

不同园林植物土壤活性有机碳组分及有机碳储量

刘琳¹, 余佳洁¹, 周文静^{1,2}

(1.重庆建筑工程职业学院, 重庆 400072; 2.西南林业大学 园林园艺学院, 昆明 650224)

摘要: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。连续 3 年(2016—2018 年)系统地研究和比较了不同园林植物(夹竹桃 *Apocynaceae*、石楠 *Photinia serrulata*、广玉兰 *Magnolia grandiflora*、大叶女贞 *Ligustrum lucidum*)土壤活性有机碳组分和有机碳储量特征。结果表明:(1)在垂直方向,不同年份园林植物土壤有机碳含量均随着土层深度的增加而逐渐降低,表现出明显的“表聚性”,其中表层随着年份的增加其增加趋势较为明显,深层有机碳含量随年份的变化不明显。此外,不同年份不同土层深度不同园林植物土壤有机碳含量均表现为夹竹桃和石楠显著高于广玉兰和大叶女贞。(2)土壤有机碳储量与土壤有机碳呈一致的变化规律,均随着土层深度的增加而逐渐降低。(3)不同园林植物土壤易氧化有机碳(EOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)和水溶性有机碳(WSOC)均随着土层深度的增加而逐渐降低,表层最大,表现出明显的“表聚性”,其中表层随着年份的增加其增加趋势较为明显,深层有机碳储量随年份的变化不明显。相同土层夹竹桃和石楠土壤易氧化有机碳(EOC)、颗粒有机碳(POC)、轻组有机碳(LFOC)和水溶性有机碳(WSOC)均高于广玉兰和大叶女贞。(4)土壤活性有机碳与土壤总有机碳均呈显著的线性关系,说明土壤活性有机碳依赖于土壤总有机碳含量。(5)交互分析表明:土层深度和林型对土壤有机碳和活性有机碳具有显著的影响($p < 0.05$),年份对土壤有机碳和活性有机碳没有显著影响($p > 0.05$),其中林型 \times 土层深度对土壤有机碳和活性有机碳具有显著的影响($p < 0.05$)。

关键词:园林植物; 土壤有机碳; 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(2020)05-0038-07

Soil Active Organic Carbon Components and Organic Carbon Reserves Under Different Garden Plants

LIU Lin¹, YU Jiajie¹, ZHOU Wenjing^{1,2}

(1.Chongqing Vocational College of Architectural Engineering, Chongqing 400072, China;

2.College of landscape and horticulture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: As an important index of soil quality, soil active organic carbon (SLOC) plays an important role in many physical, chemical and biological properties of soil. From August 2016 to August 2018, through sampling and analysis of soil samples under different garden plants for three consecutive years, the characteristics of active organic carbon components and organic carbon reserves in soils under different garden plants were systematically studied and compared. The results showed that: (1) in the vertical direction, the organic carbon contents in the soils of garden plants in different years gradually decreased with the increase of soil depth, showing an obvious surface aggregation, among which the surface layer increased with the increase of years, while the organic carbon content in deep layer did not change significantly with the increase of years; in addition, the soil organic carbon contents under garden plants in different years and at different soil depths were significantly higher under oleander and heather than those under magnolia and privet; (2) the storage of soil organic carbon was consistent with the change rule of soil organic carbon content; the storages of soil organic carbon under garden plants in different years gradually decreased with the increase of soil depth, among which the increase trend of surface layer was more obvious with the increase of year, while the change

收稿日期:2019-11-13

修回日期:2019-11-28

资助项目:重庆市教育委员会科学技术研究项目“渝东南地区传统村落的空间特征及其规划设计策略研究”(KJQN201904301)

