文章编号:1003-8701(2015)06-0051-04

模拟降雨条件下坡度对东北黑土区坡面侵蚀过程的影响

李洪丽,纪 莉

(吉林农业大学资源与环境学院,长春 130118)

摘 要:利用野外模拟降雨实验,分析了不同坡度(3°,5°,7°,9°,12°,15°)、不同降雨强度(70,100,120 mm/h)条件下,黑土坡地产流和产沙特性随坡度和降雨强度的变化规律。研究结果表明:降雨强度小,产流时间长且坡度对产流时间影响小。降雨强度大,产流时间短且坡度对产流时间的影响明显;在坡度较小的条件下,降雨强度对坡面径流量的影响较小,较大坡度条件下,降雨强度对坡面径流量的影响较大;在同一降雨强度下随坡度的增加,侵蚀产沙率基本呈现增大的趋势;坡度对侵蚀产沙率的影响程度与降雨强度有一定关系;在12°~15°之间存在本试验条件下的临界坡度,超过临界坡度12°后侵蚀产沙率和总产沙量都大幅度下降。

关键词:模拟降雨;坡度;侵蚀过程

中图分类号:S157.1 **文献标识码**:A

Effect of Slope Gradients on Erosion of Black Soil under Simulated Rainfall Conditions in Northeast China

LI Hong-li, Ji Li

(*College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun* 130118, China)

Abstract: Using simulated rainfall test method, in which slopes were 3°, 5°, 7°, 9°, 12° and 15° and rainfall intensities were 70, 100, 120 mm/h, regulations of the runoff and sediment varied with the rainfall intensity and slope gradients were studied. The results showed that under weak rainfall intensity, runoff time was long and effect of slope gradients on runoff time was less. Under bigger rain intensity, runoff time was short and effect of slope gradients on runoff time was significant. On slight slope, effect of rainfall intensity on runoff erosion was less; on steep slope, effect of rainfall intensity on runoff erosion was bigger. Under the same rainfall intensity, rate of sediment increased when the slope increased, and this relationship was affected by the rainfall intensity. There was the critical slope between 12° and 15°. The rate of runoff erosion and the amount of sediment reduced quickly when the slope was over 12°.

Key words: Simulated rainfall; Slope; Runoff process.

坡度是影响土壤侵蚀的重要因素之一,探讨坡度与坡面土壤侵蚀之间的关系,对土壤侵蚀预报和水土保持规划都具有重要意义[1]。很多学者对该问题做了大量研究工作,但由于问题复杂,研究的方式、对象不同得到的结论也有较大的差异[2-11]。前人的研究结果表明影响坡度与侵蚀量关系的因素十分复杂。因此,进一步细致地分析坡度对坡面土壤侵蚀的影响关系,对合理确定和预报坡面土壤流失十分重要。尽管前人关于坡度对土壤侵蚀影响方面的研究很多,但主要集中在黄土区,坡度对东北黑土区坡面侵蚀的影响研究相对还比较薄弱。本研究采用模拟降雨实验,分析不同降雨强度条件下坡度对东北黑土区坡面侵蚀产沙的影响,以加深对东北黑土区土壤侵蚀规律的认识,进一步揭示在不同降雨条件下坡度对东北黑土区坡面侵蚀产沙过程的影响规律,为东北黑土区的土壤侵蚀预报模型和水土保持措施配置等提供理论依据。

收稿日期:2015-06-14

基金项目:吉林农业大学科研启动基金(201140);吉林省科技厅青年科研基金项目(20130522078JH)

作者简介:李洪丽(1982-),女,讲师,硕士,主要从事土壤侵蚀规律方面的研究。

1 研究区概况

本研究实验小区布设在吉林农业大学水土保持实习基地(东经125°21′,北纬43°52′),此基地所处位置年平均气温4.7℃,历年最高温度达38℃,最低温度-34.9℃,日照时间2,688 h。夏季东南风盛行,也有渤海补充的湿气过境。多年平均降水量可达654.3 mm,降水多集中在夏季,夏季降水量占全年降水量的60%以上,其中7、8月份降水量最多。

