

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*

李光录¹ 姚 军¹ 庞小明²

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

(2 黄河水利委员会天水水土保持科学试验站, 甘肃天水 741000)

DISTRIBUTION AND EROSION PROCESS OF ORGANIC CARBON IN THE DIFFERENT PARTICLE SIZE FRACTIONS IN LOESS HILLS REGION

Li Guanglu¹ Yao Jun¹ Pang Xiaoming²

(1 College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 Tianshui Soil and Water Conservation Experiment Station of YRCC, Tianshui, Gansu 741000, China)

关键词 黄土高原; 土壤颗粒; 有机碳; 土壤侵蚀; 泥沙

中图分类号 S152.3⁺ 2 S157.1 文献标识码 A

土壤侵蚀是当今世界最严重的生态环境问题, 不仅严重制约着农业生产, 而且也威胁着人类赖以生存的自然环境^[1, 2]。黄土高原由于强烈的土壤侵蚀, 土壤有机质流失量可达 $216 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 土壤全氮流失 $118 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 全磷流失 $255 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 土壤养分含量低已经成为限制该区农作物产量提高的主要因子^[3]。土壤有机碳来源于动、植物残体, 经过一系列生物化学作用逐渐形成^[4]。在土壤中, 有机碳主要存在于细小颗粒, 而以小于 $2 \mu\text{m}$ 黏粒中有机碳含量较高^[5]。土壤侵蚀作用首先将地表植物残体和凋落物冲刷搬运, 然后将雨滴击溅分散的细小颗粒物质剥蚀、搬运, 而导致土壤有机碳的储量减少。国内外学者对有机碳的储量、分布、转化, 以及不同土壤颗粒有机碳的含量等开展了大量研究工作^[6-12], 然而, 在土壤侵蚀环境中, 流失泥沙不同颗粒级有机碳的分布、富集特征和流失规律的研究报道很少。因此, 选择黄土高原丘陵区侵蚀小区土壤和泥沙为研究对象, 采用土壤颗粒分级的方法, 对侵蚀泥沙及其不同颗粒级中有机碳的分布和流失规律进行了研究, 其目的在于揭示侵蚀环境中土壤肥力下降的本质, 旨在为我国西部地区耕地合理施肥和改善土壤肥力水平提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省淳化县泥河沟流域, 该流域距陕西省省会西安市 220 km, 距淳化县县城 7 km, 属黄土高原南部残塬沟壑区。流域呈长条状, 南北长 7.8 km, 东西平均宽 1.2 km, 地势北高南低, 海拔 712~1193 m, 流域总面积 9.48 km²。该区属暖温带半湿润半干旱气候, 多年平均降水量 600 mm, 主要集中在 7 月、8 月和 9 月, 暴雨频率高, 强度大, 是导致土壤侵蚀的主要动力。土壤以黄绵土为主, 贫瘠、肥力水平低。天然植被以菊科 (*Asteraceae*)、蔷薇科 (*Rosaceae*) 等草木本占优势, 人工植被以刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L) 为主。在自然和人为活动的共同作用下, 流域水土流失较为严重, 年均侵蚀模数达 3851 t km^{-2} , 属中度侵蚀区。

1.2 土样采集与分析

测定样本采自位于泥河沟流上游不同坡度 (4° 、 6° 、 8° 、 10° 、 12° 和 15°) 径流侵蚀小区 (小区面积: $20 \text{ m} \times 5 \text{ m}$) 和它的对照小区, 该组小区建于 1987 年, 为无施肥小区, 种植冬小麦和玉米, 用于黄

* 教育部留学回国启动基金项目 (14110105) 和西北农林科技大学校长基金项目 (08080202) 资助

作者简介: 李光录 (1964~), 男, 博士, 副教授, 主要从事土地利用与水土保持教学和研究。E-mail: guanglu@nwsuaf.edu.cn

收稿日期: 2007-04-10 收到修改稿日期: 2007-09-10

土高原残塬沟壑区土壤侵蚀和养分流失的动态监测。2004年4月,对每个小区分别从坡顶至坡底沿5、10和15m处取三个断面,每个断面等间采集0~10cm土样3个,混合,共取土壤样本36个;泥沙样本取自当年9月,暴雨(次降雨量:68mm,降雨强度:13.64mm h⁻¹)过后,随机采集每个小区沉积泥沙3个,共取泥沙样本36个。土壤和泥沙样本带回室内风干,去除杂草和植物根系,研磨后过2mm筛,装瓶待用。

