

# 翻耕对花岗岩坡地水分转化及产流产沙特征影响研究

陈明霞<sup>1</sup>, 查 轩<sup>1</sup>, 丁光敏<sup>2</sup>

(1. 福建师范大学地理研究所, 福建 福州 350007; 2. 福建省水土保持试验站, 福建 福州 350003)

**摘 要:** 坡地水土流失是导致土壤质量退化与土地生产力下降的重要原因。采用人工降雨野外模拟试验方法研究了翻耕前后花岗岩坡地水分转化及产流产沙特征的影响。研究表明, 翻耕可以提高水分转化率, 但从总趋势上看, 翻耕条件下径流含沙量与产流产沙量均显著高于翻耕前, 其中平均含沙量增加 1.5 倍, 产沙量增加 12%, 故应多种耕作措施有机结合; 降雨过程中, 随着产流时间的延长, 坡地产沙量呈加速增加的趋势, 而且增加速度显著快于坡面径流。因此采取适当措施延长初始产流时间, 减少产流量以及提高降雨向土壤水分的转化率均可有效减少坡地土壤流失量。

**关键词:** 花岗岩坡地; 人工降雨; 水分转化; 水土流失

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2005)03—0006—04

中图分类号: S157.1; S152.7

## Effects of Tillage on Water Transformation and Characters of Runoff-sediment-yielding in Granite Sloping Fields

CHEN Ming-xia<sup>1</sup>, ZHA Xuan<sup>1</sup>, DING Guang-min<sup>2</sup>

(1. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, Fujian Province, China;

2. Soil and Water Conservation Experimental Station of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian Province, China)

**Abstract:** Soil and water loss from sloping fields was the main reason for soil and land productivity degradation in mountain areas. Based on the experiments of rainfall simulation, this article assessed systematically the effect of tillage on water transformation and runoff-sediment-yielding characters on granite sloping fields. Results showed that under tillage conditions, the rate of water transformation increased by 1/4, the average sediment concentration in lost runoff increased by one and a half times, sediment-yielding amount increased by 12%. So various farming measures should be combined organically. In addition, with the extension of runoff-yielding time during the rainfall process, the sediment from slope tended to accelerate more rapidly than runoff volume increase. So the applications of suitable measures to prolong the initial runoff-yielding time, reduce runoff-yielding volume, and increase the transformation ratio from rainfall to soil water will be effective in reducing soil loss from sloping fields in these areas.

**Keywords:** the granite sloping fields; rainfall simulation; soil water transformation; soil and water loss

严重的水土流失一直是影响我国山区经济发展的重要因素。福建省是多山省份, 全省侵入岩分布广泛, 约占陆地面积的 33%<sup>[1]</sup>, 其中约 90% 为花岗岩, 山地生态系统脆弱, 属水土流失易发区。随着人口的增长, 人地矛盾将更加突出, 充分合理开发山地资源已成为解决人地矛盾突出问题的关键<sup>[2]</sup>。而大面积的坡地被开发成园地及坡耕地, 使许多结构相对复杂、稳定性较强、生物品种多样的自然坡地生态系统被结构单调、稳定性较弱的人工植被系统取代, 加上坡地工程质量低以及不合理耕作方法, 使土壤侵蚀强

度增加<sup>[3]</sup>。因此, 若能积极采用水土保持耕作与适当的坡面管理措施, 对于减少和控制水土流失, 遏制土壤退化, 保护生态环境均具有重要的意义。基于上述原因, 我们通过人工降雨野外模拟试验, 研究了翻耕前后坡地产流产沙特征, 以期对花岗岩山坡地可持续利用和农业生态环境建设提供科学依据。

## 1 研究区概况

安溪县地处闽东南花岗岩区域内, 北纬 24°50′—25°26′, 东经 117°35′—118°17′。安溪县是一个人多,

收稿日期: 2005-01-24

资助项目: 国家自然科学基金项目(40171064); 福建省自然科学基金项目(D0410016, D0410018, F0210016); 福建省水土保持试验站科研项目(K9902)

作者简介: 陈明霞(1977—), 女(汉族), 福建仙游人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与环境生态方面的研究工作。电话(0591)87594053, E-mail: envcnx@163.com。

