

文章编号: 1000-5692(2005)05-0490-05

黄土高原沟壑区梁坡地土壤有机碳质量分数与土地利用方式的响应

刘守赞^{1,2}, 郭胜利², 白岩¹

(1. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过对比分析陕西省王东沟流域梁坡地上农地、果园、人工林地、草地和苜蓿 *Medicago sativa* 地土壤有机碳质量分数及其在土壤剖面上分布差异, 研究土地利用方式对土壤有机碳的影响。结果表明: 果园土壤有机碳质量分数比农地低 2.2%, 人工林地、草地和苜蓿地分别比农地高 25.3%, 17.1% 和 11.6%; 土壤有机碳质量分数在土壤剖面上随着土层的加深而降低, 不同土地利用方式下土壤有机碳在剖面上的分布特征不同。不同土地利用方式下, 土壤全氮与土壤有机碳存在极显著相关关系。图 1 表 3 参 16

关键词: 土壤学; 黄土高原沟壑区; 梁坡; 土壤有机碳; 土地利用方式

中图分类号: S153.6 **文献标识码:** A

黄土高原地区是世界水土流失最严重的地区之一, 水土流失面积约为 $5.0 \times 10^4 \text{ km}^2$, 侵蚀模数大于 $5000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的严重水土流失区共计 $1.45 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[1~3]。长期严重的土壤侵蚀使得该地区土壤有机质质量分数平均不足 $10.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤有机碳 (soil organic C, SOC) 密度平均为 $2.49 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ^[4], 处于全国 $(10.53 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2})$ ^[5] 最低水平。沟壑区是黄土高原两大地貌类型之一, 其中, 梁坡地约占沟壑区土地面积的 30% 左右, 是黄土高原沟壑区防治水土流失重点的所在。早在 20 世纪五六十年代, 当地群众就在部分梁坡实施了植树造林治理水土流失的措施, 80 年代以来坡地果园开发建设, 90 年代退耕还林还草等一系列植被恢复和建设措施显著地遏制了当地严重的水土流失, 土地利用方式也因此发生了大规模的变化。土地利用方式改变可以引起许多自然现象和生态过程的改变, 如土壤养分和水分的变化, 地表径流与侵蚀, 生物地球化学循环等^[6,7]。对于黄土高原典型地区以治理水土流失为目的的土地利用方式的转变对生态环境效益影响的研究, 主要集中在土壤侵蚀、水土保持功能和土壤物理、水分及环境方面^[8~12], 而对黄土高原地区综合治理后 SOC、土壤全氮 (total soil N, TSN) 的空间变异还缺少报道。本文以高原沟壑区王东沟小流域为单元, 研究梁坡地不同土地利用方式下 SOC 和 TSN 的质量分数及其分布特征, 探索以转变土地利用方式为手段的生态环境建设对 SOC 演变的影响, 为客观评价黄土高原地区生态环境建设对该区和全球的环境变化的影响提供理论依据。

1 研究流域概况

王东沟小流域位于陕西省长武县王东村 ($35^{\circ}12'16'' \sim 35^{\circ}16'00''\text{N}$, $107^{\circ}40'30'' \sim 107^{\circ}42'30''\text{E}$), 土地

收稿日期: 2005-05-16; 修回日期: 2005-07-06

基金项目: 中国科学院知识创新重要方向项目 (KZCX3-SW-421); 中国科学院与中共中央组织部“西部之光”项目 (2004-2006); 陕西省自然科学基金资助项目

作者简介: 刘守赞, 硕士, 从事土壤生态与碳氮循环模拟等研究。E-mail: liuzans@126.com

面积 8.3 km², 塬、梁、沟各占土地面积的 1/3, 沟壑密度为 2.78 条·km⁻², 为黄土高原沟壑区的典型代表。该流域气候温和湿润, 年均气温为 9.1 °C, 年平均降水量 584.0 mm; 土壤是以深厚的中壤质马兰黄土为母质的黑垆土(分布于塬面)和黄绵土(分布于梁坡)为主; 流域内共有 3 条长梁(尚家梁、范家梁和马家山), 梁的横断面普遍呈现古代沟谷与现代沟谷组成的“谷中谷”地形, 典型地段从上到下顺序为梁顶、梁坡、台坪、沟坡和沟床。梁顶与沟床的高差, 上游为 190 m, 下游为 160 m, 梁的上下端高差为 80~90 m, 纵坡降 2°~3°, 梁坡坡度为 25°~35°。梁坡土壤侵蚀严重, 为水土流失的主要治理地段。经过“六五”“七五”期间大规模综合治理, 目前的土地利用方式主要为人工林地、果园、农地和草地等。

