

# 黄土坡面不同土地利用方式对土壤有机碳流失的影响

邓瑞芬<sup>1</sup>, 王百群<sup>1,2</sup>, 刘普灵<sup>1,2</sup>, 刘栋<sup>1</sup>, 徐佳<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**坡面土地利用方式与产流、产沙及土壤有机碳的流失具有密切关系。对延安燕沟流域的坡耕地、草地、刈割草地、灌木地、刈割灌木以及刺槐林地径流小区的径流、泥沙及有机碳流失量进行了分析。结果表明:在不同土地利用方式下,产流、产沙量与植被覆盖度呈负相关关系;随径流流失的可溶性有机碳量表现为:坡耕地>刈割草地>草地>刈割灌木地>灌木地>刺槐林地小区,随泥沙流失的有机碳量表现为:坡耕地>草地>灌木>刺槐林地。随泥沙流失的土壤有机碳占总流失量的主要部分,而随径流流失的有机碳只占很少的比例。因此,增加黄土坡面植被覆盖度是控制产流、产沙量和有机碳流失的重要途径。

**关键词:**土地利用方式;土壤有机碳流失;水土流失;黄土坡面

中图分类号:F301.24;S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0104-04

## Effects of Different Land Use Patterns on Soil Organic Carbon Loss on the Loess Slope

DENG Rui-fen<sup>1</sup>, WANG Bai-qun<sup>1,2</sup>, LIU Pu-ling<sup>1,2</sup>, LIU Dong<sup>1</sup>, XU Jia<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Slope land use pattern has a close relationship with generation of runoff and sediment as well as soil organic carbon loss. A study on the runoff, sediment and organic carbon loss was conducted in 6 runoff plots on a slope in Yangou watershed. The plots were used as bare land, harvested grassland, grassland, harvested shrub land, shrub land and *Robinia pseudoacacia* L. woodland respectively. The results showed that the yields of runoff and sediment were negatively correlated with the vegetation coverage under different land use patterns; the losses of soluble organic carbon along with the runoff loss followed the order of bare land>harvested grassland>grassland>harvested shrub land>shrubs land>*Robinia pseudoacacia* L. woodland; the losses of soil organic carbon along with the sediment followed the order as that bare land>grassland>shrubs land>*Robinia pseudoacacia* L. woodland. It is also can be seen that most of lost soil organic carbon from the total loss coupled with the transfer of the sediment, whereas only a small part of organic carbon in the soluble form lost along with runoff. Therefore, it is suggested that the key way to control runoff, sediment yield and soil organic carbon loss is to increase the vegetation coverage on the loess slope.

**Key words:** land use pattern; soil organic carbon loss; soil and water loss; loess slope

土壤有机碳是全球碳循环中的重要组成部分,土地利用方式的改变对土壤有机碳的源和汇具有很大的影响<sup>[1-2]</sup>。黄土高原梁峁坡地分布广泛,表层土壤

结构疏松易蚀,水土流失十分严重,导致土壤中有机碳大量流失<sup>[3]</sup>。国内有学者研究了不同植被覆盖度和坡度下土壤侵蚀对土壤有机碳流失的影响,结果表

收稿日期:2011-05-23

修回日期:2011-06-30

资助项目:国家科技支撑项目农田水土保持关键技术研究示范(2001BAD31B01);中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”(XDA05050504);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室自主课题(10502-Z11-3,10502-Z11)

