

岷江流域不同土地利用方式下紫色土壤活性 有机碳分布特征及其影响因子

蒋 溢, 李亦秋

(绵阳师范学院 资源环境工程学院, 四川 绵阳 621000)

摘 要:作为土壤质量的重要指标,土壤活性有机碳(SLOC)在土壤许多物理、化学和生物特性中发挥着重要作用。通过对不同土地利用方式土壤进行采样和分析,系统地研究和比较了四川省岷江流域不同土地利用方式(次生林、人工林、灌草丛和坡耕地)SLOC 分布特征及其影响因子。结果表明:岷江流域不同土地利用方式土壤机械组成不尽一致,土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反。不同土地利用方式对土壤养分具有较大影响,土壤有机碳、全氮、全磷和全钾均呈现出一致性规律,大致表现为次生林和灌草丛高于人工林和坡耕地,而不同土地利用方式土壤全磷差异并不显著($p>0.05$)。不同土地利用方式 SLOC 均呈现出一致性规律,大致表现为次生林和灌草丛高于人工林和坡耕地。不同土地利用方式 SLOC 垂直方向随土层深度的增加表现出递增趋势,并且降低幅度逐渐减小,坡耕地、灌草丛、次生林和人工林 SLOC 从表层至底层逐渐递减,呈“T”形分布,“表聚性”较为明显。人工林、灌草丛和坡耕地在 10—20 cm SLOC/SOC 比例最高,而次生林 0—10 cm SLOC/SOC 比例最高,不同土地利用方式 SLOC/SOC 比例均在 30—40 cm 最低。相关性分析表明,不同土地利用方式 SLOC 与 SOC 和全氮均呈极显著正相关性($p<0.01$),与土壤容重均呈负相关。表明 SLOC 受土壤养分和机械组成影响较大,其中 SOC 和全氮是不同土地利用方式 SLOC 变化的重要影响因素。SLOC 与土壤有机碳之间呈极显著正相关关系($R^2=0.9961$),说明 SLOC 能够作为研究不同土地利用方式 SOC 动态变化的一个敏感性指标而提前反映土壤碳库的动态变化,其含量在很大程度上依赖于所处生境下 SOC 含量。

关键词:岷江流域;土地利用方式;土壤养分;土壤活性有机碳

中图分类号:S718.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)05-0033-06

Labile Organic Carbon of Different Land Use Patterns in Minjiang River Basin, Sichuan Province

JIANG Yi, LI Yiqiu

(School of Resources and Environmental Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract: The Minjiang River Basin has great position for its ecology and geography. As an essential indicator of soil quality, soil labile organic carbon (SLOC) and its fractions play an important role in many soil chemical, physical and biological properties. A field experiment was conducted to determine the variation and influencing factors of SLOC under different land use patterns in the Minjiang River Basin. The results are as follows. The soil mechanical composition under different land use patterns was different, and the change trend of soil total porosity was contrary with the soil bulk density. The soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and total potassium had the same change trends, which showed secondary forest and scrub-grassland higher than that of artificial forest and slope cropland, while the soil total phosphorus had no significant difference under different land use patterns ($p>0.05$). SLOC under different land use patterns ordered secondary forest and scrub-grassland higher than that of artificial forest and slope cropland. SLOC declined with decreasing soil depth and showed a decline along the vertical soil profile with a ‘T’ shape distribution with the obvious ‘surface accumulation’. The highest ratio of SLOC/SOC of scrub-grassland, artificial forest and slope cropland was in 10—20 cm, while secondary forest was in 0—10 cm, and the lowest ratio

收稿日期:2016-10-07

修回日期:2016-10-17

资助项目:国家自然科学基金(41361091,41371486);生态安全与保护四川省重点实验室基金(ESP201304,QD2014A001)

第一作者:蒋溢(1975—),女,四川三台人,讲师,硕士,研究方向:土壤与地理资源和区域发展。E-mail:Jiang_yisoi@163.com

通信作者:李亦秋(1973—),女,四川达县人,博士,副教授,主要研究方向:测绘与 3S 技术应用、生态遥感、自然资源开发与利用。E-mail: yqiu_li@163.com

of SLOC/SOC under different land use patterns was in 30—40 cm. Correlation analysis showed that SLOC had a significant difference with SOC, TN ($p < 0.01$), which indicated that SLOC was mainly depended on the organic carbon content to a large extent. In addition, the content of SOC was the important influencing factors under different land use patterns in the Minjiang River Valley. SLOC and the soil organic carbon presented extremely significant correlation ($R^2 = 0.996$), which could be a better parameter to reflect the status of soil organic carbon pool in the Minjiang River Valley than soil total organic carbon content.

