

滇中尖山河小流域不同土地利用类型 土壤活性有机碳分布特征

张华渝, 王克勤, 宋娅丽, 赵洋毅, 陈雪

(西南林业大学 生态与水土保持学院, 昆明 650224)

摘 要:土壤活性有机碳对土地利用方式最为敏感,定量分析不同土地利用方式对土壤活性有机碳分布特征的影响对流域的土壤碳循环研究具有重要意义。从滇中尖山河小流域坡耕地、荒草地、林地、园地 4 种不同土地利用类型角度,系统地分析了 0—10,10—20,20—30 cm 土层土壤有机碳(SOC)、微生物有机碳(MBC)、易氧化有机碳(EOC)及可溶性有机碳(DOC)的分布特征及其相关性。结果表明:不同土地利用类型下土壤 SOC,MBC,EOC,DOC 整体均表现为园地>林地>坡耕地>荒草地;4 种土地利用类型 MBC,EOC,DOC 整体上随着土层深度的增加而逐渐降低,且主要分布在 0—20 cm 土层,在 20—30 cm 土层含量较低(低于 30%);4 种土地利用类型下 SOC 和 MBC,EOC,DOC 呈极显著正相关关系,MBC,EOC,DOC 两两之间也表现出极显著正相关。综上,退耕还林以及在荒草地种植人工林可作为提高土壤有机碳及活性有机碳含量的有效措施,并将在减少流域水土流失和面源污染、改善土壤质量、恢复土壤肥力等方面起到重要作用。

关键词:土壤有机碳含量;土壤活性有机碳组分;土壤微生物有机碳;土壤易氧化有机碳;土壤可溶性有机碳;土地利用类型

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)03-0016-06

Distribution Characteristics of Soil Active Organic Carbon in Different Land Use Types in Jianshan River Watershed in Middle Yunnan Province

ZHANG Huayu, WANG Keqin, SONG Yali, ZHAO Yangyi, CHEN Xue

(College of Ecology and Soil and Water Conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: Soil activated organic carbon is the most sensitive to land use types. The effects of different land use types on the distribution characteristics of soil activated organic carbon were quantitatively analyzed, which had great importance for the study of soil carbon cycle in the watershed. The distribution characteristics of soil organic carbon (SOC), microbial biomass carbon (MBC), easily oxidized organic carbon (EOC) and dissolved organic carbon (DOC) in 0—10 cm, 10—20 cm and 20—30 cm soil layers in Jianshan River watershed in Yunnan Province were systematically analyzed from four different land use types (sloping farmland, wild grass land, forest land, garden land). The results showed that SOC, MBC, EOC and DOC under different land use types decreased in the order: garden land>forest land>sloping farmland>wild grass land; SOC, MBC, EOC and DOC in the 4 kinds of land use types decreased with the increase of soil depth, and mainly distributed in 0—20 cm soil layers, with a low content (less than 30%) in 20—30 cm soil layers. SOC had significant positive correlation with MBC, EOC and DOC, and there were very significant positive correlation between MBC, EOC and DOC. In conclusion, converting cropland to forestland and planting artificial forest in wild grassland can be an effective measure to increase the content of soil organic carbon and active organic carbon. Soil erosion and surface pollution can be reduced, and soil quality, soil fertility and carbon reserves will be improved with these measures.

Keywords: soil organic carbon content; soil active organic carbon components; microbial biomass carbon; easily oxidized organic carbon; dissolved organic carbon; land use types

收稿日期:2018-07-08

修回日期:2018-07-28

资助项目:国家自然科学基金(30660037);云南省应用基础研究青年项目(2016FD044);云南省科技计划重点研发项目(2018BB018);云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设项目(050005113111)