颗粒分级的方法是,称取500g风干土,将水土比为10:1样本,用超声波仪分散(300W)30min后过140目湿筛,将土壤转移至10L塑料桶内,并将未过筛的残渣烘干称重,保持土壤悬液浓度≤4%,根据Stokes定律计算每一粒级的沉降时间,用虹吸法分别提取<2、2~50和>50μm 3个粒级的颗粒,颗粒悬液用巴氏滤管抽滤,40℃烘箱烘干24h,去除水分后再自然风干,称重磨细进行化学分析。土壤及不同粒径中有机碳采用油浴外加热法测定^[13]。

1.3 数据计算与统计分析

各颗粒组成有机碳占相应土壤或泥沙有机碳的比例、泥沙及其各颗粒组成有机碳富集率和流失量的计算方法如下:

$$\text{各粒级有机碳占相应土壤或泥沙有机碳的比例}\% = \frac{\text{各粒级有机碳含量} \times \text{相应粒级百分比}}{\text{土壤或泥沙有机碳含量}} \times 100\%$$

$$\text{泥沙各颗粒中有机碳富集率} =$$

$$\frac{\text{泥沙各颗粒中有机碳含量} \times \text{相应的粒级百分比}}{\text{土壤各颗粒中有机碳含量} \times \text{相应的粒级百分比}}$$

$$\text{泥沙各颗粒中有机碳流失量} = \text{泥沙各颗粒有机碳含量} \times \text{相应粒级百分比} \times \text{泥沙流失量}$$

数据统计和分析采用Excel和SPSS13分析软件进行。计算每组数据平均值(Mean)、标准偏差(SD),结果间的相关关系采用Pearson相关系数法,计算 $p < 5\%$ 水平的差异显著性(双尾)。

2 结果与分析

2.1 土壤和泥沙颗粒组成及其相应径流量与泥沙量分析

研究表明(表1),不同坡度侵蚀小区土壤和泥沙颗粒组成均以粉粒(2~50μm)含量最高,平均值分别为55.61%($n=18, Sd=0.47$)和54.83%($n=18, Sd=0.32$);砂粒(>50μm)含量最低,平均值分别为19.78%($n=18, Sd=1.18$)和18.63%($n=18, Sd=1.17$);黏粒(<2μm)含量居中,平均值分别为23.11%($n=18, Sd=0.80$)和25.11%,($n=18, Sd=0.32$)。流失泥沙中黏粒含量较土壤中黏粒含量略高,平均高出土壤1.93个百分点,泥沙中粉粒和砂粒含量略低于相应土壤含量,平均分别低出0.76和1.13个百分点;随着小区坡度、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。土壤和泥沙颗粒组成上的变化,除决定于土壤自身的母质组成外,在黄土区主要受控于长期土壤侵蚀作用^[15],不仅影响着土壤养分的供应能力,也决定着对养分固定和供应潜力。

表1 土壤和泥沙颗粒组成及其相应径流与泥沙量

| 坡度 (°) | 土壤颗粒组成(%) | | | 泥沙颗粒组成(%) | | | 径流量 (m ³ km ⁻¹ a ⁻¹) | 泥沙量 (t km ⁻¹ a ⁻¹) |
|-----------|--------------|----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---|--|
| | 黏粒 (<2μm) | 粉粒 (2~50μm) | 砂粒 (>50μm) | 黏粒 (<2μm) | 粉粒 (2~50μm) | 砂粒 (>50μm) | | |
| 4 | 26.53 | 56.21 | 17.25 | 28.04 | 55.27 | 17.01 | 8542 | 528 |
| 6 | 25.26 | 56.03 | 18.70 | 27.91 | 54.80 | 17.28 | 12541 | 1547 |
| 8 | 24.52 | 55.89 | 19.58 | 26.85 | 55.27 | 17.88 | 16672 | 3149 |
| 10 | 24.40 | 55.20 | 20.39 | 25.96 | 54.41 | 19.63 | 19737 | 3712 |
| 12 | 23.96 | 54.85 | 21.16 | 25.68 | 54.52 | 19.79 | 19815 | 3833 |
| 15 | 23.11 | 55.46 | 21.41 | 25.04 | 54.80 | 20.16 | 21573 | 4187 |
| 平均 | 24.63 | 55.61 | 19.76 | 26.58 | 54.85 | 18.63 | 15843 | 2675 |
| 标准偏差 | 0.80 | 0.47 | 1.18 | 0.93 | 0.32 | 1.17 | 3976 | 1228 |

注:径流量和产沙量采用1987年~2000年的平均值(淳化县泥河沟流域径流小区观测资料)