Keywords: Minjiang River Valley; land use patterns; soil nutrients; soil labile organic carbon

土壤是陆地生态系统最大的有机碳库存,大部分以有机态存在,大约 $1\ 395\ \text{Pg}$ ($1\ \text{Pg} = 10^{15}\ \text{g}$),大部分以有机态存在,包括活性有机碳(SLOC)和非活性有机碳^[1-2]。SLOC是在一定时空条件下,受植物和微生物等环境条件影响、在土壤中移动较快、稳定性差、易分解和矿化,具有较高活性的那部分有机碳,主要来源于动植物及微生物残体,是生物、土壤、气候等环境因子综合作用的产物,对土壤碳库平衡、生物化学循环、肥力保持均具有重要指示意义^[1,3]。四川岷江流域位于我国西南山地地区,该区域以紫红壤为主,地貌类型复杂多变,是我国土地利用方式多样化的重要区域^[4-5]。土地利用是人类干预土壤肥力最重要、最直接的活动,通过改变土壤营养循环强度、总量及路径,通过改变土壤的水热条件等从而影响土壤养分的流动与转化,进而导致土壤肥力变迁^[6]。土地利用方式下,人为干扰导致土地利用结构类型变化多样,随着人口增长和经济的发展,岷江流域中下游人口与土地矛盾越显突出,土地垦殖系数居高不下^[7]。合理的土地利用方式是恢复该区土壤肥力、改善土壤质量、实现植被恢复和重建的重要途径,然而这些措施必将对土壤有机碳的积累、循环和平衡产生重要影响,由于SLOC敏感性较强,能够指示土壤的早期变化,进而也会影响到该区SLOC的分布特征及变化规律^[8-9]。已有大量的学者对不同生态系统土壤有机碳、SLOC循环和平衡等问题进行了研究,而岷江流域此类研究的基础资料十分缺乏^[10-12]。因此,本文以岷江流域不同土地利用方式(次生林、人工林、灌草丛和坡耕地)为研究对象,旨在揭示岷江流域不同土地利用方式SLOC分布特征及影响因素,以期对预测和监测该区生态系统碳循环和积累机制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

岷江流域源于岷山南麓,主要支流有黑水河、杂谷脑河、大渡河、马边河,属长江支流水量最大的流域,干流全长 735 km,落差 3 560 m,流域面积 $13.3\ \text{万}\ \text{km}^2$,以都江堰市以上为上游,都江堰市至乐山市大渡河汇入处为中游,乐山至宜宾长江汇合处为下游段。其上游河段属峡谷型河流,地形复杂,岭谷相间,

两岸耕地、人口分布少;中游和下游经丘陵平原区,地势平坦,两岸耕地、人口分布较多,交通便利工农业发达,为本研究区域。

岷江流域大部分属亚热带气候,上游受山地的影响,具有温带—亚寒带气候特点,干流沿江气温自上游至下游逐渐升高,年平均气温 $5\sim 9\ ^\circ\text{C}$,至都江堰市盆地边缘,年平均气温为 $15\ ^\circ\text{C}$ 左右,上游山区气温日较差大,都江堰市以下至宜宾的平原丘陵地区,气温已无明显差别,年平均气温为 $17\ ^\circ\text{C}$ 左右,最低气温为 $-4\ ^\circ\text{C}$ 左右,最高气温为 $38\ ^\circ\text{C}$ 左右。该区雨季节变化明显,汛期暴雨频发,尤其集中在 6—9 月,夏秋两季雨量可占全年的 80% 以上,沿干流上游河谷松潘县至汶川段多年平均年降水量 $400\sim 700\ \text{mm}$,自汶川县映秀湾以下至都江堰市是岷江干流的降雨中心,多年平均年降水量达 $1\ 100\sim 1\ 600\ \text{mm}$,岷江中、下游多年平均年降水量 $900\sim 1\ 300\ \text{mm}$,自然资源丰和水能资源十分丰富,紫色土在流域内分布于四川盆地,是重要的耕地资源^[4-5]。

