

# 岩溶山地不同土地利用方式土壤颗粒有机碳 和矿物结合态有机碳的分布特征

沈 艳, 傅瓦利, 蓝家程, 程 辉, 张石棋, 武玲珍

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

**摘 要:**对重庆中梁山岩溶山地不同土地利用方式下 0—40 cm 土壤颗粒有机碳和矿物结合态有机碳的含量和分布特征进行了研究。结果表明:不同土地利用方式土壤有机碳含量平均值表现为:林地>菜地>草地>橘园地>弃耕地。除橘园地外,其它各土地利用类型土壤细颗粒有机碳(FPOC)含量大于粗颗粒有机碳(CPOC)。不同利用方式土壤颗粒有机碳含量在剖面层次中表现不同。0—20 cm 表层土壤 CPOC 含量表现为:橘园地>草地>菜地>林地>弃耕地,差异较大。土壤 FPOC 含量表现为:林地>草地>菜地>橘园地>弃耕地;20—40 cm 土壤 CPOC 和 FPOC 最高值出现在菜地,最低值出现在弃耕地。不同土地利用方式土壤矿物结合态有机碳(MOC)含量和土壤有机碳含量分布特征一致。除橘园地外土壤各组分有机碳分配比例大致表现为:MOC/SOC>CPOC/SOC>FPOC/SOC。相关分析表明,不同土地利用方式土壤 SOC 和 POC 呈正相关,相关性不一致。林地和草地呈极显著相关( $P<0.01$ ),弃耕地呈显著相关( $P<0.05$ ),菜地和橘园地相关性不显著。表明人为干扰和耕作措施会影响 POC 对 SOC 的贡献。

**关键词:**岩溶区;土地利用方式;土壤有机碳;土壤粗颗粒有机碳;土壤细颗粒有机碳;土壤矿物结合态有机碳  
中图分类号:S153 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2012)06-0001-06

## Distribution Characteristics of Soil Particulate Organic Carbon and Mineral-associated Organic Carbon of Different Land Use in Karst Mountain

SHEN Yan, FU Wa-li, LAN Jia-cheng, CHENG Hui, ZHANG Shi-qi, WU Ling-zhen

(School of Geography Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The content and distribution characteristics of both soil particulate organic carbon(POC) and mineral-associated organic carbon(MOC) in the soil (0—40 cm) under different land use types were studied in Zhongliang knoll, Chongqing. The results revealed that: (1) the average content of the soil organic carbon(SOC) under different land use were woodland>vegetable land>grassland>garden>abandoned farmland; (2) the contents of soil fine particulate organic carbon(FPOC) were more than soil coarse particulate organic carbon(CPOC) in all land use except garden; (3) the contents of POC were different in the soil layer under different land use. Between 0—20 cm, the average contents of CPOC were garden>grassland>vegetable>woodland>abandoned farmland, and the contents were obviously different in each land with different use. The average contents of FPOC were woodland>grassland>vegetable land>garden>abandoned farmland. Between 20—40 cm, the highest content of CPOC and FPOC appeared in vegetable land, while the lowest occurred in abandoned farmland, the distributions of the contents of MOC under different land use types were the same as SOC; (4) the component of soil organic carbon ratio was approximately expressed as: MOC/SOC>CPOC/SOC>FPOC/SOC except garden; (5) the correlation analysis shows that, under different land use types the SOC and POC were positively correlated, and correlation was not consistent, woodland and grassland correlated significantly ( $P<0.01$ ), abandoned farmland correlated significantly ( $P<0.05$ ), and vegetable and orchard land did not remarkably correlate. So, human interference and tillage would affect contribution POC's in SOC pool.

**Key words:** karst area; land use type; soil organic carbon; soil coarse particulate organic carbon; soil fine particulate organic carbon; soil mineral-associated organic carbon

收稿日期:2012-04-23

修回日期:2012-06-24

资助项目:重庆市移民局课题(200909);重庆市自然科学基金(40701179)

