

花岗岩红壤表土特征及对 坡面侵蚀影响的研究 *

蔡崇法 丁树文 张光远

(华中农业大学土化系·武汉·430070)

摘 要 以鄂南花岗岩红壤为研究对象,采用人工降雨试验与调查观测相结合的方法,研究了表土(0~2cm)的形态和颗粒组成,降雨过程中的变化过程及其对坡面侵蚀的影响。结果表明:1)花岗岩红壤稳定的表土是一上部多砾石,下部较紧密的紧实层。2)紧实层是耕作层表面在降雨过程中经历结皮、压实、粗化几个过程后形成的。3)紧实层的存在影响地表入渗和坡面产流产沙量。

关键词 表土特性 紧实层 坡面侵蚀 花岗岩

Study on Soil Surface Characteristics and Its Effect on Slope Erosion of Red Soils Derived from Granite

Cai Chongfa Ding Shuwen Zhang Guangyuan

(Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070)

Abstract The soil surface (0~2cm) characteristics of red soils, derived from granites, were studied in southern Hubei. In addition, the change of soil surface and its effect on slope erosion were also studied by the rainfall simulation experiment in the laboratory and in the field. The results indicated as follows: 1) The soil surface, called a density horizon, consisted of a gravel layer and a heavy density layer. 2) The density horizon formed through three stages: firstly surface crusting formed, then the crusting broken and the density layer formed, lastly the density horizon formed. 3) The density horizon may influence the content of sediment in the runoff.

Key words soil surface characteristics density horizon slope erosion granite

近10年来,土壤侵蚀与保护研究工作者越来越重视降雨过程中表土形成结皮及其对土壤抗蚀性的影响。罗曼肯斯(Romkens, 1990)^[1]伯德福特(Bradford)和黄(Huang, 1991)对大部分工作作过综述^[2]。陆兆熊(1992)研究了结皮对径流产沙影响,认为表土结皮的形成和发育是个复杂的过程,与降雨历时和土壤类型有联系^[3]。花岗岩结构松散,富含砂砾,具有不同于其他母质发育的土壤的特殊性。摩根(1987)在论述坡面土壤侵蚀规律时曾经提出表土砂石含量与土

① 收稿日期:1996—03—10

* 国家自然科学基金资助项目。

壤抗冲性和土壤水入渗速率有关^[4]。最近的研究发现花岗岩发育的土壤在经历一段时间降雨后,表土明显滞留粗颗粒,并可能影响土壤抗蚀性。^①由此可见,花岗岩发育的土壤的表土变化影响着土壤侵蚀。

花岗岩红壤分布在我国南方,因其承接降雨量大,加上不合理的耕垦,土壤侵蚀较严重,是我国长江以南地区主要侵蚀土壤之一,其侵蚀危害已引起不少学者重视^[5]。有关表土特性的研究尚未见报导。本文拟通过调查不同耕作方式的野外试验小区的表土特征,结合人工降雨试验,观察表土特性及变化过程,探讨表土特征变化与坡面侵蚀的关系,为揭示南方水土流失规律提供依据。

1 供试土壤与试验设计

试验点在地处中亚热带北缘的湖北省通城县进行,土壤为花岗岩母质发育的红壤。设置不同处理的试验小区(表 1),各小区自冬播后实行免耕管理,以保护地表,避免扰动。于次年 5 月采样。样品分别有表土(0~2cm),耕层土壤(0~20cm)及表土原状土块(2cm×3cm×5cm),用于粒度分析及微形态观察。

选择坡度为 15°光板地的 6 号小区进行人工模拟降雨试验。试验前将耕层土壤翻松整平,在降雨过程中每分钟观测一次产流量,每 3min 收集一次泥沙量,并于降雨历时为 2.5,5,10,15,20,30min 时采原状表土,用于微形态观察。

表 1 试验小区基本情况

| 小区号 | 坡度 | 耕作方式 | 作物 | 质地类型 |
|-----|-----|------|-----|-------|
| 1 | 15° | 顺坡垄作 | 小麦 | 砂质粘壤土 |
| 2 | 15° | 横坡垄作 | 小麦 | 砂质粘壤土 |
| 3 | 15° | 顺坡垄作 | 油菜 | 砂质粘壤土 |
| 4 | 15° | 横坡垄作 | 油菜 | 砂质粘壤土 |
| 5 | 15° | 坡地 | 牧草 | 砂质壤土 |
| 6 | 15° | 坡地 | 光板地 | 砂质壤土 |
| 7 | 25° | 横坡垄作 | 油菜 | 壤质粘土 |
| 8 | 25° | 横坡垄作 | 小麦 | 砂质粘壤土 |

