

土壤结皮对黑土区坡面产流产沙的影响

高燕¹, 郑粉莉^{1,2}, 王彬¹, 李桂芳², 张姣¹, 姜义亮¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:土壤结皮对坡面产流形成和侵蚀过程有重要的影响。基于室内人工模拟降雨试验,研究了土壤结皮对黑土区坡面产流产沙的影响。结果表明:土壤结皮促使坡面产流提前发生,但对坡面产流量的影响不甚明显;对坡面侵蚀产沙量却有明显的作用。试验条件下,5°坡面有土壤结皮处理的坡面侵蚀产沙量较无土壤结皮处理减少了 54%。有土壤结皮处理的 10°坡面,在降雨过程中结皮尚未破坏前,其坡面侵蚀产沙量较无土壤结皮处理的对照减少了 40%;一旦土壤结皮被破坏,之后的坡面侵蚀产沙量较无土壤结皮处理的对照增加了 46%;在整个降雨过程中,10°有土壤结皮处理的坡面侵蚀产沙量较无土壤结皮处理增加了 16%。表明土壤结皮对坡面侵蚀的影响与地面坡度有密切关系。

关键词:东北黑土区; 土壤结皮; 坡度; 产流量; 侵蚀产沙量

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)04-0017-04

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2014.04.004

Effects of Soil Crust on Runoff and Sediment on Hillslope in Black Soil Region

GAO Yan¹, ZHENG Fen-li^{1,2}, WANG Bin¹, LI Gui-fang², ZHANG Jiao¹, JIANG Yi-liang¹

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil surface crust has great impacts on hillslope erosion process. Simulated rainfall experiments were conducted to investigate the effect of soil crust on runoff and sediment yield on hillslope in the black soil region. The experimental design included two kinds of soil surface (crust and non-crust), one rainfall intensity (60 mm/h) and two slope gradients (5° and 10°). Results showed that the runoff occurrence with soil crust treatment was earlier than that of non-crust treatment, but runoff rate was similar for both soil surface treatments. Compared to the non-crust treatment, the sediment yield on 5° slope with crust decreased by 54%; the sediment yield of 10° slope decreased by 40% when the soil crust existed in the process of rainfall because soil crust has the function of restraining sediment generation; but it increased by 46% after the soil crust was broken. The total sediment yield on 10° slope with initial crust increased by 16% compared to that in the non-crust treatment in the duration of the simulated rainfall. Under the experimental conditions, this study results showed that slope gradient was the key factor that soil crust affected soil erosion.

Key words: black soil region; soil crust; slope gradient; runoff; sediment

土壤结皮通常指物理性结皮,即在雨滴击溅和土壤黏粒的物理化学分散作用下,土壤表面孔隙不断堵塞或携沙水流经过地表时细小颗粒沉积而形成的一层很薄的土表硬壳^[1]。相关研究表明,土壤结皮层表面相对光滑,强度大,导水性和稳定性较差,能减缓水

分入渗,降低土壤入渗率,减小地表粗糙度^[2-3]。国外对土壤结皮的研究比较早,不同学者就土壤结皮对土壤侵蚀的影响得到了不同的结论。如 Daniel 和 Moore 认为在侵蚀条件稳定的情况下土壤结皮的形成会促使土壤发生侵蚀^[4]; Levy 等认为土壤结皮以

收稿日期:2013-07-04

修回日期:2013-10-23

资助项目:国家自然科学基金资助项目(41271299,40871137)

作者简介:高燕(1988—),女,陕西省靖边县人,硕士研究生,研究方向为土壤侵蚀过程与机理。E-mail:caius@163.com

通信作者:郑粉莉(1960—),女,陕西省蓝田县人,研究员,博士生导师,主要从事土壤侵蚀过程、预报和侵蚀环境效应评价研究。E-mail:flzh@ms.iswc.ac.cn

