

广东省国有银盏林场土壤碳密度分布特征*

黄少辉 张 贝 简 阳

(广东省林业调查规划院, 广东 广州 510520)

摘要 以广东省国有银盏林场 9 种不同植被类型下 0~60 cm 土层土壤为研究对象, 通过野外调查与室内分析相结合的方法, 对土壤碳含量、碳密度以及分布特征进行比较研究, 结果表明, (1) 各土层土壤有机碳含量分别为: 2.93~20.90, 1.18~12.11, 1.04~7.92 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤有机碳主要集中在 0~20 cm 土层, 其所占比例在 50% 以上, 均随着土层的加深而降低; (2) 土壤碳密度的平均值为 59.77 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 不同林分类型下土壤总碳密度的大小顺序为: 果树林 > 阔叶混交林 > 杉木林 > 桉树林 > 针阔混交林 > 马尾松林 > 黎蒴林 *Castanopsis fissa* > 采伐迹地 > 宜林地; (3) 同一土层不同土壤有机碳含量、碳密度没有一致的变化规律, 不同植被类型下土壤碳含量及碳密度差异显著, 银盏林场在今后的森林经营活动中应该注重宜林地造林和桉树林改造等土壤生态恢复工作。

关键词 银盏林场; 土壤碳密度; 分布特征

中图分类号: S718.51⁺6 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2018) 05-0028-06

Distribution Characteristics of Soil Carbon Density in Yin Zhan National Forest Farm of Guangdong Province

HUANG Shaohui ZHANG Bei JIAN Yang

(Guangdong Forestry Survey and Planning Institute, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract This paper analyzed soil carbon density and distribution of 0-60 cm soil layer under nine different forest types in Yin Zhan national forest farm to provide theoretical basis for regional ecosystem carbon sink management and cultural practices of plantation forest. The results showed that (1) The organic carbon contents of each soil layer were 2.93-20.90, 1.18-12.11 and 1.04-7.92 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. The 0-20 cm soil layer contributed to more than 50% and they decreased with soil depth. (2) The mean of soil carbon density was 59.77 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$. The sequence was in the order of fruit forest > broad-leaved mixed forest > Chinese fir forest > *Eucalyptus* forest > mixed conifer > *Pinus* forest > *Castanopsis fissa* > cutover land > suitable forestland. (3) There was no consistent change in soil organic carbon content and carbon density in the same soil layer. Different forest types had significant difference. Yin Zhan national forest farm should pay more attention to the afforestation in cutover land and transformation of *Eucalyptus* forest.

Key words Yin Zhan national forest farm; soil carbon density; distribution characteristics

土壤有机碳库 (SOCP) 就是全球土壤有机碳的总量, 其数量和分布反映着地表植物群落的空间分布和时间上的演替^[1]。不同学者因选用

的数据和取得土层深度不同, 对 SOCP 的估算值不尽相同。一般认为, 土壤有机碳库库容为 $(1\ 300 \sim 2\ 000) \times 10^9 \text{t}$, 为陆地有机碳库的 2~3 倍,

* 第一作者: 黄少辉 (1975—), 男, 高级工程师, 主要从事林业调查规划设计研究, E-mail: 435321138@qq.com。

为全球有机碳库的 2 倍^[2-4]，因此可以说土壤有机碳库是陆地生态系统碳库的重要组成部分之一，而且是土壤养分循环的转化的核心，由于其易受气候和土壤利用的影响^[5]，其微小的变化就会对全球碳平衡产生巨大影响，受植被类型、气候特点以及土壤性质的影响，不同森林类型土壤有机碳存在较大的差异^[6-7]。近年来，基于森林生态系统功能过程，从植被类型和土地利用角度对土壤有机碳库的研究逐渐增加，本文以银盏林场不同植被类型下的土壤为研究对象，对其土壤有机碳、碳密度及分布特征进行研究，以期为广东省国有林场改革后银盏林场因地制宜的选择造林地和林分改造等森林经营活动提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

国有银盏林场建立于 1956 年，位于广东省清远市清城区，交通便利，是清远市通往珠三角的重要门户，是珠三角后花园的前沿阵地。根据银盏林场 2017 年资源档案更新数据库，林场现有总面积 7 886.9 hm²，权属均为国有，林业用地面积 6 921.5 hm²，有林地面积 6 248.2 hm²，乔木林面积 6 244.2 hm²，森林蓄积 63.37 万 m³，土壤类型为赤红壤。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 2017 年 6 月—7 月，依照银盏林场有林地现有的 9 种植被类型分别设置 10×10 m 典型样地，每种类型设置 3 块重复样地，共计 27 块，其中宜林地 of 历史遗留荒废矿场，地表植被较为稀少，具体样地信息详见表 1。

