

辽西黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀研究

林素兰¹, 黄毅², 曹忠杰³, 郑国相¹

(1 辽宁省水土保持研究所, 朝阳 122000; 2 沈阳农业大学; 3 辽宁省水土保持局)

摘 要: 采用一次回归正交组合设计, 利用野外人工模拟侵蚀降雨试验对辽西黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀进行了研究, 探明了影响该区坡耕地土壤侵蚀的主要因子依次是降雨侵蚀力(R)、雨前土壤含水量(W)、作物盖度(C)和地面坡度(S)及其作用机理, 根据试验结果建立了土壤侵蚀预测数学模型, 为坡耕地土壤侵蚀的计算、预测及防治提供了可靠的技术手段和理论依据。

关键词: 辽西黄土丘陵区; 坡耕地; 土壤侵蚀; 数学模型

中图分类号: S157. 2 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2002)01-0014-03

Study of Soil Erosion on Cultivated Slopeland
in Loess Hilly Region in Western Liaoning

LIN Su-lan¹, HUANG Yi², CAO Zhong-jie³, ZHENG Guo-xiang¹

(1 Institute of Soil and Water Conservation in Liaoning, Chaoyang 122000, Liaoning Province, China;

2 Shenyang Agricultural University Shenyang, China;

3 Soil and Water Conservation Bureau of Liaoning Province, Shenyang, China)

Abstract: Soil erosion on cultivated slopeland in loess hilly region in western Liaoning was studied using linear regression-quadrature plan and field simulated rainfall. The result showed that major factors affecting soil erosion were rainfall erosion index, soil water content, crop cover degree, and slope gradient in proper and their effected function. Soil erosion prediction equation was established according to experimental results and provided technical measure and theoretical foundation for calculation, prediction and prevention of soil erosion on cultivated slopeland.

Key words: loess hilly region in western Liaoning; cultivated slopeland; soil erosion; mathematical model

1 前 言

辽西黄土丘陵区是指辽宁西北部与内蒙古接壤的部分地带, 主要包括建平北部、北票北部及阜新县。总土地面积 10 869 km²。该区的地貌类型主要是侵蚀剥蚀低山丘陵, 第四纪沉积物为黄土或黄土状堆积物, 土壤结构差, 植被稀少, 在暴雨冲击下, 表土易于分散移动, 产生强烈的片蚀和沟蚀, 侵蚀沟密度大且沟宽谷深。据 1986 年辽宁省第一次土壤遥感普查资料, 本区的土壤侵蚀模数高达 4 362 t/(km² ·

a), 经过治理, 到 1996 年第二次全省土壤遥感普查时, 土壤侵蚀模数降为 2 649 t/(km² · a)。尽管如此, 全省极强度侵蚀的 94. 8% 仍发生在本区, 人为扰动频率较大的坡耕地是造成土壤侵蚀严重的根源之一。该区现有坡耕地 272 029. 5 hm², 其中 3 ~ 5 为 204 881. 1 hm², 5 ~ 15 为 60 501. 7 hm², 15 ~ 25 为 6 646. 7 hm²。据测定, 10 以上侵蚀严重的坡耕地平均年侵蚀厚度高达 0. 7 ~ 1. 0 mm。虽然近几年该区加大了对坡耕地的治理力度, 但目前坡耕地的土壤

① 收稿日期: 2001-11-20
作者简介: 林素兰, 女, (1965-), 副研究员, 从事水土保持与土壤侵蚀方面的研究。

侵蚀形势依然是桎梏农业生产和经济发展的一个主要原因。从该区几种主要农作物生产水平看, 平地的生产潜力已得到较大程度的发挥, 而占耕地 70% 以上的坡耕地的单产水平还很低, 远未能充分发挥。因此, 加快对该区坡耕地土壤侵蚀规律的研究, 积极采取有效措施, 从根本上改变土壤侵蚀的严峻局面, 对促进该区农业的持续发展、改善生态环境、发展经济, 不但具有重要的现实意义, 而且具有长远的战略意义。

2 试验方法与设计

2.1 试验地基本概况

试验地选择在北票市三保乡扎兰村北山坡耕地上, 土壤为淋溶褐土, 成土母质为富含碳酸钙的黄土性物质, 土层深厚, 地面坡度 $2 \sim 11^\circ$; 坡长 $> 400\text{ m}$ 。土壤有机质含量 $< 1\%$, 肥力偏低, 种植作物为玉米, 品种及管理与当地大田一致。

2.2 试验方法

试验采用野外移动小区法, 小区面积为 15 m^2 ($2.5\text{ m} \times 6\text{ m}$), 下边为集流槽, 与集流桶相接, 其余 3 边为 2.00 mm 厚、 200 mm 高的铁板。试验时将其插入地中, 以阻挡区外径流进入小区中。降雨采用辽宁省水保所研制和 TDB- 人工模拟侵蚀降雨机, 降雨开始后, 记录产流时间和产流量, 并每隔 3 min 取一次水样, 过滤后用烘干法称取水样含沙量。降雨历时为 30 min 。