2 实验材料与实验方法

2.1 实验材料

实验中采用的降雨器为自行设计研发的下喷式降雨器,降雨高度为6 m,能够保证降雨特征值与天然降雨特征值相近。实验用土槽规格如下:土槽长为1 m,宽为0.5 m,土槽边界由PVC板密封,PVC板高出土面20 cm,入土深度为10 cm。为保证土槽内的径流全部汇入出水口处的径流桶内,在土槽末端设置可嵌入地表的钢制集水槽。2012年6月初进行实验的前期准备工作,第一次人工降雨于6月3日正式进行,最后一次人工降雨于2012年9月12日完成。根据黑土区坡耕地地形特点,本实验共设计6个坡度,分别为3°,5°,7°,9°,12°,15°;3个雨强,分别为70,100,120 mm/h,每个设置重复1次,取其平均值进行计算。

2.2 实验方法

为保证实验准确性,同时保证各场次降雨前土槽内土壤含水量相近且能接近自然状态下的土壤水分状况,每次进行人工模拟降雨均选择在无风天气条件下进行,且在正式实验之前,采用降雨强度为30 mm/h的降雨进行预降雨至坡面产流,在降雨过后采用塑料覆盖并同时静置24 h,以保证水分自由下渗。

本研究中采用记录实验数据的方法如下:雨滴到达地面时开始记时,至产生径流后记录产流时间,产流开始后采集径流泥沙样,实验中采取每隔2 min采集一次径流泥沙样,每次径流泥沙样的采样时间均为30 s,同时采用径流桶收集全部径流,每次收集十次径流泥沙样本后停止降雨,同时记录产流停止时间。降雨结束后,量测所有径流泥沙样的质量,同时采用烘干法测定径流泥沙样中泥沙质量,并计算含沙量。

3 结果与分析

3.1 坡度对产流时间的影响

由于受降雨强度、地形等因素的影响,产流开始发生的时间会有很大的不同,而分析降雨过程中的产流开始时间,对分析坡面侵蚀过程及侵蚀量的计算等问题均十分重要。各降雨强度和坡度条件下的初始产流时间见表1。

表1 不同坡度条件下初始产流时间 (s)

	3°	5°	7°	9°	12°	15°
雨强70 mm·h^{-1}	152	144	148	140	135	136
雨强100 mm·h^{-1}	124	128	110	104	95	88
雨强120 mm·h^{-1}	120	118	103	90	87	85

从表1数据分析得出,在同一降雨强度条件下,全部降雨的产流时间随坡度的增加变化并没有显著的规律性,产流时间随坡度的变化大致趋势是随着坡度的增加产流所需时间缩短。分析其原因主要是由于随着坡度的增加,坡长相同的情况下,水流由于受到重力作用较大,因此可在较短的时间流出。当降雨强度为70 mm/h时,产流所需时间明显大于降雨强度为100 mm/h和120 mm/h的产流时间;而产流所需时间随着坡度的增加变化不大,最大差值为17 s;当降雨强度为100 mm/h时,产流所需时间最大差值为40 s;当降雨强度为120 mm/h时,产流所需时间最大差值为35 s。分析其原因主要是由于当降雨强度为70 mm/h时,降雨强度小于土壤的入渗速度,当土壤水分达到饱和含水量时径流产生,而当降雨强度为100 mm/h和120 mm/h时,降雨强度大于土壤的入渗强度,径流产生,使得小降雨强度时径流产生时间较长。降雨强度为100 mm/h和120 mm/h时,径流产生时间较短,随着坡度的增加径流速度增加较快,使得降雨强度为100 mm/h和120 mm/h时,产流所需时间的最大差值增加。

3.2 坡度对坡面径流总量的影响

坡面径流的形成是降水与下垫面因素相互作用的结果,降水量、降水强度、降水历时等对径流的形成产生较大的影响。当降水强度超过土壤的入渗率时,地表即开始形成地表径流。地表径流

