

用径流小区法研究不同耕作措施对土壤侵蚀的影响

李洪勋¹, 吴伯志²

(1 贵州省烟草科学研究所/中国烟草西南农业试验站, 贵阳 550003; 2 云南农业大学, 昆明 650201)

摘要: 用径流小区方法, 研究了不同耕作措施对土壤侵蚀的影响。结果表明: B 处理 (沿等高线 + 薄膜覆盖 + 秸秆覆盖 + 开沟种植) 能有效地减少土壤侵蚀, 维护土壤耕作层, 可促进农业的可持续发展。处理 B、A、C 总的径流量分别比处理 D (CK) 减少 79.13%、69.76%、50.61%, 总的侵蚀量减少的比例分别为 86.81%、72.75%、50.90%。

关键词: 薄膜覆盖; 秸秆覆盖; 开沟种植; 土壤侵蚀

中图分类号: S157.4⁺2

我国是世界上水土流失最严重的国家之一, 现有水土流失面积 367 万 km², 约占国土面积的 38%, 且还以每年 100 万 hm² 的面积增加^[1]; 西部地区水土流失尤其严重^[2], 据初步统计, 西部地区水土流失面积达 116 万 km²。水土流失不仅通过对土地的蚕食, 造成上游侵蚀地区土地面积减少、土地退化、土地生产力下降, 而且被侵蚀的土壤还以粗泥沙形式造成了下游河道、水库以及河口的淤积^[3-4], 给中下游地区人民群众生活及工农业生产带来严重影响。

造成水土流失主要是我国大部分地区降雨集中, 多以暴雨形式出现所致。由于降雨强度过大, 超过了土壤吸收和下渗的速度, 再加上土地表面植被稀少, 拦蓄雨水的能力减弱, 因而常引起山洪爆发, 造成滑坡、泥石流灾害频繁发生。另外, 不合理的种植方式也是造成水土流失的一个原因, 比如, 近年来, 地膜覆盖栽培技术正在我国大面积推广应用, 地膜在促进作物早发、增加土壤养分含量、增产等方面具有显著效应, 但地膜覆盖往往加剧水土流失。为有效解决以上问题, 我们合理结合地膜覆盖、秸秆覆盖、沟播、等高种植等耕作措施, 寻找一个综合的坡耕地耕作方式, 以减少水土流失, 改善作物生理生长指标, 提高玉米产量, 保护生态环境, 探索山地农业可持续发展的道路。

1 试验设计与方法

试验地设在云南省昆明市北郊黑龙潭云南农业大学教学科研试验农场内, 地理位置为 N25°8.13',

E102°0.99', 海拔 1900 m。土壤为一般酸性红壤, 肥力中等。供试玉米 (*Zea Mays* L.) 品种为“滇丰四号”。试验设 3 个坡度: 3°、10° 和 27°, 分别在 3 个坡度上按随机区组排列, 3 次重复。每个坡度分 10 个小区, 分属 4 个处理。其中处理 A、B、C 重复 3 次; 处理 D 重复 1 次, 设为对照 (CK) 处理。3°和 10°小区面积 3 m × 8 m, 27°小区面积 1.2 m × 6 m。在每个小区下端设有一个体积为 1 m³ (1 m × 1 m × 1 m) 的混凝土蓄水池, 内置体积为 120 L 的塑料水桶收集因降雨而产生的径流, 用以测定水土侵蚀量。4 种处理设计如下:

A: 沿等高线 + 薄膜覆盖 + 开沟种植 (沟播);

B: 沿等高线 + 薄膜覆盖 + 秸秆覆盖 + 开沟种植;

C: 沿等高线 + 薄膜覆盖 + 打塘种植 (穴播);

D: 无任何覆盖的顺坡打塘种植。

每次降雨产生径流后, 测定每个小区径流总量。同时分上、中、下不同水层共取水样 250 ml, 装于玻璃瓶中, 贴上标签。过滤径流水样, 并将残渣在 105 °C 的烘箱中烘 24 h, 然后用电子天平称重, 最后用水样中的土壤含量与各个小区的总径流量换算成降雨产生的侵蚀量, 从而测定各个不同处理和不同坡度的土壤侵蚀量。

最后对所得数据用 Excel、SPSS 软件进行统计分析、整理、作图。

2 结果与分析

2.1 降雨量、雨强及分布

2002 年在玉米生长季节共降雨 77 次，总降雨量 839.7 mm，其中有 18 次为产生径流的降雨，雨量总和为 466.5 mm，占玉米生育期总降雨量的

55.56%；2003 年共 60 次，总量 630.3 mm，其中 18 次降雨产生径流，雨量总和为 449.8 mm，占玉米生育期总降雨量的 71.36%（表 1）。

