

祁连山天老池小流域土壤有机碳空间异质性及其影响因素^①

马文瑛¹, 赵传燕^{1*}, 王超², 王阳¹

(1 兰州大学生命科学学院干旱农业生态研究所草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州 730000 2 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要: 采用野外取样和室内分析, 结合地统计学方法和方差分析方法, 分析了祁连山天老池小流域 0~30 cm 层的土壤有机碳的分布特征及其与植被类型、地形和土壤性质等因素的关系。结果表明, 该流域土壤有机碳垂直分布存在显著的差异, 随着土层深度的增加, 土壤有机碳含量显著减少, 0~10、10~20、20~30 cm 土层土壤有机碳含量分别为 105.08、81.46、62.62 g/kg, 土壤平均有机碳含量为 83.05 g/kg, 变异系数为 0.56。不同的植被类型 0~10 cm 土层土壤有机碳含量表现为青海云杉(138.20 g/kg)>灌丛(118.49 g/kg)>亚高山草甸(100.43 g/kg)>祁连圆柏(74.17 g/kg)>干草原(43.94 g/kg); 随着海拔的升高土壤有机碳含量增加, 阴坡有机碳含量明显高于阳坡; 经相关性分析表明, 土壤有机碳与土壤全氮和砂粒呈显著正相关关系, 与土壤体积质量、黏粒和粉粒呈显著负相关关系。

关键词: 土壤有机碳; 空间异质性; 影响因素; 祁连山; 天老池

中图分类号: S153.6+21

植物通过光合作用吸收 CO₂, 将碳固定在植物体内, 转化为有机化合物, 同时, 又通过各种呼吸途径或扰动将 CO₂ 返回大气, 形成一个动态平衡过程^[1]。全球大约有 1 500 Gt 的碳以有机质的形式存在于土壤中, 土壤碳库是陆地生态系统中最大的碳库, 是陆地植被碳库 (500~600 Gt) 的 2~3 倍, 是大气碳库 (750 Gt) 的 2 倍^[2]。因此, 土壤有机碳在全球碳循环中起着非常重要的作用^[3]。此外, 土壤有机碳含量在很大程度上影响着土壤的结构、性质以及植物的营养状况, 从而影响植被的生产力。有研究表明, 土壤有机碳的多少主要依赖于地表植被和土地利用类型^[4], 与进入土壤中的植物的残枝落叶和土壤中的微生物种类呈显著的相关关系^[5]。

土壤是时空连续的变体, 在任何一个区域内, 无论尺度大小, 均具有高度的空间异质性^[6]。土壤有机碳也不例外, 研究表明, 即使是在土壤质地相同的区域内, 土壤有机碳在不同的空间位置上也有着明显的差异, 即具有明显的空间异质性^[7]。

当前, 土壤特性的空间变异性研究已成为土壤科学和生态科学领域的热点之一^[8], 然而传统的统计方法调查土壤性质的时空异质性费时、费力, 随着地统计学的发展和 3S 技术的应用, 弥补了传统方法的不足^[9], 地统计方法与 GIS 技术相结合, 依据

调查数据可提供最优的空间插值法, 可以快速、简便地展示土壤有机碳的空间变异特征。研究表明, 土壤有机碳含量的多少受气候、植被、土壤理化性质以及人类活动等诸多因素的影响^[10]。目前对土壤有机碳空间变异及影响因素的研究多集中于平坦区域不同土地利用方式和土壤管理措施方面, 而对于地形复杂且植被类型多样区域的土壤有机碳空间异质性及其成因的研究尚不多见^[11]。土壤有机碳空间异质性的研究是土壤水文过程在区域分异研究的基础, 也是分布式生态水文模型输入的间接参数, 因此, 对于土壤有机碳空间异质性的研究具有重要的意义。

本文以祁连山天老池小流域作为研究区, 分析流域内典型森林和草原生态系统土壤有机碳的空间异质性, 并分析植被类型和地形等因素对土壤有机碳空间异质性的影响, 为分布式生态水文模型提供重要的输入数据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

本研究选择祁连山天老池小流域为研究区(38°20′~38°30′N, 99°44′~99°59′E), 它属于祁连山中段黑河上游寺大隆河流域, 流域总面积 12.8 km², 河流纵长 6.0 km, 纵坡比降 1:12.5, 海拔 2 600~4 450 m。

基金项目: 国家自然科学基金项目(91025015)资助。

* 通讯作者(nanzhr@lzb.ac.cn)