1.2 试验设计

根据岷江中游流域特点,具有代表性的选取坡耕地、次生林、人工林、灌草丛 4 种土地类型布设 4 个水平投影面积 $100\ \text{m} \times 100\ \text{m}$ 的小区。坡耕地:流域内传统的种植方式,种植有豌豆、蔬菜、烟草等,伴生有紫茎泽兰群落,覆盖度 $< 10\%$ 。人工林:近年来进行流域综合治理,在政策导向下农户将大部分坡耕地进行退耕还林,主要种植马尾松林,林间伴生有灌木、草本以及苔藓等,覆盖度 $50\%\sim 80\%$ 。次生林:封育多年后形成的以大戟科、樟科、壳斗科和茜草科等植物为主的森林群落,覆盖度 $> 80\%$ 。灌草丛:主要为热性灌草丛,与人工林相邻,以灌木(杜鹃)占优势,草本植物有马兰、三色堇、旱金莲等,覆盖度 $20\%\sim 40\%$; 4 种土地类型均为红紫壤土。

于 2014 年和 2015 年的 9 月中旬,对 4 种不同土地利用方式取样,每种土地利用方式设置 5 个重复样地(样地面积为 $100\ \text{m} \times 100\ \text{m}$),每个样地相距 100 m,随机设置 5 个采样点,每个采样点间距在 10 m 以上,每个采样点重复取 5 次作为平行,5 个平行之间间隔 2 m,为了保证取样的一致性,所取样的土壤坡度均小于 5° 。土壤样品的采集:用土钻取 0—10,

10—20,20—30,30—40 cm 土层样品(除去表层的枯落物层),每个采样点按“S”型取 5 个样品混合后四分法取样品(合计: $n=400$)。

1.3 土壤样品测定

土壤颗粒分析采用激光粒度仪测定(GSL-101 BL 型,辽宁仪器仪表有限公司);土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾氧化外加加热法进行测定;土壤全氮(TN)采用开氏消煮法测定;全磷(TP)采用 NaOH 碱溶—钼锑抗比色法;全钾(TK)采用乙酸铵浸提—火焰光度计法。

土壤经自然风干后,去除植物根系等杂物过 2 mm 筛,分别测定土壤活性有机碳(SLOC)和有机碳(SOC)含量。

土壤活性有机碳(g/kg)测定方法:称取约含 15 mg 碳的土壤样品于 100 ml 的离心管中;加入 25 ml 高锰酸钾,振荡 1 h 后,4 000 rpm 下离心 5 min,将上清液用去离子水以 1:250 的比例稀释,用分光光度计在 565 nm 下测定稀释样品的吸光率,用不加土壤的空白与土壤样品的吸光率之差计算高锰酸钾浓度的变化,由此计算出氧化的碳量。

不同土地利用方式 SLOC 的计算^[10-11]:

$$SLOC=\frac{SOC_1h_1+SOC_2h_2+\cdots+SOC_ih_i}{h_1+h_2+\cdots+h_i}$$

式中:SLOC 为整个剖面 SOC 的加权平均值;SOC_{*i*}为第 *i* 层有机碳含量(g/kg);*h_i* 为各土层的厚度(cm)。

表 1 不同土地利用方式土壤粒径组成

土地利用方式	机械组成/%			容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/%
	1~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm		
次生林	19.3±1.59b	53.69±3.14b	27.01±2.07a	0.82±0.09a	40.21±3.24b
人工林	13.45±2.03c	61.08±2.15a	25.47±1.56b	1.36±0.12a	45.79±1.58a
灌草丛	21.61±2.14ab	59.23±2.04a	19.16±1.98c	1.23±0.16b	41.58±2.96b
坡耕地	22.71±3.01a	53.12±1.89b	24.17±1.74b	0.76±0.08a	46.23±2.74a
均值	19.27	56.78	23.95	1.04	43.45
<i>p</i>	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
<i>F</i>	68.95	86.27	67.84	72.46	71.29