作者简介:邓瑞芬(1986—),女,宁夏银川人,硕士研究生,主要从事土壤—植被系统碳循环研究。E-mail: dengruifeng1@163.com

通信作者:王百群(1968—),男,陕西省渭南人,副研究员,硕士生导师,主要从事生态系统碳氮循环研究。E-mail: bqwang@ms.iswc.ac.cn

明在一定的降雨条件下,土壤有机碳流失程度与侵蚀强度呈明显的线性关系,相关系数达 0.989<sup>[4-7]</sup>。还有学者研究发现影响土壤有机碳流失的主要因素为径流量、降雨量、降雨侵蚀力和泥沙流失量<sup>[8-9]</sup>。部分学者还从碳储量的角度研究了植被类型对土壤有机碳积累的影响<sup>[10]</sup>。国外学者研究发现土壤有机碳库存量与进入土壤的植物凋落物和地上生物量呈线性正相关关系<sup>[11-12]</sup>。但系统地把水土流失和土壤有机碳流失结合起来的研究相对较少,本文通过野外径流小区观测试验,分析不同土地利用方式对黄土高原水土流失及有机碳流失的影响,从而为黄土高原植被恢复的效应评估提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于延安市宝塔区柳林镇的燕儿沟流域,地处 109°20′—109°35′E,36°20′—36°32′N。该流域大致呈东南—西北走向,海拔 986~1 425 m,主沟道长 8.6 km,沟壑密度 4.8 km/km<sup>2</sup>,主沟纵比降为 2.41‰,流域面积 46.88 km<sup>2</sup>,为典型的黄土丘陵地形地貌。流域内多年平均降水量为 536.9 mm,70% 以上的降雨集中于 6—9 月,且多以暴雨形式出现。流域内分布的植被类型有森林、灌丛和草本等。天然林主要是辽东栎,还分布有以刺槐、油松、侧柏、山桃等为代表的人工林及苹果、梨、杏等经济林。灌丛植被主要有沙棘、柠条、黄刺梅等。主要草本植被群落有白羊草群落、长芒草群落和冰草群落等。流域内土壤类型为黄绵土。土地类型主要有坝地、坡地和梯田,主要的土地利用方式有林草地、果园和农地。

1.2 径流小区布设

在流域内的康家圪崂沟布设了 6 个径流观测小区,小区位于半阳坡的中上部,坡度为 20°~23°。每一小区面积均为长 16 m,宽 2 m,周围用浆砌砖块围护,下部布设容积为 1 m<sup>3</sup> 的小区径流泥沙观测池,池壁附有标尺,用于测量次降雨径流小区产生的泥沙和径流量。小区具体概况如下:

(1)坡耕地径流小区。该小区为对照小区,基本保持地表无植被生长。

(2)草地径流小区。退耕撂荒多年后形成了以赖草、猪毛蒿等为建群种的草本植被群落,其中混生阿尔泰紫菀(*Herba heteropappi altaici*)、狗尾巴草(*Setaria viridis* L. Beauv)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)等。草层覆盖度为 30%,平均高度 35 cm,草本植物分布较为均匀。

(3)刈割草地径流小区。与草地径流小区同坡

面,为草地径流小区的对照小区。小区内植物地上部分完全刈割掉,清理掉枯落物,不作翻耕处理,保留植物根系。

(4)灌木径流小区。经多年撂荒,基本形成了较为明显的灌草群落结构。灌木层建群种为白芨梢,生长良好,高度 60~80 cm,冠幅 50 cm×60 cm,灌层覆盖度 35%,分布较为均匀;草本层主要植物有赖草、阿尔泰紫菀等,平均高度 30 cm,覆盖度 30%。

(5)刈割灌木径流小区。与刈割灌木小区同坡面,为灌丛径流小区对照小区。完全刈割掉植物地上部分,取出枯落物,不作翻耕处理,保留根系。

(6)刺槐林地径流小区。为草地、灌丛等其他径流小区的对照小区,区内主要植物为 20 a 生刺槐林,林下疏生杂草,郁闭度 70%,枯落物平均厚度 1 cm。

1.3 径流观测及样品采集与处理

2007 年天然降雨共产流 4 次,每次降雨结束后,从径流小区观测池壁上的标尺读取水位。降雨量小时称取所有的径流泥沙重量,静置风干后称取泥沙重,降雨量大时取浑水样,依比例计算出全部径流泥沙重量。泥沙中的有机碳含量采用 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>—H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 外加热氧化法测定<sup>[13]</sup>,径流中的有机碳,即可溶性有机碳的含量采用碳自动分析仪测定。

