

# 退化高寒草甸土壤有机碳分布特征及与土壤理化性质的关系

曹丽花<sup>1,2</sup>, 刘合满<sup>1</sup>, 赵世伟<sup>2</sup>

(1. 西藏农牧学院资源与环境系, 西藏 林芝 860000;

2. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**本研究对西藏当雄不同退化程度高寒草甸土壤有机碳分布特征及其与土壤理化性质演变进行分析, 结果表明, 土壤有机碳及有机碳密度均为正常草甸土壤 > 轻度退化草甸土壤 > 严重退化草甸土壤, 且 0~10 cm 土层中有机碳含量及其密度均高于 10~20 cm 土层土壤。回归分析表明, 土壤有机碳与土壤活性有机碳、土壤碱解氮、速效磷、速效钾及土壤含水量之间存在显著或极显著的正相关关系, 其决定系数  $R^2$  分别为 0.913 9、0.977 1、0.931 4、0.665 3 和 0.715 6, 直线回归方程分别为  $y=0.074 3x-0.026 1$ ,  $y=2.676 8x+14.425 0$ ,  $y=0.245 9x+3.347 9$ ,  $y=4.296 5x+71.667 0$ ,  $y=0.790 8x+5.424 5$ ; 而与土壤容重呈显著负相关关系 ( $y=-0.016 7x+1.553 1$ )。土壤有机碳的损失, 造成土壤养分和水分减少, 土壤容重增大。通径分析表明, 土壤有机碳的变化对碱解氮的影响最显著。

**关键词:** 土壤有机碳; 土壤有机碳密度; 高寒草甸土壤; 理化性质

**中图分类号:** S812.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-0629(2011)08-1411-05

\*<sup>1</sup> 草地生态系统是分布面积最广的陆地生态系统之一, 其面积占全球陆地面积的 1/2, 在全球陆地碳循环中起着极为重要的作用<sup>[1]</sup>。草地退化是指在不利因素影响下, 草地生态功能减退、生产能力下降、经济价值降低的过程<sup>[2]</sup>。

西藏有 8 206.7 万  $\text{hm}^2$  不同类型的草地, 草地总面积占全国的 33.2%, 其分布特点是, 全区 78.4% 的草地分布于高海拔的藏西北广大地区, 该区域又是荒漠或半荒漠、沙化、退化草地所占比例较大的区域<sup>[3]</sup>。且有研究表明<sup>[4]</sup>, 1990—2005 年, 西藏草地退化面积每年以 5%~10% 的速度扩大。据调查: 当雄县退化草地面积为 4.978 万  $\text{hm}^2$ , 占天然草地总面积的 7.2%, 其中轻度退化草地面积为 3.616  $\text{hm}^2$ , 占退化草地面积的 72.63%; 重度退化面积为 1.362 万  $\text{hm}^2$ , 占退化草地面积的 27.37%<sup>[5]</sup>。草地退化造成地上生物量下降, 减少了有机碳输入量; 部分高寒草甸甚至沙化, 使有机碳输出量增多, 最终使土壤有机碳含量降低。

在全球气候变暖和地方经济发展对草原的过度依赖背景下, 草原退化将会进一步加剧。草地退化不但对草原的可持续利用形成了很大的威胁, 而且对区域气候和生态的健康发展也产生了不利的影

响。近年来, 虽然对青藏高原草原生态系统的碳循环问题有一些相关文献报道<sup>[6-8]</sup>, 但基础资料仍十分缺乏。本研究对拉萨当雄县不同退化草甸土壤有机碳及养分相关性进行研究, 以期揭示高寒草甸土壤退化过程中有机碳及相关养分和环境的变化特点, 并为高寒草甸生态系统的退化程度诊断及恢复治理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

西藏当雄县地处藏北高原, 是拉萨市牧业重点县, 畜牧业是全县国民经济的支柱产业。平均海拔 4 200 m 以上, 地貌类型为高原山地。当雄县气候的主要特点是: 冬季寒冷、干燥, 夏季温暖湿润, 雨热同期, 干湿季分明, 天气变化大。年均温 1.3  $^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 456.8 mm, 年均蒸发量 1 725.7 mm, 年均日照时数 2 880.9 h, 年均太阳辐射总量 786.5  $\text{kJ}/\text{cm}^2$ ,  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  年积温 1 800  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ , 无霜期仅 62 d, 牧草生长期 90~120 d。地表温度平均为 5.9  $^{\circ}\text{C}$ , 11 月—翌年 3 月为土地冻结期, 全年八级以上风力天数平均达 17.8 d, 多发生在 12 月—翌

