

黑土坡耕地土壤流失形态分析

——以一次降雨为例

申 艳^{1,2}, 张晓平¹, 梁爱珍^{1,2}, 李文凤^{1,2}, 杨学明^{3*}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. Greenhouse & Processing Crops Research Centre, Agriculture & Agri-Food Canada, Harrow, Ontario, Canada N0R 1G0)

摘 要: 以东北黑土区典型漫岗坡耕地为研究对象, 测定次降雨条件下整个集水盆地出口处的径流体积及其含沙量, 研究侵蚀泥沙的粒径分布特征、碳氮富集度以及可溶性养分的流失状况。结果表明, 研究区只有在强降雨的情况下才会在集水盆地尺度上发生水土流失现象。20.5 mm 降雨条件下(2006 年 8 月 1 日) 径流泥沙含量为 1.0~2.5 g/L, 泥沙 C、N 富集系数分别为 2.10 和 3.31。径流液中 DOC 的浓度介于 2.47~3.93 mg/L 之间, TN 浓度介于 1.61~3.28 mg/L 之间, 径流携带养分量在整个养分流失过程中是不可忽视的流失途径。侵蚀泥沙(未加分散剂) 的团聚体组成和原土壤有很大差异, 径流泥沙的流失主要是粒径为 0.053 mm 以下的团聚体, 尤其是 0.002~0.02 mm 的粉粒团聚体为主。

关键词: 黑土; 土壤侵蚀; 含沙量; 团聚体; 富集系数

中图分类号: S 153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008) 06-0224-06

我国的黑土分布于东北平原东部的山前台地和低丘上, 其主体呈弧形自北向南分布于 43°20′~49°40′N、122°24′~128°21′E 之间, 区内多为波状起伏的漫岗, 一般为 1~5°, 具有坡缓坡长的特点。由于坡面较长, 且多为农业用地, 在降雨量和降雨强度较大时, 易形成径流集中冲刷, 再加上对耕地的管理不够科学, 耕作制度不够合理等原因, 使该地区土壤侵蚀严重。实际上, 黑土区独特的自然环境与人类活动方式已经使其成为目前中国土壤侵蚀潜在危险性最大的地区^[1], 有人甚至预言东北黑土将会在 50 a 内消失。

作为我国重要的粮食生产基地, 黑土土壤侵蚀导致的土壤退化已经引起了有关部门的注意, 但是人们多是关注黑土的沟蚀壑蚀, 黑土流失治理也是将绝大部分资金用于沟壑治理, 而作为东北黑土区水土流失最为普遍的形式——坡面侵蚀, 却没有得到应有的重视。近年来, 国外一些科学家的兴趣已集中在坡面侵蚀产沙过程中土壤物理化学特性(土壤质量) 演变问题上, 即侵蚀过程中土壤颗粒大小特性、团聚体的移动及化学性质方面的变化^[2,3]。由于泥沙的这些特征反映着降雨过程中侵蚀力与抗蚀力的作用结果, 它对于揭示坡耕地土壤侵蚀机理、侵蚀过程、土壤分散性和坡面动力特征, 以及养分流失

与土壤退化过程等均具有重要科学价值。土壤有机碳(soil organic carbon, SOC) 是衡量土壤质量的一个重要指标, 它的数量和质量影响土壤团聚体的形成和稳定。反过来, 土壤团聚体又能够对 SOC 提供物理保护使其不被微生物分解矿化。雨点的溅蚀和径流的剪力可引起土壤团聚体的消散或破坏, 释放原来受保护的 SOC, 加之土壤 SOC 密度较小(<1.8 mg/L 且富集于土壤表层, 所以易被地表径流迁移而损失^[4,5]。黑土区水蚀多发生在每年的 6~8 月份, 此阶段是全年降雨集中时期, 且多以暴雨形式出现, 极易发生水力侵蚀。本文对次降雨条件下东北黑土坡耕地土壤颗粒及其碳、氮的流失进行了研究, 旨在分析黑土坡耕地土壤水土流失特点, 为预防和治理黑土区水土流失提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地条件