作者简介: 马文瑛(1989—), 女, 甘肃定西人, 硕士研究生, 主要从事土壤碳循环研究。E-mail: mawy12@lzu.edu.cn

流域气候类型属于高寒半干旱、半湿润山地森林草原气候，年均气温 $-0.6 \sim 2.0^{\circ}\text{C}$ ，1 月份平均气温 -13.3°C ，7 月份平均气温 $10 \sim 14^{\circ}\text{C}$ ，年降水量 435.5 mm，降水主要集中在 5—9 月份，占全年降水量的 89.2%，蒸发量 1 051.7 mm，年日照时数 1 892.6 h，年平均相对湿度为 60%^[12]。流域内从低海拔到高海拔具有降水量明显增加、气温显著减少的趋势。因地形和气候的差异而形成具有明显垂直梯度分异的植被类型。在低海拔的阳坡，分布着小面积的干草原，主要成分为紫花针茅 (*Stipa purpurea*)、甘青针茅 (*Stipa przewalskyi*)；流域内大部分区域阴坡和半阴坡分布着青海云杉林 (*Picea crassifolia*)，阳坡和半阳坡分布着祁连圆柏林 (*Sabina przewalskii*)，灌丛以鬼箭锦鸡儿 (*Caragana jubata*)、金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 和吉拉柳 (*Salix gilashanica*) 为优势种镶嵌其中；在 2 900 ~ 3 100 m 平坦的地方分布着亚高山草甸，主要由苔草 (*Carex* sp.)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*) 和车前草 (*Plantago asiatica*) 组成；阳坡海拔 3 400 ~ 3 900 m，阴坡 3 300 ~ 3 800 m，是灌丛分布带，主要种类有鬼箭锦鸡儿 (*Caragana jubata*)、吉拉柳 (*Salix gilashanica*)、高山绣线菊 (*Spiraea alpina*) 等；阳坡 3 900 m 以上，

阴坡 3 800 m 以上至山顶，主要为稀疏垫状植被、裸岩或冰雪。土壤主要类型是山地灰褐土和亚高山灌丛草甸土，土层较薄，以粉沙为主，成土母质主要是泥炭岩、砾岩、紫红色沙页岩等。

1.2 土壤采样方法与分析

1.2.1 土样采集

在海拔 2 600 ~ 3 600 m，根据流域内植被的分布类型，包括青海云杉林、祁连圆柏林、灌丛、亚高山草甸和干草原 5 种类型，于 2012 年 6 月—2012 年 8 月进行土壤采样。布设采样点的原则：根据不同的植被类型布设样带，在同一种植被类型中，按照不同的植被盖度，不同的坡度、坡向和海拔高度进行采样，力求采样点分布均匀，且在流域内有代表性。共采集样点 137 个，其中，青海云杉采样点 43 个，祁连圆柏 25 个，灌丛 38 个，亚高山草甸 13 个，干草原 18 个，图 1 为采样点的空间分布图。每个样点的土壤分 3 层进行采样，分别为 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm，在每个采样层分别用环刀取两个平行样，然后将样品从环刀中取出放入样品袋中密封。同时用样品袋取同一土层的土壤密封，带回实验室分析处理。利用手持 GPS 记录每个样点的经度、纬度、海拔，利用罗盘测量样点的坡度和坡向。

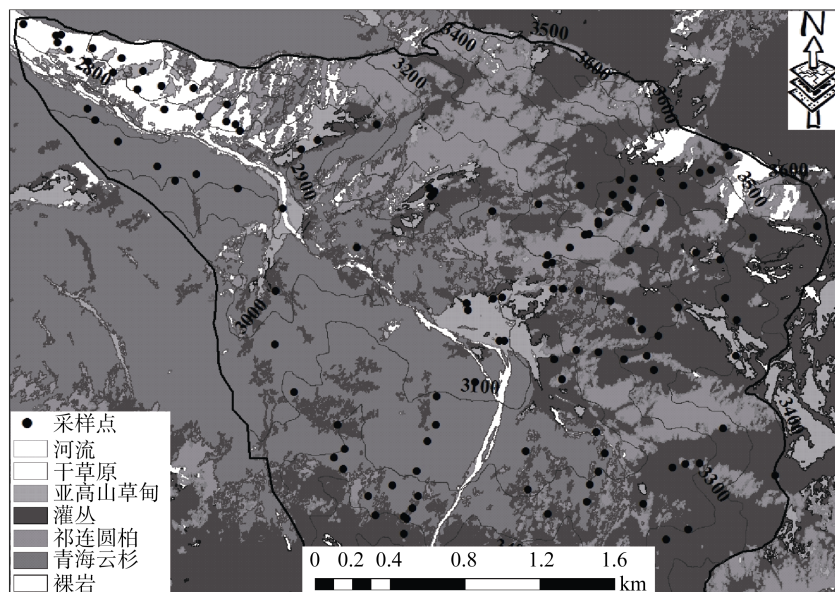


图 1 采样点的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of sampling points

1.2.2 样品分析与数据处理

将用环刀取的土样装入信封中， 105°C 烘干，称重计算土壤体积质量。称取 20 g 过 2 mm 筛的土样，用比重计法测定土壤的机械组成。另一批土样自然风干，挑去植物残体和石块等杂物，磨细，过 0.25 mm 筛，测定土壤有机碳 ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 外加热法) 和全氮 (凯氏定氮

