

土地利用方式对东祁连山土壤表层有机碳的影响

赵锦梅¹, 刘长仲², 张德罡²

(1. 甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 在祁连山东段高寒地区, 选取天然草地、退耕自然恢复地、坡耕地和人工草地4种土地利用方式, 研究了土地利用方式对土壤表层有机碳含量和有机碳密度的影响。结果表明: 在4种土地利用方式中天然草地土壤表层有机碳含量最高, 坡耕地和退耕自然恢复地土壤表层有机碳含量较低; 土壤表层有机碳密度整体上随着土层加深而逐渐降低, 在0~30 cm土层土壤有机碳密度表现为天然草地(15.81 kg/m²) > 人工草地(7.56 kg/m²) > 坡耕地(6.08 kg/m²) > 退耕自然恢复地(5.48 kg/m²)。研究表明, 土地利用方式对土壤表层有机碳含量和有机碳密度有显著影响($P < 0.05$)。

关键词: 有机碳; 土壤表层; 土地利用方式; 祁连山东段

中图分类号: 153.6⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0082-04

土壤有机碳是陆地生态系统碳循环过程中最大的有机碳库^[1], 据估算在地表土壤中大约含有2 500 Pg的碳, 其中1 550 Pg为土壤有机碳库^[2]。土壤巨大的有机碳库其微小变化将影响大气CO₂的浓度, 并直接影响陆地生态系统乃至全球的碳循环^[3-5]。鉴于此, 土壤有机碳已成为研究全球碳循环的热点问题之一^[6-7]。研究表明, 影响土壤有机碳的因素有自然因素和人为因素, 但在自然条件基本相同的情况下, 土地利用方式是影响土壤有机碳的主要人为因素^[8-9], 其对土壤有机碳库动态的影响是不容忽视的, 因此研究土地利用方式对土壤有机碳的影响对准确掌握土壤碳积累及汇/源功能转换特征有着重要的意义^[10-11]。

青藏高原海拔高和温度低的特殊地理和气候特征^[12], 使该区域的植被和土壤对全球气候变化反应极为敏感, 在全球变化研究中占有特殊地位, 是众多科学工作者所关注的热点地区之一^[13]。近年来该区域由于诸多不合理的土地利用, 导致区内土壤严重退化, 雪线逐年上升, 草地面积锐减等生态环境问题日益凸显。因此, 为了更准确掌握该区域不同土地利用方式作用下表层土壤有机碳空间分布特征和土地利用方式对土壤碳积累及汇/源功能的影响, 本研究选取了位于青藏高原最东缘的祁连山东段的高寒地区, 期望通过本研究为准确评估青藏高原东段生态脆弱带土壤表层有机碳的空间分布特征和研究不同土地利用下高寒地区土壤生态系统有机碳库组成、储量及动态变化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于祁连山东段的天祝金强河河谷(102°40'~102°47'E, 37°11'~37°14'N), 海拔2 900~4 300 m。该区属大陆性高原季风气候, 气候寒冷潮湿, 年均温-0.1℃, 月平均最低温-18.3℃(1月), 最高温12.7℃(7月), >0℃积温1 380℃; 年日照时数2 600 h; 降雨多为地形雨, 集中于7、8、9月; 年均降水量416 mm, 年均蒸发量1 592 mm, 为降水量的3.8倍; 水热同期, 气温变化大, 无绝对无霜期, 仅分冷热两季; 区内土层较薄, 厚约40~80 cm, 土壤从河漫滩、阶地至高山依次为亚高山草甸土、亚高山黑钙土、亚高山栗钙土、亚高山灌丛草甸土、高山灌丛草甸土。

1.2 试验地设置

根据试验区主要土地利用格局和变化, 同时在充分考虑海拔、坡度等相对一致的情况下, 选取了退耕自然恢复地、坡耕地、人工草地和天然草地4种土地利用方式地(表1)。退耕自然恢复地是于2005年退耕, 退耕后围栏采取自然封育恢复; 坡耕地种植当地传统作物燕麦(*Avena sativa*); 人工草地是在退耕地内撒播中华羊茅(*Festuca sinensis*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和无芒雀麦(*Bromus inermis*)等多年生草; 天然草地为寒潮湿型草地, 草地主要放牧牦牛和藏羊, 放牧率在4.8头/hm²左右。