的多少与坡面土壤入渗特性、降雨量、降水强度关系密切。由图1看出,降水强度对径流量的影响比较有规律:同一坡度条件下,径流量均随降雨强度的增大而增大。坡度为3°、5°、7°时各降雨强度的径流量差值较小,而坡度为9°、12°、15°时各降雨强度的径流量差值较大,9°时两者差异最大,最大雨强与最小雨强径流量差值相差67.4%,3°时差异最小,最大雨强与最小雨强径流量差值相差20.2%。坡度对径流量的影响相对复杂一些,70 mm/h降雨强度时,径流量的数值相对较小,且变化幅度不大,随着坡度的增加径流量呈现波动减小的趋势。100 mm/h和120 mm/h降雨强度条件下随着坡度的变化径流量的变化趋势基本相似,表现为随坡度的增加呈现先增加后减小趋势。降雨强度为70 mm/h时,径流量的数值较小,最小为2842 g,最大为5816 g。降雨强度为120 mm/h时,径流量的数值较大,最小为7289 g,最大为10 432 g。但降雨强度分别为70 mm/h、100 mm/h和120 mm/h径流量差值随着坡度的变化相差不大,分别为51.1%、34.0%和42.8%。

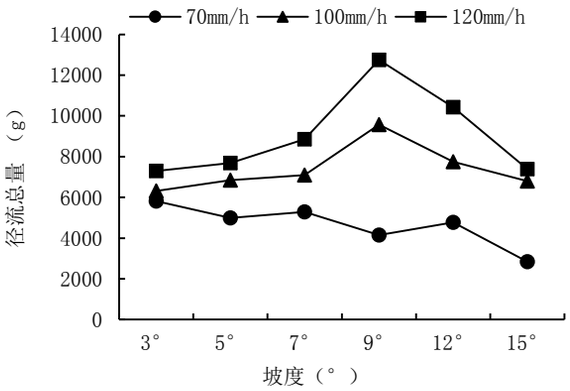

图1　不同降雨强度条件下总径流量随坡度变化

3.3　坡度对侵蚀产沙过程的影响

侵蚀产沙过程是研究坡面土壤侵蚀的主要内容,侵蚀产沙过程的一个主要体现就是产沙率的

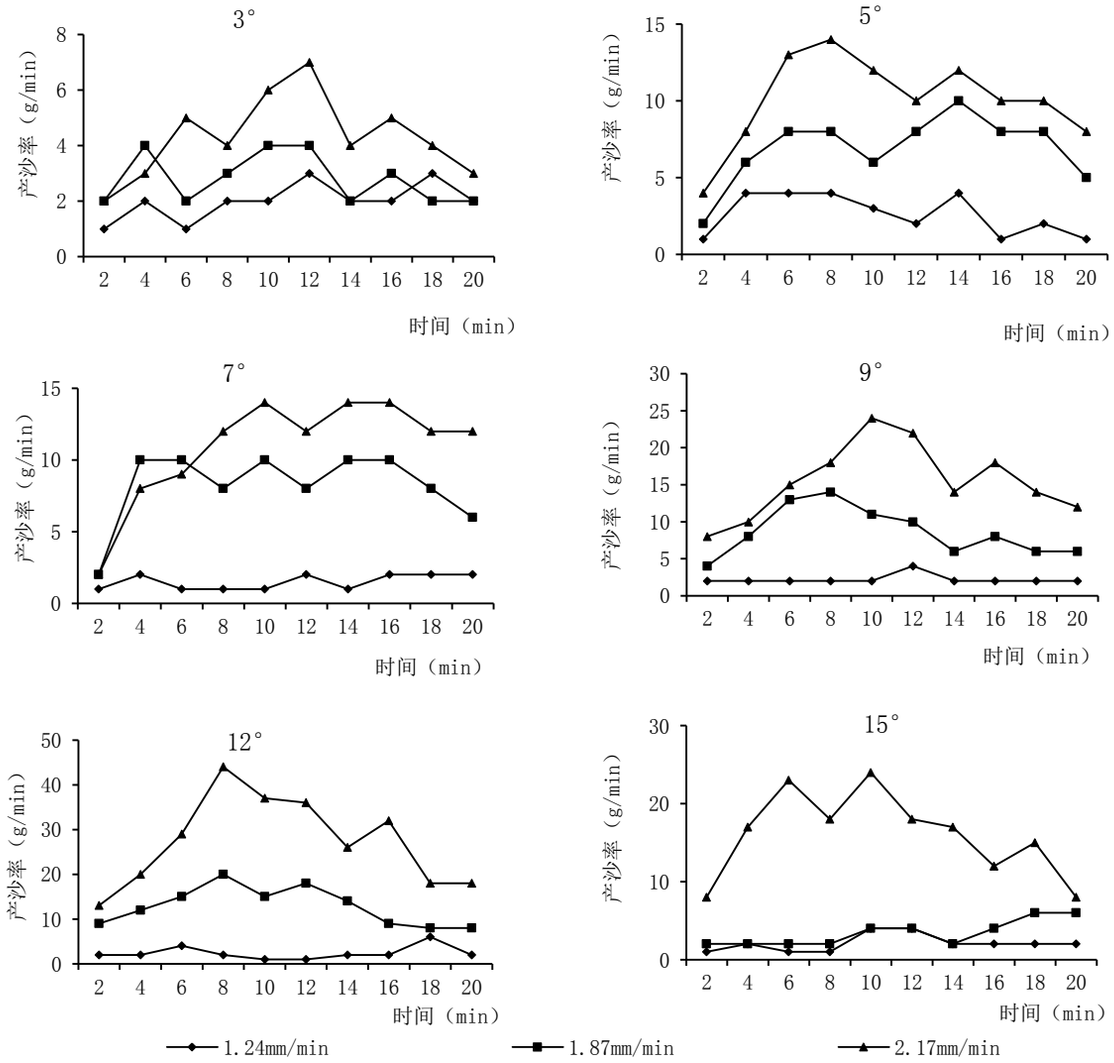

图2　不同降雨强度和坡度条件下侵蚀产沙率的变化