1.2.2 土壤样品采集 在每块典型样地的上坡、中坡、下坡分别挖取土壤剖面，每个土壤剖面分别以 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 分层，然后用环刀法对各层土壤“自下而上”取样，用于测量土壤容重^[8]，同时用封口袋分别收集各层土壤样品 500 g，最后将所有土壤样本带回实验室进行测定。

1.2.3 指标测定 土壤容重采用环刀法测定^[8]，计算公式如下：

$$\rho_i = M_i / V_i$$

式中： ρ_i 为第 i 层的土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)， M_i 为环刀烘干后土壤质量 (g)， V_i 为环刀体积 (cm^3)。

土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化法测定^[9]，土壤总碳密度按照如下公式计算^[10]：

$$\text{SOC} = \sum_{n=1}^n \text{SOC}_i = \sum_{n=1}^n (C_i \times \rho_i \times h_i) / 10$$

表 1 银盏林场样地基本信息

Tab. 1 Basic information in sample plots in Yin Zhan national forest farm

林分类型 Forest type	面积 /hm ² Area	林龄 /a Stand age	郁闭度 Crown density	平均树高 /m Average height	平均胸径 /cm Mean DBH
宜林地 Suitable forestland	214.3				
采伐迹地 Cutover land	183.9				
桉树林 Eucalyptus forest	1 114.5	5	0.7	13.8	12.5
马尾松林 Pinus forest	1 687.0	15~20	0.6~0.8	9.2	8.8
杉木林 Chinese fir forest	2 215.2	15~20	0.6~0.8	10.0	9.5
黎蒴林 Castanopsis fissa	121.0	8~10	0.8	9.0	10.8
果树林 Fruit forest	600.4	15	0.5		
阔叶混交林 Broad-leaved mixed forest	76.0	15~20	0.7~0.9	8.5	8.4
针阔混交林 Mixed conifer	31.9	15~20	0.7~0.9	9.2	10.1

式中: SOC 为单位面积土体的碳储量, 即碳密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$), C_i 为第 i 层土壤碳含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); h_i 为第 i 层土壤厚度 (cm); n 为土层数。