2.3 试验设计

试验采用一次回归正交组合设计。其因子的选择及其水平的确定如下:

大量的研究表明, 影响水蚀区土壤侵蚀的因子主要是降雨、地形、土壤及覆盖度, 考虑到野外模拟试验的可操作性, 确定本次试验的影响因子为降雨侵蚀力(R)、地面坡度(S)、雨前土壤含水量(W)及作物盖度(C), 各因子水平为:

(1) 降雨侵蚀力(R): 辽西黄土丘陵区位于干旱半干旱气候区, 年降雨量较少, 一般不超过 600 mm , 但降雨较集中, 且多短历时暴雨, 因此其降雨侵蚀力(R)较大, 平均为 $160(100\text{ m} \cdot \text{t} \cdot \text{cm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h})$, 最大可达 $200(100\text{ m} \cdot \text{t} \cdot \text{cm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。因此, 确定本次试验的 R 上限为 $200(100\text{ m} \cdot \text{t} \cdot \text{cm}/\text{hm}^2 \cdot \text{m})$; 根据本区最小侵蚀雨量为 40 mm 左右, 确定 R 的下限为 $50(100\text{ m} \cdot \text{t} \cdot \text{cm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。

(2) 地面坡度(S): 根据辽宁省第二次土壤遥感

普查结果, 辽西黄土丘陵区坡耕地主要分布在 $3 \sim 25$ 坡地上, 而其中的 90% 以上为 $3 \sim 15$ 坡地, 且试验地的坡度为 $4 \sim 11^\circ$; 因此确定坡度因子 S 的上限为 11° ; 下限为 4° 。

(3) 雨前土壤含水量(W): 试验降雨前, 用烘干法测定 $0 \sim 20\text{ cm}$ 深土层土壤含水量作为土壤含水量 W 的下限, 降雨后隔 24 h 再次测定其土壤含水量作为其上限。为避免取样破坏地表, 影响试验结果, 在小区外 50 cm 处取样。试验结束后, 将土壤含水量进行次数分布统计, 确定土壤含水量因子 W 的上限为 21.00% , 下限为 9.00% 。

(4) 作物盖度(C): 根据种植作物(玉米)在不同生育期的长势及坡耕地土壤侵蚀时间的分布, 用样方投影法测得作物盖度因子 C 的上限为 70% , 下限为 30% 。

3 结果与分析

3.1 试验结果的回归分析

根据一次回归正交组合试验设计的原理, 对试验结果进行回归统计和方差分析(见表 1), 结果表明, 对辽西黄土丘陵区坡耕地径流量影响显著的因子依次是降雨侵蚀力(R)、雨前土壤含水量(W)、地面坡度(S)、作物盖度(C), 对冲刷量影响显著的因子依次是降雨侵蚀力(R)、雨前土壤含水量(W)、作物盖度(C)、地面坡度(S), 各因子的交互项对土壤侵蚀影响不显著。在水力侵蚀区, 降雨是土壤侵蚀的动力因子, 而辽西地区又以短历时暴雨见常, 雨强大, 冲刷力强, 因此, 在供试因子中, 降雨对土壤侵蚀的影响最为显著。其次为雨前土壤含水量, 这是因为黄土(黄土状母质)上发育的淋溶褐土耕层浅, 表土疏松, 质地粗, 孔隙大, 雨水下渗迅速, 而耕层以下即为质地较为坚硬的黄土, 结构不良, 渗水性能差, 水分下渗受阻, 耕层含水量很快达到饱和状态, 如降雨继续, 则进入超渗产流阶段; 又因雨强较大, 因此降水迅速形成坡面片流, 且径流深, 流速较急, 对地表的冲刷力大, 侵蚀剧烈。对坡度和作物盖度而言, 由于作物径叶承接降雨有限, 随着坡度的增加, 降水在重力和地表结皮的影响下, 很快汇流顺坡而下, 因此坡度对径流的影响大于作物盖度。但作物根系对土壤有固持作用, 特别是黄土丘陵区, 耕层根系发达, 占总根量的 80.0% 以上, 有效地防止了径流对地表的冲刷, 因此作物盖度对冲刷量的影响大于坡度。

表 1 黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀结果分析

侵蚀量	项目	Z_1	Z_2	$Z_{1,2}$	Z_3	$Z_{1,3}$	$Z_{2,3}$
径流量	b_i	7076.41	3638.23	478.68	4359.71	662.18	- 293.78
	F_i	280.64* *	74.18* *	1.28	106.52* *	2.46	0.48
冲刷量	b_i	412.21	174.69	13.93	340.57	11.09	15.13
	F_i	165.95* *	29.81* *	0.19	113.28* *	0.12	0.22
径流量	b_i	- 3050.15	- 221.20	- 76.47	117.54	128.37* *	
	F_i	52.14* *	0.27	0.03	0.08		
冲刷量	b_i	- 260.86	8.72	2.34	- 6.22		
	F_i	66.46* *	0.07	0.00	0.04		

