

# 长白山区次生林土壤有机碳空间分布特征

姜泽宇, 傅民杰, 吴凤日, 朱国君, 李海粟

(延边大学 农学院, 吉林 延吉 133000)

**摘要:**为了解长白山区次生林土壤有机碳空间分布特征,采用样线法对长白山区次生林土壤有机碳及其组分在土壤剖面层次、坡位和坡向的空间分布状况进行了调查。结果表明:除“东-西样线”中的东坡中层 A1-2 外,长白山区次生林土壤总有机碳均表现出随土壤剖面深度的增加而降低趋势。0~5 cm 腐殖质层土壤总有机碳含量均显著高于淀积层土壤。长白山区次生林腐殖质层土壤总有机碳含量在山地不同高度的分布受坡向影响,“东-西样线”土壤有机碳含量有随着海拔上升呈递增的趋势,“东-南样线”获得的结果与“东-西样线”的并不一致。次生林中不同山体有机碳密度之间存在明显的差异,且有机密度垂直空间的分布也因山体不同而异。综合 2 条样线各坡位有机碳密度来看,长白山东南部地区次生林土壤有机碳密度介于  $(0.6 \pm 0.1) \times 10^5 \sim (1.6 \pm 0.2) \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ 。

**关键词:**森林土壤;有机碳;有机碳密度

**中图分类号:**S 154.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)05-0181-06

陆地生态系统中的土壤有机碳是最大且周转时间最慢的碳库。据报道,土壤有机碳库总量是植被碳库的 2.5~3.0 倍,大约是大气碳库的 3 倍<sup>[1]</sup>。因此土壤有机碳的积累与分解过程在全球碳循环中占据着关键性地位。土壤中的有机碳对于维持陆地生态系统生产力具有重要的作用,是土壤健康和评价的重要指标<sup>[2]</sup>。因土壤碳显著高于大气碳,因此土壤中有有机碳的分解将在很大程度上影响到大气 CO<sub>2</sub> 浓度,进而对全球气温变化产生直接影响<sup>[3-4]</sup>。可以说,森林土壤有机碳在扮演森林生态系统重要组分的同时,在全球碳的循环中也扮演着重要的汇、源和库的作用<sup>[5-7]</sup>。如果将森林土壤生态系统中根系的碳储量计算在内,森林土壤有机碳库储量将占全球土壤碳库的 50% 左右,其库容的微小变化,都会对大气 CO<sub>2</sub> 浓度及全球气候产生巨大的影响<sup>[5]</sup>,这也导致对森林土壤有机碳储量及空间分布研究成为全球碳循环研究的热点<sup>[8-12]</sup>。长白山是中国东北地区温带森林生态系统的典型样带区,该区分布着针叶林(红松林、落叶松林)和落叶阔叶林(白桦、胡桃秋、黄菠萝、水曲柳、蒙古栎、山杨等)多种温带典型树种群落,是研究温带森林生态系统的碳循环与功能的重要区域。然而因

其植被类型、林龄以及林地立地条件的多样性特点,不同研究者获得的数据相差较大,不利于精确评估该区森林土壤有机碳贮量与功能。因此,该研究以长白山东部山区的天然次生林土壤为对象,研究不同林型、坡位及剖面深度的有机碳含量的空间分布特征,为温带森林生态系统碳贮量及碳循环研究提供数据基础与理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验选取长白山地区采伐后经人工和天然更新的次生林(人工落叶松林、红松阔叶混交林和阔叶林)中的土壤作为研究对象。采样区位于长白山北脉的吉林省和龙市境内(东经 128°22', 北纬 41°59')。该区属于温带大陆性季风气候。年平均温度 5.6℃,年平均降水 573.6 mm,无霜期 136~139 d。采样区林相中乔木树种主要包括山杨(*Populus davidiana*)、黄菠萝(*Phellodendron amurense*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)等。下木主要包括暴马丁香(*Syringa amurensis*)、毛接骨木(*Sambucus buergeriana*)、早花忍冬(*Lonicera prae-florens*)、榛子(*Corylus heterophylla*)等灌木。