2 结果与分析

坡面土壤侵蚀引起水土流失,从而导致坡面土壤中的有机碳随着泥沙及径流的迁移而流失。为了明确坡面土壤有机碳的流失过程,通过对坡面不同土地利用方式下的产沙与产流量的分析来进一步揭示不同覆盖类型坡面土壤有机碳的流失特征。

2.1 土地利用方式对坡面径流量的影响

坡面土地利用与径流量具有密切的关系。本试验观测的不同土地利用方式下的累计径流量、产沙量和径流深如表 1 所示。

表 1 2007 年不同土地利用方式下小区累计径流量、产沙量和累计径流深

小区类型	累计径流/m <sup>3</sup>	累计产沙/kg	累计径流深/mm	累计产流量/mm
坡耕地	1.34	197.82	41.88	72.40
刈割草地	0.79	24.90	24.53	72.40
草地	0.66	1.32	20.47	72.40
刈割灌木	0.47	2.36	14.53	72.40
灌木	0.37	0.91	11.56	72.40
刺槐林地	0.13	0.70	3.98	72.40

从表 1 中可以看出,累计径流深表现为:坡耕地小区>刈割草地小区>草地小区>刈割灌木小区>灌木地小区>刺槐林地小区,随着植被覆盖度的增加

而减少。坡耕地由于没有植被覆盖,产流最多,其他小区产流明显少于坡耕地。其中草地小区、灌木地小区、刺槐林地较坡耕地小区径流深分别减少了 21.41 mm、30.32 mm 和 37.90 mm,减少幅度分别达到了 51.1%,72.4%和 90.5%。草地小区产流约为坡耕地的一半,而经过刈割处理的草地小区较坡耕地减少了 17.35 mm,占到草地小区总减流量的 81.0%,这说明经过多年退耕撂荒的黄土丘陵区坡耕地,随着植被的恢复,土壤已经有了很强的入渗能力,能够有效减少地表径流,而在减少的这部分径流中,80%以上是由于草本植物的枯落物拦蓄径流及其根系增加入渗造成的,其余 20%左右的减少量主要是由草本植物的地上部分有效拦截降雨所致。灌丛小区较草地小区有更为强大的拦蓄地表径流,增加入渗的能力,而刈割灌丛小区地表径流较坡耕地小区减少 27.35 mm,占灌丛小区总减少量的 90.2%。灌丛根系及其枯落物拦截径流能力较草地有明显增加。刺槐林地减少幅度最大,这与刺槐林的立体结构有关,林下的草被层和厚约 1 cm 的枯落物层以及郁闭度达到 70.0%的林冠层三重拦截,大大削减了天然降雨的作用,客观增加了林地的入渗量。减流量较草灌小区分别增加了 16.49 mm 和 7.58 mm,这主要是由于冠层以及枝干有效截留天然降雨的作用。

2.2 不同土地利用方式坡面产沙分析

从表 1 中可以看出坡耕地小区产沙量极为显著,为 197.82 kg,刈割草地小区次之,其余 4 个小区产沙量差异并不显著。在不考虑刈割处理的草灌小区的前提下,产沙量表现为:坡耕地小区>草地小区>灌木地小区>刺槐林地小区。6 个径流小区的产沙量表现趋势基本上与产流量的趋势相同,表明不同土地利用方式下坡面的产沙与产流量关系密切。较坡耕地小区,草地小区、灌木地小区、刺槐林地小区的累计产沙量分别减少了 196.50,196.61,197.12 kg,三者之间减少量接近,差异不如径流量显著。草地小区与刈割草地较坡耕地小区产沙减少量分别为 196.50,172.90 kg,表明草地小区能够有效减少 90%以上的土壤侵蚀量,而刈割草地较坡耕地仍有 85%以上的减沙量,主要与地表枯落物有关,说明经过退耕撂荒形成的草地群落,已经有效地改善了土壤状况,一定

