

高寒草原生态系统表层土壤活性有机碳 分布特征及其影响因素 ——以贡嘎南山-拉轨岗日山为例

王建林¹, 欧阳华², 王忠红¹, 常天军¹, 李 鹏¹, 沈振西², 钟志明²

(1. 西藏农牧学院植物科学技术系, 林芝 860000; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:对贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层(0~20cm)土壤活性有机碳分布特征研究表明:表层(0~20 cm)土壤活性有机碳平均为(2.4986±0.7864) g/kg,占表层土壤有机碳的(12.7926±21.00)%。在海拔4424~4804m范围内,随着海拔升高,表层(0~20cm)土壤活性有机碳含量表现出先减少后增加的分布特征,有机碳活性也表现出先减少后增加的分布特征。影响表层土壤活性有机碳含量最关键的环境因子是地上生物量、0~10cm地下生物量、30~40cm地下生物量、20~30cm土壤含水量、0~20cm土壤容重、20~40cm土壤容重和土壤全N量;影响表层土壤有机碳活性最关键的环境因子则是植被盖度、20~30cm地下生物量、0~10cm土壤含水量、10~20cm土壤含水量、20~30cm土壤含水量、土壤有机质、土壤速效K和土壤全N量。

关键词:高寒草原生态系统;活性有机碳;分布特征;影响因素

文章编号:1000-0933(2009)07-3501-08 中图分类号:951.144 文献标识码:A

Influential factors and distribution characteristics of topsoil labile organic carbon in alpine grassland ecosystem at the south slope of Gongga south mountain-Laguigangri Mountain

WANG Jian-Lin¹, OUYANG Hua², WANG Zhong-Hong¹, CHANG Tian-Jun¹, LI Peng¹, SHEN Zhen-Xi², ZHONG Zhi-Ming²

¹ Plant Sci-Tech Department of Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China

² Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3501~3508.

Abstract: The distribution characteristics of the topsoil (0—20cm) labile organic carbon of alpine grassland ecosystem at the south slope of Gongga south mountain-Laguigangri mountain were studied. The results showed that, the average content of the topsoil (0—20cm) labile organic carbon was (2.4986±0.7864) g/kg, accounting for (12.7926±21.00)% of the topsoil organic carbon in alpine grassland ecosystem at the south slope of Gongga south mountain-Laguigangri mountain. With increasing altitude, the distribution characteristics of the topsoil (0—20cm) labile organic carbon and organic carbon lability were decrease→increase within the altitude range of 4424—4804m. The key environmental factors influencing the content of topsoil labile organic carbon were overground biomass, biomass of underground 0—10cm and 30—40cm, moisture of underground 20—30cm, soil bulk density of underground 0—20cm and 20—40cm, and soil total Nitrogen content. However, the key environmental factors for the topsoil (0—20cm) organic carbon lability were vegetation coverage, 20—30cm belowground biomass, 0—10cm, 10—20cm and 20—30cm underground soil moisture, soil organic matter, soil labile Potassium and soil total Nitrogen content.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40661007)

收稿日期:2008-07-01; 修订日期:2009-04-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xzwangjl@126.com

Key Words: alpine grassland ecosystem; labile organic carbon; distribution characteristics; influential factors

土壤有机碳是土壤中较为活跃的部分,土壤有机碳动态在土壤生产力和全球碳循环中起着十分重要的作用^[1]。全球土壤有机碳储量约为 1395Pg,大约是植物碳储量的 2~3 倍^[2,3]。大气交换的土壤有机碳大约占陆地表层生态系统储量的 2/3。土壤每年 CO₂ 排出量大约是化石燃料燃烧 CO₂ 释放量的 10 倍^[2,4,5]。因此,弄清陆地土壤有机碳的分布、转化及其对环境变化的响应是正确理解陆地生态系统碳循环过程和准确评估碳排放的关键之一。

土壤有机碳包括活性有机碳和非活性有机碳^[6]。土壤活性有机碳是在一定的时空条件下受植物、土壤 pH 值^[7]、微生物影响强烈^[8]、具有一定溶解性,且在土壤中移动较快、不稳定、易氧化、易分解、易矿化,其形态和空间位置对植物和微生物有较高活性的那部分土壤碳素^[9,10]。它是土壤圈中一种十分活跃的重要化学物质,其组分并非是一种单纯的化合物,而是土壤有机碳中具有相似特性和对土壤养分、植物生长乃至环境、大气和人类产生较高有效性的那部分有机碳。土壤活性有机碳包括了众多游离度较高的有机质,如植物残茬、根类物质、真菌菌丝、微生物量及其渗出物如多糖等^[11],易被微生物利用和转化^[12]。土壤活性有机碳能显著影响土壤化学物质的溶解、吸附、解吸、吸收、迁移乃至生物毒性等行为,在营养元素的地球生物化学过程^[13]、成土过程^[14]、微生物的生长代谢过程^[15]、土壤有机质分解过程^[16]以及土壤中污染物的迁移等过程^[17]中有重要作用。近年来已成为土壤、环境和生态科学领域所关注的焦点和研究的热点之一。