两种相反的方式影响土壤侵蚀:土壤结皮的存在增加了土壤表面的切变强度,从而降低土壤分离,但同时结皮增加径流并提高了径流剥蚀搬运能力,因而又增加了土壤分离^[5]。目前国内关于土壤结皮与侵蚀关系的研究主要集中在侵蚀较为严重的黄土高原,但其研究有不同的结论:一种认为,土壤结皮的存在可增加地表产流产沙量,诱导细沟侵蚀发生^[6-7];第二种认为,土壤结皮具有增大径流、抑制产沙的作用^[8];还有一种认为,土壤结皮对侵蚀产沙的作用可能增强也可能削弱^[9]。东北黑土区是我国水土流失较为严重的区域之一,部分地方黑土已经完全流失,出现“破皮黄”现象;而当前关于黑土区土壤结皮对坡面侵蚀影响的研究又非常薄弱,对此,本文采用人工模拟降雨的方法,研究不同坡度条件下土壤结皮对黑土区坡面产流产沙的影响,以期对东北黑土区土壤侵蚀防治提供相应的科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验土壤取自吉林省榆树市刘家镇合心村南城子屯(北纬 44°43'28",东经 126°11'47")。供试土样为典型黑土耕层(表层 0—20 cm)土壤,pH 值为 5.92,黏粒、粉粒和砂粒含量分别为 20.3%、76.4%和 3.3%,有机质含量 23.8 g/kg。

1.2 试验装置

模拟降雨试验在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室人工模拟降雨大厅进行。采用侧喷式人工降雨装置,该装置由 2 组单喷头对喷,降雨高度 16 m,雨滴直径和雨滴分布与天然降雨相似,降雨均匀度大于 80%^[10]。试验所用土槽尺寸规格为 1 m(长)×0.5 m(宽)×0.45 m(深),下端设集流装置采集径流泥沙样。

1.3 试验设计

试验处理包括坡面有土壤结皮和无土壤结皮(对照)两种处理。结皮处理是通过前期降雨使土壤表面形成结皮;对照处理是前期降雨 24 h 后对土壤表面形成的结皮进行破坏,破坏深度 1~2 cm,以模拟无土壤结皮的自然表面。根据东北典型黑土区坡地小坡度的特点,设计 5°和 10°两个试验坡度。詹敏^[11]和张宪奎^[12]等研究表明,导致黑土区土壤流失的主要降雨类型为短历时、高强度降雨,降雨时间多在 1 h 左右,且中度侵蚀的瞬时雨强标准为 0.71 mm/min。因此试验设计降雨强度为 60 mm/h(即 1.0 mm/min),历时 1 h。试验重复 2 次。

1.4 试验步骤

装试验土槽前,为了保证良好的透水性,在试验土槽底部铺 10 cm 厚的细沙。细沙上部按照 1.30 g/cm³的容重每 5 cm 为一层填装黑土,装土厚度为 30 cm。装完土槽后,利用 30 mm/h 降雨强度进行前期降雨,降雨直至坡面即将发生产流为止,以形成土壤结皮并确保每次试验前土壤含水量一致。前期降雨 24 h 后进行降雨强度为 60 mm/h 的正式降雨。坡面产流后,记录各试验处理土槽的初始产流时间,并用 5 L 的塑料桶接取径流泥沙全样,取样间隔时间为 3 min。降雨结束后,测量所有样品的径流体积,待泥沙沉淀后倒掉上清液,将泥沙样烘干并称量。

2 结果与分析

2.1 土壤结皮对坡面产流时间的影响

表 1 列出了不同试验处理条件下的坡面径流量与侵蚀产沙量。从表中可看出,有土壤结皮的坡面产流早于无土壤结皮坡面。5°和 10°坡面上有结皮处理下的产流时间较无结皮处理的对照分别提前了 41 s 和 12 s。这与有关研究的结论相一致^[8,13-14]。这是因为受雨滴打击和颗粒重新排列的影响,土壤结皮成为土壤表面一层致密的保护层,它具有相对紧密、透水性差等特性,可通过降低土壤水分的传导性以减小土壤渗透率。当降雨发生时,有土壤结皮的坡面受到结皮层的影响,通过阻碍水分入渗,降低土壤入渗率而加速坡面产流的发生。因此会呈现有土壤结皮处理的坡面产流早于无土壤结皮坡面的现象。同时,这种时间差会随坡度的增加而减小^[7]。

表 1 不同试验处理下坡面径流量与侵蚀产沙量

坡度/ (°)	地表 条件	产流 时间/s	总径流量/ mm	总侵蚀产沙量/ (g·m ⁻²)
5	结皮	79	46.7	112.6
	对照	120	52.3	243.2
10	结皮	60	55.0	628.4
	对照	72	51.3	541.0