表 1 玉米生育期产生径流的降雨分布

Table 1 Distribution of run-off-causing rainfalls during the maize growing period

年份	月份	降雨总次数	产生径流次数	产生径流的降雨量(mm)对应的 ^[5-6] I ₃₀ (mm/min)										
2002	5	9	1	13.4										
				0.070										
	6	14	3	52.7	66.9	37.6								
				0.493	0.850	0.250								
7	20	5	18.7	48.7	10.1	7.7	9.8							
			0.500	0.557	0.190	0.112	0.150							
8	22	9	6.3	9.8	23.5	48.8	14.7	19.4	22.5	22.9	33.4			
			0.098	0.453	0.224	0.600	0.214	0.286	0.264	0.267	0.500			
2003	5	6	2	18.1	64.9									
				0.307	0.887									
	6	17	5	26.3	25.85	5.15	11.5	19.55						
				0.333	0.157	0.1	0.383	0.173						
	7	12	2	24.15	36.3									
0.133				0.29										
8	16	7	11.29	35.1	13.35	15.95	40.85	42.5	17.25					
			0.333	0.157	0.28	0.453	0.467	0.417	0.28					
9	9	2	18.85	22.85										
			0.227	0.167										

2.2 雨强与侵蚀的关系

对两年的产径流降雨量的雨强与径流量作一比较（图 1），由图 1 可看出，2002 年和 2003 年两年的径流量都与 I₃₀（30 min 最大雨强）呈极显著正相关，回归方程如下：

2002 年： $Y_{\text{径流量}} = 1386.1X_{\text{雨强}} - 234.062$ ， $R^2 = 0.560^{**}$ （ $F = 20.280$ ， $P = 0.000$ ）；

2003 年： $Y_{\text{径流量}} = 140.072X_{\text{雨强}} - 2.707$ ， $R^2 = 0.272^{**}$ （ $F = 17.427$ ， $P = 0.001$ ）。

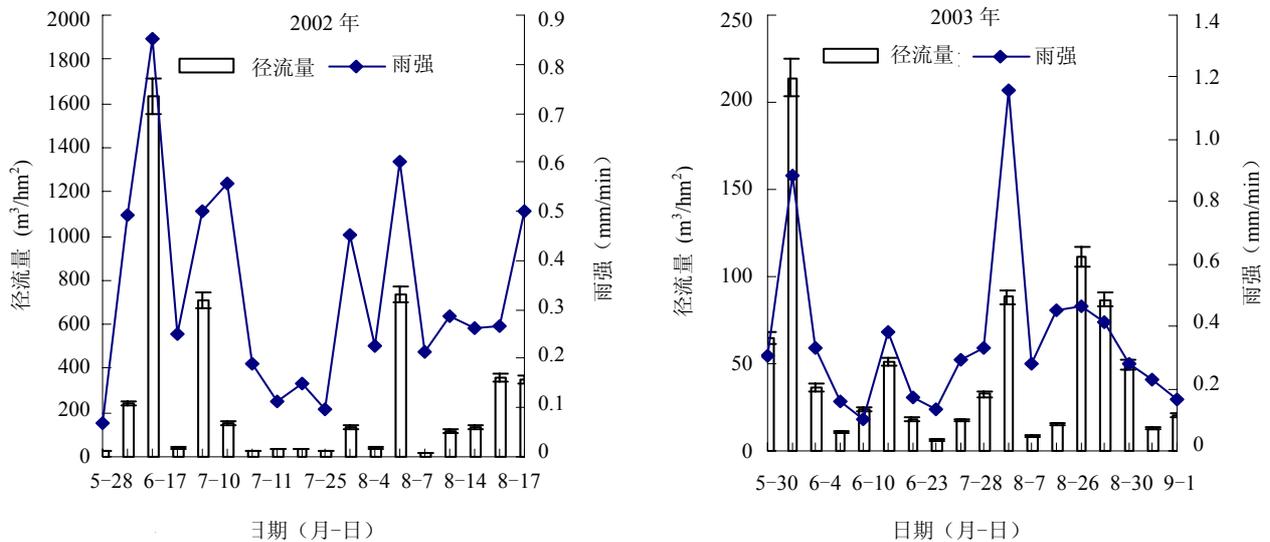


图 1 径流量与雨强对照图

Fig. 1 Relationship between runoff volumn and rainfall intensity

对两年的各 18 次侵蚀性降雨雨强进行统计, 可得到分属于低、中、高、极高强度降雨的次数, 2002 年分别为 7、6、4、1 次, 2003 年为 7、10、0、1 次; 其中低、中、高、极高强度降雨形成的径流量在生长期中所占比例, 2002 年分别为 5.11%、25.02%、29.94%、39.93%, 2003 年为 10.61%、54.59%、0、34.8%。因此, 一般来说, 雨强越大, 径流量也随之增加。随着降雨强度增大, 雨水和径流对地表的冲刷作用明显增强, 由小雨到大暴雨,

