

# 贵州省主要森林类型土壤有机碳密度特征及其影响因素

吕文强<sup>1</sup>, 周传艳<sup>1,2,\*</sup>, 闫俊华<sup>3</sup>, 李世杰<sup>4</sup>

(1. 贵州省山地资源研究所, 贵阳 550001; 2. 华南理工大学 环境与能源学院, 广州 510640;  
3. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 4. 贵州省林业调查规划院, 贵阳 550001)

**摘要:** 森林土壤有机碳是全球土壤有机碳库的重要组成部分, 研究森林土壤有机碳对于减缓大气中 CO<sub>2</sub> 浓度持续升高具有重要的意义。本研究采用野外调查和室内分析相结合的方法, 以贵州柞木、栎类、柏木、云南松、杉木、马尾松、华山松等 7 种主要森林类型为主要对象, 分析贵州主要森林类型土壤有机碳密度特征, 探讨不同植被类型和环境因子对其的影响。结果表明: (1) 贵州森林土壤有机碳密度约为 180.62 Mg/hm<sup>2</sup>, 高于同纬度地区江西省森林土壤平均有机碳密度 102.1 Mg/hm<sup>2</sup>, 表现出贵州森林土壤具有较高的固碳能力; (2) 不同森林类型土壤有机碳密度变化范围为: 114.52~388.29 Mg/hm<sup>2</sup>, 且差异显著 ( $P < 0.05$ )。各种森林类型土壤有机碳密度大小为: 华山松林 > 杉木林 > 柏木林 > 栎类林 > 马尾松林 > 柞木林 > 云南松林; (3) 不同植被类型下各层土壤有机碳密度大小均以表层土壤为最大, 且随土壤深度增加而降低; (4) 在立地条件上, 贵州森林土壤有机碳密度与海拔显著相关, 与坡度、经度、纬度相关关系均不显著。

**关键词:** 森林土壤; 有机碳密度; 贵州; 影响因素

**中图分类号:** S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2016)02-0147-07 **doi:** 10.14050/j.cnki.1672-9250.2016.02.001

当前, 全球变暖是社会各界高度关注的焦点。大气中碳浓度的升高被认为是导致全球变暖的主要原因。土壤是陆地生态系统最大的碳库(约含 1600 PgC)<sup>[1]</sup>, 其即使微小的变化都会对大气碳库产生重要的影响<sup>[2]</sup>。土壤碳库既可以是大气碳库的源, 又可以是大气碳库的汇, 全球碳平衡受到其积累和分解的直接影响。森林土壤占全球土壤有机碳库的 73%<sup>[1]</sup>, 因此研究森林土壤有机碳库在减缓温室气体快速升高中具有重要作用。

目前, 国内关于土壤有机碳库的研究取得了较多的成果。在国家尺度上, 方精云等<sup>[3]</sup>、王绍强和周成虎<sup>[4]</sup>、潘根兴等<sup>[5]</sup>、解宪丽等<sup>[6]</sup>、Yang 等<sup>[7]</sup> 分别对我国土壤有机碳库储量进行了研究, 得出我国土壤有机碳库储量在 50.0~185.7 PgC 之间, 差异十分明显。在区域尺度上, 宋满珍等<sup>[8]</sup>、张保华等<sup>[9]</sup>、魏亚伟等<sup>[10]</sup>、黄从德等<sup>[11]</sup>、蔡会德等<sup>[12]</sup>、李

斌等<sup>[13]</sup> 分别对江西省、山东省、东北林区、四川省、广西省、湖南省土壤有机碳储量进行了研究, 也显示出在区域尺度上土壤有机碳库储量差异较大。

贵州喀斯特面积占到全省面积的 70%, 是我国最大的喀斯特地貌分布区<sup>[14]</sup>。受气候、土壤及地形的影响, 全省植被类型多样<sup>[15]</sup>。目前, 已有学者对该地区部分森林类型土壤碳密度分布特征及其影响因素进行了初步研究<sup>[16-18]</sup>, 但存在着植被类型不全面和采样点密度相对不足等缺陷, 再加上土壤有机碳库储量具有高度的空间变异性, 无疑给贵州省森林土壤有机碳库的估算带来了较大的不确定性。因此, 有必要通过对全省尺度上森林土壤碳库储量的研究, 为精确估算贵州省森林土壤有机碳库储量提供坚实的数据。

本研究采用野外调查和室内分析相结合的方法, 分析研究贵州柞木、栎类、柏木、云南、杉木、马

收稿日期: 2015-05-29; 改回日期: 2015-09-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360123); 2011 西部之光人才资金; 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050205); 中国科学院知识创新工程方向性项目(kzcx2-yw-306); 国家自然科学基金创新群体项目(40721002); 贵州省科技基金资助项目(黔科合 J 字[2008]2014); 贵州省科技基金项目(黔科合 J 字[2014]2114) 和贵州科学院青年基金项目(黔科院 J 合字[2013]06)。

第一作者简介: 吕文强(1982-), 男, 助理研究员, 从事环境地球化学研究。E-mail: lvbuwei123@126.com.