为了研究不同坡度,不同降雨历时表土变化,在室内冲蚀槽内,对 10°,14°,18°,25°坡度分别进行了 40min 降雨。另对 15°坡度进行了 60min 降雨试验,并从 20min 开始,每 10min 采一个表土样。

人工降雨试验采用的下喷式模拟降雨器是由加拿大引进,采用 SPRACO 锥形喷头^[6]。

粒度分析,采用吸管法,国际制分粒级。微形态样品用不饱和聚脂树酯减压灌胶,逐渐升温固化,制片后用光学树脂粘片,封片。

2 表土特性

2.1 表土颗粒组成

表土是流水侵蚀的作用面,是受耕作活动影响较深刻的耕层土壤的一部分,其稳定状况与土壤抗蚀性有着密切的关系。南方多雨地区每进行一次耕作,坡耕地表面被扰动一次,此后首次降雨引起的径流产沙量明显较高,而后各次降雨引起的径流产沙量则较首次降雨要低。冬播

① * 邓银霞. 湖北省几种母质发育的红壤、黄棕壤的可蚀性研究,华中农业大学硕士论文,1991,37~44

后,试验小区免耕管理一个时期后,表土暂时稳定,表 2 给出的稳定状态下表土及耕层土壤的颗粒组成分析结果可以看出,各小区表土大于 2mm 的石砾含量都不同程度地高于表层土壤,表现为明显的粗粒化。粗粒化程度由于利用方式和地形坡度等原因有所不同。

室内冲蚀槽内试验反映了表土特性与坡度关系。40min 降雨后,各种坡度表土比表层土壤颗粒明显粗一些,表土中大于 0.2mm 砂粒增加了 6%以上,并随着坡度增加而逐渐增加,0.2~0.002mm 粉砂含量则有不同程度降低。可见表土粗颗粒含量增加主要是由于粉砂类粒级颗粒的流失而引起的。

表 2 表土与表层土壤颗粒组成

| 小区 | 层次部位 | >2mm | 2~0.2mm | 0.2~0.02mm | 0.02~0.002mm | <0.002mm |
|----|-------|-------|---------|------------|--------------|----------|
| 1 | 表土 | 24.74 | 23.33 | 19.37 | 18.74 | 13.13 |
| | 表层下土壤 | 15.33 | 26.83 | 22.30 | 15.30 | 20.40 |
| 2 | 表土 | 15.20 | 23.14 | 13.76 | 19.51 | 28.39 |
| | 表层下土壤 | 8.84 | 30.58 | 17.63 | 20.83 | 22.12 |
| 3 | 表土 | 15.79 | 31.17 | 16.03 | 16.94 | 20.65 |
| | 表层下土壤 | 10.87 | 42.53 | 19.13 | 15.44 | 17.38 |
| 4 | 表土 | 21.96 | 37.64 | 17.31 | 10.16 | 12.53 |
| | 表层下土壤 | 20.79 | 38.60 | 20.16 | 10.95 | 9.53 |
| 5 | 表土 | 22.09 | 33.49 | 14.88 | 11.98 | 17.60 |
| | 表层下土壤 | 20.51 | 30.54 | 17.82 | 13.37 | 17.76 |
| 6 | 表土 | 25.35 | 33.64 | 15.56 | 12.62 | 12.93 |
| | 表层下土壤 | 20.41 | 31.25 | 23.18 | 15.08 | 10.08 |
| 7 | 表土 | 25.25 | 35.27 | 17.38 | 12.46 | 9.64 |
| | 表层下土壤 | 20.59 | 41.17 | 17.98 | 11.32 | 8.94 |
| 8 | 表土 | 25.50 | 36.50 | 19.75 | 11.80 | 6.75 |
| | 表层下土壤 | 20.50 | 36.50 | 24.38 | 15.15 | 3.48 |