第一作者:张华渝(1994—),女,重庆人,硕士研究生,主要从事生态恢复研究。E-mail:reneezy@163.com

通信作者:宋娅丽(1985—),女,山西长治人,博士,主要从事生态系统功能研究。E-mail:songyali19851205@sina.com

土壤有机碳作为土壤肥力的重要组成部分,不仅是表征土壤质量演变的重要指标^[1],而且是植被生长的碳源,对土壤结构的形成、土壤持水性、缓冲性、生物多样性及稳定性等产生重大影响^[2]。土壤活性有机碳是土壤有机碳的活性部分,被认为是土壤中易被土壤微生物分解矿化、有效性较高,对土壤养分的供给、土壤微生物活性以及作物的生长有最直接作用的有机碳^[3]。土壤活性有机碳的组分根据测定方法的不同可表述为微生物量有机碳、易氧化有机碳、可溶性有机碳,它们均可在不同程度上反映土壤有机碳的有效性和土壤质量。虽仅占土壤有机碳的一小部分,但土壤活性有机碳易被生物直接利用、周转较快,直接参与土壤生物化学转化过程,对土地利用变化最敏感,并在指示土壤有机碳的有效性、土壤质量和肥力的变化时比有机质更灵敏、更准确^[4-5]。因此,深入研究土壤活性有机碳各组分的动态变化特征,对调控土壤养分流失、维持土壤肥力以及完善碳循环的动态平衡机制具有十分重要的意义^[6]。

近年来,国内外对于土壤活性有机碳的研究多集中于不同生态系统中,尤其是不同林分^[7]、不同林龄^[8]、不同海拔^[9]、以及地下根系^[10]等对森林生态系统土壤不同形态活性组分的影响,以及秸秆还田^[11]、耕作方式^[12]、施肥措施^[13]等农田管理措施对农田生态系统土壤活性有机碳的影响。但从不同土地利用类型的角度研究滇中尖山河小流域不同土地利用类型对土壤活性有机碳组分分布的影响报道较少。云南省属于我国水土流失二级敏感区,雨季(每年5月—10月)雨量充沛,不但影响着农业生产,而且关系到土壤退化、化肥利用率低,水土富营养化等生态环境问题^[14]。尖山河小流域土地利用方式多变,土壤类型多样,且在雨季尤其是暴雨条件下土壤侵蚀较为严重。因此,本研究选择滇中尖山河小流域坡耕地、荒草地、林地、园地4种不同土地利用类型,研究不同土地利用类型对不同土层(0—10, 10—20, 20—30 cm)土壤有机碳(SOC)、微生物有机碳(MBC)、易氧化有机碳(EOC)及可溶性有机碳(DOC)分布特征及其相关性的影响,旨在深入了解不同土地利用类型对土壤活性有机碳积累以及淋溶与流失的影响作用,以期为该流域土壤活性有机碳组分及土壤碳循环研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地处玉溪市澄江县西南部,位于北纬

24°32′00″—24°37′38″,东经 102°47′21″—102°52′02″;最高海拔在流域北部,为 2 347.4 m,最低海拔在尖山河入抚仙湖的入口处,为 1 722 m,相对高差 625.4 m。小流域多年平均降雨量 1 050 mm,雨季为 5 月下旬—10 月下旬,降雨量占全年总降雨量的 75%,旱季为 11 月上旬—次年 5 月中旬,降雨量占全年降雨量的 25%。流域内的土壤主要是红紫泥土和红壤,红紫泥土主要分布在尖山大河上游河道顺流左岸方向;红壤分布在尖山大河顺流右岸,其中石灰岩红壤分布在带头村附近、五尺埂至岔河;玄武岩红壤分布在流域东部李头村附近;尖山大河河床两岸均为紫泥土。

1.2 土壤样品采集与测定

根据滇中尖山河小流域特点,选取具有代表性的坡耕地、荒草地、林地、园地4种土地利用类型分别布设面积为 20 m×20 m 的标准样地。坡耕地:流域内传统的种植方式,种植作物有烤烟、玉米、豌豆等,覆盖度 20%~30%;荒草地:由坡耕地弃耕撂荒而形成,地面植被为生长的杂草,无乔木和灌木,覆盖度<5%;林地:近年来该地区大力进行流域综合治理,在退耕还林政策带动下农户将大部分坡耕地改为林地,主要种植云南松、华山松,林间伴生有灌木、草本、果树等,覆盖度 48%;园地:在政策支持下,农户将一部分区域承包用来种植经济作物,主要为杨梅种植园,覆盖度 60%~70%。