第一作者:刘琳(1981—),女,重庆人,硕士,工程师,研究方向为景观生态学。E-mail:Liu_lingling_1981@163.com

of deep layer organic carbon content was not obvious with the increase of year; (3) soil easy oxidation organic carbon (EOC), particulate organic carbon (POC), light organic carbon (LFOC) and water soluble organic carbon (WSOC) under landscape plants of different particulate decreased with the increase of soil depth, the contents of these organic carbon fractions in surface layer were the largest, indicating the apparent agglomeration of soil organic carbon fractions in the topsoil, the increases of soil organic carbon in the surface layers were significant with the increase of the years, the changes in organic carbon reserves in deep layers were not significant over the years; in the same soil layer, EOC, POC, LFOC and WSOC under *Apocynaceae* and *Photinia serrulata* were higher than those under *Magnolia grandiflora* and *Ligustrum lucidum*; (4) there were a significant linear relationship between soil active organic carbon and soil total organic carbon, which indicated that soil active organic carbon was dependent on soil total organic carbon content and characterized the carbon content of the more active part of soil from different perspectives; (5) interactive analysis showed that soil depth and plant types had significant effects on soil organic carbon and active organic carbon ($p < 0.05$), while years had no significant effects on soil organic carbon and active organic carbon ($p > 0.05$); the interaction of plant types and soil depths had significant effects on soil organic carbon and active organic carbon ($p < 0.05$), however, the interactions of plant type and year and the interaction of soil depth and year had no significant effect on soil organic carbon and active organic carbon ($p > 0.05$).

Keywords: garden plants; soil organic carbon; soil active organic carbon

在复杂的生态环境中,陆地生态由于直接承载了人类生存发展,同时也是大量动植物生存的载体,因此具有显著的复杂性及多样性^[1-3],而放眼陆地生态,土壤成为其中关键的构成部分,绝大部分植被的生长发育难以脱离土壤,从而形成了土壤—植物生态子系统,此外,人类生活生产离不开土壤,土壤生态至关重要^[4]。大量研究得知,土壤结构也具有多样性和复杂性,其中重要的构成部分是有机碳 SOC,该物质直接关乎着土壤理化特性的变化^[5-6],对于土壤活性及质量起着关键性作用,制约能量交换和物质循环^[3-4]。对于有机碳总量而言,其并没有很强的变化性,处于相对稳定的状态,短期内难以观测其变化;根据其稳定性特点,其不仅包括活性碳,还包含慢性和惰性活性碳^[7-8]。对于活性碳而言,其不仅具有较强的移动性、变化快的特点,同时容易产生氧化及矿化现象,对于植被生长发育具有更强的制约,同时对于微生物活动产生较大的影响效果^[9],虽然其总量并不多,但是作用较大,能够对土壤养分循环进行有效的调节,与有机质相比,在土壤理化特性反映方面具有更强的体现,同时能够充分调节土壤活性,制约土壤质量^[10-11]。尽管在总有机碳的占比并不高,但是充分参与了能量交换,制约着有机质的分解效率等,在土壤有机质转化方面起着关键作用,从而影响着陆地生态碳循环。由于其具有周转快的特点,加之其具有较快的氧化及矿化特点,制约着土壤有机质分解效率,因此能够对其变化充分反映,常将活性碳的变化作为土壤碳库的反映指标之一。此外,不少

学者通过研究发现,微生物熵 SMQ 也能够对土壤碳库的变化进行充分的体现,这主要是从微生物这一角度来分析土壤状况,利用的是微生物量碳与有机碳之比,从而对土壤状况加以反映^[12]。对于环境及植被等因子的变化,土壤活性有机碳能够产生快速的变化,且随着季节交替而呈现显著差异,在环境因子的复杂影响下,有机碳的变化也较为多样性,气候、土壤、植被及其交互作用,都能够对活性有机碳含量产生很大的制约,且具有多样性的变化模式^[13-14]。

对于城市而言,由于建筑物林立且土地资源较为紧张,其较多的植被分布主要在于城市园林植被及绿化带等,因此城市植被显得尤为关键,同时也是都市环境的关键调节因素之一,不仅能够有效降低太阳辐射^[15-16],而且能够显著降低粉尘,调节空气质量,对于人类居住环境的改善起着关键作用,因此具有明显的美感和环境效益^[17-19]。对于城市园林植被而言,在产生美感和环境效益的同时能够制约着土壤碳循环,在碳周转变变化方面影响效果明显,对于土壤修复发挥着巨大作用,但是不同的植被具有不同的生长习性,其生物学特点差异颇大,因此对于不同的城市而言,由于其环境特点的差异,在选择城市植被的过程中要充分因地制宜,选择适宜当地环境的植被,增强土壤碳循环效率^[13]。鉴于此,本研究将立足于园林植被的角度探究其活性碳变化,并将武汉城市植被作为研究视角,从不同土层对比其有机碳的变化,进而探究植被如何进行固碳,为改善土壤结构提供有益参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本研究选取武汉市不同园林植物(夹竹桃 *Apocynaceae*、石楠 *Photinia serrulata*、广玉兰 *Magnolia grandiflora*、大叶女贞 *Ligustrun lucidum*),2016 年 8 月—2018 年 8 月,连续三年进行观测研究,并做好长期的数据记录分析和室内分析。为了具有试验的可重复性,每种园林树种在不同街道选取 20 株,并做好标记便于长期监测和取样。分别采集每个树种根区土壤样品,0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 分层采样;采取四分法对土壤样品进行现场处理,同时分为 2 份带回实验室,一份自然风干 20 d 过 2 mm 筛测定土壤养分等指标;另一份鲜土过筛后置于 4℃温箱保存用于测定土壤微生物量等。同时在采样点附近挖取 100 cm 深的剖面,用环刀采取原状土测定土壤容重。