\* 收稿日期: 2011-02-18 接受日期: 2011-04-27  
基金项目: 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-249, 10501-292); 西藏农牧学院青年科研基金  
作者简介: 曹丽花(1980-), 女, 河南濮阳人, 讲师, 硕士, 主要从事土壤学、植物营养学方面的教学及研究。  
E-mail: clh-m@163.com  
通信作者: 赵世伟 E-mail: swzhao@ms.iswc.ac.cn

年3月。大雪、冰雹、霜冻、干旱、大风等自然灾害频繁。

**1.2 样品采集** 2010年4月于拉萨当雄县进行采样,其地理位置为 $30^{\circ}29.926' N, 90^{\circ}52.696' E$ ,海拔4247 m,草甸优势种群为藏蒿草(*Kobresia tibetica*),土壤类型为高寒草甸土。结合野外植被与土壤调查,按照张金屯<sup>[9]</sup>草地退化程度的划分标准(表1),在样区内分别选择正常草甸、轻度退化草甸和严重退化草甸3种草甸类型,每种退化类型分别选择3个样点,分别采集0~10、10~20 cm土层的混合土壤样品和环刀土,土壤样品自然风干,分别过0.25和1 mm筛孔以供测定。

表1 不同退化程度草地植被覆盖度及土壤状况

草地状态	植被覆盖度	土层状况
正常草甸	植被生长正常,植被覆盖度>95%	未见沙化
轻度退化草甸	植被覆盖度下降20%~35%,地表物明显减少	轻度沙化
严重退化草甸	植被覆盖度下降60%~85%,地表基本裸露	严重沙化

**1.3 测定项目与方法** 土壤活性有机碳用 $KMnO_4$ 氧化法测定,其操作步骤为:称取2.5 g土壤样品于100 mL塑料离心管中,加入25 mL浓度为333 mmol/L的 $KMnO_4$ 溶液,震荡1 h,然后在转速4000 r/min下离心5 min,将其上清液用去离子水以1:250液稀释后,在565 nm下测定吸光度,通过其与不加土壤的空白吸光度之差,计算出 $KMnO_4$ 浓度的变化,并进而计算出氧化的碳量<sup>[10-11]</sup>。

土壤有机质用重铬酸钾外加热法;土壤pH值采用水土比2.5:1.0酸度计法测定;土壤碱解氮用碱解扩散法测定;速效磷用 $NaHCO_3$ 提取,分光光度计测定;速效钾用1 mol/L醋酸铵提取,火焰光度计测定;土壤容重用环刀法;土壤含水量用烘干法测定<sup>[12]</sup>。

**1.4 数据处理** 采用Excel进行数据处理,利用DPS进行显著性分析和通径分析。

## 2 结果与分析

**2.1 高寒草甸土壤有机碳及其密度变化** 在0~10和10~20 cm土壤层中高寒草甸土壤有机碳含量和有机碳密度的分布特点均表现为:正常草甸>轻度退化草甸>严重退化草甸,且0~10 cm土层中有机碳含量和有机碳密度均高于相对应的10~20 cm土层(图1)。其原因是草地退化后,地上生物量降低了,从而也减少了有机碳的输入量。在0~10 cm土层中,土壤正常状态下有机碳的含量达到55.98 g/kg,比轻度退化和严重退化草甸土壤有机碳分别高出37.93%和368.2%;10~20 cm土层中,正常状态下土壤有机碳含量比轻度退化和严重退化土壤有机碳分别高出6.36%和273.51%。对于0~10 cm土层土壤有机碳密度而言,正常状态、轻度退化和严重退化条件下分别为526.67、466.07、179.90 kg/m<sup>2</sup>。