泥土流失量相应增大。

2.3 耕作措施对土壤侵蚀的影响

从图 2 可以看出, 2002 年 3 个坡度上未开沟处理 D、C 的平均径流量比开沟处理 A 分别增加 413.68%、113.28%, 比开沟处理 B 分别增加 698.25%、231.43%; 2003 年对应的增加比例为 143.84%、39.61% 和 242.26%、95.97%。说明开沟起垄种植方式, 改变了微地形, 能有效地起到截流和过滤径流中泥沙的作用。

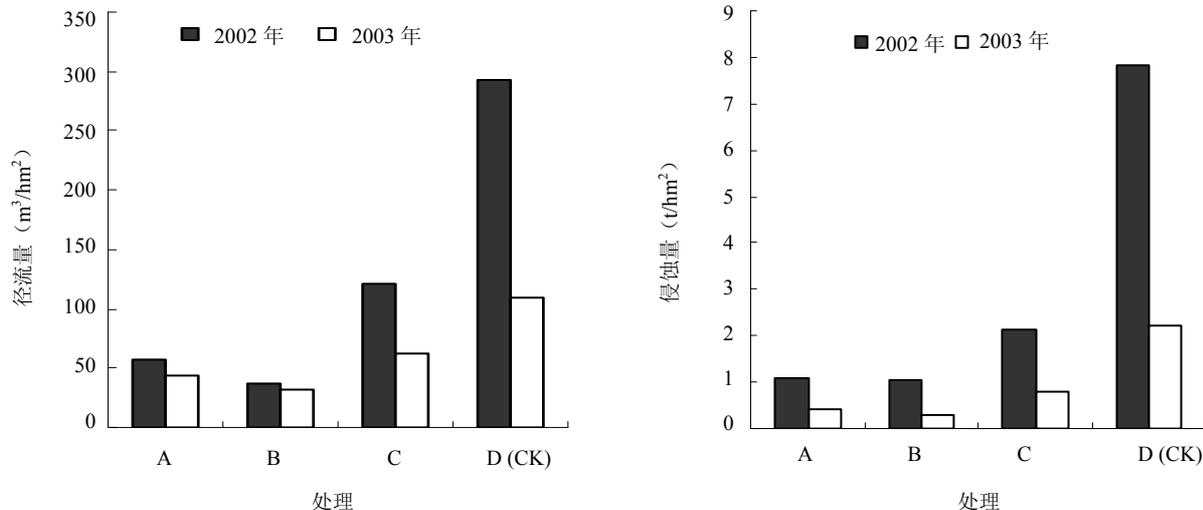


图 2 不同处理总的径流量和侵蚀量

Fig. 2 Total runoff and sediment of different treatments

处理 B、A 同是开沟、覆膜处理, 由于前者覆盖了麦秆, 两年试验测定的结果是 2002 年玉米生育期前者较后者径流量减少 35.65%, 2003 年为 28.76%。因此, 盖草处理具有增加坡面粗糙度、减缓水流速度和一定程度的吸收雨水等功效, 从而达到与水土保持措施的良好结合。

秸秆覆盖加上开沟种植方式比单纯开沟种植对减少径流更有效。由于径流会带走大量泥沙, 因此处理 B 径流的减少将意味着对土壤侵蚀具有一定保护作用。

2002 年等高种植处理 B、A、C 总的径流量分别比顺坡处理 D(CK) 减少 87.47%、80.53%、58.48%, 总的侵蚀量减少的比例分别为 86.72%、65.05%、38.75%; 2003 年相对应的比例是 70.78%、58.99%、42.74% 和 86.89%、80.45%、63.05%。说明等高处理都要比 CK 在减少水土流失方面具有良好效果, 因为等高种植可有效拦蓄坡面径流, 分割天然降雨

在坡面汇合后所形成的洪流对土地的冲刷, 使水土外流减少^[7]。单艳红等人^[8]指出, 在坡度较大地区实行等高种植, 由于减少了对土壤的扰动, 进而减少颗粒态磷的侵蚀流失; 秸秆还田也可减少地表径流中颗粒态磷的流失。