2.2 土壤结皮对坡面产流的影响

由表 1 可知,有土壤结皮和无土壤结皮对照处理下的坡面径流总量相近;对比分析图 1 发现,在 5°和 10°条件下有、无土壤结皮的坡面产流过程在整个降雨过程中变化均很稳定,径流量差异不大。说明土壤结皮对坡面径流量的影响不明显。这与土壤结皮会增加径流的传统研究结果不同^[8]。造成该部分结论与其他学者不同的原因应该是各研究试验条件的不一致所致。

关于土壤结皮对坡面产流的影响目前尚无定论。一些研究表明,土壤结皮通过降低土壤入渗率来增加地表径流量^[8,15];而程琴娟等^[16]对比了有结皮和打破结皮两种地表处理对坡面侵蚀的影响时发现,有结皮和打破结皮的累积径流量比值略大于 1;王辉等^[17]对比分析了无结皮、轻微结皮和严重结皮三种不同发

育程度的土壤结皮对坡面侵蚀的影响,发现严重结皮坡面较无结皮坡面的径流量降低 28%。出现这些差异的原因均有可能是各研究的试验条件不同,尤其是试验土壤不同所导致的。这表明单纯地定论结皮对坡面产流起到抑制或促进作用的结果是不可取的,应须考虑具体的试验条件。

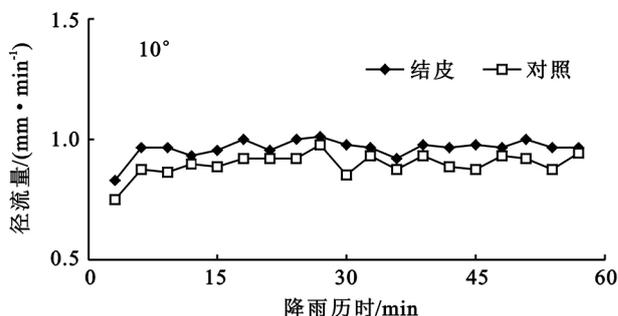
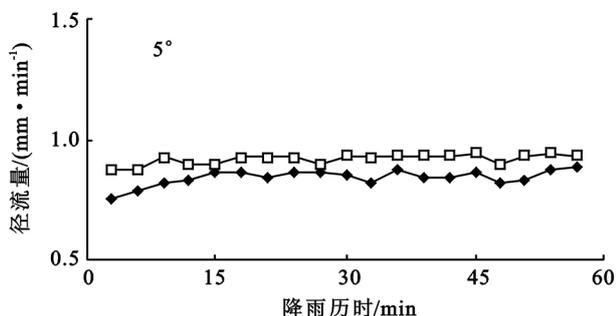


图 1 有土壤结皮与无土壤结皮对照处理的坡面产流过程

2.3 土壤结皮对坡面侵蚀产沙的影响

通过对比有土壤结皮与无土壤结皮对照处理的坡面产沙过程发现(图 2),5°坡面在整个降雨过程中,有土壤结皮处理的坡面侵蚀产沙量小于无土壤结皮处理的坡面侵蚀产沙量;有土壤结皮处理的坡面总侵

蚀产沙量较无结皮处理的对照减少了 54%。说明在此试验条件下土壤结皮有抑制坡面侵蚀产沙的作用。这是由于结皮的存在减弱了雨滴的击溅作用,导致地表松散颗粒以及径流搬运的泥沙量较少,从而坡面侵蚀产沙量减少。