山多,耕地少的贫困山区县,土地总面积 3 057.28 km<sup>2</sup>,是泉州最大的县份。全县总人口 1.03 × 10<sup>6</sup> 人,耕地面积 25 217 hm<sup>2</sup>,山地面积 221 126 hm<sup>2</sup>,占土地总面积的 72.3%。山地丘陵比重大,而耕地面积少,致使人地矛盾尤其突出。随着人口增长对农产品需求增加,大面积的坡地被开发成园地及坡耕地,全县现有茶园 15 526 hm<sup>2</sup>,果园 9 467 hm<sup>2</sup>,坡耕地 2 758 hm<sup>2</sup>。在开垦农地及茶园时多数没有达到标准梯田的要求,坡地工程质量低,耕作方法不合理,使土壤侵蚀强度增加<sup>[4]</sup>。群众主要通过砍伐或焚烧来清除自然植被,然后耕犁土壤,种植农作物。这种传统的开垦与耕种作用的强度和施加于土壤的能量是其它自然营力或生物群体不可比拟的,必将引起土壤侵蚀的加速发展<sup>[5]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 降雨试验方法

试验在安溪县官桥水土保持试验站的试验地进行,采用野外人工模拟降雨装置,试验小区长 100 cm,宽 45 cm。试验小区的坡度为 18°,在选定的试验地上,用宽 45 cm 的薄钢板作为试验小区的边框,埋入地下 10 cm 左右,上露 10 cm,周围夯实。在试验小区的下方,安装集流槽,出口接集流桶。降雨雨强由出流孔板的雨滴发生器及水压控制。设计雨强为 1.5 mm/min,降雨量控制在 50 mm 左右。

野外人工模拟降雨试验的目的主要是研究单次降雨过程中,翻耕前后土壤水分转化与产流产沙特征。将翻耕前后的土壤,分别模拟在降雨条件下土壤侵蚀退化的程度。对于翻耕土壤,翻耕整平为新的开垦裸地。试验小区的坡度为 18°,在选定的试验地上,用宽 45 cm 的薄钢板作为试验小区的边框,埋入地下 10 cm 左右,上露 10 cm,周围夯实。在试验小区

的下方,安装集流槽,出口接集流桶。设计雨强为 1.5 mm/min,降雨量控制在 50 mm 左右。

### 2.2 观测项目与样品采集

每次降雨前取试验小区的土样,降雨时进行观测记录。每隔 2~3 min 定时采集径流、泥沙样,将采样的泥沙静置过夜,过滤上部清液;泥沙样品在 105 °C 下恒温烘干称重,以测定含沙量。

### 2.3 计算方法

利用实测雨强与径流资料计算产流强度  $V_R$  与坡面入渗率  $I$ ,计算方法见式(1),(2):

$$V_R = R_n / t \quad (1)$$

式中:  $R_n$  ——径流量(ml);  $t$  ——降雨历时(min)。

$$I = (I_R t - 10 R_n / s * \cos \theta) / t \quad (2)$$

式中:  $I_R$  ——降雨强度(mm/min);  $\theta$  ——地表坡度(°);  $s * \cos \theta$  ——坡面受雨面积(cm<sup>2</sup>); 10 ——为量纲换算系数;其余符号同前。次降雨过程中坡面单位时间降雨的入渗量定义为坡面平均入渗率  $I_R$ ,量纲为 mm/min,即  $t$  为总降雨历时的入渗率。

## 3 研究结果与分析

### 3.1 翻耕处理前后坡地水分转化的变化特征

入渗率与产流强度是反映坡地水分转化的两个重要物理量。试验结果表明,在地表坡度、降雨特性及土壤初始含水量等初始条件相对一致的情况下,与自然土壤相比,翻耕处理坡面初始产流时间延长,由 1.7 min 延长至 2.8 min。产流量与径流系数减少 50%以上,平均入渗率由 0.77 mm/min 升至 1.14 mm/min,上升 48%(见表 1)。可见,翻耕条件下降雨的入渗量增加较多,说明大量的降雨以入渗的形式流入土壤中。从坡面产流量的累积过程线可以明显地看出,翻耕前径流量显著高于翻耕处理条件后的径流量(见图 1)。

表 1 模拟降雨翻耕前后对坡面平均入渗率与产流特征的影响

处理	表层初始含水量/%	雨量/mm	初始产流时间/min	径流系数	降雨向土壤水分转化率/%	平均值			
						入渗率/(mm·min <sup>-1</sup> )	含沙量/(g·ml <sup>-1</sup> )	产流强度/(ml·min <sup>-1</sup> )	单位时间产沙量/(g·min <sup>-1</sup> )
翻耕前	17.96	49.50	1.68	0.49	51.03	0.77	0.002	330	0.715
翻耕后	18.30	49.50	2.82	0.24	76.07	1.14	0.005	162	0.801