于 2017 年 9 月,对 4 种不同土地利用方式下的土壤进行取样。每种土地利用方式分别设置 3 个重复样地(样地面积为 20 m×20 m),每个样地相距 50~100 m,在样地中随机设置 5 个采样点。用挖剖面法在各采样点按 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm 分层取样,并用四分法取出足够的样品,除去砾石跟根系;每层用环刀法测定土壤容重并做 3 个重复。土样带回实验室后去杂、过 2 mm 钢筛后置于通风、阴凉、干燥的室内风干,磨细并过筛测定土壤有机碳(SOC)、微生物量有机碳(MBC)、易氧化有机碳(EOC)、可溶性有机碳(DOC)等指标。表 1 为 4 种土地利用方式下土壤的理化性质。

土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法^[15]测定;土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸法测定^[16];土壤易氧化碳采用高锰酸钾氧化一比色法测定^[17];土壤可溶性有机碳采用水浸提法,滤液采用岛津公司 TOC-V 有机碳分析仪测定^[18]。

1.3 数据统计与分析

利用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 软件对数据进行数据处理和图表分析,采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验不同土地利用类型或不同土层

下土壤各组分有机碳的差异性,采用双因素相关分析 (Two-Way ANOVA) 检验不同土地利用方式与不同

土层的交互作用下土壤各组分有机碳的差异性,并用 Person 相关分析土壤各组分有机碳之间的相关性。

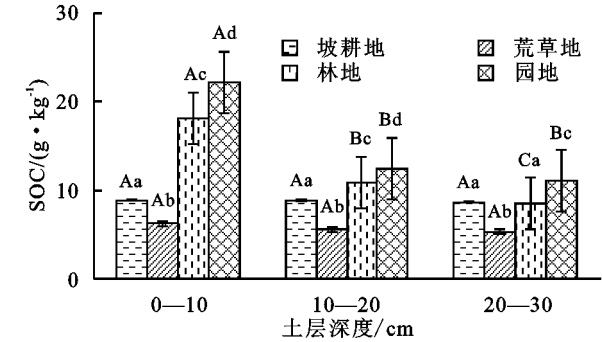
表 1 不同土地利用类型土壤基本理化性质

类型	土层/ cm	容重/ (g · cm ⁻³)	pH	全氮/ (g · kg ⁻¹)	磷/ (g · kg ⁻¹)	钾/ (g · kg ⁻¹)
坡耕地	0—10	1.61±0.02	7.61±0.14	0.21±0.03	0.57±0.05	15.47±0.22
	10—20	1.62±0.08	8.15±0.07	0.22±0.06	0.51±0.04	13.75±0.41
	20—30	1.79±0.02	8.18±0.06	0.1±0.03	0.61±0.09	11.81±0.29
荒草地	0—10	1.63±0.09	8.22±0.04	0.33±0.06	0.20±0.12	6.47±0.49
	10—20	1.47±0.06	8.32±0.16	0.17±0.02	0.19±0.01	5.55±0.15
	20—30	1.71±0.18	8.2±0.12	0.12±0.04	0.15±0.02	4.17±0.05
林地	0—10	1.24±0.13	6.52±0.13	0.83±0.06	0.42±0.03	9.53±0.20
	10—20	1.37±0.04	5.78±0.03	0.58±0.05	0.33±0.03	7.69±0.30
	20—30	1.40±0.04	5.32±0.14	0.49±0.10	0.26±0.04	7.43±0.42
园地	0—10	1.24±0.03	8.38±0.03	1.20±0.08	0.58±0.10	11.53±0.52
	10—20	1.32±0.04	8.49±0.06	0.90±0.12	0.46±0.05	11.38±0.96
	20—30	1.39±0.04	8.05±0.02	0.75±0.06	0.52±0.04	9.53±0.28