法) 含量。采用 SPSS 软件中的 ANOVA 分析方法，当 F 检验显著时，进行均值间 LSD 显著性检验。

1.3 土壤有机碳空间变异分析

利用 ArcGIS 软件对空间土壤有机碳含量数据进行统计分析，统计特征值包括平均值、标准方差、变异系数、偏度、峰度等。对数据进行正态分布检验，用

Kriging 方法插值, 对土壤有机碳空间变异进行分析。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳的统计特征

研究区土壤有机碳的描述性统计结果如表 1 所示。采样区 0~10、10~20、20~30 cm 土层的平均有机碳含量分别为 105.08、81.46、62.62 g/kg, 这表明研究区土壤有机碳含量总体水平较高, 从剖面分布看, 0~10 cm 层含量最大, 随着土壤深度的增加而减小。变异系数 CV 的大小决定着随机变量的变异程度, 即决定土壤有机碳空间差异性的大小。一般认为 CV≤0.1 时为弱变异性, 0.1≤CV≤1.0 时为中等变异性, CV≥1.0 时为强变异性^[13]。由表 1 可以看出 3 层土壤的变异系数分别为 0.49、0.55 和 0.66, 这表明各层土壤均属中等变异程度。表 1 也显示 3 层土壤

有机碳均存在极显著的差异(P<0.01), 表明研究区土壤有机碳垂直差异性较大。对整个研究区来说, 土壤平均有机碳含量为 83.05 g/kg, 变异系数为 0.56。

2.2 土壤有机碳的空间分布特征

将采样做成点文件, 通过 ArcGIS 中的地统计模块下的探索性数据分析工具, 对数据进行检验, 得出数据的分布类型, 本数据符合正态分布类型。由于 Kriging 插值法对正态分布数据预测精度最高, 本研究选择 Kriging 插值法对研究区进行空间插值(图 2)。图 2 表明土壤有机碳的空间分布具有显著的差异性。从图中可以看出 0~10 cm 空间异质性最大, 随着深度的增加, 空间异质性降低, 20~30 cm 空间异质性最小。从地形上看, 土壤有机碳阴坡高于阳坡, 在 2 600~3 600 m 的海拔范围内, 土壤有机碳高海拔高于低海拔区域。

表 1 土壤有机碳的描述性统计参数特征(g/kg)
Table 1 Descriptive statistical parameters of soil organic carbon

土层(cm)	样本数	平均值	最大值	最小值	标准方差	变异系数	偏度	峰度	分布类型
0~10	137	105.08	223.57	10.55	51.01**	0.49	0.13	2.34	正态分布
10~20	136	81.46	191.38	7.00	44.67**	0.55	0.40	2.61	正态分布
20~30	136	62.62	170.96	1.09	41.11**	0.66	0.58	2.57	正态分布

注: ** 表示样点间差异达到 P<0.01 显著水平。

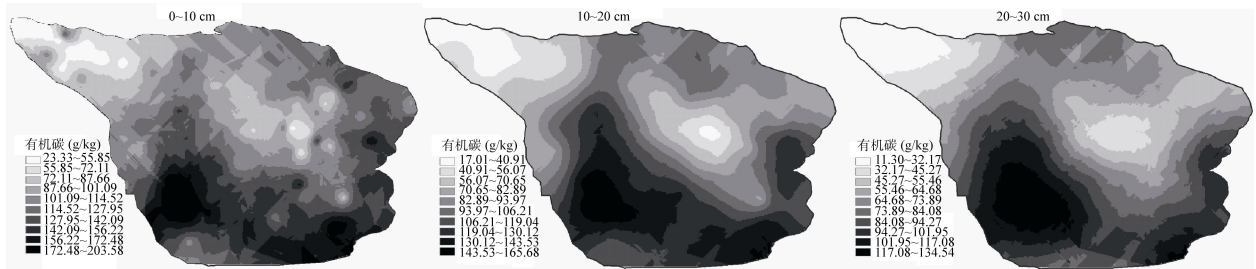


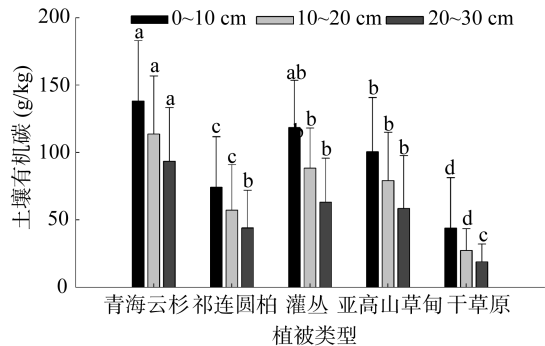
图 2 不同深度土壤有机碳的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of soil organic carbon in different depth