在国际生物圈 (IBP) 研究计划中,青藏高原被列为全球气候变化的敏感区域,这种极端环境下发育的植被和土壤对气候变化极为敏感,是研究生态系统对气候变化响应与适应机制的天然实验室。高寒草原是青藏高原广泛分布的植被类型之一,它不仅是亚洲中部高寒环境中典型的生态系统之一,而且在世界高寒地区也极具代表性。近年来,虽然对高寒草原生态系统的碳循环问题进行了一些研究^[18~20],但基础资料仍然十分缺乏,而且尚未见到不同海拔高度高寒草原生态系统土壤活性有机碳分布特征及其影响因子的研究报道。为此,本研究选择地处青藏高原腹地的贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统为研究对象,深入分析其土壤活性有机碳分布特征,揭示土壤活性有机碳分布与地形、植被和土壤理化因子之间的关系,为研究高寒草原生态系统对气候变化的响应提供基础资料,为理解青藏高原对气候变化响应的区域差异提供科学依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

贡嘎南山-拉轨岗日山脉,又称藏南分水岭,横跨青藏高原腹地,总体呈东西走向,界于雅鲁藏布江中游和藏南湖盆区之间,山顶海拔一般为 5000~6000 m;北侧为雅鲁藏布江中游宽谷,南侧为由一系列断陷盆地互相连接而成的藏南高原湖盆区,构成青藏高原内部典型的山原-湖盆构造地貌。贡嘎南山-拉轨岗日山脉的山顶面与两侧盆地相对高差大约为 800~2000 m,属青藏高原内部的高山-极高山地区。研究区设在藏南腹地羊卓雍湖北侧的贡嘎南山-拉轨岗日山脉南坡,地理坐标 91°04'E,30°20'N,海拔 4424~4808m,属高原温带半干旱季风气候区,年均气温 1.3℃,最暖月(7 月份)均气温 10.7℃,最冷月(1 月份)均气温 -10.2℃,年均降水量 481mm,年均湿润度 K 值为 0.7,植被为以藏东蒿为优势种的蒿类半灌木高寒草原。

1.2 研究方法

1.2.1 采样方法

于 2007 年 7 月,分别在贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统海拔 4424、4511、4584、4684m 和 4808m 处,同一海拔设置 4m×4m 的样地 12 块(水平间隔 100m,共 60 个样地)。采用对角线方式,在同一海拔间隔选取 6 块样地,每块样地内随机设置 2 个 25cm×25cm 的小样方,随机选 1 个小样方用于生物量测定,地上生物量采用收获法测定后,挖取该样方的土柱,土柱深度 40 cm,并按 10 cm 间隔分层取样,取出的土样连同根系用纱布包好。另 1 个小样方用于挖取土壤剖面,剖面深度 40cm,用机械采样法采集土样,用酒精燃烧法同步测定 0~10、10~20、20~30、30~40cm 土层的含水量,用环刀法在 5cm 和 25cm 处测定土壤容重。现

场调查每个样方中植物物种数、优势种、平均高度和平均盖度,并调查坡度、海拔、坡向与土壤类型。

1.2.2 样品处理及数据分析

将地上生物量及用水冲洗干净、风干后的地下分层生物量,置于 80℃ 的恒温烘箱中烘至恒重,称干重。将土壤样品装入土壤布袋,送回实验室风干,过 1mm 筛后磨细,分析土壤活性有机碳、土壤总有机碳、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾和土壤 pH 值等理化指标。土壤总有机碳测定采用重铬酸钾氧化-外加热法,活性有机碳测定采用高锰酸钾氧化法,全氮和速效氮测定采用半微量凯氏法,全磷和速效磷测定采用钼锑抗比色分析法,全钾和速效钾测定采用原子吸收分光光度法,土壤 pH 值测定采用电位法。土壤有机碳活度计算采用公式^[21]:

$$L = LC/RC = LC/(TOC - LC) \quad (1)$$

式(1)中:L 为土壤有机碳活度,LC 为活性有机碳量(g/Kg),RC 为惰性有机碳量(g/Kg),TOC 为总有机碳量(g/Kg)。

所有测试数据采用 DPS 数据处理系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同海拔高度表层土壤活性有机碳含量和有机碳活度的分布特征

