

DOI: 10.5846/stxb201303230498

姜义亮, 郑粉莉, 王彬, 温磊磊, 沈海鸥, 易祎. 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响. 生态学报, 2013, 33(24): 7774–7781.

Jiang Y L, Zheng F L, Wang B, Wen L L, Shen H O, Yi Y. The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(24): 7774–7781.

东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响

姜义亮¹, 郑粉莉^{1,2,*}, 王彬¹, 温磊磊¹, 沈海鸥¹, 易祎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 杨凌 712100;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要: 土壤侵蚀方式的差异必然会导致土壤团聚体破碎程度及流失过程的不同。基于室内模拟降雨试验, 对比研究了黑土坡耕地片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响。结果表明, 在 50 和 100 mm/h 降雨强度下, 沟蚀试验处理的侵蚀量分别是片蚀试验处理的 1.42 倍和 3.51 倍左右。在片蚀试验处理下, 当降雨强度由 50 mm/h 增加至 100 mm/h 时, 侵蚀泥沙中微团聚体 (< 0.25 mm) 含量由 45.7% 增加至 74.2%; 而在沟蚀试验处理下, 侵蚀泥沙中以大团聚体 (≥ 0.25 mm) 为主, 其占团聚体流失量为 65.5%。片蚀试验处理下, 50 mm/h 降雨强度时, 侵蚀泥沙中 >5 和 2–5 mm 粒级的团聚体含量均小于沟蚀处理, 而其它粒级的团聚体含量均大于沟蚀处理; 在 100 mm/h 降雨强度下, 侵蚀泥沙中团聚体各粒级的含量均小于沟蚀处理。与试验土壤相比, 表征团聚体流失的两个特征指标平均重量直径 (MWD) 和几何平均直径 (GMD) 均明显减少; 在两种降雨强度下, 片蚀试验处理的 MWD 和 GMD 均明显小于沟蚀处理。研究还发现 MWD 和 GMD 两种团聚体指标均能反映黑土农耕地坡面片蚀和沟蚀方式下的团聚体流失特征, 且 MWD 能够更好的反映出雨强变化时两种侵蚀方式下土壤团聚体的流失特征。

关键词: 片蚀; 沟蚀; 团聚体流失; 黑土区; 模拟降雨

The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China

JIANG Yiliang¹, ZHENG Fenli^{1,2,*}, WANG Bin¹, WEN Leilei¹, SHEN Haiou¹, YI Yi¹

1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming On Loess Plateau, College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

Abstract: Different patterns of soil erosion cause differences in soil aggregate breakdown and its loss processes. Previous studies concentrated mainly on the variation in soil aggregates under various land uses and breakdown mechanisms. This paper used simulated rainfall experiments to investigate how sheet and gully erosion affected soil aggregate losses. The tested soil is black soil collected from Yushu city in Jilin Province and the experiment was conducted in the simulated rainfall hall of the Institute of Soil and Water Conservation. The lateral spraying nozzles, whose height was 16 m above the ground, were used in this study. The size of the test soil pan was 8 m long, 3 m wide and 0.6 m deep. The experimental design covered two rainfall intensities of 50 and 100 mm/h, one slope of 10°, and two erosion patterns of sheet and gully, and each treatment had two replications. During the rainfall process, runoff samples were collected and lost aggregates were collected through a set of sieves with different apertures of 5, 2, 1, 0.5 and 0.25 mm in every five minutes. The dry sediment was used to calculate erosion rate and different sizes of dry lost aggregates in the sediments were used to compute aggregate loss. The results showed that under rainfall intensities of 50 and 100 mm/h, the gully erosion rate was almost 1.42 and 3.51

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41271299, 40871137)

收稿日期: 2013-03-23; 修订日期: 2013-10-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn

times greater than that of sheet erosion, respectively. When the rainfall intensity increased from 50 to 100 mm/h, the < 0.25 mm micro-aggregates in the sediments from sheet erosion treatment increased from 45% to 74%; while for the gully erosion dominated treatment, the aggregate in the sediments was mainly comprised of ≥ 0.25 mm of macro-aggregates, which occupied 65.5% of total aggregate loss. Under the rainfall intensity of 50 mm/h, > 5 and 2—5 mm aggregates in the sediments from the sheet erosion treatment were lower than those from the gully erosion dominated treatment; while the other sizes of aggregates in the sediments from the sheet erosion treatment were greater than those from the gully erosion dominated treatment. Under 100 mm/h of rainfall intensity, all sizes of aggregates in the sediments from the gully erosion dominated treatments were greater than those from the sheet erosion treatment. The results also demonstrated that, for the sheet erosion treatment, raindrop impact was the main driving force for aggregate breakdown, while for the gully erosion dominated treatment, concentrated flow detachment, transportation in gully channel and friction function of the different aggregates during transportation processes were the main driving forces for aggregate breakdown. Compared with the test soil, mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) of aggregates in the sediments were lower for both treatments of sheet and gully erosion. Under the two rainfall intensities of 50 and 100 mm/h, MWD and GMD in sediments from the sheet erosion treatment were smaller than those from the gully erosion dominated treatment. This paper also proposed that under the experimental conditions, two indicators of MWD and GMD could reflect the lost aggregate characteristics, and MWD could better reflect aggregate variation with an increase in rainfall intensity.