\* 通讯作者: 周传艳(1973-), 女, 博士, 研究员, 从事恢复生态学和全球变化生态学研究。E-mail: chyzhou66@163.com.

尾松、华山松等7种主要森林类型土壤有机碳密度特征及主要影响因素,旨在为省级区域尺度森林土壤有机碳库的精确估算和森林生态系统经营管理提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

贵州省位于云贵高原东部,介于 $103^{\circ}36' \sim 109^{\circ}35'E$ 、 $24^{\circ}37' \sim 29^{\circ}13'N$ ,总面积 $176\,128\text{ km}^2$ 。全省地貌类型大致分为高原山地、丘陵和盆地三种基本类型,其中92.5%山地和丘陵,境内平均海拔 $1\,100\text{ m}$ 左右,最高海拔 $2\,900\text{ m}$ ,最低海拔 $137\text{ m}$ 。该地区属亚热带季风气候,年均气温 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量 $1\,000 \sim 1\,500\text{ mm}$ ,相对湿度70%以上,全年日照时数 $1\,300\text{ h}$ ,无霜期约 $270\text{ d}$ 。境内广泛分布有赤黄壤、黄棕壤、红壤、红壤、石灰土、山地灌丛草甸土、水稻土、紫色土等8个土类。全省植被类型多样,地带性植被为中亚热带常绿阔叶林,南部河谷地区为常绿阔叶林。各类次生植被和人工植被是全省大部分地区的主要植被类型。

### 1.2 样地设置及土壤样品的采集

根据各森林类型在全省面积的分布情况(表1)<sup>[19]</sup>,选取了贵州省主要的7种森林类型柏木、云南、杉木、马尾松、华山松以及阔叶类中的柞木和栎类作为研究对象。样地设置的主要依据:①根据各森林类型在全省分布面积的大小,设置样地的数量,分布面积较大的林型尽可能设置较多的样地,分布面积较小的林型则设置相对较少的样地(至少3个);②采样区域主要选择各森林类型在全省的主要分布地区;③贵州属于多山省份,存在采样困难的情况,在样地设置时尽可能选择采样相对容易的区域;④根据调查可知,本研究所选取的7种主要林

表1 贵州省各森林面积及比例  
Table 1 Area and proportion of each forest types in Guizhou Province

森林类型	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
阔叶类 <i>Broad-leaved forest</i>	264.64	29.78
华山松 <i>Pinus armandii forest</i>	15.96	1.80
杉木 <i>Cunninghamia lanceolat forest</i>	142.43	16.03
云南松 <i>Pinus yunnaniana forest</i>	17.45	1.96
马尾松 <i>Pinus massoniana forest</i>	176.34	19.85
柏木 <i>Cupressus funebris forest</i>	27.39	3.08
针阔混交林 <i>Broadleaf-conifer mixed forest</i>	8.64	0.97
针叶混交林 <i>Coniferous mixed forest</i>	2.21	0.25
竹林 <i>Bamboo forest</i>	13.10	1.47
灌木林 <i>Shrubbery forest</i>	220.38	24.80
合计	888.54	100.00

型不同林龄段在省内均有分布,为准确反映贵州省主要森林类型土壤有机碳密度特征,在样地设置时也充分考虑了各森林类型的林龄因素。综合以上因素,于2012年7月分别在遵义、毕节、六盘水、铜仁、黔东南、安顺、黔西南及贵阳设置46个研究样地,其中柞木林4个、栎类9个、华山松5个、杉木7个、云南松7个、马尾松11个、柏木林3个,一共46个。样地大小一般为 $20\text{ m} \times 30\text{ m}$ ,部分样地受立地条件和地形限制面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 。样地分布见图1。

在每个样地内,除去枯落物层后,按S型挖取3个土壤剖面,每个剖面按 $0 \sim 10\text{ cm}$ 、 $10 \sim 20\text{ cm}$ 、 $20 \sim 30\text{ cm}$ 、 $30 \sim 50\text{ cm}$ 、 $50 \sim 100\text{ cm}$ 取样(不足 $100\text{ cm}$ 按实际剖面深度采样),用环刀法测定其容重(表2)。采取的新鲜土壤样品经风干、磨碎、过筛( $2\text{ mm}$ 和 $0.25\text{ mm}$ )后测定其碳含量。