注: $F_{0.05}(1, 11) = 4.84$; $F_{0.01}(1, 11) = 9.65$; $F_{0.05}(4, 11) = 3.20$; $F_{0.01}(4, 11) = 5.32$ 。

3.2 建立坡耕地土壤侵蚀数学模型

由回归统计和方差分析结果, 得出辽西黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀回归方程式为:

$$\begin{aligned} y_{\text{径流量}} &= 19263.16 + 7074.41Z_1 + 3638.23Z_2 \\ &\quad + 4359.71Z_3 - 3050.15Z_4 \\ y_{\text{冲刷量}} &= 1168.91 + 412.21Z_1 + 174.69Z_2 \\ &\quad + 340.57Z_3 - 260.86Z_4 \end{aligned}$$

为在实际应用中方便, 将各试验因子编码值转换成因子值, 即将 $Z_1 = (R - 125)/75$ 、 $Z_2 = (S - 7.5)/3.5$ 、 $Z_3 = (W - 0.15)/0.06$ 、 $Z_4 = (C - 0.5)/0.2$ 代入回归方程, 则得出辽西黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀数学模型为:

$$\begin{aligned} y_{\text{径流量}} &= 94.35R + 103.49S + 72661.83W - \\ &\quad 15250.75C - 3600.98 \\ y_{\text{冲刷量}} &= 5.50R + 49.91S + 5676.17W - \\ &\quad 1304.30C - 91.72 \end{aligned}$$

3.3 数学模型的检验

对上述两个数学模型进行方差分析(表 1)表明, 两模型均达极显著水平, 说明由回归分析建立的数学模型准确地体现了试验地区坡耕地土壤侵蚀与降雨、地面坡度、土壤含水量和作物盖度间的关系, 数学模型可在试验地应用。

表 2 回归值与基准水平检验结果

项目	γ_0	b_0	F	R
径流量	18044.84	19263.16	0.517	0.979
冲刷量	1054.89	1168.91	0.792	0.972

注: $F_{0.05}(1, 11) = 4.84$; $F_{0.01}(1, 11) = 9.65$ 。

为检验建立的数学模型是否能在辽西黄土丘陵区中通用, 用正交和基准水平试验结果进行吻合度检验, 结果见表 2。由此看出, $F_{\text{径}}$ 和 $F_{\text{冲}}$ 均小于 $F_{0.05}$, 表明 b_0 与 γ_0 均差异不显著, 这反映出由试验建立的土壤侵蚀数学模型计算的水土流失量与基准水平组合试验结果是相吻合的, 数学模型揭示了该区坡耕地土壤侵蚀内在错综复杂的因子变化特征, 体现了土壤侵蚀的量变规律, 可在辽西黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀计算与预测中广泛应用。

4 结 语

通过辽西黄土丘陵区坡耕地的土壤侵蚀试验及统计分析, 揭示出坡耕地土壤侵蚀的内在规律, 并建立了土壤侵蚀数学预测模型, 为今后类似地区坡耕地规划、治理与开发利用提供了可靠的理论依据和技术手段, 也为其它地区开展土壤侵蚀研究开创了一条新的途径。

(1) 通过试验建立了辽西黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀数学模型, 该模型具有很高的实用性, 它涵盖了降雨、地形、土壤及作物等多因子信息, 使模型更符合实际土壤侵蚀影响因子的错综复杂特点, 而且这些因子实测较容易, 各级水土保持部门只要获得这些因子值, 就可迅速、快捷地计算出某一地块或区域的土壤侵蚀量, 及时了解和掌握影响土壤侵蚀的主要因子, 有目的的布设或调整水土保持措施, 对土壤侵蚀进行有效地控制, 保护该区坡耕地资源, 促进农业经济的可持续发展。

(2) 根据一次正交回归组合设计建立的坡耕地土壤侵蚀数学模型, 不仅经过了 F 检测, 还对其进行了基准水平检验, 结果该模型不但具有较高的精确性, 而且具备较广泛的通用性, 在实际工作中可以用其进行类似地区坡耕地土壤侵蚀的计算及预测, 以指导坡耕地的治理、开发及土地资源的管理。

(3) 试验研究结果表明, 影响辽西黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀的主要因子依次为降雨侵蚀力、雨前土壤含水量、作物盖度及地面坡度。因此, 建议在此类坡耕地经营过程中, 应根据其土壤侵蚀的特点, 采取有效措施, 防止、减少侵蚀。如通过工程措施, 降低坡度和坡长; 通过增加有机肥及绿肥投入量改善土壤结构, 提高水分的土壤入渗, 同时可采取适当密植和覆盖措施, 减少径流, 降低土壤侵蚀充分发挥坡耕地资源的生产潜力, 促进农业生产与经济、环境的协调发展。