1.2 土壤有机碳组分测定

土壤样品带回实验室进行处理,首先风干后去除杂物并进行磨碎过筛,要求达到 2 mm,且要求风干时间不低于 20 d,然后对土壤有机碳 SOC 借助于加热法进行衡量;土层厚度对于有机碳储量的影响较大,为了更准确地衡量其变化,在研究过程中借助于等质量法^[17]进行测量,这将会大大降低土壤质量对试验的误差。

对于易氧化有机碳 EOC、轻组分有机碳 LFOC 分别借助于比色法、浮选法进行测量^[11]。对微生物量碳及氮则借助于浸提法进行测量^[7-8]。

1.3 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进行差异性检验。所有数据测定结果以平均值±标准误的形式表达。

2 结果与分析

2.1 不同园林植物土壤有机碳含量

从表 1 可见,虽然植被种类不同,生长年份也不一样,但是在土层深度不断增加的情况下,其土壤有机碳含量均随之不断下降,且其含量在表层土壤达到最高水平,也就是说存在主要集中于表层土壤之中,这就是我们常说的“表聚性”分布特点。在不同的土层深度影响下,有机碳含量呈现较大的差异,这说明土层深度对其具有明显的制约。在时间的推移影响下,表层土壤的有机碳含量呈现明显的增加态势,但

是对于深层土壤而言,其变化微乎其微。以夹竹桃为例,对于表层土壤向下 100 cm 深度的有机碳而言,其平均变化范围超过了 5.69 g/kg,但是低于 6.22 g/kg,随着时间的变化,其上升态势明显,且对于不同年份而言,其间的差异通过了 0.05 的检验水平,也就是说差异具有显著性。对于石楠、广玉兰而言,其变化区间分别为 5.24~6.28,4.57~5.14 g/kg,随着时间的变化,其上升态势明显,且对于不同年份而言,其间的差异通过了 0.05 的检验水平,也就是说差异具有显著性。但是对于大叶女贞而言,对于表层土壤向下 100 cm 深度的有机碳而言,其平均变化范围虽然超过了 4.3 g/kg,但是低于 4.97 g/kg,与其他植被相比相对较低,此外,随着时间的变化,其上升态势明显,但是 2016—2017 年之间的差异并未达到 0.05 的显著性水平,也就是说其差异未达到显著水平,但是 2018 年与二者之间的差距达到了显著状态,通过了 0.05 的检验水平。此外,受时间、土层深度的不同影响,不同的植被具有较明显差异的有机碳含量,与广玉兰和大叶女贞相比,夹竹桃、石楠均呈现较高水平。

