

# 基于自动监测径流场的秸秆覆盖坡耕地产流产沙过程<sup>\*</sup>

郑智旗<sup>1</sup> 王树东<sup>1</sup> 何进<sup>1</sup> 王庆杰<sup>1</sup> 李洪文<sup>1</sup> 路战远<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学现代农业装备优化设计北京市重点实验室, 北京 100083;

2. 内蒙古农牧业科学院, 呼和浩特 010031)

**摘要:** 设计了一个可用于坡面侵蚀过程研究的自动监测径流场, 该径流场主要由 6 个径流小区和 1 套模拟降雨装置组成。采用德国 UGT 径流测量装置, 实现地表径流的自动采样和记录。用设计的径流场对秸秆覆盖坡耕地的产流产沙过程进行了研究, 结果表明相对于裸露地表, 秸秆覆盖能明显降低各径流小区的产流率和产沙率, 延缓产流增加趋势, 减少产沙总量达 54.5% ~ 63.8%。因此, 增加坡耕地土壤表面的秸秆覆盖量可有效避免产流在短时间内急剧增加, 并能减少对土表的冲刷作用。

**关键词:** 径流小区 模拟降雨 产流产沙过程 坡耕地 秸秆覆盖

**中图分类号:** S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)12-0160-05

## 引言

我国有大量坡耕地, 对水土流失影响较大, 是水土保持中亟需解决的问题之一<sup>[1-2]</sup>。研究表明, 秸秆覆盖可延缓地表产流、增加入渗, 能有效控制坡耕地土壤侵蚀<sup>[3]</sup>, 对缓解坡耕地水土流失有重要意义。

现有的坡面土壤侵蚀定量研究主要采用元素示踪法、室内变坡钢槽和田间径流小区等方法<sup>[4-5]</sup>。其中, 元素示踪法在研究土壤侵蚀过程方面有明显优势, 但土壤样品的采集和分析任务繁重、费用高昂, 测试点基准值的不确定性对试验结果影响较大, 且不能对次降雨的土壤侵蚀过程进行监测<sup>[5]</sup>。室内变坡钢槽试验可以很好地完成扰动土壤坡面的产流产沙过程研究, 但很难进行秸秆覆盖等真实反映农事活动的研究<sup>[6]</sup>。田间径流小区能完成各类因素下坡面产流产沙过程的研究; 既可以对自然降雨进行观测, 也可以配备人工模拟降雨装置, 进行田间人工模拟降雨试验, 能有效缩短研究周期<sup>[6-7]</sup>。

目前, 利用田间径流小区主要是对坡面的产流、产沙总量进行观测, 并且主要依靠人工进行取样和记录, 劳动强度大且易产生人为误差, 很难对坡面产流、产沙的变化过程进行观测<sup>[7]</sup>。因此, 本文借鉴国内外设计径流小区和模拟降雨装置的经验<sup>[8-17]</sup>, 设计一个可用于坡面产流、产沙过程研究的自动监测径流场, 并利用其对秸秆覆盖和无秸秆覆盖 2 种

情况下坡耕地的产流产沙过程进行研究和对比分析, 以为坡耕地农业生产管理提供参考。

## 1 试验区概况

试验于 2012 年在中国农业大学河北北部耕地保育科学观测实验站进行。该实验站位于河北省涿州市东城坊镇(115°56'E, 39°28'N, 海拔高度 22 ~ 45 m), 大陆性气候特点显著。全年平均日照 2 560 h, 平均气温 11.6℃, 总积温 4 198℃, 全年无霜期 178 d。试验地属于大清河系拒马河流域, 全年平均降水量 617 mm, 降雨季节分布很不均匀, 主要集中在夏季。其中, 6—9 月份降水量占全年 84%, 7—8 月份降水量占全年 62%。土壤质地为砂壤土(砂壤质洪冲积物通体、砂壤质碳酸盐褐土)。土壤 pH 值为 7.8, 有机质质量比为 10 ~ 19 g/kg。

## 2 结构和工作原理

### 2.1 整体结构和工作原理

田间径流场总体结构如图 1 所示, 主要由 6 个径流小区和 1 套人工模拟降雨装置组成。

田间径流场的工作过程如图 2 所示。在模拟降雨时, 由潜水泵通过供水管道将水流输送至喷淋系统, 喷淋系统产生所需要的模拟降雨; 在喷淋系统下方的径流小区设置试验处理, 并由集流槽、导水管将产沙地表径流导入径流测量装置, 通过径流测量装