2.2 泥沙不同颗粒组成中有机碳含量和分布比较

在土壤中,有机碳主要存在于细小颗粒,而以 $< 2 \mu\text{m}$ 的黏粒中,有机碳含量较高^[5]。从图1可看出,(1)泥沙及其黏粒、粉粒和砂粒中有机碳含量均较其相应土壤及其黏粒、粉粒和砂粒的高,其中,以流失泥沙黏粒中有机碳含量最高。泥沙及其黏粒、粉粒和砂粒中有机碳的平均含量分别为 11.23 g kg^{-1} ($n = 18$ $Sd = 0.86$)、 18.75 g kg^{-1} ($n = 18$, $Sd = 0.94$)、 11.02 g kg^{-1} ($n = 18$ $Sd = 0.74$)、 0.65 g kg^{-1} ($n = 18$ $Sd = 0.10$),较其相应的土壤及其各组成部分分别高出 4.77 g kg^{-1} 、 8.74 g kg^{-1} 、 4.34 g kg^{-1} 和 0.05 g kg^{-1} 。表明流失泥沙及其各颗粒组成对有机碳具有明显的富集作用,这种富集作用也进一步说明,在黄土地区,由于长期土壤侵蚀作用,使土壤细小颗粒流失,而细颗粒正是土壤养分的携带者。(2)土壤、泥沙及其相应颗粒中有机碳含量随地表坡度的增加呈减小趋势,且流失泥沙及其各颗粒有机碳含量的变化较相应土壤有机碳含量随坡度变化剧烈,递减幅度更快,从 4° 到 15° 小区,土壤和泥沙中有机碳含量分别从 6.98 和 12.66 g kg^{-1} 降至 5.88 和 9.49 g kg^{-1} ,降幅分别为 1.10 和 3.17 g kg^{-1} ;土壤和泥沙黏粒中有机碳含量从 10.31 和 20.39 g kg^{-1} 降至 9.59 和 16.69 g kg^{-1} ,降幅 0.72 和 3.70 g kg^{-1} ;土壤和泥沙粉粒中有机碳含量从 7.22 和 12.11 g kg^{-1} 降至 6.01 和 9.50 g kg^{-1} ,降幅分别为 1.21 和 2.61 g kg^{-1} ;土壤和泥沙砂粒中

有机碳含量从 0.73 和 0.82 g kg^{-1} 降至 0.50 和 0.51 g kg^{-1} ,降幅分别为 0.23 和 0.31 g kg^{-1} 。表明无论土壤还是流失泥沙中均以黏粒中有机碳含量最高,说明土壤颗粒对有机碳的吸附作用随着颗粒粒径减小而逐渐增强。

土壤和泥沙各颗粒中有机碳的含量占相应土壤和泥沙中有机碳的比例(或丰度),反映土壤和泥沙各颗粒中有机碳的分布状况,图2显示,土壤和泥沙粉粒中有机碳所占比例最高,平均值分别为 58.48% ($n = 18$ $Sd = 0.69$)和 53.87% ($n = 18$ $Sd = 0.50$),其次为黏粒,分别为 38.05% ($n = 18$ $Sd = 0.64$)和 44.49% ($n = 18$ $Sd = 0.51$),砂粒最小,分别为 1.82% ($n = 18$ $Sd = 0.06$)和 1.07% ($n = 18$ $Sd = 0.05$);泥沙粉粒和砂粒中有机碳所占比例较土壤粉粒和砂粒分别低 4.61 和 0.75 个百分点,而泥沙黏粒中有机碳所占比例较土壤黏粒高 6.44 个百分点。不同坡度小区,土壤和泥沙各颗粒有机碳的比例基本在其平均值之间上下波动,无明显随坡度的增加或侵蚀强度增加而变化的趋势。上述分析表明,有机碳在土壤和泥沙及其相应颗粒中的分布主要决定于土壤母质,与其地表坡度和侵蚀强弱无关,同时也说明,由于土壤中细小的颗粒对有机碳吸附能力较土壤中粗颗粒强,所以,无论土壤还是泥沙中,有机碳的分布均以 $< 50 \mu\text{m}$ 黏粉粒为主,二者之和分别占土壤和泥沙有机碳分布的 96.54% 和 98.36% ,这种结果与农耕地基本相同^[9]。

