

中天山北坡垂直带土壤有机碳密度分布特征

徐华君, 王文欣, 王丹彤

(新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要:以乌鲁木齐河流域为重点研究区,利用实测典型土壤剖面特征数据估算土壤有机碳密度,就剖面有机碳和表层有机碳之间,剖面有机碳、表层有机碳和海拔高度之间,土壤剖面有机碳密度与发生层深度之间以及不同土壤类型土壤有机碳密度的分布特征进行相关分析,结果表明:在中海拔区域,土壤有机碳的密度最大且含量最高。发生层越厚,土壤的发育程度就越高,土壤有机碳密度也就越大,有机碳的含量就越高。全剖面 and 表层土壤有机碳密度值分别为 46.91, 13.95 kg/m²。不同土壤类型的土壤有机碳密度存在着显著差异。

关键词:土壤有机碳密度; 中天山北坡; 分布特征

中图分类号:S151.9

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0035-04

Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon Density on the Northern Slope in the Middle Section of Tianshan Mountainous

XU Huajun, WANG Wenxin, WANG Dantong

(College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: We took Urumqi River region as the study site, and used the measured data to estimate typical soil profile characteristics of soil organic carbon density between the surface on the cross-section of organic carbon and organic carbon, organic carbon between the cross-section, surface organic carbon and altitude, analyzed the correlation between soil organic carbon density and the development layer of cross-sectional depth and the distribution of different soil types of soil organic carbon density. The results showed that soil organic carbon density and organic carbon content were highest at the middle altitude. The thicker the development layer was, the higher the degree of development of the soil was, the greater the density of soil organic carbon is, the higher organic carbon content is. The whole section and surface soil organic carbon density values were 46.91 kg/m² and 13.95 kg/m², respectively. Soil organic carbon densities are significant different among different soil types.

Keywords: organic carbon density; the northern slope of Tianshan; distribution characteristic

全球约有 1 500 Gt 碳是以有机质形态储存于地球土壤中^[1],土壤有机碳的积累和分解的速率决定着土壤碳库储量。由于土壤碳库储量约是大气碳库的两倍多^[2],因此土壤有机碳库储量较小幅度的变动,都可通过向大气排放温室气体直接导致大气层 CO₂ 浓度升高,从而影响全球气候变化。当前各项研究尽管对全球部分定性与定量的研究结果已有了解,但要更加精确地确定碳在循环中各个环节的收支平衡,仍存在许多难点^[3]。

土壤有机碳密度是土壤有机碳的含量及其蓄存

量的一项重要指标,其大小可显示单位体积内土壤有机碳含量的多少,但同时,因为土壤厚度和发育程度的差异以及其分布的具体环境的不同,导致土壤有机碳的蓄存与释放有着较大的差异,因而对其分布特性的研究是土壤有机碳动态研究的重要组成部分。

距今 2000 年以来,天山气候有冷暖波动,总面貌未发生根本变化。天山北麓是干旱区山地生态系统和荒漠生态系统的交界地带,是自然环境的敏感区域。在整个生态系统中,山地生态系统比较稳定,平原生态系统相对不稳定^[4]。天山中部在整个天山山

脉具有独特的生物气候特征,尤其是北坡,有较为完整的地带性垂直带,具有较为典型的代表性。

本文就其中剖面平均有机碳和表层有机碳的密度,及其与海拔高度之间的相关关系进行分析,初步探讨土壤有机碳密度随剖面深度和海拔高度的变化而呈现的不同规律。

1 研究区概况

乌鲁木齐河流域位于天山北坡中部依连哈比尕山的北坡,流域南北长约 200 km,东西宽 25~50 km。研究区位于乌鲁木齐河流域中上游,地理坐标为东经 $86^{\circ}48'46''$ — $87^{\circ}44'16''$,北纬 $43^{\circ}04'16''$ — $43^{\circ}50'55''$,研究区(坡面)总面积 $1\,706.98\text{ km}^2$,最高峰天格尔 II 峰,海拔为 $4\,481\text{ m}$,山势高、坡度陡,雪线在 $3\,400\text{ m}$ 以上。最低点为乌鲁木齐市附近的 791 m ,高差 $3\,960\text{ m}$ 。山区部分可分为高山带、亚高山带、中山带、低山带和山间谷地。属于温带大陆性山地气候,垂直地带性明显。低山带以下极为干燥,向上气候则逐渐转为冷湿,气温随高度的增大而急剧下降,但各地段的梯度变化不同。