### 1.3 土壤碳密度计算

土壤有机碳含量(%)的测定采用重铬酸钾外

表2 不同森林类型土壤容重  
Table 2 Soil bulk densities in different forest types

森林类型	g/cm <sup>3</sup>					平均
	I (0~10 cm)	II (10~20 cm)	III (20~30 cm)	IV (30~50 cm)	V (50~100 cm)	
柞木	1.21±0.14	1.37±0.20	1.38±0.09	1.43±0.037	1.51±0.077	1.38±0.15
栎类	1.08±0.19	1.22±0.14	1.26±0.15	1.29±0.14	1.39±0.19	1.25±0.19
华山松	1.12±0.10	1.18±0.12	1.21±0.12	1.26±0.13	1.34±0.14	1.22±0.14
杉木	1.03±0.091	1.11±0.069	1.16±0.090	1.20±0.071	1.30±0.10	1.16±0.12
云南松	1.11±0.097	1.19±0.060	1.23±0.064	1.28±0.085	1.37±0.097	1.23±0.12
马尾松	1.09±0.12	1.16±0.12	1.20±0.15	1.27±0.17	1.35±0.22	1.21±0.18
柏木	1.01±0.14	1.19±0.14	1.22±0.11	—	—	1.14±0.16

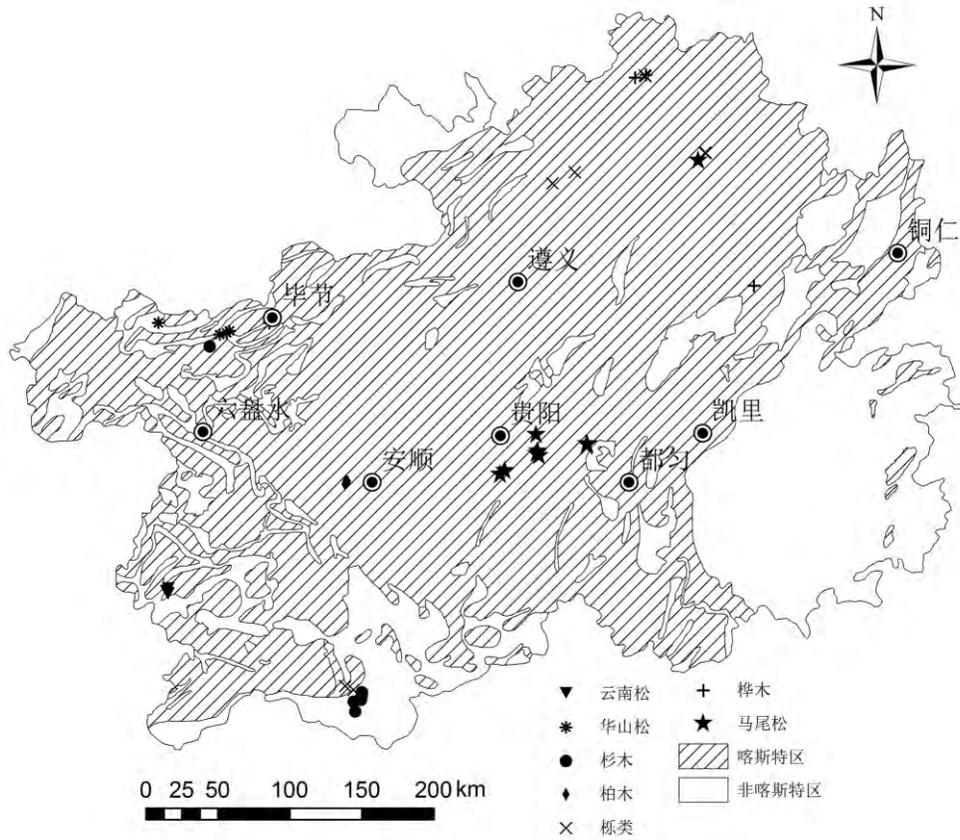


图 1 各森林样地土壤剖面的空间分布

Fig.1 Spatial distribution of soil profile in different plots

加热法(表 3) 土壤有机碳密度的计算公式如下:

$$SOC = \sum_{i=1}^n SOC_i \times DB_i \times H_i \times (1 - R_i) / 10$$

式中,  $SOC$  为土壤剖面总有机碳密度 ( $Mg/hm^2$ );  $SOC_i$  为第  $i$  层土壤有机碳含量 ( $g/kg$ );  $DB_i$  为第  $i$  层土壤容重 ( $g/cm^3$ );  $H_i$  为第  $i$  层土壤厚度 ( $cm$ );  $R_i$  为第  $i$  层土壤  $>2$  mm 砾石的含量 (%)。

#### 1.4 数据处理

数据处理及统计分析采用 Excel2013 和

SPSS18.0 软件完成 绘图采用 Origin8.6 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 贵州主要森林类型土壤有机碳密度及垂直分布特征