试验地位于吉林省长春市达家沟镇(44°43′, 125°52′), 地形为漫岗台地, 在东北黑土区具有典型代表性。试验地属于中温带半湿润气候, 年均气温 4.4℃, 年均降水 534 mm, 主要集中在 6~8 月, 约占全年降水总量的 70%以上。研究区北坡坡长为 246 m, 最大相对高程为 11.68 m; 南坡坡长为 171 m, 最

收稿日期: 2008-03-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471125); 国家自然科学基金(40801071); 吉林省科技发展计划资助项目(20050206-4); 国家科技支撑项目(2006BAD15B01); 东北地理与农业生态研究所学科前沿领域项目(KZCX3-SW-NA3-31)

作者简介: 申 艳(1980-), 女, 山东金乡人, 博士生, 主要从事土壤有机碳和土壤侵蚀方面的研究。E-mail: czh-5852@163.com。

* 通信作者: 杨学明, E-mail: xueyingy@hotmail.com。

大相对高程为 9.3 m,坡度在 0~5°之间。土壤属于典型黑土亚类中的中层黑土。该地农作制为一年一熟,长期玉米连作,顺向打垄和耕翻一直是该地区的主要土壤管理方式。试验区面积为 9.6 hm²,试验区高点也是此区域的相对高点,试验地南端和北端为分水岭,西侧被一公路所隔,形成一相对独立的集水区,试验区地势西高东低,只有一个出水口,为收集径流物质提供了便利条件。

1.2 试验方法

在集水盆地的出口处,设置 3 级收集桶(图 1),

用于收集整个小流域的径流物质。其中在距第一个桶上沿 6 cm 处钻 9 个间隔距离相同、直径为 10 cm 的孔,用于分流。每个孔都接有 PVC 管,并使其中一个管的水流入第二个桶;第二个桶上钻有 11 个间隔距离相同、直径为 8 cm 的孔,同样接有 PVC 管,并使其中一个管的水流入第三个桶。收集到的径流总体积 $V = V_1 + 9 * V_2 + 99 * V_3$, 其中, V_1 : 第一个收集桶中的径流体积; V_2 : 第二个收集桶中的径流体积; V_3 : 第三个收集桶中的径流体积。

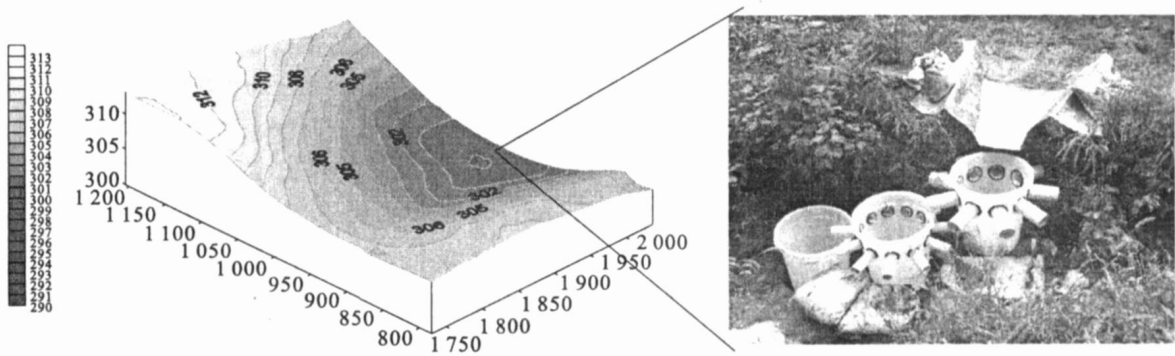


图 1 研究区地形及径流分级收集装置

Fig. 1 The relief map of the research field and runoff hierarchical collecting device

1.3 样品收集及处理

(1) 取样
在降雨过程中每隔 10 min 取 1 次样,过 2 mm 筛,并转移到 3 000 ml 塑料瓶中。收集空白雨水样品作为对照。降雨过后,待沉积物沉淀后,测径流体积。然后将收集桶里的混合液摇匀,用 500 ml 水勺舀出,过 2 mm 筛,并转移到 3 000 ml 塑料瓶中;向取出的样品中滴加 3~5 滴 1 mol/L 的 HCL;将样品及时带回实验室,放在冰箱中冷藏。