作者简介:沈艳(1986—),女,四川人,硕士研究生,研究方向为土地利用与土壤环境。E-mail:gxhdhsy@swu.edu.cn

通信作者:傅瓦利(1954—),女,重庆人,博士,教授,主要从事土壤地理和土地利用研究。E-mail:fuwali@swu.edu.cn

土壤有机碳库是陆地生态系统中最大的碳库。它既可能成为大气中  $\text{CO}_2$  的源又可能成为  $\text{CO}_2$  的汇,从而影响着大气中  $\text{CO}_2$  的浓度。因此土壤有机碳的动态研究成为目前全球碳循环研究的热点<sup>[1]</sup>。许多研究表明土地利用是影响陆地生态系统碳循环的最大因素之一<sup>[2]</sup>。当前,土地利用方式对土壤有机碳影响的机理方面(土壤碳库的动态过程与影响因素)还有一些尚未清楚的地方<sup>[3-4]</sup>。因此揭示土地利用方式影响有机碳机理的关键之一,就是对土壤有机碳中不同组分进行准确研究。

土壤有机碳按照物理分组可以分成与砂粒( $53 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ )结合的颗粒有机碳和与土壤粉砂粒和黏粒( $<53\ \mu\text{m}$ )结合的矿物结合有机碳两部分。土壤颗粒有机碳,是介于土壤“活性库”与“惰性库”之间有机质的“慢库”。主要来源于新鲜的动植物残体和腐殖化有机物之间暂时的或过渡的有机碳<sup>[5-6]</sup>。它比土壤有机碳更易受土地利用方式的影响,对于评价土地利用对土壤碳固定过程的影响具有重要意义。提高土壤中 POC 比例,可能是缓解大气  $\text{CO}_2$  浓度上升的重要机制<sup>[7]</sup>。矿物结合态有机碳是有机物的最终分解产物,属于土壤有机碳中的“惰性库”。它的含量可以间接表征土壤有机碳的抗氧化程度和利用难易程度<sup>[8]</sup>。

岩溶生态系统是受岩溶环境制约的生态系统,土层薄,属于典型的生态脆弱区,土壤有机碳作为岩溶系统中碳转移的动力学媒介,是岩溶系统中碳流通的主要途径<sup>[9]</sup>。目前对颗粒有机碳的研究主要集中在耕作和种植方式上<sup>[10-13]</sup>,国内关于土地利用方式对颗粒有机碳影响的研究报道较少。岩溶区颗粒有机碳也只局限于对总量的分析上,如李阳兵<sup>[14]</sup>对岩溶区林地土壤颗粒有机碳含量和分布进行了研究,廖洪凯<sup>[15]</sup>分析了喀斯特山区不同植被类型下土壤有机碳及颗粒有机碳的变化。目前对岩溶区粗颗粒有机碳、细颗粒有机碳对不同土地利用方式响应的研究很少,颗粒有机碳和矿物结合态有机碳结合起来的研究不多。因此,本文通过对岩溶区不同土地利用方式下土壤粗、细颗粒有机碳的分布特征及其分配比例进行研究,以深入研究和评价土地利用方式对土壤碳库的影响。对进一步揭示岩溶区土壤碳库的动态过程与影响因素提供一定参考。

## 1 研究区概况

重庆市中梁山位于东经  $106^\circ 18' 14'' \sim 106^\circ 56' 53''$ ,北纬  $29^\circ 39' 10'' \sim 30^\circ 3' 53''$ ,在地质构造上为西南地台、川东南褶皱带、华蓥山阻挡式复背斜扫帚状弧形构造区重庆弧的一部分。其地貌类型受地质构造

和岩性的强烈控制:两翼为坚硬的砂岩;轴部由紫色页岩组成,构成波状起伏的丘陵地形;二者之间的灰岩经岩溶作用后形成岩溶槽谷,组成“一山两槽三岭”的构造地貌格局。研究区海拔在  $400 \sim 700\ \text{m}$ ,属于亚热带季风湿润气候,年均温度  $18^\circ\text{C}$ ,多年平均降水量  $1\,000\ \text{mm}$  左右,四季明显,具有气温高、雨量充沛、湿度大、云雾多、日照少等特点。地带性植被为中亚热带常绿阔叶林。取样点土壤母质均为三叠纪嘉陵江组的角砾状白云质灰岩,土壤为黄色石灰土。受岩性、土壤和人类活动影响,岩溶槽谷中已经没有典型的常绿阔叶林地。目前土地利用方式以林地、草地、橘园地、菜地和弃耕地为主,林地主要以  $10\ \text{a}$  以上的柏树(*cupressus*)人工林为主,草地主要植被为白茅(*imperata*)和夹蒿(*folder Artemisia*)。受海拔和地形限制,菜地主要分布在山脚和谷地,同时施用有机肥和无机肥,种植白菜、萝卜和莴苣等。橘园地主要是以橘树为主,地面覆盖了一些杂草。弃耕地覆盖了一些夹蒿和杂草,覆盖度比草地低。