贵州森林土壤有机碳密度平均值为  $180.62 Mg/hm^2$ 。不同森林类型土壤有机碳密度差异显著 ( $P < 0.05$ ), 介于  $114.52 (\pm 20.06) \sim 388.29 (\pm 16.54) Mg/hm^2$ 。其中以华山松林土壤有机碳密

表 3 不同森林类型土壤有机碳含量

Table 3 Soil organic carbon contents for different forest types

森林类型	%					平均
	I (0~10 cm)	II (10~20 cm)	III (20~30 cm)	IV (30~50 cm)	V (50~100 cm)	
桦木	2.20±0.68	1.48±0.23	1.16±0.49	0.83±0.24	0.69±0.1	1.27±0.66
栎类	3.30±3.27	2.27±1.12	1.78±1.12	1.40±0.81	0.86±0.44	1.92±1.80
华山松	4.34±2.62	3.75±1.33	3.05±1.30	2.36±1.24	2.30±1.38	3.16±1.72
杉木	3.10±2.24	2.30±1.02	1.87±0.89	1.63±0.66	1.33±0.60	2.04±1.32
云南松	2.36±0.42	2.06±0.38	1.17±0.16	0.78±0.26	1.44±0.10	1.36±0.79
马尾松	2.35±1.33	1.47±0.83	1.19±0.67	1.12±0.79	0.98±0.81	1.42±0.81
柏木	14.6±1.53	2.53±1.12	2.12±0.39	—	—	6.42±6.22

度最大,为  $388.29(\pm 16.54)$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$ ,以云南松林土壤有机碳密度最低,仅为  $114.52(\pm 20.06)$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$ 。各种森林类型土壤有机碳密度大小为:华山松林>杉木林>柏木林>栎类林>马尾松林>桦木林>云南松林(图2)。

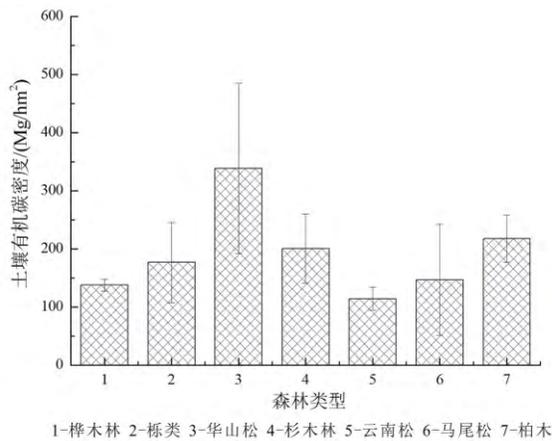


图2 不同森林类型土壤有机碳密度

Fig.2 Organic carbon densities in soil layers of different forests

由图3可知,不同森林类型土壤有机碳密度基本随土壤深度的增加而降低,0~10 cm 土层最高,介于  $25.40\sim 146.44$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$  之间,占整个土壤剖面土壤有机碳密度的  $25.35\%\sim 71.88\%$ ,柏木林最高,华山松林最低;10~20 cm 土层介于  $16.67\sim 43.44$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$  之间,占整个土壤剖面土壤有机碳密度的  $15.37\%\sim 30.20\%$ ,柏木林最低,云南松林最高;20~30 cm 土层介于  $13.85\sim 36.42$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$  之间,占整个土壤剖面土壤有机碳密度的  $12.75\%\sim 19.81\%$ ,马尾松最低,华山松林最高;30~50 cm 土层介于  $19.76\sim 59.24$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$  之间,占整个土壤剖面土壤有机碳密度的  $12.27\%\sim 16.88\%$ (以平均10 cm 厚度土壤有机碳密度计算),云南松林最低,华山松林最高;50~100 cm 土层介于  $30.14\sim 151.70$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$  之间,占整个土壤剖面土壤有机碳密度的  $7.49\%\sim 16.20\%$ (以平均10 cm 厚度土壤有机碳密度计算),云南松林最低,华山松林最高。贵州森林土壤有机碳密度主要分布于0~30 cm 土层中,随着土层深度的增加,各森林类型土壤有机碳密度差异减小,受森林类型的影响减弱。

