

# 横厢耕作措施对红壤坡耕地 水土流失影响的试验研究

蔡强国 马绍嘉 吴淑安 张光远 丁树文

(中国科学院地理研究所·北京市·100101) (华中农业大学·湖北武汉市·430000)

## 提 要

该文在对湖北省通城县水土保持试验站,所布设的12个野外试验观测小区,进行多年天然降雨观测的基础上,借助模拟降雨试验方法对红壤坡耕地不同耕作措施对水土流失的影响进行了试验研究。结果表明:1. 横厢耕作措施是一种很好的水土保持措施,纵厢耕作措施比横厢耕作的水土流失量明显增加;2. 在横厢耕作农地上实施轮作种植能改良土壤理化性质,保肥增产,但对水土流失并没有十分显著的影响;3. 横厢耕作措施是一种在陡坡耕地上也能得到较好效益的水土保持措施。

关键词: 红壤 坡耕地 水土流失 横厢耕作 纵厢耕作

## Experimental Research of Influence of Level Tillage Measures on Soil and Water Loss in Red Soil Slope Field

*Cai Qiangguo Ma Shaojia Wu Shuan*

*(Institute of Geography, Academia Sinica, Beijing 100101)*

*Zhang Guangyuan Ding Shuwen*

*(Department of Soil Chemistry of Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430000)*

## Abstract

Based on the many year observation on 12 field experimental plots under physical rainfall in Tongcheng county station of soil and water conservation, Hubei province, the influence of different tillage measures on soil and water loss in red soil slope field has been approached using the way of simulated rainfall. It was shown that: 1. level tillage is a very good way for control soil and water loss; the amount of soil and water loss under vertical tillage is more bigger than that under level tillage; the difference in the course of soil and water loss in slope field is not remarkable under normal rainfall or before rainstorm; 2. crop rotation on level tillage field could improve physical and chemical properties of soil, and could conserve soil fertility to increase yield; but its influence on soil and water loss is not notable; 3. level tillage measure is not only one of the measures for soil and water conservation, but also the one that can achieve more benefits on the steep slope field.

**Key words** red soil slope field soil and water loss level tillage vertical tillage

在我国花岗岩发育的红壤地区,一般自然条件较优越,降雨量充足,土壤资源丰富,是我国国民经济发展和粮食生产举足轻重的地区之一。但是,也是水土流失严重的地区。水土流失是自然因素与人为活动综合作用的结果,而人为活动是主导因素,由于不合理的土地利用,导致了严重的水土流失,土地生产力急剧下降<sup>[1,2]</sup>,近十几年来,人们采取相应的生物措施和工程措施来减少和防治土壤侵蚀,得到广泛推广应用的各种耕作措施也是极其有效的办法<sup>[3,4]</sup>。该文在对湖北省通城县水土保持试验站,所布设的12个野外试验观测小区,进行多年天然降雨观测的基础上,借助于模拟降雨试验方法,对不同耕作措施影响红壤坡耕地水土流失进行了试验研究。

## 一、试验区概况及试验方法

湖北省通城县,地处中亚热带北沿,属中亚热带向北亚热带过渡性气候,四季分明,气候温暖,雨量充足,年平均降雨量1400多mm,春夏多雨,3~8月降雨量超过1000mm,月平均降雨量大于100mm,冬季少雨,夏末秋初干旱,日照适中,无霜期长,年平均为258天,夏季炎热,冬季温和。通城县位于湖北东南边缘丘陵山区,幕阜山北麓,湘,鄂,赣三省交界处,在大地构造上属于江南古陆,以燕山运动形成的花岗岩为主,酸性结晶花岗岩占全县总面积的75%,分布在通城县的中部、西南部和南部的大部分地区。花岗岩地区的地形多为浑圆状山体,风化壳深厚,由于水土流失严重,一般土层薄,质地粗,土壤酸性,有机质含量低。

野外观测试验小区,布设在距通城县约3km的县水土保持试验站所属的试验小流域内,1991年根据不同坡度,土地利用与耕作措施,共布设了12个试验观测小区,除坚持进行天然降雨观测外,这两年还进行了几次模拟降雨试验,获得了大量试验观测数据。试验观测小区有几类:一类是横厢耕作小区,一般厢宽0.6m,厢长1.5m,每个小区设5厢,小区坡度为15°与25°两种;另一类是纵厢耕作小区,其厢宽约0.6m,厢长4.7m,每个小区设2厢;另外还有坡耕地小区,光板地小区与牧草小区等进行对照观测。这些试验小区的土质基本相同,试验小区面积为2m×5m用砖石镶边,以水泥抹边缝,防止降雨时水流进入或流出试验小区。试验小区下方设集水池,集水池内壁镶有水尺,天然降雨观测时,直接读出水尺读数,即为小区径流量,将集水池内水搅匀,取水样可分析得到水流含沙量。