## 2 材料和方法

### 2.1 样品的采集和处理

2011 年 9—11 月在中梁山岩溶槽谷中选取了草地、橘园地、菜地、林地和弃耕地 6 种主要土地利用方式,在每个土地利用方式中选取 3 个样地,按照从下到上的原则,采集  $0 \sim 20\ \text{cm}$  及  $20 \sim 40\ \text{cm}$  两层土样,每层取  $1\ \text{kg}$  左右混合土样。将土样装入自封袋带回实验室,在实验室沿土壤自然结构轻轻剥开,将原状土剥成直径为  $10 \sim 12\ \text{mm}$  的小土块,去除根系、可见植物残体和石块,平摊在通风透气处自然风干,待土样风干后,用干筛法将其分别研磨过  $2\ \text{mm}$ 、 $1\ \text{mm}$  和  $0.25\ \text{mm}$  的土筛以供测定,样点基本情况详见表 1。

### 2.2 土壤有机碳及其物理组分的测定

土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾外加热法测定<sup>[16]</sup>。土壤颗粒有机碳的测定参照 Gambardella 和 Elliott<sup>[10]</sup>的方法,具体如下:称取过  $2\ \text{mm}$  筛的风干土样  $20\ \text{g}$ ,放入  $250\ \text{ml}$  三角瓶中,加入  $100\ \text{ml}$  的六偏磷酸钠( $5\ \text{g/L}$ ),用手摇约  $10 \sim 15\ \text{min}$  后放在往复式震荡器( $18^\circ\text{C}$ ,  $90\ \text{rpm/min}$ )上振荡  $18\ \text{h}$ ,将分散液过  $53\ \mu\text{m}$  筛,用纯水洗至筛下水为无色,筛上部分为颗粒有机质,将其分离为粗颗粒态有机质(Coarse POM,即 CPOM,  $250 \sim 2\,000\ \mu\text{m}$ )和细颗粒态有机质(Fine POM,即 FPOM,  $53 \sim 250\ \mu\text{m}$ )。分离后各组于铝盒中  $80^\circ\text{C}$  下过夜烘干( $12\ \text{h}$ ),并进行称量。筛下部分( $<53\ \mu\text{m}$ )为矿物结合态有机质,用水浴锅( $90^\circ\text{C}$ )蒸干后再用烘箱烘干( $12\ \text{h}$ )。称重并计算其

占全土的百分比。将以上各粒级土壤颗粒磨碎过 0.149 mm 筛,取一定重量样品测定其有机碳含量,乘以各自所占土壤的百分比计算出粗、细颗粒有机碳和矿物结合态有机碳含量。分别用粗颗粒、细颗粒有机碳含量除以土壤有机碳含量,得到相应颗粒有机碳的分配比例。计算公式如下<sup>[15]</sup>:

不同粒径土壤颗粒有机碳含量 = 不同粒径土壤颗粒物中有机碳 × 不同粒径颗粒物占土壤的百分比  
不同粒径土壤颗粒有机碳分配比例 = 不同粒径土壤颗粒有机碳含量 / 土壤总有机碳含量 × 100%  
土壤总有机碳和不同粒径土壤颗粒有机碳的测定采用烘干土测定,其含量折合成全土含量。

表 1 研究区各采样点基本情况

土地利用类型	土层深度/cm	坡度/(°)	海拔/m	pH	含水量/%	粗砂粒/%	细砂粒/%	粉砂粒和黏粒/%	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	硬度
弃耕地	0—20	5~18	552	5.81	20.64	2.09	2.42	95.98	1.33	2.5
	20—40			7.03	22.58	2.96	3.03	92.45	1.51	3.6
林地	0—20	2~10	671	5.87	24.73	1.28	2.78	93.74	1.11	1.60
	20—40			6.16	25.82	1.16	2.89	96.73	1.38	2.16
菜地	0—20	2~5	514	6.21	19.76	2.98	3.22	91.91	1.32	0.93
	20—40			6.22	21.62	2.18	2.59	94.11	1.49	2.08
草地	0—20	6~13	572	7.11	29.38	3.58	4.55	89.59	1.26	2.4
	20—40			6.22	28.12	1.03	1.65	98.01	1.32	3.55
橘园地	0—20	2~15	515	5.12	21.47	5.17	4.21	89.55	1.29	2.88
	20—40			6.44	21.83	3.27	2.06	94.19	1.42	3.93