## 2.2 贵州森林土壤有机碳密度的影响因素

由图4可知,贵州森林土壤有机碳密度随海拔、纬度的增加而增加,随经度的增加而降低,而随着坡度的增加其变化趋势不明显。相关分析表明,贵

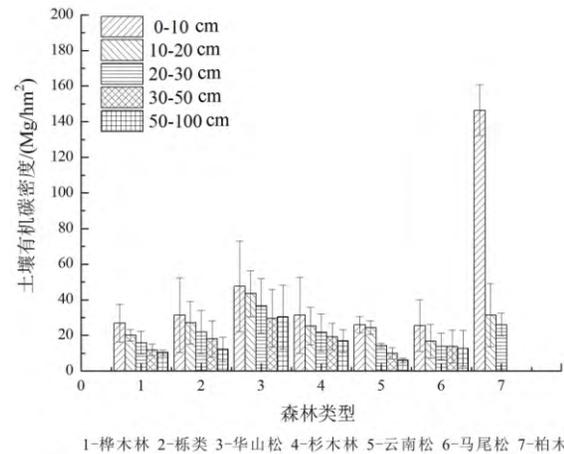


图3 不同森林类型各层10 cm 厚度的平均土壤有机碳密度

Fig.3 Mean organic carbon densities in 10 cm soil layers in different forests

州森林土壤有机碳密度与海拔之间相关关系明显 ( $P<0.05$ ),与经度、纬度和坡度相关关系均不显著 ( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 贵州主要森林类型对土壤有机碳密度的影响

森林土壤碳在减缓大气中  $\text{CO}_2$  等温室气体浓度上升以及维护全球土壤碳循环和碳平衡等方面具有十分重要的意义。土壤碳密度已经成为评价和衡量土壤中有机碳贮量的一个极其重要指标,因此备受广大学者的关注<sup>[20]</sup>。已有的研究表明,四川森林土壤有机碳密度为  $190.45$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$ <sup>[12]</sup>,江西省森林土壤有机碳密度  $102.1$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$ <sup>[8]</sup>,全国森林土壤平均碳密度  $107.8$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$ <sup>[21]</sup>。本研究中贵州森林土壤有机碳密度约为  $180.62$   $\text{Mg}/\text{hm}^2$ ,高于同纬度地区江西省和全国森林土壤有机碳密度,表现出贵州森林土壤具有较高的固碳能力。土壤有机碳密度的地理分布受到诸如气候、植被以及人类活动的影响<sup>[6]</sup>,因此在地理分布上体现出一定的差异性。贵州省处于中亚热带季风气候区,植被受气候、土壤和山地地形等影响,全省植被类型多样。同时,贵州森林受到砍伐、刈割、造林等人类活动的影响。上述条件共同决定了贵州森林土壤有机碳密度较高的地理分布特征。

不同植被类型土壤有机碳密度体现出了较大的差异性<sup>[11,17-18]</sup>。本研究中,7种不同森林类型下土壤有机碳密度也表现出具有较大的差异性 ( $P<0.05$ ),其范围为  $114.52(\pm 20.06)\sim 388.29$