(2) DOC、泥沙量及其 C、N 含量的测定
将装有泥水样的塑料瓶摇匀,取出 500 ml 于量桶中,静置,将上层液体过 0.45 μm 滤膜,滤液中的有机碳即水溶性有机碳 Dissolved Organic Carbon, DOC),用 TOC-V_{CPH} 仪测定。全氮(Total Nitrogen, TN)用紫外分光光度计测定。将量桶中剩余物质转移到小烧杯中,在 60℃ 下烘干至恒重,计算泥沙含量。将烘干的泥沙研磨过 100 目筛,用元素分析仪(ThermoFinnigan, Italy)测定其 C、N 含量,和对照土壤样品对比,计算侵蚀泥沙 C、N 的富集系数。

(3) 侵蚀泥沙的颗粒组成测定
取出一定体积的径流液,置于孔径为 1 mm、

0.25 mm、0.053 mm 的三层筛上,用水轻轻冲洗,直到沥滤液澄清,将筛上的物质转移到事先称重的小烧杯中。收集沥滤液,如果体积超过 1 000 ml,则记录体积,摇匀后取出 1 000 ml 于 1 000 ml 量筒中;如果体积少于 1 000 ml,则转移到 1 000 ml 量筒中并加蒸馏水定容至 1 000 ml 刻度线。然后将量筒内的悬浊液摇匀,立即记录开始沉降时间,并测量悬液温度,根据司笃克斯定律,计算 <0.02 mm 和 <0.002 mm 的颗粒复合体沉降至 10 cm 处所需要的时间,于规定时间前 20 s 将吸管插入液面 10 cm 处,前 10 s 接通气源。吸管中悬液全部移入 50 ml 小烧杯中,并用蒸馏水冲洗吸管壁,使附着在吸管壁上的土粒全部冲入小烧杯中。然后把小烧杯放在烘箱中 60℃ 下烘至恒重,计算各粒级所占百分含量。

(4) 对照样品的选取及测定
降雨前,用直径为 2.64 cm 的取土钻取出 0~5 cm 完整的土芯,每个典型部位有 3 个重复,每个重复均用多点均匀混合样来表征该地形部位土壤。采集的土样放入自封袋内,带回实验室,风干保存。用四分法取出部分风干土样磨碎过 100 目筛,用元素分析仪测定其 C、N 含量。因本研究供试土壤不含碳酸盐,所以总碳即为总有机碳。土壤机械组成采

用虹吸法,土壤水稳性团聚体采用 Yang 和 Wan - der^[9] 提供的方法。

2 结果与分析

2.1 研究区降雨状况

根据长春市 1950~2000 年的日降雨量数据,长春市每年降雨量 ≥ 20 mm 的降雨次数为 7.04 次,降雨量为 15~20 mm 的降雨次数为 3.78 次,而降雨量为 10~15 mm 的降雨次数为 6.18 次。土壤侵蚀与降雨的降雨量、历时、强度、次数等降雨参数密切相关。黑土区 10~40 mm 降雨次数最多,而平均土壤流失量与雨量的大小基本呈正相关。引起土壤流失的降雨主要是短历时阵性暴雨或者长历时锋面雨,比较严重的土壤流失现象主要是由 0.5~4 h 的高强度降雨产生的。土壤流失总量主要由 5~20 mm/h 的降雨所引起,可占总土壤流失的 90%^[7]。本文中以 2006 年 8 月 1 日降雨(降雨历时 1.2 h,降雨量为 20.5 mm)为例,分析水土流失中物质和碳氮的形态特征。本次降雨的降雨过程在黑土区比较常见,在高强度的降雨前后,有一段时间的低强度降雨。

2.2 径流泥沙含量及其随时间的变化

集水盆地出水口径流出现的时间比降雨的时间滞后 27 min;径流结束的时间比降雨结束的时间滞后 20 min。在降雨的前两天,即 2006 年 7 月 30 日已产生一场大雨,降雨量达 31 mm,因此可以认为此次降雨前土壤水分基本处于饱和状态。我们在集水盆地的出口处每隔 10 min 收集 1 次水样,监测泥沙含量随时间的变化。