变化，为了揭示不同降雨强度和坡度对东北黑土区坡面侵蚀过程的影响规律，将不同降雨强度下各坡面的土壤侵蚀产沙率随时间的变化过程绘制成图。由图2可以看出：3种降雨强度和所有坡度条件下，侵蚀产沙率基本呈现一个波动状态，随着降雨的进行，侵蚀产沙率逐渐能够达到一个相对稳定的状态。不同降雨强度侵蚀产沙率在降雨初期均呈现一定的上升趋势，在降雨10 min能够达到产沙率的最大值，后呈现波动稳定下降的趋势。随着降雨强度的增大，不同坡度条件下侵蚀产沙率均呈现增大的趋势，且坡度越大，侵蚀产沙率之间差异越明显。这表明坡度对侵蚀产沙率的影响随着降雨强度的增加而增强。在同一降雨强度下随坡度的增加，侵蚀产沙率基本呈现增大的趋势；在70 mm/h小雨强下，各个坡度的侵蚀产沙率较小且差异不大，不同坡度产沙率均值的波动范围在1.5 g/min ~ 2.6 g/min之间，产沙率的值较小主要是由于产生土壤侵蚀主要是由于雨滴击溅侵蚀和薄层水流引起的片蚀，而降雨强度较小，雨滴溅蚀力也小，由降雨产生的径流量较少，径流侵蚀力也小，所以产沙率的变化在整个降雨过程中基本保持稳定。在100 mm/h和120 mm/h雨强下，不同坡度的侵蚀产沙率变化明显，各个阶段侵蚀率大部分随坡度的增大而增加。100 mm/h和120 mm/h雨强下不同坡度产沙率均值在3°时最小，分别为2.8 g/min和4.3 g/min，12°达到最大分别为12.8 g/min和27.3 g/min，15°时坡面产沙率又大幅度降低，100 mm/h和120 mm/h雨强下产沙率均值分别为3.4 g/min和16 g/min。说明在两种雨强条件下，在12°和15°之间存在本实验条件下的临界坡度。