试验所用下喷式模拟降雨机是由加拿大引进的,采用美国SPRACO锥形喷头,它由一套4.57m高的单独直立竖管,90cm长的延伸管,连结在延伸管末端的喷嘴以及使降雨装置稳定的几条拉线构成<sup>[5]</sup>。水滴以一定的初速度向下喷,可在相对较低的降落高度上模拟天然降雨。当降雨高度为4.57m,供水压力为67kPa时,用面粉球法测定雨滴大小分布范围是0.35~5.35mm,中数直径为2.40mm。雨滴初速度大于3m/s,最初喷出方向与垂直方向的最大偏角为60°,计算得到大多数雨滴可以达到其终点速度。在1.2mm/min雨强情况下,试验小区(2m×2.5m)内的总动能为0.57J/m<sup>2</sup>/s,约相当于等量天然降雨能量的90%,降雨均匀系数为0.897<sup>[6]</sup>。如果改换喷头和组合方式,可以得到不同的试验降雨强度。由于这种降雨机结构简单,拆装容易,搬运方便,可以适用于野外各种条件下,甚至在陡坡地上也可以进行模拟降雨试验。为了比较不同暴雨在这几种坡地上的水土流失规律,我们的野外模拟降雨试验采用了两种设计降雨强度,它们分别为0.69mm/min和1.2mm/min。

每次模拟降雨前,用十字板剪力仪测定前期表土抗剪强度(10次测量值计算平均),并用环刀取土样测定土壤容重及土壤水分。试验的前期表土状况及降雨情况见表1。在模拟降雨试验过程中,从产流开始,在小区末端每隔3min测一次径流量和取水样测水流含沙量,这样便可以分析与对比研究径流与侵蚀产沙过程。

表 1 试验前期表土状况与模拟降雨情况

小区编号	坡度(°)	小区类型		试验前期表土状况(平均值)			降雨强度(mm/min)	
				土壤水分(%)	抗剪强度(kpa)	容重(g/cm <sup>3</sup> )	25min	40min
1	15	横厢	厢	6.4	8.6	1.18	0.65	1.21
			沟	13.4	62.5	1.40		
2	15	横厢	厢	9.4	8.1	1.11	0.66	1.29
			沟	19.9	37.6	1.44		
3	15	横厢	厢	4.5	10.56	1.00	0.54	1.23
			沟	16.8	24.10	1.30		
4	15	纵厢	厢	4.3	14.0	1.06	0.66	1.28
			沟	10.1	61.5	1.14		
5	25	横厢	厢	4.9	15.45	0.97	0.70	1.33
			沟	11.8	31.63	1.36		
6	25	横厢	厢	3.0	23.3	1.19	0.65	1.24
			沟	13.6	70.0	1.39		
7	15	横厢	厢	3.3	11.5	1.22		1.16
			沟	12.6	80.0	1.46		
8	15	纵厢	厢	2.8	18.4	1.13	0.68	1.26
			沟	19.1	46.9	1.30		
9	15	横厢	厢	4.5	24.2	1.20	0.6	1.27
			沟	6.9	43.4	1.46		
10	15	牧草		7.8	62.4	1.32	0.68	1.29
11	15	坡耕地		9.2	13.6	1.06	0.70	1.21
12	15	横厢	厢	3.5	5.7	1.09	平均 1.10	
			沟	7.6	44.7	1.39		

## 二、试验结果与分析

### (一)横厢与纵厢耕作措施水保效益对比

在红壤地区有很多治理坡耕地,防治水土流失的有效耕作措施,例如,垄作、等高耕作,水平沟耕作、带状耕作等,均有较好的保水保土作用与增产效益。厢式耕作也是一种较好的耕作措施,这种方法可以截短坡面水流流路,防止土壤侵蚀物质与径流汇合为一体,大大减轻对耕作土壤表面的冲刷,厢间的沟道利于地面水流的排泄,所以在我国与北美、非洲一些地区能为农民所接受,得到较为广泛的推广<sup>[7,8]</sup>,在通城地区这种耕作方式也较为常用。