3 结果与分析

3.1 不同土地利用方式土壤有机碳含量

不同的土地利用方式会引起土地经营过程和土壤性质的差异,进而使土壤有机碳含量发生变化<sup>[17]</sup>。从图 1 可以看出,不同土地利用方式表层(0—20 cm)土壤 SOC 含量都显著高于下层(20—40 cm)。就同一土层来看,弃耕地表层(0—20 cm)土壤 SOC 含量与各用地类型之间差异显著( $P<0.05$ ),草地、橘园地、林地、菜地与弃耕地相比高出幅度分别约 90%,78%,119%,123%。其他土地利用方式之间差异不显著。20—40 cm 土层,林地土壤 SOC 分别高出橘园地和弃耕地 280%,311%,差异极显著( $P<0.01$ )。总体来看,不同土地利用方式土壤有机碳含量平均值变现为:林地>菜地>草地>橘园地>弃耕地。林地表层枯枝落叶多,腐殖质含量丰富,土壤 SOC 含量最高。菜地长期施用有机、无机混合肥料增加了土壤 SOC 含量,表现为较高。草地表层草丛茂密,覆盖度高土壤 SOC 含量居中。弃耕地表层只有稀疏杂草,土壤有机碳含量较低。

3.2 不同土地利用方式土壤粗颗粒有机碳的分布特征

粗颗粒有机碳(Coarse POC,CPOC)也称作游离态颗粒有机质,存在于团聚体之间的大孔隙中,由于缺乏矿物颗粒的保护容易受到微生物的分解,因而分解速度快<sup>[18]</sup>。由图 2 可知,不同土地利用方式下土壤 CPOC 含量差异较大。从不同土壤剖面层次来看,0—20 cm 土层土壤中 CPOC 含量表现为:橘园地>草地

>菜地>林地>弃耕地,草地、果园土壤 CPOC 分别高出弃耕地土壤 CPOC 约 2 024%和 3 773%,差异极显著( $P<0.01$ );草地与林地土壤 CPOC 分别高出菜地土壤 CPOC 约 127%和 61%,差异极显著( $P<0.01$ )。20—40 cm 土层土壤 CPOC 含量表现为:菜地>草地>林地>橘园地>弃耕地,草地和菜地都显著高于弃耕地,高出幅度分别约 1 031%,2 052%。不同土地利用方式土壤 CPOC 含量垂直分布均表现为随土层深度的增加而降低的趋势,但降幅有所差异。其中橘园地由表层向下层降低幅度最大,表层和下层土壤 CPOC 含量差异极显著( $P<0.01$ ),草地和林地差异显著( $P<0.05$ ),菜地和弃耕地差异不大。

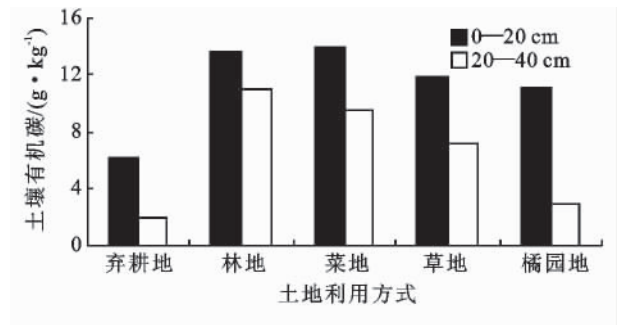


图 1 不同土地利用方式不同土层土壤有机碳含量

不同土地利用方式土壤 CPOC 含量随土层深度增加明显降低,这和有机碳的变化趋势一致。表层土壤 CPOC 含量橘园地最高,一方面可能是对橘园地施加了一定有机肥,研究表明有机肥会增加土壤颗粒有机物的含量<sup>[18]</sup>,另外 11 月正是橘子成熟的时期,残落的果实较多,其分解可能增加了 CPOC 含量;另一