2.1.1 不同海拔高度表层土壤活性有机碳含量的分布特征

贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层(0~20 cm)土壤活性有机碳平均含量为 (2.4986 ± 0.7864) g/kg,占表层土壤有机碳的 $(12.7926 \pm 21.00)\%$ 。随海拔升高,表层土壤活性有机碳的变化可分为 2 个区间段:其中在海拔 4424~4584 m 之间,表层土壤活性有机碳含量随海拔升高而下降,海拔每升高 10 m,活性有机碳平均下降量为 0.1362 g/kg;在海拔 4584~4804 m 之间,表层土壤活性有机碳含量随海拔升高而增加,海拔每升高 10 m,活性有机碳平均增加量为 0.0588 g/kg,表层土壤活性有机碳含量随海拔升高表现出先减少后增加的变化态势(图 1)。

2.1.2 不同海拔高度表层土壤有机碳活度的分布特征

贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层(0~20 cm)土壤有机碳活度平均为 0.1615 ± 0.0769 。表层(0~20 cm)土壤有机碳活度随海拔升高也可分为 2 个变化区间段:其中在海拔 4424~4584 m 之间,表层土壤有机碳活度随海拔升高而下降,海拔每升高 10 m,有机碳活度平均下降量为 0.0122;在海拔 4584~4804 m 之间,表层土壤有机碳活度随海拔升高而增加,海拔每升高 10 m,有机碳活度平均增加量为 0.0059。表层土壤有机碳活度随海拔升高,也表现出先减少后增加的变化态势(图 2)。

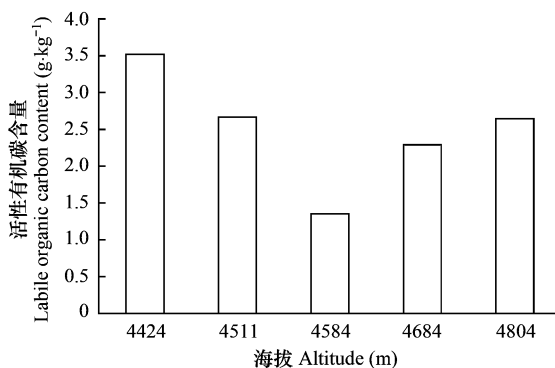


图1 贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层土壤活性有机碳含量随海拔高度的梯度变化

Fig.1 The gradual change of the topsoil labile organic carbon in alpine grassland ecosystem at the south slope of Gongga south mountain-Laguigangri Mountain, with increasing altitude

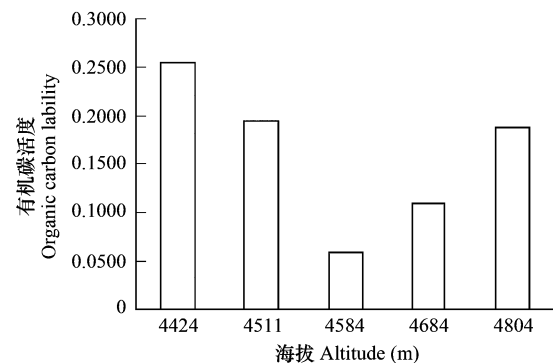


图2 贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层土壤有机碳活度随海拔高度的梯度变化

Fig.2 The gradual change of the topsoil organic carbon lability in alpine grassland ecosystem at the south slope of Gongga south mountain-Laguigangri Mountain, with increasing altitude

2.2 表层土壤活性有机碳含量、有机碳活度与环境因子的关系

2.2.1 表层土壤活性有机碳含量、有机碳活度与地形因子的关系

(1) 表层土壤活性有机碳与地形因子的关系

基于逐步回归分析方法,建立表层土壤活性有机碳含量与地形因子的数学模型如下:

$$Y = 0.3117 + 0.1682X_2 \quad (N = 5, R = 0.6526) \quad (2)$$

可以看出,表层土壤活性有机碳含量与坡度(X_2)呈正相关关系,而海拔(X_1)则对表层土壤有机碳活度的影响很小。但经统计分析发现,坡度与表层土壤活性有机碳含量的相关系数未达到 0.05 显著水平。表明,虽然随着坡度的下降,贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层土壤活性有机碳含量逐渐增加,但坡度对表层土壤活性有机碳含量的影响程度也不明显。