2 研究方法

2.1 表层土壤样品采集

表层土壤样品的采集采用大密度采样方法。在 3 个梁顶分别设 2 条样带, 结合 GPS 间隔 100 m 左右设置样点; 坡面结合 GPS 从坡顶到沟缘线间隔 40 m 左右设置 1 个样点, 采集 0~20 cm 表层土壤。同时考虑地形部位、植被和水土流失等因素, 共采集 251 个土样。将采集的土样风干, 磨细过筛后, 测定土壤 SOC 和 TSN。

2.2 剖面土壤样品采集

在不同土地利用方式下, 采集 0~200 cm 土层样品(3 次重复), 用直径为 3 cm 的土钻, 土壤原位取出后分成 10 层(每层为 20 cm)。将采集的土样风干, 磨细过筛后, 测定 SOC 和 TSN。

2.3 数据分析

用单因素方差分析(ANOVA)和最小差异显著法(LSD)对不同土地利用方式下 SOC 的特征值进行比较, 用相关分析描述 SOC 和 TSN 之间的关系。

3 结果与分析

3.1 土壤有机碳质量分数与土地利用方式的响应

表 1 统计分析显示, 王东沟流域梁坡地 0~20 cm 土层 SOC 质量分数为 2.71~15.97 g·kg⁻¹; 不同土地利用方式下 SOC 质量分数的变异系数范围为 12.7%~42.5%, 均属于中等变异程度。SOC 质量分数最大值与最小值差异最小的土地利用方式是苜蓿 *Medicago sativa* 地(极差为 3.71 g·kg⁻¹), 差异最大的是草地(极差为 13.26 g·kg⁻¹)。

梁坡地不同土地利用方式 SOC 平均质量分数从高到低依次为: 人工林地>草地>苜蓿地>农地>果园。农地是梁坡传统的利用方式, SOC 质量分数平均值为 6.40 g·kg⁻¹; 果园 SOC 质量分数比农地低 2.2%, 两者之间差异不显著; 人工林地 SOC 质量分数最高(7.98 g·kg⁻¹), 比农

表 1 王东沟小流域梁坡不同土地利用方式下表层土壤有机碳

Table 1 Soil organic C (0–20 cm) under land types in Wangdonggou Watershed

土地利用	样本数	质量分数/(g·kg ⁻¹)			标准差	变异系数/%
		最小值	最大值	均值		
人工林地	71	4.76	14.41	7.98 ^{aA}	1.89	23.8
草地	21	2.71	15.97	7.46 ^{aA}	3.17	42.5
苜蓿地	10	5.00	8.71	7.11 ^{abAB}	0.71	12.7
农地	38	3.95	8.68	6.40 ^{bB}	0.96	14.4
果园	110	3.68	11.86	6.20 ^{bB}	0.89	16.7

说明: 多重比较采用最小显著差数法, 小写字母代表 0.05 显著水平, 大写字母代表 0.01 显著水平, 标有相同字母者差异不显著。

表 2 王东沟小流域梁坡不同土地利用方式下表层土壤全氮质量分数

Table 2 Total soil N (0–20 cm) under land use types in Wangdonggou Watershed

土地利用	样本数	质量分数/(g·kg ⁻¹)			标准差	变异系数/%
		最小值	最大值	均值		
人工林地	71	0.55	0.90	0.85	0.18	20.7
草地	21	0.34	1.64	0.82	0.31	38.4
苜蓿地	10	0.53	0.92	0.70	0.15	19.8
农地	38	0.57	1.08	0.77	0.12	15.8
果园	110	0.40	1.15	0.77	0.12	15.9