Key Words: sheet erosion; gully erosion; aggregate loss; black soil region; simulated rainfall

据《中国水土流失防治与生态安全》调查显示^[1],近年来黑土区坡耕地土壤侵蚀严重,水土流失严重区表层黑土每年以 0.3—1 cm 的速度递减,平均土层厚度已由 20 世纪 50 年代的 60—70 cm 下降至目前的 20—30 cm。再者沟蚀也是黑土区主要侵蚀方式之一,据典型区侵蚀沟调查的结果,东北黑土区有侵蚀沟 25 万余条,吞没耕地面积达 48.3 万 hm^2 ^[2-3]。刘兴土和阎百兴^[4]的研究结果表明,黑土区坡耕地水土流失导致的粮食减产和侵蚀沟导致的粮食损失总量达 108 亿 kg/a 左右。因此,黑土区土壤侵蚀对耕地资源和农业可持续发展具有重要影响。

已有研究表明地表径流及侵蚀过程与土壤团聚体的破坏和流失之间存在密切关系^[5-8]。Ellison^[9]研究认为结皮形成后,土壤团聚体分裂成许多小颗粒并在土表迁移,从而造成土壤侵蚀。Larionov 等^[10]发现粟钙土团聚体在薄层水流中的变化可分为大团聚体破坏为微团聚体和团聚体完全剥蚀两个阶段。周一杨等^[11]在研究黑土溅蚀过程中发现降雨对流失团聚体分布范围具有选择性,并提出大粒级团聚体流失存在滞后性。与国内外已有的研究成果相比,目前有关黑土区土壤侵蚀机理研究,尤其是沟蚀机理研究还相对薄弱,有关片蚀和沟蚀对土壤团聚体破碎和流失的对比研究鲜见报道。为此,本研究采用人工模拟降雨的方法,通过设计相同试验条件(降雨、坡度、地表处理等),分析片蚀和沟蚀的特征差异,对比研究黑土区坡耕地片蚀和沟蚀对土壤团聚体破碎和流失的影响,以期为我国宝贵黑土资源的可持续利用提供重要科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验装置与材料

试验于 2011 年 8 月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。降雨设备为侧喷式人工降雨装置,降雨高度 16 m,雨滴直径和雨滴分布与天然降雨相似。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″)的 0—20 cm 耕层土。该区地貌类型以剥蚀堆积地貌为主,地面坡度变化于 3°—10°,其中 3°—7°的坡地面积占研究区总面积的 92%;土壤类型为黑土,其母质为亚粘状黄土,土壤基本理化性质见表 1。

1.2 试验设计

试验土槽规格为 8 m(长) × 3 m(宽) × 0.6 m(深),中间用 PVC 板分隔为两个 8 m × 1.5 m 的径流小区,试

验土槽底部每隔 0.2 m(长)和 0.5 m(宽)处设计直径为 5 cm 的排水口以保证试验土槽在试验过程排水良好。试验土槽填土时,用纱布填充排水口后,在土槽底部铺设 2 cm 的细沙保证试验土槽良好的透水性。为了模拟农耕地田间条件(耕层和犁底层)和保证填土的均匀性,在试验土槽填土时,细沙之上采用分层(每层 5 cm)填土填充试验土槽,其中,细沙层以上按容重为 1.30 g/cm^3 填充 10 cm 的粘黄土和 10 cm 的黑土模拟犁底层,其上按容重为 1.20 g/cm^3 填充 20 cm 的黑土模拟耕层。另外,每层土填充结束后,用 2 cm 深的土耙将表面耙磨形成一定的粗糙度使上层和下层形成很好的粘接。

表 1 供试土壤基本性质

Table 1 Soil properties of the test soil

土壤颗粒组成 Soil particle distribution*			土壤容重 ρ (g/cm^3) Soil bulk density	pH**	土壤有机质 ρ (g/kg) Soil organic matter
粉粒 Silt/%	粘粒 Clay/%	砂粒 Sand/%			
76.4	20.3	3.3	1.20	5.89—6.01	23.81

