

# Exploratory Study on Soil and Water Conservation Monitoring for Sloping Cultivated Land in Yunnan

Chaoju Wen

Yunnan Bureau of Hydrology and Water Resources, Kunming Yunnan  
Email: ynswwcj@163.com

Received: Apr. 4<sup>th</sup>, 2017; accepted: Apr. 15<sup>th</sup>, 2017; published: Apr. 18<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Five small watershed of seriously soil and water loss were selected as case study. The superposition spray type rainfall simulation control system was used to explore artificial simulated rainfall experiment combined with observed rainfall of farmland soil and water conservation monitoring method. Respectively within 5 terrace management of small watershed in the three different slope location construction 20 m × 3 m's experimental plot, the three-year 59 games simulated rainfall experiment and flood season over 158 natural rainfall observation, used to analyze the benefits of soil and water loss control. The monitoring results show that the slope and rainfall intensity of soil erosion of slope affect significantly, but the influence of the rainfall is relatively greater. Simulated rainfall experiment terrace land plot runoff coefficient of 39.8% of the slope area, average slope area decreases in the soil erosion intensity is 77.7%. Natural rainfall observation terrace land plot runoff coefficient of 13.3% of the slope area, average slope area to reduce in the soil erosion intensity is 90.0%. The simulated rainfall experiment and natural rainfall observation results are basically consistent, which shows that the benefit is remarkable after terrace flow and erosion reduction.

## Keywords

Sloping Cultivated Land, Nature Rainfall, Simulated Rainfall, Soil Erosion Intensity, Monitoring Method, Analysis and Research

---

# 云南坡耕地治理水土保持监测方法探索研究

文朝菊

云南省水文水资源局, 云南 昆明  
Email: ynswwcj@163.com

作者简介: 文朝菊, 女, 云南省水文水资源局, 高级工程师, 大学本科, 主要从事水环境监测评价、水文水资源及水土保持监测研究工作。

文章引用: 文朝菊. 云南坡耕地治理水土保持监测方法探索研究[J]. 水资源研究, 2017, 6(2): 187-195.  
<https://doi.org/10.12677/jwrr.2017.62022>

收稿日期：2017年4月4日；录用日期：2017年4月15日；发布日期：2017年4月18日

## 摘要

选取水土流失严重的5个治理小流域为研究对象，采用叠加喷洒式模拟降雨控制系统，探索和研究野外人工模拟降雨实验与自然降雨观测相结合的坡耕地水土保持监测方法。分别在5个坡改梯治理小流域内选址建设3个不同坡度 $20\text{ m} \times 3\text{ m}$ 的实验小区，历时三年进行了59场次模拟降雨实验和汛期158场次自然降雨观测，并分析水土流失治理效益。监测结果表明：坡度和降雨量对坡耕地土壤侵蚀强度影响显著，但降雨量的影响相对更大；模拟降雨实验梯地小区径流系数为坡地小区的39.8%，平均土壤侵蚀强度较坡地小区减小77.7%；自然降雨观测梯地小区径流系数为坡地小区的13.3%，平均土壤侵蚀强度较坡地小区减少90.0%。由此看来，模拟降雨实验和自然降雨观测两种途径的监测结果基本上是一致的，均表明坡改梯后减流减蚀效益显著。

## 关键词

坡耕地，自然降雨，模拟降雨，土壤侵蚀强度，监测方法，分析研究

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

云南省是我国水土流失较严重的省份之一，全省广布的坡耕地是水土流失的主要来源，坡耕地既是山丘区群众赖以生存的基本生产生活用地，也是水土流失的重点区域。据1997年土地详查数，全省642万 $\text{hm}^2$ 耕地中有坡耕地410万 $\text{hm}^2$ ，其中 $25^\circ$ 以上的坡耕地就有76万 $\text{hm}^2$ 。坡耕地水土流失面积约占全省水土流失面积的30%，而产生的水土流失量则超过全省水土流失总量的40%。坡耕地在全省16个州市均有分布，有13个州市50%以上的耕地是坡耕地，特别是昭通市、怒江州辖区内的耕地中有85%以上都是坡耕地，有6个州市 $25^\circ$ 以上的陡坡耕地占坡耕地总面积20%以上。据2004年遥感调查，全省水土流失面积达13.2万 $\text{km}^2$ ，占全省国土面积的35%，年流失土壤5亿多吨。有研究表明，坡耕地是人为因素干预自然环境最直接的体现，是产流产沙最大的地类[1][2]，是江河湖库泥沙的主要来源地。目前，土壤侵蚀强度估算方法主要有遥感解译法[3]、经验公式与GIS技术相结合的模型预测法[4][5][6]、示踪法[7][8]、以及实验法[9][10][11]。但由于云南省坡耕地水土流失综合治理工程各小流域内降水、坡度、土壤等因素的相关参数的准确确定存在较大困难，估算方法难于获得理想的结果。因此，在调研学习借鉴当前国内外水土保持监测经验和高校实验成果的基础上，采用野外人工模拟降雨实验与自然降雨观测相结合的方法，分析不同坡度和降雨量对坡耕地土壤侵蚀强度的影响，评价坡耕地治理前后的土壤侵蚀强度变化情况，为探索坡耕地治理方法、模式和宏观决策提供科学依据，为研究和探索坡耕地水土流失监测新方法提供技术支撑。