地高 25.3%，两者之间差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)；草地 SOC 平均质量分数差异显著 ($P < 0.05$)，高于农地土壤 17.1%，但未达到极显著水平 ($P < 0.01$)；苜蓿地 SOC 质量分数比农地高 11.6%，两者之间差异未达到显著水平 ($P < 0.05$)。表明在梁坡农地转变为林地和草地可以提高 SOC 的质量分数，原因是农地变成林地和草地后增加了土壤有机物质的输入量，土壤有机质的稳定性增强以及影响 SOC 分解的环境条件的改变。

表 2 显示，王东沟流域梁坡地 0~20 cm 土层 TSN 的质量分数为 0.34~1.64 g·kg⁻¹；不同土地利用方式下 TSN 质量分数的变异系数范围介于 15.8%~38.4%，均属于中等变异程度。

3.2 土地利用方式对 C/N 及碳氮相关性的影响

土壤碳氮比 (C/N) 的高低对土壤微生物的活动能力有一定促进或限制作用，当土壤氮素增加时，可以促进微生物的活动，提高土壤有机质的分解速率。从表 3 中可以看出，土地利用方式对 C/N 有一定影响，其中人工林地、草地和苜蓿地的 C/N 比均在 9.0 以上，农地和果园 C/N

表 3 王东沟流域不同土地利用方式下 C/N 和相关系数

Table 3 Correlation between SOC and TSN under land use types in Wangdonggou Watershed

土地利用	样本数	C/N	碳氮相关系数
人工林地	71	9.4±0.68	0.932**
草地	21	9.2±0.56	0.989**
苜蓿地	10	9.7±0.75	0.850**
农地	38	8.3±0.73	0.734**
果园	110	8.1±0.75	0.832**

比较低，平均值分别为 8.3 和 8.1。回归分析表明 (表 3)，不同土地利用方式下 SOC 和 TSN 存在极显著的相关关系，相关系数草地最大，其他从高到低依次为人工林地、苜蓿地、果园和农地。

3.3 土壤有机碳的垂直分布特征与土地利用方式的响应

梁坡地不同土地利用方式下 SOC 质量分数呈现随着土层的增加而逐渐降低的趋势 (图 1)，在 0~60 cm 土层内下降幅度较大，在 60 cm 以下 SOC 质量分数下降幅度不大，稳定在 2.70 g·kg⁻¹ 水平左右。不同土地利用方式下 SOC 的下降幅度有所不同，人工刺槐 *Robinia pseudoacacia* 林、草地、20 年生果园、10 年生果园、农地和苜蓿地 20~40 cm 土层分别比表层 0~20 cm 分别降低 42.6%，39.3%，24.7%，11.5%，14.8% 和 17.9%；40~60 cm 土层分别比表层分别降低了 62.8%，67.1%，37.1%，9.6%，32.8% 和 46.4%；60~80 cm 土层分别比表层分别降低了 66.4%，71.1%，41.1%，45.8%，31.1% 和 62.2%。其中果园和农地降低幅度最小，主要是由于施肥和全园深翻，造成上下层土壤混合，SOC 质量分数差异不大。人工刺槐林地 SOC 质量分数降低幅度最大，这主要是由于林地 SOC 主要是来自地表的枯枝落叶，一般在地表就已经分解。