但是,厢式耕作的布设方式对防治水土流失的作用有很大影响,本文将对横厢耕作方式与纵厢耕作之间的差异作一些论述。在几个横厢耕作方式试验小

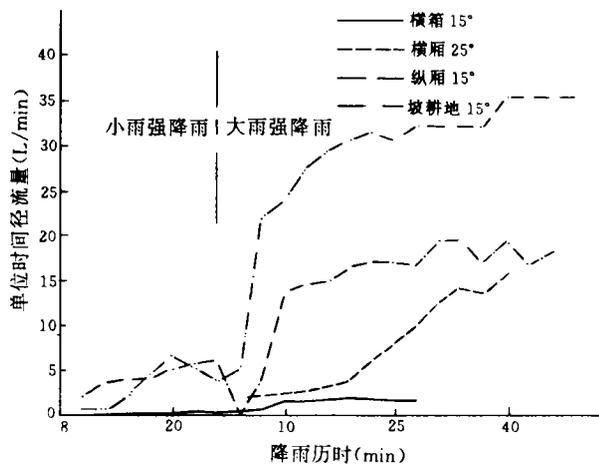


图 1 不同试验小区单位时间径流量变化

区中,由于采取不同的轮作措施,加上其它因素影响,水土流失量有差异,本文选择水土流失相对严重的 2 号试验小区与纵厢耕作措施试验小区对比分析。

将两种降雨强度模拟试验中,不同厢式耕作小区测量得到的单位时间径流量变化点绘成图 1,由图 1 明显看到,纵厢耕作小区单位时间径流量明显大于横向耕作小区,而且这种差异随降雨强度的增加而加大。从图 1 还可以看到,当雨强较小时,纵厢小区单位时间径流量基本与坡耕地小区不相上下。其原因为,纵厢一般是顺坡布设,虽然经过人工修整,坡度稍小于原始坡度,我们所布设纵厢面积是  $0.6\text{m} \times 4.7\text{m}$ ,坡长为  $4.7\text{m}$ ,接近坡耕地小区的坡长  $5\text{m}$ ,而坡长是决定水土流失规律的重要因素<sup>[9]</sup>,故大大降低厢式耕作的优越性。纵厢间的排水小沟,入渗率很小,所以在小强度降雨时,纵厢耕作小区甚至较坡耕地小区更容易产流。

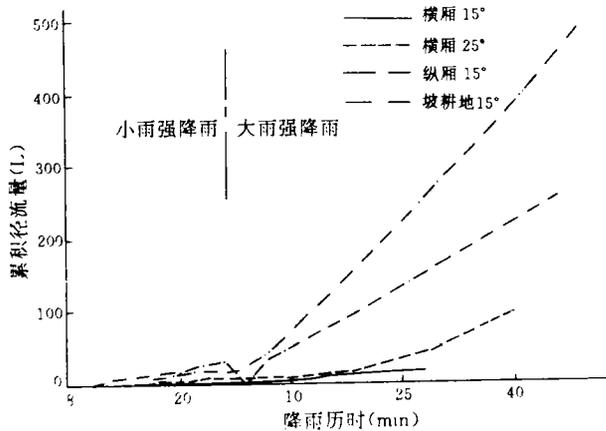


图 2 不同试验小区径流量累积过程线

流过程线斜率均比横厢耕作小区大 5 倍多,说明每延长单位降雨历时,两种耕作措施的径流增加量相差 5 倍。在图 2 中还点绘了坡耕地试验小区的累积径流量过程线,将其与纵厢耕作小区的过程相比,可以清楚看到,对于雨强较小的降雨和暴雨初始纵厢耕作小区的径流量要甚至大于坡耕地小区。

表 2 不同试验小区径流量与侵蚀产沙量累积拟合过程线方程

小区编号	小区类型	坡度(°)	雨强(mm/min)	累积径流过程	累积侵蚀产沙过程
2	横 厢	15	0.66	$Q = -2.2 + 0.22T$	$S = -1.36 + 0.16T$
			1.29	$Q = 2.78 + 0.86T$	$S = 2.52 + 0.71T$
6	横 厢	15	0.65	$Q = -0.95 + 0.085T$	$S = -7.97 + 0.58T$
			1.24	$Q = -18.7 + 2.74T$	$S = -40.26 + 6.07T$
8	纵 厢	15	0.68	$Q = -7.84 + 1.56T$	$S = -2.21 + 1.67T$
			1.26	$Q = 16.9 + 5.73T$	$S = 26.81 + 6.96T$
11	坡耕地	15	0.70	$Q = -14.9 + 1.09T$	$S = -97.72 + 7.39T$
			1.21	$Q = -1039 + 30.78T$	$S = -36.56 + 10.21T$