量的地表枯落物及地下根系已经能够有效保持土壤,提高土壤抗蚀性。灌木及刈割灌木小区较坡耕地产沙量减少比例分别为 99.5%和 98.8%。较草地小区,灌木表现出良好的减沙能力,但却出现了刈割灌木比草地产沙量大的情况,这可能是由于刈割灌木经撂荒后根系还没有达到一定的抗侵蚀能力。刺槐林地的产沙量最小,只有坡耕地的 0.4%,而前面分析中提到其径流量相当于坡耕地的 10.0%,充分说明刺槐林地具有很强的减流减沙能力。

将草灌小区刈割处理前后产流和产沙情况对比(见表 2)后发现,刈割处理前后草地小区和灌木小区的径流量比例分别为 1:1.2 和 1:1.3,比例差异不是很大,但产沙比例差异极为显著。从表中可以看出刈割处理后的草地小区产沙量较大,达到 24.90 kg,二者比例为 1:18.9,同样处理的灌丛小区刈割后产沙量仅增加 1.45 g,前后比例为 1:2.6。如此大的比例差异主要与二者的植被结构特征及其减沙机理有关。草本植物多生长在近地表层,且多为一年生植物,枯落物较少;灌丛地由于立地条件较好且地表枯落物较多,地下植物根系发达。所以经过刈割处理后的草地,失去了地上部分的保护,产沙量大幅增加,而灌丛小区由于本身已经具有较多的枯落物及发达的根系,具有较强的抗蚀抗冲性,刈割后产沙量增加并不明显。结果表明,处于植被演替初级阶段的近地表层草地植被减沙效益显著,但生态功能仍然比较脆弱,是需要进行封育保护的主要植被。

表 2 刈割处理前后草灌小区产流和产沙情况比较

项目	草地小区			灌木小区		
	原状	刈割	比例	原状	刈割	比例
产流量/ $\text{m}^3$	0.66	0.79	1:1.2	0.37	0.47	1:1.3
产沙量/kg	1.32	24.90	1:18.9	0.91	2.36	1:2.6

2.3 土地利用方式对坡面土壤有机碳流失的影响

土壤侵蚀是造成土壤中有机碳迁移和流失的主要原因,也是陆地碳循环的重要动力过程之一。分析黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤有机碳流失的影响,对于防止土壤有机碳的大量流失具有重要作用。土壤有机碳流失可以以泥沙为载体被带走,也可以随径流被带走。本试验在观测分析产流产沙的同时,对不同土地利用方式下随径流和泥沙流失的有机碳量进行了重点分析,结果见表 3。

表 3 不同土地利用方式下坡面土壤有机碳的累计流失量和可溶性有机碳的累计流失量

流失量	坡耕地	刈割草地	草地	刈割灌木	灌木	刺槐林地
泥沙中有机碳/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	162.30	56.59	5.70	14.81	3.51	2.80
可溶性有机碳/ $(\text{g} \cdot \text{hm}^{-2})$	2.94	1.77	1.20	0.89	0.68	0.47

从表3中可以看出,坡面不同土地利用方式下随径流而流失的可溶性有机碳量表现为:坡耕地小区>刈割草地小区>草地小区>刈割灌木小区>灌木地小区>刺槐林地小区,这与不同覆盖条件下径流量的变化趋势一致。草地和刈割草地较坡耕地分别减少了 $1.74\text{ g/hm}^2$ 和 $1.17\text{ g/hm}^2$ ,减少幅度为59.2%和39.8%,草地较刈割草地减少了 $0.57\text{ g/hm}^2$ ,减少幅度为32.1%;与坡耕地比较,刈割灌木和灌木分别减少了 $2.05\text{ g/hm}^2$ 和 $2.26\text{ g/hm}^2$ ,减少幅度达到了69.8%和76.8%;刺槐林地中可溶性有机碳最少,为 $0.47\text{ g/hm}^2$ 。可见,径流量在可溶性有机碳的流失中起着决定性的作用。而径流的流失又随着植被覆盖度的增加而减少,说明可溶性有机碳也与植被覆盖度呈负相关的关系。