1.2.4 数据处理 运用 SPSS20 对数据进行单因素方差分析和多重比较 (LSD Duncan), 采用 excel 2010 进行制图。

2 结果与分析

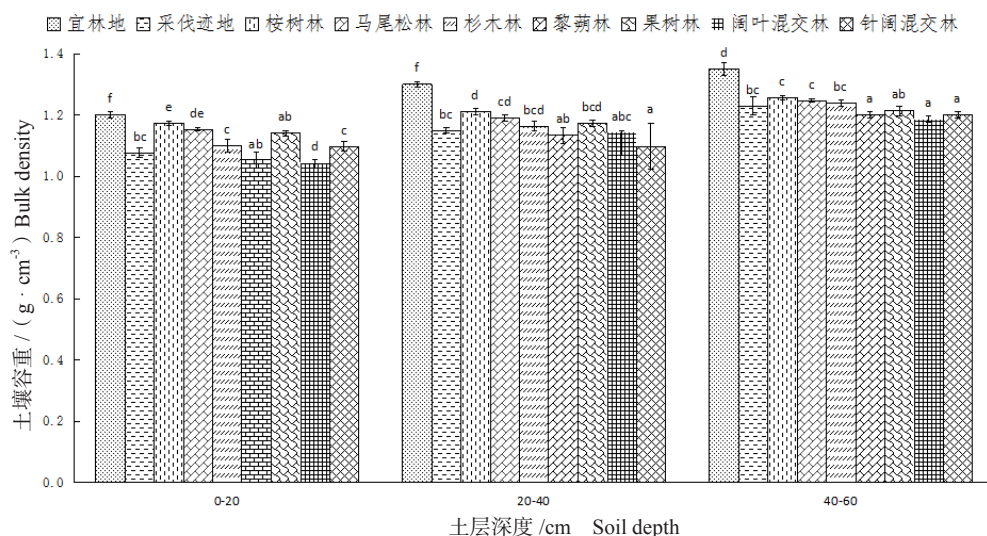
2.1 土壤碳含量

2.1.1 土壤容重比较 土壤容重是土壤物理性质的一个重要指标, 在土壤质地和土壤有机质含量相近的条件下, 土壤容重越小表明土壤越疏松, 结构性良好; 反之, 则表明土壤紧实而缺乏团粒结构^[11]。土壤容重各层平均值为: 1.11 (0~20 cm)、1.17 (20~40 cm) 和 1.23 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (40~60 cm), 由图 1 可以看出, 不同林分类型下, 土壤容重随着深度增加而增大。在各土层中, 均以宜林地的土壤容重最大, 而且与其它乔木林分类型之间有显著差异, 且这种差异并没有随着土壤深度的增加而发生改变, 由此可见, 乔木林的经营, 可以较为有效的改善土壤物理性质。

2.1.2 土壤碳含量比较 由图2可知, 银盏林场不同林分类型下0~20、20~40、40~60 cm土层碳含量所占的比例分别为: 39.80%~58.90%、22.83%~31.91%、13.03%~28.69%, 比例最大的为桉树林 (0~20 cm) 的58.90%, 比例最小的为果树林

(40~60 cm) 的13.03%, 由此可见, 土壤碳含量主要集中在土壤表层 (0~20 cm), 并且随着土层深度的增加而逐渐降低。需要特别指出的是, 桉树林各层土壤碳含量所占比例分别为: 58.90%、25.34%、15.75%, 其随着土层深度的增加, 土壤碳含量的减少量是所有林分类型中最大的, 说明桉树林的经营可以有效的促进土壤碳含量的增加, 但对深层土壤碳含量的影响不大。

在不同的生物气候条件和人为干扰下, 表土有机碳积累的数量存在很大的差异^[12]。由图 3 可知, 在同一土层不同林分类型中, 土壤碳含量有明显的规律, 但均以宜林地最小, 且与其它林分类型之间存在显著差异。在各层土壤中, 以果树林 (0~20 cm) 土壤碳含量最大, 为 20.89 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; 乔木林地中 7 个不同林分类型之间土壤碳含量也存在着差异, 在 0~20 cm 土层中, 其中马尾松林 (13.17 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、黎蒴 (13.51 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和针阔混交林 (13.32 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 差异不显著, 桉树林 (17.47 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、杉木林 (18.64 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和果树林土壤碳含量显著高于其它林分类型 ($P < 0.05$); 在 20~40 cm 土层中, 桉树林 (7.43 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、马尾松林 (7.37 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和黎蒴 (7.57 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 差异不显著, 且小于杉木林 (10.57 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、果树林 (12.43 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、常绿阔叶林 (9.43 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和针阔混交林 (8.31 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); 在 40~60 cm 土层中, 各林分类型土壤碳含量差异



注: 不同字母表示同一土层不同类型下土壤容重差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different letters indicate significant difference of the bulk density at 0.05 in every soil layers under different forest types.

图 1 银盏林场不同植被类型下各土层土壤容重

Fig.1 The bulk density in every soil layers under different vegetation types in Yin Zhan national forest farm