方面,橘园地未经过传统的深耕翻种,土壤结构较稳定,土壤 CPOC 受到团聚体保护,因而含量相对较高。弃耕地土壤 CPOC 含量最低,一方面可能是由于弃耕时间短,弃耕之前长期受到人为传统耕作措施的影响,使土壤结构受到很大破坏,未被保护的有机质被暴露在空气中,加快了 CPOC 的矿化分解,同时受到地表雨水作用容易迁移而流失;另外弃耕后没有肥料施加,有机质来源少。研究表明,作物覆盖有利于颗粒有机物增加,而传统耕作加快有机物的矿化<sup>[19]</sup>。表层(0—20 cm)和下层(20—40 cm)土壤 CPOC 含量差异最大的是橘园地,这与橘园地土壤紧实度分布有关,橘园地土壤紧实度最大,不利于表层有机质对下层的补充。菜地由于长期翻耕上下层土壤 CPOC 含量差异较小,长期使用有机和无机混合肥增加了有机物的输入。上述表明,土地利用方式对土壤 CPOC 含量影响显著,岩溶区土壤 CPOC 对人为耕作方式和施肥处理反应敏感。

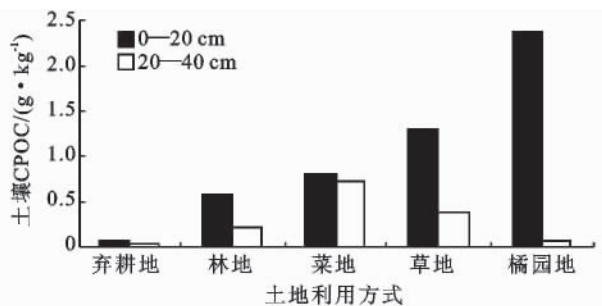


图2 不同土地利用方式下不同土层土壤粗颗粒有机碳含量

### 3.3 不同土地利用方式土壤细颗粒有机碳分布

细颗粒有机碳(Fine POC, FPOC)也称作闭蓄态颗粒有机质,被团聚体物理包被使微生物难以接触,因而比游离态颗粒有机质更难分解<sup>[17]</sup>。如图3所示,各土地利用方式 FPOC 含量差异显著,平均值大小为:林地(1.17 g/kg) > 菜地(1.01 g/kg) > 草地(0.89 g/kg) > 橘园地(0.10 g/kg) > 弃耕地(0.09 g/kg)。0—20 cm 土层土壤 FPOC 含量最高值出现在草地,最低值出现在弃耕地。草地、林地表层土壤 FPOC 含量与弃耕地土壤 CPOC 含量差异极显著( $P < 0.01$ ),分别高于弃耕地约 1 343% 和 1 241%。20—40 cm 土层橘园地土壤 FPOC 含量最低,林地、菜地土壤 FPOC 含量分别与弃耕地和橘园地差异极显著( $P < 0.01$ ),分别高于弃耕地 1 108% 和 1 128%,分别高出橘园地 1 954%, 1 989%。

图3亦表明,不同土地利用方式土壤 FPOC 含量均表现为表层大于下层,这和土壤粗颗粒有机碳含量、土壤有机碳含量的分布趋势一致。表层(0—20 cm)林地和草地土壤 FPOC 含量较高。草地相比林

地湿润,有利于土壤动植物和微生物对植物凋落物的生化降解<sup>[9]</sup>。因此草地表层 FPOC 含量较多。下层(20—40 cm)林地土壤相比草地植物残体、生物根系等碳源较多,因此下层林地土壤 FPOC 含量较多。弃耕地表面生物量稀缺,基本无凋落物来源,并且没有施加肥料来增加有机物的输入,所以有机碳含量最低。上述表明碳源有机物的增加有利于提高土壤 FPOC 含量。