### 2.2 土壤有机碳与其他养分间相关性分析

土壤有机质(主要指土壤碳素)是陆地生物圈生物地球化学循环的主要成分之一,是指示土壤健康的关键指标<sup>[13]</sup>。对土壤有机碳与其他养分进行相关性分析,结果表明,土壤有机碳与土壤活性有机碳、碱解氮、速效磷及速效钾之间存在正相关关系(图2)。

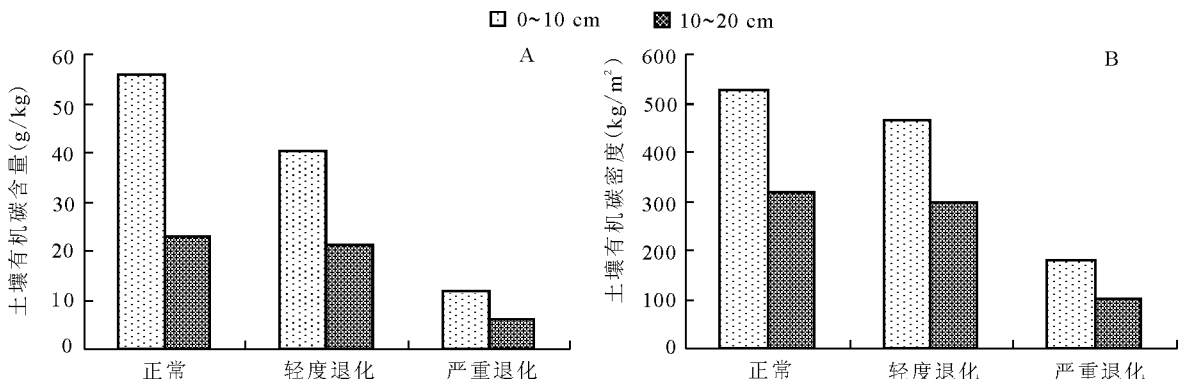


图1 不同退化程度高寒草甸土壤有机碳含量及有机碳密度

土壤有机碳与活性有机碳之间存在极显著的正相关关系( $P < 0.01$ ),其回归方程为  $y = 0.0743x - 0.0261$ ,决定系数  $R^2$  为 0.9139(图 2A)。

草地生态系统中,有效性氮素是初级生产力首要的限制资源<sup>[14]</sup>,也是决定系统物种组成的主要因子<sup>[15]</sup>。有研究表明<sup>[16]</sup>,随着氮肥施用量的增加,退化草甸地上生物量显著增加。由图 2B 可知,土壤有机碳与土壤碱解氮呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ ),土壤有机碳含量越高,土壤碱解氮含量也就越高。颜淑云等<sup>[17]</sup>研究也表明,高寒草地土壤全氮及无机氮与土壤有机碳之间呈极显著正相关关系。土壤速效磷与土壤有机碳的关系与碱解氮相同,也呈极显著正相关( $P < 0.01$ )(图 2C);土壤有机碳与速效钾呈显著正相关( $P < 0.05$ ),其回归方程为  $y = 4.2965x + 71.6670$ ( $R^2 = 0.6653$ )(图 2D)。这表明土壤有机碳与土壤养分之间存在着密切的关系,土壤退化程度加重,将导致土壤养分含量降低。

**2.3 土壤有机碳与土壤容重、含水量相关性分析** 土壤容重是土壤紧实度的指标之一,它与土壤的孔隙度和渗透率密切相关。土壤容重的大小主要受土壤有机质含量、土壤质地等因素的影响。土壤容重大,则土壤紧实,通透性差<sup>[18]</sup>。由图 3A 可

见,正常与轻度退化草甸土壤 0~10 cm 土层土壤容重均小于 10~20 cm 土层,且随草甸土壤退化加剧,土壤容重呈增加趋势,这主要是由于土壤退化后,土壤植被减少,沙化加重而造成的。由图 3B 可知,随土壤退化程度加重,土壤含水量减少。这与蔡晓布和周进<sup>[19]</sup>的研究结果一致。

统计分析表明,土壤有机碳与土壤容重和土壤含水量之间的关系较为密切,土壤有机碳与土壤容重间的  $R^2$  为 0.7735( $y = -0.0167x + 1.5531$ ),且呈显著负相关关系( $P < 0.05$ );土壤有机碳与土壤含水量间  $R^2$  为 0.7156( $y = 0.7908x + 5.4245$ ),且呈显著正相关( $P < 0.05$ )。