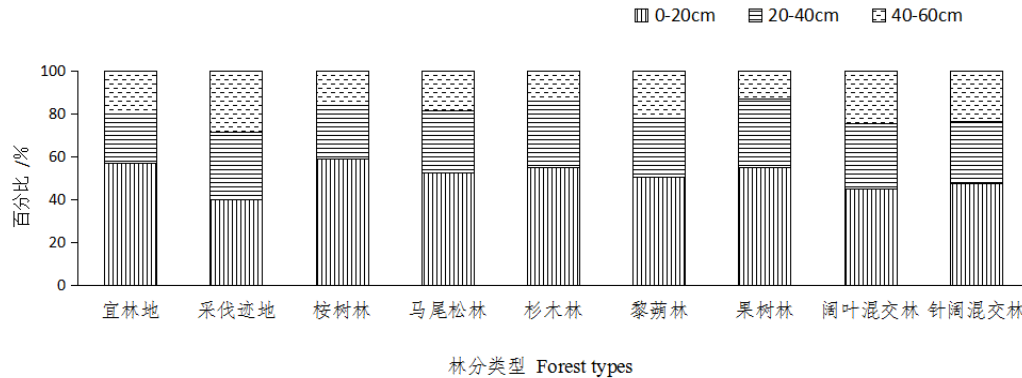
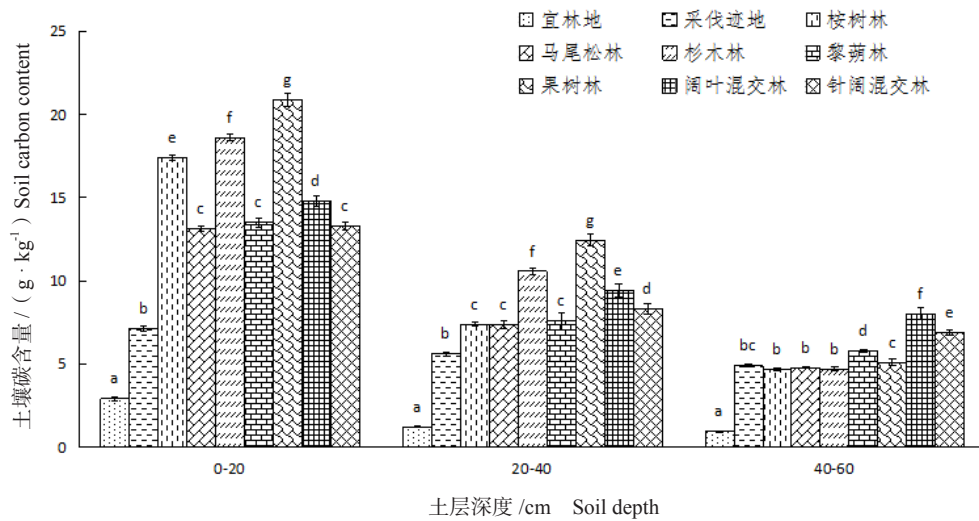


图2 银盏林场不同林分类型各土层碳含量所占比例

Fig.2 The distribution of soil carbon content in every soil layers under different forest types in Yin Zhan national forest farm



注：不同字母表示同一土层不同类型间土壤碳含量差异显著 ($P < 0.05$) Note: Different letters indicate significant difference of the soil carbon content at 0.05 in every soil layers under different forest types

图3 银盏林场不同植被类型下各土层土壤碳含量

Fig.3 The soil carbon content in every soil layers under different forest types in Yin Zhan national forest farm

性已经减小，以常绿阔叶林 ($8.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 为最大。

2.2 土壤碳密度比较

2.2.1 各层土壤碳密度比较 土壤碳密度随深度的变化与土壤碳含量相似，也表现为随土壤深度增加而逐渐减小。由图4可知，不同类型下各土层土壤碳密度为 $2.81 \sim 47.64 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ，各土层土壤碳密度所占比例分别为：37.59%~57.92%、23.44%~32.33%和13.61%~30.08%，因此可以说土壤有机碳主要集中地表层，0~20 cm土层的贡献最大。就不同林分类型来说，以桉树林0~20 cm土层土壤碳储量所占比例最大 (57.92%)，在0~20 cm土层中，以宜林地土壤碳密度最小，与其

它类型差异显著，以果树林为最大 ($47.64 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$)，马尾松林、黎蒴、针阔混交林和阔叶混交林没有显著差异；在20~40 cm土层中，宜林地与采伐迹地土壤碳密度均小于有林地类型，而有林地中不同林分类型没有显著差异；在40~60 cm土层中，宜林地土壤碳密度最小，显著低于其它8种类型。**2.2.2 土壤总碳密度比较** 由表2可知，9种不同类型下的土壤总碳密度分别为12.88、39.81、70.09、58.90、77.25、56.77、88.19、70.76和 $63.24 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ，以果树林土壤总碳密度最大；其中，桉树林与常绿阔叶林土壤总碳密度差异不显著，马尾松林与黎蒴土壤总碳密度差异不显著，其它类型差异显著。乔木林地和采伐迹地类型下