收稿日期: 2014-01-17 修回日期: 2014-03-13

<sup>\*</sup> 教育部创新团队发展计划资助项目(IRT13039)

作者简介: 郑智旗, 博士生, 主要从事保护性耕作效果监测研究, E-mail: zhiqizheng@163.com

通讯作者: 何进, 副教授, 博士生导师, 主要从事保护性耕作研究, E-mail: hejin@cau.edu.cn

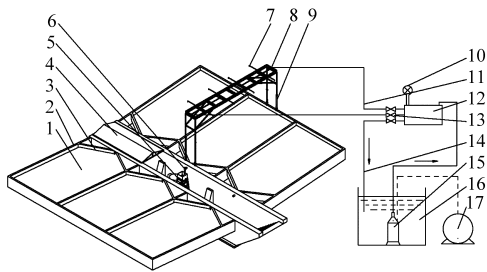


图 1 田间径流场总体结构图

Fig. 1 Overall structure of runoff monitoring site

1. 集流区 2. 小区边墙 3. 集流槽 4. 顶棚 5. UGT 径流测量装置 6. 导水管 7. 喷淋系统 8. 降雨座架 9. 可调支腿 10. 压力表 11. 供水管 12. 分水器 13. 球阀 14. 分流支管 15. 潜水泵 16. 蓄水池 17. 发电机

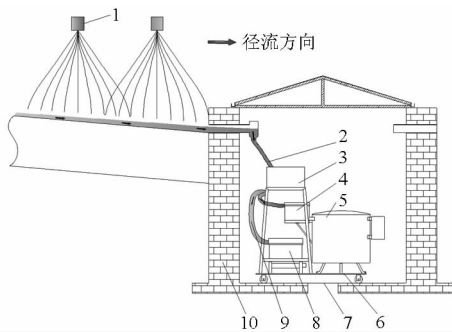


图 2 田间径流场工作过程示意图

Fig. 2 Structure diagram of runoff monitoring site working process

1. 降雨喷头 2. 导水管 3. 分流箱 4. 1L 翻斗式流量仪 5. 取样装置和控制系统 6. 移动小车 7. 排水沟 8. 3L 翻斗式流量仪 9. 分流管 10. 小区边墙

置完成样品的自动取样和记录。

径流场配备的德国 UGT 径流测量装置(图 2)主要由分流箱、3 L 和 1 L 翻斗式流量测量装置、取样装置和控制系统等组成。该装置采用导流分散装置,可在径流产生过程中收集径流样品,同时自动记录径流发生的时间,从而实现坡面产流产沙变化过程的动态监测。本径流场中间为工作通道,将径流测量装置置于移动小车上,可逐个完成小区试验,显著提高仪器的使用效率。

## 2.2 主要组成部分设计

### 2.2.1 径流小区

径流小区的设计按照 SL277—2002《水土保持监测技术规程》<sup>[18]</sup>和 SL342—2006《水土保持监测设施通用技术条件》<sup>[19]</sup>的要求进行。

(1)6 个径流小区坡度均为 5°,整体采用“V”字形对称布置,中间为工作通道,方便试验操作。

(2)径流小区面积尺寸的设计依据《水土保持监测技术规程》中“可根据观测项目设立一般径流小区”的要求,同时结合小麦、玉米种植行距(小麦 20 cm、玉米 60 cm)和微耕机作业幅宽,设计为长

8.0 m,宽 4.6 m,可种植 22 行小麦或 7 行玉米。田间试验表明,这种尺寸设计有利于微耕机作业,并能较好地保证坡面的平整性和模拟降雨的均匀性。

### 2.2.2 模拟降雨装置

模拟降雨装置采用多喷头、下喷式降雨方案。通过分水器、分流支路控制管道供水压力和改变喷头型号,实现不同降雨强度、不同降雨历时的人工模拟降雨过程。设计的模拟降雨装置由 3 部分组成。

(1)喷淋系统:产生所要求的模拟降雨;模拟降雨装置采用广角实心锥形下喷式喷头,初步确定 3 种不同孔径的喷头(喷头孔径分别是 1.6、2.4 和 3.2 mm),设计喷水量如表 1 所示。