注:  $Q$ —累积径流量(L);  $S$ —累积侵蚀产沙量(g);  $T$ —降雨历时(min)

图 2 显示了不同试验小区在不同降雨强度情况下的径流量累积过程线,揭示出在同样降雨条件下,纵厢耕作小区的累积径流量过程线比横厢耕作小区过程线有较高的斜率,而且随降雨强度增大,过程线的斜率越陡。对模拟降雨试验资料的分析与统计计算表明,各个试验小区的累积径流量与降雨历时之间有很好的线性关系,从表 2 中可知,每条拟合直线的相关确定系数均大于 0.99。说明在模拟降雨过程中,这些试验小区的径流量随降雨历时延长而稳定增加,而这些直线斜率大小只是取决于土地利用与降雨过程。由表 2 计算可得,在两种雨强情况下,纵厢耕作小区拟合径

在图 3 中点绘出了不同试验小区不同降雨强度情况下的侵蚀产沙累积过程线,这些过程线同样显示出横厢耕作措施比纵厢耕作措施侵蚀产沙量小得多。在表 2 中所拟合的侵蚀产沙过程直线方程也是极其显著相关,不同的是纵厢耕作小区的侵蚀产沙过程直线斜率要比横厢小区的斜率高约 9 倍,也就是说它们之间的差值更大。

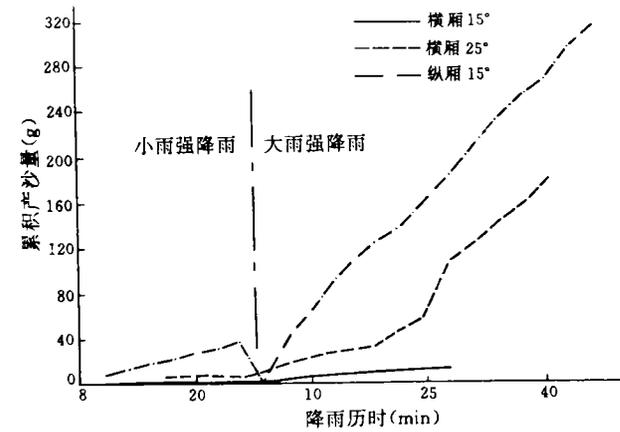


图 3 不同试验小区侵蚀产沙量累积过程线

据川中盆地内江地区的试验结果表明:在 10° 坡耕地上横向开行耕作比顺向开行要减少径流量 29%,减少泥沙量 79.9%,玉米增产 25.7%,甘蔗增产 12%,而红薯增产达到 71%<sup>[10]</sup>。一般来说等高耕作较顺坡耕作有较好的保水保土保肥效益。据研究表明:在红壤丘陵区的坡耕地上,顺坡耕作侵蚀严重,顺坡耕作坡耕地的红薯产量比等高耕作低 20% 多。由于顺坡耕作,坡上部的侵蚀较下部严重,土壤表层的细颗粒物质逐渐向下坡运移,使得上坡土壤质地粗化,土壤持水量和养分均较下坡少。如江西的一些测试资料表明:部分红壤丘陵的上坡,表层土壤多为砂质壤土,而

下坡为砂质粘壤土,下坡有机质含量为 7.5g/kg,而上坡仅为 5.7g/kg,全氮含量分别是 0.709g/kg 与 0.283g/kg。土壤持水量则分别为 23% 和 20%<sup>[11]</sup>。所以,等高耕作与横厢耕作是十分重要的保水保土保肥增产的耕作措施。

(二) 横厢与轮作、牧草措施水保效益比较

推广轮作倒茬的耕作制度,将用地与养地结合起来,是一种非常重要的水土保持与土壤改良利用措施,在旱地、坡耕地采取蚕豆——红薯或小麦——红薯,黄豆——小麦的轮作措施,改变以往旱地长期小麦、红薯连作等不良耕作制度,对改善土壤的物理性质和培肥土壤有明显作用,这是提高坡地持续生产力,综合利用坡地资源的基本保证。