### 1.2 试验方法

为研究坡向对土壤有机碳分布的影响,共设置 2 个采样区,其中第一个采样区山体包括东坡和西坡 2 种坡向,简称“东-西样线”,东坡的坡下部为人工落叶松林,西坡的坡中部和坡上部为天然更新的红松阔叶混交林,其它坡位立地林型为阔叶林;第二个采样区山体包括东坡和南坡 2 个坡位,简称“东-南样线”,除东坡的坡下部为红松阔叶混交林外,其它所有坡位林型均为阔叶林。所有采样区林龄介于 30~40 年。

**第一作者简介:**姜泽宇(1990-),男,硕士研究生,研究方向为土壤物质营养与循环。E-mail:413339784@qq.com.

**责任作者:**傅民杰(1972-),男,博士,副教授,现主要从事土壤物质营养与循环等研究工作。E-mail:fuminjie@163.com.

**基金项目:**吉林省科技厅重点攻关资助项目(20140204045SF);“十二五”农村领域国家科技计划课题资助项目(2011BAD37B01);国家自然科学基金资助项目(31160103)。

**收稿日期:**2015-11-26

2013年秋季确定具代表性的采样山体(样地)后,以样线方式对样地土壤进行了采集,即以山体一侧的坡下部、坡中部、坡上部和另一侧的坡上部、坡中部、坡下部6个坡位为一样线,样线中包含坡向和坡位2个影响因素。每坡位内设3个采样剖面。剖面间相距约20~30 m。每个采样剖面规格为长宽各为1 m,直至母质层。剖面

层次划分采用国标法。在腐殖质层A1层,人为划分出A1-1(0~5 cm)和A1-2(5 cm以下)2个层次,用于详细分析表层土壤有机碳和碳密度的空间构成。剖面各层次取样土壤经室内风干后,研磨过筛后测试有机碳含量。剖面的具体地理信息及分层情况见表1。

表1 取样区土壤剖面概况

Table 1 The soil profile properties and general situation of sampling area							
样线 Sample line	坡向 Aspect	坡位 Slope position	坡度 Slope/°	海拔 Altitude/m	经度和纬度 Latitude and longitude	剖面层次 Soil profile	厚度 Soil thickness/cm
东-西样线 East-south line	东坡 East slope	坡下部	5~10	736±7.0	127°10′ E 43°50′ N	表土层(A1-1)	5.0±0.0
						表土层(A1-2)	15.7±2.1
						心土层(B)	24.7±2.1
						母质层(C)	—
		坡中部	25~40	811±6.0	127°10′ E 43°50′ N	表土层(A1-1)	5.0±0.0
						表土层(A1-2)	11.0±2.0
						心土层(B)	12.0±2.0
						母质层(C)	—
		坡上部	20~55	872±8.0	127°10′ E 43°50′ N	表土层(A1-1)	5.0±0.0
						表土层(A1-2)	12.0±0.0
						心土层(B)	18.3±5.9
						母质层(C)	—
	西坡 West slope	坡下部	30~40	874±8.0	128°58′ E 42°21′ N	表土层(A1-1)	5.0±0.0
						表土层(A1-2)	7.7±3.1
						心土层(B)	19.3±1.5
						母质层(C)	—
		坡中部	35~40	890±10.0	128°58′ E 42°21′ N	表土层(A1-1)	5.0±0.0
						表土层(A1-2)	13.0±6.1
						心土层(B)	27.3±8.5
						母质层(C)	9.0±2.7
		坡上部	45~50	912±7.0	128°58′ E 42°21′ N	表土层(A1-1)	5.0±0.0
						表土层(A1-2)	10.7±9.0
						心土层(B)	26.5±7.5
						母质层(C)	—
南坡 South slope	坡下部	25~40	663±9.0	128°55′ E 42°29′ N	表土层(A1-1)	5.0±0.0	
					表土层(A1-2)	15.7±2.1	
					心土层(B)	24.7±2.1	
					母质层(C)	—	
	坡中部	40~50	709±6.0	128°55′ E 42°29′ N	表土层(A1-1)	5.0±0.0	
					表土层(A1-2)	11.0±2.0	
					心土层(B)	9.0±2.0	
					过渡层(BC)	9.0±2.7	
	坡上部	45~50	762±7.0	128°55′ E 42°29′ N	母质层(C)	—	
					表土层(A1-1)	5.0±0.0	
					表土层(A1-2)	12.0±0.0	
					心土层(B)	18.3±5.9	
东-南样线 East-south line	坡下部	15~25	585±6.0	128°55′ E 42°29′ N	母质层(C)	—	
					表土层(A1-1)	5.0±0.0	
					表土层(A1-2)	7.7±3.1	
					心土层(B)	19.3±1.5	
	坡中部	20~50	653±7.0	128°55′ E 42°29′ N	母质层(C)	—	
					表土层(A1-1)	5.0±0.0	
					表土层(A1-2)	13.0±6.1	
					心土层(B)	6.3±2.3	
	坡上部	10~40	723±9.0	128°55′ E 42°29′ N	过渡层(BC)	9.0±2.7	
					母质层(C)	—	
					表土层(A1-1)	5.0±0.0	
					表土层(A1-2)	10.7±9.0	
						心土层(B)	26.5±7.5
						母质层(C)	—