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型土壤有机碳分布特征

林地和园地各土层 SOC 均随着土层深度的增加而降低(图 1),呈现出明显的垂直递减性;0—10 cm 土层较 10—20 cm 和 20—30 cm 土层分别增加了 67.43%和 78.14%,以及 114.01%和 99.37%。但坡耕地与荒草地 SOC 随着土层深度的增加差异性不显著($p>0.05$)。在不同土地利用类型下表现为园地(15.22 g/kg)>林地(12.47 g/kg)>坡耕地(8.80 g/kg)>荒草地(5.71 g/kg),园地分别比坡耕地、荒草地和林地高 73.02%,166.70%和 22.02%。荒草地 SOC 含量显著小于其他 3 种土地利用类型,不同土层平均 SOC 含量仅分别为坡耕地、林地和园地的 64.88%,45.76%和 37.50%。4 种土地利用类型在 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的 SOC 差异性显著($p<0.05$),但坡耕地与林地在 20—30 cm 土层差异性不显著($p>0.05$)。



注:不同大写字母表示同一土地利用类型不同土层差异显著,不同小写字母表示同一土层不同土地利用类型间差异显著($p<0.05$)。下同。

图 1 不同土地利用类型 SOC 含量

2.2 不同土地利用类型土壤微生物有机碳分布特征

随着土层深度的增加,荒草地、林地和园地土壤

微生物有机碳含量(MBC)逐渐降低(图 2),但坡耕地不同土层 MBC 差异性不显著($p>0.05$)。荒草地、林地和园地 MBC 在 0—10 cm 土层分别为 10—20 cm 和 20—30 cm 土层的 1.13,1.41,1.10 倍、以及 1.30,1.49,1.37 倍。不同土层的土壤 MBC 含量在不同土地利用类型下表现为园地(502.24 mg/kg)>林地(417.56 mg/kg)>坡耕地(281.73 mg/kg)>荒草地(241.16 mg/kg),园地的平均 MBC 含量分别比坡耕地、荒草地和林地高 78.27%,108.26%和 20.28%。坡耕地、荒草地、林地和园地 MBC 在 0~30 cm 的深度内变化范围分别为 264.40~308.37,210.05~273.08,353.22~526.03,415.80~571.50 mg/kg。

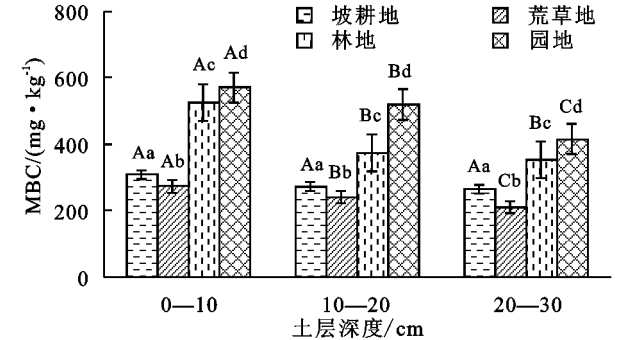


图 2 不同土地利用类型 MBC 含量

2.3 不同土地利用类型土壤易氧化有机碳分布特征

与 SOC 和 MBC 趋势相同,不同土地利用类型下不同土层土壤的易氧化有机碳含量(EOC)也呈现出垂直分布的特征(图 3),即随着土层深度的增加,EOC 含量总体上呈逐渐降低的趋势。林地和园地均为 0—10 cm 土层 EOC 最高,其他两层依次显著降低($p<0.05$)。坡耕地和荒草地 EOC 含量虽随土层深度的增加而有所下降,但 0—10 cm 和 10—20 cm 差异性不显著($p>0.05$),与 20—30 cm 土层 EOC 含

量差异性显著($p<0.05$)。EOC 主要分布在 0—20 cm 土层,在 20—30 cm 土层含量仅为 0—30 cm 土层总量的 24.69%~29.28%。不同土层 EOC 在不同土地利用类型下表现为园地(3.40 g/kg)>林地(2.71 g/kg)>坡耕地(1.28 g/kg)>荒草地(0.54 g/kg)。园地的平均 EOC 含量分别比坡耕地、荒草地和林地高 165.94%,529.84%和 25.50%。