土壤总碳密度平均值为 $65.62 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ，显著高于宜林地。

土壤碳的“汇”主要是有机物的归还和土壤改良剂的输入，有机物的归还基本来源是地表凋落物和动植物残体，土壤改良剂的输入主要指人为干扰下的肥料等^[13]。所以本研究中，在乔木林类型中，受人为干扰（森林经营）强度大的林分类型有果树林和桉树林，地表凋落物多的如杉木林、常绿阔叶林和针阔混交林，这些林分类型下的土壤碳密度较大；而同为针叶林型的马尾松林，土壤碳密度比杉木林下降了 23.75%，可能与地表腐殖层微生物以及幼龄林时期的经营方式的不同有关，因为广东省的杉木林多为人工林，相较于天然飞播的马尾松林，在幼龄林的时候，杉木林经过割灌除草、修枝、施肥等综合抚育措施，地表腐殖层微生物较为活跃。

3 结论与讨论

3.1 同一土层不同林分类型土壤有机碳含量、碳密度没有一致的变化规律，土壤碳含量、碳密度随着土层加深而降低，土壤碳具有“表聚作用”^[14-17]，在森林生态系统中，土壤中的有机物质主要来自于地表凋落物的分解，表层土壤能够获得较多的森林凋落物，这也是形成土壤有机碳表层富集的重要原因。Batjes^[18]对不同土壤有机碳储量的

研究表明，表层土壤有机碳含量所占的比例平均 49%，在本研究中，该比例平均值为 51.2%，这可能与银盏林场地表动植物残体、凋落物以及降雨淋洗水较多，从而致使地表微生物较为活跃，分解大量的碳的缘故，从而使土壤有机碳具有明显的垂直分布特征，与刘玲等^[19]、范跃新等^[20]研究一致。

3.2 银盏林场 9 种不同类型土壤碳密度大小顺序为：果树林>常绿阔叶林>杉木林>桉树林>针阔混交林>马尾松林>黎蒴>采伐迹地>宜林地，土壤碳密度平均值为 $59.77 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3.3 宜林地土壤碳含量和土壤碳密度均显著低于采伐迹地和有林地类型，主要是由于宜林地地表植被相对较少，这与周毅等^[21]提到的“森林植被有利于土壤碳的积累”一致，银盏林场在今后的森林经营活动中应该更加注重宜林地的造林和生态恢复。

3.4 桉树林下 0~20 cm 土层土壤碳含量和土壤碳密度较高，但其随着深度的增加，土壤碳含量相较于 20~40 cm、40~60 cm 分别减少了 56.98% 和 73.25%，是所有林分类型中碳含量减少量最大的，这说明桉树林的经营可以有效的促进土壤碳含量的增加，但对深层土壤碳含量的影响不大，从而无助于土壤总碳储量的增加，因此国有银盏林场改革后应逐步加强对原有桉树林的改造。

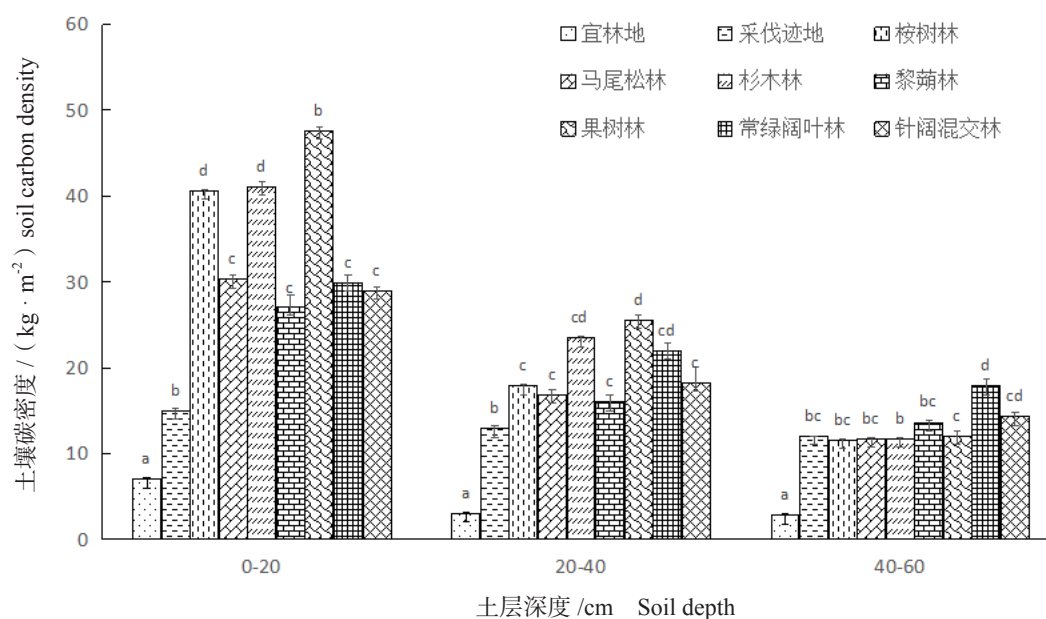


图 4 银盏林场不同植被类型下各土层碳密度

Fig.4 The soil carbon density in every soil layers under different forest types in Yin Zhan national forest farm