(2) 表层土壤有机碳活度与地形因子的关系

基于逐步回归分析方法,建立表层土壤有机碳活度与地形因子的数学模型如下:

$$Y = 0.4281 - 0.0001X_1 + 0.0098X_2 \quad (N = 5, R = 0.6640) \quad (3)$$

可以看出,海拔(X_1)和坡度(X_2)均影响着表层土壤有机碳活度的分布,且表层土壤有机碳活度与海拔呈负相关关系,与坡度呈正相关关系。但根据标准误差检验,该回归方程未通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。表明,尽管表层土壤有机碳活度随着海拔的升高而减少,随着坡度的增加而增加,但是地形因子总体上对表层土壤有机碳活度的影响程度不明显。

2.2.2 表层土壤活性有机碳含量、有机碳活度与植被因子的关系

(1) 表层土壤活性有机碳含量与植被因子的关系

基于逐步回归分析方法,建立表层土壤活性有机碳含量与植被因子的数学模型如下:

$$Y = 1.9966 + 0.0057X_3 - 0.0002X_4 + 0.0008X_7 \quad (N = 30, R = 0.4839^{**}) \quad (4)$$

可以看出,影响表层土壤活性有机碳含量的主要植被因子有地上生物量(X_3)、0~10cm 地下生物量(X_4)和 30~40cm 地下生物量(X_7),而植被高度(X_1)、植被盖度(X_2)、10~20cm 地下生物量(X_5)和 20~30cm 地下生物量(X_6)则对表层土壤活性有机碳含量无明显影响。从式(4)还可以看出,表层土壤活性有机碳含量与地上生物量、30~40cm 地下生物量均呈正相关关系,与 0~10cm 地下生物量呈负相关关系。根据标准误差检验,该回归方程通过了 $\alpha = 0.01$ 显著性检验,表明回归的整体效果显著。说明表层土壤活性有机碳含量随着地上生物量、30~40cm 地下生物量的增加而增加,随 0~10cm 地下生物量的增加而减小,也说明植被因子对表层土壤活性有机碳含量的影响达到极显著性程度。

(2) 表层土壤有机碳活度与植被因子的关系

基于逐步回归分析方法,建立表层土壤有机碳活度与植被因子的数学模型如下:

$$Y = 0.4359 - 0.0049X_2 + 0.0001X_3 - 0.0004X_6 \quad (N = 30, R = 0.6840^{**}) \quad (5)$$

可以看出,影响表层土壤有机碳活度的主要植被因子有植被盖度(X_2)、地上生物量(X_3)和 20~30cm 地下生物量(X_6),而植被高度(X_1)、0~10cm 地下生物量(X_4)、10~20cm 地下生物量(X_5)和 30~40cm 地下生物量(X_7)对表层土壤有机碳活度无明显影响。从式(5)还可以看出,表层土壤有机碳活度与植被盖度、20~30cm 地下生物量均呈负相关关系,与地上生物量呈正相关关系。根据标准误差检验,该回归方程通过了 $\alpha = 0.01$ 显著性检验,表明回归的整体效果显著。说明表层土壤有机碳活度随着植被盖度、20~30cm 地下生物量的增加而减小,随地上生物量的增加而增大,也说明植被因子对表层土壤有机碳活度的影响达到极显著性程度。

2.2.3 表层土壤活性有机碳含量、有机碳活度与土壤物理因子的关系

(1) 表层土壤活性有机碳含量与土壤物理因子的关系

基于逐步回归分析方法,建立表层土壤活性有机碳含量与土壤物理因子的数学模型如下:

$$Y = 6.9987 - 0.4651X_3 + 1.6120X_5 - 2.1926X_6 \quad (N = 30, R = 0.5231^{**}) \quad (6)$$

可以看出,影响表层土壤活性有机碳含量的主要土壤物理因子有 20 ~ 30cm 土壤含水量(X_3)、0 ~ 20cm 土壤容重(X_5)和 20 ~ 40cm 土壤容重(X_6),而 0 ~ 10cm 土壤含水量(X_1)、10 ~ 20cm 土壤含水量(X_2)和 30 ~ 40cm 土壤含水量(X_4)则对表层土壤活性有机碳含量无明显影响。从式(6)还可以看出,土壤活性有机碳含量除与 0 ~ 20cm 土壤容重呈正相关关系外,与 20 ~ 30cm 土壤含水量、20 ~ 40cm 土壤容重均成负相关关系。根据标准误差检验,该回归方程通过了 $\alpha = 0.01$ 显著性检验,表明回归的整体效果显著。说明表层土壤活性有机碳含量随着 0 ~ 20cm 土壤容重的增加而增加,随着 20 ~ 30cm 土壤含水量和 20 ~ 40cm 土壤容重的增加而减少,也说明土壤物理因子对表层土壤活性有机碳含量的影响达到极显著性程度。