### 1.3 项目测定

土壤有机碳含量测定采用重铬酸钾容量法(LY-T 1237-1999),土壤容重测定采用环刀法。土壤样品测定以风干土基计算有机碳含量。

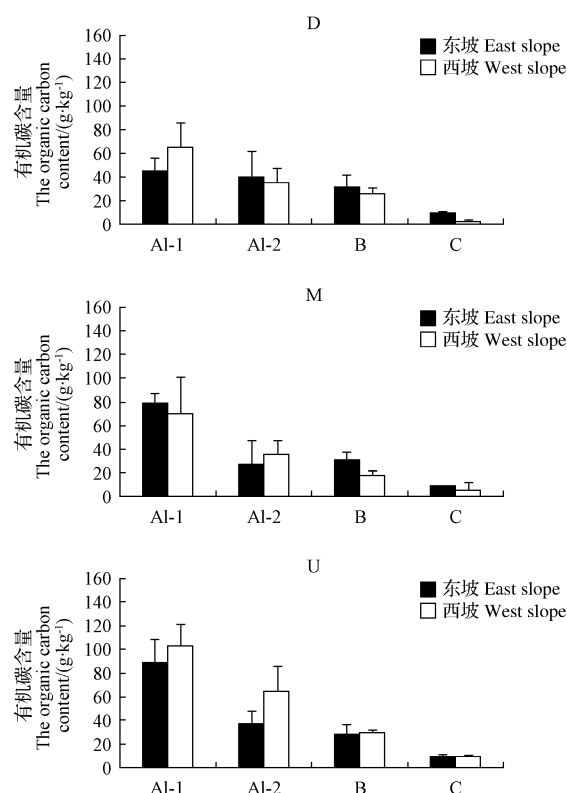
### 1.4 数据分析

数据统计采用 SPSS 14.0 数据统计包。不同坡位相同层次间和同一剖面不同层次间土壤有机碳、有机碳密度的差异显著性比较均采用单因素方差分析法,数据间多重比较采用 Duncan 法。同层次坡向间土壤有机碳、颗粒有机碳组分的差异显著性采用 t-test 法。图形绘制采用 Excel 2003。

## 2 结果与分析

### 2.1 东、西坡向各坡位土壤有机碳的分布

由图 1 可知,“东-西样线”取样的土壤有机碳含量在剖面中的垂直分布基本相似,除东坡中层 A1-2 外,均表现出随着坡面土层的加深而逐渐降低的趋势。除东坡坡下部的落叶林土壤外,所有的坡面表层土壤(A1 层)有机碳的含量均显著高于下层的淀积层(B)和母质层(C)( $P < 0.05$ )。除东坡坡下部的落叶林土壤外,其它所



注:U,M 和 D 分别代表坡上部,坡中部和坡下部。下同。

Note: The U, M and D represent the upper, middle and downside of slope in the figures, respectively. The same below.

