

紫色土流失土壤的颗粒特征及影响因素

彭怡^{1,2,3}, 王玉宽^{1,3}, 傅斌^{1,3}, 徐佩^{1,3}, 王道杰^{1,3}

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;
3. 中国科学院 山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要: 土壤可蚀性是影响坡面水蚀过程的内在因素, 与土壤质地、土壤有机质等理化性质密切相关。本研究利用田间人工模拟降雨观测资料, 分析了侵蚀过程中流失土壤颗粒组成的变化。结果表明: (1) 在次降雨过程中, 流失土壤颗粒组成不断变化。随着降雨的进行, 细砂含量逐步增加, 而粉粒含量基本不变, 黏粒含量逐渐减小; (2) 雨强是影响流失土壤颗粒组成的重要因素。随雨强增加, 细砂含量呈逐步增大的趋势, 而粉粒与黏粒含量均逐步下降; (3) 坡度对流失土壤颗粒组成影响比较复杂。随坡度增加, 细砂含量先增大后减小, 粉粒与黏粒含量先减小后增大; 在 20° 坡度时, 细砂含量最大, 粉粒与黏粒含量最小。

关键词: 紫色土; 人工模拟降雨; 泥沙; 颗粒组成

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0142-03

中图分类号: S157.1, S155

Particle Characteristics and Influencing Factors of Eroded Purple Soil

PENG Yi^{1,2,3}, WANG Yu-kuan^{1,3}, FU Bin^{1,3}, Xu Pei^{1,3}, WANG Dao-jie^{1,3}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu Sichuan 610041, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Key Laboratory of Mountain Surface Process and Hazards, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: Soil erodibility is the intrinsic factor which has effect on water erosion on slope and is related to soil texture, soil organic matter, and other soil properties. Sediment particle is analyzed by using plot data from rainfall simulation experiments. Results show that (1) during rainfall, particle composition of sediment changes with time. Sand content increases, silt content keeps constant, and clay content decreases. (2) Rainfall intensity is the important factor to the particle composition of sediment. With rain intensity increasing, sand content increases and slit and clay contents are reduced. (3) The effect of slope gradient on sediment is complicated. When slope becomes steeper, sand content increases first and then decreases, whereas silt and clay contents decrease first and then increase. When slope gradient is 20°, sand content reaches the maximum and slit and clay contents, the minimum.

Keywords: purple soil; rain simulation; sediment; particle composition

紫色土是我国南方地区分布较广的一种土壤, 分布面积约为 $2.20 \times 10^7 \text{ hm}^2$ [1]。由于其理化性质、成土母岩、地质构造背景以及所处的地貌类型、气候条件和人类活动方式等方面的特殊性, 使得紫色土侵蚀类型和侵蚀方式有别于其它类型土壤。同时由于紫色土是一种较好的耕作土壤, 在容易发生土壤侵蚀的丘陵地区, 紫色土分布的地段一般均开垦为耕地, 由此导致强烈水土流失, 侵蚀模数达到 $3\ 000 \sim 9\ 000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ [2]。强烈的土壤侵蚀不仅与该区丰沛的降

雨有关, 也反映出紫色土具有较高的土壤可蚀性, 而土壤质地是衡量土壤可蚀性的重要物理性质。因此, 通过对侵蚀过程中土壤颗粒的变化进行分析有利于深化对土壤可蚀性的认识。随土壤侵蚀机理研究的深入, 土壤颗粒与侵蚀的关系也逐步得到关注。Young R A [3] 认为, 一次总侵蚀量较大时, 泥沙粒径分布接近于原土壤分布。黄丽 [4]、廖晓勇 [5] 等研究结果表明, 坡地流失的泥沙中 $< 0.02 \text{ mm}$ 的颗粒大量富集, 是养分流失的主要载体。李光录等 [6] 在研究黄

收稿日期: 2009-10-30

修回日期: 2009-12-01

资助项目: 国家自然科学基金“基于水蚀过程的土壤可蚀性研究”(40771123); 国家973计划项目(2007CB4072206)

作者简介: 彭怡(1984—), 女(汉族), 重庆市人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持与生态系统功能评估。E-mail: zhan123qiuyi@126.com.

通信作者: 王玉宽(1963—), 男(汉族), 陕西省府谷县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀、坡面水文方面的研究。E-mail: wangyukuan@imde.ac.cn.