## 2. 监测依据和方法

### 2.1. 监测技术依据

《水土保持监测技术规程》(SL277-2002)；《水土保持实验规程》(SL419-2007)；《云南省坡耕地水土流失综合治理试点工程水土保持监测实施方案》。

## 2.2. 研究对象和监测方法

基于云南省坡耕地水土流失综合治理试点工程项目实施情况，同步开展坡耕地水土保持监测，探索坡耕地水土流失监测的方法和途径。在 12 个坡耕地治理小流域中选择有代表性的云县石佛山、昌宁县小赤田、东川区拖潭沟、宣威市吉科、水富县罗湾 5 个小流域为研究对象，采用地面观测和人工模拟降雨实验相结合的方式监测坡耕地治理土壤侵蚀状况。

在 5 个小流域内选址建设实验小区，按模拟降雨设计要求，采用  $P = 100\%$  的设计雨强进行实验。在实验小区周围无遮挡的平整区域布设气象观测场，安装自计雨量计，并设置 5 分钟记录 1 次监测自然降雨过程；雨季(5~10 月)进行自然降雨土壤侵蚀观测与记录。

## 3. 模拟降雨实验系统

### 3.1. 降雨范围

在总降雨覆盖面积内，将覆盖面积分为  $0.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$  的 24 个小块，每个小块对应一个降雨器，通过相邻降雨器的任意组合，可以到达在不同的降雨面积上进行降雨的目的。

### 3.2. 降雨形式

降雨系统采用针管式降雨形式。降雨器降雨量随针管上所施加的水头成正比，并且为线性关系；各针头产生的雨滴直径基本相同，可以认为是天然降雨的某当量直径雨滴。但由于该降雨器针头出水量受水质影响很大，特别是结垢对针头出水有明显影响，因此，系统对水质的要求非常严格。

### 3.3. 降雨指标

叠加喷洒式模拟降雨控制系统降雨强度变化范围是  $4\text{ mm/h} \sim 200\text{ mm/h}$ ；降雨雨强最小分辨值为  $1.3\text{ mm/h}$ ；降雨强度控制精度为  $0.66\text{ mm/h}$ ；降雨均匀度  $>0.95$ 。

### 3.4. 降雨系统结构

叠加喷洒式模拟降雨控制系统由降雨器、承力支架、震动支架、降雨器震动装置系统、自动承雨(受雨面降雨开启或停止控制)装置、供水系统、电磁阀、控制器和控制用 PC 机等组成，主要结构如图 1 所示。

## 4. 模拟降雨实验

### 4.1. 实验小区选址

模拟降雨实验小区建设需考虑交通、水源、仪器安装及方便看守等要求。

1) 场地、位置。选择坡度、土壤类型有代表性，满足实验小区建设和监测仪器设备布设对场地面积的要求；尽量选在连片坡耕地的边缘，以免对其他坡耕地种植造成影响。

2) 交通条件。保证雨季交通工具能够快速到达实验小区，及时进行监测。

3) 水源条件。由于模拟降雨系统喷头较细，要求水质清澈、无杂质，以免造成喷头堵塞。在附近无水源时采用水车运水方式解决水源。

### 4.2. 实验小区设计

为得到可靠的监测评价结果，实验小区产汇流条件应尽量接近天然状态，因此应特别注意实验小区的选址、布局、以及挡墙和集流口的科学设计。布设时既要考虑周围环境，还应注意外推到其它地区的可能性；其次要考虑极端状况，如极大、极小坡度的实验、极端降雨实验等。