中天山北坡的土壤具有较为完整的土壤垂直带谱,集中了具有代表性的干旱区环境的山地土壤方面的特征,也几乎代表了中天山北坡的主要土壤类型分布。乌鲁木齐河流域的面积较小,范围不大,其土壤理化性质对空间的变异性相对较小,这对于保证数据资料的代表性、权威性与完整性提供了一定的基础,是一个较为理想的研究区域。

2 研究方法

2.1 样地设置及采样

为了反映山地垂直带土壤有机碳特征,揭示气候因素、植被和土壤特征等对土壤有机碳含量的影响,沿乌鲁木齐河谷的天山北坡以土壤类型、海拔高度和植被类型为指标,分别在高山草甸、亚高山草甸、山地森林、山地草甸草原、干旱半干旱草原及荒漠草原区设置了调查样地。

由于土壤有机碳是影响土壤类型分布的重要因素,所以土壤类型是本研究采样的重要依据。按照土壤类型以及地貌部位的不同,采用非等间距不规则法采集样品,每种类型的土壤根据其分布面积的大小,具体安排剖面的数量。土壤剖面的疏密程度和一个土壤剖面所能代表的面积大小,以地区的自然地理特点(主要是地貌特征、植被状况等)、土壤种类和分布情况,以及地形图比例尺的大小等因素而决定。

本研究共挖掘剖面 401 个,由于山地垂直带中土壤的相对发育程度有较大的差异,因而剖面深度也有

较大的差异,其表层和各发生层的深度也不尽相同。考虑剖面的完整性,所以取样采用发生层逐层平均取样、混合,每层采取样品约 1 kg 左右。其中,主采样剖面 126 个,检查剖面 252 个,分界剖面 23 个。经过筛查,测试样品取自 126 个中的 119 个典型土壤剖面,共取得待测样品 490 个。

2.2 测定方法

采集的土样经风干、去除植物根系和石砾后过 20 目筛备用。

土壤有机碳:用重铬酸钾氧化法(外加热)测定。利用土壤有机碳与过量的 $\text{K}_2\text{CrO}_7\text{—H}_2\text{SO}_4$ 氧化剂溶液,在 $170\sim 180^{\circ}\text{C}$ 温度下进行的氧化还原反应(时间规定为沸腾 5 min), K_2CrO_7 的剩余量用 FeSO_4 标准溶液进行滴定(邻啡罗琳作指示剂),通过实际消耗量求得有机碳的含量^[5]。

容重测定用环刀法测定^[5]。

2.3 数据处理

所有数据分析采用 SPSS 13.0 软件进行。数据分析平均值的获取,均以采样剖面发生层的实际厚度为权重,取其加权平均值或加权平均值的和。

土壤有机碳密度不仅是统计土壤有机碳储量主要参数,其本身也是一项反映土壤特性的重要指标,它是由土壤有机碳含量、砾石(粒径 $> 2\text{ mm}$) 含量和容重所共同确定的^[6-9]。

基于有限的实测数据,以及 Batjes^[10] 估算公式的简洁性,大多数研究者采用了较为简单易行的方法^[11],本文的研究也主要采用这种方法。

即:对于一定深度 $H(\text{cm})$,有 n 个土层的土壤剖面,有机碳密度 $\text{SOCD}_H(\text{kg}/\text{m}^2)$ 的计算公式如下:

$$\text{SOCD}_H = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(1-\delta_i\%) \rho_i C_i H_i}{\sum_{i=1}^n H_i}}$$

式中: n ——土层数; δ_i ——第 i 层 $> 2\text{ mm}$ 砾石含量(体积百分含量); ρ_i ——第 i 层土壤容重(g/cm^3); C_i ——第 i 层土壤有机碳平均含量(%); H_i ——第 i 层土层厚度(cm)。