表 1 各型号喷头在 0.07~0.4 MPa 压力下的流量

Tab.1 Flow of different types' nozzles under pressure of 0.07~0.4 MPa L/min

喷头型号	喷头孔径 /mm	供水压力/MPa				
		0.07	0.1	0.2	0.3	0.4
SS-2.8WB	1.6	1.1	1.2	1.7	2.0	2.3
SS-5.6WB	2.4	2.1	2.5	3.4	4.0	4.6
SS-12WB	3.2	4.6	5.3	7.3	8.7	9.8

(2)降雨座架:固定、支撑整个喷淋系统,使降雨高度可调;采用框架式结构,材料选用不锈钢。座架上端采用不锈钢方管焊接成 8 m × 1 m × 0.15 m (长 × 宽 × 高)的长方体结构,用于固定喷淋系统;下端固定于可调支腿的钢管中,可调节高度使整个梁架始终处于水平状态,使喷头降雨高度在 2~4 m 内可调。

(3)供水系统:供给喷淋系统所需要的压力水,使喷头压力在 0~0.35 MPa 可调。水泵选型根据整个系统的设计流量和设计扬程进行,计算式为<sup>[20]</sup>

$$Q = nq/\eta \quad (1)$$

$$H = H_b + h_w + \Delta Z \quad (2)$$

式中  $Q$ ——系统设计流量,  $m^3/h$

$n$ ——管路上同时工作的喷头数

$q$ ——喷头最大设计流量,  $m^3/h$

$\eta$ ——设计管线输水利用系数,取 0.95

$H$ ——系统设计扬程,  $m$

$H_b$ ——支管入口压力水头,  $m$

$h_w$ ——管道水头损失之和(不含支管),  $m$

$\Delta Z$ ——水源水位与支管入口的地形高差,  $m$

## 3 秸秆覆盖对坡面产流产沙过程的影响

### 3.1 降雨特性率定试验

理想的模拟降雨装置所产生的降雨,应该与自然降雨的主要降雨特性相似。因此,本文从主要降

雨特性(包括降水量、降雨强度、雨滴直径大小及其分布、雨滴降落终点速度、降雨分布均匀性等)来评价装置的性能<sup>[17,21]</sup>。

### (1) 率定方法

降雨模拟装置的有效降雨面积是 4.6 m × 8.0 m, 在试验场地上, 选择一块 4.6 m × 8.0 m 的坡地(5°), 均匀布设 40 个雨量筒(图 3); 供水压力分别控制在 0.1、0.2、0.3 MPa, 每次降雨 30 min。降雨强度  $I$  和降雨均匀性系数  $K$  计算式为<sup>[17, 21-22]</sup>

$$I = 600 \sum_{i=1}^n [H_i / (ST)] / n \quad (3)$$

$$K = 1 - \sum_{i=1}^n |H_i - \bar{H}| / (n \bar{H}) \quad (4)$$

式中  $H_i$ ——各雨量筒收集的降雨量, mL

$S$ ——雨量筒的承雨面积,  $\text{cm}^2$

$T$ ——降雨历时, min

$n$ ——雨量筒的个数

$\bar{H}$ ——各雨量筒的平均降水量, mL

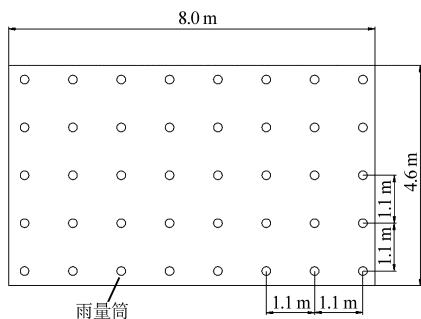


图 3 雨量筒放置示意图

Fig. 3 Schematic drawing of measuring cup placement

### (2) 率定结果

如表 2 所示, 本装置通过更换喷头和控制供水压力, 实现 20 ~ 120 mm/h 的模拟降雨, 且主要降雨特性与自然降雨相似, 能够满足试验要求。

表 2 模拟降雨装置的主要特性

Tab. 2 Main features of rainfall simulator

参数	率定	备注
降雨高度/m	2.5	在 2 ~ 4 m 范围可调
供水压力/MPa	0.1、0.2、0.3	在 0 ~ 0.35 MPa 范围可调
有效降雨面积/ $\text{m} \times \text{m}$	4.6 × 8.0	一个径流小区的尺寸
降雨强度/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	20 ~ 120	
降雨均匀性系数/%	≥ 80	
雨滴中数直径/mm	1.77 ~ 2.89	采用色斑法测定 <sup>[23]</sup>
雨滴终点速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	2.0 ~ 2.9	文献 <sup>[17]</sup>