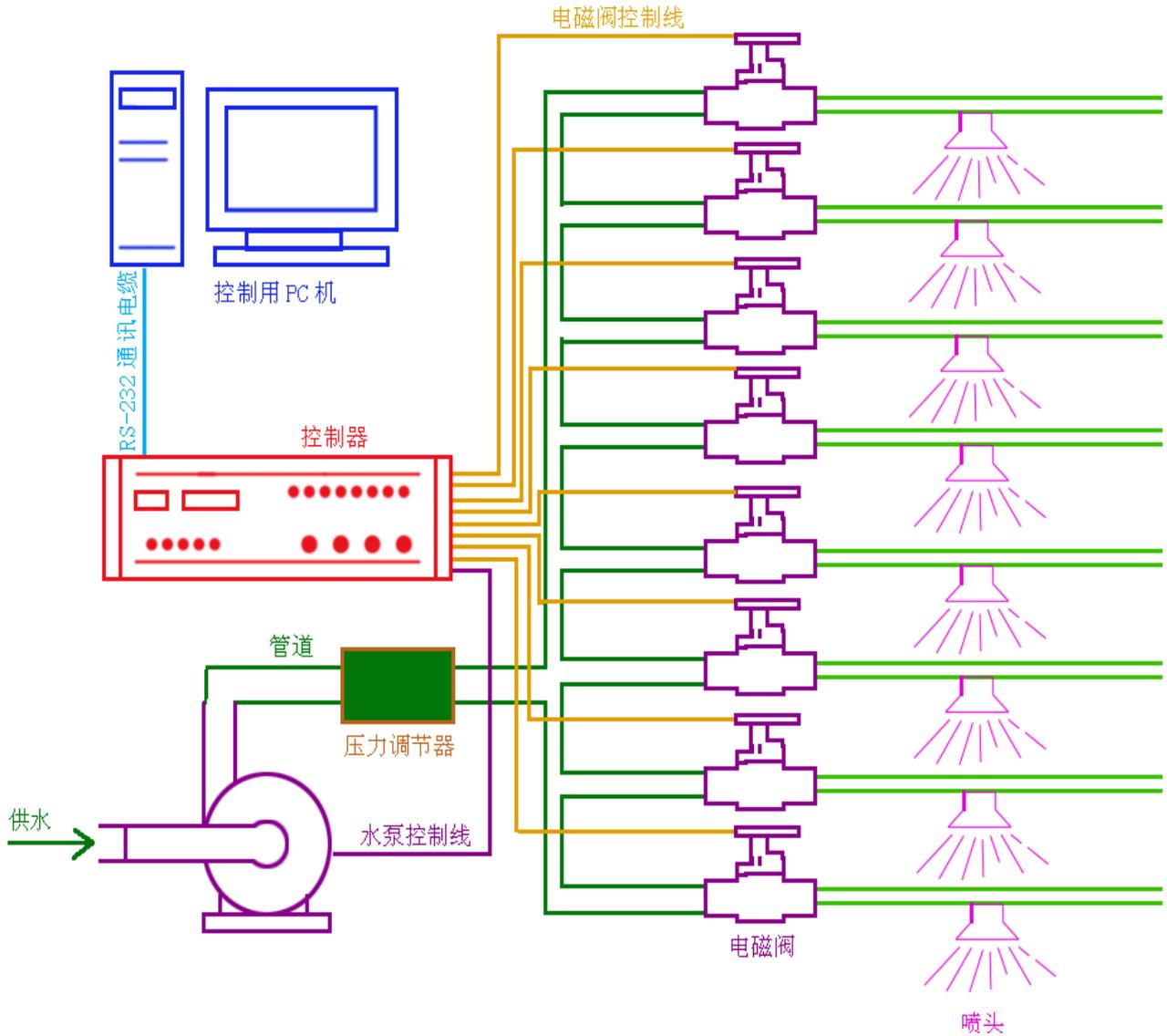


Figure 1. Schematic diagram of stack artificial simulation of rainfall by spraying system

图 1. 叠加喷洒式人工仿真降雨系统示意图

1) 布局设计。实验小区布设与等高线垂直，每个流域分别以  $5^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 、 $8^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 、 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$  坡度布设 3 个投影面积为  $60\text{ m}^2$  的坡地和梯地实验小区，底部预留  $1.5\text{ m}$  用于集流口设置。径流收集可采用缸体标有容积量刻度的大塑料缸记录产流过程。

2) 挡墙设计。为隔绝与周围地表和壤中流，实验小区挡墙设计深度应不小于入渗深度(一般为  $50\text{ cm}$ )，高出地面  $20\text{ cm}$ ，挡墙材料可选用粘土砖等，并采用水泥砂浆抹面，增强防渗性能。

3) 集流口设计。为便于径流顺势流出及径流收集，将集流口设计为收口形状，即从小区宽度  $3\text{ m}$  逐渐变收窄至出水口宽度  $20\text{ cm}$ 。为便于收集壤中流，集流口设计深度应不小于  $20\text{ cm}$ ，集流口前用铁丝网拦挡，以免土层崩塌堵塞。

4) 地表覆盖状况。监测时段内实验小区不种植任何农作物，自然生长的杂草覆盖度  $20\%\sim 30\%$ 。

#### 4.3. 实验方法

人工模拟降雨实验是运用人工降雨系统装置在建成的三个不同坡度实验小区，采用相同降雨条件(本研究采

用  $P = 100\%$  的设计雨强)在坡改梯前后分别进行模拟降雨实验, 监测土壤侵蚀和产流、产沙过程。但由于是在野外进行人工模拟降雨实验, 影响因素多, 特别是风力影响, 实际落在小区内降雨量不同程度的小于设计模拟降雨量。因此, 在进行模拟降雨实验时, 可能出现产流或不产流两种情况。