表 1 不同园林植物土壤有机碳含量 g/kg

年份	土层深度/cm	夹竹桃	石楠	广玉兰	大叶女贞
2016	0—20	11.44±0.89	10.78±0.63	10.24±0.58	9.24±1.17
	20—40	6.14±0.67	6.02±0.51	5.33±0.25	5.48±0.46
	40—60	4.76±0.46	4.13±0.36	3.79±0.18	3.09±0.53
	60—80	3.23±0.33	3.25±0.33	2.32±0.15	2.13±0.38
	80—100	2.90±0.39	2.11±0.21	1.17±0.31	1.55±0.12
	0—100	5.69±0.37c	5.26±0.32a	4.57±0.27c	4.30±0.15b
2017	0—20	11.31±0.68	11.16±0.45	10.09±0.32	9.37±0.32
	20—40	6.26±0.24	6.26±0.37	5.72±0.26	5.24±0.6
	40—60	5.15±0.17	5.25±0.12	4.14±0.16	4.15±0.26
	60—80	4.25±0.33	5.14±0.36	2.91±0.14	2.45±0.17
	80—100	2.09±0.28	2.78±0.77	1.83±0.45	1.73±0.14
	0—100	5.81±0.38b	6.12±0.26b	4.94±0.39b	4.59±0.32b
2018	0—20	12.05±0.35	11.38±0.49	10.92±0.47	10.16±0.65
	20—40	6.54±0.23	6.98±0.26	5.83±0.25	5.78±0.23
	40—60	5.12±0.26	5.54±0.64	4.15±0.21	4.24±0.37
	60—80	5.15±0.21	5.32±0.33	2.97±0.17	2.96±0.22
	80—100	2.22±0.28	2.17±0.27	1.82±0.18	1.72±0.27
	0—100	6.22±0.33a	6.28±0.34a	5.14±0.27a	4.97±0.29a

注:不同小写字母表示不同年份差异显著($p<0.05$)。

2.2 不同园林植物土壤有机碳储量

通过对表 2 的分析可见,植被的不同造成了土壤有机碳储量的差异,同一植被在不同年份也呈现出较大差异的碳储量差异,也就是说植被及时间差异均大幅制约着有机碳储量,但是其在土壤的纵深影响

下,形成了较为一致的碳储量变化态势,即在土层深度不断增加的情况下,其碳储量呈现不断的下降态势,且其储量在表层土壤达到最高水平,也就是说存在其主要集中于表层土壤之中。对于表层土壤而言,随着时间的推移,其碳储量上升态势更为突出,时间影响下,有机碳储量呈现更大的差异水平;但是对于深层土壤而言,其变化微乎其微。通过试验对比得知,从夹竹桃的角度来看,对于表层土壤向下 100 cm 深度的有机碳储量而言,其平均碳储量超过了 67.59 g/m²,但是低于 74.24 g/m²,随着时间的变化,其上升幅度更为明显,且受不同年份的制约,其差异通过了 0.05 的检验水平,也就是说差异具有显著性。但是从石楠的角度来讲,对于表层土壤向下 100 cm 深度的有机碳储量而言,其平均变化幅度较小,基本处于 73.13 g/m² 的水平,与其他植被相比相对较低,此外,随着时间的变化,其上升态势明显,但是 2016—2017 年之间的差异并未达到 0.05 的显著性水平,也就是说其差异相对较小,但是 2018 年与二者之间的差距达到了显著状态,通过了 0.05 的检验水平。对于广玉兰及大叶女贞而言,通过连续三年的观测研究发现,其碳储量的变化区间分别为 57.13~64.26,55.59~6.92 g/m²,随着时间的变化,其上升态势明显,且对于不同年份而言,其间的差异通过了 0.05 的检验水平,也就是说差异具有显著性。通过试验分析得知,这些园林植被的有机碳储量受到土层深度及时间的制约较为明显,整体而言,碳储量相对较高的是夹竹桃和石楠,而广玉兰和大叶女贞则相对较低。

从表 3 可知,受土层深度及时间的影响,土壤有机碳在有机碳储量中的占比在不同植被间存在较大的差异,但就整体走势而言,其均呈现先升后降的走势。从夹竹桃的角度来讲,通过连续三年的试验对比得知,其占比变化超过 31.83%,但是低于 70.16%,从而形成了不断上升的变化区间。对于石楠来说,其走势基本与夹竹桃类似,其占比变化显然已经超过了 30.95%,但是低于 73.28%,受时间的影响,其呈现不断上升趋势。对于广玉兰、大叶女贞而言,在土壤 100 cm 的纵深影响下,土壤有机碳在有机碳储量中的占比变化区间分别为 32.16%~57.82%,30.50%~56.46%,在时间的不断增加影响下,其占比处于不断下降的态势。

2.3 不同园林植物土壤活性有机碳组分

由表 4 可知,植被的差异会导致土壤不同类型的有机碳含量具有较大的差异,尤其是在易氧化有机碳 EOC、颗粒有机碳 POC 方面,此外,在轻组有机碳 LFOC、水溶性有机碳 WSOC 的含量也存在较大差