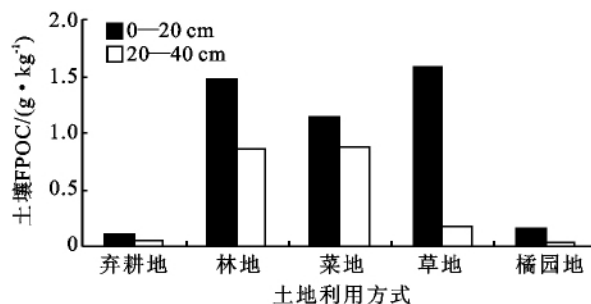


图3 不同土地利用方式不同土层土壤细颗粒有机碳含量

### 3.4 不同土地利用方式土壤矿物结合态有机碳分布

矿物结合态有机碳是有机碳的最终分解产物<sup>[20]</sup>。从图4可以看出,各土地利用方式土壤矿物结合态有机碳平均值大小为:林地 > 菜地 > 草地 > 橘园地 > 弃耕地。这和土壤有机碳的分布特征基本一致。研究表明:林地 MOC 较高,一方面和黏粒和粉砂粒含量比例较高(表1)有关。研究发现<sup>[16]</sup>土壤黏粒具有保护有机碳的能力,其含量影响外源有机质(有机化合物、植物残体)及其转化产物的分解速率或稳定性。有机质在黏粒含量低的土壤中分解较快,并随着土壤黏粒含量的增加分解趋于缓慢,相同条件下,黏粒含量高的土壤往往含有更多的有机碳,而且能保护颗粒有机质免于生物降解,颗粒有机质很容易被吸附到带电荷黏土矿物的表面而被其包被,包被后形成团聚体,由于团聚体内部孔隙较小,导致微生物很难到达,使其分解的难度增加。另一方面林地中的枯枝落叶和深扎的根系使回归到土壤的凋落物和枯死细根较多。上述表明土壤 MOC 含量受到土壤质地和植被覆盖的影响显著。

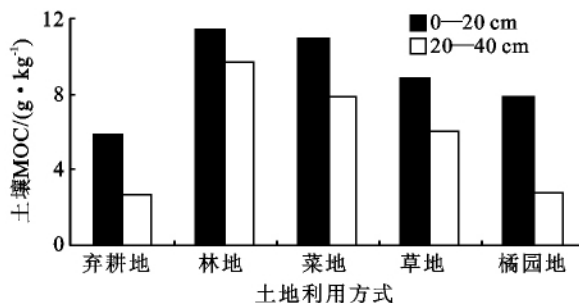


图4 不同土地利用方式下不同土层土壤矿物结合态有机碳含量

3.5 不同土地利用方式土壤不同组分有机碳分配比例

土壤不同组分有机碳分配比例综合了土壤有机碳绝对量与各组分有机碳含量,这个指标更能表明土地利用方式影响有机碳稳定性的强度,排除有机碳总量的差异<sup>[21]</sup>。

颗粒有机碳作为土壤中“慢库”的一部分,对外界因素反应敏感。因此,增加这部分碳的比例可能对缓解 CO<sub>2</sub> 浓度上升、减轻全球气候变化具有重要作用。通常 POC 占表层土壤总有机碳的 10%左右,也可高达 30%~85%<sup>[22]</sup>。李阳兵等<sup>[14]</sup>对贵州岩溶林地及灌草林地的研究发现表层中砂粒含量占总有机碳 50%以上。廖洪凯等<sup>[15]</sup>对贵州岩溶山区不同植被类型下的土壤研究中发现颗粒有机碳比例在 30%以上。由表 2 可知,本研究区表层各土地利用方式下 POC/SOC 含量为 2.76%~24.49%,这个值相对较低,主要原因可能由于本研究区的大部分土地利用类型为耕地,相比天然林区,长期受到人为的耕作和干扰。土壤团聚体结构被破坏,颗粒有机碳因此而损失,有研究表明岩溶地区地表植被遭到破坏或开垦后颗粒有机碳将在 30~40 a 后消耗殆尽<sup>[23]</sup>。因此,岩溶区土壤退耕还林还草能缓解土壤 POC 的流失。

表 2 不同土地利用方式土壤不同组分有机碳分配比例

土地利用类型	土层深度/cm	CPOC/SOC/%	FPOC/SOC/%	MOC/SOC/%	POC/SOC/%
弃耕地	0—20	0.99	1.77	94.57	2.76
	20—40	1.26	2.65	97.39	3.91
林地	0—20c	4.22	10.84	84.11	15.07
	20—40	2.03	7.79	88.56	9.82
菜地	0—20	5.13	8.18	79.06	13.30
	20—40	7.68	9.26	83.07	16.94
草地	0—20	11.05	13.44	75.23	24.49
	20—40	5.30	2.64	84.75	7.94
橘园地	0—20	21.49	1.50	70.86	22.99
	20—40	2.54	1.44	95.99	3.98