1) 若产流: 测定模拟降雨前土壤含水率, 记录降雨过程、产流开始和结束时间、产流量, 并按 5 分钟间隔取水样测定产沙量, 采用加权平均法计算平均侵蚀量, 据此分析模拟降雨产流和土壤侵蚀状况。

2) 若未产流: 记录降雨过程、测定模拟降雨前后土壤含水率, 通过土壤含水率对比分析土壤墒情变化。

3) 土壤含水率测定: 采用移动墒情监测仪和称重法。

## 5. 监测结果分析

### 5.1. 基于模拟降雨实验的减流减蚀效益分析

实验于 2011 年 1 月~2013 年 8 月跨 3 年历时 120 余天, 在云县石佛山、昌宁县小赤田、东川区拖潭沟、宣威市吉科、水富县罗湾 5 个坡耕地水土流失治理小流域进行了人工模拟降雨实验 59 场次, 其中, 共有 41 场人工模拟降雨实验产流, 占 69.5%; 有 18 场人工模拟降雨实验不产流, 占 30.5%。因此, 按坡地小区和梯地小区人工模拟降雨实验产流情况进行统计, 分析坡耕地水土流失综合治理后的减流减蚀效果。坡地实验小区人工模拟降雨产流情况分析统计详见表 1, 梯地实验小区人工模拟降雨产流情况分析统计见表 2。

由表 1 表可知: 5 个小流域坡地实验小区人工模拟降雨实验产流共 29 场次, 前期土壤含水率平均为 16.82%, 植被覆盖率平均为 53%, 实际平均降雨量为 57.9 mm, 径流系数平均为 0.231, 平均土壤侵蚀强度 64.45 t/km<sup>2</sup>。

表 2 可知: 梯地小区人工模拟降雨实验产流共 12 场次, 前期土壤含水率平均为 23.96%, 植被覆盖率平均为 58%, 实际平均降雨量为 54.9 mm, 径流系数平均为 0.092, 平均土壤侵蚀强度 14.37 t/km<sup>2</sup>。

上述分析表明: 坡改梯后, 梯地小区前期土壤含水率和植被覆盖率比坡地小区高, 实际平均降雨量比坡地小区小, 但径流系数为坡地小区的 39.8%, 平均土壤侵蚀强度较坡地小区减小 77.7%, 由此可见坡改梯后减流减蚀效益显著。

### 5.2. 基于自然降雨观测的减流减蚀效益分析

自然降雨观测于 2011 年~2013 年雨季(5~10 月), 在云县石佛山、昌宁县小赤田、东川区拖潭沟、宣威市吉科、水富县罗湾 5 个小流域共完成了自然降雨观测 158 场次。经统计分析, 梯地小区观测到的平均降雨产流量比坡地小区低, 径流系数为坡地小区的 13.3%, 平均土壤侵蚀强度较坡地小区减少 90.0%, 说明坡改梯后减流减蚀效益十分明显, 这与模拟降雨实验结果相一致。

以宣威市吉科小流域为例, 从不同坡度分析自然降雨土壤侵蚀状况。吉科小流域于 2012~2013 年雨季(5~10 月)共观测到 52 场自然降雨产流过程, 占研究对象 5 个小流域自然降雨观测总场次的 32.9%。吉科小流域自然降雨土壤侵蚀监测结果分析统计详见表 3。

由表 3 可知, 吉科小流域 2012 年降水量为 1133 mm, 接近多年平均水平, 观测到有产流过程的 33 场降雨总量为 841.5 mm, 占全年降水量的 74.3%; 2013 年降水量为 852 mm, 属枯水年, 观测到有产流过程的 19 场降雨总量为 495 mm, 占全年降水量的 58.1%。

吉科小流域 2012 年(平水年)和 2013 年(枯水年)初始产流降雨量分别为 9.5 mm 和 11.5 mm, 枯水年土壤水分含量低, 初始产流降雨量相对较大; 2012 年 33 场自然降雨 2°坡地和 11.8°坡地径流系数分别为 0.21 和 0.26, 侵蚀强度分别为 843.33 t/km<sup>2</sup> 和 1996.67 t/km<sup>2</sup>; 2013 年 19 场自然降雨 2°坡地和 11.8°坡地径流系数分别为 0.07 和 0.09, 侵蚀强度分别为 30.50 t/km<sup>2</sup> 和 53.33 t/km<sup>2</sup>。从不同坡度坡耕地土壤侵蚀来看, 2°坡地和 11.8°坡地小区径流系数相差不大, 但侵蚀强度差异明显, 2012 年和 2013 年 11.8°坡地小区侵蚀强度分别为 2°坡地的 2.37 倍和 1.75 倍, 表明坡度较大的坡耕地是水土流失的主要来源, 应作为防治重点区域。从同一坡度不同降水量下土壤侵蚀