(2) 表层土壤有机碳活度与土壤物理因子的关系

基于逐步回归分析方法,建立土壤有机碳活度与土壤物理因子的数学模型如下:

$$Y = 0.5147 - 0.0069X_1 + 0.0045X_2 - 0.0401X_3 \quad (N = 30, R = 0.5966^{**}) \quad (7)$$

可以看出,影响表层土壤有机碳活度的主要土壤物理因子是 0 ~ 10cm 土壤含水量(X_1)、10 ~ 20cm 土壤含水量(X_2)和 20 ~ 30cm 土壤含水量(X_3),而 30 ~ 40cm 土壤含水量(X_4)、0 ~ 20cm 土壤容重(X_5)和 20 ~ 40cm 土壤容重(X_6)则对表层土壤有机碳活度无明显影响。从式(7)还可以看出,土壤有机碳活度与 10 ~ 20cm 土壤含水量呈正相关关系,与 0 ~ 10cm 土壤含水量和 20 ~ 30cm 土壤含水量呈负相关关系。根据标准误差检验,该回归方程通过了 $\alpha = 0.01$ 显著性检验,表明回归的整体效果显著。说明表层土壤有机碳活度随着 10 ~ 20cm 土壤含水量的增加而增加,随着 0 ~ 10cm 土壤含水量和 20 ~ 30cm 土壤含水量的增加而减少,也说明土壤物理因子对表层土壤有机碳活度的影响达到极显著性程度。

2.2.4 表层土壤活性有机碳含量、有机碳活度与土壤化学因子的关系

(1) 表层土壤活性有机碳含量与土壤化学因子的关系

基于逐步回归分析方法,建立表层土壤活性有机碳含量与土壤化学因子的数学模型如下:

$$Y = 5.0168 - 0.2219X_4 + 0.0054X_5 - 15.8369X_6 \quad (N = 30, R = 0.2667) \quad (8)$$

可以看出,影响表层土壤活性有机碳含量的主要土壤化学因子是土壤速效 P(X_4)、土壤速效 K(X_5)和土壤全 N 量(X_6),而土壤 pH 值(X_1)、土壤有机质(X_2)、含量土壤速效 N(X_3)、土壤全量 K(X_7)和土壤全量 P(X_8)含量则对表层土壤活性有机碳含量无明显影响。从式(8)还可以看出,表层土壤活性有机碳含量与土壤速效 K 呈正相关关系,与土壤速效 P 和土壤全 N 量呈负相关关系。但根据标准误差检验,该回归方程未通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验,表明回归的整体效果不显著。说明尽管表层土壤活性有机碳含量随着表层土壤速效 K 的增加而增加,随着表层土壤速效 P 和土壤全 N 量的增加而减少,但是土壤化学因子对表层土壤活性有机碳含量的影响未达到显著性程度。

(2) 表层土壤有机碳活度与土壤化学因子的关系

基于逐步回归分析方法,建立表层土壤有机碳活度与植被因子的数学模型如下:

$$Y = 0.4059 - 0.0389X_2 + 0.0002X_5 - 1.0558X_6 \quad (N = 30, R = 0.4978^{**}) \quad (9)$$

可以看出,影响表层土壤有机碳活度的主要土壤化学因子是土壤有机质(X_2)、土壤速效 K(X_5)、土壤全 N 量(X_6),而土壤 pH 值(X_1)、土壤速效 N(X_3)、土壤速效 P(X_4)、土壤全量 P(X_8)和土壤全量 K(X_7)含量则对表层土壤有机碳活度无明显影响。从式(9)还可以看出,表层土壤有机碳活度与土壤有机质和土壤全 N 量呈负相关关系,与土壤速效 K 呈正相关关系。根据标准误差检验,该回归方程通过 $\alpha = 0.01$ 显著性检验,表明回归的整体效果显著。说明表层土壤有机碳活度随着土壤速效 K 的增加而增加,随着表层土壤有机质和土壤全 N 量的增加而减少,也说明土壤化学因子对表层土壤有机碳活度的影响达到极显著性程度。

3 结论与讨论

土壤有机碳是处于特定生态系统下的平衡值,土壤活性有机碳是土壤中活性较高的那部分有机碳。已有研究表明,各种测定方法得到的土壤活性有机碳都较土壤有机碳敏感于环境的变化。Yagi 和 Minami 研究表明,CH₄的排放量和土壤活性有机碳呈明显的线性关系^[22]。因此,在研究陆地生态系统碳循环过程及其