* 土壤颗粒分级划分标准采用美国制(砂粒: 2—0.05 mm; 粉粒: 0.05—0.002 mm; 粘粒: 小于 0.002 mm); ** pH 值采用水浸提法,按水土比 2.5:1 混合

试验设计包括无锥型沟(片蚀)和有锥型沟(沟蚀)两种处理。片蚀试验的土槽处理是每次试验前翻耕表层 20 cm 土层(相当于当地农耕地耕作深度),翻耕完毕后自然沉降 2 d,后将黑土表面耙平,以此模拟当地农耕地状况(图 1)。经实地测定并参引相关文献^[1,12],以南城子屯典型坡耕地的大型切沟为例,按照切沟体积 1:100 的比例,在试验土槽中部,坡长 5—7 m 处,制作沟深和沟宽各为 0.1 m 的侵蚀沟锥型(图 2)作为沟蚀试验土槽。



图 1 片蚀试验处理(无锥型沟)

Fig.1 Sheet erosion experimental treatment



图 2 沟蚀试验处理(有锥型沟)

Fig.2 Gully erosion experimental treatment

引起我国东北黑土区土壤流失的主要降雨类型为短历时高强度降雨(降雨历时 1 h 左右),其中,频次较高的瞬时雨强标准为 0.71 mm/min ^[13-14]。结合此标准及试验实际情况,本试验设计 50 mm/h 和 100 mm/h (分别为 0.83 mm/min 和 1.67 mm/min) 两个降雨强度,一个坡度(10°),试验重复 2 次。试验设计见表 2。

表 2 试验设计

Table 2 Design of experimental treatments

试验处理 Treatments	坡度/ $(^\circ)$ Slope	降雨强度/ (mm/h) Rainfall intensity	降雨历时/ min Rainfall duration	重复次数 Replications
片蚀 Sheet erosion	10	50	100	2
		100		2
沟蚀 Gully erosion	10	50	100	2
		100		2

1.3 试验步骤

试验开始前,为保持下垫面前期土壤含水量一致,采用 25 mm/h 降雨强度进行预降雨,直至坡面出现径流流路且集流口有连续水流出现。预降雨结束后,用塑料布将试验土槽遮盖好,静置 24 h,使水分自由下渗接近自然状态的土壤水分分布状况,以保证每次降雨试验时试验土槽的土壤水分状况一致;测定资料也表明,各次试验前土槽 0—20 cm 表层的土壤含水量基本一致,其变化在 28.6%—29.7%。为确保降雨强度的准确度,每次正式试验前对设计的雨强进行测定,当实测强度与目标强度的差值小于 5.0% 时,方可进行试验。

在降雨试验过程中,当坡面产流后,用 5 L 塑料桶每隔 5 min 采集径流泥沙样,采样时间在 50 mm/h 降雨强度下为 30 s,在 100 mm/h 降雨强度下为 20 s。团聚体样品的采集是将实验过程中获取的径流泥沙样直接通过 5、2、1、0.5 和 0.25 mm 的套筛进行筛分获得,筛分的各粒级泥沙转移到铝盒中,室温风干并称重。

1.4 数据处理

应用 Excel 2003、DPS 和 SPSS13.0 进行数据处理与分析,并绘制图表。用 Duncan 法进行多重比较。

团聚体稳定性一般采用平均重量直径(MWD)^[15]和几何平均直径(GMD)^[16]表示,MWD 和 GMD 值越大,说明土壤团聚体的稳定性越强,即土壤抗侵蚀能力越强,其计算式为:

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (1)$$

$$GMD = \exp \left[\left(\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n w_i \right) \right] \quad (2)$$

式中, x_i 为筛分的任一粒级团聚体平均直径(mm); y_i 为对应粒级的团聚体重量占样品重量的比率(%); w_i 是平均直径为 x_i 的团聚体重量(g)。

2 结果与分析

2.1 片蚀和沟蚀下径流量和侵蚀量的对比

由表 3 可知,在前期试验条件和相同降雨强度下,片蚀和沟蚀两种试验处理的总径流量差异不显著。沟蚀为主试验处理下的总侵蚀量显著大于片蚀。其中,在 50 mm/h 降雨强度下,沟蚀为主试验处理下的侵蚀量约为片蚀的 1.42 倍;在 100 mm/h 降雨强度下,沟蚀为主试验处理下的侵蚀量约为片蚀的 3.51 倍。这是因为片蚀的侵蚀动力来自雨滴和薄层水流对土壤的分散和输移作用^[17],而当坡面发生沟蚀时,除了侵蚀沟两侧发生片蚀外,还有侵蚀沟内形成的股流对沟壁、沟底、沟头的土壤产生分散、冲刷和搬运的作用,因而沟蚀试验处理下的侵蚀量明显大于片蚀试验处理下的侵蚀量。

