组合侧喷式野外人工模拟降雨装置[J]. 水土保持通报, 1984, 4(9): 43- 47.
- [6] 白红英, 唐克丽, 张科利, 等 草地开垦人为加速侵蚀的人工降雨试验研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, (17): 87- 93
- [7] 蔡庆林, 唐克丽, 陈文亮 林地开垦人为加速侵蚀的人工降雨试验研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, (17): 79- 86
- [8] 郑粉莉, 唐克丽, 蔡庆, 等 子午岭林区林冠对降雨截留作用的研究[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, (17): 64- 67.
- [9] 查轩, 唐克丽, 白红英 植被恢复对土壤抗侵蚀特性的影响研究[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1993, (17): 36- 43

### 3 结 语

草被与森林植被一样, 能有效防止土壤侵蚀, 拦蓄径流效益为 94.6%, 而基本上无侵蚀发生, 且不受降雨强度和地面坡度的影响。草被植被地上部分(茎枝+ 枯落物)拦蓄径流效益为 23.67%, 其中茎枝部分拦蓄径流效益为 8.96% 和枯落物层拦蓄径流效益为 14.71%, 拦蓄泥沙效益为 44.6%。草被地下部分土壤体拦蓄径流效益为 72.75%, 拦蓄泥沙效益为 55.4%。对草地不同部分之间的关系, 如产草量与枯落物蓄积量和枯落物蓄积量与土壤腐殖质及其改善土壤理化性状的关系, 草根对土壤盘绕固结及改善土壤理化性状关系等问题, 尚需做进一步研究。