从入渗率在产流过程中的动态变化可以看出,翻耕处理前后具有明显的差异(详见图 2,图 3)。翻耕前的初始产流时间缩短,而且坡面产流以后,入渗率的下降速度非常迅速,并且很快接近稳定入渗率;而翻耕处理初始产流时间相对较长,入渗率的下降也相对较为缓慢。

从二者的变化趋势来看,翻耕处理的稳定入渗率也明显高于翻耕前的土壤。翻耕以后土壤入渗率升高的主要原因在于翻耕土壤由于结构疏松、孔隙度增加,有利于降雨的入渗与土壤含水量的提高;翻耕使土壤容重降低并相应提高了土壤的贮水容量,符合通常所说的“土壤翻耕增加土壤贮水”<sup>[6-7]</sup>。由于翻耕

导致入渗率的显著提高,相应地,降雨向土壤水分的转化率也比原坡面高,经计算,翻耕处理的水分转化率比原坡面高了 25%。

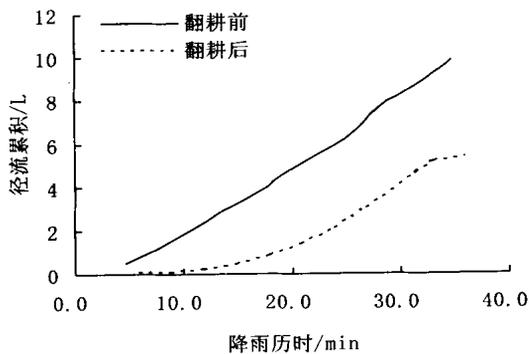


图 1 模拟降雨条件下翻耕前后径流累积过程

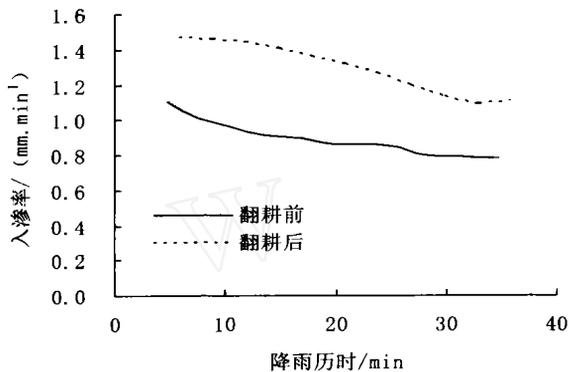


图 2 模拟降雨条件下翻耕前后入渗率动态变化

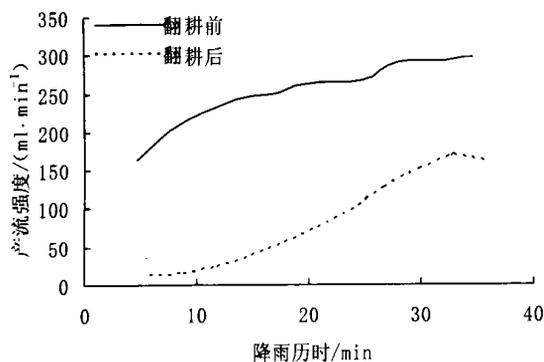


图 3 模拟降雨条件下翻耕前后产流强度动态变化

由于翻耕导致入渗率的提高,从而致使产流强度降低,特别是在产流初期,仅为翻耕前的 1/10。模拟降雨条件下翻耕前后产流强度动态变化见图 3。由图 2,3 还可发现,翻耕前入渗率与产流强度的动态变化较为平稳,而翻耕条件下则均具有较大的波动性,这与降雨过程中局部坡面的湿陷所导致的坡面流态不稳有关。统计分析表明,翻耕地与原坡面平均入渗率与产流时间具有显著的幂函数关系,产流强度及产