2.3 植被类型对土壤有机碳空间异质性的影响

由图 3 可以看出不同的植被类型下土壤有机碳不同。在 0~10、10~20、20~30 cm 土层中, 青海云杉土壤有机碳分别为 138.20、113.65、93.42 g/kg; 祁连圆柏分别为 74.17、57.13、43.97 g/kg; 灌丛分别为 118.49、88.42、62.99 g/kg; 亚高山草甸分别为 100.43、79.01、58.43 g/kg; 干草原分别为 43.94、27.22、18.91 g/kg。各植被类型有机碳含量变化幅度依次为: 青海云杉为 18.51~213.21 g/kg, 灌丛为 10.78~223.57 g/kg, 亚高山草甸为 9.04~195.37 g/kg, 祁连圆柏为 3.94~163.94 g/kg, 干草原为 1.09~175.50 g/kg。0~10 cm 土层中, 土壤有机碳的含量表现为青海云杉(138.20 g/kg)>灌丛(118.49 g/kg)>亚高山草甸(100.43 g/kg)>祁连圆柏(74.17 g/kg)>干草原(43.94 g/kg),

青海云杉显著高于其他植被类型 (P<0.05), 亚高山草甸显著高于祁连圆柏和干草原 (P<0.05), 祁连圆



(图中小写字母不同表示同一土层不同植被类型间土壤有机碳差异显著(P<0.05), 下同)

图 3 不同植被类型下土壤有机碳的差异

Fig. 3 Soil organic carbon in different vegetation types

柏显著高于干草原 ($P<0.05$)。10~20 cm 和 20~30 cm 层土壤有机碳也表现出类似的差异性。

2.4 地形对土壤有机碳空间异质性的影响

由于不同的海拔带气温、降水量和植被类型有较大的差异，土壤有机碳也会存在差异，因此将采集的土样按海拔由低到高分为 2 600~2 800、2 800~3 000、3 000~3 200、3 200~3 400、3 400~3 600 m 5 个海拔段，用来分析海拔对土壤有机碳异质性的影响。

图 4A 显示，在 0~10 cm 层的土壤中，随着海拔的升高土壤有机碳含量增加，在 3 200~3 400 m 达到最大，之后随着海拔的增加又减少，海拔在 2 600~2 800 m (38.62 g/kg) 显著低于 2 800~3 000 m (77.29 g/kg) ($P<0.05$)，2 800~3 000 m 显著低于 3 000~3 200 m (103.64 g/kg)、3 200~3 400 m (130.24 g/kg) 和 3 400~3 600 m (123.39 g/kg) 3 个海拔段($P<0.05$)。10~20 和 20~30 cm 层土壤有机碳也表现出类似的差异性。