表 3 不同坡度表土颗粒组成的变化

| 坡度 | 粗砂(%) | | | 粉砂(%) | | | 粘粒(%) |
|-------|-------|---------|-------|------------|--------------|-------|----------|
| | >2mm | 2~0.2mm | 合计 | 0.2~0.02mm | 0.02~0.002mm | 合计 | <0.002mm |
| 降雨前土样 | 12.74 | 32.52 | 45.26 | 27.23 | 16.05 | 43.28 | 11.46 |
| 10° | 含量 | 17.31 | 34.04 | 51.35 | 16.77 | 6.13 | 22.90 |
| | 增减 | +4.57 | +1.52 | +6.09 | -10.46 | -9.90 | -20.38 |
| 14° | 含量 | 14.84 | 37.29 | 52.11 | 21.11 | 6.47 | 27.58 |
| | 增减 | +2.10 | +4.77 | +6.87 | -6.12 | -9.58 | -15.70 |
| 18° | 含量 | 13.72 | 38.45 | 52.17 | 20.41 | 7.13 | 27.54 |
| | 增减 | +0.98 | +5.93 | +6.91 | -6.82 | -8.92 | -15.74 |
| 20° | 含量 | 15.52 | 37.64 | 53.16 | 24.74 | 15.63 | 40.37 |
| | 增减 | +2.78 | +5.12 | +7.90 | -2.49 | -0.42 | -2.91 |
| 25° | 含量 | 14.45 | 37.36 | 51.81 | 21.17 | 17.02 | 38.19 |
| | 增减 | +1.71 | +4.84 | 6.55 | -6.06 | +0.92 | -5.09 |

2.2 表土微形态特征

稳定时花岗岩红壤的表土,大形态一般可见覆盖表面的石砾。借助薄片观察,其微形态特征为土壤颗粒排列紧密,孔隙少,没有团聚体;较大颗粒被镶嵌,包被于紧密排列的细粒之间或平行排列在最表面;形成一个上部多石砾,下部紧实的层次,厚度在 1~10mm,这一层次我们

称之为紧实层,这种形态特征与黄土表土具有结皮的特征有着明显的差异^[1]。

不同耕作方式下表土紧实层不同。横坡垄作的垄面上紧实层比较完整,而顺坡垄作的垄面上紧实层间断存在,不很完整。坡度不同,紧实层也有差异,一般 15°坡面紧实层较清楚,25°坡面紧实层较薄,粗粒较多。作物类型对紧实层也有影响,牧草地表土微形态,由于根系较多,根系之间夹有较大可移动的颗粒,显得不紧密。

3 表土在降雨过程中的变化过程

3.1 表土颗粒组成的变化

扰动后的表土疏松多孔,在降雨过程中易受降雨、径流动力的作用产生移动。土壤颗粒大小,团聚体胶结程度不同,颗粒分散移动所需的能量也不一致。一段时间降雨以后,表土颗粒组成因受侵蚀而有一定的变化。通过对土面坡度为 15°的冲蚀槽降雨试验表明:降雨 20min 时,表土砂粒(>0.2mm)相对增加了 9.11%,并随降雨历时的延长,砂粒含量逐渐增加。但这种变化不是持续的,有时出现一段时间相对稳定。相反,砂粒(0.2~0.002mm)从 20min 以后逐渐减少,这也说明了粉砂流失导致了砂粒含量的增加(表 4)。

表 4 15°坡度不同降雨历时表土颗粒组成

| 降雨时间 (min) | 粗砂(%) | | | 粉砂(%) | | | 粘粒(%) |
|---------------|-------|---------|--------|------------|--------------|--------|----------|
| | >2mm | 2~0.2mm | 合计 | 0.2~0.02mm | 0.02~0.002mm | 合计 | <0.002mm |
| 0 | 12.74 | 32.52 | 45.26 | 27.23 | 16.05 | 43.28 | 11.46 |
| 20 | 17.26 | 23.11 | 54.37 | 20.92 | 14.48 | 35.50 | 9.83 |
| | | | +9.11 | | | -7.78 | -1.63 |
| 30 | 24.51 | 33.34 | 57.85 | 17.29 | 13.52 | 30.81 | 12.02 |
| | | | +12.59 | | | -12.47 | +0.56 |
| 40 | 27.03 | 30.68 | 57.71 | 17.61 | 13.72 | 31.34 | 10.95 |
| | | | +12.45 | | | -11.94 | -0.51 |
| 50 | 27.49 | 32.75 | 60.24 | 15.65 | 12.77 | 28.42 | 11.34 |
| | | | +14.98 | | | -14.86 | -0.12 |
| 60 | 33.01 | 30.57 | 63.58 | 13.87 | 10.29 | 24.16 | 12.26 |
| | | | +18.32 | | | -19.12 | +0.80 |