收稿日期: 2011-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(30960082)资助

作者简介: 赵锦梅(1978—), 女, 甘肃天水人, 副教授, 博士, 主要从事水土保持与荒漠化研究。E-mail: zhaojm@gsau.edu.cn。

通讯作者: 刘长仲, 教授, 博士生导师, 主要从事草业生态研究。E-mail: liuchzh@gsau.edu.cn。

表 1 样地的基本情况
Table 1 General information of sample land

土地利用类型 Land used pattern	海拔 Altitude (m)	坡向 Aspect	坡度 Slope (°)	容重 Bulk density (g/cm ³)	植被总盖度 Total vegetation coverage (%)
退耕自然恢复地 Naturally restored abandoned cropland	2911	阳坡 Sunny	20	1.10	56
坡耕地 Slope cropland	2911	阳坡 Sunny	16	1.01	91
人工草地 Sown grassland	2911	阳坡 Sunny	17	1.06	80
天然草地 Natural grassland	2924	阳坡 Sunny	18	0.78	96

1.3 样品的采集及分析

于 2010 年 9 月在各个样地各随机选取 6 个面积为 1 m × 1 m 的样方,用土钻分别采集 0 ~ 10、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 共 3 层的土壤样品,每层 3 次重复,对同一样地采集的同土层土壤进行混合,制成混合土样,同时测定土壤容重。将采集的土样用布袋密封带回实验室,用于土壤有机碳的测定。土壤有机碳含量采用重铬酸钾-外加热法测定^[14]。

1.4 土壤有机碳密度的计算

土壤有机碳密度是指单位面积一定深度的土层中有机碳的贮量,本文利用以下公式分别计算某一土层和一定剖面深度的有机碳密度^[15]。

某一土层有机碳密度的计算公式为:

$$SOC_i = C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i)/100$$

式中, SOC_i 表示 i 层土壤中有机碳的总量,即有机碳密度(kg/m²); C_i 为第 i 层土壤有机碳含量(g/kg); D_i 为第 i 层土壤容重(g/cm³); E_i 为第 i 个土层的厚度(m); G_i 为直径 ≥ 2 mm 的石砾所占的体积百分比(%)。

一定剖面深度的 SOC 计算公式为:

$$SOC = \sum_{i=1}^n C_i \times D_i \times E_i (1 - G_i)/100$$

式中, SOC 为一定剖面深度土壤中有有机碳密度(kg/m²); n 为土层数,本研究中 $n = 3$ 。

1.5 统计分析

对所测定的数据利用 Excel 和 SPSS10.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤表层有机碳含量变化

从表 2 可知,研究区 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 土壤有机碳含量分别为 34.168、31.760 g/kg 和 30.102 g/kg,可见随土层深度增加土壤有机碳含量逐渐递减。不同土地利用方式样地土壤有机碳含量表现为:天然草地(67.540 g/kg) > 人工草地(23.799 g/kg) > 坡耕地(20.146 g/kg) > 退耕自然恢复地(16.560 g/kg)。统计分析表明,不同土地利用方式样地土壤有机碳含量差异显著($P < 0.05$),说明土地利用方式对土壤表层有机碳含量有显著影响。

表 2 不同土地利用方式下土壤表层有机碳含量的变化(g/kg)
Table 2 Content of organic carbon in surface soil under different land use patterns

土地利用类型 Land use pattern	土层 Soil depth(cm)		
	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30
退耕自然恢复地 Naturally restored abandoned cropland	18.984 ± 0.228d	16.204 ± 0.477d	14.478 ± 1.060d
坡耕地 Slope cropland	23.102 ± 0.709c	20.025 ± 1.157c	17.311 ± 0.416c
人工草地 Sown grassland	26.220 ± 0.738b	23.166 ± 0.461b	22.011 ± 0.069b
天然草地 Natural grassland	68.366 ± 0.091a	67.645 ± 0.670a	66.608 ± 0.833a

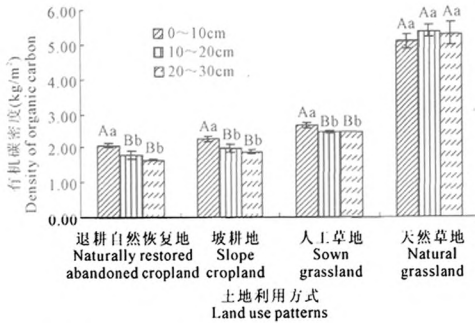
注:同列数据标有不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著($P < 0.05$)。
Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at the 5% level ($P < 0.05$).