国际上土壤有机碳(SOCD)密度通常是指土壤剖面深度为 1 m ,每 m^2 土体中所含有的土壤有机碳质量,单位为 kg/m^2 ,就是指土壤剖面深度 1 m 作为估算土壤有机碳库的基准,然后进行比较。

本研究所采用的 119 个典型土壤剖面中,共有 24 个剖面为石质接触,其中高山草甸土 8 个,亚高山草甸土 10 个,山地灰褐色森林土 3 个,山地棕钙土 3 个,其余 95 个剖面的土层厚度均为 1 m 。对于深度无法达到 1 m 的剖面,在计算土壤有机碳密度时按实际深度进行估算^[12-13]。

3 结果与分析

3.1 土壤有机碳密度的估算结果

如表 1 所示,全剖面 and 表层土壤有机碳密度平均值分别为 46.91,13.95 kg/m²。不同土壤类型的土壤有机碳密度存在着显著差异。全剖面土壤有机碳密度的最高值出现在山地灰褐色森林土和山地黑钙土分布区,而表层土壤有机碳密度最高值出现在山地黑钙土和亚高山草甸土分布区。山地黑钙土和亚高山草甸土(阴坡为山地灰褐色森林土分布,三者为复区交错分布)是该区域山地垂直带中降水量最大区域,土壤有机碳高密度值正是出现在此区域,而再向上,降水量又有所减少,所以高山草甸土的有机碳密

度相对较低,海拔升高,气温也会下降,这也是造成有机碳密度增加的因素。降水与气温两项指标叠加,使得亚高山草甸土、山地黑钙土以及山地灰褐色森林土的有机碳密度为研究区最高,由于高山草甸土分布区的气温在一年中多数时间在 0℃ 或以下,有机碳密度也随气温的这一特点而降低,但由于水分的因素,高山草甸土的有机碳密度不是这个研究区内的最低值。

土壤的平均容重为 1.10,略低于全国的平均水平^[14],说明该研究区土壤总体的平均结构较好。

表层平均碳密度与剖面平均碳密度的比值(B/A)为 0.30,意味着该研究区土壤表层有机碳平均密度约占整个剖面的 30% 左右。有机碳平均密度以表层为最大。

表 1 不同土壤类型有机碳密度

土壤类型	剖面数/个	海拔高度/m	平均容重/(g·cm ⁻³)	平均碳密度/(kg·m ⁻²)	表层平均碳密度/(kg·m ⁻²)	B/A
高山草甸土	11	3210~3561	0.89	45.57	8.93	0.20
亚高山草甸土	16	2366~2900	0.96	53.04	21.15	0.40
灰褐色森林土	22	1860~2650	1.00	76.51	16.98	0.22
山地黑钙土	32	1780~1990	1.10	68.59	25.24	0.37
山地栗钙土	18	1250~1700	1.21	24.49	7.01	0.29
山地棕钙土	20	870~970	1.41	13.26	4.41	0.33
平均			1.10	46.91	13.95	0.30

3.2 剖面土壤有机碳平均密度和表层有机碳密度的关系

剖面土壤有机碳平均密度与表层有机碳有着较显著的正相关关系(图 1),相关系数为 0.642 8,其拟合曲线为 $y = 0.2277x^{1.0072}$,拟合优度 $R^2 = 0.413 2$ 。土壤有机碳密度的大小分布的总体趋势,在很大程度上取决于表层有机碳的密度,表层有机碳密度越大,整个剖面有机碳的密度越大。而高山草甸土因气候条件影响有所例外。