红壤结构不良,大孔隙较少,下雨时,水分下渗速度很慢,保蓄水分的能力差。由于红壤中粘粒含量高,表面积大,被土粒所束缚的水分较大,而这些水是作物所不能吸收利用的无效水。红壤中的无效水分含量常常达 12% 以上,比肥沃土壤高出一倍多。红壤的水分性质可通过耕作熟化,改变土壤的理化性状而改善。长期推行轮作种植制度,可以提高土壤熟化程度,改善土壤结构,增加土壤孔隙度,透水性加强,这不仅有利于雨季排水,更有利于伏旱期间的水分保持。同时由于毛管孔隙与非毛管孔隙对比关系的改善,水分蒸发相对减少,又因土壤熟化,无效水减少,有效水增多,大大提高了土壤水分的利用率<sup>[12]</sup>。

我们对试验流域内 12 个试验小区中的 9 个小区采取不同的轮作措施,这些试验小区土壤物理性质和养分的变化,以及与作物产量的关系,将另有论文论述。本文仅对产流与土壤侵蚀的影响作一分析。

试验小区均为 15° 的坡地,均采用横厢耕作,编号分别为 1、2、3、7、9 号试验小区,采取不同的轮作措施,在表 3 中分别列出了各试验小区在模拟不同降雨强度情况下,单位时间平均径流率与最大径流率,平均水流含沙量与最大水流含沙量以及单位时间平均侵蚀产沙量与最大产沙量等。从表 3 中可以看到,对这几个试验小区来说,在不同降雨强度情况下,无论是径流量、侵蚀产沙量,还是水

流含沙量,它们的平均值与最大值之间的差异都很小,大多比值接近于 1,单位时间径流量与水流含沙量的最大比值差异为 1:2,即使对于单位时间产沙量它们的最大比值差异也约为 1:3,说明在整个模拟降雨试验过程中,产流与侵蚀产沙过程均比较平稳,没有较大起伏,也在一定程度上表示,试验测量数据误差较小。比较不同轮作措施试验小区之间的径流与侵蚀产沙过程,可以清楚看到它们之间的相对差异是较大的,单位时间径流量与侵蚀产沙量有时可以相差 10 倍左右,但从实际测量数值量来看,其绝对量并不大,尤其是将这些不同轮作措施小区之间的径流与侵蚀产沙量差异和横厢耕作与纵厢耕作,25° 坡度小区之间的差异相比,其量值是很小的。同时,也可以看到,这 5 个不同轮作措施试验小区在降雨过程中的平均水流含沙量没有大的不同,变化于 0.38 ~ 0.76kg/m<sup>3</sup> 之间,即使在大暴雨情况下,其波动范围也仅是 0.54 ~ 0.91kg/m<sup>3</sup>,基本是清水。

表 3 不同轮作措施对径流、侵蚀产沙的影响

小区编号	雨强 (mm/min)	径流率 (L/min)	含沙量 (kg/m <sup>3</sup> )	产沙率 (g/min)	
1	0.65	平均值	0.18	0.66	0.10
		最大值	0.27	1.50	0.27
	1.21	平均值	0.66	0.87	0.58
		最大值	0.76	2.07	1.51
2	0.66	平均值	0.22	0.76	0.16
		最大值	0.30	1.00	0.24
	1.29	平均值	1.73	0.86	1.49
		最大值	1.83	1.04	1.89
3	0.54	平均值	0.07	0.46	0.03
		最大值	0.09	0.73	0.04
	1.23	平均值	0.45	0.58	0.25
		最大值	0.66	0.92	0.48
7	1.16	平均值	0.13	0.91	0.11
		最大值	0.19	1.30	0.17
9	0.60	平均值	0.09	0.38	0.03
		最大值	0.13	0.60	0.05
	1.27	平均值	0.74	0.54	0.16
		最大值	1.01	0.92	0.52

响,由于采取不同厢式耕作措施而引起的水土流失量差异要远远大于因采取不同轮作措施而引起的水土流失量差异。

在表 3 与表 4 中均同时列出了牧草试验小区的相应数值与拟合关系,清楚显示出横厢耕作措施的优越性,这 5 个横厢耕作小区的径流量与水流含沙量,即使在大暴雨时也小于牧草小区。而坡面侵蚀产沙量,小强度降雨时,横厢耕作仍有其优越性,只是在大暴雨情况下,由于牧草小区的覆盖度高,雨强对其影响极微小,此时横厢耕作小区的侵蚀产沙量要略大于牧草小区,说明横向耕作是一种很好的水土保持措施。