**Table 1.** The analysis and statistical table of artificial simulating rainfall in sloping fields test plots  
**表 1.** 坡地实验小区人工模拟降雨产流情况分析统计表

| 小流域 | 坡度    | 实验次数 | 实验时间       | 实验环境       |         |       | 设计降雨量 (mm) | 平均降雨量 (mm) | 产流情况                  |       | 土壤侵蚀情况   |                           |
|-----|-------|------|------------|------------|---------|-------|------------|------------|-----------------------|-------|----------|---------------------------|
|     |       |      |            | 前期土壤含水率(%) | 植被盖度(%) | 天气情况  |            |            | 产流量 (m <sup>3</sup> ) | 径流系数  | 侵蚀量 (kg) | 侵蚀强度 (t/km <sup>2</sup> ) |
| 石佛山 | 8°    | 第一次  | 2011/1/26  | 21.58      | 0       | 晴, 微风 | 84.8       | 61.6       | 1.402                 | 0.379 | 20.664   | 344.40                    |
|     | 8°    | 第二次  | 2011/6/29  | 19.51      | 100     | 阴, 微风 | 84.8       | 52.2       | 2.145                 | 0.685 | 13.436   | 223.93                    |
|     | 8°    | 第三次  | 2011/12/22 | 12.16      | 70      | 晴, 微风 | 84.8       | 44.1       | 0.232                 | 0.088 | 0.032    | 0.53                      |
|     | 8°    | 第四次  | 2012/9/10  | 9.04       | 100     | 阴, 微风 | 84.8       | 59.9       | 0.087                 | 0.024 | 0.117    | 1.95                      |
|     | 14.3° | 第二次  | 2011/6/30  | 20.45      | 100     | 阴, 微风 | 84.8       | 58.5       | 1.513                 | 0.431 | 28.741   | 479.02                    |
|     | 14.3° | 第三次  | 2011/12/23 | 11.41      | 70      | 晴, 微风 | 84.8       | 60.5       | 0.643                 | 0.177 | 0.204    | 3.40                      |
|     | 14.3° | 第四次  | 2012/9/10  | 10.59      | 100     | 阴, 微风 | 84.8       | 50.9       | 0.009                 | 0.003 | 0.005    | 0.08                      |
|     | 15°   | 第一次  | 2011/1/27  | 16.05      | 0       | 晴, 微风 | 84.8       | 61.5       | 0.017                 | 0.005 | 0.131    | 2.18                      |
|     | 15°   | 第二次  | 2011/6/30  | 20.65      | 100     | 阴, 微风 | 84.8       | 42.4       | 0.629                 | 0.247 | 10.396   | 173.27                    |
| 小赤田 | 15°   | 第四次  | 2012/9/11  | 10.74      | 100     | 阴, 微风 | 84.8       | 61.1       | 0.022                 | 0.007 | 1.646    | 27.43                     |
|     | 10.5° | 第一次  | 2011/6/27  | 21.65      | 10      | 阴, 无风 | 72.4       | 53.4       | 0.33                  | 0.103 | 1.04     | 17.33                     |
|     | 10.5° | 第三次  | 2012/9/7   | 23.94      | 85      | 晴, 微风 | 72.4       | 52.6       | 0.037                 | 0.012 | 0.13     | 2.17                      |
| 拖潭沟 | 10°   | 第二次  | 2012/9/20  | 29.05      | 90      | 晴, 微风 | 61.2       | 12.1       | 0.213                 | 0.293 | 0.833    | 13.88                     |
|     | 10°   | 第四次  | 2013/1/17  | 35.08      | 0       | 晴, 微风 | 61.2       | 62         | 0.277                 | 0.074 | 0.501    | 8.35                      |
| 吉科  | 2°    | 第一次  | 2012/2/29  | 3.92       | 0       | 阴, 微风 | 69.2       | 84.7       | 0.006                 | 0.012 | 0.037    | 0.62                      |
|     | 2°    | 第二次  | 2012/8/31  | 16.39      | 20      | 阴, 微风 | 69.2       | 47.8       | 0.909                 | 0.317 | 1.37     | 22.83                     |
|     | 2°    | 第三次  | 2013/1/13  | 20.55      | 10      | 阴, 微风 | 69.2       | 56.7       | 0.01                  | 0.003 | 0.139    | 2.32                      |
|     | 11.8° | 第一次  | 2012/3/1   | 5.68       | 0       | 阴, 微风 | 69.2       | 63.7       | 0.2                   | 0.052 | 0.951    | 15.85                     |
|     | 11.8° | 第二次  | 2012/8/31  | 27.67      | 20      | 阴, 微风 | 69.2       | 61.2       | 0.985                 | 0.268 | 2.92     | 48.67                     |
|     | 11.8° | 第三次  | 2013/1/13  | 20.22      | 10      | 阴, 微风 | 69.2       | 53.2       | 0.058                 | 0.018 | 1.05     | 17.50                     |
| 罗湾  | 7°    | 第一次  | 2012/2/12  | 17.08      | 0       | 阴, 微风 | 86.8       | 53         | 1.14                  | 0.447 | 4.096    | 68.27                     |
|     | 7°    | 第二次  | 2013/1/10  | 12.92      | 100     | 晴, 微风 | 86.8       | 71.4       | 2.241                 | 0.527 | 0.821    | 13.68                     |
|     | 7°    | 第三次  | 2013/8/30  | 13.58      | 100     | 阴, 微风 | 86.8       | 59.8       | 2.105                 | 0.587 | 0.335    | 5.58                      |
|     | 13°   | 第一次  | 2012/2/12  | 16.55      | 0       | 阴, 微风 | 86.8       | 74.7       | 1.979                 | 0.443 | 13.4     | 223.33                    |
|     | 13°   | 第二次  | 2013/1/10  | 13.57      | 80      | 晴, 微风 | 86.8       | 76.3       | 2.683                 | 0.586 | 0.884    | 14.73                     |
|     | 13°   | 第三次  | 2013/8/29  | 14.06      | 100     | 阴, 微风 | 86.8       | 59.7       | 1.382                 | 0.386 | 0.711    | 11.85                     |
|     | 18°   | 第一次  | 2012/2/13  | 16.39      | 0       | 阴, 微风 | 86.8       | 76.6       | 0.815                 | 0.177 | 7.03     | 117.17                    |
|     | 18°   | 第二次  | 2013/1/10  | 13.81      | 80      | 晴, 微风 | 86.8       | 55.5       | 0.257                 | 0.077 | 0.087    | 1.45                      |
|     | 18°   | 第三次  | 2013/8/30  | 13.53      | 100     | 阴, 微风 | 86.8       | 52.2       | 0.927                 | 0.296 | 0.425    | 7.08                      |
|     |       | 平均   |            | 16.82      | 53      |       | 79.7       | 57.9       | 0.802                 | 0.231 | 3.867    | 64.45                     |