流时间具有显著的对数函数关系,相关系数均达到极显著水平,回归方程与相关系数见表 2。

表 2 坡面产流强度  $V_R$ 、入渗率  $I$ 、单位时间产沙量  $p$ 、累积产沙量  $T$  与产流时间  $t$  的相关性分析及回归方程

处理方式	回归方程	$n$	$R^2$
翻耕前	$V_R = 55.696 \ln t + 101.3243 (t < 3\text{min})$	11	0.9916
翻耕后	$V_R = 75.678 \ln t - 116.854 (t < 3\text{min})$	12	0.8119
翻耕前	$I = 1.1617 t^{-0.175} + 0.1595 (t < 3\text{min})$	11	0.9862
翻耕后	$I = -0.0079 t^{1.166} + 1.5297 (t < 3\text{min})$	12	0.9735
翻耕前	$P = 17.490 t^{-4} + 0.707 (t < 3\text{min})$	11	0.8549
翻耕后	$P = 0.044 t^{0.9} - 0.126 (t < 3\text{min})$	12	0.9604
翻耕前	$T = 0.1 t^{1.11} + 0.302 (t < 3\text{min})$	11	0.9933
翻耕后	$T = 0.012 t^{1.8} - 0.258 (t < 3\text{min})$	12	0.9823

### 3.2 坡地侵蚀产沙过程特征

虽然翻耕以后入渗率的提高与产流强度的降低,但翻耕后单位时间产沙量却明显增大了。翻耕前由于降雨过程中雨滴打击和水分下渗,土壤颗粒填充空隙,土壤表层形成较密实的结皮层,结皮层抗冲力不断加强,坡面以薄层水流为主,水流的冲蚀能力较弱,坡面上溅蚀分散的物质已被连续搬运,由于 1.5 mm/min 的雨强<sup>[8]</sup>还未能使土壤结构与入渗性能遭到强力破坏,土壤表层结皮主要依靠雨滴溅蚀的水流紊动作用逐渐剥离分散和搬运,土壤表层不易被冲破,产沙量呈下降趋势,侵蚀量也较小。而经过翻耕的土壤结构疏松,在产流的初始阶段,土壤可以吸纳大量的降水,这个过程主要表现为水分的入渗,但随着降雨历时的增加,土壤表层被冲破,单位时间产沙量不断上升,逐渐高于翻耕处理前的产沙量。翻耕使单位时间产沙量平均增加 12%,且翻耕前后单位时间产沙量与产流时间均具有显著的幂函数关系(图 4)。

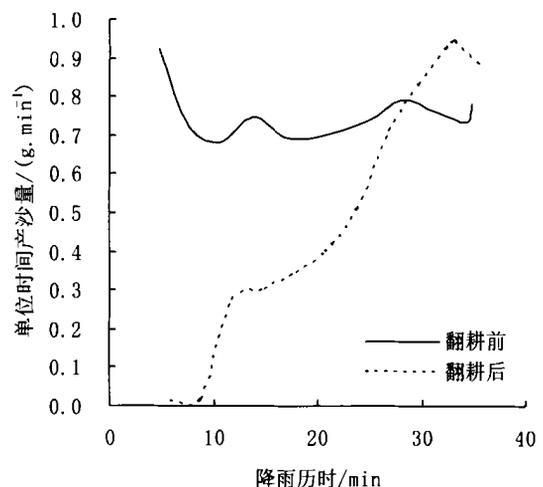


图 4 翻耕前后侵蚀产沙过程

翻耕后不但使单位时间的产沙量增大,且随径流流失的泥沙量也呈明显增大趋势。经过计算,翻耕地与原坡面累积产沙量与产流时间具有显著的幂函数关系,含沙量与产流时间也具有明显的对数函数关系,相关系数均达到极显著水平,回归方程与相关系数见表2。由表1见,土壤翻耕以后坡面径流的平均含沙量由原坡面的0.002 g/ml增至0.005 g/ml左右,增加了1.5倍,每1 min平均产沙量增加12%。此外,从总趋势可见,在产流过程中翻耕处理的径流含沙量明显高于翻耕前的坡面(图5,6)。这主要是因为翻耕处理坡面初始产流时间滞后引起的。所以雨季翻耕休闲,虽然能够增加土壤贮水量,如果不采取适当的坡面管理措施,仍会使坡地水土流失加剧,加速了坡地土壤肥力的退化。少耕、免耕对维护土壤结构,降低水土流失量具有显著作用,但在同一田块长期进行少耕和免耕,则容易产生诸如杂草、病虫害等问题,而翻耕有利于接纳天然降水,对缓解土壤干旱、促进作物根系的延伸和发育具有很好的效果。因此从保护土壤质量的角度来看,以上耕作措施应有机结合,综合运用更有利于降雨向土壤水分的转化,减少坡面产流量及水土流失<sup>[9-10]</sup>。