土丘陵区土壤不同粒径侵蚀过程中得出,随着坡度、径流与泥沙量的增加,土壤和泥沙之中黏粒含量逐渐减小,砂粒含量逐渐增加,粉粒含量变化不明显。

这些研究从不同角度探讨了流失土壤颗粒与侵蚀的关系,但有关降雨过程中,流失土壤颗粒变化,以及影响因素研究仍然较为缺乏。本研究在大田条件下进行人工模拟降雨试验,对不同坡度和雨强条件下的人工模拟降雨试验结果进行对比分析,讨论侵蚀过程中土壤颗粒组成的变化及其影响因素,对改善紫色土区土壤结构、土壤质地状况进而治理水土流失、非点源污染和减少养分流失具有重要的理论价值和现实意义。

1 研究区概况

试验在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站(以下简称盐亭站)进行。该站位于四川盆地中北部的绵阳市盐亭县林山乡截流村,地理坐标 $105^{\circ}27'E$,

$31^{\circ}16'N$,地处嘉陵江一级支流涪江的支流——猕江、湍江的分水岭上。当地地形为中深丘,海拔 400~600 m,由水平砂泥岩互层结构形成多级梯地,山顶为园丘、长岗状。沟谷切割较深,冲沟发育,相对高差 10~200 m,谷底宽 50~150 m,比降 1/150,两侧山坡较陡,平均坡比 1:3~1:10。当地气候属四川盆地典型亚热带湿润季风气候。年均温度 $17.3^{\circ}C$,极端最高气温 $40^{\circ}C$,极端最低气温 $-5.1^{\circ}C$,大于 $10^{\circ}C$ 的积温 5 000~6 000 $^{\circ}C$,无霜期 294 d,农作物一年两熟。多年平均降雨量 825 mm,降雨集中,夏季多暴雨。年内水量分配不均,春季占 5.9%,夏季 65.5%,秋季 19.7%,冬季 8.9%。水稻土和石灰性紫色土是当地主要土壤类型(表 1)。土层厚度一般 20~70 cm。土地利用以农地为主,主要农作物有水稻、玉米、小麦、甘薯、油菜等。自然植被类型为桉木和柏木。混交林坡地和荒地有黄茅草分布。

表 1 研究区土壤理化性质

pH 值	有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$)	机械组成/ %				
		> 2mm	2~0.2 mm	0.2~0.02 mm	0.02~0.002 mm	< 0.002 mm
8.83	8.75	15.78	2.72	35.05	33.85	8.01

2 研究方法

在盐亭站实验观测场内布置了 5 个不同坡度的径流小区。坡度分别为 5° , 10° , 15° , 20° , 25° ;坡长为 5 m,宽 1.5 m,土层厚度 40 cm。试验采用 Norton 型模拟降雨机,由北京师范大学和北京交通大学联合研制。雨强设计为 5 级,分别为 19.62, 37.32, 53.95, 74.02 和 111.69 mm/h;误差小于 $\pm 3\%$ 。试验前径流小区地表保持裸露,按常规翻耕方式进行表土翻耕处理。表土翻耕后利用 19.62 mm/h 雨强进行湿润降雨处理(一般 2~3 h 地表开始产流,即停止降雨),湿润降雨 24~48 h 后开始试验,此时表层土壤含水量达到田间含水量水平,保证了每次模拟降雨试验都在接近一致的条件下进行。试验过程中,待地表产流后每隔 1~2 min 进行采样,其余径流用集流桶收集,试验完成后,将集流桶泥沙搅拌均匀,取 500 ml 样品,作为次降雨的平均样。径流泥沙样品采用烘箱 $105^{\circ}C$ 烘干处理。为便于分析泥沙烘干后根据取样时间重新组合为 3 个样,分别代表产流的不同时段,0~10 min, 10~20 min 以及 20~30 min。泥沙颗粒组成采用 MS 2000 激光粒度分析仪结合筛析法测定。

3 结果与分析

3.1 侵蚀泥沙颗粒组成随时间的变化

紫色土坡耕地侵蚀主要以面蚀为主^[8]。降雨侵

蚀后,地表土壤的颗粒组成有较明显的变化。表 2 显示了 10° 小区在中等强度(37.42 mm/h)降雨过程中泥沙组成的变化。可以看出,降雨初期流失颗粒中细砂含量较少,而粉粒较多,黏粒含量介于二者之间。随着降雨的进行,细砂含量逐步增加,而粉粒含量基本不变,黏粒含量逐渐减小。说明土壤中粉粒,黏粒等细颗粒物质首先被侵蚀,而粒径较大的细砂颗粒不易被侵蚀。一些学者^[5,7]对侵蚀泥沙的颗粒组成进行了研究,也发现在侵蚀泥沙中粉粒、黏粒等细颗粒物质占多数。本研究结果表明,在侵蚀泥沙中,粉粒与黏粒含量远高于细砂含量。其原因与紫色土本身的特性和侵蚀特点有关。在紫色土坡面上,降雨击溅侵蚀是坡面侵蚀的主要动力,径流冲刷侵蚀相对较弱。被降雨分散的土壤颗粒多数为细颗粒,且以悬移的方式被径流搬运出坡面,因此侵蚀泥沙中细颗粒含量较高。研究还发现在降雨初期,侵蚀泥沙中粉粒与黏粒含量较高,随降雨进行,粉粒与黏粒含量不断下降,而细砂等粗颗粒物质含量越来越高,这与侵蚀过程中地表物质粗化及径流不断加强有关。

表 2 降雨过程中泥沙颗粒组成变化

采样时段/ min	细砂(0.02 ~ 0.2 mm)	粉粒(0.002 ~ 0.02mm)	黏粒(< 0.002 mm)
0~10	16.00	67.92	16.08
10~20	23.27	62.10	14.63
20~30	34.85	53.41	11.63