影响因子时,不仅要考虑土壤碳储量,而且也应该考虑土壤有机碳的组成及存在状态^[5]。在不同的生物气候条件和人类扰动下,土壤活性有机碳积累的数量存在很大差异^[23-29]。从表 1 可以看出,贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层(0~20 cm)土壤活性有机碳含量高于黄绵土、农业土壤和浙江省 11 个土壤,但低于湿草原、若尔盖高寒湿地沼泽土、泥炭土和东北样带;其土壤活性有机碳占表层土壤有机碳的比例高于若尔盖高寒湿地沼泽土、泥炭土、湿草原和浙江省 11 个土壤,但低于东北样带和农业表层土壤;其土壤有机碳活度高于若尔盖高寒湿地沼泽土和泥炭土,但低于农业土壤。这表明,贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统表层(0~20 cm)土壤活性有机碳含量在我国各类生态系统中处于较低水平,但在表层土壤总有机碳中所占比例和有机碳活度却处于较高水平。

本文研究结果表明,在海拔 4424~4808 m 范围内,表层土壤活性有机碳含量和有机碳活度的变化均可分为 2 个区间段:其中:海拔 4424~4584 m 之间,随海拔升高而下降;海拔 4584~4804 m 之间,随海拔升高而增加,呈现出先减少后增加的变化态势。这一研究结果和祁连山青海云杉林斑表层土壤有机碳分布^[33]、新疆天山中段巴音布鲁克高山草地碳含量垂直分布^[34]的总体变化趋势基本一致。造成表层土壤活性有机碳含量和有机碳活度,随海拔升高表现出先减少后增加的原因,可能是随着海拔升高,高寒草原生态系统植被生物量逐渐减弱,同时牛羊采食量也相应减少,二者梯度变化、相互作用,导致不同海拔范围内植被生物残留量变化的结果。

表 1 贡嘎南山-拉轨岗日山南坡高寒草原生态系统和其它地区表层土壤活性有机碳

Table 1 Topsoil labile organic carbon in alpine grassland ecosystem at the south slope of Gongga south mountain-Laguigangri Mountain and other zones

类型 Type	LC(g/kg)	LC/TOC(%)	L	文献 References
黄绵土 Loessal soil	0.2200			[30]
湿草原 Wet grassland	2.5610	11.6000	0.1312	[31]
农业土壤 Agricultural soil	1.6550	21.0000	0.2658	[31]
浙江省 11 个土壤 Eleven soils from Zhejiang Province	0.7831	2.9100~8.9400		[32]
若尔盖高寒湿地沼泽土 Swamp soil from Ruorgai Wetland	8.2400	9.2170	0.1021	[21]
若尔盖高寒湿地泥炭土 Peat Soil from Ruorgai Wetland	37.5800	8.3136	0.0907	[21]
东北样带 Northeast China Transec	3.5200	13.1000	0.1507	[5]
贡嘎南山-拉轨岗日山南坡 South slope of Gongga south mountain-Laguigangri Mountain	2.4986	12.7926	0.1615	

本文研究结果也表明,影响表层土壤有机碳活度最关键的环境因子是地上生物量、0~10 cm 地下生物量、30~40 cm 地下生物量、20~30 cm 土壤含水量、0~20 cm 土壤容重和 20~40 cm 土壤容重和土壤全 N 量,影响表层土壤有机碳活度最关键的因子是植被盖度、20~30 cm 地下生物量、0~10 cm 土壤含水量、10~20 cm 土壤含水量、20~30 cm 土壤含水量、土壤有机质、土壤速效 K、土壤全 N 量的结果相一致。而这一研究结果与王淑平等对中国东北样带土壤活性有机碳分布与土壤速效 K 含量呈正相关关系;何志斌等对祁连山青海云杉林斑表层土壤活性有机碳含量与地上灌木生物量呈显著正相关关系;张林等对雀儿山西南坡植被碳贮量与坡度呈正相关^[5,33,35]的结论基本一致。但与王淑平等对中国东北样带土壤活性有机碳分布与土壤容重呈正相关关系;何志斌等对祁连山青海云杉林斑表层土壤活性有机碳含量与土壤容重呈正相关;魏晶等对长白山北坡高山冻原土壤碳含量与土壤全量 N 和土壤全量 P 含量呈正相关关系;展争艳等对高寒牧区土壤活性有机碳含量与土壤容重呈负相关关系的结论^[5,33,36,37]相反,其原因尚不清楚,有待深入研究。

References:

- [1] Biederbeck V O, Janzen H H, Campbell C A, Zentner R P. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment.

- Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26:1647—1656.
- [2] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, Stangenberger A G. Soil carbon pools and life zones. *Nature*, 1982, 298:156—159.
- [3] Post W M, Peng T H, Emanuel W R, King A W, Dale V H, Deangelis D L. The global carbon cycle. *American Scientist*, 1990, 78:310—326.
- [4] Mooney H A, Vitousek P M, Matson P A. Exchange of materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere. *Science*, 1987, 238: 926—932.
- [5] Wang S P, Zhou G S, Gao S H, *et al* Distribution of soil labile carbon along the northeast China transect (NECT) and its response to climatic change. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27 (6):780—785.
- [6] Huggins D R, Clapp C E, Allmaras R R, Lamb J A, Layese M F. Carbon dynamics in corn soybean sequences as estimated from natural ^{13}C abundance. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62:195—203.
- [7] Jens Leifeld, Michael Zimmermann, Jürg Fuhrer. Simulating decomposition of labile soil organic carbon: Effects of pH. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008(40):2948—2951.
- [8] Zou X M, Ruan H H, Fu Y, *et al*. Estimating soil labile carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation-incubation procedure. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005(37):1923—1928.
- [9] Shen H, Cao Z H, Hu Z Y. Characteristics and ecological effects of the active organic carbon in soil. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(3): 32—38.
- [10] Liu M, Yu W T, Jiang Z S, *et al* A research review on soil active organic carbon. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(11):1412—1417.
- [11] Whitbread A M, Lefroy R D B, Blair G J. A survey of the impact of cropping on soil physical and chemical properties in north western New South Wales. *Aust. J. Soil. Res.*, 1998, 36(4):669—681.
- [12] Needelman B A, Wander M M, Bollero G A, *et al*. Interaction of tillage and soil texture: Biologically active soil organic Matter in Illinois. *Soil, Sci. Am. J.*, 1999, 63:1326—1334.
- [13] Qualls R G, Haines B L. Geochemistry of dissolved organic Nutrients in water percolating through a forest ecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991, 55: 1112—1123.
- [14] Dawson H J, Ugolini F C, Hrutford B F, *et al*. Role of Soluble organics in the soil processes of a podzol, Central Cascade. *Soil Sci.*, 1978, 126: 290—296.
- [15] Meyer J L, Edwards R T, Risley R. Bacterial growth on Dissolved organic carbon from black water river. *Microb. Ecol.*, 1987, 13:13—29.
- [16] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, *et al*. Controls on the Dynamics of dissolved organic matter in soils: A review. *Soil Sci.*, 2000, 165:277—304.
- [17] Guggenberger G, Glaser B, Zech W. Heavy metal binding By hydrophobic and hydrophilic dissolved organic fractions in a spodosol A and B horizon. *Water Air Soil Pollut.*, 1994, 72:111—127.
- [18] Xu L L, Zhang X Z, Shi P L, *et al* Net ecosystem carbon dioxide exchange of alpine meadow in the Tibetan Plateau from august to October. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8):1948—1952.
- [19] Zhang X Z, Shi P L, Yun Y F, *et al* Soil CO_2 emission and carbon balance of alpine grassland ecosystem in Qinghai-Xizang Plateau. *Science in China (series D)*, *Globesity Science*, 2004, 34 (supplement II): 193—199.
- [20] Chang T J, Wang J L, Li P, *et al* Carbon density and reserve of alpine grassland vegetation in northern Tibet. *Ecologic Science*, 2007, 26(5):422—427.
- [21] Gao J Q, Ou Y H, Bai J H. Vertical distribution characteristics of soil labile organic carbon in Ruoergai Wetland. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1):76—86.
- [22] Yagi K, Minami K. Effects of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1990, 36:559—610.
- [23] Mo B, Cao J H, Xu X M, *et al* Changes of soil active organic carbon under different land use types in karst area. *Ecology and Environment*, 2006, 15(6): 1224—1230.
- [24] Jia S W, He X B, Chen Y M. Effect of land abandonmen to soil organic carbon sequestration in loess hilly areas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3):78—84.
- [25] Fang H J, Yang X M, Zhang X P, *et al* Spacial distribution and its biologic availability of labile organic carbon of black soil at sloping field. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(2):60—63.
- [26] Xu Q F, Xu J M, Jiang P K. Study on organic carbon pool of soil under intensive management bamboo forest. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(4):16—21.
- [27] Wu J G, Zhang X P, Xu D Y. Changes in soil labile organic carbon under different land use in the liupan Mountain Forest Zone. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5):657—664.
- [28] Zhou G M, Xu J M, Wu J S, *et al* Changes in soil active organic carbon with history of intensive management of phyllostachy pubescens forest.

Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(6): 124–127.