矿物结合态有机碳属于土壤中的“惰性库”。唐光木等<sup>[8]</sup>对新疆绿洲农田的研究表明,矿物结合态有机碳占总有机碳 70%以上。由表 2 可知,本研究区各土地利用方式 MOC/SOC 表层小于下层,并且大部分在 70%以上,下层甚至达到了 80%以上。这一方面和土壤颗粒物比例有关,本区土壤粉砂粒和黏粒比例都在 90%左右(表 1)。另一方面和有机质输入量有关,林地和草地枯枝落叶多有机质含量丰富。有研究表明土壤颗粒有机碳较易受人为活动的影响,而矿物结合态有机碳具有较高的稳定性<sup>[24]</sup>。从表 2 中可以看出,除橘园地外不同土地利用方式大致表现为:

MOC/SOC>FPOC/SOC>CPOC/SOC。因此,本区土壤有机碳以矿物结合态有机碳为主,对岩溶区土壤有机碳具有较强的固持和保护作用。

3.6 不同土地利用方式土壤有机碳和颗粒有机碳的关系

由不同土地利用方式下土壤表层(0—20 cm)和表下层(20—40 cm)中的 CPOC、FPOC 与 SOC 的相关分析(表 3)可知,土壤 CPOC 和 SOC 的关系,草地和橘园地呈极显著正相关,林地呈显著正相关,弃耕地和菜地呈不显著正相关。林地、草地和弃耕地 FPOC 与 SOC 呈极显著正相关关系,但橘园地和菜地相关性不显著。表明土地利用方式的改变不仅影响了有机碳,同时也引起了 CPOC 和 FPOC 的变化。菜地受人为的干扰强,耕作和施肥等人为因子影响较大,其土壤 SOC 和 POC 之间的相关性较差,除了菜地外土壤 CPOC、FPOC 与 SOC 总量的相关性均较好。不同的土地利用方式下 CPOC、FPOC 与 SOC 均呈正相关,这与刘梦云<sup>[19]</sup>对土壤有机碳和颗粒有机碳的相关分析结果基本一致。

表 3 土壤颗粒有机碳与土壤有机碳相关性

颗粒有机碳	土地利用类型	相关系数	P 值
粗颗粒有机碳	弃耕地	0.600	0.051
	草地	0.885**	0.000
	橘园地	0.880**	0.000
	林地	0.827*	0.011
	菜地	0.215	0.523
细颗粒有机碳	弃耕地	0.755**	0.007
	草地	0.984**	0.000
	橘园地	0.441	0.173
	林地	0.841**	0.008
	菜地	0.108	0.752

注: \*\* 表示在 0.01 水平上显著相关; \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

上述分析表明,没有受到人为干扰的草地和林地土壤 POC 与 SOC 相关性显著,说明土壤 POC 是影响本研究区土壤 SOC 的重要影响因子。菜地、橘园地和弃耕地由于受到人为干扰,土壤 SOC 和 POC 表现为相关性较弱甚至不相关。说明在人为管理方式和施肥措施影响下,土壤 POC 对 SOC 的贡献受到干扰。

4 结论

(1) 土壤有机碳含量的平均值大小表现为:林地>菜地>草地>橘园地>弃耕地,不同利用方式下土壤植被覆盖、人为耕作方式和施肥是影响土壤有机碳分布的重要因素。

(2) 土壤 CPOC 含量表现为橘园地>草地>菜

地>林地>弃耕地,各土地利用方式之间差异显著。其中最高值出现在橘园地,最低值出现在弃耕地。土壤 CPOC 对人为耕作方式和施肥处理反应敏感。土壤 FPOC 含量最高值出现在林地和草地的表层,表明碳源有机物的增加会明显提高土壤 FPOC。土壤 MOC 含量和土壤有机碳含量分布特征一致。

(3) 不同土地利用方式土壤各组分有机碳分配比例 POC/SOC 的值为 2.76%~24.49%,MOC/SOC 比值大部分在 70% 以上,下层甚至达到了 80% 以上。除橘园地土壤外不同土地利用方式表现为:MOC/SOC>CPOC/SOC>FPOC/SOC,因此,本区土壤有机碳以矿物结合态有机碳为主,对岩溶区土壤有机碳具有较强的固持和保护作用。

(4) 不同土地利用方式土壤粗、细颗粒有机碳和土壤有机碳呈正相关,相关性不一致,其中林地和草地呈极显著相关,弃耕地呈显著相关,菜地和橘园地相关性不显著。表明人为干扰和耕作措施会影响 POC 对 SOC 的贡献。