4 结论与讨论

土地利用方式不同，SOC 质量分数有所差异。本研究中梁坡地不同土地利用方式下的 SOC 质量分数表现方式为人工林地 > 草地 > 苜蓿地 > 农地 > 果园。可见，在黄土高原沟壑区退耕还林还草可以提高 SOC 的质量分数。Lugo 等^[13] 总结发现造林后 SOC 质量分数增加 100% 以上，Wilde^[14] 发现农地转变为林地 50 a 后，0~15 cm 土层的 SOC 质量分数增加 300%~400%，吴建国等^[15,16] 研究六盘山不同土地利用方式下 SOC 质量分数发现，人工林地 0~40 cm SOC 质量分数比农地高 75%~350%。这些均比本研究结果高，这主要是由于该流域林龄较低，且梁坡地水分条件较差，林木生长缓慢造成的。在本研究中，自 20 世纪 80 年代以来，以果园建设为主导的梁坡地开发尽管显著提高了土壤生产力，但 SOC 并没有得到积累反而显著降低。造成这种现象的原因与果园管理方式有关，果园土壤每年全园深翻，土地疏松，SOC 易于矿化分解；其次果品和果树修剪的大量枝叶 (或落叶) 被移出果园导致向土壤中输入的有机物减少。因此，坡地果园建设尽管大幅度提高了土壤的生产力，果业开发已成为当地的支柱产业，但果园的管理方式不利于 SOC 的积累。

农地和果园随土层的加深 SOC 降低幅度小于其他利用方式，这主要是因为农业的耕作措施、果园的深翻施肥，搅动了土体，使上下层土壤混合，减小了 SOC 质量分数之间的差异。农地和果园 C/

N 比较其他土地利用方式小, 主要是由于农地和果园每年施用化肥, 促进土壤中氮素积累造成的。

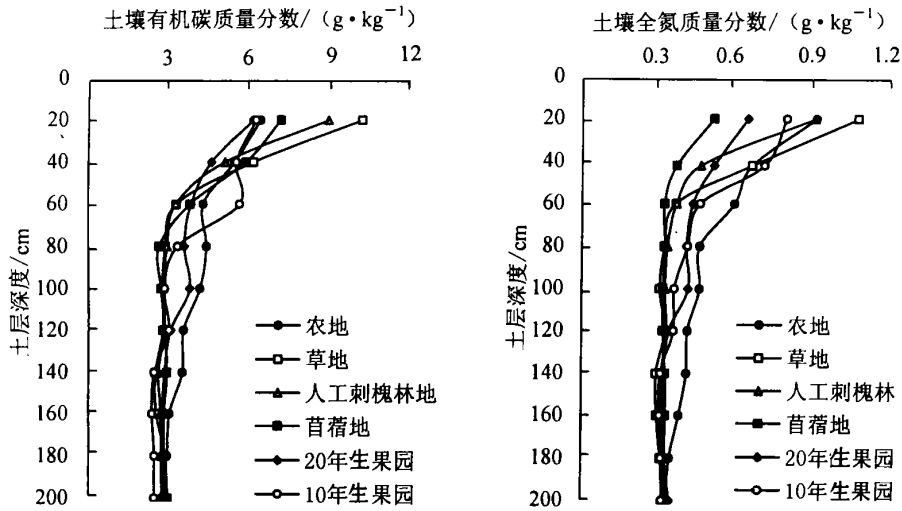


图 1 不同土地利用方式下土壤有机碳和全氮的垂直分布特征

Figure 1 Distribution of SOC and TSN in the soil profile (0–200 cm) under landuse types

综上所述, 在黄土高原沟壑区梁坡地上不同土地利用方式下 SOC 存在较大差异, 农地退耕还林还草后 SOC 质量分数显著增加, 农地改建果园 SOC 质量分数虽然下降, 但具有较高的经济效益和景观生态效益。因此, 在今后的黄土高原综合治理过程中, 在保证粮食生产的基础上, 应加大梁坡地退耕还林还草力度, 扩大果园种植面积, 实现生态与经济效益双赢。

参考文献:

- [1] 余存祖. 黄土高原地区土壤养分资源与分区[A]. 王恒俊, 张淑光. 黄土高原地区土壤资源及其合理利用[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 155–204.
- [2] 李香兰, 刘玉民. 西北黄土地区土壤腐殖质的研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 298–304.
- [3] 徐香兰, 张科利, 徐宪立, 等. 黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 13–15.
- [4] 王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 553–544.
- [5] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 427–432.
- [6] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241–246.
- [7] 王绍强, 许鹏, 周成虎. 土地覆被变化对陆地碳循环的影响——以黄河三角洲河口地区为例[J]. 遥感学报, 2001, 5(2): 142–149.
- [8] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 226–231.
- [9] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区小流域水分环境演变研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(4): 411–414.
- [10] 王红闪, 黄明斌, 张檀. 黄土高原植被重建对小流域水循环的影响[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 344–350.
- [11] 何福红, 黄明斌, 党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤干层的分布特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 30–36.
- [12] 郭胜利, 郝明德, 党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的积累特征及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 37–43.
- [13] Lugo A E, Sanchez A J, Browns S. Landuse and organic carbon content of some subtropical soils[J]. *Plant and Soil*, 1986, 96: 185–196.
- [14] Wilde S A. Change in soil productivity induced by pine plantations[J]. *Soil Sci*, 1964, 97: 276–278.
- [15] 吴建国, 张小全, 徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式下土壤活性有机碳的比较[J]. 植物生态学报, 2004, 28(5): 657–664.
- [16] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳储量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 593–599.

Changes in soil organic carbon under different land use types in slope land in gully region of Loess Plateau

LIU Shou-zan^{1,2}, GUO Sheng-li², BAI Yan¹

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Yangling 712100, Shanxi, China)

Abstract: Soil erosion is serious in the Loess Plateau and soil organic carbon (SOC) in this area is lower than the average in China. SOC is a large component of the global carbon cycle and an important index to evaluate soil quality. In order to understand impact of vegetation on SOC at slope of Wangdonggou Watershed in Gully Region of Loess Plateau, SOC level and distribution characteristic along a slope under vegetation types were investigated. Through comparing the concentration of SOC and its distribution in soil profiles under crop land, orchard, forest land, grass land and clover land, the results demonstrated that compared with crop land, SOC content increased by 25.3%, 17.1% and 11.6% for forest land, grass land, clover land and decreased by 2.2% for orchard. The SOC content and the distribution in soil profile would change with the change of land use types in slope land in gully region of Loess Plateau. In addition, there was a significantly correlation between TSN and SOC. [Ch, 1 fig, 3 tab, 16 ref.]

Key words: soil science; Gully Region of Loess Plateau; slope; soil organic carbon; land use types

《浙江林学院学报》改出双月刊 和 2006 年征订启事

经浙江省科学技术厅批准,浙江省新闻出版局登记备案,《浙江林学院学报》从 2005 年第 3 期起由季刊改为双月刊。A4 开本,双月出版,公开发行。

刊期变更后的《浙江林学院学报》仍坚持原有的办刊宗旨,主要刊登林学基础学科、森林培育学、森林经营学、经济林学、林业工程、森林保护学、林木遗传育种学、森林生物学、森林动物学、生态学、水土保持学、生物技术、园林学和园艺学等学科的学术论文、科研报告和研究简报等,供农林科技工作者、园林绿化和规划设计人员、环保工作者、大专院校师生、基层干部、农林科技专业户及科技信息人员参阅。

《浙江林学院学报》是我国重要农林科技期刊之一。多年来,作者和读者对《浙江林学院学报》给予了热情的支持和厚爱,许多专家学者为《浙江林学院学报》的成长付出了辛勤的劳动,在此致以诚挚的谢意!改为双月刊后,《浙江林学院学报》将进一步增加信息量,缩短出版时滞,更好地为我国的林业、生态环境建设和现代化事业服务,做广大科技人员和决策者的良师益友。

2006 年《浙江林学院学报》定价 10.00 元·期⁻¹,全年 60.00 元。国内订户请向全国非邮发报刊联合发行部订阅。地址:天津市大寺泉集北里别墅 17 号。邮政编码:300381。电话:022-23973378。E-mail: IHZD@public.tpt.tj.cn。也可直接向浙江林学院学报编辑部汇款订购。邮汇:浙江临安环城北路浙江林学院学报编辑部。邮政编码:311300。电话:0571-63732749。E-mail: zlx@zjfc.edu.cn。银行汇款:建行临安市支行营业部。账号:330617335010022304266。户名:浙江林学院。国外读者请向中国出版对外贸易总公司办理。地址:北京 782 信箱;邮政编码:100011。

欢迎订阅, 欢迎投稿。