表 3 片蚀和沟蚀试验处理下的总径流量和总侵蚀量

Table 3 The runoff and soil loss from two treatments of sheet erosion and gully erosion

降雨强度 Rainfall intensity / (mm/h)	50		100	
	片蚀	沟蚀为主	片蚀	沟蚀为主
总径流量 Runoff/L	578.9±47.9b*	611.2±30.8b	1371.3±213.5a	1490.4±161.1a
总侵蚀量 Soil loss/kg	0.77±0.06d	1.09±0.28c	5.45±1.60b	19.15±3.85a

* 表中同一行中的不同字母表示 $P < 0.05$ 的差异性显著;总降雨历时为 100 min

当降雨强度由 50 mm/h 增加到 100 mm/h 时,片蚀和沟蚀两种侵蚀方式处理下的总径流量均增加 1.40 倍左右,而片蚀试验处理下的总侵蚀量增加了 6.08 倍左右,以沟蚀为主试验处理下的总侵蚀量增加了 16.57 倍左右。由上述结果可知,随着降雨强度的增加,虽然两种侵蚀方式下的总径流量的增加量大致相等,但沟蚀为主试验处理下的侵蚀量增加值显著大于片蚀。说明随着降雨强度的增大,雨滴打击作用增加,水流滚动作用加强,使径流分散作用和输移作用增强。而坡面有沟蚀存在时,随着降雨强度的增加,侵蚀沟内股流的流速增加,致使股流的剥蚀作用和搬运能力增强,进而导致坡央侵蚀量急剧增加。此外,对于富含有机质的黑土,其土壤团聚含量较高,在较小降雨强度时,雨滴打击对土壤溅蚀作用较小,其径流对团粒结构的搬运及破坏作用也较小;而随着降雨强度的增加,雨滴打击拆分土壤团聚体的作用增强,从而使这些分散的土壤颗粒更容易

被径流冲刷和搬运,导致坡面侵蚀量增加。

2.2 片蚀和沟蚀下土壤团聚体的流失特征

这里将土壤团聚体划分为大团聚体(≥ 0.25 mm)和微团聚体(< 0.25 mm)^[18],比较片蚀和沟蚀两种不同侵蚀方式下,侵蚀泥沙中团聚体流失的差异性。由表4可见,在50 mm/h降雨强度下,片蚀试验处理下的大团聚体和微团聚体流失比例分别占团聚体总量的55.3%和45.7%左右,而在沟蚀为主试验处理下,土壤流失以大团聚体为主,其百分比约占67.3%。当降雨强度为100 mm/h时,片蚀试验处理下流失的团聚体则主要以微团聚体为主,其约占全部流失团聚体的74.2%,而在沟蚀为主试验处理下,流失的团聚体仍以大团聚体为主,其百分比约占64.4%。这表明在坡面发生沟蚀时,由于沟头下切,沟底冲刷和沟壁坍塌的作用,团聚体表现为整体迁移;同时,由于侵蚀沟内的径流深远大于雨滴直径的3—4倍左右,一方面降低了雨滴溅蚀作用,另一方面也使雨滴对侵蚀沟内水流的扰动作用减弱,以致减弱或消除对团聚体的破碎作用^[19-21],故径流搬运作用和大团聚体之间摩擦与扰动作用是沟蚀试验下土壤团聚体破碎和迁移的主要原因。在片蚀试验处理下,当降雨强度由50 mm/h增加至100 mm/h时,大团聚体流失的百分比由55.3%减少至26.8%;这表明在坡面片蚀试验处理下,随着降雨强度的增大,雨滴打击的能量增大了降雨对土壤大团聚体的拆分和破碎作用,从而增加了微团聚体流失的含量,说明降雨对团聚体有明显的破碎作用^[22-23]。

表4 片蚀和沟蚀试验处理下大团聚体和微团聚体流失的对比

Table 4 Comparison of macro-aggregate and micro-aggregate losses at two treatments of sheet erosion and gully erosion

侵蚀方式 Erosion patterns	降雨强度/(mm/h) Rainfall intensity	流失比例 Losses proportion/%	
		≥ 0.25 mm	< 0.25 mm
片蚀 Sheet erosion	50	55.3(3.2)*	45.7(3.2)
	100	26.8(8.7)	74.2(8.7)
沟蚀为主 Gully erosion dominated	50	67.3(1.9)	33.7(1.9)
	100	64.4(1.0)	36.6(1.0)