异。虽然有机碳类型不同,但是在土层深度不断增加的情况下,以上有机碳的变化走势较为相似,基本都表现为逐渐下降的态势,且其在表层土壤达到最高水平,也就是说存在其主要集中于表层土壤之中,从而形成明显的“表聚性”分布特点。对于表层土壤而言,随着时间的推移,不同类型的碳含量呈现上升态势更为突出,时间影响下,有机碳呈现更大的差异水平;对于同一土层而言,与夹竹桃和石楠相比而言,广玉兰和大叶女贞的有机碳组分较低。

表 2 不同园林植物土壤有机碳储量 SOCD

		g/m ²			
年份	土层深度/cm	夹竹桃	石楠	广玉兰	大叶女贞
2016	0—20	26.15±1.15	28.11±3.46	23.14±1.54	22.32±1.45
	20—40	18.16±1.24	19.45±2.88	16.24±0.65	15.21±0.56
	40—60	9.35±1.17	9.36±2.21	7.12±0.44	7.57±0.69
	60—80	7.68±1.57	7.69±1.38	6.26±0.15	6.12±0.33
	80—100	6.25±0.32	5.71±0.94	4.37±0.21	4.37±0.51
2017	0—100	67.59±1.65c	70.32±1.34b	57.13±1.26c	55.59±1.10c
	0—20	28.56±3.23	28.56±2.78	24.26±1.41	23.26±1.26
	20—40	19.67±2.15	19.23±1.14	16.32±0.45	15.24±0.13
	40—60	10.23±1.78	9.55±1.02	7.16±0.34	7.35±0.66
	60—80	7.45±0.93	7.18±0.83	6.78±0.33	6.83±0.24
2018	80—100	6.24±0.34	5.65±0.77	4.24±0.43	4.64±0.27
	0—100	72.15±1.14b	70.17±1.25b	58.76±1.09b	57.32±1.01b
	0—20	29.98±2.73	29.36±2.75	25.62±2.12	24.26±2.14
	20—40	20.34±2.57	20.13±1.75	17.86±1.05	16.53±0.85
	40—60	10.26±1.26	9.63±0.25	8.97±0.52	8.57±0.93
	60—80	7.34±1.86	7.26±0.75	6.15±0.67	6.92±0.58
	80—100	6.32±0.75	6.75±0.37	5.66±0.48	5.64±0.20
	0—100	74.24±1.78a	73.13±1.08a	64.26±1.13a	61.92±0.67a

表 3 不同园林植物土壤有机碳占有有机碳储量比例

		%			
年份	土层深度/cm	夹竹桃	石楠	广玉兰	大叶女贞
2016	0—20	43.75	38.35	44.25	41.40
	20—40	33.81	30.95	32.82	36.03
	40—60	50.91	44.12	53.23	40.82
	60—80	42.06	42.26	37.06	34.80
	80—100	46.40	36.95	26.77	35.47
2017	0—20	39.60	39.08	41.59	40.28
	20—40	31.83	32.55	35.05	34.38
	40—60	50.34	54.97	57.82	56.46
	60—80	57.05	71.59	42.92	35.87
	80—100	33.49	49.20	43.16	37.28
2018	0—20	40.19	38.76	42.62	41.88
	20—40	32.15	34.67	32.64	34.97
	40—60	49.90	57.53	46.27	49.47
	60—80	70.16	73.28	48.29	42.77
	80—100	35.13	32.15	32.16	30.50

对于土壤活性碳而言,不仅取决于土壤总有机

碳,而且受到微生物的制约效果较为明显,通过分析得知,与有机碳相关性更强的是 EOC 和 POC,二者通过了 0.01 的统计检验,说明总有机碳制约着 EOC 和 POC 含量高低。