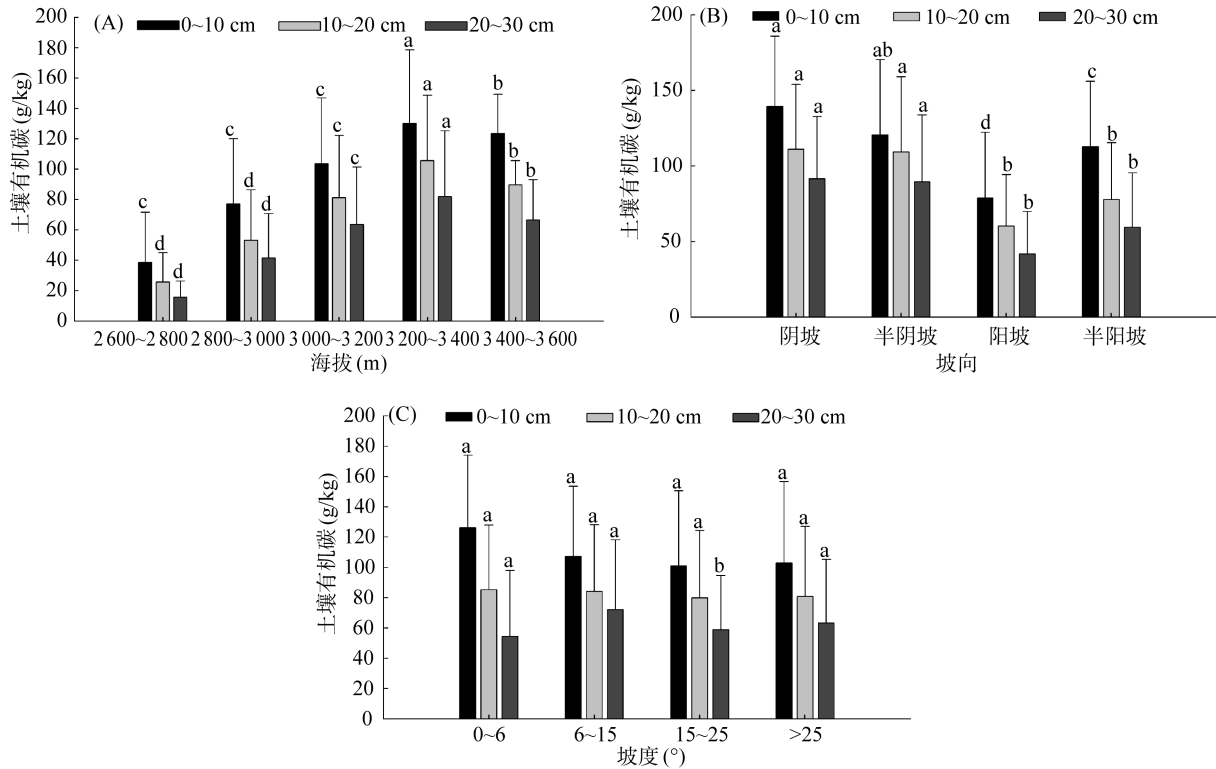


图 4 地形对土壤有机碳的影响
Fig. 4 Effect of topography on soil organic carbon

坡向直接关系到植被类型的分布，对土壤有机碳具有很大的影响。根据采样情况，按照传统的分类方式，将坡向分为阴坡 ($0^{\circ}\sim 67.5^{\circ}$, $337.5^{\circ}\sim 360^{\circ}$)、半阴坡 ($67.5^{\circ}\sim 112.5^{\circ}$, $292.5^{\circ}\sim 337.5^{\circ}$)、阳坡 ($112.5^{\circ}\sim 247.5^{\circ}$) 和半阳坡 ($247.5^{\circ}\sim 292.5^{\circ}$) 4 类，用来分析坡向对土壤有机碳异质性的影响。图 4B 表明，阴坡的土壤有机碳含量显著高于阳坡 ($P<0.05$)，具体表现为阴坡 (114.03 g/kg)>半阴坡 (106.47 g/kg)>半阳坡 (83.37 g/kg)>阳坡 (60.34 g/kg)。在干旱区，水分条件是控制植被生长的主要因素，之所以阴坡土壤有机碳含量高于阳坡，可能有两个方面的原因：

阴坡水分条件好，植被的生长状态好于阳坡，土壤有机碳的物质来源阴坡比较丰富；阳坡温度高，土壤有机体分解快。

将采样点依据坡度分类方法进行分类，分为 $0^{\circ}\sim$

6° 、 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 、 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 和 $>25^{\circ}$ 共 4 个级别，进行坡度对土壤有机碳的影响分析。由图 4C 可以看到，随着坡度的增大土壤有机碳减少，而不同坡度对土壤有机碳的影响差异性不显著 ($P>0.05$)，具体为 $0^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 88.65 g/kg、 $6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 87.82 g/kg、 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 79.90 g/kg 和 $>25^{\circ}$ 79.27 g/kg。

2.5 土壤性质对土壤有机碳空间异质性的影响

回归分析表明，研究区土壤有机碳与全氮 (图 5A) 和土壤体积质量 (图 5B) 均存在显著的相关关系 ($P<0.05$)，其中与全氮呈显著正相关关系， R^2 为 0.566，回归方程为 $y = 17.47x + 24.85$ ；与体积质量呈显著负相关关系， R^2 为 0.608，回归方程为 $y = -114.87x + 181.73$ 。此外，土壤有机碳还与粒径分布 (黏粒、粉粒、砂粒) (图 5C、5D、5E) 有相关关系 ($P<0.05$)，与黏粒、粉粒、砂粒分别呈显著负相关、