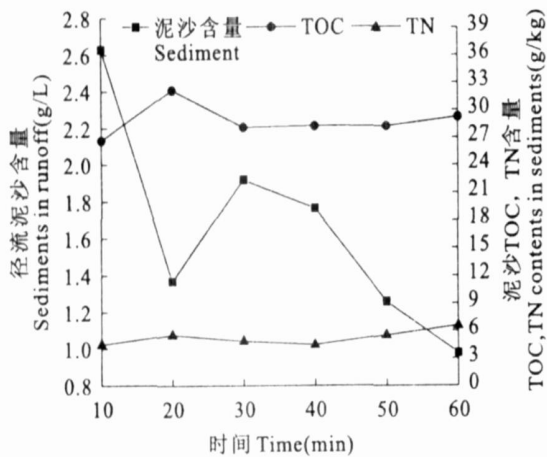


图 2 含沙量及其 TOC、TN 随时间的变化

Fig. 2 Change of sediment and its TOC and TN with time

由图 2 可以看出,径流开始时的泥沙含量最高,随后降低,在 30 min 时(降雨 57 min)达到次高点,

接着又降低。径流开始时泥沙含量较高,可能是因为边缘效应的缘故,即刚开始收集的径流可能是直接来自收集口周边的径流,由于没有经过水平沟的阻挡作用,因此泥沙含量较高。而后泥沙含量骤然下降,可能是因为来自整个集水盆地的径流的稀释作用。从图 1 可以看出,集水区西部地势较高,产生的径流到达出口需要一定的时间。降雨瞬时雨强增大,雨滴对土粒的打击和分散力增加,地表径流和土壤表面的作用越来越强,剥蚀和运输的土粒越来越多,径流中的含沙量也随之增加。随着时间的推移,降雨强度减少,径流搬运泥沙的能力随之下降,径流中泥沙颗粒发生沉积,泥沙量减少。

收集口径流的平均泥沙含量为 1.65 g/L,径流体积为 29.25 m³。本次降雨的土壤流失量约为 5.03 kg/hm²,假设该地区每年有 20 次此强度的降雨(2006 年只有 7 次大于或等于本次降雨强度的大雨),则该集水盆地的土壤流失量为 0.1 t/(hm²·a)。然而值得注意的是,土壤流失量和土壤侵蚀剥蚀量是不等同的。当降雨强度超过水分下渗速率时,土壤表面产生径流,并逐渐汇集造成地表径流冲刷与沟蚀。剥蚀掉的土壤一部分随径流流出整个小流域,另一部分在流域内发生土壤再分布,在凹形坡段(坡脚和坡趾部位)上发生沉积。方华军等^[4,3]利用¹³⁷Cs 和飞灰示踪技术研究了本试验地北坡近 100 年来土壤的再分布过程,发现坡顶、坡肩和坡背部位均遭受侵蚀,而侵蚀部位剥蚀的大部分土壤在坡脚和坡趾部位发生沉积。由此可见,集水盆地尺度的研究结果往往和小区尺度的研究结果差异很大,而集水盆地尺度的研究结果更真实地反应了小流域的水土流失状况,因此,应加强集水盆地尺度的土壤侵蚀研究以及侵蚀产沙空间转换的研究。

2.3 侵蚀泥沙对土壤有机质碳、氮的富集及其 C/N 比

降雨所诱发的侵蚀过程是水土流失的主要原因。坡耕地在雨水的分散、冲刷下,表土极易流失,然而,土壤侵蚀与产沙的过程,不仅是分散、剥离和搬运泥沙的过程,而且随同吸附和携走大量的营养元素。流失土壤的表面吸附的养分物质是流失养分的主体,尤其是细颗粒的吸附作用最为强烈,使部分养分物质,如有机碳、氮等在流失泥沙中的含量高出了表土中的含量,产生了富集现象。这种富集作用,可用富集系数(Enrichment Ratio, ER)表示。降雨前我们采集 0~5 cm 土壤作为对照样品,每个典型部位选取 3 个点作为重复,共 15 个样品,土壤有机碳、全氮的平均含量为:13.7 g/kg、1.58 g/kg。2006 年 8 月 1 日我们分时段收集到的泥沙中有机