- [29] Jiang P k. Soil active carbon pool under different types of vegetation. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(1): 10–13.
- [30] Jia S W, He X B, Wei F Q. Erosion and deposition effects of soil labile organic carbon in loessal soil. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007, 27(2): 10–13.
- [31] Ajwa H A, Rice C W, Sotomayor D. Carbon and nitrogen mineralization in tallgrass prairie and agricultural soil profile. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, 62: 942–951.
- [32] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M. The size and characterization of biologically active organic carbon pool in soils. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(1): 56–63.
- [33] He Z B, Zhao W Z, Liu H, *et al* Characteristic of picea crassifolia forest soil organic carbon and relationship with environment factors in the Qilian Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2572–2577.
- [34] Mohammad Anwar, Yang Y H, Guo Z D, *et al* Carbon contents and its vertical distribution in alpine grasslands in bayinbulak middle stretch of the Tianshan Mountains of Xinjiang. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(4): 545–552.
- [35] Zhang L, Zhang S R, Li T, *et al* Vegetation carbon estimate in southwest Quer Mountains and influence factors analysis. Sichuan Environment, 2007, 26(1): 27–32.
- [36] Wei J, Deng H B, Wu G, *et al* The distribution of soil carbon and nutrients in alpine tundra ecosystem on the northern slope of Changbai Mountains. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(6): 840–844.
- [37] Zhan Z Y, Li X G, Zhang D G. Effects of land use on organic C concentration and structural properties in alpine grassland soil. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(5): 777–782.

参考文献:

- [5] 王淑平, 周广胜, 高素华, 等. 中国东北样带土壤活性有机碳的分布及其对气候变化的响应. 植物生态学报, 2003, 27(6): 780–785.
- [9] 沈宏, 曹志宏, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32–38.
- [10] 柳敏, 宇万太, 姜子绍, 等. 土壤活性有机碳. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1412–1417.
- [18] 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. 生态学报, 2005, 25(8): 1948–1952.
- [19] 张宪洲, 石培礼, 刘允芬, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤 CO₂ 排放及其碳平衡. 中国科学 D 辑 地球科学, 2004, 34(增刊 II): 193–199.
- [20] 常天军, 王建林, 李鹏, 等. 藏北高寒草地植被的碳密度与碳储量. 生态科学, 2007, 26(5): 422–427.
- [21] 高俊琴, 欧阳华, 白军红. 若尔盖高寒湿地土壤活性有机碳垂直分布特征. 水土保持学报, 2006, 20(1): 76–86.
- [23] 莫彬, 曹建华, 徐祥明, 等. 岩溶山区不同土地利用方式对土壤活性有机碳动态的影响. 生态环境, 2006, 15(6): 1224–1230.
- [24] 贾松伟, 贺秀斌, 陈云明. 黄土丘陵区退耕撂荒对土壤有机碳的积累及其活性的影响. 水土保持学报, 2004, 18(3): 78–84.
- [25] 方华军, 杨学明, 张晓平, 梁爱珍, 申艳. 坡耕地黑土活性有机碳空间分布及生物有效性. 水土保持学报, 2006, 20(2): 60–63.
- [26] 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. 水土保持学报, 2003, 17(4): 16–21.
- [27] 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. 植物生态学报, 2004, 28(5): 657–664.
- [28] 周国模, 徐建明, 吴家森, 等. 毛竹林集约经营过程中土壤活性有机碳库的演变. 林业科学, 2006, 42(6): 124–127.
- [29] 姜培坤. 不同林分下土壤活性有机碳库研究. 林业科学, 2005, 41(1): 10–13.
- [30] 贾松伟, 贺秀斌, 韦方强. 黄绵土土壤活性有机碳的侵蚀和沉积效应. 水土保持通报, 2007, 27(2): 10–13.
- [32] 倪进治, 徐建民, 谢正苗. 土壤生物活性有机碳库及其表征指标的研究. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 56–63.
- [33] 何志斌, 赵文智, 刘鸽, 等. 祁连山青海云杉林斑表层土壤活性有机碳特征及其影响因素. 生态学报, 2006, 26(8): 2572–2577.
- [34] 安尼瓦尔·买买提, 杨元合, 郭兆迪, 等. 新疆天山中段巴音布鲁克高山草地碳含量及其垂直分布. 植物生态学报, 2006, 30(4): 545–552.
- [35] 张林, 张世熔, 李婷, 等. 雀儿山西南坡植被碳储量估算及影响因素分析. 四川环境, 2007, 26(1): 27–32.
- [36] 魏晶, 邓红兵, 吴钢, 等. 长白山北坡高山冻原土壤碳和养分的分布特征. 土壤通报, 2005, 36(6): 840–844.
- [37] 展争艳, 李小刚, 张德罡, 等. 利用方式对高寒牧区土壤有机碳含量及土壤结构性质的影响. 土壤学报, 2005, 42(5): 777–782.