3.2 雨强对侵蚀泥沙颗粒组成的影响

降雨是紫色土坡面侵蚀的主要动力之一。随雨强增大, 侵蚀率也增大, 但侵蚀泥沙中不同粒径土壤颗粒的多少反映出何种粒径的泥沙更容易被侵蚀, 这在一定程度上可反映紫色土可蚀性的大小。从表 3 可以看出, 随雨强增加, 细砂含量呈逐步增大的趋势, 而粉粒与黏粒含量都逐步下降。说明在小雨强下, 细颗粒容易被侵蚀, 而雨强增大后, 粗颗粒也容易被侵蚀。原因是雨强越高, 降雨侵蚀力越大, 能够侵蚀粒径更大的土壤颗粒, 导致流失泥沙中, 粗颗粒(细砂)含量增大。降雨的这种分选作用在 19.62 ~ 53.95 mm/h 雨强范围内变化比较明显, 当雨强大于 53.95 mm/h 后, 流失泥沙颗粒组成比较稳定。

表 3 不同雨强下侵蚀泥沙粒径组成变化 %

雨强/ (mm · h ⁻¹)	细砂(0.02 ~ 0.2 mm)	粉粒(0.002 ~ 0.02 mm)	黏粒(< 0.002 mm)
19.62	10.71	72.96	16.33
37.32	25.23	60.58	14.19
53.95	40.59	48.98	10.43
74.02	42.36	47.88	9.76
111.69	41.01	49.04	9.90

3.3 坡度对侵蚀泥沙颗粒组成的影响

坡度是影响水蚀过程的重要因素, 但是对流失土壤颗粒组成的影响的研究还探讨不多。黄丽等认为坡度对流失土壤颗粒组成没有影响^[4], 这与本研究结果并不一致。表 4 列出了不同坡度下侵蚀泥沙颗粒组成, 雨强为 37.32 mm/h。

表 4 不同坡度下侵蚀泥沙颗粒组成 %

坡度	细砂(0.02 ~ 0.2 mm)	粉粒(0.002 ~ 0.02 mm)	黏粒(< 0.002 mm)
5°	7.74	72.46	19.80
10°	25.23	60.58	14.19
15°	41.37	48.63	10.00
20°	45.57	43.86	10.19
25°	35.33	53.24	11.38

从表中可以看出, 随坡度增加, 细砂含量增大, 粉粒与黏粒含量减小; 在 20° 时, 细砂含量最大, 粉粒与黏粒含量最小, 当坡度增大到 25° 时, 细砂含量又减小, 而粉粒与黏粒含量略有增加。这与径流的侵蚀作

用有关。一方面随坡度增加, 承雨面积减小, 径流随之减小; 另一方面, 随坡度增大, 径流的能量增大, 对土壤的分散与搬运能力增加, 可以分散和搬运粗大的土壤颗粒, 导致输出的泥沙颗粒变粗。

4 结论

(1) 在次降雨过程中, 流失土壤颗粒组成不断变化。随着降雨的进行, 细砂含量逐步增加, 而粉粒含量基本不变, 黏粒含量逐渐减小。

(2) 雨强是影响流失土壤颗粒组成的重要因素。随雨强增加, 细砂含量呈逐步增大的趋势, 而粉粒与黏粒含量都逐步下降。

(3) 坡度对流失土壤颗粒组成影响比较复杂。随坡度增加, 细砂含量先增大后减小, 粉粒与黏粒含量先减小后增大; 在 20° 时, 细砂含量最大, 粉粒与黏粒含量最小。

(4) 细颗粒流失是影响土壤肥力下降的重要因素。结果表明, 在紫色土区, 可以增加地表覆盖, 提高水分入渗, 推迟产流过程, 减少雨滴对表土的打击来减少细颗粒的流失, 从而维持紫色土的肥力。

[参 考 文 献]

- [1] 何毓蓉, 陈学华. 中国紫色土(下篇)[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-404.
- [2] 中国科学院成都山地灾害研究所. 长江上游环境特征与防护林体系建设(川江流域部分)[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [3] Young R A, Olness A E, Mutchler C K, et al. Chemical and physical enrichments of sediment from cropland[J]. Trans ASAE, 1986, 29(1): 165-169.
- [4] 黄丽, 蔡强国. 侵蚀紫色土土壤颗粒流失的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 5(1): 35-39, 85.
- [5] 廖晓勇, 陈治谏, 刘邵权, 等. 三峡库区紫色土坡耕地不同利用方式的水土流失特征[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 159-161.
- [6] 李光录, 姚军, 庞小明. 黄土丘陵区土壤和泥沙不同粒径有机碳分布及其侵蚀过程[J]. 土壤学报, 2008, 45(4): 740-744.
- [7] 蔡强国, 吴淑安. 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 1-8, 35.
- [8] 李青云, 蒋顺清. 长江上游紫色土丘陵区小流域地面侵蚀量的确定[J]. 长江科学院院报, 1995, 12(1): 51-56.