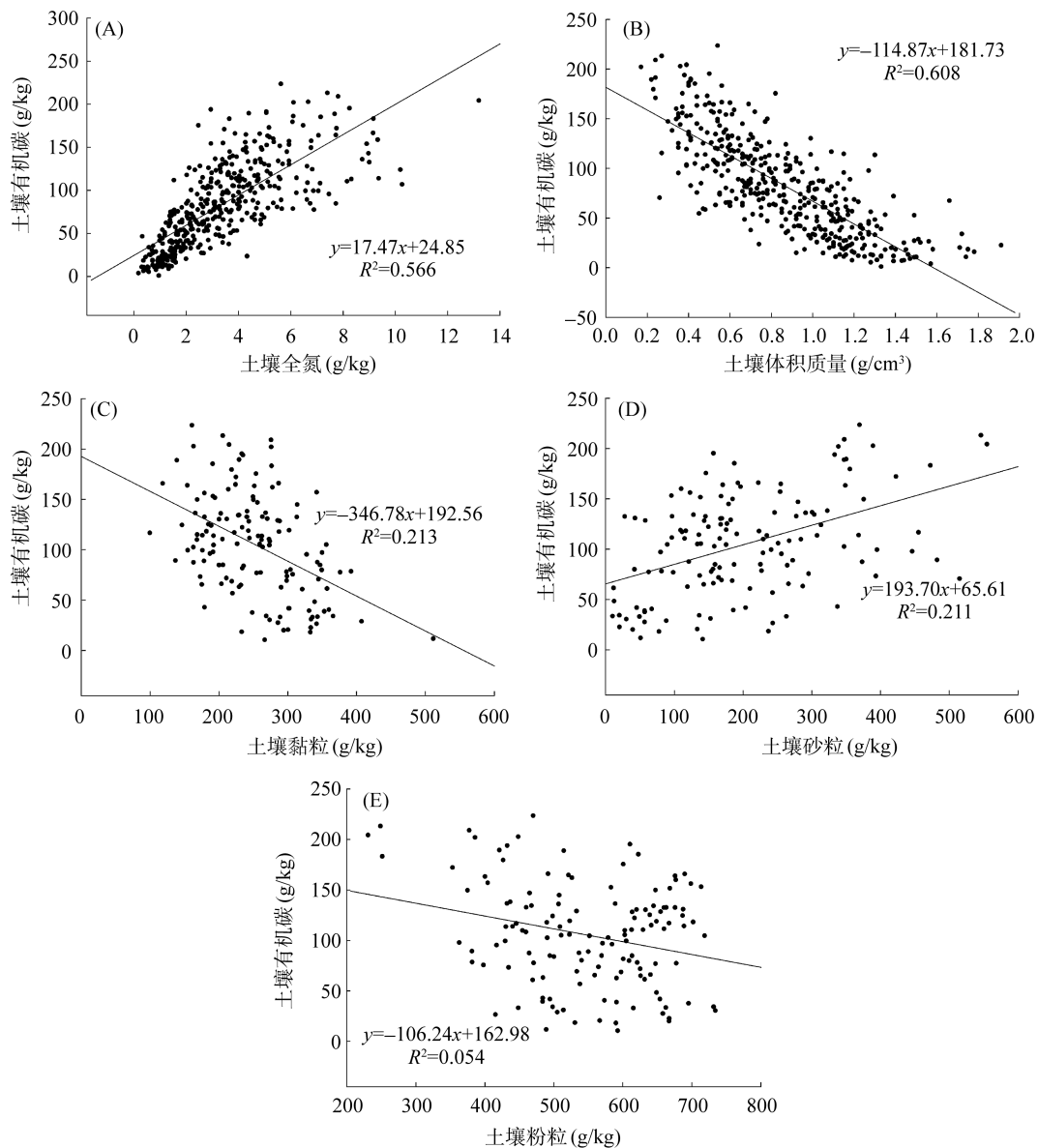


图 5 土壤有机碳与土壤性质的回归关系

Fig. 5 Regression relationship between soil organic carbon and soil total nitrogen (A), bulk density (B), clay content (C), sand content (D), and silt content (E)

负相关、正相关关系, R^2 分别为 0.213、0.054、0.211。

3 讨论与结论

有机碳作为土壤的一个重要组成部分,对于维持土壤的物理、化学以及生物学特征有决定性的作用。凋落物和根系分泌物经微生物的分解是土壤有机碳的主要来源,土壤有机碳储量受地表植被枯枝落叶的分解、转化和土壤呼吸释放过程的综合影响^[14],气候条件、土壤水分状况影响分解、转化和土壤呼吸速率。此外,土壤中有有机物质的分解速率也依赖于有机物质的化学组成。研究表明,整个研究区土壤有机碳空间分布差异较大,随着土层深度的增加,土壤有机碳含量呈递减的趋势(表 1,图 2),

不同植被类型有机碳含量有较大差异(图 3)。

姜培坤^[15]在浙江省玲珑山和徐侠等^[16]在福建省武夷山报道同一植被类型有机碳随土层深度的增加而减少,与本研究结果一致,主要因为枯落物主要集中在土壤表层。不同植被类型其生长方式和植物根系分布影响有机质输入量,从而导致同一深度不同植被类型的土壤有机碳含量不同,本研究结果显示,青海云杉有机碳含量最高,其次是灌丛、亚高山草甸、祁连圆柏,干草原最低,而张鹏等^[17]和常宗强等^[18]研究结果表明祁连山中段高山灌丛土壤有机碳含量最高。这可能与采样点的代表性和采样区域的差异有关。因为祁连山中段灌丛的分布海拔跨度大,在高海拔地区灌丛形成条带分布,在低海