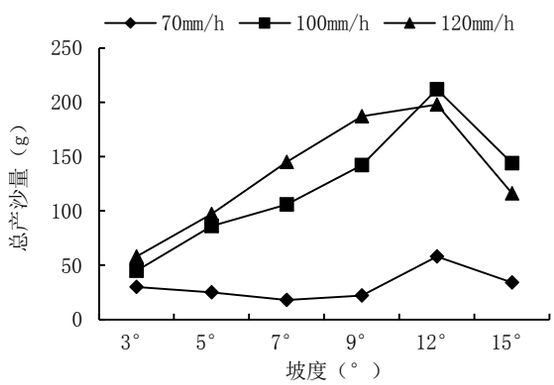

图3 不同降雨强度条件下总产沙量随坡度的变化

3.4 坡度对总侵蚀产沙量

坡度是影响土壤侵蚀的重要因素，不同的坡度对于坡面径流的汇集和能量转化起着重要作用，而坡面径流量的大小和径流冲刷力与坡面土壤侵蚀有着极为密切的关系。由图3可以看出，总产沙量随降雨强度的增加而增大，两个较大坡度12°和15°时例外。同一坡度条件下，不同降雨强度产生的侵蚀产沙量数值差值变化较大，最小差值相差48.2%，最大差值相差88.2%。70 mm/h降雨强度条件下，总产沙量随着坡度的变化幅度不大，基本呈现减小的趋势，而当12°时达到最大，15°时又迅速减小。100 mm/h和120 mm/h降雨强度时，随着坡度大的增加，产沙总量呈现急剧的上升趋势，在12°时达到最大，15°又呈现下降的趋势。表明在12° ~ 15°之间存在本试验条件下的临界坡度；降雨强度分别为70 mm/h、100 mm/h和120 mm/h侵蚀产沙量数值随着坡度的变化相差较大，在降雨强度为70 mm/h时，侵蚀产沙量的数值较小，最小为18 g，最大为58 g。降雨强度为100 mm/h和120 mm/h时侵蚀产沙量的数值波动较大，最小分别为45 g和58 g，最大分别为212 g和198 g。3种降雨强度侵蚀产沙量数值相差分别为56.8%、78.8%和74.9%。对比径流量变化分析得出，较大降雨强度条件下径流量的数值变化幅度小，而侵蚀产沙量数值波动大，分析其原因主要是由于较大降雨强度对于雨滴击溅、径流速度等因素影响较大，使得溅蚀量和径流冲刷力较大，进而侵蚀产沙量的数值波动较大。

4 结论和讨论

通过自然状态下的野外模拟降雨实验，本论文从坡度对产流时间、坡度对径流总量、产沙总量和侵蚀产沙率进行了分析，探讨了侵蚀产沙特性，主要得出以下结论：

（1）降雨强度小，产流时间长且坡度对产流时间影响小。降雨强度大，产流时间短且坡度对产流时间的影响明显。

（2）在坡度较小的条件下，降雨强度对坡面径流量的影响较小，较大坡度条件下，降雨强度对坡面径流量的影响较大。

（3）在同一降雨强度下随坡度的增加，侵蚀产沙率基本呈现增大的趋势；坡度对侵蚀产沙率的影响程度与降雨强度有一定关系。

（4）在12° ~ 15°之间存在本试验条件下的临界坡度；超过临界坡度15°后侵蚀产沙率和总产沙量都大幅度下降。

（下转第58页）

化趋势，砂粒、粉（砂）粒含量逐渐增加，黏粒含量却逐渐降低，并且与第二次全国土壤普查结果相比，土壤存在向粗粒化演变的趋势，可能与不同气候条件下成土母质的自然风化和西部风沙的侵袭有关。

3.2 与休闲黑土相比，虽然榆树、德惠两地区土壤容重明显增加，但与第二次全国土壤普查相比，土壤容重存在下降趋势。这与有机肥的施入，秸秆还田和田间操作次数降低等因素有关。

3.3 由于机械化的生产作业模式和现今农民的耕作方式，致使耕层土壤硬度增加。土壤的不断硬化使其吸水能力变差，加之土壤的固相和气相增加，液相降低，致使土壤的保水能力下降，表现为春季的抗旱能力减弱。

参考文献：

[1] 吉林省土壤肥料总站．吉林土壤[M]．北京：中国农业出版社，1998：146．

[2] 于 磊，张 柏．中国黑土退化现状与防治对策[J]．干旱区资源与环境，2004（1）：99-103．

[3] 徐晓斌，王 清．我国黑土退化研究现状与展望[J]．地球与环境，2005（S1）：588-592．

[4] Lal R, Stewart B A. Soil Degradation(Vol.11)[A]. In: Advances in Soil Science[C]. Springer-Verlag, New York, USA, 1990: 3-21.