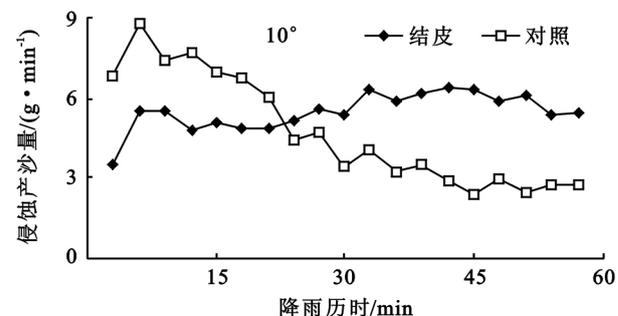
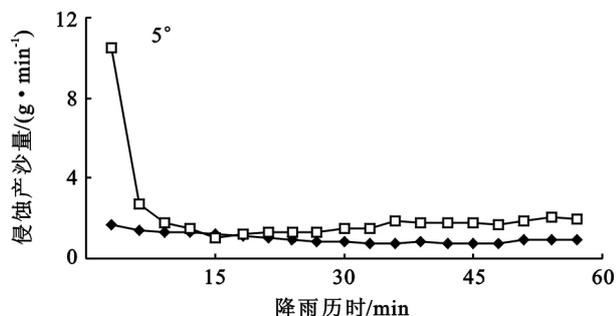


图 2 有土壤结皮与无土壤结皮对照处理的坡面侵蚀产沙过程

在 10°坡面上,当降雨开始至 23 min 内,有土壤结皮处理的坡面侵蚀产沙量低于无土壤结皮处理的对照坡面,说明土壤结皮的存在仍具有抑制产沙的作用,此时有土壤结皮处理的坡面侵蚀产沙量较无土壤结皮处理的对照减少了 40%。因此,对于 10°坡面,当土壤结皮存在时,结皮仍然可以降低坡面侵蚀产沙量;而一旦土壤结皮在降雨过程中遭到破坏,坡面侵蚀产沙量反而会增大,其值较无结皮处理的对照增加了 46%。从 60 min 整个降雨过程看,10°坡面有土壤结皮处理的总侵蚀产沙量较无结皮处理的对照增加了 16%。这一研究结果说明,在该试验条件下,对于 10°坡面,一旦降雨过程中土壤结皮遭到破坏,坡面侵蚀产沙量有增大的趋势,同时坡面总侵蚀产沙量在整个降雨过程中对土壤结皮的响应表现为侵蚀量增大。这是因为虽然前期土壤结皮具有抑制侵蚀的作用,但受到降雨和径流的影响,土壤结皮在降雨过程中发生

局部破坏并不断形成新的土壤结皮;结皮坡面的土壤结皮在动态变化过程中造成松散物质随径流流失,但随着降雨历时的延长,土壤结皮逐渐趋于完善,侵蚀产沙量也逐渐趋于稳定。有的研究结果也表明,坡度对土壤侵蚀的发生有重要的作用^[7,18]。Poesen^[19]的研究也发现,坡度越陡,土壤结皮越难于形成,且在降雨过程中越容易遭到破坏。

3 结论

(1) 土壤结皮促使坡面产流提前发生。在 5°和 10°坡度条件下,有土壤结皮坡面的产流时间均早于无土壤结皮坡面。

(2) 土壤结皮对坡面产流量的影响不甚明显,而对侵蚀产沙量的影响非常明显,且影响的作用与坡度有关。在 5°坡面上,有土壤结皮的坡面侵蚀产沙量较无土壤结皮的坡面减少了 54%;在 10°坡面上,在土

壤结皮未发生破坏前,土壤结皮仍具有抑制侵蚀产沙的作用,有土壤结皮处理的坡面侵蚀产沙量较无土壤结皮处理的对照减少了 40%;而一旦土壤结皮在降雨过程中遭到破坏,坡面侵蚀产沙量反而会增加,其值较无土壤结皮处理的对照增加了 46%。在整个降雨过程中,10°坡面有土壤结皮处理的总侵蚀产沙量较无土壤结皮处理的对照增加了 16%。这说明土壤结皮对坡面侵蚀的影响与坡度有密切的关系。