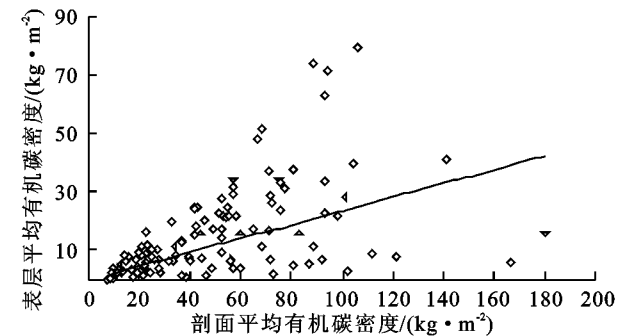


图 1 剖面土壤平均有机碳密度与表层有机碳密度拟合曲线

3.3 土壤剖面平均有机碳密度与海拔高度的关系

土壤剖面平均有机碳密度与海拔高度之间呈较为显著的正相关关系(图 2),相关系数为 0.646 2,拟合曲线为 $y = 489.88x^{0.352}$,拟合优度 $R^2 = 0.417 6$ 。随着海拔高度的上升,土壤有机碳的密度会增加,土

壤有机碳的含量也会随着海拔高度的增高而增加。到灰褐色森林土和山地黑钙土达到最大,随后因气候条件的变化渐次降低。

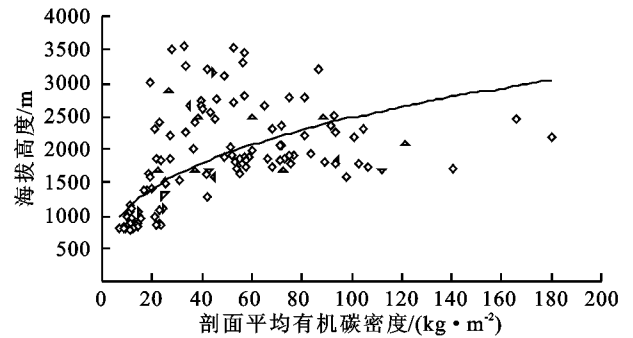


图 2 土壤剖面有机碳平均密度与海拔高度的拟合曲线

3.4 表层有机碳密度与海拔高度的关系

土壤表层有机碳密度与海拔高度之间呈弱相关关系(图 3),相关系数为 0.364 1,拟合曲线为 $y = 1344.5x^{0.1266}$,拟合优度 $R^2 = 0.132 6$ 。相对于土壤剖面平均有机碳密度而言,随着海拔高度的上升,土壤剖面表层有机碳的密度与海拔高度之间的关系较弱,表明随着海拔高度的增加,其表层有机碳密度变化的幅度要小于整个剖面平均值变化的幅度。

3.5 土壤剖面有机碳层密度与发生层深度的关系

剖面发生层有机碳密度和相应层厚度之间也呈一定的正相关(图 4),相关系数也可达 0.461 3,拟合

曲线为: $y = 14.017x^{0.204}$, 拟合优度 $R^2 = 0.2128$ 。显示发生层越深厚, 土壤的相对发育程度就越高, 有机碳的密度值就越高。

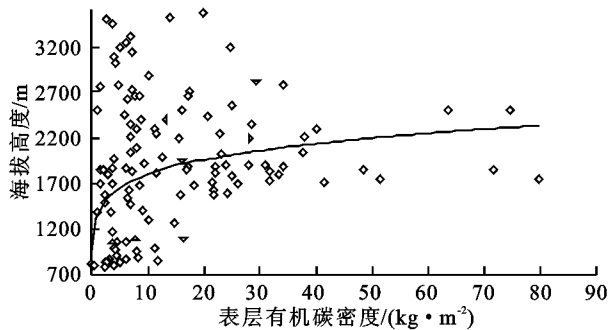


图3 土壤剖面表层有机碳密度与海拔高度的拟合曲线

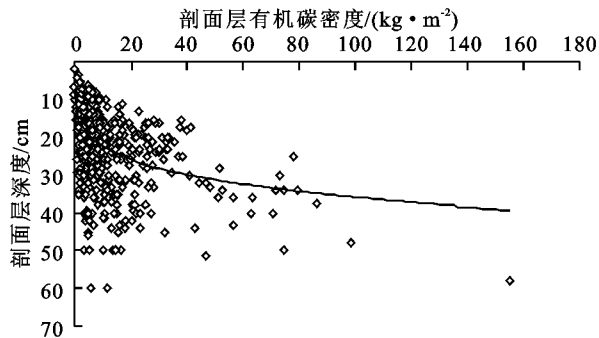


图4 剖面土壤有机碳层密度与剖面层深度拟合曲线

3.6 土壤表层有机碳密度与表层深度的关系

表层土壤有机碳密度与表层深度之间也有较为显著的正相关(图5), 相关系数为 0.6787, 拟合曲线为 $y = 7.7033x^{0.3052}$, 拟合优度 $R^2 = 0.4606$, 表层深度越大, 土壤有机碳累积层的厚度就越大, 土壤有机碳的密度也就越大。这应该和土壤的发育程度有关, 一般地讲, 土壤表层深度越大, 土壤的发育程度越高, 土壤就越成熟, 有机碳的积累也就越多。