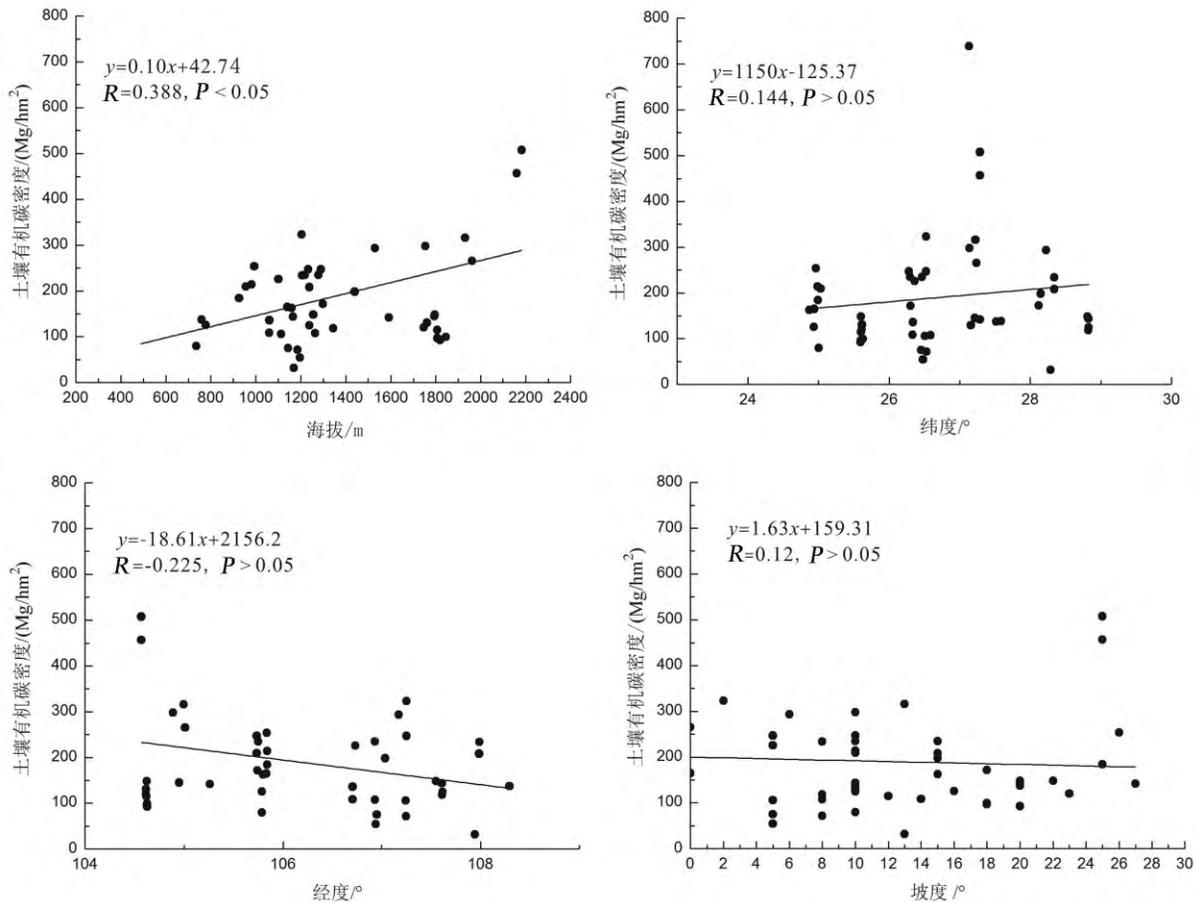


图 4 贵州主要森林类型土壤有机碳密度与海拔、纬度、经度和坡度的相关关系

Fig.4 Soil organic carbon density of the major forest type varied along elevation , latitude , longitude and slope in Guizhou Province

(±16.54) Mg/hm<sup>2</sup>, 以华山松林土壤有机碳密度最大, 为 388.29(±16.54) Mg/hm<sup>2</sup>, 以云南松林土壤有机碳密度最低, 仅为 114.52(±20.06) Mg/hm<sup>2</sup>。7 种森林类型土壤有机碳密度大小为: 华山松林>杉木林>柏木林>栎类林>马尾松林>桦木林>云南松林。森林土壤有机碳含量大小由植被凋落物归还量和土壤有机碳的积累与释放共同决定<sup>[22]</sup>。对于不同的森林类型, 由于树种存在差异, 各森林类型冠层光合固定能力不同, 引起凋落物的产量、质量、种类也具有一定的差异。再加上不同植被类型下土壤具有不同的有机碳积累与释放特征, 因此, 各植被类型下土壤有机碳密度具有一定的差异<sup>[23]</sup>。本研究中, 除杉木林和华山松林森林样地位于非喀斯特地区外, 其余各森林样地均位于喀斯特地区。而喀斯特地表基岩出露面积较大, 且起伏多变, 微地貌十分复杂, 具有与常态地貌上明显不同的形态特征和分布特征, 形成了以石面、石缝、土面等为主的多种小生境, 这些小生境类型及其组合构成了喀斯特

生境的多样性<sup>[24]</sup>, 从而造成了喀斯特地区土壤具有高度的空间异质性, 改变了土壤养分和水分的空间分布, 进而影响到植物分布格局与生长过程的变化<sup>[25]</sup>, 也是引起贵州不同植被类型下土壤有机碳密度存在较大差异的原因之一。

在垂直分布上, 随着土壤深度的增加, 土壤各层平均 10 cm 厚度有机碳密度逐渐降低。不同植被类型下, 土壤的容重会发生变化, 同时容重随土层厚度的增加而增加<sup>[26]</sup>。土壤剖面各层有机碳的含量受到植物根系垂直分布的影响, 而且随着土层深度增加分解者的活动减弱, 导致植物碎屑分解也较慢<sup>[27]</sup>。因此, 土壤有机碳密度受植被类型、土壤质地、人为干扰等综合因素的影响<sup>[28]</sup>。由于植物根系主要分布在土壤表层, 凋落物和腐殖层以及土壤微生物对土壤有机碳的贡献主要作用于地表, 且随土壤深度的增加而减弱, 因此贵州森林以表层 10 cm 厚度土壤有机碳密度为最大<sup>[11]</sup>。

