

黄土高原沟壑区坡耕地表层土壤 抗剪强度影响因素分析

姚 军, 吴发启*, 宋娟丽, 余 雕, 李光录

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 以淳化坡耕地为研究对象, 在人工模拟降雨条件下, 设计降雨强度分别为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mm/min, 降雨历时 40 min, 设计坡度分别为 5°、8°、11°、15°、20°, 分析了影响黄土高原沟壑区坡耕地表层土壤抗剪强度的 3 个主要因素: 含水量、雨强及坡度。结果表明, 降雨结束后, 随着表层土壤含水量的降低, 抗剪强度会随之增加, 相关性较好; 雨强对抗剪强度影响不大; 坡度较小时抗剪强度会随坡度增加而降低, 当坡度增加到 15° 以上时, 随坡度增加抗剪强度随之增加。

关键词: 坡耕地; 表层土壤; 抗剪强度; 含水量; 雨强; 坡度

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0236-04

黄土高原沟壑区坡耕地是土壤侵蚀易发生地区, 土壤侵蚀的主要营力是水力侵蚀。在坡耕地水力侵蚀过程中, 位于最上部 0~5 cm 的表层土壤养分含量高, 结构松散, 受外界条件变化影响较大, 是降雨打击的直接对象, 也是坡面片流和沟谷水流侵蚀的主要对象。在其他影响水蚀因素相对稳定的条件下, 表层土壤自身的物理、化学特性决定了侵蚀强弱程度的变化, 因此, 由土壤性质决定的抗蚀力的研究引起了各国学者的普遍重视, 尤其是对土壤抗剪力的研究, 近些年来被国内外研究者更多地用来反映土壤抵抗水蚀的性能。

国外学者对土壤的抗剪强度研究较多, 而且, 它已被成功地用来预测土壤的可蚀性或者与侵蚀的相关过程^[1]。在我国, 对土壤抗剪强度的研究, 目前主要集中于计算建筑物地基的强度和土壤边坡的稳定, 在土壤侵蚀方面, 对抗剪强度的研究更多地集中在对其分布规律及影响因素的研究。潘利君等^[2]在分析土壤抵御外力扭剪的能力后, 认为土壤抗剪力制约着土壤的可蚀性。蒋定生等^[3], 从宏观的角度分析研究了黄土高原的原状土和击实黄土的抗剪强度规律, 他们得出: 在水平变化规律上, 土壤的粘聚力呈现由北向南渐次递增的趋势, 内摩擦角有自北向南渐次减少的趋势; 在纵向变化规律上, 随土层深度的增大, 土壤容重增大, 抗剪强度也有所提高。王丽等^[4]认为: 随着含水率的增加, 非饱和土的强度大大降低, 含水率越小, 土体的基质吸力就越大, 抗剪

强度也越大; 反之, 含水率越大, 非饱和土的基质吸力就越小, 抗剪强度也越小; 含水率趋于饱和时, 非饱和土的抗剪强度逐渐接近于饱和土的抗剪强度。王为等^[5]认为: 在土壤含水量一定的情况下, 抗剪强度随土壤所承受的垂直压力的增加而线性增大; 抗剪强度随含水量的增加而非线性减小。范兴科等^[6]认为: 对于浅层原状土, 其含水率处在动态的变化之中, 而其抗剪强度则随着含水率的增大而减小。杨永红等^[7]认为: 随着含水量的增加, 非饱和土的粘聚力和内摩擦角均减小, 粘聚力有较大变化而内摩擦角变化较小, 植被具有提高非饱和土抗剪强度的作用。综上所述, 各位学者对抗剪强度的研究主要集中在土壤含水量、容重、基质吸力及植被等方面, 而对影响侵蚀的降水及地形等因素与抗剪强度的关系研究较少。本文针对黄土高原沟壑区坡耕地, 在研究表层土壤含水量对抗剪强度影响的基础上, 分析降雨及地形条件对表层土壤抗剪强度的影响, 得出了雨强及坡度与抗剪强度的关系。

1 研究区概况

试验区位于陕西省淳化县县城东南 8 km 处, 其流域面积 9.48 km², 流域南高北低, 海拔 712~1 193 m, 呈长条形, 塬面积 59.2%, 平均坡度 5° 以上, 沟壑占 40.8%, 坡度多在 25° 以上。流域多年平均气温 9.8℃, 多年平均降水量 600.6 mm, 干燥度 1.1~1.3, 7~9 月降水量占 50% 以上, 暴雨频率高, 强度

收稿日期: 2010-01-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目“黄土高原水土保持与生态环境建设试验示范研究”(KZCX2-XB2-05-01)