碳含量分别为 26.69、32.17、28.13、28.37、28.25、29.26 g/kg, 富集率 ER 分别为 1.95、2.35、2.05、2.07、2.06、2.14, 平均为 2.10。泥沙全氮含量分别为 4.46、5.53、4.85、4.46、5.50、6.57 g/kg, 富集系数 ER 分别为 2.82、3.50、3.07、2.82、3.48、4.16, 平均为 3.31(图 2)。张兴昌和邵明安^[8]于 2001 年研究了黄土丘陵区降雨、坡度、耕作、施肥和土壤对侵蚀泥沙、有机质和全氮富集的影响, 研究发现, 在传统耕作方式下, 作物小区土壤有机碳和全氮的富集系数平均为 1.76 和 2.42, 并指出水平沟耕作和植被覆盖是减少土壤侵蚀的一个重要因素, 通过对径流和泥沙的阻挡, 减少了水土流失, 但是却增加了泥沙对养分的富集。

C/N 比是衡量土壤有机质质量的一个良好指标, 它既能够反映输入有机质(植物残体、有机肥或复合肥)的原始 C/N 比, 也能反映输入物质的分解程度和生物的可利用性。侵蚀泥沙与径流中有机质的 C/N 比平均值分别为 7.13 和 1.41, 均比对照土壤样品有机质 C/N 比(8.67)小, 说明随地表径流损失的氮相对较多, 尤其是可溶性的氮。这样导致的不利结果至少有两个: 一是土壤中剩余有机质的碳氮比逐渐增大, 不利于其分解, 土壤中微生物甚至还要跟作物竞争利用土壤中的氮; 二是大量的氮进入下游河流中去, 刺激河流中藻类植物的生长, 加剧河流富营养化。

2.4 径流溶液中 DOC 和 TN 的浓度及随时间的变化

坡耕地土壤营养物质随径流损失表现为两种形式, 其一, 溶解于水中; 其二, 吸附和结合于泥沙颗粒表面。径流中 DOC 的浓度和降雨强度、降雨历时有关。径流在坡面形成、汇集和传递, 与表层土壤发生作用, 这种作用表现为浸提和冲洗两种方式。在作用过程中, 土壤可溶性养分因径流浸提而向径流扩散, 土壤颗粒表面吸附的养分离子因径流的冲洗作用而解吸。方华军等^[9]在本试验地对 DOC 沿坡面的空间分布特征进行了研究, 发现在侵蚀严重的坡肩部位, DOC 浓度显著低于坡顶和坡背, 说明土壤侵蚀导致 DOC 的损失; 但是, DOC 并没有在长期处于沉积部位的坡脚和坡趾部位富集, 他指出侵蚀掉的 DOC 一部分向下淋溶, 另一部分则可能被地表径流携带输移到下游河流中去。在本次降雨时段采集的样品中, DOC 的浓度介于 2.47~3.93 mg/L 之间, 平均为 2.93 mg/L。由图 3 可以看出, DOC 在产生径流 30 min 时达到最大。溶液中 TN 浓度随时间的变化趋势和 DOC 相似。TN 浓度介于

1.61~3.28 mg/L 之间, 平均为 2.13 mg/L, 研究结果和郗瑞卿等的研究结果^[10]相似。在本次降雨中, 径流中溶解的碳、氮素为 85.8、62.3 g, 约占本次降雨导致碳、氮流失总量的 5.8% 和 19.8%。Rodriguez 等^[11]研究发现, 径流中 POC 流失量很大 [114.4 g SOC/(m²·a)], 而径流中 DOC 含量可以忽略 [1.03 g DOC/(m²·a)]。结果不同可能是因为降雨强度不同引起的, 在其研究区, 平均降雨强度为 30~85 mm/h, 甚至高达 240 mm/h。马琨等^[12]对人工降雨条件下红壤坡地养分流失的特征进行了研究, 发现在雨强较大时, 泥沙流失量很大, 径流水溶液中水溶态养分含量极低, 其流失总量相对泥沙流失总量可以忽略不计; 小雨强时, 径流携带泥沙能力较弱, 泥沙含量较小, 径流携带养分量在整个养分流失过程中成为不可忽视的另一养分流失途径。因此, 在坡耕地黑土上, 保水和保土同等重要。