### 3.2 各影响因素对土壤有机碳密度的影响

土壤有机碳密度受到坡度<sup>[29]</sup>、坡向<sup>[30]</sup>、海

拔<sup>[30-31]</sup>、纬度<sup>[10]</sup>、土壤理化性质<sup>[29,32-34]</sup>、土地利用类型<sup>[32,35]</sup>、林龄<sup>[10]</sup>等诸多因素的影响。植被蒸腾、水分入渗及土壤流失程度在一定程度上受到坡度的影响。植被蒸腾、水分入渗及土壤流失程度的差异在一定程度上影响着植被的生长、凋落物的归还与分解,因此坡度对土壤有机碳密度能够产生一定程度影响<sup>[29]</sup>。土壤有机碳密度与坡度相关关系不明显,受坡度的影响较弱,可能的原因在于本研究所选的森林样地较多的位于喀斯特地区,而喀斯特地区的土层较薄,土壤保水能力差,降雨发生时,大量的雨水随地下径流流失掉<sup>[36]</sup>,对植被的生长以及凋落物的归还影响减弱。气候是影响土壤有机碳密度的重要因子<sup>[37]</sup>。贵州处于低纬度区,海拔的变异性对气温变化的影响较为显著,海拔的剧烈变化,使海拔对气温的影响非常突出<sup>[38]</sup>。由于海拔的变化而引起的气温变化使土壤有机碳密度随海拔的升高而增加,因此表现出贵州森林土壤有机碳密度与海拔呈现出很大的相关性。经度、纬度与土壤有机碳密度相关性不明显,其可能的原因在于贵州随纬度和经度的变化温度变化不明显。如春季、冬

季贵州东北部气温较低,其他地区气温较高,夏季东北部气温较高,其他地区气温较低,秋季多年平均气温空间分布特征不明显<sup>[39]</sup>,贵州气温的变化并没有表现出与经纬度变化的一致性。

## 4 结 论

1) 贵州森林土壤有机碳密度约为 180.62 Mg/hm<sup>2</sup>,高于同纬度地区江西省森林土壤平均有机碳密度 102.1 Mg/hm<sup>2</sup>,表现出贵州森林土壤具有较高的固碳能力。

2) 不同森林类型土壤有机碳密度变化范围为: 114.52(±20.06) ~ 388.29(±16.54) Mg/hm<sup>2</sup>,且差异显著( $P < 0.05$ )。各种森林类型土壤有机碳密度大小为: 华山松林 > 杉木林 > 柏木林 > 栎类林 > 马尾松林 > 桦木林 > 云南松林。

3) 不同植被类型下均以表层 10 cm 厚度土壤有机碳密度为最大,且随土壤深度的增加而降低。

4) 在立地条件上,贵州森林土壤有机碳密度与海拔显著相关,与坡度、经度、纬度相关关系均不显著。

## 参 考 文 献

- [1] Dixon R X, Solomon A M, Brown S, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. *Science*, 1994, 263: 185-190.
- [2] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle[J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 7-20.
- [3] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [4] 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. *地理研究*, 1998, 18(4): 349-356.
- [5] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉, 等. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题[J]. *地球科学进展*, 2003, 18(4): 609-618.
- [6] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. *土壤学报*, 2004, 41(1): 35-43.
- [7] Yang Y, Mohammad A, Feng J, *et al.* Storage, patterns and environmental controls of soil organic carbon in China[J]. *Biogeochemistry*, 2007, 84: 131-141.
- [8] 宋满珍, 刘琪璟, 吴自荣, 等. 江西省森林土壤有机碳储量研究[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2010, 34(2): 6-10.
- [9] 张保华, 张金萍, 刘子亭, 等. 山东省土壤有机碳密度和储量估算[J]. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1030-1033.
- [10] 魏亚伟, 于大炮, 王清君, 等. 东北林区主要森林类型土壤有机碳密度及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(12): 3333-3340.
- [11] 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): 1217-1225.
- [12] 蔡会德, 张伟, 江锦烽, 等. 广西森林土壤有机碳储量估算及空间分布特征[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2014, 11(6): 1-5.
- [13] 李斌, 方晰, 李岩, 等. 湖南省森林土壤有机碳密度及碳库储量的动态[J]. *生态学报*, 2015, 35(13): 1-18.
- [14] 田秀玲, 夏婧, 夏焕柏, 等. 贵州省森林生物量及其空间格局[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(2): 287-294.
- [15] 贵州森林编辑委员会. 贵州森林[M]. 贵阳: 贵州科学技术出版社, 1991.
- [16] 钟洪明, 高艳平, 母永秋, 等. 赤水河下游 3 种林分类型土壤有机碳含量及影响因素分析[J]. *湖北农业科学*, 2013, 23: 5741-5746.
- [17] 丁访军, 高艳平, 周凤娇, 等. 贵州西部 4 种林型土壤有机碳及其剖面分布特征[J]. *生态环境学报*, 2012(a), 21(1): 38-43.
- [18] 丁访军, 潘忠松, 周凤娇, 等. 黔中喀斯特地区 3 种林型土壤有机碳含量及垂直分布特征[J]. *水土保持学报*, 2012(b), 26(1): 161-169.
- [19] 刘晓, 郭颖, 徐海, 等. 贵州省森林生态系统服务功能的价值评估[J]. *贵州农业科学*, 2014, 42(12): 60-65.
- [20] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量[J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 2875-2881.
- [21] 刘世荣, 王晖, 梁军委. 中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展[J]. *生态学报*, 2011, 31(19): 5437-5448.
- [22] 吕超群, 孙书存. 陆地生态系统碳密度分布格局研究概[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(5): 692-703.