作者简介: 姚 军(1970—), 男, 陕西淳化人, 讲师, 在读硕士, 主要从事土壤侵蚀方面研究。E-mail: yaojun@nwsuaf.edu.cn。

* 通讯作者: 吴发启, E-mail: wufaqi@263.net。

大,产生强烈水土流失,侵蚀模数 4 000 ~ 5 000 t/(km²·a)。全县地表水常流量 0.98 m³/s,平均径流深 58 mm,径流总量 5 706 万 m³,土壤为黄土母质上发育的幼年侵蚀土壤黄壤土,地带性黑垆土呈斑点状分布,自然植被存在于沟坡,多为草本、灌木,塬上基本为人工植被。

试验区土壤基本物理指标见表 1。

表 1 试验区土壤基本物理指标

Table 1 Basic physical indexes of soil on experiment fields

容重 Bulk density (g/cm ³)	田间持水量 Field capacity (%)	孔隙度 Soil porosity (%)	密度 Density (g/cm ³)	物理性粘粒 (<0.01mm) Physical clay (<0.01mm) (%)
1.25 ~ 1.35	21.5	52.8	2.65	37.45

2 试验设计及测定内容

2.1 试验方案

2.1.1 降雨设计 设备及仪器:便携式降雨机,雨量筒等。

本试验人工模拟降雨均采用微小区试验法(1 × 1 m²)。为防止水分侧渗,四周用铁板围挡。野外试验采用的便携式降雨机,雨滴降落高度为 2 m。有效降雨面积 1.0 m²。由于降雨面积较小,因而采用三点法布设雨量筒(直径为 5 cm)。

试验设计:降雨强度为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mm/min。

降雨历时:40 min。

2.1.2 坡度设计 按淳化试验小区坡耕地实际坡度:5°、8°、11°、15°、20°进行试验布设,人工修整,使地表平整,保持直线坡面。

2.1.3 土壤类型 黄壤土。

2.2 测定内容

2.2.1 雨强测定 雨量筒,计时器。

2.2.2 土壤水分测定 烘干法。

2.2.3 表层土壤抗剪强度测定 采用荷兰产便携式 14.10 Pocket Vane Tester 型三头抗剪仪进行试验。该仪器备有 3 个旋头,分别为 CL102 型(小号)、CL100 型(中号)、CL101 型(大号),适用于不同土壤。3 个测定旋头之间有相应的换算系数,可以将不同的试验数据统一,提高数据的可比性。换算关系为:

大号: $Y = 0.218x$; 中号: $Y = 1.0936x$; 小号: $Y = 2.734x$ 。

式中: x 为实测值; y 为转换后的结果 (g/cm²)。

其基本原理与十字板剪力仪相同,测得的抗剪

强度为饱和土壤抗剪强度。每次测定 6 个数值,取其平均值作为该点该时刻抗剪强度值。

3 试验结果与分析

3.1 坡耕地表层土壤抗剪强度与含水量的关系

降雨结束后,表层土壤含水量随时间推移,不断蒸发和下渗,测定不同雨强及坡度条件下表层土壤含水量及抗剪强度的变化,分析土壤含水量对抗剪强度的影响,结果如下。

图 1 表明,不同坡度和雨强条件下,降雨结束后,随着表层土壤含水量的降低,抗剪强度都会随之增加,且相关性较好。

试验结果表明,表层土壤的抗剪强度的变化主要是受土壤含水量变化的影响,雨后随着蒸发及下渗作用的影响,表层土壤含水量处于动态变化中。由于矿物颗粒的表面张力及土壤水势的扩散作用,土壤水总是先附着在土壤颗粒表面,土粒的结合水同时受到两个土粒的共同引力作用,土粒间出现一定的联系强度,但随着土壤含水量的减少,土壤颗粒间的距离也减少,造成引力增加,相应结合水的联系作用也减少,反映在土壤抗剪强度方面,就是凝聚力增加,同时结合水厚度减少后,土体间产生的相对运动的摩擦系数增大,反映在土壤抗剪强度就是内摩擦角的增大,表层土壤的抗剪强度在雨后随含水量不断降低,呈现增加趋势。这一结论与杨亚川^[8]、赵晓光^[9]、慕青松^[10]、陈海明^[11]、刘海霞^[12]、王丽^[4]等人在不同条件下的研究成果是一致的,表明黄土高原南部表层土壤的抗剪强度变化与表层土壤含水量之间也表现为非线性负相关关系。