注:不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),下同。

2.2 不同土地利用方式土壤养分含量特征

由图 1 可知,在坡耕地、灌草丛、次生林和人工林 4 种不同土地利用方式下,土壤有机碳、全氮、全磷和全钾均呈现出一致性规律,大致表现为次生林和灌草丛高于人工林和坡耕地;其中人工林和坡耕地土壤有机碳差异不显著($p>0.05$),显著低于次生林和灌草丛($p<0.05$),次生林土壤有机碳最高($p<0.05$);次生林和灌草丛土壤全氮差异不显著($p>0.05$),显著高于坡耕地;4 种不同土地利用方式土壤全磷差异均不显著($p>0.05$);人工林和坡耕地土壤全钾差异不

1.4 统计分析

利用 Excel 2003 和 SPSS 18.00 软件对数据进行分析,单因素方差进行分析(One-way ANOVA),采用邓肯新复检验法对不同土地利用方式下各个指标差异进行统计。所有数据测定结果以 2014 年、2015 年平均值±标准误的形式表达,通过相关分析系数描述土壤养分与土壤有机碳组分的相关程度,并在 $p<0.05$ 和 $p<0.01$ 水平检验相关系数的显著性。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式土壤粒径组成

表 1 反映了不同土地利用方式下的土壤机械组成,其中 1~0.05 mm 土壤所占比例范围为 13.45%~22.71%,基本表现为:坡耕地>灌草丛>次生林>人工林,0.05~0.002 mm 土壤所占比例范围为 53.12%~61.08%,基本表现为:人工林>灌草丛>次生林>坡耕地,<0.002 mm 土壤所占比例范围为 19.16%~27.01%,基本表现为:次生林>人工林>坡耕地>灌草丛;土壤容重变化范围为 0.76~1.36 g/cm³,基本表现为:人工林>灌草丛>次生林>坡耕地,人工林、灌草丛、次生林差异不显著($p>0.05$),显著高于坡耕地($p<0.05$);土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,基本表现为:坡耕地>人工林>灌草丛>次生林,坡耕地和人工林差异不显著($p>0.05$),灌草丛和次生林差异不显著($p>0.05$)。

显著($p>0.05$),显著低于次生林和灌草丛($p<0.05$),次生林土壤全钾最高($p<0.05$)。

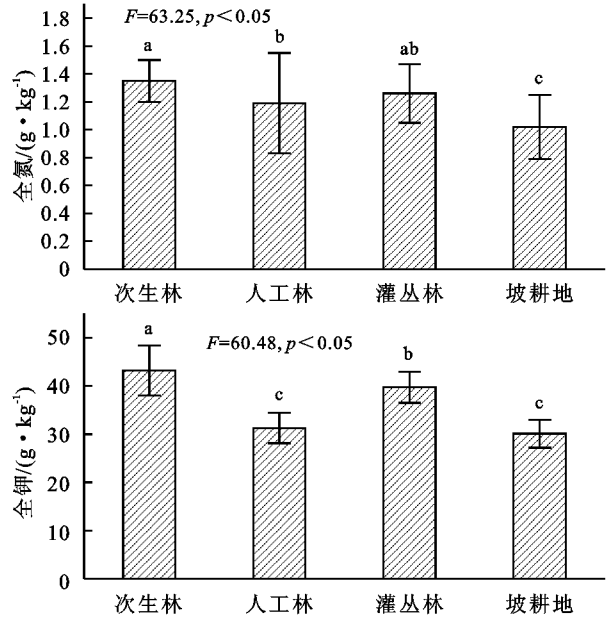
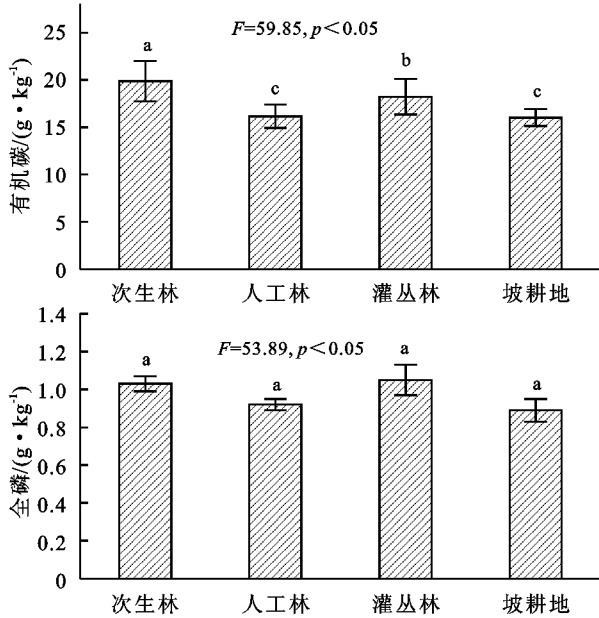
2.3 不同土地利用方式土壤活性有机碳(SLOC)分布特征