* 括号内数据内容为标准方差(SD)

2.3 片蚀和沟蚀下流失团聚体的分布特征

将侵蚀泥沙中的土壤团聚体通过套筛筛分为: >5 、 $2-5$ 、 $1-2$ 、 $0.5-1$ 、 $0.25-0.5$ 和 <0.25 mm 6个粒级,对比片蚀和沟蚀下流失土壤团聚体的分布特征。由图3可见,降雨强度为50 mm/h时,片蚀试验处理下,侵蚀泥沙中 >5 和 $2-5$ mm粒级的团聚体含量均小于沟蚀,而其它4个粒级($1-2$ 、 $0.5-1$ 、 $0.25-0.5$ 和 <0.25 mm)的团聚体含量却均大于沟蚀,与安娟等^[24]的研究结果类似;其中,两种侵蚀方式下团聚体含量差异最大的粒级是 <0.25 mm的团聚体,其含量相差43.2%。这说明在较小雨强条件下,片蚀试验处理下雨滴打击作用主要是对土壤团聚体进行拆分,薄层水流则主要对分散团聚体进行搬运。对于沟蚀试验处理,由于侵蚀沟内的径流深度远大于雨滴直径的3—4倍左右,雨滴打击对土壤团聚体拆分显著减弱,而侵蚀沟内的股流通过沟头下切、沟壁崩塌等作用对土壤进行剥蚀和搬运,从而使大团聚体流失程度大于片蚀。

对于100 mm/h降雨强度(图3),在沟蚀为主的试验处理下,各粒级土壤团聚体的含量均大于片蚀,其中,片蚀试验处理下,团聚体粒级范围在 <0.25 mm时的含量均明显大于其余5个粒级。两种侵蚀方式下团聚体含量差异最大的粒级为 >5 mm的团聚体,其含量相差93.9%。这说明在较大雨强条件下,对于片蚀试验,雨滴打击对土壤团聚体的拆分作用增强,片蚀作用流失的团聚体以微团聚体为主;对于沟蚀试验,随着降雨强度的增加,侵蚀沟内由于股流流速的增加,加剧了沟头的下切和沟壁的坍塌,也使股流搬运作用增强,从而会产生大量未经分选的土壤团聚体,使大粒径团聚体含量明显增加。

2.4 表征土壤团聚体流失特征指标的对比

团聚体的平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)均是评价土壤团聚体稳定性的重要指标。这里采用MWD和GMD两个特征指标进一步分析两种侵蚀方式下团聚体流失特征,并进而分析哪种指标最适用表征试验条件下的团聚体流失。由表5可见,在片蚀和沟蚀两种侵蚀方式下,侵蚀泥沙中团聚体MWD和

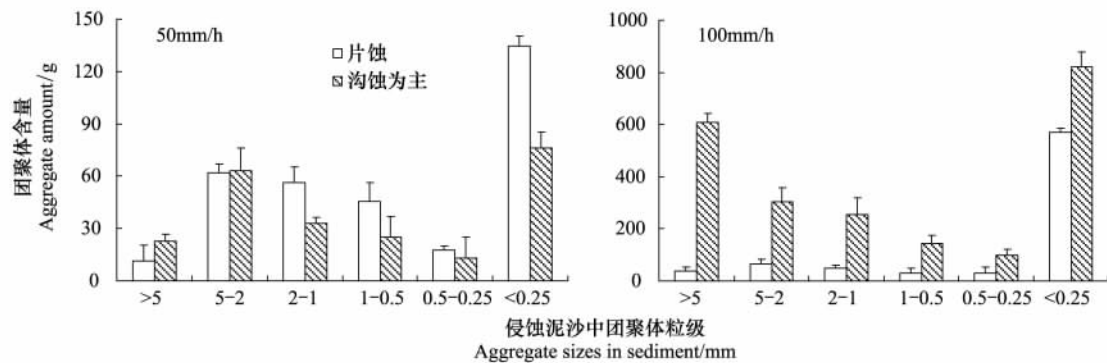


图3 片蚀和沟蚀试验处理下侵蚀泥沙中各粒级团聚体的含量

Fig. 3 The aggregate sizes in eroded sediment under two treatments of sheet erosion and gully erosion