2.2 不同土地利用方式下土壤表层垂直剖面有机碳密度的变化

研究区土壤表层 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 有机碳密度分别分布在 2.070 ~ 5.096 kg/m²、1.768 ~ 5.392 kg/m² 和 1.639 ~ 5.318 kg/m² 之间,总体来看有机碳密度在土壤垂直剖面上呈现出随土

壤深度增加有机碳密度逐渐下降的变化趋势(图 1)。受不同土地利用方式的影响,研究区不同土地利用方式样地土壤表层有机碳密度在垂直剖面表现出不同的变化规律。除天然草地外,退耕自然恢复地、坡耕地和人工草地 3 类土地利用方式样地土壤表层有机碳密度随着土层加深而逐渐减低,且

此 3 类样地 0~10 cm 土层有机碳密度与其余土层差异极显著 ($P < 0.01$)。天然草地土壤表层有机碳密度表现为先增大后减小的变化趋势,其有机碳密度在 0~10 cm 土层最小 (5.096 kg/m^2), 10~20 cm 土层最大 (5.392 kg/m^2), 但其各土层有机碳密度差异未达显著水平。



注: 标有不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著 ($P < 0.05$), 标有不同大写字母表示在 1% 水平上差异显著 ($P < 0.01$), 下同。

Note: Different small letters indicate significant difference at the 5% level ($P < 0.05$), different capital letters indicate significant difference at the 1% level ($P < 0.01$). The same as below.

图 1 不同土层土壤有机碳密度变化

Fig.1 Density of organic carbon in different soil layers

2.3 不同土地利用方式下 0~30 cm 土层土壤有机碳密度的变化

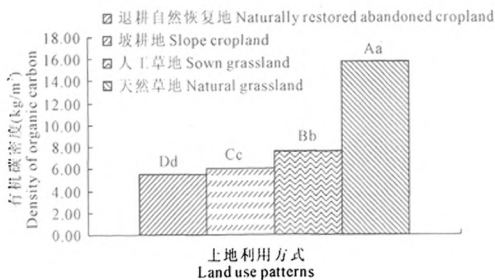


图 2 不同土地利用方式 0~30 cm 土层土壤有机碳密度的变化

Fig.2 Density of organic carbon in 0~30 cm soil layers under different land use patterns

从图 2 看出,在 4 种土地利用方式中,0~30 cm 土层土壤有机碳密度天然草地最高 (15.81 kg/m^2); 退耕自然恢复地最低 (5.48 kg/m^2), 后者较前者降低了 65.34%; 人工草地和坡耕地土壤有机碳密度分别为 7.56 kg/m^2 和 6.08 kg/m^2 , 二者分别比天然草地降低了 52.18% 和 61.54%。统计分析表明,土地利用方式对 0~30 cm 土壤表层有机碳密度有极显著的影响 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 土地利用方式对土壤有机碳含量的影响

土壤有机碳含量主要决定于植被每年的归还量和分解速率,归还量大、分解速率缓慢会让土壤积累较多的有机碳^[16]。天然草地植被盖度大,地下根系分布密集,可向土壤中输入大量的碳,同时在寒冷的气候条件下天然草地土壤中微生物的生命活动受到了强烈抑制,致使大量土壤有机残体难以分解,转化而逐渐积累^[17],从而逐渐形成了天然草地土壤表层有机碳含量高的特征。坡耕地有机碳含量低,原因主要在于作物收获后将秸秆移出耕地,导致耕地土壤有机碳的补充较少;同时农业耕种对土壤干扰频繁,传统的耕作方式破坏了土壤结构,使土壤有机碳暴露于空气中,加速了土壤有机碳的分解^[18],最终导致坡耕地土壤有机碳含量较低。退耕自然恢复地土壤性状和植被恢复效果均不显著,这严重影响了有机碳在土壤中的累积和分布,导致退耕地土壤有机碳含量最低的变化规律,这与他人的研究相似^[19]。研究同时发现人工草地土壤表层有机碳含量也较高,说明在高寒地区通过人为的种草措施也可显著地提高和改善土壤的有机碳贮存能力,也说明人类活动的干扰也有着其积极的方面,适当的人为干扰有利于土壤对有机碳的截存,可加快退耕地的生态恢复进程,缩短恢复时间。

3.2 土层和土地利用方式对土壤有机碳密度的影响

土层变化对土壤有机碳密度的影响与土壤根系含量随深度的分布特征密切相关^[20]。研究表明,土壤根系含量随深度增加逐渐减少^[21],因此研究区土层变化对土壤有机碳密度的影响主要是由于不同土层土壤中植物根系分布密集和植被凋落物在地表集聚程度的直接作用结果造成的,这与众多研究结果一致^[22-23]。同时研究发现,天然草地地表 0~10 cm 土层有机碳密度低于深层土壤的变化,分析认为放牧会对土壤有机碳密度分布产生重要的影响^[24],因此放牧干扰加速了天然草地 0~10 cm 土层土壤有机质的分解,使部分土壤有机碳流失,形成了天然草地土壤表层有机碳密度先增大后减小的变化趋势。本研究对不同土地利用方式下 0~30 cm 土壤有机碳密度的研究表明,土地利用方式对土壤表层有机碳蓄积有显著影响,其途径主要是通过对土壤有机碳含量的影响而实现的。