由图 2 可知,不同土地利用方式下 SLOC 各不一致,其变化范围为 1.25~3.52 g/kg,大致表现为次生林和灌草丛高于人工林和坡耕地;其中人工林和坡耕地 SLOC 差异不显著($p>0.05$),显著低于次生林和灌草丛($p<0.05$),次生林土壤有机碳最高($p<0.05$)。

从图 3 可以看出,不同土地利用方式 SLOC 垂直

方向随土层深度的增加表现出递增趋势,并且降低幅度逐渐减小,坡耕地、灌草丛、次生林和人工林 SLOC

从表层至底层逐渐递减,呈“T”形分布,“表聚性”较为明显。



注:相同小写字母表示在 0.05 水平上差异不显著,下同。

图 1 不同土地利用方式土壤养分含量

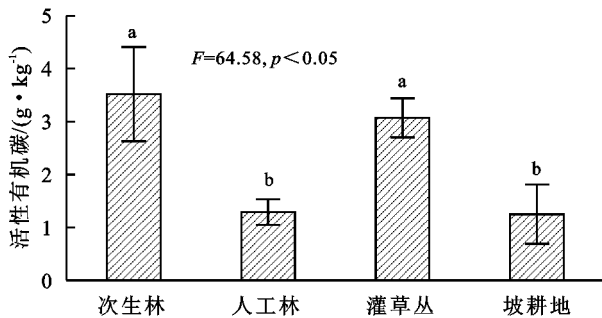


图 2 不同土地利用方式土壤活性有机碳分布特征

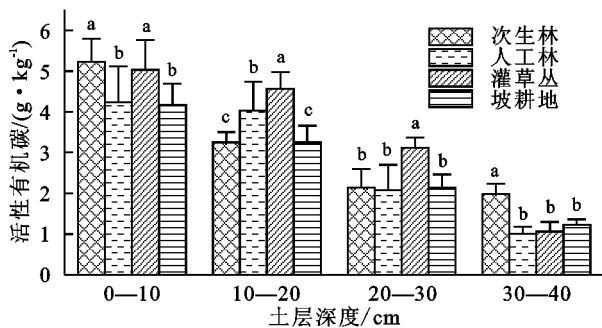


图 3 不同土地利用方式土壤活性有机碳垂直分布

2.4 不同土地利用方式土壤活性有机碳所占有有机碳比例

线性回归(图 4)的结果表明:SLOC 与土壤有机碳之间呈极显著正相关关系($R^2=0.9961$),回归方程为 $y=0.2118x-0.0759$,说明不同土地利用方式下 SLOC 在很大程度上依赖于所处生境下土壤有机碳含量。

不同土地利用方式 SOC 与 SLOC 在土壤垂直方向变化规律相一致,均随土层深度的增加而降低。表 2 反映了不同土层 SLOC 所占 SOC 比例,由表 2 可

知,不同土层深度 SLOC/SOC 降低的百分比比例不同。从不同土层 SLOC/SOC 比例来看,人工林、灌草丛和坡耕地在 10—20 cm SLOC/SOC 比例最高,而次生林 0—10 cm SLOC/SOC 比例最高,不同土地利用方式 SLOC/SOC 比例均在 30—40 cm 最低。