#### 参考文献:

- [1] Perruchoud D, Joos F, Fischlin A, et al. Evaluating time-scales of carbon turnover in temperate forest soils with radiocarbon data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*,1999,13(2):555-573.
- [2] 李菊梅,王朝辉,李生秀,等. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J]. *土壤学报*,2003,40(2):232-238.
- [3] Jobbagy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. *Ecological Applications*,2000,10(2):423-436.
- [4] Houghton R A. Land-use change and the carbon cycle[J]. *Global Change Biology*,1995,10(1):275-287.
- [5] Parton W J, Scurlock J M O, Ojima D S, et al. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome world-wide[J]. *Global Biogeochemistry Cycle*,1993,7(4):785-809.
- [6] 方华军,杨学明,张晓平,等. 东北黑土区坡耕地表层土壤颗粒有机碳和团聚体结合碳的空间分布[J]. *生态学报*,2006,26(9):2847-2854.
- [7] 周萍,张旭辉,播根兴. 长期不同施肥对太湖地区黄泥土总有机碳及颗粒态有机碳含量及深度分布的影响[J]. *植物营养与肥料学报*,2006,12(6):765-771.
- [8] 唐光木,徐万里,盛建东. 新疆绿洲农田不同开垦年限土壤有机碳及不同粒径土壤颗粒有机碳变化[J]. *土壤学报*,2010,47(2):279-285.
- [9] 段正峰,傅瓦利,甄晓君. 岩溶区土地利用方式对土壤有机碳组分及其分布特征的影响[J]. *水土保持学报*,2009,23(2):109-114.
- [10] Cambardella C A, Euiott E T. Particulate organic-matter changes across a grassland cultivation sequence[J]. *Soil Science*,1992,56(10):777-783.
- [11] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no tillage-agriculture[J]. *Soil Biology and Biochemistry*,2000,32(14):2099-2103.
- [12] Michelle M, Xue Ming Yang. Influence of tillage on the dynamics of loose- and occluded- particulate and humified organic matter fractions[J]. *Soil Biology and Biochemistry*,2000,32(8/9):1151-1160.
- [13] Angelika K, Ingrid K K. Content and composition of free and occluded particulate organic matter in a differently textured arable Camisole as revealed by solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*,2004,167(1):45-53.
- [14] 李阳兵,杨霞,宋晓利. 岩溶生态系统土壤非保护性有机碳含量研究[J]. *农业环境科学学报*,2006,25(2):402-406.
- [15] 廖洪凯,龙健. 喀斯特山区不同植被类型土壤有机碳的变化[J]. *应用生态学报*,2011,22(9):2253-2258.
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学析[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [17] 彭新华,张斌,赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. *土壤学报*,2004,41(4):618-623.
- [18] 龚伟,颜晓元,蔡祖聪,等. 长期施肥对小麦—玉米作物系统土壤颗粒有机碳和氮的影响[J]. *应用生态学报*,2008,19(11):2375-2381.
- [19] 刘梦云,常庆瑞,齐雁冰,等. 黄土台塬不同土地利用土壤有机碳与颗粒有机碳[J]. *自然资源学报*,2010,25(2):228-216.
- [20] 于建光,李辉信,胡锋,等. 施用秸秆及接种蚯蚓对土壤颗粒有机碳及矿物结合有机碳的影响[J]. *生态环境*,2006,15(3):606-610.
- [21] 刘涛泽,刘丛强,张伟. 植被恢复中坡地土壤颗粒有机碳分布特征和  $\delta^{13}\text{C}$  值组成[J]. *生态环境*,2008,17(5):2031-2036.
- [22] 袁颖红,李辉信,黄欠如. 长期施肥对水稻土颗粒有机碳和矿物结合态有机碳的影响[J]. *生态学报*,2008,28(1):352-360.
- [23] 朴河春,刘启明,郭景恒. 用天然  $^{13}\text{C}$  丰度法评估贵州茂兰喀斯特森林区玉米地土壤中有有机碳的来源[J]. *生态学报*,2001,20(3):434-439.
- [24] 张履勤,董明奎. 土地利用方式对红壤和黄壤颗粒有机碳和碳黑积累的影响[J]. *土壤通报*,2006,37(4):662-665.