GMD 均明显小于试验土壤,其中,片蚀试验处理下,MWD 平均减小 64.4%,GMD 平均减小 66.3%;在沟蚀为主的试验处理下,MWD 平均减小 34.2%,GMD 平均减小为 39.0%。在坡面片蚀试验处理下,当降雨强度由 50 mm/h 增加到 100 mm/h 时,MWD 和 GMD 均有所减小,说明在土壤团聚体含量较高的黑土,随着降雨强度的增大,雨滴打击对土壤团聚体的拆分作用增强;而在沟蚀为主的试验处理下,当降雨强度由 50 mm/h 增加到 100 mm/h 时,MWD 和 GMD 均有所增加。其主要原因与之前的讨论相一致,即随着降雨强度的增加,侵蚀沟内股流的流速也随之增加,加剧了沟头的下切和沟壁的坍塌,也使股流搬运作用增强,从而会产生大量未经分选破碎的土壤团聚体;同时,由于侵蚀沟内股流水深远大于雨滴直径的 3—4 倍,雨滴拆分土壤团聚体的作用减弱,从而使大粒径团聚体含量明显增加,导致 MWD 和 GMD 有所增加。此研究结果也表明,MWD 和 GMD 两种团聚体表征指标均能反映片蚀和沟蚀方式下土壤团聚体的流失特征。

表 5 还表明,当降雨强度由 50 mm/h 增加到 100 mm/h 时,两种侵蚀方式下 MWD 的变化差值均大于 GMD,即随着降雨强度的增大,不同粒径土壤团聚体的分布产生明显差异。这是因为平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)均是反映团聚体大小分布的指标^[15-16],而几何平均直径(GMD)是通过将团聚体直径取对数后加权求和,其结果弱化了团聚体大小的影响作用。因此,本研究结果表明,MWD 指标能较好的反映出雨强变化时片蚀和沟蚀方式下土壤团聚体的流失特征。

表 5 片蚀和沟蚀试验处理下土壤团聚体流失特征指标

Table 5 Indicators of soil aggregate loss under two treatments of sheet erosion and gully erosion

降雨强度/(mm/h) Rainfall intensity	指标* /mm Indicator	片蚀 Sheet erosion	沟蚀为主 Gully erosion dominated	试验土壤 Test soil
50	MWD	1.32	0.84	3.03
100		1.82	2.17	
50	GMD	0.74	0.42	1.72
100		1.01	1.09	

* MWD: 平均重量直径, Mean Weight Diameter; GMD: 几何平均直径, Geometric Mean Diameter

3 讨论与结论

东北黑土是我国少有的土壤团聚含量高的土壤,黑土区又是我重要的水蚀区之一,严重的土壤侵蚀造成了土壤结构破坏。尽管目前该区土壤侵蚀的研究取得了一定的进展^[1-4,11,25],但针对片蚀和沟蚀如何影响土壤团聚体流失鲜见报道。本研究采用室内模拟降雨试验的方法,评价了片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响。

3.1 侵蚀方式对坡面土壤流失的影响

片蚀和沟蚀是东北黑土区土壤侵蚀的两种主要方式^[26]。本试验研究中,通过前期预降雨保持试验土槽前期土壤含水量相同,又设计了相同坡度(10°)对比降雨强度变化(50 mm/h 和 100 mm/h)对片蚀和沟蚀的

影响。研究发现,在 50 和 100 mm/h 降雨强度下,沟蚀为主试验处理下的侵蚀量分别是片蚀量的 1.42 倍和 3.51 倍。当降雨强度由 50 mm/h 增加至 100 mm/h 时,沟蚀为主试验处理下的侵蚀量增加了 16.57 倍,其显著大于片蚀试验处理的侵蚀量增加的 6.08 倍。说明片蚀过程中,坡面土壤流失首先是雨滴打击对土壤团聚体的拆分和分散作用,然后通过坡面薄层水流对这些分散土粒的搬运;而发生沟蚀时,坡面除了发生片蚀外,侵蚀沟内形成的股流还会对沟壁、沟底、沟头的土壤进行分散、冲刷和搬运,从而造成土壤流失量的显著增加。

3.2 侵蚀方式对土壤团聚体流失的影响

以往对土壤团聚体的研究主要集中在土壤团聚体动态变化方面,很少涉及土壤团聚体的流失。本试验不仅研究了坡面片蚀条件下的土壤团聚体流失,而且分析了片蚀和沟蚀两种侵蚀方式下侵蚀泥沙中大团聚体和微团聚体流失的差异性。