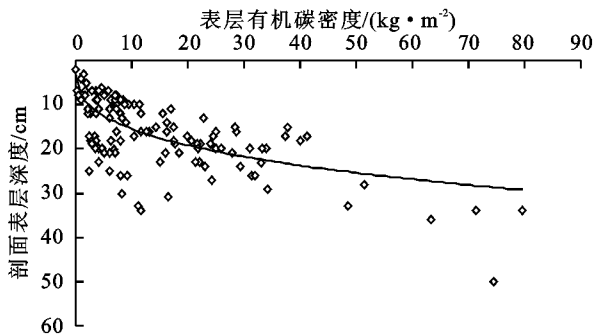


图5 土壤表层有机碳密度与剖面表层深度的拟合曲线

4 结论

(1) 土壤有机碳密度与海拔高度总体上呈正相关关系, 但在高山带其含量有所下降。考虑因气候因素中温度和水分对有机碳释放速率的影响^[15], 以及

存在于不同海拔高度的不同植被类型对土壤有机残体供给存在的差异, 高山带水热指标有大幅度降低, 故海拔最高处并非土壤有机碳密度最高地。

(2) 剖面发生层的有机碳密度与相应的层次深度间的相关程度较高, 本研究显示发生层越厚, 土壤有机碳密度也就越大, 有机碳的含量就越高。

(3) 平均土壤有机碳密度和表层土壤有机碳密度均显示其最大值主要出现在中海拔区的土壤, 表明良好的水热条件是蓄存土壤有机碳的重要保障。研究同时显示在研究区土壤表层平均有机碳密度约占整个剖面平均密度的30%左右, 以表层密度为最大。

参考文献:

- [1] 彭少麟, 李跃林, 任海, 等. 全球变化条件下的土壤呼吸效应[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 705-713.
- [2] Wu H, Guo Z, Peng C. Land use induced changes of organic carbon storage in soils of China [J]. Global Change Biology, 2003, 9(3): 305-315.
- [3] 金峰, 杨浩, 赵其国. 土壤有机碳储量及影响因素研究进展[J]. 土壤, 2000, 32(1): 11-17.
- [4] 黄盛璋. 绿洲研究[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [5] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M] 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [6] 金峰, 杨浩, 蔡祖聪, 等. 土壤有机碳密度及储量的统计研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 522-528.
- [7] 王绍强, 刘纪远. 土壤碳蓄积量变化的影响因素研究现状[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 528-534.
- [8] 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究, 1999, 18(4): 349-356.
- [9] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
- [10] Miranda M L, Miller J N, Jacobs T L. Talking trash about landfills: Using quantitative scoring schemes in landfill siting processes [J]. Journal of Policy Analysis and Management, 2000, 19(1): 3-22.
- [11] 陈庆美, 王绍强, 于贵瑞. 内蒙古自治区土壤有机碳、氮蓄积量的空间特征[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 699-704.
- [12] 孙维侠, 史学正, 于东升. 土壤有机碳的剖面分布特征及其密度的估算方法研究: 以我国东北地区为例[J]. 土壤, 2003, 35(3): 236-241.
- [13] 潘根兴, 曹建华, 何师意, 等. 土壤碳作为湿润亚热带表层岩溶作用的动力机制: 系统碳库及碳转移特征[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(3): 49-52.
- [14] 新疆维吾尔自治区农业厅, 新疆维吾尔自治区土壤普查办公室. 新疆土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [15] Quideau S. Vegetation control on soil organic matter dynamics[J]. Organic Geochemistry, 2001, 32(2): 247-252.