表 2 银盏林场土壤总碳密度
Tab. 2 The total soil carbon density in Yin Zhan national forest farm $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

林分类型 Forest types	总碳密度 Total carbon density	林分类型 Forest types	总碳密度 Total carbon density
宜林地 Suitable forestland	12.88 a	黎蒴林 <i>Castanopsis fissa</i>	56.77 c
采伐迹地 Cutover land	39.81 b	果树林 Fruit forest	88.19 g
桉树林 <i>Eucalyptus</i> forest	70.09 e	常绿阔叶林 Broad-leaved mixed forest	70.76 e
马尾松林 <i>Pinus</i> forest	58.90 c	针阔混交林 Mixed conifer	63.24 d
杉木林 Chinese fir forest	77.25 f		

注：不同字母表示不同林分类型下土壤总碳密度差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different letters indicate significant difference of the soil carbon density at 0.05 in every soil layers under different forest types

参考文献

- [1] SU J, ZHAO S W, MA J D, et al. Influence of man-made vegetation on carbon pool in southern Ningxia region in the Loes Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(3) : 50-52.
- [2] DIXON R K, SOLOMON A M, BROWN S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science, 1994, 263(5144): 185-190.
- [3] FANTAPPIE M, L'ABATE G, COSTANTINI E A C. The influence of climate change on the soil organic carbon content in Italy from 1961 to 2008[J]. Global Change Biology, 2002, 8(4): 345-360.
- [4] SCHLISINGER W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soil[J]. Nature, 1990, 348(15)232-234.
- [5] 徐桂林, 方晰, 田大伦, 等. 杉木林地不同更新方式土壤有机碳垂直分布及储量[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(3): 333-340.
- [6] 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.
- [7] 刘玲, 王海燕, 戴伟, 等. 李旭长白山东部4种林分类型土壤有机碳及养分特征研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 79-85.
- [8] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [9] 曾骏, 郭天问, 于显枫, 等. 长期施肥对土壤活动有机碳和谭库管理指数的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(4): 812-815.
- [10] 甘海华, 吴顺辉, 范秀丹. 广东土壤有机碳储量及空间分布特征[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9):1499-1502.
- [11] SLAM K R, WEIL R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh [J]. Agriculture, Ecosystem&Environment, 2000, 79(1):9-16.
- [12] 傅华, 陈亚明, 王彦荣, 等. 阿拉善主要草地类型土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2004, 24(3):469-476.
- [13] 周毅, 钟锡均, 郭乐东, 等. 不同土地利用形式下表土有机碳含量和密度特征的研究[J]. 广东林业科技, 2009, 25(6):1-7.
- [14] 王文静, 王百田, 吕钊, 等. 山西太岳山不同林分土壤有机碳储量研究[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 27(1):81-85.
- [15] 曹吉鑫, 孙向阳, 高程达, 等. 宁夏贺兰山三中植被下土壤有机碳密度的比较[J]. 生态环境, 2008, 17(4):1641-1644.
- [16] 舒洋, 周梅, 赵鹏武, 等. 兴安落叶松人工林土壤碳密度分布特征研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(6):44-52.
- [17] 王海燕, 雷相东, 张会儒, 等. 近天然落叶松云冷杉林土壤有机碳研究[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(3):11-16.
- [18] BATJES N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world [J]. European Journal of Soil Science, 1996, 47:151-163.
- [19] 刘玲, 王海燕, 杨晓娟, 等. 不同密度长白落叶松天然林土壤有机碳及养分特征[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(2):51-55.
- [20] 范跃新, 杨玉盛, 杨志杰, 等. 中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤火星有机碳含量及季节动态[J]. 生态学报, 2013, 33(18):5751-5759.
- [21] 周毅, 黎艳明, 郭乐东, 等. 蕉岭长潭省级自然保护区表土有机碳研究[J]. 广东林业科技, 2009, 25(5):1-7.