大量研究成果揭示出,坡面径流量是影响侵蚀产沙的重要因素,对于一个特定坡面来说,侵蚀产沙量与径流量之间往往能建立较好的相关关系<sup>[13,14]</sup>。为此,我们分析与统计计算了不同轮作措施试验小区在模拟降雨试验中累积径流量过程与累积侵蚀产沙量过程之间的关系,它们之间均呈非常显著的线性相关关系,所计算得到的确定相关系数均接近于 1。但是,从表 4 可以清楚看到,对于不同轮作的试验小区,所拟合得到的直线并没有很大不同,直线斜率均小于 1,即使模拟降雨强度增加一倍,从表 4 中可以看出,直线斜率仍然是小于 1。在这里直线斜率的物理意义可以解释为单位时间径流量的侵蚀产沙作用,也就是说,在同样横厢耕作措施条件下,对于不同轮作措施小区,因土壤理化性质变化而引起坡面单位时间径流量的侵蚀产沙作用差异是不大的,即使在大暴雨情况下,径流量对侵蚀产沙的影响也有限。

以上对表 3 与表 4 的分析结果可以看出,虽然 2 年的不同轮作措施,可以改良土壤的物理化学性质,达到增产保收的目的,但是坡耕地水土流失受厢式措施的影响要远大于不同轮作措施的影响。

表 4 不同轮作措施小区累积产沙量与累积径流量之间的关系

小区编号	雨强 (mm/min)	累积产沙量与累积径流量之间关系	确定系数
1	0.65	$S = 0.478 + 0.417Q$	0.96
	1.21	$S = 2.068 + 0.728Q$	0.98
2	0.66	$S = 0.197 + 0.701Q$	0.99
	1.29	$S = 0.241 + 0.82Q$	0.99
3	0.54	$S = 0.047 + 0.371Q$	0.99
	1.23	$S = 0.51 + 0.54Q$	0.98
7	1.16	$S = 0.188 + 0.848Q$	0.99
9	0.6	$S = 0.069 + 0.303Q$	0.98
	1.27	$S = 1.685 + 0.149Q$	0.93

注: S 和 Q 符号含义同表 2

并没有明显差异,在大暴雨情况下,由于耕地表土被水分饱和,入渗率大大降低,坡度对产流的影响才逐渐显示出来,虽然 25° 试验小区的径流率有较大增加,但也远小于实施纵厢耕作的 15° 小区。由图 3 看出,在一般降雨,以及大暴雨初始,同样实施横厢耕作措施的 15° 小区和 25° 小区有基本类似的累积径流过程线,只是在地表基本饱和后 25° 小区的径流量才有较大增加。图 4 比较不同试验小区的侵蚀产沙过程线,也同样显示出在 25° 陡坡地实施,横厢耕作措施的减水减沙效益,也仅仅是在大雨强、大暴雨情况下由于被雨水饱和的表土在陡坡容易失去平衡,才使侵蚀产沙量有较明显增加,而且此时侵蚀产沙量的增加不是平稳与渐进的,而是有较大的随机性。比较表 2 中的拟合直线方程斜率也揭示了在 25° 陡坡地实施横厢耕作措施的水土保持效益。

### 三、结 论

1. 横厢耕作措施是一种很好的水土保持措施,纵厢耕作措施比横厢耕作的的水土流失量明显增加。在一般降雨和大暴雨初始与坡耕地的水沙流失过程并没有明显差异。
2. 在横厢耕作农地上实施轮作种植能改良土壤理化性质,保肥增产。
3. 横厢耕作措施是一种在陡坡坡耕地上也能得到较好效益的水土保持措施。

### 参 考 文 献

- [1] 红壤利用改良区划协作组. 中国红壤地区土壤利用改良区划. 北京: 农业出版社, 1985 年
- [2] 中国土地退化防治研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1990 年
- [3] 中国科学院南方综合考察队. 红壤丘陵开发和治理. 北京: 科学出版社, 1989 年
- [4] 史学正等. 综合利用我国红壤资源防治水土流失. 《水土保持学报》, 1992 年, 第 1 期
- [5] 蔡强国等. 径流和侵蚀产沙过程试验小区观测与模拟试验. 《土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究》. 北京: 科学出版社, 1992 年
- [6] Luk, S. H., A. D. Abrahams and A. J. parsons, A simple rainfall simulator and trielde system for hyd rogeomor physical experiments, Physical Geography, Vol. 7, NO. 4, 1986 年