**Table 2.** The analysis and statistical table of artificial simulating rainfall in sloping fields test plots  
**表 2.** 梯地实验小区人工模拟降雨产流情况分析统计表

| 小流域       | 坡度    | 实验次数 | 实验时间      | 实验环境         |           |       | 设计降雨量 (mm)  | 平均降雨量 (mm)  | 产流情况                  |              | 土壤侵蚀情况       |                           |
|-----------|-------|------|-----------|--------------|-----------|-------|-------------|-------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------------------|
|           |       |      |           | 前期土壤含水率(%)   | 植被盖度 (%)  | 天气情况  |             |             | 产流量 (m <sup>3</sup> ) | 径流系数         | 侵蚀量(kg)      | 侵蚀强度 (t/km <sup>2</sup> ) |
| 石佛山       | 14.3° | 第二次  | 2011/7/1  | 17.46        | 20        | 阴, 微风 | 84.8        | 61.9        | 1.146                 | 0.309        | 1.954        | 32.57                     |
|           | 7.8°  | 第四次  | 2012/9/6  | 27.54        | 70        | 晴, 微风 | 72.4        | 46.7        | 0.182                 | 0.065        | 0.012        | 0.20                      |
| 小赤田       | 9.8°  | 第二次  | 2011/6/26 | 22.52        | 0         | 晴, 微风 | 72.4        | 58.2        | 0.09                  | 0.026        | 0.62         | 10.33                     |
|           | 9.8°  | 第四次  | 2012/9/7  | 29.05        | 95        | 晴, 微风 | 72.4        | 45.4        | 0.03                  | 0.011        | 0.002        | 0.03                      |
|           | 15.5° | 第四次  | 2012/9/8  | 25.45        | 60        | 晴, 无风 | 72.4        | 57.2        | 0.066                 | 0.019        | 0.008        | 0.13                      |
| 拖潭沟       | 8°    | 第二次  | 2012/9/20 | 25.49        | 90        | 晴, 微风 | 61.2        | 43.6        | 0.102                 | 0.039        | 0.695        | 11.58                     |
|           | 10°   | 第二次  | 2012/9/18 | 24.95        | 90        | 晴, 微风 | 61.2        | 53.3        | 0.013                 | 0.004        | 0.014        | 0.23                      |
|           | 15°   | 第二次  | 2012/9/20 | 33.46        | 90        | 晴, 微风 | 61.2        | 50.2        | 0.419                 | 0.139        | 3.733        | 62.22                     |
|           | 15°   | 第四次  | 2013/1/17 | 37.73        | 0         | 晴, 微风 | 61.2        | 53.7        | 0.005                 | 0.002        | 0.004        | 0.07                      |
|           | 13°   | 第一次  | 2012/2/11 | 16.73        | 0         | 阴, 微风 | 86.8        | 64.5        | 0.703                 | 0.182        | 2.996        | 49.93                     |
| 罗湾        | 13°   | 第二次  | 2013/1/9  | 13.14        | 80        | 晴, 微风 | 86.8        | 63.7        | 0.481                 | 0.126        | 0.208        | 3.47                      |
|           | 13°   | 第三次  | 2013/8/28 | 13.95        | 100       | 阴, 微风 | 86.8        | 60.3        | 0.39                  | 0.108        | 0.101        | 1.68                      |
| <b>平均</b> |       |      |           | <b>23.96</b> | <b>58</b> |       | <b>73.3</b> | <b>54.9</b> | <b>0.302</b>          | <b>0.092</b> | <b>0.862</b> | <b>14.37</b>              |