## 3.2 试验设计

### (1) 试验地布设

试验在设计 6 个径流小区内进行, 编号为 1 ~ 6。在小区内设置 2 种秸秆覆盖水平, 即高覆盖(覆盖量 5 000  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )和无覆盖, 各重复 3 次。秸

秆选用风干后的玉米秸秆, 长度截成约 5 cm, 均匀铺在选取的 3 个小区土壤表面。

### (2) 降雨强度和降雨历时

结合华北地区多年降雨资料, 降雨强度设定为 90 mm/h, 每个小区进行 50 min 模拟降雨试验。各小区试验安排如表 3 所示。

表 3 各小区试验设置

Tab. 3 Testing set of 6 slope plots

小区编号	秸秆覆盖量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	坡度/ ( $^{\circ}$ )	降雨强度/ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	降雨历时/ min
1, 3, 5	5 000	5	90	50
2, 4, 6	0	5	90	50

## 3.3 试验结果分析

### 3.3.1 降水量对径流量的影响

为分析径流、入参与降水量的关系, 采用径流深来表示径流量。其计算式为<sup>[24]</sup>

$$h_r = \frac{Q_r}{S_{ur}} \quad (5)$$

式中  $h_r$ ——径流深, mm  $Q_r$ ——径流量, L

$S_{ur}$ ——承雨面积,  $\text{m}^2$

由图 4 可以看出, 在秸秆覆盖(图 4a)和无秸秆覆盖(图 4b)情况下, 径流深随降水量的增加而增大。在降水量达到 75 mm 时, 秸秆覆盖情况下各径流小区的径流深为 25 ~ 38 mm, 而无秸秆覆盖情况下各径流小区的径流深为 58 ~ 64 mm, 说明秸秆覆盖处理相对于无覆盖处理能减小径流深, 这与其他学者研究结论相一致<sup>[6,24]</sup>。在秸秆覆盖和无覆盖情况下, 径流深随降水量的变化具有较好的一致性。

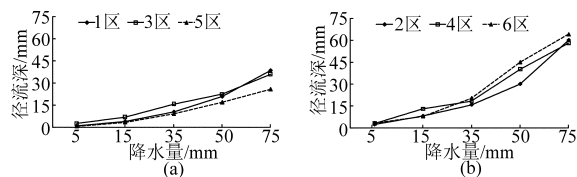


图 4 径流深与降水量的关系

Fig. 4 Relationship between runoff depths and rainfall

(a) 秸秆覆盖 (b) 无覆盖

将各径流小区径流深和降水量的试验结果分别进行线性、指数、对数和幂函数回归分析, 确定采用决定系数最大的幂函数( $Y = aX^b$ )拟合二者的曲线分布(表 4)。由表 4 可知, 6 个径流小区径流深和降水量相关系数的决定系数均达到 0.96 以上, 拟合方程的显著性较好( $P < 0.05$ )。

### 3.3.2 秸秆覆盖对产沙总量的影响

图 5 表明, 在秸秆覆盖和无覆盖 2 种处理情况下, 各小区的产沙总量分别为 270 ~ 310 和 700 ~ 740  $\text{g}/\text{m}^2$ 。相对于无覆盖情况, 秸秆覆盖措施能减少

表 4 径流深与降水量的回归分析

Tab. 4 Regression analysis of runoff depth and rainfall

小区编号	回归方程	$R^2$	$F$	$P$
1	$Y = 1.268X^{0.140}$	0.989	277.572	0.000
2	$Y = 1.136X^{0.364}$	0.981	156.619	0.001
3	$Y = 0.937X^{0.582}$	0.996	699.567	0.000
4	$Y = 1.053X^{0.591}$	0.967	89.041	0.003
5	$Y = 1.244X^{0.120}$	0.998	1381.721	0.000
6	$Y = 1.101X^{0.508}$	0.973	108.097	0.002

注:  $Y$  为径流深,  $X$  为降水量。

54.5% ~ 63.8% 的产沙总量。尽管研究区域、秸秆覆盖量不同,但不同学者的研究结果均表明,秸秆覆盖措施能减少农田土壤流失<sup>[6]</sup>。另外,相同处理的各径流小区在产沙总量上差异不显著。