表 4 不同园林植物土壤活性有机碳组分 mg/kg

活性有机碳组分	土层深度/cm	夹竹桃	石楠	广玉兰	大叶女贞
易氧化有机碳	0—20	3.89±0.16	3.92±0.16	3.34±0.19	3.89±0.24
	20—40	2.13±0.29	2.12±0.23	2.01±0.39	1.97±0.23
	40—60	1.14±0.15	1.16±0.18	1.11±0.12	1.05±0.19
	60—80	1.08±0.13	1.12±0.14	0.97±0.25	0.85±0.16
	80—100	0.78±0.13	0.85±0.12	0.68±0.12	0.71±0.18
颗粒有机碳	0—20	2.49±0.25	2.53±0.28	2.21±0.29	2.26±0.33
	20—40	1.81±0.32	1.92±0.35	1.73±0.31	1.71±0.39
	40—60	1.02±0.27	1.16±0.32	0.87±0.11	0.89±0.15
	60—80	0.56±0.07	0.58±0.06	0.42±0.08	0.41±0.06
	80—100	0.43±0.04	0.42±0.09	0.36±0.05	0.37±0.04
轻组有机碳	0—20	2.39±0.18	2.45±0.24	2.21±0.17	2.19±0.25
	20—40	2.14±0.34	2.16±0.21	2.02±0.38	2.03±0.26
	40—60	1.52±0.29	1.63±0.35	1.43±0.26	1.38±0.22
	60—80	1.01±0.17	1.15±0.16	0.94±0.08	0.92±0.11
	80—100	0.52±0.06	0.55±0.07	0.46±0.05	0.47±0.04
水溶性有机碳	0—20	16.98±0.69	17.13±0.34	15.13±0.87	15.87±1.02
	20—40	10.02±0.56	11.14±0.67	9.14±0.67	9.78±0.78
	40—60	6.74±0.34	7.45±0.89	6.13±0.56	6.25±0.66
	60—80	5.12±0.57	5.67±0.68	4.78±0.51	4.97±0.54
	80—100	3.14±0.57	3.36±0.49	3.09±0.28	3.11±0.23
土壤微生物量碳	0—20	451.33±41.95	465.32±43.14	434.25±43.92	436.34±41.16
	20—40	408.97±40.12	411.45±41.09	403.91±46.17	405.95±40.25
	40—60	324.51±32.56	336.24±35.48	316.53±31.57	319.56±32.53
	60—80	210.59±38.19	225.28±34.16	206.46±33.54	209.51±38.98
	80—100	178.23±25.12	181.17±22.47	165.21±25.56	168.24±25.57

2.4 不同园林植物土壤活性碳与总有机碳的比例关系

由表 5 可知,不同园林植物土壤 EOC/SOC 比例为 4.67%~5.98%,变异系数范围在 13.31%~22.25%,说明植被类型对土壤 EOC/SOC 有显著影响,而石楠和广玉兰土壤有机碳比较稳定。土壤微生物量碳占有机碳的百分比称为微生物商。微生物商的变化反映了土壤中输入的有机质向微生物量碳的转化效率、土壤中碳损失和土壤矿物对有机质的固定。不同园林植物土壤 MBC/SOC 比例 1.12%~1.82%,基本表现为石楠高于夹竹桃、广玉兰和大叶女贞。

2.5 土层深度和林型对土壤有机碳和活性有机碳的影响

由表 6 可知,土层深度和林型对土壤有机碳和活性有机碳具有显著的影响($p<0.05$),年份对土壤有机碳和活性有机碳没有显著影响($p>0.05$),其中林型×土层深度对土壤有机碳和活性有机碳具有显著的影响($p<0.05$);而林型×年份和土层深度×年份对土壤

有机碳和活性有机碳没有显著影响($p>0.05$)。

表 5 不同园林植物土壤 EOC/SOC 和 MBC/SOC 比例 %

年份	项目	EOC/SOC			SMBC/SOC		
		Mean	SD	CV	Mean	SD	CV
2016	夹竹桃	5.34	0.24	21.14	1.45	0.18	20.23
	石楠	5.78	0.17	16.56	1.67	0.16	17.28
	广玉兰	4.77	0.23	18.13	1.13	0.21	16.86
	大叶女贞	4.56	0.21	15.57	1.12	0.20	19.25
	夹竹桃	5.45	0.21	22.25	1.49	0.15	12.72
2017	石楠	5.98	0.15	13.31	1.71	0.19	15.14
	广玉兰	4.81	0.17	15.37	1.14	0.24	16.45
	大叶女贞	4.67	0.20	16.17	1.13	0.21	13.90
2018	夹竹桃	5.78	0.23	21.36	1.53	0.19	12.12
	石楠	5.90	0.19	16.33	1.82	0.11	13.18
	广玉兰	4.85	0.19	18.18	1.15	0.17	15.32
	大叶女贞	4.72	0.20	15.26	1.13	0.12	13.78