**Table 3.** The analysis and statistical table of natural rainfall soil erosion results in Jike small watershed  
**表 3.** 吉科小流域自然降雨土壤侵蚀监测结果分析统计表

| 年份   | 年降雨 (mm) | 监测场数 | 初始产流降雨量(mm) | 监测场次降雨量(mm) | 2°坡地 |                          | 11.8°坡地 |                          |
|------|----------|------|-------------|-------------|------|--------------------------|---------|--------------------------|
|      |          |      |             |             | 径流系数 | 侵蚀强度(t/km <sup>2</sup> ) | 径流系数    | 侵蚀强度(t/km <sup>2</sup> ) |
| 2012 | 1133     | 33   | 9.5         | 841.5       | 0.21 | 843.33                   | 0.26    | 1996.67                  |
| 2013 | 852      | 19   | 11.5        | 495.0       | 0.07 | 30.50                    | 0.09    | 53.33                    |

来看, 2°坡地和 11.8°坡地在降雨量较大的 2012 年径流系数均为降雨量较小的 2013 年的 3 倍, 侵蚀强度分别为 2013 年的 27.65 倍和 37.44 倍, 表明降雨量对坡耕地土壤侵蚀影响显著, 应特别注意降水较多年份雨季的水土流失防范。

## 6. 结论

1) 模拟降雨实验和自然降雨观测两种途径监测结果表明: 坡度较大的坡耕地是水土流失的主要来源, 坡度和降雨量对坡耕地土壤侵蚀强度影响显著, 但降雨量对坡耕地土壤侵蚀强度的影响大于坡度对土壤侵蚀强度的影响。应特别注意降水较多年份雨季的水土流失防范, 对坡度较大的坡耕地应长期作为重点防治区域整治。如吉科小流域 2012 年 33 场自然降雨 2°坡地和 11.8°坡地径流系数分别为 0.21 和 0.26, 侵蚀强度分别为 843.33 t/km<sup>2</sup> 和 1996.67 t/km<sup>2</sup>; 2013 年 19 场自然降雨 2°坡地和 11.8°坡地径流系数分别为 0.07 和 0.09, 侵蚀强度分别为 30.50 t/km<sup>2</sup> 和 53.33 t/km<sup>2</sup>; 两年的径流系数相差不大, 但侵蚀强度差异明显。

2) 从基于模拟降雨实验的减流减蚀效益分析和基于自然降雨观测的减流减蚀效益分析对比看, 坡改梯后减流减蚀效益明显。模拟降雨监测到的梯地径流系数为坡地小区的 39.8%, 平均土壤侵蚀强度较坡地小区减小 77.7%; 自然降雨观测到的梯地小区径流系数为坡地小区的 13.3%, 平均土壤侵蚀强度较坡地小区减少 90.0%,

说明坡改梯后减流减蚀效益十分明显。

3) 从吉科小流域观测到的 52 场自然降雨来看, 2012 年 33 场降雨过程平均降雨量为 25.5 mm, 2013 年 19 场降雨过程平均降雨量为 26.1 mm。两年监测的平均降雨量接近, 说明自然降雨监测过程质量控制得好, 数据资料可靠。

4) 研究结果表明: 采用自然降雨观测和野外人工模拟降雨实验相结合的水土保持监测方法, 可推算出各小流域的产流量、径流系数、土壤侵蚀量、土壤侵蚀强度等参数, 能够定量定性地分析坡耕地水土流失情况, 科学地掌握坡耕地治理项目区的产流情况和土壤侵蚀状况。两种途径监测结果均表明坡改梯后减流减蚀效益显著, 实现了用数据来对比分析治理前后土壤侵蚀状况, 如实评价了坡耕地改造治理项目实施后产生的减流减蚀效果, 说明该监测方法可行, 可套用。