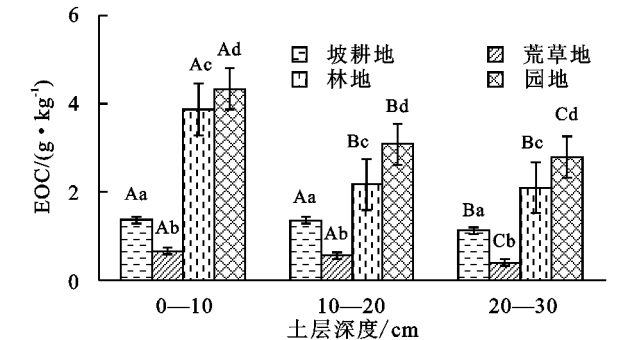


图 3 不同土地利用类型 EOC 含量

2.4 不同土地利用类型土壤可溶性有机碳分布特征

4 种土地利用类型土壤可溶性有机碳含量(DOC)总体上表现出随着剖面深度的增加而不断减小(图 4),坡耕地、荒草地、林地和园地 0—10 cm 土层分别为 10—20 cm 土层和 20—30 cm 土层的 1.30,1.44,1.21,1.23 倍、以及 1.35,1.56,1.26,1.31 倍。0—10 cm 土层和 10—20 cm 土层的 DOC 差异性显著($p<0.05$),但 10—20 cm 土层和 20—30 cm 土层的 DOC 差异性均不显著($p>0.05$)。不同土层的土壤 DOC 在不同土地利用类型下表现为园地(111.77 mg/kg)>林地(109.30 mg/kg)>坡耕地(77.62 mg/kg)>荒草地(67.62 mg/kg),园地的平均 DOC 含量分别比坡耕地、荒草地和林地高 43.98%,65.28%和 2.26%。

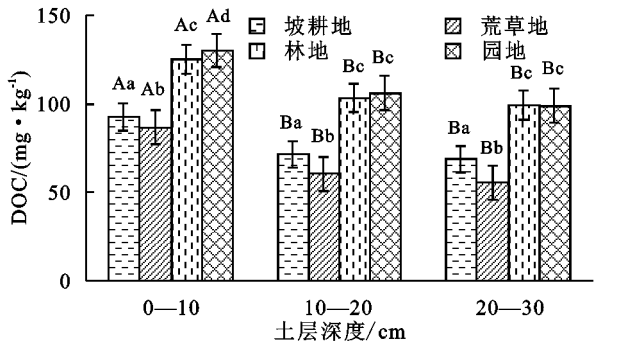


图 4 不同土地利用类型 DOC 含量

2.5 不同土地利用类型土壤活性有机碳之间的相关性

由表 2 可以看出,SOC 与 MBC,EOC,DOC 成极显著正相关关系,相关系数分别为 0.917,0.946,0.872。MBC 和 EOC,DOC 存在极显著正相关关系,相关系数分别为 0.978,0.930。EOC 与 DOC 存在极显著相关关系,相关系数为 0.923。即土壤有机碳、各活性有机碳组分之间均极显著相关。

表 2 不同土地利用类型土壤活性有机碳的相关性

相关系数	SOC	MBC	EOC	DOC
SOC				
MBC	0.917**			
EOC	0.946**	0.978**		
DOC	0.872**	0.930**	0.923**	

注:表中 ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。df=34。

双因素方差分析(表 3)结果表明,土层深度、土地利用类型以及土层深度和土地利用类型之间的交互作用对有机碳组分的影响均极显著($p<0.01$),且土地利用类型的影响大于土层深度以及两者之间交互作用。各有机碳组分中,土壤利用类型影响最大的为 MBC,其次为 SOC,最小的为 EOC 和 DOC。

表 3 不同土层和不同土地利用类型对有机碳组分影响的方差分析结果

差异来源	SOC		MBC		EOC		DOC	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
土层深度	9394.68	0	6992.32	0	601.01	0	1112.46	0
土地利用类型	14525.73	0	25282.02	0	2995.66	0	1828.75	0
土层深度×土地利用类型	2625.56	0	892.53	0	136.14	0	4.59	0.003