表 6 土层深度、林型和生长年份对土壤有机碳和活性有机碳的影响

项目	参数	林型	土层深度	年份	林型×土层深度	林型×年份	土层深度×年份
土壤有机碳	df	4	5	3	20	12	15
	<i>F</i>	56.78	78.98	14.45	87.96	12.16	16.17
	<i>p</i>	<0.05	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05	>0.05
有机碳储量	df	4	5	3	20	12	15
	<i>F</i>	54.26	92.45	14.36	71.34	11.76	16.12
	<i>p</i>	<0.05	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05	>0.05
易氧化有机碳	df	4	5	3	20	12	15
	<i>F</i>	78.92	108.78	11.09	87.46	11.56	13.10
	<i>p</i>	<0.01	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05	>0.05
颗粒有机碳	df	4	5	3	20	12	15
	<i>F</i>	69.12	99.23	19.15	82.33	12.08	12.03
	<i>p</i>	<0.05	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05	>0.05
轻组有机碳	df	4	5	3	20	12	15
	<i>F</i>	54.67	109.35	21.41	90.12	15.78	11.33
	<i>p</i>	<0.05	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05	>0.05
水溶性有机碳	df	4	5	3	20	12	15
	<i>F</i>	58.12	101.23	19.14	86.33	14.57	15.09
	<i>p</i>	<0.05	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05	>0.05
土壤微生物量碳	df	4	5	3	20	12	15
	<i>F</i>	53.21	99.13	11.24	89.01	14.25	13.89
	<i>p</i>	<0.05	<0.01	>0.05	<0.01	>0.05	>0.05

3 讨论

通过大量研究得知,土壤肥力受到其碳库的制约^[20-21]。通过本研究得知,对于深度 40 cm 以内的浅层土壤而言,与深层土壤相比来说呈现出更高的有机碳质量分数,究其原因主要在于两个方面^[16-17]:一是浅层土壤能够获取更为充足的有机质,尤其是腐殖质分解等来源;二是受退耕影响下土壤具有较强的团聚体,有机碳降解水平较低^[18]。对于深层土壤而言,由于退耕的时间并不长,加之其他多种因素影响,其碳含量变化较小。

对于有机碳而言,腐殖质分解等能够形成较为充足的有机物质,加之根系分泌物,这些都有利于碳含量的积累^[3-6],无论是植被利用方式,还是对土地的开垦程度及利用途径,这些都能够对有机碳数量及质量形成明显的制约^[5-8]。通过大量的研究得知,土壤特性、水分及植被等都能够对有机碳形成明显影响,其敏感性较强,不同的碳组分,其来源也不尽相同,其对环境因子的响应也存在较大差异,即使是同一植被,其有机碳的变化特点也会有所差异^[20-21]。植被差异会导致土壤不同类型的有机碳含量具有较大的差异,尤其是在易氧化有机碳 EOC、颗粒有机碳 POC 方面,此外,在轻组有机碳 LFOC、水溶性有机碳

WSOC 的含量也存在较大差异;虽然有机碳类型不同,但是在土层深度不断增加的情况下,以上有机碳的变化走势较为相似,基本都表现为逐渐下降的态势,且其在表层土壤达到最高水平,这种“表聚性”特点较为明显,对于同一土层而言,与夹竹桃和石楠相比而言,广玉兰和大叶女贞的有机碳组分较低。根据学者 Leifeld 的研究^[22],LOC 与 TOC 的比值越大,说明其可分解性越强,即具有更高水平的质量,通过研究发现,虽然植被不同,但是对该指标影响较小。

长期的结果表明,土层深度及植被类型能够显著制约有机碳含量,即通过了 0.05 的显著性检验,尤其是二者的交互作用影响。而无论是林型和年份的交互作用,还是土层深度和年份的交互作用,均与有机碳关系较小,即未通过 0.05 的显著性检验。此外,微生物分布、水分、温度等方面对有机碳产生多种影响,这种交互作用还有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 俞有志,王清奎,于小军,等.施氮磷肥对杉木人工林土壤活性有机碳的影响[J].生态学杂志,2018,37(10): 3053-3060.