总之, 不同耕作措施水土保持效果强弱表现为: 处理 B>A>C>D。

2.4 坡度对土壤侵蚀的影响

从表 2 可以看出, 2002 年 4 个处理在 3°、10° 和 27° 上平均径流量分别为 35.68、65.13 和 114.94 m³/hm², 平均侵蚀量分别为 0.94、0.99 和 2.42 t/hm²; 2003 年对应的平均径流量分别为 16.62、27.10 和 94.76 m³/hm², 对应的平均侵蚀量分别为 0.29、0.33 和 0.83 t/hm²。可见, 坡度越大, 土壤侵蚀越严重。

从表 2 也可以看出, 2002 年各个坡度的水土流失状况要比 2003 年严重, 2002 年, 3° 坡度的径流量和侵蚀量分别比 2003 年对应坡度增加 114.64%、

表 2 不同坡度水土流失总量

Table 2 Total runoff and sediment from slopes different in gradient

年份	水土流失指标	坡度 (°)			F 值	P 值
		3	10	27		
2002	径流量 (m ³ /hm ²)	35.68 aA	65.13 aAB	114.94 bB	10.16**	0.001
	侵蚀量 (t/hm ²)	0.94 aA	0.99 aA	2.42 bB	7.46**	0.004
2003	径流量 (m ³ /hm ²)	16.62 aA	27.10 aA	94.75 bB	40.82**	0.000
	侵蚀量 (t/hm ²)	0.29 aA	0.33 aA	0.83 bB	9.32**	0.001

注: Duncan 法测验, 小写字母不同表示在 5% 水平上差异显著, 大写字母不同表示 1% 水平上差异显著。

222.9%; 10° 坡度为 140.36%、195.9%, 27° 坡度则为 21.31%、190.5%。究其原因, 与 2002 年降雨量多有关。

另从方差分析角度看, 2002 年、2003 年, 3°、10° 与 27° 之间的侵蚀量之间的差异达到了极显著水平, $P < 0.01$ 。可见, 地形是产生水土流失的重要条件。地面坡度越陡, 水土流失越加强烈。根据水文资料, 坡度越陡其地面径流的流速越大, 带走的泥沙量越多^[9]。夏卫生等人^[10-11] 研究得出, 在坡度 5° ~ 20° 时, 在相同的时间内, 泥沙含量随坡度增大而增大。国内外有关专家对地形影响水土流失的研究报道很多, 如用电解质脉冲法比较准确和及时地测量坡面水流速度, 为进一步研究径流与产沙侵蚀关系提供了可能^[12-14]。

另外, 坡向及坡长, 在降雨条件下对产流、产沙的影响也是不容忽视的, 等高种植与顺坡相比可起到有效截流和截沙的效果。因此, 山区农业很主要的一个制约因素就是严重的水土流失, 要保证作物生产, 必须改进耕作措施, 以减少土壤侵蚀, 在高坡度坡耕地显得尤其重要。一般 $> 25^\circ$ 应退耕还林, 通过退耕还林增加植被来改变下垫面条件, 可以减弱暴雨的动力作用, 减少土壤水力侵蚀^[15]; 植被系统通过改良土壤理化性状, 也能够有效地降低土壤侵蚀和养分损失^[16]。山高、坡陡的地区, 土壤侵蚀潜在危险性很大, 应严禁毁林开荒扩展耕地, 消除水土流失隐患^[17]。

3 结论

(1) 水土流失主要是由大雨、暴雨、大暴雨引起的、雨强越大, 水土流失量越大。降雨强度是影响土壤侵蚀的最重要降雨因子之一, 一般来说, 降雨强度越大, 对地表侵蚀的影响越大。对两年的产径流降雨量的雨强与径流量进行回归分析, 得出它

们之间呈极显著正相关, 相关系数分别为: 2002 年 $r = 0.748^{**}$ ($F = 20.280$, $P = 0.000$), 2003 年 $r = 0.5214^{**}$ ($F = 17.427$, $P = 0.001$)。

(2) 本试验处理 B、A、C 在 2002 年和 2003 年两年的平均径流量比处理 D(CK) 分别减少 79.13%、69.76%、50.61%, 侵蚀量减少的比例分别为 86.81%、72.75%、50.90%。各耕作措施水土保持效果强弱总的表现为: 处理 $B > A > C > D$ 。沿等高线、薄膜覆盖、秸秆覆盖、开沟种植相结合的处理 B 能有效地集节天然降水, 抑制蒸发, 改善土壤和作物间的水分供需关系, 增加土壤中的养分含量, 改善土壤物理性状, 减小雨滴溅蚀, 缓解流速和减小坡面径流量, 对实现农业高效稳产将产生极其深远的影响。