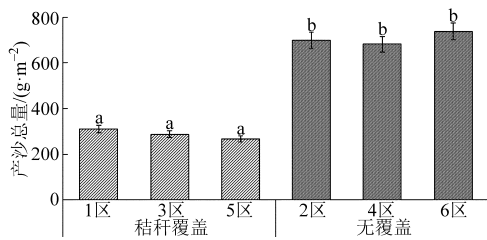


图 5 秸秆覆盖对产沙总量的影响

Fig. 5 Effects of stubble mulch on total soil erosion volume

### 3.3.3 降水量对产流、产沙过程的影响

各小区径流率随降雨历时的增加呈现增长的变化趋势(图 6)。秸秆覆盖小区较无覆盖小区产流延迟平均 2.0 min,两者的产流过程均表现为在产流开始的 10 min 内剧烈增加,在 10 ~ 40 min 时缓慢增加,之后趋于稳定的变化趋势。在秸秆覆盖和无覆盖 2 种情况下,各小区的径流率变化范围分别为 0.2 ~ 0.8 mm/min 和 0.3 ~ 1.3 mm/min。秸秆覆盖小区的径流率明显低于无秸秆覆盖小区,说明秸秆

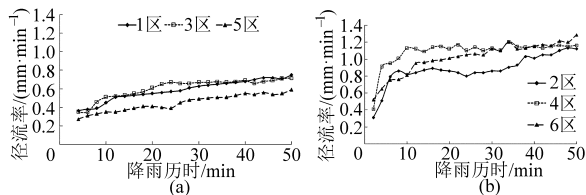


图 6 降雨历时对径流率的影响

Fig. 6 Effect of rainfall on runoff rate

(a) 秸秆覆盖 (b) 无覆盖

覆盖处理能延缓产流增加趋势,避免产流在短时间内急剧增加,这与其他学者的研究结论相一致<sup>[6,24-26]</sup>。

对比分析秸秆覆盖小区(图 6a)和无覆盖小区(图 6b)径流率的变化规律可知,各相同处理径流小区的径流率随降雨历时的变化趋势基本一致。

在降雨过程中,产沙过程主要由降雨溅蚀以及产流后地表径流的冲刷作用决定,秸秆覆盖措施能降低降雨溅蚀作用,在产流阶段可以阻碍地表径流,减小冲刷作用。

由图 7 可知,各小区产沙过程呈现为在产流开始的 10 min 内急剧增加,之后随降雨历时增加而逐渐降低并趋于稳定。在产沙量稳定变化阶段,秸秆覆盖情况下各径流小区产沙量变化速率为 5.9 g/(m<sup>2</sup>·min),无秸秆覆盖情况下各径流小区产沙量变化速率为 17.2 g/(m<sup>2</sup>·min)。秸秆覆盖小区的产沙量明显低于无秸秆覆盖小区,说明秸秆覆盖措施在降低土壤侵蚀方面具有显著的效果,这与大多数学者的研究结论一致<sup>[6,24]</sup>。

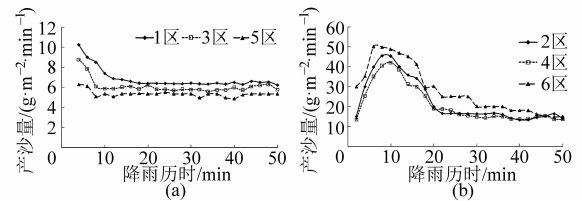


图 7 降雨历时对产沙量的影响

Fig. 7 Effects of rainfall on soil erosion volume

(a) 秸秆覆盖 (b) 无覆盖

对比分析秸秆覆盖小区(图 7a)和无覆盖小区(图 7b)产沙过程的变化规律可知,各相同处理径流小区的变化趋势基本一致,说明各径流小区的一致性较好。

## 4 结论

(1) 设计了一个可用于坡面产流产沙过程研究的自动监测径流场;该径流场可实现自动取样和记录,有效提高了试验效率,降低了人为误差。

(2) 秸秆覆盖措施能明显降低随降雨历时增加而变化的产流率和产沙量,延缓产流增加趋势,减小产沙总量达 54.5% ~ 63.8%,对缓解坡耕地水土流失具有重要意义。

## 参 考 文 献

- 1 谢俊奇. 中国坡耕地[M]. 北京:中国大地出版社,2005.
- 2 马明礼,杨浩,邹军,等. 北方土石山区土壤侵蚀对土壤质量的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(2):219-221.  
Ma Mingli, Yang Hao, Zou Jun, et al. Effects of soil erosion on soil quality in the rocky mountain areas of Northern China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(2):219-221. (in Chinese)
- 3 郭乾坤,刘宝元,朱少波,等. 中国主要水土保持耕作措施因子[J]. 中国水土保持,2013(10):22-26.
- 4 贾丽. 基于 CAESAR 模型的土壤侵蚀研究[D]. 上海:华东师范大学,2008.