拔区与乔木林和草地镶嵌分布。在灌丛分布区内，温度对灌丛的生长起控制作用，低海拔区域的灌丛生物量高于高海拔区域^[19]，所以如果选择低海拔区采样可能会出现灌丛土壤有机碳含量很高^[18]，如果在高海拔区采样可能会出现灌丛土壤有机碳含量低(本研究结果)，因此采样点的选择对灌丛土壤有机碳的分析影响较大。此外，采样时间内降水量和温度不同，短期充足的水分^[20]和适合的湿度^[21]使土壤微生物的生物量和活性增强，因而采样时间也会导致相同植被类型的土壤有机碳含量有差异。

研究区 2 600 ~ 3 600 m 海拔带内分布着不同的植被类型，并且阴坡和阳坡分布的主要植被也有所不同，海拔、坡向、坡度等地形因素对土壤有机碳含量的影响主要是通过影响水热组合来实现。祁连山区气温随海拔升高而递减，递减率为 0.58℃/100 m；降水量随海拔升高而递增，递增率为 18.6 mm/100 m^[22]。从研究结果来看，随着海拔的升高土壤有机碳含量显著增加，主要原因是受降水和气温的影响。因为随着海拔的升高，降水量增加，土壤的湿度较大，但气温低，抑制了微生物的活性，动植物残体分解速率减慢，土壤有机碳矿化率下降，使有机碳沉积在土壤中，因而土壤有机碳储量也升高。研究结果还表明阴坡和半阴坡有机碳含量明显高于阳坡，主要因为阴坡分布着青海云杉林和大量的灌丛，阳坡分布着祁连圆柏林和草甸，并且阳坡植被比较稀疏，有机质输入量少，再加上土温高，微生物活性高，有机碳矿化较快，不易于有机质的积累^[23]。

土壤有机碳含量还与土壤体积质量和土壤全氮呈显著的相关关系，与土壤体积质量呈极显著负相关，与土壤全氮呈极显著正相关。土壤体积质量可以反映土壤的紧实度、质地和有机质含量^[24]，方运霆等^[25]根据鼎湖山永久性森林样地的实测资料研究发现，土壤有机碳含量与土壤体积质量具有显著的负相关关系。土壤中的氮主要以有机氮的形式存在，占全氮量的 95%，土壤有机碳与全氮呈正相关，可能是因为在一定范围内含氮量高的有机体容易被微生物分解，转化成有机碳积累于土壤中，从而对土壤有机碳的含量产生一定影响^[16]。另外，本研究表明，土壤有机碳还与粒径分布有相关关系，与土壤黏粒、粉粒呈显著负相关，与砂粒呈显著正相关，与解宏图等^[26]研究结论相反，解宏图等认为土壤有机碳与黏粒呈显著正相关，解释为土壤黏粒一方面可以提高土壤有效含水量；另一方面它能够较强地吸附土壤中的有机质，降低微生物对土壤有机质的分解。通过对该研究区的土壤质地研究发现，土壤

粒径分布具体表现为粉粒 396.3 ~ 608.1 g/kg，砂粒 111.9 ~ 370.0 g/kg，黏粒 173.3 ~ 283.4 g/kg，黏粒的含量相对较小，与有机碳含量呈负相关关系的机理有待于进一步研究。

除此以外，土壤有机碳含量还受 pH、土壤孔隙度和土壤含水量等因素的影响^[3, 24-25]。同时，在自然条件下，影响土壤有机碳含量的因素较多，而且这些因素之间存在着交互作用。随着海拔的升高，气温和降水等气候因素发生显著的改变，植被类型、土壤理化性质、微生物种类含量和非生物因子也随即发生改变，因此导致土壤有机碳含量存在显著的空间差异。