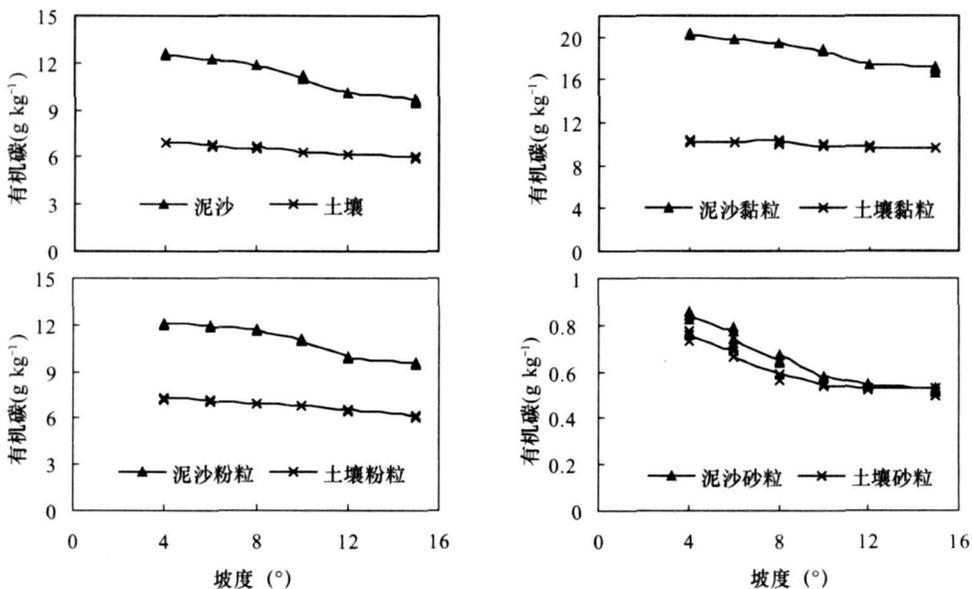


图1 土壤和泥沙及其相应不同颗粒组成有机碳含量

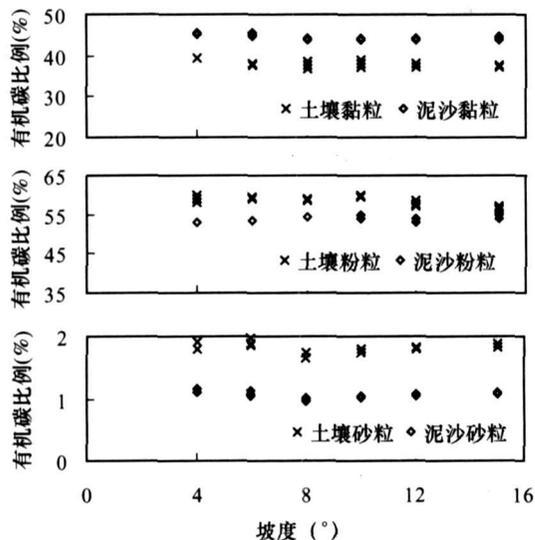


图2 土壤和泥沙各颗粒有机碳占土壤有机碳的比例随坡度变化

2.3 泥沙及其各颗粒有机碳的富集特征

大量研究显示^[5, 14-17], 坡地径流泥沙是养分流失的主要载体, 土壤有机碳、氮主要以泥沙结合态形式流失, 土壤养分含量与其颗粒含量之间有显著相关性, 通常黏粒中含量较高, 砂粒含量较少, 其含量随粒径的增加而减少^[6-8]。图3显示了有机碳在泥沙及其不同颗粒组成中的富集率与地表坡度的变化规律, 从中可以看出, 有机碳在流失泥沙各颗粒中有明显富集, 其中, 以流失泥沙黏粒中富集率最高, 平均值为 2.044 ($n = 18, Sd = 0.07$), 砂粒富集率最低, 平均值仅为 1.017 ($n = 18, Sd = 0.04$), 粉粒居中, 平均值为 1.603 ($n = 18, Sd = 1.04$), 泥沙黏粒中有机碳富集率较其砂粒中有机碳的富集率高出 76%; 泥沙中有机碳的富集率为 1.735 ($n = 18, Sd = 0.06$), 略高于其粉粒中有机碳的富集, 而低于其黏粒中有机碳的富集; 有机碳在泥沙及其不同颗粒组成中的富集率随地表坡度增加有逐渐减小的趋势, 可用如下方程表示: $EROC = -aS + b$ ($EROC$ 为有机碳富集率, a, b 为系数, S 为坡度, 样本数 $n = 18$), 其中, 泥沙粉粒中有机碳富集率与坡度在 $p < 0.05$ 水平呈显著相关, 而泥沙及其相应黏粒和砂粒中有机碳富集率在 $p < 0.01$ 水平呈极显著相关性。