**2.4 土壤有机碳与土壤理化性质通径分析** 通径分析是通过自变量和因变量之间的相关分解来研究因变量的相对重要性。将土壤有机碳与理化性质进行回归分析可得线性回归方程: $y = -5.1007 + 0.4115x_1 + 1.4022x_2 - 0.0707x_3 - 0.1592x_4$ ,其中  $y$  为土壤有机碳, $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  分别为土壤碱解氮、速效磷、速效钾和含水量。通径分析结果显示, $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  与土壤有机碳  $y$  的通径系数分别为 1.1142、0.3573、-0.3723 和 -0.1703。这表明有机碳的变化对碱解氮的影响最大。

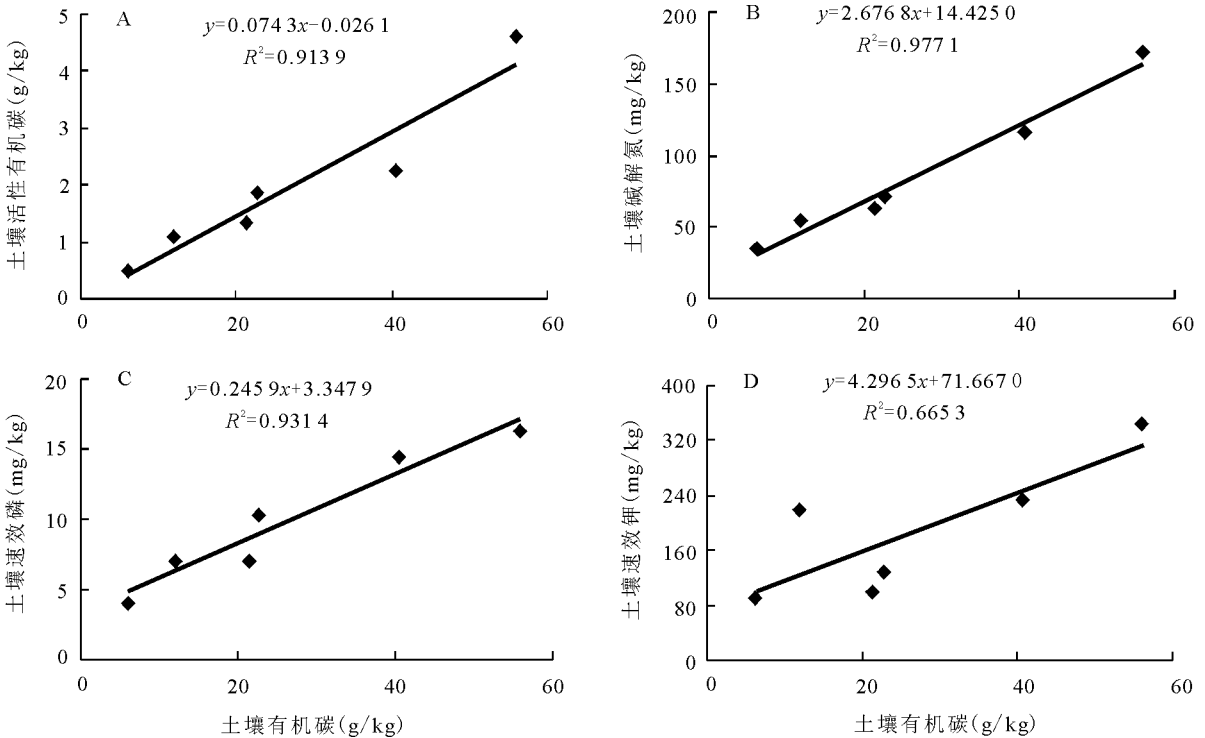


图 2 土壤有机碳与其他养分的关系

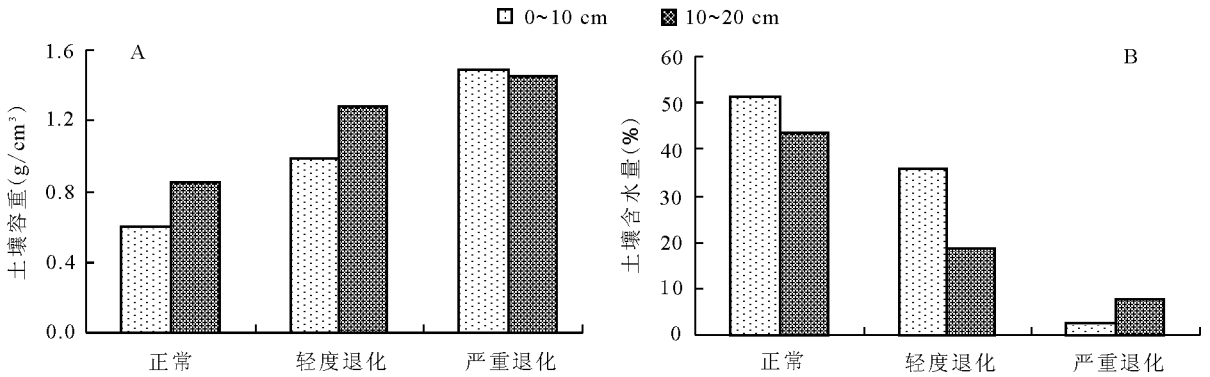


图3 不同退化程度高寒草甸土壤容重及含水量变化

### 3 结论

在自然因素和人为因素的双重作用下,草地退化导致植被覆盖度降低,引起表层土壤 $<0.84$  mm颗粒易受风、水侵蚀而减少<sup>[20]</sup>,土壤颗粒变粗<sup>[21]</sup>,地上及地下生物量降低<sup>[22]</sup>,导致土壤有机碳损失加重,有机碳含量减少。从本研究结果可以看出,随着土壤退化程度加剧,土壤有机碳含量呈递减趋势,在0~10 cm土层中,正常草甸土壤、轻度退化草甸土壤及严重退化草甸土壤其有机碳含量分别为55.982 1、40.586 7和11.957 g/kg,且表层土有机碳含量均高于其次层土壤的有机碳含量。

随着草地退化的加剧,土壤有机碳的损失愈加重,必将对养分及其环境产生显著影响。土壤有机碳与其他养分之间存在着密切关系,土壤有机碳与土壤活性有机碳、碱解氮及速效磷之间呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),与速效钾之间呈显著正相关关系( $P<0.05$ )。其直线回归方程和决定系数与活性有机碳为 $y=0.0743x-0.0261$ , $R^2=0.9139$ ;与碱解氮为 $y=2.6768x+14.4250$ , $R^2=0.9771$ ;与速效磷为 $y=0.2459x+3.3479$ , $R^2=0.9314$ ;与速效钾为 $y=4.2965x+71.6670$ , $R^2=0.6653$ 。土壤有机碳与土壤物理性质间也存在十分密切的关系,土壤有机碳与土壤容重、土壤含水量的决定系数分别达到0.7735和0.7156( $P<0.05$ ),回归方程分别为 $y=-0.0167x+1.5531$ 和 $y=0.7908x+5.4245$ 。通过土壤有机碳与理化性质的通径分析表明,土壤碱解氮对土壤有机碳变化的响应最显著。

### 参考文献

[1] Reeder J D, Schuman G E. Influence of livestock graz-