### (三) 坡度对横厢耕作水保效益的影响

在地形地貌影响因素中,地面坡度是决定水土流失大小的重要因子之一,坡度直接影响降雨雨滴对地面的打击角度与坡面径流所具有的能量与对地表的冲刷能力,坡度对土壤侵蚀的影响是十分复杂的,国内外曾有不少学者对此进行过不同程度的研究<sup>[15,16,17,18,19]</sup>,因地貌、土质、土地利用条件和气候影响因素不同,它所揭示的规律有较大差异<sup>[20,21]</sup>。但是,有一点是共同的,即在一定坡度范围内,当其它条件类似时,随地面坡度增加,各种侵蚀类型造成的水土流失量增大,也就是说坡度陡是水土流失加剧的潜在影响因素,而且在热带与亚热带地区,坡度对水土流失的影响更加明显<sup>[22]</sup>。

我们的试验研究结果说明,横厢耕作措施即使在陡坡地上实施也有较好的保水保土效益。从图 2 可以看出,对于小强度降雨,实施横向耕作措施的 25° 陡坡地试验小区的单位时间径流率与 15° 小区

- [7] 江西省红壤试验站. 江西省农牧渔业厅土地利用管理局编.《江西红壤研究》. 南昌:江西科学技术出版社, 1987 年
- [8] Philips, R. L. , Surface drainage system for farm lands, Tran. Am. Soc. Ag. En. Vol. 6, P313 - 317, 319, 1963 年
- [9] 蔡强国. 坡长在坡面侵蚀产沙过程中的作用.《泥沙研究》, 1989 年, 第 4 期
- [10] 史德明. 红壤地区土壤侵蚀及防治.《中国红壤》, 北京:科学出版社, 1985 年
- [11] 江西农业科学研究所. 江西红壤研究(第 1 集). 南昌:江西人民出版社, 1960 年
- [12] 史德明. 土壤侵蚀对生态环境的影响及其对策.《水土保持科学理论与实践》, 北京:中国林业出版社, 1992 年
- [13] Moly M. , Erosion and environment (environmental sciences and applications volume 9). Perfaman Press Oxford, 1981.
- [14] Q. G. Cai and S. H. Luk; Effect of slope length on soil loss in the loess Plateau Region, China, Proceedings of the Fifth, International Soil conservation Conference Bangkok Thailand, P589 - 594, 1988
- [15] 贾志军等. 地面坡度对坡耕地土壤侵蚀的影响.《晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验研究文集》, 北京:水利电力出版社, 1990 年
- [16] Froehlich, W. , Influence of the slope gradient and supply area on splash, Z. Geomorph. N. F. , Suppl. Bd. 60, P105 - 114, 1886 年
- [17] Bryan, R. B. , The influence of slope angle on soil entrainment by sheetwash and rainsplash, Earth Surface Processes, Vol. 4, P43 - 58, 1973 年
- [18] 陈浩等. 坡度影响坡面产流. 产沙过程的试验研究.《黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究文集》, 北京:气象出版社, 1988 年
- [19] Poesen, J. , Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stone in the top layer of loose sediments. Earth Sur. Proc. Landf. , Vol. 11, P1 - 10, 1986 年
- [20] Kirkby, M. J. and R. P. C. Morgan, Soil erosion, John Wiley and Sons, 1980 年
- [21] 陈永宗等. 黄土高原现代侵蚀与治理. 北京:科学出版社, 1988 年。
- [22] Hudson, N. W. , Soil conservation, London, Batsford, 1981

~~~~~  
(上接第 37 页)

#### 参 考 文 献

- [1] 王礼先. 小流域综合治理.《人人爱护水土资源》, 中国水土保持学会, 1991 年
- [2] 孙立达等.《小流域综合治理理论与实践》. 北京:中国科学技术出版社, 1992 年
- [3] 刘书楷等. 生态环境特点的辩证关系.《农村生态环境》, 1992 年第 5 期
- [4] 李怀甫.《小流域治理理论与方法》. 北京:水利电力出版社, 1989 年
- [5] 王丽丽. 耗散结构与生态系统.《自然辩证法习作选》, 北京林业大学自然辩证法教研室