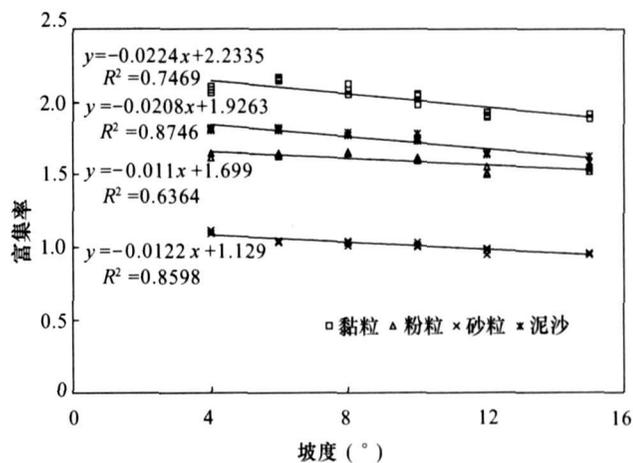


图3 泥沙及其相应各颗粒有机碳富集率随坡度变化

3 结论与讨论

黄土高原高水土流失是该区土地退化、生产力低的主要原因, 严重制约着该区的农业可持续发展, 如何利用好该区现有的土地资源, 降低土壤养分的流失, 控制水土流失, 改善其生态环境和提高土地资源的可持续性, 成为该区研究的关键。本研究对黄土高原泥河沟流域侵蚀小区流失泥沙不同颗粒组成有机碳的分布和流失规律的研究表明, 在裸露无保护性措施的试验区, 水土流失和有机碳的损失均很严重, 尤其是流失所携带的大量黏粉粒是有机碳搬运的主要载体, 土壤细小颗粒流失是导致该区土地退化、养分流失的本质。从资源保护的角度来看, 对该区应进一步加强退耕还林、还草的力度, 增加地表植被覆盖; 另外, 对农业用地应采取保护性耕作措施, 改善土壤结构防治土壤流失, 尽可能减缓水土流失所造成的土壤有机碳及养分的流失, 防止土壤肥力的下降。

参考文献

- [1] 甘枝茂. 关于侵蚀环境研究中的几个问题. 见: 中国科学院水土保持研究所编. 土壤侵蚀环境调控与农业持续发展. 西安: 陕西人民出版社, 1995 8~11
- [2] Miller W P. Particle size of interrill eroded sediments from hilly weathered soil. Journal of Soil Science Society America, 1987 51: 1610~1615
- [3] 彭琳. 土壤养分坡面流失与侵蚀环境调控. 见: 中国科学院水土保持研究所编. 土壤侵蚀环境调控与农业持续发展. 西安: 陕西人民出版社, 1995 33~34

- [4] 韩冰,王效科,欧阳志云,等. 中国东北地区农田生态系统中碳库德分布格局及其变化. 土壤通报, 2004 35(4): 201~ 206
- [5] 王洪杰,李宪文,史学正,等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系. 水土保持学报, 2003 17(2): 44~ 50
- [6] Christensen B.T. Carbon and nitrogen in particle size fraction isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity sedimentation. Acta Agriculturae Scandinavica, 1985 35: 175~ 187
- [7] Cameron R.S., Posner A.M. Mineralizable organic nitrogen in soil fractionated according to particle size. Journal of Soil Science, 1979 30: 565~ 577
- [8] Tissen H., Stewart J.W. B. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter II. Cultivation effects on organic matter composition in size fraction. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47: 509~ 514
- [9] 王岩,杨振明,沈其荣. 土壤不同粒级中 C、N、P、K 的分配及 N 的有效性研究. 土壤学报, 2000 37(1): 85~ 93
- [10] Balakrishna K., Probst J.L. Organic transport and C/N ratios variations in large tropical river. Biogeochemistry, 2005 73: 457~ 473
- [11] Lado M., Paz A., Berthel M. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration seal formation and soil loss. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(3): 234~ 242
- [12] Humberto Blanco Canqui, Lal R., Owens L.B. Mechanical properties and Organic carbon of soil aggregates in the northern Appalachians. Soil Science Society of America Journal, 2006 69(5): 1472~ 1581
- [13] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1987
- [14] 白红英,唐克丽,陈文亮,等. 坡地土壤侵蚀与养分过程的研究. 水土保持通报, 1991 11(3): 14~ 18
- [15] 刘秉正,李光录,吴发启,等. 黄土高原南部土壤养分流失规律. 水土保持学报, 1995 9(2): 77~ 86
- [16] 蔡崇法,丁树文,张光远,等. 三峡库区紫色土坡地养分状况及养分流失. 地理研究, 1996 15(3): 77~ 84
- [17] 王洪杰,李宪文,史学正,等. 四川紫色土区小流域土壤养分流失初步研究. 土壤通报, 2002 33(6): 441~ 444