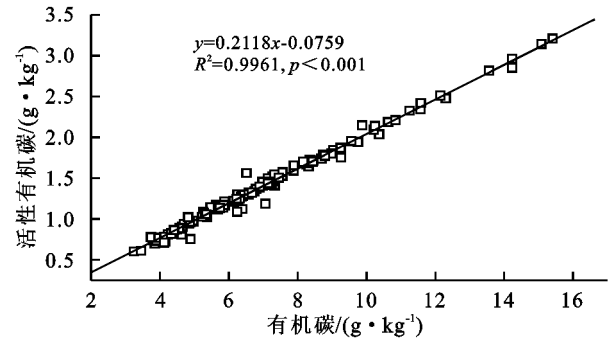


图 4 土壤活性有机碳与土壤有机碳含量的相关性

2.5 不同土地利用方式土壤活性有机碳与土壤养分的相关关系

不同土地利用方式土壤活性有机碳组分与土壤养分间存在不同的相关关系,表 3 的结果表明:在不同土地利用方式中,土壤 SLOC 均与 SOC 和 TN 均呈极显著正相关性($p<0.01$),与 TP 相关性不显著($p>0.05$);与土壤 BD 均呈负相关;次生林和人工林 SLOC 与 TK 呈极显著正相关性($p<0.01$),灌草丛和坡耕地 SLOC 与 TK 呈显著正相关性($p<0.05$);综合来看,不同土地利用方式 SLOC 与 1~0.05 mm 粒径没有显著相关性($p>0.05$),次生林 SLOC 与 0.05~0.002 mm 粒径呈显著正相关性($p<0.05$),

次生林和灌草丛 SLOC 与 <0.002 mm 粒径呈显著正相关性($p<0.05$)。表明活性有机碳受土壤养分和机械组成影响较大,其中 SOC 和 TN 是不同土地利用方式土壤活性有机碳变化的重要影响因素。

表 2 不同土地利用方式土壤活性有机碳所占有机碳比例

土层/cm	指标	次生林	人工林	灌草丛	坡耕地
0—10	SLOC/(g·kg ⁻¹)	5.23±0.56	4.23±0.89	5.03±0.73	4.16±0.53
	SOC/(g·kg ⁻¹)	23.59±3.56	21.78±1.89	18.63±3.26	19.58±2.98
	SLOC/SOC/%	22.17	19.42	27.00	21.25
10—20	SLOC/(g·kg ⁻¹)	3.25±0.25	4.03±0.71	4.56±0.71	3.25±0.41
	SOC/(g·kg ⁻¹)	21.04±2.96	18.63±3.24	13.25±2.14	15.18±3.15
	SLOC/SOC/%	15.45	21.63	34.42	21.41
20—30	SLOC/(g·kg ⁻¹)	2.14±0.46	2.08±0.62	3.12±0.43	2.14±0.32
	SOC/(g·kg ⁻¹)	16.29±2.59	13.24±1.02	12.43±2.89	10.23±2.03
	SLOC/SOC/%	13.14	15.71	25.10	20.92
30—40	SLOC/(g·kg ⁻¹)	1.98±0.25	1.01±0.17	1.06±0.25	1.23±0.13
	SOC/(g·kg ⁻¹)	11.03±3.01	10.54±2.14	11.98±1.37	9.29±1.12
	SLOC/SOC/%	17.95	9.58	8.85	13.24

表 3 不同土地利用方式土壤活性有机碳与土壤养分的相关分析($n=400$)

土地利用 方式	机械组成/%			BD	TPO	SOC	TN	TP	TK
	1~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm						
次生林	0.342	0.524*	0.569*	-0.569*	0.285	0.845**	0.836**	0.069	0.803**
人工林	0.147	0.138	0.234	-0.547*	0.142	0.903**	0.897**	0.157	0.771**
灌草丛	0.009	0.213	0.513*	-0.258	0.523*	0.941**	0.904**	0.338	0.629*
坡耕地	0.325	0.432	0.156	-0.236	0.614*	0.899**	0.785**	0.217	0.567*