图 1 不同坡向土壤剖面有机碳的分布

Fig. 1 The distribution of organic carbon in soil profiles on the different slopes

有坡位的 A1-1 层有机碳含量均显著高于 A1-2 层( $P < 0.05$ )。造成这种现象的主要原因与东坡下部曾被人为开垦成农田,后退耕还林有关。东坡的表层土壤(A1-1)与母质层(C)土壤有机碳含量比介于(4.9~9.5):1,而西坡为(11.1~32.7):1,表明西坡土壤有机碳在剖面中层次中更多地富集于土壤表层,而东坡各坡位母质层中存在较多的有机碳(图 1)。土壤有机碳含量在各坡位的分布因坡向而异,东坡的各个坡位表层(A1-1)土壤有机碳含量由高到低依次为坡上部((88.6±19.7)g/kg)>坡中部((79.0±7.7)g/kg)>坡下部((45.4±10.1)g/kg);而淀积层(B)有机碳含量与表层不同,表现为下坡位((31.2±10.2)g/kg)>中坡为((30.7±6.9)g/kg)>上坡位((27.9±8.4)g/kg)。上、下层有机碳含量的坡位分布呈相反趋势。西坡表层土壤有机碳含量分布表现为坡上部((103.4±18.2)g/kg)>坡中部((70.3±30.6)g/kg)>坡下部((65.3±20.5)g/kg),其淀积层有机碳分布表现与表土层一致。东、西 2 种坡向的相同坡位间(坡下部、坡中部和坡上部)的有机碳含量均未表现出显著性差异( $P > 0.05$ ),表明东、西 2 种坡向对土壤有机碳的水分空间分布未产生显著影响作用。

### 2.2 东坡与南坡向各坡位土壤有机碳的分布

由图 2 可知,“东-南样线”的各采样剖面中,土壤有机碳在剖面中的垂直空间分布特征与“东-西样线”的各剖面规律一致,同样呈现随剖面层次加深而递减的趋势。各剖面的表层土壤(A1-1 层)有机碳含量多显著高于淀积层(B)和母质层(C)。南坡坡下部和坡中部 A1-1 有机碳的含量(坡下部(46.3±12.5)g/kg)、坡中部((39.2±7.6)g/kg)均约为 B 层含量的 5 倍,而坡上部有机碳在剖面的过渡梯度明显下降,表层土壤有机碳含量((52.8±36.1)g/kg)约是 B 层含量的 3.4 倍。东坡坡下部、坡中部及坡上部表土(A1-1)有机碳含量分别为(54.8±12.5)、(56.9±19.8)、(44.9±22.3)g/kg,分别是其淀积层(B)含量的 8.6、3.4、4.1 倍,表现出坡下部有机碳分层明显,而中上部有机碳剖面过渡弱化现象(图 2)。南坡表土层(A1-1)与母质层(C)有机碳含量之比为(23.2~43.0):1,东坡表层土(A1-1)与母质层(C)有机碳含量之比为(22.6~33.8):1。

土壤有机碳在各坡位的分布因坡向而异,南坡各个坡位的表层土有机碳分布表现为坡上部((52.8±36.1)g/kg)>坡下部((46.3±12.5)g/kg)>坡中部((39.2±7.6)g/kg),淀积层土壤有机碳分布规律与表土层完全一致。东坡各个坡位的表土层有机碳分布趋势为坡中部((56.9±19.8)g/kg)>坡下部((54.8±12.5)g/kg)>坡上部((44.9±22.3)g/kg),但三者间未达差异显著水平。东、南 2 个坡向的相同坡位间有机碳的含量均未表现出显著性差异( $P > 0.05$ )。