随泥沙流失的有机碳总体上表现为,坡耕地最多,草地次之,灌木较少,刺槐林地最少。与产沙量的变化趋势相同。其中坡耕地小区中产生的有机碳量为 $162.30\text{ kg/hm}^2$ ,草地小区、灌木小区、刺槐林地小区较其分别减少了156.60,158.79,159.50 $\text{ kg/hm}^2$ ,减少幅度分别达到了96.5%,97.8%,98.3%。刈割草地小区的有机碳含量仅次于坡耕地小区,为 $56.59\text{ kg/hm}^2$ ,比草地小区多了 $50.89\text{ kg/hm}^2$ ,说明退耕撂荒多年后的草地小区已经具备了一定的减少有机碳流失的能力。较灌木小区,经过刈割处理过的刈割灌木小区泥沙中的有机碳含量增加了 $11.30\text{ kg/hm}^2$ ,增加幅度为76.3%。刈割灌木小区的有机碳含量大于草地小区,这是因为刈割灌木小区的产沙量大于草地小区的产沙量所致。刺槐林地小区中的有机碳含量最少,这是因为刺槐林地的产沙量最少。

从表3中还可以看出,随泥沙流失的有机碳要大于随径流流失的有机碳,说明土壤有机碳流失主要以泥沙为载体被带走,随径流被带走的只是很少的一部分。

### 3 结论

(1)不同土地利用方式下产流大小关系为:坡耕地>刈割草地>草地>刈割灌木>灌木>刺槐林地。说明产流量与植被覆盖度呈负相关关系。

(2)不同土地利用方式下的产沙大小关系为:坡耕地>草地>灌木>刺槐林地,其中经过刈割处理前后的草灌径流小区产沙比例差异极为显著,说明处于

植被演替初级阶段的近地表层草地植被减沙效益显著,但生态功能仍然比较脆弱,是需要进行封育保护的主要植被。

(3)不同土地利用方式下土壤有机碳含量表现趋势与产沙量趋势相同,并且不论哪种土地利用方式下,泥沙中的有机碳含量大于径流中有机碳的含量,说明土壤有机碳流失主要以泥沙为载体被带走,随径流被带走的只是很少的一部分。

#### 参考文献:

- [1] 韩士杰,董云社,蔡祖聪,等. 中国陆地生态系统碳循环的生物地球化学过程[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 彭文英,张科利,杨勤科. 退耕还林对黄土高原地区土壤有机碳影响预测[J]. 地域开发与研究,2006,25(3):94-99.
- [3] 刘秉正,吴发启. 土壤侵蚀[M]. 西安:陕西人民出版社,1996.
- [4] 赵护兵,刘国彬,曹玉清. 黄土丘陵不同植被类型对水土流失的影响[J]. 水土保持研究,2004,11(2):153-155.
- [5] 贾伟松,贺秀斌,陈云明,等. 黄土丘陵区土壤侵蚀对土壤有机碳流失的影响[J]. 水土保持研究,2004,11(4):88-90.
- [6] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(12):292-296.
- [7] 马玉红,郭胜利,杨雨林,等. 植被类型对黄土丘陵区流域土壤有机碳氮的影响[J]. 自然资源学报,2007,22(1):97-105.
- [8] 沈玉芳,高明霞,吴永红. 黄土高原不同植被类型与降水因子对土壤侵蚀的影响研究[J]. 水土保持研究,2003,10(2):13-17.
- [9] 高军侠. 黄土高原南部裸露坡耕地产流产沙试验研究[J]. 生态学杂志,2004,23(3):138-140.
- [10] 李克让,王绍强,曹明奎. 中国植被和土壤碳储量[J]. 中国科学,2003,33(1):72-80.
- [11] Larson W E, Piece F J, Dowdy R H. The threat of soil erosion to long-term crop production [J]. Science, 1983,219:458-465.
- [12] Ras Mussen P E, All Maras R R, Roager Jr N C, et al. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system[J]. Soil Science Society of American Journal,1980,44:595-600.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.