- Jia Li. The soil erosion research based on CAESAR model[D]. Shanghai:East China Normal University,2008. (in Chinese)
- 5 张锦娟, 陆芳春, 赵聚国. 坡面土壤侵蚀监测技术研究现状及展望[J]. 浙江水利科技, 2012(6):43-45.  
Zhang Jinjuan, Lu Fangchun, Zhao Jugu. Present situation and prospects of the research in monitoring technology for hillslope soil erosion[J]. Zhejiang Hydrrotechnics, 2012(6):43-45. (in Chinese)
- 6 王英文. 人工模拟降雨条件下保护性耕作的水土保持效应研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2010.  
Wang Jiawen. Effects of conservation tillage on soil and water conservation under simulated rainfall[D]. Yangling:Northwest A&F University, 2010. (in Chinese)
- 7 王杰, 胡少伟, 周跃. 人工模拟降雨装置在水土保持方面的应用[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4):188-190.  
Wang Jie, Hu Shaowei, Zhou Yue. Application of artificial simulation of rainfall devices to soil and water conservation[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(4):188-190. (in Chinese)
- 8 Sharpley A, Kleinma P. National phosphorus runoff project; Pennsylvania rainfall simulator and plot scale comparison[J]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32(1):2172-2179.
- 9 代肖, 张海涛, 周大迈, 等. 人工模拟降雨装置及其应用介绍[J]. 中国水土保持, 2012(12):52-54.
- 10 顾再柯, 刘凤仙. 贵州省水土保持监测点径流小区存在问题与优化对策[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2):19-20.  
Gu Zaike, Liu Fengxian. Existing question and optimized suggestion of runoff plots in soil and water conservation monitoring stations in Guizhou province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(2):19-20. (in Chinese)
- 11 袁爱萍, 路炳军, 段淑怀. 浅谈坡地径流场的规划与设计[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2):107-109.  
Yuan Aiping, Lu Bingjun, Duan Shuhuai. Plan and design of slope runoff monitoring site[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2009, 29(2):107-109. (in Chinese)
- 12 唐有臻. 水土保持监测径流小区设计及相关计算探析[J]. 水土保持应用技术, 2012(4):67-69.
- 13 Adams R, Elliott S. Physically based modeling of sediment generation and transport under a large rainfall simulator[J]. Hydrological Processer, 2006, 20(1):2235-2270.
- 14 程飞, 徐向舟, 高吉惠, 等. 用于土壤侵蚀试验的降雨模拟器研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(2):107-112.  
Cheng Fei, Xu Xiangzhou, Gao Jihui, et al. Advance of research on the rainfall simulators for soil erosion[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6(2):107-112. (in Chinese)
- 15 Abudi I, Carmi G, Berliner P. Rainfall simulator for field runoff studies[J]. Journal of Hydrology, 2012, 454-455:76-81.
- 16 Ries J B, Lserloh T, Seeger M, et al. Rainfall simulations-constraints, needs and challenges for a future use in soil erosion research[J]. Zeitschrift fur Geomorphologie, 2013, 57(Supp. 1):1-10.
- 17 陈文亮, 唐克丽. SR型野外人工模拟降雨装置[J]. 水土保持研究, 2000, 7(4):106-110.  
Chen Wenliang, Tang Keli. A new SR style field artificial rainfall simulator[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(4):106-110. (in Chinese)
- 18 SL277—2002 水土保持监测技术规程[S]. 2002.  
SL277—2002 Technical code of practice on water and soil conservation monitoring[S]. 2002. (in Chinese)
- 19 SL342—2006 水土保持监测设施通用技术条件[S]. 2006.  
SL342—2006 General technical specifications for facilities on water and soil conservation monitoring[S]. 2006. (in Chinese)
- 20 GB/T 50085—2007 喷灌工程技术规范[S]. 2007.  
GB/T 50085—2007 Technical code for sprinkler engineering[S]. 2007. (in Chinese)
- 21 倪际梁, 何进, 李洪文, 等. 便携式人工模拟降雨装置的设计与率定[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24):78-84.  
Ni Jiliang, He Jin, Li Hongwen, et al. Design and calibration of portable rainfall equipment of artificial simulation[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(24):78-84. (in Chinese)
- 22 周跃, 王杰, 胡少伟. Kust03-1型人工模拟降雨试验装置的设计与率定[J]. 昆明理工大学学报:理工版, 2008, 33(2):81-85.  
Zhou Yue, Wang Jie, Hu Shaowei. Designing and calibration of Kust03-1 rainfall simulating system[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology: Science and Technology, 2008, 33(2):81-85. (in Chinese)
- 23 窦葆璋, 周佩华. 雨滴的观测和计算方法[J]. 水土保持通报, 1982(1):44-47.
- 24 胡辉. 用人工降雨法进行扰动高沙土侵蚀规律的研究[D]. 南京:南京林业大学, 2011.  
Hu Hui. Experimental study on erosion rule of disturbed sandy soil by simulated rainfall[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011. (in Chinese)
- 25 李洪勋, 吴伯志. 用径流小区法研究不同耕作措施对土壤侵蚀的影响[J]. 土壤, 2006, 38(1):81-85.  
Li Hongxun Wu Bozhi. Effects of cultivation management on soil erosion[J]. Soils, 2006, 38(1):81-85. (in Chinese)
- 26 宋玥, 张忠学. 不同耕作措施对黑土坡耕地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2):15-16, 25.  
Song Yue, Zhang Zhongxue. The effects of different tillage measures on soil erosion in slope farmland in black soil region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(2):15-16, 25. (in Chinese)