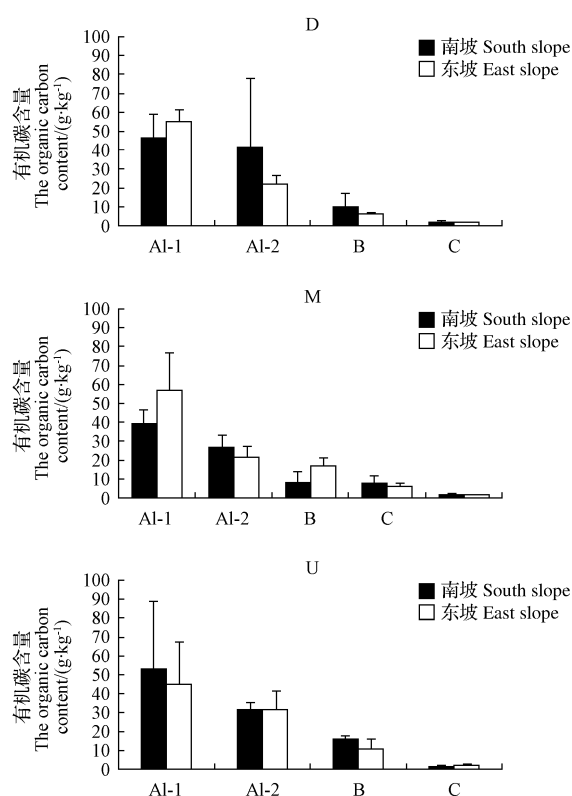


图2 不同坡向土壤剖面有机碳的分布

Fig. 2 The distribution of organic carbon in soil profiles on the different slopes

### 2.3 不同样线有机碳密度分布

由表2可知,在“东-西样线”取样区,东坡和西坡有机碳密度均表现出坡下部和坡上部较高,而坡中部下降的趋势,但由于山地有机碳水平分布的异质性,3个坡位的有机碳密度间未达到显著性差异( $P>0.05$ )。而“东-南样线”区,有机碳密度则表现出随海拔的升高而逐渐升高的态势,但所有坡向3个坡位的有机碳密度也未达到显著性差异( $P>0.05$ )。每条样线区不同坡向的相同

表2 各样线不同坡向和坡位母质层上部土壤的有机碳密度

Table 2 The soil organic carbon density in the aspect and slope position in different sampling lines

样线类型 Sampling line	坡向 Aspect	有机碳密度 Organic carbon density/( $\times 10^5$ kg $\cdot$ hm $^{-2}$ )		
		坡下部 Lower slope	坡中部 Middle slope	坡上部 Upper slope
东-西样线	东坡 East slope	1.4 $\pm$ 0.4*	0.8 $\pm$ 0.1*	1.2 $\pm$ 0.3*
East-west line	西坡 West slope	1.2 $\pm$ 4.9	0.8 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.2
东-南样线	东坡 East slope	0.6 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.0	0.6 $\pm$ 0.1
East-south line	南坡 South slope	0.6 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.4

注: \*表示“东-西样线”与“东-南样线”中的东坡向相同坡位有机碳密度差异显著( $P<0.05$ )。

Note: \* represents the significant difference of the organic carbon density in the same position of the east aspect between the East-west sampling line and East-south sampling line ( $P<0.05$ ).

坡位间有机碳密度也未达显著性差异。但“东-西样线”的东坡向各坡位有机碳密度均显著高于“东-南样线”的相应坡位( $P<0.05$ )。由此表明,不同山体有机碳密度之间存在明显的差异,且有机密度垂直空间的分布也因山体不同而异。综合2条样线各坡位有机碳密度来看,长白山东南部地区次生林土壤有机碳密度为 $(0.6\pm0.1)\times 10^5\sim(1.6\pm0.2)\times 10^5$  kg/hm $^2$ 。