4 结论

土地利用方式对高寒地区土壤表层有机碳含量

和有机碳密度有显著影响。总体来说,天然草地在表层土壤有机碳蓄积能力方面表现出了最好的效果;退耕自然恢复地由于恢复效果不显著,因此其土壤表层有机碳蓄积能力仍然较差;坡耕地土壤表层有机碳蓄积能力受人为耕作干扰严重,有机碳蓄积能力也较差;而人工草地可显著提高和改善土壤有机碳贮存能力。

参考文献:

- [1] Schlesinger W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soil[J]. *Nature*, 1990, 348(15):232-234.
- [2] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304(5677):1623-1627.
- [3] Eswaran S H, Evert D B, Reich P. Organic carbon in soils of the world[J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1993, 57:193-194.
- [4] 苏永中,赵哈林.土壤有机碳储量、影响因素及其环境效应的研究进展[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(3):220-228.
- [5] 苏永红,冯起,朱高峰,等.土壤呼吸与测定方法研究进展[J]. *中国沙漠*, 2006, 28(1):57-65.
- [6] 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):534-545.
- [7] 张鹏,陈年来,张涛.黑河上游山地青海云杉林土壤有机碳特征及其影响因素[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(3):445-450.
- [8] 乔有明,王振群,段中华.青海湖北岸土地利用方式对土壤碳氮含量的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(6):105-112.
- [9] 王艳芬,陈佐忠, Larry T. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(6):545-551.
- [10] 孙文义,郭胜利,宋小燕.地形和土地利用对黄土丘陵沟壑区表层土壤有机碳空间分布影响[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(3):443-453.
- [11] 王晶,张仁陟,李爱宗.耕作方式对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(6):8-12.
- [12] 张德铨,李炳元,郑度.论青藏高原范围与面积[J]. *地理研究*, 2002, 21(1):1-8.
- [13] 田玉强,欧阳华,徐兴良,等.青藏高原土壤有机碳储量与密度分布[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5):933-942.
- [14] 南京农业大学.土壤农化分析[M].第二版.北京:农业出版社,1988.
- [15] 杨晓梅,程积民,孟蕾,等.黄土高原森林草原区土壤有机碳库研究[J]. *草业科学*, 2010, 27(2):18-23.
- [16] 徐秋芳,徐建明,姜培坤.集约经营毛竹林土壤活性有机碳库研究[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(4):15-17.
- [17] 杨红普,那巴特尔,周学辉,等.不同放牧强度对南北高寒草原土壤肥力的影响[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(1):150-153.
- [18] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [19] 王俊明,张兴昌.退耕草地演替过程中的碳储量变化[J]. *草业学报*, 2009, 18(1):1-8.
- [20] 陶贞,沈承德,高全洲,等.高寒草甸土壤有机碳储量及其垂直分布特征[J]. *地理学报*, 2006, 61(7):720-727.
- [21] 赵锦梅,张德望,刘长仲,等.祁连山东段土地利用方式对植被地上、地下植物量的影响[J]. *草原与草坪*, 2010, 30(4):34-38.
- [22] 方晰,田大伦,项文化,等.杉木人工林土壤有机碳的垂直分布特征[J]. *浙江林学院学报*, 2004, 21(4):418-423.
- [23] 张于光,张小全,肖峰.米亚罗林区土地利用变化对土壤有机碳和微生物基碳的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(11):2030-2033.
- [24] 刘楠,张英俊.放牧对典型草原土壤有机碳及全氮的影响[J]. *草业科学*, 2010, 27(4):11-14.

Effect of different land use patterns on organic carbon in surface soil in eastern Qilian Mountains

ZHAO Jin-mei¹, LIU Chang-zhong², ZHANG De-gang²

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In alpine areas of eastern Qilian Mountains, four land use patterns, such as natural grassland, naturally restored abandoned cropland, slope cropland and sown grassland were selected to study the effect of different land use patterns on the content and density of organic carbon in surface soil. The results showed that the content of organic carbon in surface soil of the natural grassland was the highest, while that of the naturally restored abandoned cropland and slope cropland was the lowest; With the soil depth increased, the density of organic carbon in surface soil gradually reduced; In 0~30 cm soil layer, significant differences existed in the density of organic carbon in surface soil among 4 types of land use patterns ($P < 0.05$), the spatial distribution of the density of organic carbon in surface soil performed as natural grassland (15.81 kg/m^2) > sown grassland (7.56 kg/m^2) > slope cropland (6.08 kg/m^2) > naturally restored abandoned cropland (5.48 kg/m^2). All these indicated that land use patterns had significant effect on the content and density of organic carbon in surface soil.

Keywords: organic carbon; surface soil; land use pattern; eastern Qilian Mountains