water and air was established fit for this vadose zone-saturated zone, thereby simulating the dynamic changes of soil moisture, soil temperature. The measured soil temperature, soil moisture were used to test models. The results showed that the simulated soil temperature and moisture could well reflect variation of measured values. Accuracy assessment indicators showed that the simulation accuracy of each soil layers was high. Simulated results of the model considering the impact of air were closer to the measured results. For the day rainfall of 9.7 mm, infiltration depth could affect soil moisture of about 20 cm depth for coupling model, and up to about 30 cm depth for a single model. The average evaporation rate of the model considering air in the rain day was 7.7% more than the result of the model without considering air. In the day right after the rainfall event, the results without considering the effect of air pressure caused evaporation rate 3.19% lower than the results considering air effect. Calculating the total evaporation during the simulation period, the results of the two models were very close. But based on the results of water balance analysis of the two models, comparing calculated evaporation and simulated evaporation, the results of the model considering air influence were considered reliable.

**Key words:** Shihezi Reclamation Vadose zone-saturated zone Two-phase flow model Soil temperature Soil moisture Evaporation

(上接第 164 页)

## Process of Runoff and Sediment Yield in Straw-covered Sloping Fields Based on Automatic Runoff Monitoring Field

Zheng Zhiqi<sup>1</sup> Wang Shudong<sup>1</sup> He Jin<sup>1</sup> Wang Qingjie<sup>1</sup> Li Hongwen<sup>1</sup> Lu Zhanyuan<sup>2</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Optimized Design for Modern Agricultural Equipment, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Huhhot 010031, China)

**Abstract:** The design of an automatic water runoff monitoring field was outlined. It consisted of six runoff plots and a rainfall simulator, which was generally used to study erosive processes in sloping fields. A German-made surface runoff measuring device (Umwelt-Gerate-Technik GmbH, UGT) was used in this runoff field, which effectively improved sampling efficiency and reduced human error through automatic sampling and recording. The effect of straw cover on runoff processes and sediment yield on sloping fields was investigated using this runoff monitoring field. The results demonstrated that the straw cover could significantly decrease the rates of runoff and sediment deposition, and delay the onset of surface runoff and reduce the total amount of soil loss by 54.5% ~ 63.8%. Maximum retention of plant residues as soil cover can effectively avoid sharp increases in runoff and limit water scouring effects. It is significant for alleviating soil erosion in sloping fields.

**Key words:** Runoff plot Simulated rainfall Process of runoff and sediment yield Sloping fields Straw mulching