### 3 讨论与结论

土壤有机碳作为土壤肥力及环境质量的重要特征,一直以来都是土壤学和全球生态学研究热点<sup>[13-14]</sup>。土壤有机碳的固持与分解过程受气候、植物及人类生产生活等诸多因素影响。其中,生物过程包括森林的树龄组成、森林演替动态、森林的林分构成等因素对土壤有机碳生成、分布与循环方面影响最为直观<sup>[15-16]</sup>。森林的环境要素如温度、降水、大气中的CO $_2$ 浓度等也对土壤的有机碳的空间分布有着明显影响。温度的主要作用于植物的生长从而影响植物的凋落物的输入和分解速率,降水则是在影响植物生长的同时影响着土壤微生物活性,二者综合作用决定了森林土壤的有机碳储量<sup>[17]</sup>。此外,不同地势与地貌包括坡度和海拔高度等决定了区域的小气候,由此也导致土壤中有有机碳的矿化、积累过程不同<sup>[18]</sup>。研究表明,山地土壤有机碳含量有随着海拔上升呈递增的趋势<sup>[19-20]</sup>。该试验中,2条样线获得的结果存在较大区别,其中“东-西样线”有机碳含量在海拔高度方向上的分布与前人研究结论相符,但“东-南样线”获得的结果与前人结论并不一致(图2)。该试验选取的海拔梯度相对较小,2个样线的坡下部与坡上部相对高差均小于150 m,较小的高度差对不同坡位的年均温度、降水等影响均较小,植被类型分化弱,有机碳积累与分解环境相近,进而导致有机碳海拔高度的空间差异小。另外,山体坡度较陡且地势不平坦也导致山体的不同坡位有机碳未表现出明显的规律性(表1、图2)。

该试验调查的所有剖面的有机碳含量垂直分布均呈现随剖面加深而递减的趋势(图1、2)。这与课题组在东北其它林型研究结果一致<sup>[21]</sup>。土壤有机碳主要来源于地表植被的枯枝落叶和植物死亡的根系,地表是土壤有机碳的最初输入界面,随土壤加深,有机碳的输入受阻。同时,土壤环境条件(温度、水分和养分)和微生物活性随土层加深也逐渐下降。A1层有机碳含量(39.2~103.4 g/kg),明显高于南方森林土壤(18.5~34.4 g/kg),与东北地区硬阔叶林土壤有机碳含量(63.8~113.5 g/kg)相近<sup>[22]</sup>。该试验中,坡向对土壤有机碳空间分布未见明显影响(图1、2),这与该试验样线中所有的坡向均为阳坡有关,东、西、南3个方向的坡向在温度、降水、光照等气候因素方面未有明显差异,进而导致植物群落和土壤微生物区系相似、土壤有机积累和矿化速度相近、相似,



造成有机碳在坡向为主的水平空间的差异性降低。

王绍强等<sup>[23]</sup>利用 CEVSA 模型估算落叶阔叶林地碳密度为  $2.7 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ , 落叶阔叶林地为  $1.8 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ ; 解宪丽等<sup>[24]</sup>研究表明, 中国森林土壤 100 cm 厚度平均碳密度为  $1.2 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ ; 曹晓阳等<sup>[25]</sup>研究得出山西吕梁地区落叶松林为  $1.7 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ , 油松林最小为  $0.7 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ ; ZHU 等<sup>[26]</sup>发现长白山海拔 700 m 以上森林土壤碳密度介于  $0.4 \times 10^5 \sim 1.1 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ 。该试验测定的土壤有机碳密度相对偏低 ( $0.6 \times 10^5 \sim 1.6 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ ), 这与该调查山地 30~40 年龄的次生混交林和土壤层次浅有关(表 1), 该次碳密度计算以母质层上层土壤为对象, 土层厚度仅有 30~50 cm, 明显低于上述研究者调查的土壤厚度。

除“东-西样线”中的东坡中层 A1-2 外, “东-西样线”与“东-南样线”次生林存在明显的剖面垂直分布特征, 均随土壤剖面深度的增加而降低。腐殖质层土壤总有机碳含量均显著高于淀积层土壤。次生林腐殖质层土壤总有机碳含量在山体不同高度的分布受坡向影响, “东-西样线”土壤有机碳含量有随着海拔上升呈递增的趋势, “东-南样线”获得的结果与“东-西样线”的并不一致。次生林中不同山体有机碳密度之间存在明显的差异, 且有机密度垂直空间的分布也因山体不同而异。综合 2 条样线各坡位有机碳密度来看, 长白山东南部地区次生林土壤有机碳密度介于  $(0.6 \pm 0.1) \times 10^5 \sim (1.6 \pm 0.2) \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$ 。