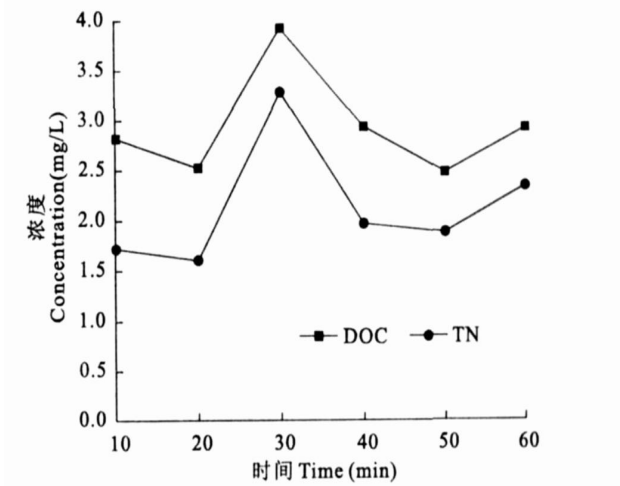


图 3 DOC 和 TN 随时间的变化
Fig. 3 Variation of DOC and TN concentration with time

2.5 侵蚀泥沙与原土壤颗粒组成以及水稳性团聚体的差异

农业土壤侵蚀的泥沙由土壤团聚体和原生土壤颗粒组成(砂粒、粉粒和粘粒)。早在 1993 年, Meyer 等^[13]就开始注意农业土壤侵蚀泥沙的颗粒特性, 他认为泥沙的特性和侵蚀泥沙量一样重要, 其泥沙颗粒大小分布和比重极大地影响泥沙的搬运和淤积。我们对收集到的径流泥沙进行了颗粒大小分级。侵蚀泥沙(未加分散剂)的粘粒和砂粒含量分别低于原土壤(0~5 cm, 分散)相应粒级的 53.4% 和 37.4%, 而粉粒含量则比原土壤粉粒含量高 74.4% (图 4 左), 可见在径流与坡面土壤颗粒相互作用的过程中, 大颗粒被分散成细颗粒, 而又由于团聚作用, 泥沙中的粘粒含量低于原生土壤中的粘粒含量。