ing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands [J]. Environmental Pollution, 2002, 116: 457-463.

- [2] 侯向阳. 中国草地生态环境建设战略研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 37-38.
- [3] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. 草地学报, 2005, 14(3): 31-40.
- [4] 邵伟, 蔡晓布. 西藏高原草地退化及其成因分析[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(10): 112-116.
- [5] 万军, 强巴达娃. 西藏当雄县草地生态环境现状及恢复措施[J]. 西藏科技, 2000(2): 70-71.
- [6] 徐玲玲, 张宪洲, 石培礼, 等. 青藏高原高寒草甸生态系统净二氧化碳交换量特征[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 1948-1952.
- [7] 常天军, 王建林, 李鹏, 等. 藏北高寒草地植被的碳密度与碳贮量[J]. 生态科学, 2007, 26(5): 422-427.
- [8] 李辉霞, 刘淑珍. 西藏自治区那曲县草地退化空间差异分析[J]. 中国水土保持, 2007(2): 22-25.
- [9] 张金屯. 应用生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 173-174.
- [10] Wen Q, Zhao X R, Chen H W. Distribution characteristics of microbial biomass carbon in different soil aggregates in semiarid area[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 10: 1504-1509.
- [11] Shen H, Cao Z H. Characteristics and ecological effects of the active organic carbon in soil[J]. Chinese Journal of Ecology, 1999, 18(3): 32-38.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 23-108.
- [13] Percival H J, Parfitt R L, Scott N A. Factors controlling soil carbon level in New Zealand grassland[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1623-1630.