### 参考文献

- [1] POST W M, KWON K C. Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential[J]. *Global Change Biology*, 2000, 6(3): 317-327.
- [2] TING G, NOAVK J M, AMARASIRIWARDENA D, et al. Soil organic matter characteristic as affected by tillage management[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66: 42-429.
- [3] FLACH K W, BARNWELL J R, CROSSON P. Impacts of agriculture on atmospheric carbon dioxide[M]//PAUL E A, PAUSTIAN K, ELLIOTT E T. *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997: 3-13.
- [4] SCHLESINGER W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils[J]. *Nature*, 1990, 348: 232-234.
- [5] 杨万勤, 张健, 胡庭兴. 森林土壤生态学[M]. 成都: 四川科技出版社, 2006: 1-2.
- [6] YU G R. Global change, carbon cycle and storage in terrestrial ecosystem[M]. Beijing: Meteorology Press, 2003: 1-460.
- [7] LAL R. Forest soils and carbon sequestration[J]. *For Ecol Manage*, 2005, 220: 242-258.

2005, 220: 242-258.

- [8] LAL R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. *Science*, 2004, 304: 1623-1627.
- [9] PAN G X, ZHOU P, LI L Q, et al. Core issues and research progresses of soil science of C sequestration[J]. *Acta Pedo Sin*, 2007, 44(2): 327-337.
- [10] WANG S Q, ZHOU C H. Estimating soil carbon reservoir of terrestrial ecosystem in China[J]. *Geogr Res*, 1999, 18(4): 349-356.
- [11] MEERSMANS J, RIDDER F D, CANTERS F, et al. A multiple regression approach to assess the spatial distribution of soil organic carbon (SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium)[J]. *Geoderma*, 2008, 143(1-2): 1-13.
- [12] BROWN S, HALL M, ANDRASKO K, et al. Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2007, 12(6): 1001-1026.
- [13] de PAUL OBADE V, LAI R. Assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems (GIS)[J]. *Catena*, 2013, 104: 77-92.
- [14] HERNANZ J L, LOPEZ R, NAVARRET L, et al. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain[J]. *Soil and Tillage Research*, 2002, 66(2): 129-141.
- [15] 陈光水, 杨玉盛, 刘乐中, 等. 森林地下碳分配(TBCA)研究进展[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2007(1): 34-43.
- [16] 郭建明, 郑博福, 胡理乐, 等. 井冈山两种典型森林土壤有机碳密度及其影响因素的比较[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(12): 1836-1840.
- [17] 周晓宇, 张称意, 郭广芬, 等. 气候变化对森林土壤有机碳贮藏影响的研究进展[J]. *应用生态学*, 2010, 21(7): 1867-1874.
- [18] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子[J]. *土壤学报*, 2004, 41(5): 687-699.
- [19] 杜有新, 吴从建, 周赛霞, 等. 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): 1675-1681.
- [20] 黄从德, 张健, 杨万勤, 等. 四川森林土壤有机碳储量的空间分布特征[J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1217-1224.
- [21] XU X, CHEN Y Q, WANG J S, et al. Variations of soil labile organic carbon along an altitude gradient in Wuyi Mountain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 539-544.
- [22] 傅民杰, 王传宽, 王颖, 等. 四种温带森林土壤氮矿化与硝化时空格局[J]. *生态学报*, 2009, 29(7): 3747-3757.
- [23] 王绍强, 周成虎, 李克让. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析[J]. *地理学报*, 2000, 55(5): 533-544.
- [24] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子[J]. *土壤学报*, 2004, 41(5): 687-699.
- [25] 曹晓阳, 王百田, 迟璐, 等. 山西吕梁地区三种林分土壤养分与碳密度关系研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(1): 86-90.
- [26] ZHU B, WANG X P, FANG J Y, et al. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China[J]. *Journal of Plant Research*, 2010, 123(4): 439-452.