土壤结皮对黑土区坡面侵蚀的影响较为复杂,这里仅仅分析了两个坡度条件下土壤结皮对坡面产流产沙的影响,是否存在阈值坡度导致土壤结皮以两种相反的方式影响土壤侵蚀还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Singer M J. Physical properties of arid region soils resource and reclamation [M]. New York: Marcel Dekker, 1991.
- [2] 蔡强国,陆兆雄. 黄土发育表土结皮过程和微结构分析的试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报,1996,4(4): 363-370.
- [3] 张光远,蔡崇法. 黄绵土表土结皮的形成、破坏过程及微形态特征[M]//晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地力信息系统应用研究. 北京:水利电力出版社,1992.
- [4] Moore D C, Singer M J. Crust formation effects on soil erosion processes [J]. Soil Science Society of America Journal,1990,54(4):1117-1123.
- [5] Levy G J, Levin J, Shainberg I. Seal formation and interrill soil erosion [J]. Soil Science Society of America Journal,1994,58(1):203-209.
- [6] 黄秉维. 关于黄河中游水土保持的几个问题[M]//中国
- (上接第 16 页)
- [6] Polyakov V O, Kimoto A, Nearing M A, et al. Tracing sediment movement on a semiarid watershed using rare earth elements[J]. Soil Science Society of America Journal,2009,73(5):1559-1565.
- [7] Polyakov V O, Nearing M A, Shipitalo M J. Tracking sediment redistribution in a small watershed: implications for agro-landscape evolution [J]. Earth surface processes and landforms,2004,29(10):1275-1291.
- [8] Kimoto A, Nearing M A, Zhang X C, et al. Applicability of rare earth element oxides as a sediment tracer for coarse-textured soils[J]. Catena,2006,65(3):214-221.
- [9] 李雅琦,吴普特,刘普灵,等. REE 示踪法研究土壤侵蚀的室内模拟试验[J]. 水土保持研究,1997,4(2):26-33.
- [10] 刘刚,杨明义,刘普灵,等.⁷Be 示踪坡耕地次降雨细沟与细沟间侵蚀[J]. 农业工程学报,2009,25(5):47-53.
- [11] 丁文峰,李勉,张平仓,等. 坡沟系统侵蚀产沙特征模拟
- 国土整治战略问题探讨. 北京:科学出版社,1983.
- [7] 蔡强国,王贵平,陈永宗. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [8] 吴发启,范文波. 土壤结皮对降雨入渗和产流产沙的影响[J]. 中国水土保持科学,2005,3(2):97-101.
- [9] 卜崇峰. 表土结皮的发育机理及其侵蚀效应研究[D]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2006.
- [10] 郑粉莉,赵军. 人工模拟降雨大厅及模拟降雨设备简介[J]. 水土保持研究,2004,12(4):177-178.
- [11] 詹敏,厉占才,信玉林. 黑土侵蚀区降雨参数与土壤流失关系[J]. 黑龙江水专学报,1998(1):40-43.
- [12] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报,1992,12(4):1-9,18.
- [13] McIntyre D S. Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact [J]. Soil Science,1958,85(5):261-266.
- [14] Moore I D. Effect of surface sealing on infiltration [J]. Transactions of the ASAE,1981,24:1546-1553.
- [15] 蔡强国,陈浩. 表土结皮在溅蚀和坡面侵蚀过程中的作用[M]//黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究. 北京:气象出版社,1988.
- [16] 程琴娟,蔡强国,廖义善,等. 土壤表面特性与坡度对产流产沙的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(2):9-11.
- [17] 王辉,王全九,邵明安,等. 表土结皮影响坡地产流产沙及养分流失的试验研究[J]. 水土保持学报,2008,22(4):36-28.
- [18] 郑粉莉,高学田. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[M]. 西安:陕西人民出版社,2000.
- [19] Poesen J. The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow [J]. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band, 1984,49:117-131.
- 试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(3):10-14.
- [12] 曹银真. 黄土地区梁峁坡的坡地特征与土壤侵蚀[J]. 地理研究,1983,2(3):19-29.
- [13] 张会茹,郑粉莉,耿晓东. 地面坡度对红壤坡面土壤侵蚀过程的影响研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):52-54,59.
- [14] Morgan R P C. Soil erosion and conservation (3rd edition) [M]. Wiley-Blackwell,2005.
- [15] 耿晓东,郑粉莉,刘力. 降雨强度和坡度双因子对紫色土坡面侵蚀产沙的影响[J]. 泥沙研究,2010(6):48-53.
- [16] 王宁,杨春雨,张刚,等. 黑土区土壤侵蚀的 REE 示踪法研究[J]. 地理科学,2008,28(4):565-570.
- [17] 刘普灵,田均良,周佩华,等. 土壤侵蚀稀土元素示踪法操作技术研究[J]. 水土保持研究,1997,4(2):10-16.
- [18] 耿晓东. 主要水蚀区坡面土壤侵蚀过程与机理对比研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2011.