(3) 坡度越大, 土壤侵蚀越严重。两年试验 4 个处理在 3°、10° 与 27° 的 3 个坡度上的平均侵蚀量分别为 0.62、0.66、1.63 t/hm²。为保证山地农业的可持续发展, $> 25^\circ$ 的坡耕地必须退耕还林还草。

总之, 覆膜、盖草、开沟、等高种植的耕作方式形成了一个综合防蚀体系, 可以有效减少地表径流量和侵蚀量, 具有保持水土的显著效果, 是山区坡耕地农业防治水土流失的有效途径。

参考文献:

- [1] 张儒普, 孙繁松. 耕作制度改革与农地可持续利用. 国土资源, 2003 (10): 29-31
- [2] 尚廉斌. 控制水土流失. 改善生态环境是发展西部农业的关键. 林业科技管理, 2000 (4): 23-25
- [3] 朱波, 陈实, 游祥等. 紫色土退化旱地的肥力恢复与重建. 土壤学报, 2002, 39 (5): 743-749
- [4] 程积民, 万惠娥, 王静. 黄土丘陵区山桃灌木林地土壤水分过耗与调控恢复. 土壤学报, 2003, 40 (5): 691-696
- [5] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式, 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 196-197, 307

- [6] 江中善. 黄土高原土壤流失预报方程中降雨侵蚀力和地形因子的研究. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1988, 7: 40-50
- [7] 单艳红, 杨林章, 王建国. 土壤磷素流失的途径、环境影响及对策. 土壤, 2004, 36 (6): 602-608
- [8] Catt JA, Howse KR, Farina R, Brockie D, Todd A, Chambers BJ, Hodgkinson R, Harris GL, Quinton JN. Phosphorus losses from arable land in England. *Soil Use and Manage*, 1998, 14 (suppl.): 168-174
- [9] 夏卫生, 雷廷武, 张晴雯, 潘英华, 赵军. 冲刷条件下坡面水流速度与产沙关系研究. 土壤学报, 2004, 41 (6): 876-880
- [10] 夏卫生, 雷廷武, 赵军, 张晴雯, 高佩玲. 薄层水流速度测量系统的研究. 水科学进展, 2003 (5): 85-90
- [11] 夏卫生, 雷廷武, 张晴雯, 赵军. 坡面薄层水流中电解质脉冲迁移模型. 水利学报, 2003, 11: 22-26
- [12] Cao XG, Hu XF, Wang SP, He BG, Xu SY. Nitrogen losses from flooded rice field. *Pedosphere*, 2002, 12 (2): 151-156
- [13] Zhao YG, Zhang GL, Gong ZT. SOTER based soil water erosion simulation in Hainan Island. *Pedosphere*, 2003, 13 (2): 139-146
- [14] Kumar S. Effect of different vegetation systems on soil erosion and soil nutrients in red soil region of southeastern China. *Pedosphere*, 2003, 13 (2): 121-128
- [15] 孙希华, 闫福江. 基于遥感与 GIS 的土壤侵蚀潜在危险度评价研究—以青岛市为例. 土壤, 2004, 36 (5): 516-521
- [16] Tian GM, Wang FE, Chen YX, He YF, Fu QL, Kumar S, Lin Q. Effect of different vegetation systems on soil erosion and soil nutrients in red soil region of southeastern China. *Pedosphere*. 2003, 13 (2): 121-128
- [17] 赵其国. 城市生态环境保护与可持续发展. 土壤, 2003, 35 (6): 441-449

Effects of Cultivation Management on Soil Erosion

LI Hong-xun¹, WU Bo-zhi²

(¹ Tobacco Research Institute of Guizhou Province, Tobacco Agricultural Experiment Station of West South China, Guiyang 550003, China;

² Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Effects of cultivation management on soil erosion were studied with runoff-plots. The results showed that Treatment B (contour planting in furrows with polythene mulch, straw mulch) could effectively reduce surface runoff and soil erosion, preserve the tillage layer, and promote sustainable development of the agriculture. Total runoff of Treatment B, A, and C reduced surface runoff by 79.13%, 69.76%, and 50.61%, and total erosion by 86.81%, 72.75%, 50.90%, compared with Treatment D.

Key words: Polythene mulch, Straw mulch, Furrow sowing, Soil erosion