3 讨论

土壤有机碳含量是气候因子、成土母质、地表植被以及人为作用等诸多因素综合影响下碳输出与碳输入达动态平衡的结果^[19],而土壤活性有机碳作为土壤中活性较高的那部分有机碳,对环境的变化更敏感。本研究中不同土地利用类型土壤 SOC,MBC,EOC,DOC 整体均表现为园地>林地>坡耕地>荒草地。这主要是不同土地利用方式的凋落物和根系分泌物数量、土壤化学组成、不同植被根系分布情况

均不同所引起有机质输入的差异所导致的。林地中土壤有机碳活性有机碳含量较高是由于土壤表层形成的残体或分泌物多,大量的凋落物每年会归还给土壤,土壤表层较多的有机质供应使得微生物碳源丰富,并且适宜的水热条件有助于土壤微生物活性和植被的新陈代谢速率,凋落物分解加快,根系分泌物也增多,同时林地不受人为扰动,土壤结构适宜微生物生长,土壤活性有机碳含量较高。同样,园地(杨梅园)更新死亡的生物质会滞留原地,在微生物的降解作用下重新进入土壤^[20]。而坡耕地由于常年翻耕

(据调查翻耕深度在 20—30 cm)增加了土壤的通透性使得土壤活性有机质矿化和分解加剧,土壤表层结构松软,根系分泌物较低,同时由于农作物收获等活动(喂养牲口或田间烧掉)使得植物内的碳移出土壤,共同导致土壤活性有机碳含量较低,水土流失严重。荒草地中由于植被覆盖率低($<5\%$),土壤微生物的营养供给较低,细根转化较低,土壤结构恶化导致土壤活性有机碳含量较低。李增全等^[21]在重庆市西北部缙云山不同土地利用方式下土壤微生物量碳的研究与本文的研究结果不一致,主要原因是缙云山坡耕地撂荒后,地表植被恢复为生长旺盛的多年生草本植物,为土壤微生物提供丰富的营养供给,加之根系转化速度快,土壤结构有利于土壤微生物的生长,土壤微生物有机碳较高。

本研究中,4种土地利用类型中林地和园地各土层 SOC 均随着土层深度的增加而降低,呈现出明显的垂直递减性,但坡耕地与荒草地随着土层深度的增加差异性不显著。坡耕地随着土层深度增加差异性不显著主要是由于坡耕地中种植烤烟、玉米或豌豆后,部分的残根留在土壤,这些农作物根系在土壤生物的作用下产生有机碳,在种植农作物时翻耕进入深层土壤使得各土层 SOC 差异性不显著;而荒草地则可能与植被覆盖度较低($<5\%$)、植被生产力以及土壤中有有机质积累较低有关。不同土地利用类型 MBC, EOC, DOC 整体上随着土层深度的增加而逐渐降低,这是由于在土壤表层 MBC, EOC, DOC 显著高于其他土层是由于不同土地利用类型肥料(有机肥、复合肥)、枯枝落叶及植物残体主要在土壤表层积累,土壤表层的微生物活性在新鲜有机质的作用下得以促进;而随着土层深度的增加,新鲜有机质逐渐减少,通气性较差,土壤微生物生长活性较差。盛浩等对稻田^[22]以及杨凯等对不同林龄落叶松人工林^[23]的研究结果均与本研究结果一致。本研究中, MBC, EOC, DOC 主要分布在 0—20 cm 土层,在 20—30 cm 土层含量较低(低于 30%),这与王晓君等^[24]对岷江上游森林干旱河谷交错带不同土地利用类型土壤有机碳的研究结果一致,主要是由于随着土层深度增加,土壤有机碳驻留时间越长,其有效性越低^[25]。

本研究中, SOC 和 MBC, EOC, DOC 呈极显著正相关关系,说明土壤活性有机碳的含量在很大程度取决于土壤有机碳的含量,土壤活性有机碳既不同于有机碳但又与有机碳紧密相连,明显依赖于地表碳源的输入、固定、转化和分解。这与刘云梦^[26]等对黄土台塬不同林分