3.2 表土形态在降雨过程中的变化

黄土地区的黄绵土表土降雨后形成结皮^[7],花岗岩红壤的质地与黄土不同,表土形态也有一定的差异。第 6 小区光板地人工模拟降雨试验观测降雨过程中表土微形态的变化反映了这一现象。试验地降雨前翻耕整平,降雨雨强 1.00mm/min、降雨 2.5min 后,表土保留有明显的团聚体,孔隙较多,颗粒排列疏松,较大的粗砂颗粒表面还有粘附的细小颗粒。降雨 5min 后,表土形成清晰的结皮层,这种结皮层透光差,厚度在 0.1~2mm,形态与黄土结皮颇相似,结皮层之下仍为排列疏松多孔的土体。降雨 10min 后,结皮仍然清楚,凸起部位已无结皮,但结皮之下 3~10mm 范围内孔隙基本少见,结构较紧密。15min 结皮层已经很薄,大多数部位已难观察到,紧密的结皮结构已基本形成层次。20min 后没有找到结皮层,表土似粗砂粒为主,粗砂粒有些平行排列于土壤表面,有的部分嵌入其下紧实层,形态与前面所述的表土稳定时形态基本相似。

根据以上结果,可以初步认为,扰动后的花岗岩红壤,在降雨过程中,表土经历结皮、紧实层形成、砂砾石相对增加几个阶段后,才趋动态稳定。这种变化过程与黄土地区黄绵土表土结

皮的形成与变化完全不同^[8]。

3.3 表土形态变化对产沙产流的影响

表土形态的变化对坡面产流产沙有着明显的影响。图1绘制的是6号小区30min降雨过程中产流产沙的过程曲线。降雨初期,产流量小,径流含沙量高与表土疏松多孔,土壤易流失,入渗量大有关。5~7min径流含沙量下降,而径流量上升,这与结皮的形成有关。由于结皮的存在导致地表渗透量减少,产沙量上升。随着产流量的上升,地表流水侵蚀力增加,结皮被打破,含沙量又开始上升,9min上升到最高点。10~20min产流量和产沙量比较稳定,这个时期是紧密结构形成和粗砂粒相对增加的阶段。

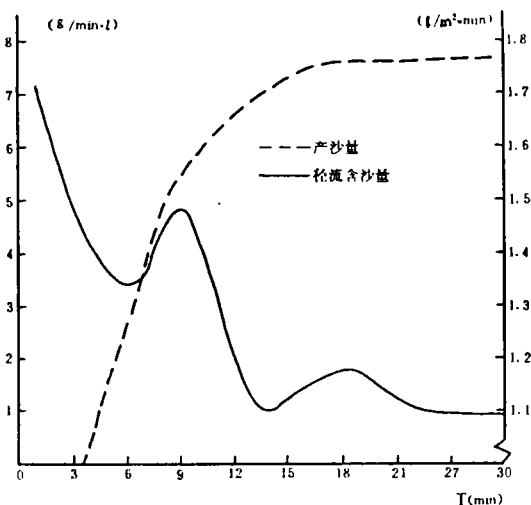


图1 6号小区产流量、含沙量的过程曲线

4 结论

- 1、花岗岩红壤表土相对稳定的形态为一紧实层,紧实层存在的形态受地表植物和耕作方式的影响。
- 2、表土颗粒组成明显较表层土壤粗,其主要原因是粉粒易流失,粗颗粒是紧实层的组成部分。
- 3、结皮是花岗岩红壤表土在降雨过程中经历的一个阶段,而不是其最后稳定形态。
- 4、表土形态特征与坡面产流产沙量有密切关系。

致谢:本研究过程中,姚宇卿,姜展望,邓红云参加了部分工作,并得到通城县水保站全体同志的协作,在此表示衷心感谢!

参考文献

- 1 Romkens M. J. M, et al. Surface sealing and infiltration. In "Process Studies in Hillslope Hydrology. Wiley" (Edited by Arderson, M. G. and Burt, T. P.) Chapter 5. 1990
- 2 Bradford, J. M. and Huang, C., Mechanisms of crust formation: physical components. Paper presented at international Symposium on Soil Crusting. Athens, Georgia, 1991
- 3 陆兆熊等. 黄土丘陵沟壑区表土结皮与坡度对径流产沙的影响. 晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究, 科学出版社, 1992
- 4 M. J. 柯克比, R. P. C. 摩根等. 王礼先, 吴斌译. 土壤侵蚀. 1987
- 5 中国—加拿大水土保持协作组. 广东省水土保持研究, 科学出版社, 1989
- 6 Luk, S. H et al. A simple rainfall simulator and trickle system for hydro-geomorphological experiments. Physical Geography 1986(7)
- 7 张光远, 蔡崇法等. 黄绵土表土结皮的微形态特征及某些理化性质的研究. 晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验研究文集, 水力电力出版社, 1990
- 8 张光远, 蔡崇法等. 黄绵土表土结皮的形成, 破坏过程及微形态特征. 晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究, 科学出版社, 1992