在片蚀试验处理下,当降雨强度由 50 mm/h 增加至 100 mm/h 时,侵蚀泥沙中流失的大团聚体由 55% 减少至 26%,土壤团聚体流失以微团聚体为主。而在沟蚀为主的试验处理下,50 和 100 mm/h 两种降雨强度下团聚体流失均以大团聚体为主,其约占团聚体流失量的 65.5%。在降雨强度为 50 mm/h 时,两种侵蚀方式下侵蚀泥沙中流失团聚体含量差异最大的粒级为 <0.25 mm 的团聚体;而在降雨强度为 100 mm/h 时,两种侵蚀方式下流失团聚体含量差异最大的粒级为 >5 mm 的团聚体。因此,片蚀对团聚体流失影响的特点主要有: (1) 在较小雨强时,雨滴打击作用主要是对土壤团聚体进行拆分,薄层水流则主要对分散的土壤团聚体进行搬运,但其搬运能力不足以搬运粒径较大的团聚体; (2) 在较大雨强时,雨滴打击对土壤团聚体的拆分作用进一步增加,导致流失的团聚体以微团聚体为主。沟蚀对团聚体流失影响的特点主要有: (1) 由于侵蚀沟内形成股流的水深远大于雨滴直径的 3—4 倍左右,导致雨滴打击对土壤团聚体拆分作用大大减弱,而股流作用使沟头下切和沟壁崩塌增加,从而使土壤团聚体整体进行运移,导致团聚体流失以大粒级团聚体为主; (2) 径流分散和搬运作用,以及大团聚体之间摩擦与扰动作用成为团聚体破碎的主要机制^[25]。

与试验土壤相比,侵蚀泥沙中的土壤团聚体 MWD 和 GMD 均明显减少,其中,片蚀试验处理下 MWD 和 GMD 的减少幅度均大于沟蚀为主的试验处理。当降雨强度由 50 mm/h 增加到 100 mm/h 时,坡面片蚀试验处理下的 MWD 和 GMD 均有所减小,而在沟蚀为主的试验处理下, MWD 和 GMD 均有所增加,进一步证明了片蚀试验下雨滴打击对团聚体的拆分是团聚体破碎的主要原因,而沟蚀试验下股流对团聚体分散和搬运作用是团聚体破碎的主要原因。通过对试验条件下表征土壤团聚指标的分析,提出了 MWD 和 GMD 两种指标均能反映片蚀和沟蚀方式下团聚体的流失特征, MWD 指标能较好的反映出雨强变化时片蚀和沟蚀方式下土壤团聚体的流失特征。

References:

- [1] The Ministry of Water Resources , Chinese Academy of Sciences , Chinese Academy of Engineering. Soil Loss Control and Ecological Security in China: the Northeast Black Soil Volume. Beijing: the Science Press , 2010: 41-55 , 209-230.
- [2] Fan H M , Cai Q G , Wang H S. Condition of soil erosion in phaeozem region of northeast China. Journal of Soil and Water Conservation , 2004 , 18 (2) : 66-70.
- [3] Yan B X , Yang Y H , Liu X T , Liu S W , Liu B Y , Shen B , Wang Y X , Zheng G X. Status and trends of soil erosion in Northeast China. Soil and Water Conservation in China , 2008 , (12) : 26-30.
- [4] Liu X T , Yan B X. Soil and water loss and food security in Northeast black soil region. Soil and Water Conservation in China , 2009 , (1) : 17-19.
- [5] Zheng F L , Merrill S D , Huang C H , Tanaka D L , Darboux F , Liebig M A , Halvorson A D. Runoff , soil erosion , and erodibility of conservation reserve program land under crop and hay production. Soil Science Society of America Journal , 2004 , 68 (4) : 1332-1341.
- [6] Diaz-Zorita M , Perfect E , Grove J H. Disruptive methods for assessing soil structure. Soil and Tillage Research , 2002 , 64 (1/2) : 3-22.
- [7] Roth C H , Eggert T. Mechanisms of aggregate breakdown involved in surface sealing , runoff generation and sediment concentration on loess soils. Soil and Tillage Research , 1994 , 32 (2/3) : 253-268.
- [8] Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science , 1996 , 47 (4) : 425-437.