- [23] 杨万勤, 邓仁菊, 张健. 森林凋落物分解及其对全球气候变化的响应[J]. 应用生态学报, 2007, 28(12): 2889-2895.
- [24] 周游游, 黎树式, 黄天放. 我国喀斯特森林生态系统的特征及其保护利用[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2003, 20(3): 67-72.
- [25] 刘方, 王世杰, 罗海波, 等. 喀斯特生态系统中小生境特征与土壤分布的异质性[J]. 土壤学报, 2008, 45: 1055-1062.
- [26] 吴建国, 孙小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 593-599.
- [27] 周莉, 李保国, 周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 99-105.
- [28] 梁启鹏, 余新晓, 庞卓, 等. 不同林分土壤有机碳密度研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 889-893.
- [29] 李甜甜, 季宏兵, 孙媛媛, 等. 我国土壤有机碳储量及影响因素研究进展[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2007, 28(1): 93-97.
- [30] 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.
- [31] 刘媛媛, 刘月秀, 叶金盛, 等. 广东省桉树人工林土壤有机碳密度及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 1981-1985.
- [32] 王晓丽, 王媛, 石洪华, 等. 南长山岛不同土地利用方式下的土壤有机碳密度[J]. 环境科学学报, 2014, 34(4): 1009-1015.
- [33] 胡启武, 欧阳华, 刘贤德. 祁连山北坡垂直带土壤碳氮分布特征[J]. 山地学报, 2006, 24(6): 654-6619.
- [34] 董洪芳, 于君宝, 孙志高, 等. 黄河口滨岸潮滩湿地植物-土壤系统有机碳空间分布特征[J]. 环境科学, 2010, 31(5): 1594-1599.
- [35] 张城, 王绍强, 于贵瑞, 等. 中国东部森林典型森林土壤有机碳储量[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 97-103.
- [36] 彭韬, 王世杰, 张信宝, 等. 喀斯特坡地地表径流系数监测初报[J]. 地球与环境, 2008, 36(2): 125-129.
- [37] Alvarez R, Lavado R S. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina[J]. Geoderma, 1998, 83: 127-141.
- [38] 张勇, 史学正, 于东升, 等. 滇黔桂地区土壤有机碳密度变异的影响因素研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(3): 526-531.
- [39] 严小冬, 金建德, 雷云. 近 50 a 贵州气温变化特征分析[J]. 贵州气象, 2005, 29(2): 6-9.

## Soil Organic Carbon Density and Its Influencing Factors for the Forest Region of Guizhou Province, China

LYU Wenqiang<sup>1</sup>, ZHOU Chuanyan<sup>1,2</sup>, YAN Junhua<sup>3</sup>, LI Shijie<sup>4</sup>

(1. Institute of Guizhou Mountain Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China; 2. College of Environment and Energy, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 3. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 4. Guizhou Forestry Survey and Planning Institute, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** Soil organic carbon (SOC) in the forest ecosystem is the vital component of global carbon reservoir, and plays an important role in global carbon cycle and mitigation of global warming. Adopting field investigation and indoor analysis methods, the seven main forest types, i.e. *Birch*, *Quercus sclerophyllous*, *Cupressus funebris*, *Pinus yunnaniana*, *Cunninghamia lanceolat*, *Pinus massoniana* and *Pinus armandii* were selected to investigate the variation of SOC densities and their controlling factors for the forest region of Guizhou Province, China. The main conclusions are drawn as follows: (1) the average SOC density of Guizhou forest soil is 180.62 Mg/hm<sup>2</sup>, higher than soil carbon density (102.1 Mg/hm<sup>2</sup>) in forests of Jiangxi Province, indicating a high carbon sequestration in forest soils of Guizhou Province; (2) the SOC density ranges from 114.52 Mg/hm<sup>2</sup> to 388.29 Mg/hm<sup>2</sup>, and significantly different between forest types ( $P < 0.05$ ) and decreases in the order of *Pinus armandii* > *Cunninghamia lanceolat* > *Cupressus funebris* > *Quercus sclerophyllous* > *Pinus massoniana* > *Birch* > *Pinus yunnaniana*; (3) soil carbon density of forest declines with the increasing soil depth, and most of carbon was stored in the top soil (0-10 cm); and (4) Pearson correlation analysis shows that there is no significant correlation between SOC density and slope, latitude as well as longitude.

**Key words:** Guizhou Province; organic carbon density; forest soil; factor