[5] 张兴义，隋跃宇，宋春雨．农田黑土退化过程[J]．土壤与作物，2013，2（1）：1-6．

[6] Karlen D L, Stott D E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality[A]. In: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment[C]. Madison, USA, 1994: 53-72.

[7] 于君宝，刘景双，王金达，等．不同开垦年限黑土有机碳变化规律[J]．水土保持学报，2004，18（1）：27-30．

[8] 王铁宇，颜 丽，关连珠，等．长期定位监测黑土有机物质的变化[J]．农业环境科学学报，2004（1）：76-79．

[9] 程 彬，姜琦刚，陈凤臻，等．松辽平原黑土有机质含量的遥感反演研究[J]．水土保持研究，2011（1）：264-267，275．

[10] 汪景宽，王铁宇，张旭东，等．黑土土壤质量演变初探I-不同开垦年限黑土主要质量指标演变规律[J]．沈阳农业大学学报，2002，33（1）：43-47．

[11] 赵 军，刘焕军，隋跃宇，等．农田黑土有机质和速效氮磷不同尺度空间异质性分析[J]．水土保持学报，2006（1）：41-44，62．

[12] 张兴义，隋跃宇，于 莉．薄层农田黑土速效氮磷钾含量的空间异质性[J]．水土保持学报，2004（4）：85-88．

[13] 于君宝，王金达，刘景双，等．典型黑土pH值变化对微量元素有效态含量的影响研究[J]．水土保持学报，2002（2）：93-95．

[14] 王 洋，刘景双，郑 娜．土壤pH值对冻融黑土重金属锌赋存形态的影响[J]．干旱区资源与环境，2010（1）：163-167．

[15] Smith J L, Halvorson J J, Papendick R I. Using multiple-variable indicators Kriging for evaluating soil quality[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1993(57): 743-744.

[16] 中国土壤学会农化专业委员会．土壤农业化学常规分析方法[M]．北京：科学出版社，1983：15-42．

[17] 李顺江，胡 霞，刘连友．开垦对退化沙质草地土壤机械组成及有机碳分布的影响[J]．水土保持研究，2011，18（4）：150-152．

[18] 郑庆福，赵兰坡．农业利用对东北黑土黏粒矿物组成及养分的影响[J]．吉林农业科学，2011，36（5）：29-32．

（责任编辑：王海岩）

（上接第54页）

参考文献：

[1] 刘青泉，陈 力，李家春．坡度对坡面土壤侵蚀的影响分析[J]．应用数学和力学，2001，22（5）：449-457．

[2] 陈兆熊．黄土抗剪力可蚀性的时空变化规律[A]．山西省水土保持科学研究所．晋西黄土高原土壤侵蚀规律试验研究文集[C]．北京：水利电力出版社，1990：58-67．

[3] 陈 浩．坡度对坡面径流深入渗量影响的实验研究[A]．山西省水土保持科学研究所．晋西黄土高原土壤侵蚀规律试验研究文集[C]．北京：水利电力出版社，1990：38-46．

[4] 靳长兴．坡度在坡面侵蚀中的作用[J]．地理研究，1996，15（3）：57-63．

[5] Musgrave G W The quantitative evaluation of factors in water erosion: A first approximation[J]. Journal of soil and water conservation. 1947, 2(3): 133-138.

[6] Zingg A. W. Degree an length of land slope as it affects soil loss in runoff[J]. Agri Engng. 1940(21): 33-39.

[7] 靳长兴．论坡面侵蚀的临界坡度[J]．地理学报，1995，50（3）：234-239．

[8] 郑粉莉．发生细沟侵蚀的临界坡长与坡度[J]．中国水土保持，1989（8）：23-24．

[9] 陈法扬．不同坡度对土壤冲刷量影响实验[J]．中国水土保持，1985（2）：24-30．

[10] 郭继志．关于坡度与径流量和冲刷量的探讨[J]．黄河建设，1958，4（3）：14-20．

[11] 蒋定生，黄国俊．地面坡度对降雨入渗影响的模拟试验[J]．水土保持通报，1984，4（4）：10-13．

[12] 赵晓光，吴发启，刘秉正，等．再论土壤侵蚀的坡度界限[J]．水土保持研究，1999，6（2）：42-46．

（责任编辑：王 昱）