- [14] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea [J]. *Biogeochemistry*, 1991, 13: 87-115.
- [15] Tilman D. *Plant Strategies and Dynamics and Structure of Plant Communities* [M]. Princeton: Princeton University Press, 1988: 26-28.
- [16] 黄军, 王高峰, 安沙舟, 等. 施氮对退化草甸植被结构和生物量及土壤肥力的影响 [J]. *草业科学*, 2009, 26(3): 75-78.
- [17] 颜淑云, 周志宇, 秦彧, 等. 玛曲高寒草地不同利用方式下土壤氮素含量特征 [J]. *草业学报*, 2010, 19(2): 153-159.
- [18] 胡慧蓉, 杨超本, 郭勇. 桉树黑荆树种植对土壤物理性质的影响 [J]. *西南林学院学报*, 2000, 20(2): 85-89.
- [19] 蔡晓布, 周进. 退化高寒草原土壤有机碳时空变化及其与土壤物理性质的关系 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20(11): 2639-2645.
- [20] Mendez M J, Oro L D, Panebianco J E, *et al.* Organic carbon and nitrogen in soils of semiarid Argentina [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 61(4): 230-235.
- [21] 徐冰, 赵淑银, 郭克贞, 等. 草地开发与保护过程中土壤颗粒分形特征 [J]. *草业科学*, 2009, 26(7): 143-146.
- [22] 于健龙, 石红霄, 李剑, 等. 不同退化程度高寒蒿草草甸基况的初步研究 [J]. *草业科学*, 2010, 27(9): 115-118.

## Distribution of soil organic carbon and its relationship with soil physical and chemical properties on degraded alpine meadows

CAO Li-hua<sup>1,2</sup>, LIU He-man<sup>1</sup>, ZHAO Shi-wei<sup>2</sup>

(1. Department of Resources and Environmental Science, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Tibet Linzhi 860000, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A & F University, Shaanxi Yangling 712100, China)

**Abstract:** Soil organic carbon, soil active organic carbon, soil alkali-hydrolysable nitrogen, soil available phosphorus, soil available potassium, soil water content and soil bulk density were determined to study the distribution of soil organic carbon and soil physical and chemical properties on degraded alpine meadows in Dangxiong, Tibet. Results showed that the change orders of soil organic carbon content and its density both in the 0–10 cm and 10–20 cm soil layers were normal meadow > slightly degraded meadow > serious degraded meadow; soil organic carbon content and its density in the 0–10 cm soil layer were higher than those in the 10–20 cm soil layer. There were correlations between soil organic carbon and other soil nutrients. The regression analysis showed that there were significantly positive linear relationships between soil organic carbon and soil active organic carbon ( $y=0.0743x-0.0261$ ,  $R^2=0.9139$ ), soil alkali-hydrolysable nitrogen ( $y=2.6768x+14.4250$ ,  $R^2=0.9771$ ), soil available P ( $y=0.2459x+3.3479$ ,  $R^2=0.9314$ ), soil available K ( $y=4.2965x+71.6670$ ,  $R^2=0.6653$ ) and soil water content ( $y=0.7908x+5.4245$ ,  $R^2=0.7156$ ), respectively. A significant negative linear correlation existed between soil organic carbon and soil bulk density ( $y=-0.0167x+1.5531$ ,  $R^2=0.7735$ ). The loss of soil organic carbon resulted in reduction of soil nutrients and moisture and increasing soil bulk density. Path analysis indicated that the change of soil organic carbon had the most significant effect on the soil alkali-hydrolysable nitrogen.

**Key words:** soil organic carbon; soil organic carbon density; alpine meadow soil; physical and chemical properties