参考文献：

- [1] 刘娜, 顾凯平. 中国区域碳循环研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(17): 8 081-8 084
- [2] Batjes NH, Sombroek WG. Possibilities for carbon sequestration in tropical and sub-tropical soils[J]. Global Change Biology, 1997, 3: 161-173
- [3] 刘伟, 程积民, 高阳, 程杰, 梁万鹏. 黄土高原草地土壤有机碳分布及其影响因素[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 68-76
- [4] Arrouays D, Deslais W, Bateau V. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France[J]. Soil Use Manage, 2001, 17: 7-11
- [5] 贾晓红, 李新荣, 张志山. 沙冬青群落土壤有机碳和全氮含量的空间异质性[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2 266-2 270
- [6] 薛志婧, 侯晓瑞, 程曼, 安韶山. 黄土丘陵区小流域尺度上土壤有机碳空间异质性[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 160-168
- [7] 赵安玖, 胡庭兴, 陈小红. 森林类型对土壤表层有机碳空间异质性的影响[J]. 自然资源学报, 2009, 24(10): 1 748-1 756
- [8] Campbell JE, Jeremie JC, Richard AN. Comparison of regression coefficient and GIS-based methodologies for regional estimates of forest soil carbon stocks[J]. Environmental Pollution, 2008, 152: 267-273
- [9] 李海东, 林杰, 张金池, 张晓庆, 张莉, 王玘. 小流域尺度下土壤有机碳和全氮空间变异特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2008, 32(4): 38-42
- [10] 周莉, 李保国, 周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 99-105
- [11] 李元寿, 张人禾, 王根绪, 赵林, 丁永健, 王一博. 青藏高原典型高寒草甸区土壤有机碳氮的变异特性[J]. 环境科学, 2009, 30(6): 248-253
- [12] 何志斌, 赵文智, 刘鹤, 苏永中. 祁连山青海云杉林表层土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2 572-2 577
- [13] 雷志栋, 杨诗秀. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985(9): 10-21

- [14] Quideau SA, Chadwick OA, Trumbore SE. Vegetation control on soil organic matter dynamics[J]. *Organic Geochemistry*, 2001, 32: 247–252
- [15] 姜培坤. 不同林分下土壤活性有机碳库研究[J]. *林业科学*, 2005, 41(1): 10–13
- [16] 徐侠, 陈月琴, 汪家社, 方燕鸿, 权伟, 阮宏华, 徐子坤. 武夷山不同海拔高度土壤活性有机碳变化[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 539–544
- [17] 张鹏, 张涛, 陈年来. 祁连山北麓山体垂直带土壤碳氮分布特征及影响因素[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 518–524
- [18] 常宗强, 冯起, 司建华, 李建林, 苏永红. 祁连山不同植被类型土壤碳贮量和碳通量[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(5): 681–688
- [19] 梁倍. 祁连山天涝池流域灌丛生物量遥感估算及其空间分布规律研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013
- [20] Diaz-Ravina M, Acea MJ, Carballas T. Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, 19: 220–226
- [21] Fisher FM, Gosz JR. Effects of trenching on soil processes and properties in a New Mexico mixed-conifer forest[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1986, 2: 35–42
- [22] 傅华, 陈亚明, 王彦荣, 万长贵. 阿拉善主要草地类型土壤有机碳特征及其影响因素[J]. *生态学报*, 2004, 24(3): 469–476
- [23] 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
- [24] 杜有新, 吴从建, 周赛霞, 黄良, 韩世明, 徐雪峰, 丁园. 庐山不同海拔森林土壤有机碳密度及分布特征[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(7): 1 675–1 681
- [25] 方运霆, 莫江明, Sandra B, 周国逸, 张倩媚, 李德军. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征[J]. *生态学报*, 2004, 24(1): 135–142
- [26] 解宏图, 郑立臣, 何红波, 张旭东. 东北黑土有机碳、全氮空间分布特征[J]. *土壤通报*, 2006, 37(6): 1 058–1 061

Spatial Variability of Soil Organic Carbon and Its Relationship with Environmental Factors in Tianlaochi Catchment in Qilian Mountains, Northwest China

MA Wen-ying¹, ZHAO Chuan-yan^{1*}, WANG Chao², WANG Yang¹

(1 State Key Laboratory of Grassland AgroEcosystem, Institute of Arid AgroEcology, School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2 College of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The spatial variability of SOC content of 0–30 cm soil layer and the relationships with vegetation types, topography and soil characteristics in Tianlaochi Catchment in Qilian Mountains was analyzed by Kriging interpolation method and ANOVA. The results indicated that the average of SOC content was 83.05 g/kg, the coefficient of variation was 0.56. SOC had the significant vertical distribution, that is, SOC content decreased with increasing soil depth. The average SOC contents were 105.08, 81.46 and 62.62 g/kg in 0–10, 10–20 and 20–30 cm, respectively. The SOC contents under Qinghai Spruce, Shrub, Qilian Sabina, Subalpine meadow and Dry grasslands was 138.20, 118.49, 100.43, 74.17 and 43.94 g/kg in 0–10 cm, respectively. From 2 600 m to 3 600 m, SOC content increased with increasing altitude. SOC content was also different with the different slope aspect, the shady slope was higher than that in sunny slope. Correlation analysis showed that SOC content was positively correlated with total nitrogen and sand content, and negatively correlated with soil bulk density, clay and silt content.

Key words: Soil organic carbon, Spatial heterogeneity, Influencing factors, Qilian Mountains, Tianlaochi Catchment