3.2 坡耕地表层土壤抗剪强度与雨强的关系

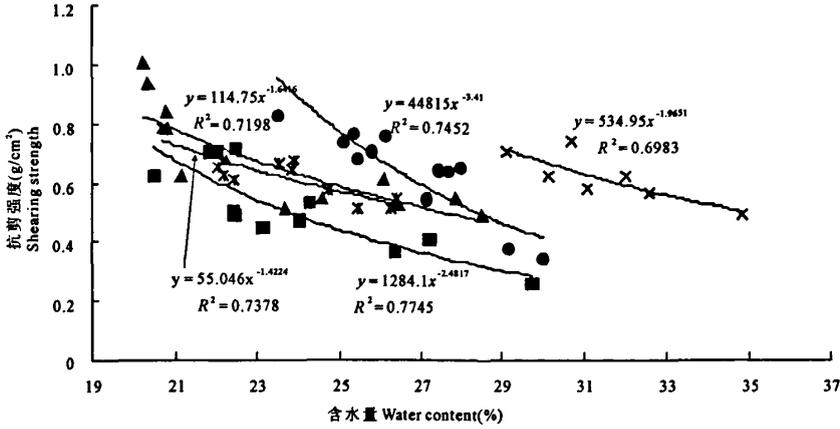
人工模拟降雨结束后,测定同一坡度、不同的雨强条件下坡耕地表层土壤抗剪强度,分析雨强与抗剪强度的关系,结果如下。

图 2 显示,各种坡度条件下,随着雨强的变化,坡耕地表层土壤抗剪强度也有一定的变化,但变化的趋势不尽相同,且两者之间的相关性不显著。

试验结果表明,雨强大小对雨后测得的表层土壤抗剪强度影响不大。由于北方地区地表径流形成以超渗产流为主,过大的雨强产生的降水量更多转化为地表径流,土壤含水量并不因雨强的增加而增加,因此,抗剪强度并不因雨强变化而发生相应的变化。

3.3 坡耕地表层土壤抗剪强度与坡度的关系

雨强接近情况下,降雨结束后,测定不同坡度坡耕地表层土壤抗剪强度,分析其与坡度的关系,结果如下。



坡度 Gradient	雨强 Rainfall intensity
▲ 5°	1.44mm/min
× 8°	1.35mm/min
■ 11°	0.84mm/min
● 15°	1.50mm/min
× 20°	0.40mm/min

图 1 抗剪强度与水分关系曲线

Fig.1 Relationship curves of shearing strength and water content

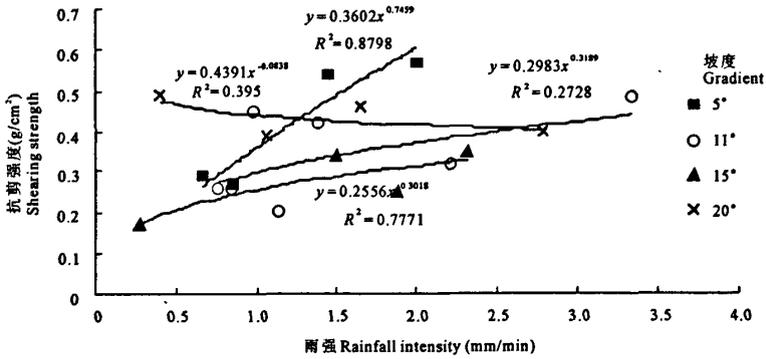


图 2 雨强与抗剪强度的关系曲线

Fig.2 Relationship curves of rainfall intensity and shearing strength

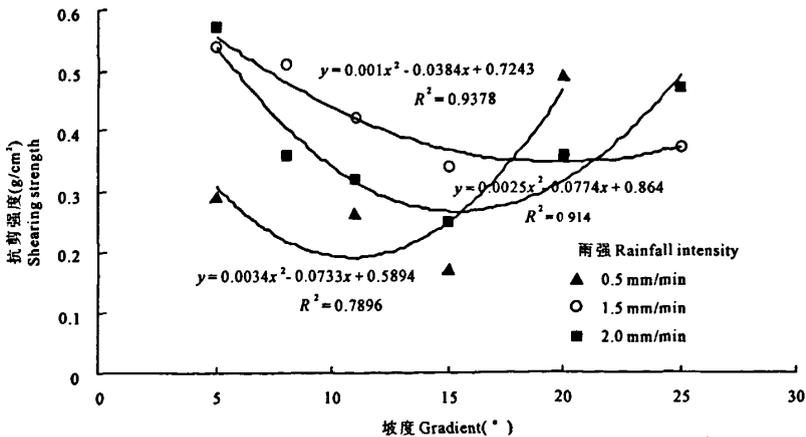


图 3 坡度与抗剪强度的关系曲线

Fig.3 Relationship curves of gradient and shearing strength

图3显示,在雨强接近的情况下,降雨结束后坡耕地表层土壤抗剪强度与坡度之间存在着一定的相关关系:当坡度小于 15° 左右时,随着坡度的增加表层土壤抗剪强度会减小,此后,随着坡度的增加抗剪强度增大,相关性较好,相关系数分别为: $R^2 = 0.789$ (雨强 0.5 mm/min); $R^2 = 0.937$ (雨强 1.5 mm/min); $R^2 = 0.914$ (雨强 2.0 mm/min)。