注:*,** 分别表示在 0.05,0.01 水平上差异显著。

3 讨论与结论

3.1 不同土地利用方式下土壤养分分布特征

本研究结果显示岷江流域不同土地利用方式土壤机械组成不尽一致,土壤总孔隙度与土壤容重变化趋势相反,不同土地利用方式对土壤养分及理化性质具有较大影响,土壤有机碳、全氮、全磷和全钾均呈现出一致性规律,大致表现为林地>草地>耕地>未利用地。已有研究表明,不同土地利用方式会导致土壤养分的不同,而不同土地利用方式土壤全磷差异并不显著,主要是由于磷素作为一种沉积性元素,其分解作用缓慢,因此其变化范围和空间变异性较低^[13-14]。不同土地利用方式改变了土壤的理化性质及有机碳组分和性质,特别是水分条件的改善,次生林和灌草丛基本没有开垦,生物量以及输入土壤的有机物数量较多,表现出土壤养分含量高于人工林和坡耕地,再加上归还土壤的动植物残体和腐殖化物质,不同组分有机碳增加迅速,进而改变了土壤理化性状和有机碳组分^[15-16]。因此,要提高岷江流域土壤肥力,则应该从提高土壤有机质含量、合理控制土地利用方式开始。

3.2 不同土地利用方式 SLOC 分布特征

SLOC 是土壤微生物生长的速效基质,其含量高低直接影响土壤微生物的活性和土壤养分流的调节^[17-18]。土地利用方式一方面会导致进入土壤中植

物残体的数量和性质发生改变,另一方面会引起土壤水分管理、耕作方式等管理措施的差异,由此影响和改变 SLOC 的分布特征^[11]。本研究中,不同土地利用方式对 SLOC 有明显的影响,主要与植物根系分布、产生凋落物数量和质量及其与 SLOC 的相关程度有关;一方面使土壤有机质数量发生变化而影响土壤活性有机碳和有机碳含量,另一方面也使土壤有机质的稳定性和质量发生变化而使土壤活性有机碳与非活性有机碳发生转变。次生林和灌草丛根系分布比坡耕地深,土壤表层形成的残体或分泌物多,SL-OC 形成量较多,当次生林变成人工林或者坡耕地以后,SLOC 很快被分解完,而在耕地中只是在土壤表层补充了部分 SLOC,因此不同土地利用方式 SLOC 均显著高于坡耕地($p<0.05$)。

3.3 不同土地利用方式下 SLOC 垂直分布

不同土地利用方式 SLOC 垂直方向上随土层的增加而逐渐降低,呈“T”形分布(图 3),主要集中于 0—10 cm 土层。有研究表明,植被根系沿剖面分布总体上随着土层深度的增加,根系数量急剧降低,通常表现为“T”形趋势下的锯齿状分布。本研究结果显示不同土地利用方式 SLOC 垂直方向也呈现出“T”形分布的特点,初步表明 SLOC 垂直分布更大程度上依赖于地下生物量的垂直分布。土壤养分储存于表层,植物为了满足生长,在表层发展根系以获取

更多资源,使得 SLOC 出现明显的“表聚性”,而随土层深度的增加,土壤养分、温度、含水量、通气条件逐渐恶劣,根系生长受到限制,SLOC 迅速递减,因而不同土地利用方式 SLOC 垂直分布形成了这种“T”形特征。在 30—40 cm 土层,不同土地利用方式 SLOC 基本相等或者一致,表层土壤中易氧化的活性碳组分暴露,降低了土壤易氧化碳的稳定性,加速了其被氧化的进程,而深层土壤有机碳平均驻留时间长,矿化速率低和高稳定性,所以土地利用变化对深层 SLOC 的响应迟缓,这与前人的研究结果一致^[11,15]。