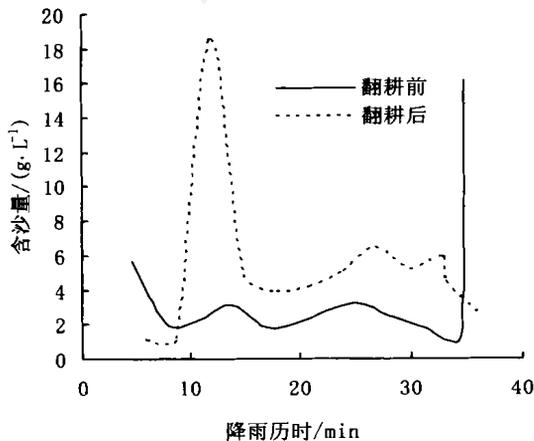


图5 翻耕前后含沙量变化过程

## 4 结 语

由野外人工模拟降雨试验表明,对于初次降雨量,土壤翻耕会提高入渗率,同翻耕前相比,土壤翻耕使坡面平均入渗率由0.77 mm/min升至1.14 mm/min,上升了48%,而产流强度减少51%,降雨向土壤水分的转化率提高1/4。

从总趋势上看,翻耕条件下径流含沙量与坡地产生沙量均显著高于翻耕前(免耕)处理,其中平均含沙量增加了1.5倍,单位时间平均产沙量增加12%,因此从减少水土流失的角度出发,改翻耕休闲为免耕

休闲更有利于遏制土壤质量退化。鉴于翻耕休闲更利于接纳天然降水,缓解土壤干旱及减少病虫害,故应多种耕作措施与生物篱等技术有机结合,从而促进福建省山地农业生产及生态环境建设协调发展。

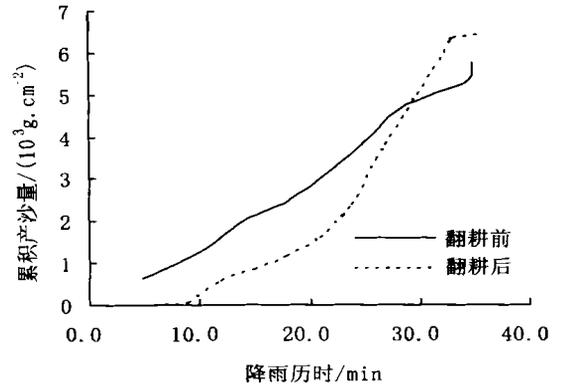


图6 翻耕前后累积产沙量变化过程

降雨过程中,随着产流时间的延长,坡地泥沙流失量呈加速增加的趋势,而且增加速度显著快于坡面产流量的增加速度,因此采取各种技术措施延长初始产流时间、减小汇流面积以及提高降雨向土壤水分的转化率不仅可以有效减少坡地径流流失量,更重要的是可以更大程度地减轻坡地土壤的流失。

参加野外试验的还有吴彩莲、吴振福、林卫烈、杨锡成、王庆林、王如志等同志,特致谢意!

## [参 考 文 献]

- [1] 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1985. 283.
- [2] 查轩,黄少燕. 南方山地果园开发中的水土保持问题[J]. 水土保持研究,1999,6(2):72-75.
- [3] Reid I, Pankinson R, Twomlow S. The impact of agricultural landuse changes on soil condition and drainage. In: J. Thornes(ed). Vegetation & Erosion. John Wiley & Sons Ltd. 1990. 199-215.
- [4] 林金堂,等. 安溪县水土流失及防治对策[J]. 水土保持通报. 2001,21(2):59-62.
- [5] 郭跃. 试论农业耕作对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报. 1995,9(4):94-98.
- [6] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京:农业出版社,1983,154-156.
- [7] 信途,赵聚宝. 旱地农田土壤水分与调控技术[M]. 北京:农业出版社,1992. 373-393.
- [8] 黄少燕,查轩. 坡耕地侵蚀过程与土壤理化特性演变[J]. 山地学报. 2002,20(3):290-295.
- [9] 周炳中,等. 红壤丘陵区农业开发中的生态环境效应及其调控[J]. 地域研究与开发. 2002,21(4):14-19.
- [10] 李洪文,等. 旱地农业三种耕作措施的对比研究[J]. 干旱地区农业研究. 1997,15(1):7-11.