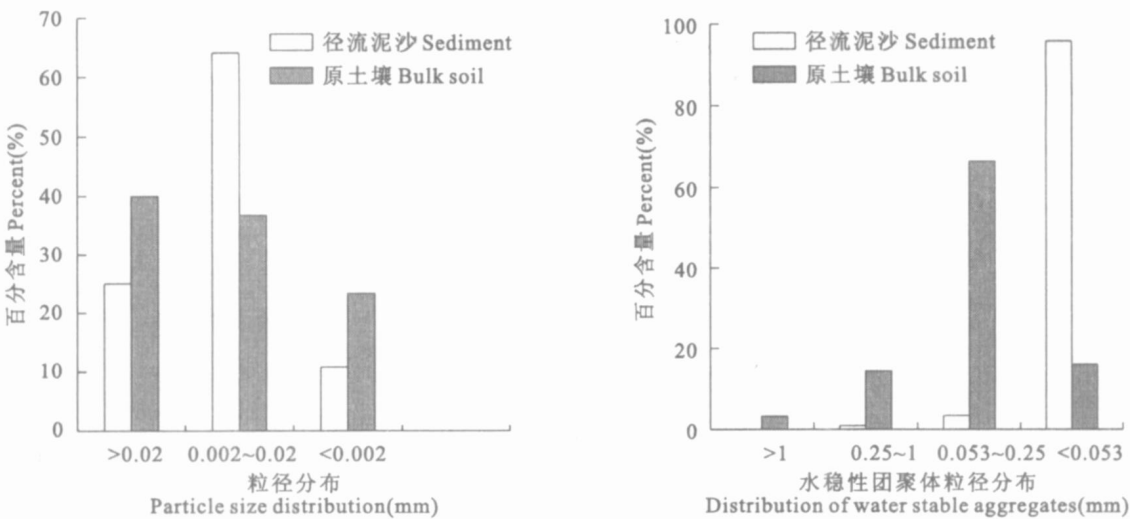


图 4 径流泥沙和原土壤的颗粒组成对比

Fig. 4 Comparison of particle size between bulk soil and sediment

侵蚀泥沙中 $>1\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量极少,其组成基本上是未分解的大的植物碎屑。从图 4 (右) 中可以看出,侵蚀泥沙中 $>1\text{ mm}$, $0.25\sim1\text{ mm}$, $0.053\sim0.25\text{ mm}$ 三个粒级的水稳性团聚体均比原土壤少,表明土壤侵蚀倾向于破坏水稳性大团聚体。泥沙中 $<0.053\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量远远大于原土壤,表明对于质地粘细的黑土,径流泥沙的流失主要是粒径为 0.053 mm 以下的团聚体,尤其以 $0.002\sim0.02\text{ mm}$ 的团聚体为主。土壤结构具有多级层次性, Lal^[14] 认为土壤由土壤结构体 $\rightarrow$ 大团聚体 $\rightarrow$ 微团聚体 $\rightarrow$ 粘团(粘粒微团聚体) $\rightarrow$ 粘粒这一消散过程导致土壤有机碳释放进而被微生物过程矿化。郭志民^[13] 研究发现随着土壤侵蚀程度的加剧, $>0.25\text{ mm}$ 的团聚体有减少趋势,特别是 $>2\text{ mm}$ 的团聚体减少更为明显,而 $0.02\sim0.25\text{ mm}$ 的团聚体却有增加趋势。黄满湘等^[19] 研究指出,与原土壤的团聚体组成相比,侵蚀泥沙中 $>1\text{ mm}$ 的团聚体含量明显低于原土, $<250\text{ }\mu\text{m}$ 的团聚体含量要高于原土,说明径流泥沙的流失主要以粒径为 $250\text{ }\mu\text{m}$ 以下的团聚体为主。本文中的研究结果与这些结果相似,说明水力侵蚀倾向于破坏黑土土壤大团聚体,优先迁移土壤微团聚体,这也可能是造成侵蚀泥沙对黑土有机碳、氮富集的一个原因。Hairsine 和 Rose^[17] 认为,在侵蚀区表面存在雨滴剥离分散大团聚体和径流选择搬运细颗粒的同时,还存在较粗的颗粒沉积甚至覆盖在侵蚀表面的过程,较粗颗粒沉积层成为侵蚀表面,引起被选择搬运的侵蚀泥沙变粗。因此,降雨剥离和沉积作用以及径流的选择搬运作用共同决定了侵蚀泥沙的粒度分布特征。

3 结 论

从 2006 年一年的降雨情况来看,黑土土壤流失量并不大。黑土特殊的景观地形,坡度小坡面长,导致降雨剥蚀的土粒绝大部分在流域内发生再分布。降雨强度对土壤侵蚀影响较大,只有在强降雨的情况下才会在集水盆地尺度上发生水土流失现象。我们以一次降雨结果进行分析,发现径流泥沙含量在 $1\sim2.5\text{ g/L}$ 之间,泥沙 C、N 富集系数分别为 2.10 和 3.31。径流溶液中 DOC 的浓度介于 $2.47\sim3.93\text{ mg/L}$ 之间, TN 浓度介于 $1.61\sim3.28\text{ mg/L}$ 之间,径流中携带的可溶性物质是营养物质流失过程中不可忽视的一种途径。侵蚀泥沙中 $>1\text{ mm}$, $0.25\sim1\text{ mm}$, $0.053\sim0.25\text{ mm}$ 三个粒级的水稳性团聚体均比原土壤少, $<0.053\text{ mm}$ 的水稳性团聚体含量,特别是 $0.002\sim0.02\text{ mm}$ 的粉粒团聚体远远大于原土壤,表明土壤侵蚀倾向于破坏水稳性大团聚体,优先迁移微团聚体。

参 考 文 献:

[1] 范昊明,蔡强国,王红闪.中国东北黑土区土壤侵蚀环境[J].水土保持学报,2004,18(2):66-70.
[2] 唐克丽.黄土高原水土流失与土壤退化研究[J].水土保持通报,1987,7(6):12-18.
[3] 查 轩.植被破坏对黄土高原加速侵蚀及土壤退化过程影响[J].山地学报,2001,19(2):109-114.
[4] 方华军,杨学明,张晓平,等.利用¹³⁷Cs 技术研究黑土坡耕地土壤再分布特征[J].应用生态学报,2005,16(3):464-468.
[5] 方华军,杨学明,张晓平,等.利用燃煤煤灰作为时间标记物评价坡耕地黑土侵蚀物质和有机碳的再分配[J].土壤学报,2005,42(1):16-20.