5) 从监测手段来看, 首次采用人工模拟降雨实验和自然降雨观测相结合的方法应用于云南坡耕地水土流失综合治理水土保持监测工作中, 具有实验性、开拓性、创新性。该方法不仅探索和研究了水土保持监测新方法、新途径, 为进一步推进坡耕地水土流失综合治理积累了新的经验, 还为云南坡耕地水土流失综合治理方法、模式、技术支撑和宏观决策提供了科学依据。

## 基金项目

云南省坡耕地水土流失综合治理工程水土保持监测与评价项目(2010y-01); 水利部公益性行业项目(201001058)。

## 参考文献 (References)

- [1] 袁勇, 高华端, 孙泉忠. 黔中喀斯特地区不同地类土壤侵蚀研究[J]. 中国水土保持, 2010(6): 50-51, 66.  
YUAN Yong, GAO Huaduan and SUN Quanzhong. Soil erosion of different land use of Karst area in central Guizhou. Soil and Water Conservation in China, 2010(6): 50-51, 66. (in Chinese)
- [2] 杨芳, 王克勤, 延红卫. 尖山河流域不同植被类型坡面产流产沙量研究[J]. 林业调查规划, 2009, 34(1): 10-14.  
YANG Fang, WANG Keqin and YAN Hongwei. Study on runoffs and sediment yields of different vegetation types of Jian-shanhe watershed. Forest Inventory and Planning, 2009, 34(1): 10-14. (in Chinese)
- [3] 张喜旺, 周月敏, 李晓松, 等. 土壤侵蚀评价遥感研究进展[J]. 土壤通报, 2010, 41(4): 1010-1017.  
ZHANG Xiwang, ZHOU Yuemin, LI Xiaosong, et al. A review of remote sensing application in soil erosion assessment. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(4): 1010-1017. (in Chinese)
- [4] 张岩, 刘宪春, 李智广, 等. 利用侵蚀模型普查黄土高原土壤侵蚀状况[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 165-171.  
ZHANG Yan, LIU Xianchun, LI Zhiguang, et al. Surveying soil erosion condition in Loess Plateau using soil erosion model. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(10): 165-171. (in Chinese)
- [5] 肖军仓, 罗定贵, 王忠忠. 基于 SWAT 模型的抚河流域土壤侵蚀模拟[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 14-18.  
XIAO Juncang, LUO Dinggui and WANG Zhongzhong. Soil erosion simulation in Fuhe Basin based on swat model. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(1): 14-18. (in Chinese)
- [6] 马瞳宇, 张晓萍, 孙艳萍, 等. 水蚀风蚀交错区典型流域景观格局变化对土壤侵蚀过程的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 43-48.  
MA Tongyu, ZHANG Xiaoping, SUN Yanping, et al. Influence of landscape pattern change to soil erosion process in water-wind erosion crisscross region, Loess Plateau. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(4): 43-48. (in Chinese)
- [7] 王全辉, 胡国庆, 董元杰, 等. 磁性示踪条件下坡面土壤侵蚀产流产沙及侵蚀空间分异特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 21-23.  
WANG Quanhui, HU Guoqing, DONG Yuanjie, et al. Runoff and sediment yield and spatial variation of soil erosion slope under magnetic tracing condition. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(2): 21-23. (in Chinese)
- [8] 胡国庆, 董元杰, 邱现奎, 等. 鲁中山区小流域坡面土壤侵蚀的磁性示踪法研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 169-173.  
HU Guoqing, DONG Yuanjie, QIU Xiankui, et al. Use of magnetic tracers to study soil erosion process of small watershed in Luzhong Mountain Area. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(5): 169-173. (in Chinese)
- [9] 孙泉忠, 刘瑞禄, 陈菊艳, 等. 贵州省石漠化综合治理人工种草对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 67-72.  
SUN Quanzhong, LIU Ruilu, CHEN Juyan, et al. Effect of planting grass on soil erosion in Karst demonstration areas of rocky desertification integrated rehabilitation in Guizhou Province. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(4): 67-72. (in Chinese)

- [10] 程琴娟, 蔡强国. 模拟降雨下黄土表土结皮的侵蚀响应[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 73-77.  
CHENG Qinjuan, CAI Quoqiang. Responses of soil surface crusts on soil erosion in loess under simulated rainfalls. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(4): 73-77. (in Chinese)
- [11] 秦凤, 郑子成, 李廷轩, 等. 玉米季坡耕地地表糙度的变化特征及其对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 18-22.  
QIN Feng, ZHENG Zicheng, LI Tingxuan, et al. Change of soil surface roughness and its effects on soil erosion in sloping cropland during maize growing season. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(3): 18-22. (in Chinese)