结构土壤有机碳质量分数特征研究的结果相一致。出现此结果的原因是土壤中的活性有机碳直接参与了土壤生物化学转化过程,土壤活性有机碳与土壤有机碳处于动态平衡中,在一定条件下实现了相互转化^[27]。MBC, EOC, DOC 两两之间也表现出极显著正相关,这与前人的结果相一致^[28],说明活性碳组分之间关系密切,进一步证实 SOC, MBC, EOC 和 DOC 可作为表征土壤肥力的敏感因子。由土层深度和土地利用类型的方差分析结果表明,将土壤分层和土地利用类型分别作为主效应因素来考虑,对土壤 SOC, MBC, EOC, DOC 的含量的影响均较高,三者均能客观地反映土壤的管理情况,能敏感和直观地指示土壤养分的变化。土壤有机碳库的微小变化均会影响到养分的循环和有效性,而本研究中结构良好、有机碳和水分含量较高的土壤(园地和林地),能为土壤微生物活动提供优良的生境,有利于土壤微生物的生长。

综上,由于研究区坡耕地比重大,导致该地区水土流失现象严重,生态环境恶化。退耕还林以及在荒草地种植人工林可作为提高土壤有机碳含量的有效措施,不仅可减少水土流失和面源污染,起到较好的水土保持作用,同时也是改善土壤质量、恢复土壤肥力、提高碳储量以及实现该区域植被恢复重建的根本保障,必将对土壤碳储量的提高和积累以及碳循环产生积极的影响。林地有良好的调节径流和减少土壤流失的作用,但造林后土壤碳积累机制以及时空分异特征受到气候、土壤母质、水文和土地利用方式等因素的影响,今后研究应集中于控制其他因素基础上比较不同林分类型对土壤有机碳的时空动态变化研究,将有助于准确评估我国人工林的碳吸收量和吸收潜力,为全球陆地碳循环途径奠定必要的科学基础。

4 结论

(1) 滇中尖山河小流域不同土地利用类型下土壤 SOC, MBC, EOC, DOC 整体均表现为园地>林地>坡耕地>荒草地,林地土壤有机碳和活性有机碳较高是由于土壤表层形成的残体或分泌物多,大量的凋落物每年会归还给土壤;园地(杨梅园)则是由于更新死亡的生物物质会滞留原地,在微生物的降解作用下重新进入土壤;

(2) 不同土地利用类型 MBC, EOC, DOC 整体上随着土层深度的增加而逐渐降低,且主要分布在 0—20 cm 土层,在 20—30 cm 土层含量较低(低于 30%),这主要是由于肥料(有机肥、复合肥)、枯枝落

叶及植物残体主要在土壤表层积累,土壤表层的微生物活性在新鲜有机质的作用下得以促进;

(3) 不同土地利用类型下 SOC 和 MBC, EOC, DOC 呈极显著正相关关系,说明土壤活性有机碳的含量在很大程度上取决于土壤有机碳的含量;MBC, EOC, DOC 两两之间也表现出极显著正相关,进一步证实 SOC, MBC, EOC 和 DOC 可作为表征土壤肥力的敏感因子;本研究中结构良好、有机碳和水分含量较高的土壤(林地和园地),能为土壤微生物活动提供优良的生境,有利于土壤微生物的生长;

(4) 退耕还林以及在荒草地种植人工林可作为提高土壤有机碳含量的有效措施,不仅可减少水土流失和面源污染,起到较好的水土保持作用,同时也是改善土壤质量、恢复土壤肥力、提高碳储量以及实现该区域植被恢复重建的根本保障,必将对土壤碳储量的提高和积累以及碳循环产生积极的影响。

参考文献:

- [1] 李玮,郑子成,李廷轩,等.不同植茶年限土壤团聚体及其有机碳分布特征[J].生态学报,2014,34(21):6326-6336.
- [2] 丛巍巍.东北平原地区退耕还林对土壤有机碳含量和组成影响的研究[D].北京:中国农业大学,2014.
- [3] 柳敏,宇万太,姜子绍,等.土壤活性有机碳[J].生态学杂志,2006,25(11):1412-1417.
- [4] 荣丽,李守剑,李贤伟,等.不同退耕模式细根(草根)分解过程中C动态及土壤活性有机碳的变化[J].生态学报,2011,31(1):137-144.
- [5] 于法展,张忠启,沈正平,等.庐山不同林分类型土壤活性有机碳及其组分与土壤酶的相关性[J].水土保持研究,2015,22(6):78-82.
- [6] 张仕吉,项文化.土地利用方式对土壤活性有机碳影响的研究进展[J].中南林业科技大学学报,2012,32(5):134-143.
- [7] 王棣,耿增超,余雕,等.秦岭典型林分土壤活性有机碳及碳储量垂直分布特征[J].应用生态学报,2014,25(6):1569-1577.
- [8] 范跃新,杨玉盛,杨智杰,等.中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态[J].生态学报,2013,33(18):5751-5759.
- [9] 丛静,刘晓,卢慧,等.神农架自然保护区土壤微生物生物量碳、氮沿海拔梯度的变化及其影响因素[J].生态学杂志,2014,33(12):3381-3387.
- [10] 苗蕾.太行山南麓山区典型森林类型土壤有机碳特征[D].北京:北京林业大学,2016.
- [11] 胡乃娟,韩新忠,杨敏芳,等.秸秆还田对稻麦轮作农田

活性有机碳组含量、酶活性及产量的短期效应[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):371-377.

- [12] 路丹,何明菊,区惠平,等.耕作方式对稻田土壤活性有机碳组分、有机碳矿化以及腐殖质特征的影响[J].土壤通报,2014,45(5):1144-1150.
- [13] 张瑞,张贵龙,姬艳艳,等.不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J].环境科学,2013,34(1):277-282.
- [14] 宋娅丽,王克勤,董莉,等.滇中烤烟坡耕地地表径流氮素的动态变化特征[J].水土保持学报,2010,24(4):7-11.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 林启美,吴玉光,刘焕龙.熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进[J].生态学杂志,1999,18(2):63-66.
- [17] 沈宏,曹志洪,胡正义.土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J].生态学杂志,1999,18(3):32-38.
- [18] Zongpei L I, Kun J, Dafu W U. Soluble organic C content of paddy soils in subtropical china in relation to extraction conditions[J]. Soils, 2005,37(5):512-516.
- [19] 张文敏,吴明,王蒙,等.杭州湾湿地不同植被类型下土壤有机碳及其组分分布特征[J].土壤学报,2014,51(6):1351-1360.
- [20] 黄先飞,周运超,张珍明.喀斯特石漠化区不同土地利用方式下土壤有机碳分布特征[J].水土保持学报,2017,31(5):215-221.
- [21] 李增全,江长胜,郝庆菊.缙云山不同土地利用方式对土壤团聚体微生物量碳氮的影响[J].环境科学,2015,36(11):4241-4251.
- [22] 盛浩,周萍,袁红,等.亚热带不同稻田土壤微生物生物量碳的剖面分布特征[J].环境科学,2013,34(4):1576-1582.
- [23] 杨凯,朱教君,张金鑫,等.不同林龄落叶松人工林土壤微生物生物量[J].生态学报,2009,29(10):5500-5507.
- [24] 王晓君,王宪帅,黄从德,等.岷江上游森林/干旱河谷交错带不同土地利用类型土壤有机碳和活性有机碳特征[J].水土保持学报,2011,25(2):167-172.
- [25] 王棣,耿增超,余雕,等.秦岭典型林分土壤活性有机碳及碳储量垂直分布特征[J].应用生态学报,2014,25(6):1569-1577.
- [26] 刘梦云,常庆瑞,齐雁冰,等.黄土台塬不同林分结构土壤有机碳质量分数特征[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):1418-1427.
- [27] 于法展,张忠启,沈正平,等.庐山不同林分类型土壤活性有机碳及其组分与土壤酶的相关性[J].水土保持研究,2015,22(6):78-82.
- [28] 董扬红,曾全超,李娅芸,等.黄土高原不同植被类型土壤活性有机碳组分分布特征[J].草地学报,2015,23(2):277-284.