[6] Yang X M , Wander M M . Temporal changes in dry aggregate size and stability ; tillage and drop effects on a silty loam Mollisol in Illinois[J] . Soil and Tillage Research , 1998 , 49 : 173—183 .

[7] 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 .

[8] 张兴昌 , 邵明安 . 侵蚀泥沙、有机质和全氮富集规律研究[J] . 应用生态学报 , 2001 , 12 (4) : 541—544 .

[9] 方华军 , 杨学明 , 张晓平 , 等 . 坡耕地黑土活性有机碳空间分布及生物有效性[J] . 水土保持学报 , 2006 , 20 (2) : 59—63 .

[10] 郗瑞卿 , 孙彦君 , 王继红 . 自然降雨对黑土地表氮素养分流失的影响[J] . 水土保持学报 , 2005 , 19 (5) : 69—72 , 116 .

[11] Rodr íguez Rodr íguez , Guerra J A , Arbelo C D , et al . Forms of eroded soil organic carbon in Andosols of the Canary Islands (Spain)[J] . Geoderma , 2004 , 121 : 205—219 .

[12] 马 琨 , 王兆骞 , 陈 欣 , 等 . 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究[J] . 水土保持学报 , 2002 , 16 (3) : 16—19 .

[13] Meyer L D , Line D E , Harmon W C . 农业土壤侵蚀泥沙的颗粒特性[J] . 水土保持科技情报 , 1993 , (2) : 36 , 40—44 .

[14] Lal R . Soil erosion and the global carbon budget[J] . Environment International , 2003 , 29 : 437—450 .

[15] 郭志民 . 土壤侵蚀与恢复重建对土壤性质的影响[J] . 福建水土保持 , 1999 , 11 (2) : 49—51 .

[16] 黄满湘 , 章 申 , 晏维金 . 农田暴雨径流侵蚀泥沙对氮磷的富集机理[J] . 土壤学报 , 2003 , 40 (2) : 306—310 .

[17] Hairsine P B , Rose C W . Rainfall detachment and deposition : sediment transport in the absence of flow driven processes[J] . Soil Sci Soc Am J , 1991 , 55 : 320—324 .

Study on properties of soil loss from sloping farmland of black soil based on a runoff event

SHEN Yan^{1,2}, ZHANG Xiaoping¹, LIANG Aizhen^{1,2}, LI Wenfeng^{1,2}, YANG Xueming³
(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology , Chinese Academy of Sciences , Changchun , Jilin 130012 , China ;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China ;
3. Greenhouse & Processing Crops Research Centre , Agriculture & Agri-Food Canada , Harrow , Ontario , Canada N0R 1G0)

Abstract : A typical undulating farmland in black soil region of Northeast China was taken as a case study to analyze the properties of soil loss caused by erosional precipitation events based on measurement of sediment and its nutrients and particle size in different geomorphic positions and the outlet of the watershed . The results showed that soil loss only happened in high rainfall intensities . This study takes the runoff event on August 1st , 2006 for example . The sediment concentration in runoff is in range of 1.0~2.5 g /L . Nutrient enrichment occurred in sediment and the enrichment ratio of carbon and nitrogen is 2.10 and 3.31 , respectively . The soluble carbon and nitrogen in runoff is 2.47~3.93 mg /L and 1.61~3.28 mg /L . The loss of soluble nutrients is also an important way of nutrient loss under water erosion . The aggregate size distribution of the eroded sediment was drastically different from that of the original soil . Aggregates smaller than 0.053 mm , especially the size between 0.002 mm and 0.02 mm , is the main form of the sediment .

Key words : black soil ; soil erosion ; sediment ; aggregate ; enrichment ratio