[2] 李淑芬,俞元春,何晟.南方森林土壤溶解有机碳与土壤因

- 子的关系[J].浙江农林大学学报,2017,20(2):119-123.
- [3] 杨满元,杨宁.紫色土丘陵坡地不同植被类型土壤活性有机碳组分的比较[J].草地学报,2018,26(2):380-385.
- [4] 张英英,蔡立群,武均,等.不同耕作措施下陇中黄土高原旱作农田土壤活性有机碳组分及其与酶活性间的关系[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):1-7.
- [5] 辜翔,张仕吉,项文化,等.中亚热带 4 种森林类型土壤活性有机碳的季节动态特征[J].植物生态学报,2016,40(10):1064-1076.
- [6] 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分含量,酶活性及产量的短期[J].植物与营养肥料学报,2015,21(2):371-377.
- [7] 周伟,吴红慧,张运龙,等.土壤活性有机碳测定方法的改良[J].土壤通报,2019,50(1):70-75.
- [8] 肖烨,黄志刚,武海涛,等.三江平原不同湿地类型土壤活性有机碳组分及含量差异[J].生态学报,2015,35(23):7625-7633.
- [9] 田慎重,郭洪海,董晓霞,等.耕作方式转变和秸秆还田对土壤活性有机碳的影响[J].农业工程学报,2016,32(2):39-45.
- [10] 刘春增,常单娜,李本银,等.种植翻压紫云英配施化肥对稻田土壤活性有机碳氮的影响[J].土壤学报,2017,54(3):657-669.
- [11] 姜培坤,徐秋芳,杨芳,雷竹土壤水溶性有机碳及其与重金属的关系[J].浙江农林大学学报,2017,20(1):8-11.
- [12] 陈孝杨,周育智,严家平,等.覆土厚度对煤矿石充填重构土壤活性有机碳分布的影响[J].煤炭学报,2016,41(5):1236-1243.
- [13] 王月玲,耿增超,尚杰,等.施用生物炭后壤土土壤有机碳,氮及碳库管理指数的变化[J].农业环境科学学报,2016,35(3):532-539.
- [14] 陈璟,杨宁.衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复对土壤活性有机碳库的影响[J].热带亚热带植物学报,2016,24(5):568-576.
- [15] 方晰,田大伦,项文化,等.杉木人工林土壤有机碳的垂直分布特征[J].浙江农林大学学报,2017,21(4):418-423.
- [16] 张雨洁,王斌,李正才,等.天然次生林改造成香榧林对土壤活性有机碳的影响[J].生态环境学报,2019,28(4):709-714.
- [17] 李正才,傅懋毅,杨校生.经营干扰对森林土壤有机碳的影响研究概述[J].浙江农林大学学报,2017,22(4):469-474.
- [18] 董扬红,曾全超,安韶山,等.黄土高原不同林型植被对土壤活性有机碳及腐殖质的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):143-148.
- [19] 蒲玉琳,叶春,张世熔,等.若尔盖沙化草地不同生态恢复模式土壤活性有机碳及碳库管理指数变化[J].生态学报,2017,37(2):367-377.
- [20] 王明友,井大炜,张红,等.蚯蚓粪对豇豆土壤活性有机碳及微生物活性的影响[J].核农学报,2016,30(7):1404-1410.
- [21] 井大炜,邢尚军,刘方春,等.配施味精废浆促进杨树生长提高土壤活性有机碳及碳库管理指数[J].农业工程学报,2016,32(1):124-131.

(上接第 37 页)

- [25] 王博,段玉玺,王伟峰,等.库布齐东段不同植被恢复阶段荒漠生态系统碳氮储量及分配格局[J].生态学报,2019,39(7):2470-2480.
- [26] 杨丽韞,罗天祥,吴松涛.长白山原始阔叶红松林不同演替阶段地下生物量与碳、氮贮量的比较[J].应用生态学报,2005,16(7):1195-1199.
- [27] 付为国,李萍萍,卞新民,等.镇江内江河漫滩草地植物群落演替过程中优势种间的竞争特性[J].中国草地学报,2006,28(6):24-28.
- [28] McSenney D W, Pedlar J H, Lawrence K, et al. Potential impacts of climate change on the distribution of North American trees[J]. Bioscience, 2007, 57(11): 939-948.
- [29] 霍常富,程根伟,鲁旭阳,等.气候变化对贡嘎山森林原生演替影响的模拟研究[J].北京林业大学学报,2010,32(1):1-6.
- [30] Lenoir J, Gegout J C, Marquetp A, et al. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century[J]. Science, 2008,320(5884):1768-1771.