- [9] Ellison W D. Studies of raindrop erosion. *Journal of Agricultural Engineering Research* ,1944 ,25: 131-136.
- [10] Larionov G A , Bushueva O G , Dobrovol'skaya N G , Kiryukhina Z P , Litvin L F , Maksimova I A. Destruction of soil aggregates in slope flows. *Eurasian Soil Science* ,2007 ,40(10) : 1128-1134.
- [11] Zhou Y Y , Wang E H , Chen X W. Splash erosion and selective characteristics of aggregate for typical black soil under artificial rainfall condition. *Journal of Soil and Water Conservation* ,2008 ,22(6) : 176-179.
- [12] Wang W J , Zhang S W , Deng R X. Gully status and relationship with landscape pattern in black soil area of Northeast China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* ,2011 ,27(10) : 192-198.
- [13] Bradford J M , Huang C. Comparison of interrill soil loss for laboratory and field procedures. *Soil Technology* ,1993 ,6(2) : 145-156.
- [14] Zhang X K , Xu L H , Lu X Q , Deng Y J , Gao D W. A study on the soil loss equation in Heilongjiang Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation* ,1992 ,12(4) : 1-9 ,18.
- [15] Gardner W R. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. *Soil Science Society of America Journal* ,1956 ,20(2) : 151-153.
- [16] van Bavel C H M. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Journal* ,1949 ,14: 20-23.
- [17] Zheng F L , Gao X T. *Soil Erosion Processes and Modeling at Loessial Hillslope*. Xi'an: Shaanxi People's Education Press ,2000: 6-22.
- [18] Tisdall J M , Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science* ,1982 ,33(2) : 141-163.
- [19] Palmer R S. Waterdrop impact forces. *Transactions of the ASAE* ,1965 ,8(1) : 69-70 ,72-72.
- [20] Mutchler C K , Young R A. Soil detachment by raindrops // *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*. ARS-S-40. U. S. Department of Agriculture-Agricultural Research Service ,1975: 113-117.
- [21] Ghadiri H , Payne D. Raindrop impact stress. *Journal of Soil Science* ,1981 ,32(1) : 41-49.
- [22] Huang M X , Zhang S , Yan W J. Sediment enrichment mechanisms of nitrogen and phosphorus under simulated rainfall conditions. *Acta Pedologica Sinica* ,2003 ,40(2) : 306-310.
- [23] Shen Y , Zhang X P , Liang A Z , Li W F , Yang X M. Study on properties of soil loss from sloping farmland of black soil based on a runoff event. *Agricultural Research in the Arid Areas* ,2008 ,26(6) : 224-229.
- [24] An J , Lu J , Zheng F L , Li G F. Soil aggregate transport during soil erosion process under different soil surface conditions on black soil slope farmland. *Journal of Soil and Water Conservation* ,2011 ,25(6) : 100-104.
- [25] Wang B , Zheng F L , Römkens M J M , Darboux F. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. *Geomorphology* ,2013 ,187: 1-10.
- [26] Zhang X P , Liang A Z , Shen Y , Li W F , Zhang X L , Wang Y X , Xie Y J , Liu F F , Yang X M. Erosion characteristics of black soils in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica* ,2006 ,26(6) : 687-692.

参考文献:

- [1] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全: 东北黑土区卷. 北京: 科学出版社,2010: 41-55 ,209-230.
- [2] 范昊明,蔡强国,王红闪. 中国东北黑土区土壤侵蚀环境. *水土保持学报* ,2004 ,18(2) : 66-70.
- [3] 阎百兴,杨育红,刘兴士,张树文,刘宝元,沈波,王玉玺,郑国相. 东北黑土区土壤侵蚀现状与演变趋势. *中国水土保持* ,2008 ,(12) : 26-30.
- [4] 刘兴士,阎百兴. 东北黑土区水土流失与粮食安全. *中国水土保持* ,2009 ,(1) : 17-19.
- [11] 周一杨,王恩姮,陈祥伟. 模拟降雨条件下黑土溅蚀与团聚体分选特征. *水土保持学报* ,2008 ,22(6) : 176-179.
- [12] 王文娟,张树文,邓荣鑫. 东北黑土区沟蚀现状及其与景观格局的关系. *农业工程学报* ,2011 ,27(10) : 192-198.
- [14] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,邓育江,高德武. 黑龙江省土壤流失方程的研究. *水土保持通报* ,1992 ,12(4) : 1-9 ,18.
- [17] 郑粉莉,高学田. 黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟. 西安: 陕西人民出版社,2000: 6-22.
- [22] 黄满湘,章申,姜维金. 农田暴雨径流侵蚀泥沙对氮磷的富集机理. *土壤学报* ,2003 ,40(2) : 306-310.
- [23] 申艳,张晓平,梁爱珍,李文凤,杨学明. 黑土坡耕地土壤流失形态分析——以一次降雨为例. *干旱地区农业研究* ,2008 ,26(6) : 224-229.
- [24] 安娟,卢嘉,郑粉莉,李桂芳. 不同地表条件下黑土区坡耕地侵蚀过程中土壤团聚体迁移. *水土保持学报* ,2011 ,25(6) : 100-104.
- [26] 张晓平,梁爱珍,申艳,李文凤,张学林,王玉玺,解运杰,刘凤飞,杨学明. 东北黑土水土流失特点. *地理科学* ,2006 ,26(6) : 687-692.