3.4 不同土地利用方式 SLOC 与各影响因子关系

不同土地利用方式 SLOC 分布特征与环境因子密不可分,当前大部分研究仅限于单一驱动因子对 SLOC 的影响,实际上却是环境等众多因子交互作用的结果^[19]。不同土地利用方式各因子变化十分明显,在很大程度上决定着 SLOC 的分布特征和变化规律。相关性分析表明(表 3),不同土地利用方式 SLOC 与 SOC 和 TN 均呈极显著正相关性($p < 0.01$),可能是因为土壤有机质中氮的含量会影响到微生物对其分解和利用速度,含氮量高的有机质易被微生物分解,迁移、转化速度快,从而对土壤有机碳的含量产生一定影响;与 TP 相关性不显著($p > 0.05$);与土壤容重均呈负相关;次生林和人工林 SLOC 与 TK 呈极显著正相关性($p < 0.01$),灌草丛和坡耕地 SLOC 与 TK 呈显著正相关性($p < 0.05$)。表明活性有机碳受土壤养分和机械组成影响较大,其中 SOC 和 TN 是不同土地利用方式土壤活性有机碳变化的重要影响因素。SLOC 占 SOC 比例很小,但在土壤全碳变化之前可以反映土壤属性的微小变化,又可直接或者间接地参与生物地球化学循环。本研究中 SLOC 与 SOC 之间呈极显著正相关关系($R^2 = 0.9961$),说明 SLOC 能够作为研究不同土地利用方式 SOC 动态变化的一个敏感性指标而提前反映土壤碳库的动态变化,其含量在很大程度上依赖于所处生境下 SOC 含量,这与前人提出 SLOC 可以表征土壤物质循环特征的研究结果一致^[11,15,20],为岷江流域碳库的预测和评价及该生态系统碳循环机制提供了理论科学依据。

参考文献:

[1] Weil R R, Islam K R, Stine M A, et al. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use[J]. *American Journal of Alternative Agriculture*, 2003,18(1):3-17.

[2] Gu L, Post W M, King A W. Fast labile carbon turnover obscures sensitivity of heterotrophic respiration from soil to temperature: A model analysis[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004,18(1):21-38.

[3] Conteh A, Blair G J, Lefroy R, et al. Labile organic carbon determined by permanganate oxidation and its relationships to other measurements of soil organic carbon[J]. *Humic substances in the Environment*, 1999,1:3-15.

[4] 张会平,杨农,张岳桥,等.岷江水系流域地貌特征及其构造指示意义[J]. *第四纪研究*, 2006,26(1):126-135.

[5] 溥发鼎.岷江上游生态学现状及生物多样性保护[J]. *资源科学*, 2000,22(5):83-84.

[6] Searchinger T, Heimlich R, Houghton R A, et al. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change[J]. *Science*, 2008,319(5867):1238-1240.

[7] 樊宏,张建平.岷江上游半干旱河谷土地利用/土地覆盖研究[J]. *中国沙漠*, 2002,22(3):273-278.

[8] White R, Engelen G. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns[J]. *Environment and Planning A*, 1993,25(8):1175-1199.

[9] Li X, Yeh A G O. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004,69(4):335-354.

[10] 祁心,江长胜,郝庆菊,等.缙云山不同土地利用方式对土壤活性有机碳,氮组分的影响[J]. *环境科学*, 2015(10):3816-3824.

[11] 宇万太,马强,赵鑫,等.不同土地利用类型下土壤活性有机碳库的变化[J]. *生态学杂志*, 2007,26(12):2013-2016.

[12] 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[J]. *生态环境*, 2006,15(6):1224-1230.

[13] 许峰,蔡强国.坡地农林复合系统土壤养分过程研究进展[J]. *水土保持学报*, 2000,14(1):82-87.

[14] 俞月凤,何铁光,彭晚霞,等.喀斯特峰丛洼地不同类型森林养分循环特征[J]. *生态学报*, 2015,35(22):7531-7542.

[15] 李娟,廖洪凯,龙健,等.喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响[J]. *生态学报*, 2013,33(7):2147-2156.

[16] 李新爱,肖和艾,吴金水,等.喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳,全氮以及微生物生物量碳和氮的影响[J]. *应用生态学报*, 2006,17(10):1827-1831.

[17] 廖洪凯,李娟,龙健,等.土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响[J]. *环境科学*, 2014,35(1):240.

[18] 吴秀坤,李永梅,李朝丽,等.纳版河流域土地利用方式对土壤总有机碳以及活性有机碳的影响[J]. *生态环境学报*, 2013,22(1):6-11.

[19] 李鉴霖,江长胜,郝庆菊.土地利用方式对缙云山土壤团聚体稳定性及其有机碳的影响[J]. *环境科学*, 2014,35(12):4695.

[20] 陈书涛,刘巧辉,胡正华,等.不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素[J]. *环境科学*, 2013,34(3):1017-1025.