## Changbai Mountain District Forest Spatial Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon

JIANG Zeyu, FU Minjie, WU Fengri, ZHU Guojun, LI Haisu  
(College of Agricultural, Yanbian University, Yanji, Jilin 133000)

# 几种有机物料与市售草炭基质理化性状比较分析

周 静, 史向远, 王保平, 王秀红, 李欣欣

(山西省农业科学院 现代农业研究中心, 山西 太原 030031)

**摘 要:**以白灵菇渣、杏鲍菇渣、木耳渣、沼渣等有机物料为试材,通过模糊相似优先比方法,研究了不同物料理化性状、植物毒性与市售草炭育苗基质的差别。结果表明:各物料容重、总孔隙度均在适宜范围之内,白灵菇渣、杏鲍菇渣、木耳渣水气比显著高于市面出售的草炭育苗基质和沼渣,说明白灵菇渣、杏鲍菇渣、木耳渣这几种基质材料透气性好,但持水性、储水能力弱;白灵菇渣、杏鲍菇渣、木耳渣以及沼渣 pH 值均高于市售草炭育苗基质,杏鲍菇渣、沼渣偏碱性;白灵菇渣 EC 值为 2.25 mS/cm,与市售草炭育苗基质的 EC 值差异不显著,其它物料 EC 值均显著高于市售草炭育苗基质,不宜单独作为栽培基质;用小白菜种子做发芽试验,白灵菇渣、杏鲍菇渣发芽率与市售草炭育苗基质接近,分别为 80.00%、75.00%。白灵菇渣、杏鲍菇渣、木耳渣、沼渣都可以作为基质替代材料,但是不宜单独作为栽培基质,应该与其它栽培基质搭配使用,沼渣各性状指标与市售草炭基质最接近。该试验旨在为筛选适宜的有机基质材料及不同物料的合理配比提供可行的方案及理论支持。

**关键词:**栽培基质;物化性状;模糊相似优先比方法

**中图分类号:**S 141.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)05-0186-05

目前传统设施种植中,重茬连作、土传病害严重<sup>[1-3]</sup>,以枯萎病、蔓枯病及根结线虫病为主的土传性病害就达 14 种,导致设施内土壤理化性状恶化,严重影响了设施

**第一作者简介:**周静(1982-),女,甘肃酒泉人,硕士,助理研究员,现主要从事作物营养和设施栽培等研究工作。E-mail:zhoujingdeyi919@163.com

**责任作者:**史向远(1975-),男,山西山阴人,硕士,副研究员,现主要从事设施栽培与耕作等研究工作。

**基金项目:**山西省科技攻关资助项目(20150313003-5)。

**收稿日期:**2015-10-13

的发展。基质栽培能有效避免土壤土传病害及连作障碍的发生。草炭被公认是世界上最好的基质资源,具有通风、保水、有机质含量高等优点,但同时草炭资源也面临着储量有限,不可再生、大量开采会造成生态环境毁灭性破坏,特别是运输困难、使用成本高的问题,寻找能代替或部分代替草炭的栽培基质是基质研究的主要方向<sup>[4-10]</sup>。菇渣含有丰富的纤维素和菌丝体,并在蘑菇栽培过程中已充分分解,形成了结构趋向稳定,类似于土壤的团粒结构,是一种很好的潜在代替草炭的基质资源<sup>[11-13]</sup>;沼渣富含有机质、腐殖质、微量营养元素、多种氨

**Abstract:** In order to understand the spatial distribution characteristics of the soil organic carbon in the secondary forest of the Changbai Mountains, the sample line method was adopted to carry out the research about the secondary forest soil organic carbon in the Changbai Mountains as well as the spatial distribution characteristics of organic density in soil profile layer, slope position and aspect. The results showed that the secondary forest soil organic carbon decreased with the increasing of the depth of soil profile except the middle soil profile (A 1-2) in the east slope in the east-west sampling line. The total organic carbon in 0—5 cm humus layer was significantly higher than the illuvium. The content of the organic carbon in the humus layer in the secondary forest of the Changbai Mountains was influenced by the slope aspect in different heights of the mountain, in the east-west sampling line, the soil organic carbon increases with the increasing of the altitude, but the results collected in the east-south sampling line was different from the former. In the secondary forest, the carbon densities and its vertical space distributions in different mountains were significantly different. The densities of the organic carbon for the all two sampling lines were between  $(0.6 \pm 0.1) \times 10^5$  kg/hm<sup>2</sup> and  $(1.6 \pm 0.2) \times 10^5$  kg/hm<sup>2</sup> in the secondary forest in east the Changbai Mountain.

**Keywords:** forest soil; organic carbon; organic carbon density