试验结果表明,在坡度较小(小于 15° 左右)时,随坡度增加,表层土壤中的含水量增加,抗剪强度值随之降低;在坡度较大($< 15^{\circ}$ 左右)时,随坡度增加,表层土壤中的含水量降低,抗剪强度值随之增高。坡度对抗剪强度的影响主要是因为坡度对表层土壤含水量的影响,从而间接影响抗剪强度的大小。

4 结 论

1) 黄土高原沟壑区坡耕地表层土壤抗剪强度的变化与含水量的变化关系密切,不同雨强及坡度条件下,降雨结束后,随着土壤水分含量的降低,抗剪强度都会随之增加,两者具有较好的相关性, R^2 值多在0.7以上。

2) 降雨结束后,坡耕地表层土壤抗剪强度与雨强的相关性不高,表明雨强对抗剪强度的影响不大。

3) 在雨强接近的情况下,坡度对表层土壤抗剪强度值有一定的影响:当坡度小于 15° 左右时,随着坡度的增加表层土壤抗剪强度会减小,此后,随着坡度的增加抗剪强度增大。导致抗剪强度变化的主要原因是坡度对土壤含水量的影响,从而间接影响抗剪强度的变化。

本文是在人工模拟降雨条件下,分析影响坡耕地表层土壤抗剪强度的因素,揭示了土壤含水量、雨

强及坡度对表层土壤抗剪强度的影响,取得了一定的成果。但抗剪强度的影响因素是多方面的,以后的工作应对其他影响表层土壤抗剪强度的因素,如根系含量、容重、温度等进行综合分析,以期在坡耕地土壤侵蚀的研究中更多地利用抗剪强度进行水土流失的预测预报。

参 考 文 献:

- [1] Al-durrah M, Bradford J M. New methods of studying soil detachment due to waterdrop impact[J]. Soil Sci Soc Am, 1981, 45:949—953.
- [2] 潘利君, Bergama Ir E. 利用土壤入渗速率和土壤抗剪力确定土壤侵蚀等级[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 93—96.
- [3] 蒋定生, 王 宁, 王 煜, 等. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 99—105.
- [4] 王 丽, 梁 鸿. 含水量对粉质粘土抗剪强度的影响研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2009, 30(1): 170—174, 195.
- [5] 王 为, 李小昱, 王转卫. 农业土壤抗剪强度的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 125—127.
- [6] 范兴科, 蒋定生, 赵合理. 黄土高原浅层原状土抗剪强度浅析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(4): 69—75.
- [7] 杨永红, 刘淑珍, 王成华. 土壤含水量和植被对浅层滑坡土体抗剪强度的影响[J]. 灾害学, 2006, 21(2): 50—54.
- [8] 杨亚川, 莫永京, 王芝芳, 等. 土壤—草本植被根系复合体抗水蚀强度与抗剪强度的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(2): 31—38.
- [9] 赵晓光, 石 辉. 水蚀作用下土壤抗蚀能力的表征[J]. 干旱区地理, 2003, 26(1): 12—16.
- [10] 慕青松, 马崇武, 苗天德. 低含水率非饱和砂土抗剪强度研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(5): 674—678.
- [11] 陈海明, 班凤其, 刘小伟. 饱和土抗剪强度指标 c 、 ϕ 值与含水量 ω 的关系[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2006, 29(6): 736—738, 746.
- [12] 刘海霞, 王 莉, 邢姣秀. 重塑非饱和土抗剪强度指标与含水状态变化的关系[J]. 黑龙江工程学院学报(自然科学版), 2006, 20(1): 29—31.

Analysis of influence factors on the shearing strength of the topsoil of sloped farmland of gully regions in the Loess Plateau area

YAO Jun, WU Fa-qi*, SONG Juan-li, SHE Diao, LI Guang-lu

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Taking the sloped farmland of Chunhua County as the object, under the situation of the manual simulation rainmaking, and the designed rainfall intensity as following: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm/min and 2.5 mm/min, duration of rainfall: 40 min, and the designed slope gradient as following: 5° , 8° , 11° , 15° and 20° , this paper analyzes the three main factors: water content, rainfall intensity and gradient, which influences the shearing strength of the topsoil of sloped farmland of the gully region in the Loess Plateau area. The results show that, after the rainmaking, the shearing strength will increase with the decreasing of the water content of the topsoil. The pertinence between these two factors is pretty obvious. The rainfall intensity has less influence on the shearing strength. When the gradient is small, the shearing strength will decrease with the increase of the gradient. When the gradient reaches 15° or more, the shearing strength will increase with the increase of the gradient.

Keywords: sloped farmland; topsoil; shearing strength; water content; rainfall intensity; gradient