

## 杉木林采伐迹地的土壤有机碳分配特征

卢广超<sup>1</sup>, 薛 晔<sup>2</sup>, 薛 立<sup>1\*</sup>, 邵怡若<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学林学院, 广州 510642; 2. 浙江工业大学, 杭州 310023)

**摘 要:** 以杉木林采伐迹地为对象, 比较上坡、中坡和下坡的土壤碳分配以及 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 土层的土壤碳垂直分布, 研究了不同坡位和土层对固碳功能的影响。结果表明, 采伐迹地各土层的有机碳含量均为下坡>中坡>上坡, 各坡位的土壤有机碳含量均随土层深度的增加而减少。土壤有机碳密度为下坡>中坡>上坡, 随土层加深而减少, 0~20 cm 土层有机碳密度分别为 20~40 cm 和 40~60 cm 土层的 1.37 倍和 1.78 倍。

**关键词:** 土层; 坡位; 土壤有机碳; 杉木林; 采伐迹地

中图分类号: S714

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2014)01-0126-04

### Distribution characteristics of soil organic carbon in cutover land of a *Cunninghamia lanceolata* stand

LU Guangchao<sup>1</sup>, XUE Ye<sup>2</sup>, XUE Li<sup>1</sup>, SHAO Yiruo<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642; 2. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023)

**Abstract:** Taken cutover land of a *Cunninghamia lanceolata* stand as the research object, soil organic carbon in upper, middle and lower slope positions, 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm soil layers was studied. The results showed that soil organic carbon content in all soil layers was in the order of lower slope > middle slope > upper slope, and it decreased with increasing soil depth at each slope. The order of the soil organic carbon density was lower slope > middle slope > upper slope, and it decreased with increasing soil depth at each slope. The soil organic carbon density of 0-20 cm soil layer was 1.37 times and 1.78 times of 20-40 cm and 40-60 cm soil layers, respectively.

**Key words:** soil layer; slope position; soil organic carbon; *Cunninghamia lanceolata* stand; cutover land

工业革命以来, 由于世界人口的急剧增长和工业的高速发展, 大气中的 CO<sub>2</sub> 浓度已由工业革命前之 280 μmol·mol<sup>-1</sup> 上升到现在的 360 μmol·mol<sup>-1</sup>, 2050 年 CO<sub>2</sub> 浓度值将达到 550 μmol·mol<sup>-1</sup>[1]。大气中 CO<sub>2</sub> 浓度增加引起的全球气候变暖、降水格局改变和海平面上升等全球性问题, 威胁着全球生态环境和人类自身生存与发展, 因而引起国际社会普遍关注[1-2]。陆地生态系统的碳循环在调节大气 CO<sub>2</sub> 浓度中发挥重要作用[3], 其中森林占全球植被碳库的 86%以上[4]。土壤有机碳库是陆地生态系统碳库中最大的贮库[5], 为陆地植被碳库的近 3 倍, 是全球大气碳库的 2 倍, 因而在全球气候变化方面扮演着重要角色[6-8], 所以提高陆地生态系统特别是森林

土壤碳储量对缓解大气 CO<sub>2</sub> 升高及维持全球碳平衡具有举足轻重作用[3, 9]。

我国森林碳汇主要来自人工林的贡献[10]。杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是亚热带特有优良速生乡土用材树种, 也是我国南方集体林区是主要森林类型之一。我国学者对杉木林生态系统的碳储量进行了较多研究[11-12], 但对不同土层坡位的杉木林土壤碳储量的研究还鲜有报道[2]。不同质地的土壤因持水性能和所含粘粒比例不同而影响土壤有机碳的分布, 坡度、土层等地形因素在一定程度上影响土壤理化性质, 进而影响到植物生产力和凋落物归还量及其分解, 所以土壤有机碳的含量也就存在明显差异[13]。本试验对云勇林场不同坡位的杉木人工林

收稿日期: 2013-06-20

基金项目: 广东省林业局资助项目“财政支持公益林森林生态效益补偿机制问题研究”资助。

作者简介: 卢广超, 硕士研究生。E-mail: lugc200@163.com

\* 通信作者: 薛 立, 教授。E-mail: forxue@scau.edu.cn

迹地土壤的碳密度进行研究, 可以了解坡位和土层对杉木人工林土壤固碳功能的影响, 以期为杉木人工林管理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于广东省高明县的西南部, 东经  $112^{\circ}40'$ , 北纬  $22^{\circ}43'$ , 属于亚热带气候。气候温和, 年平均气温、最高气温和最低气温分别为  $22.0$ 、 $34.5$  和  $3.5^{\circ}\text{C}$ , 偶有霜冻。雨量充沛, 年降雨量平均达  $2000\text{ mm}$ , 集中在 4-8 月。地势属丘陵地带, 土壤为花岗岩发育的酸性赤红壤, 土层深厚<sup>[2]</sup>。试验地设在  $27^{\circ}$  坡地上, 坡向南偏西  $70^{\circ}$ 。原有林分为 10 年生杉木林。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 土壤容重和土壤有机碳含量测定** 2004 年 10 月对林分进行皆伐后, 将树干以外的采伐剩余物放置采伐迹地。2005 年 4 月中旬 (皆伐半年后), 分别在上坡、中坡和下坡各选择 3 个代表性土壤剖面, 分上层 ( $0\sim 20\text{ cm}$ )、中层 ( $20\sim 40\text{ cm}$ ) 和下层 ( $40\sim 60\text{ cm}$ ) 用环刀法测定土壤容重, 用五点混合采样法进行土壤取样。将土样带回实验室, 风干过筛保存 ( $2\text{ mm}$  目), 用重铬酸钾外加热法测定土壤有机碳含量。

**1.2.2 土壤有机碳密度的计算** 土壤有机碳密度按坡位 (上坡、中坡和下坡) 和土层 ( $0\sim 20\text{ cm}$ 、 $20\sim 40\text{ cm}$  和  $40\sim 60\text{ cm}$ ) 计算。土壤层第  $i$  土层有机碳密度 ( $\text{SOCD}_i$ ,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 计算公式为:

$$\text{SOCD}_i = \text{BD}_i \times T_i \times A_i \times 10^{-2}$$

式中  $\text{BD}_i$  为容重 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ );  $T_i$  为土层厚度 ( $\text{cm}$ );  $A_i$  为 C 含量 ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。

### 1.3 数据处理

数据统计分析和作图使用 Microsoft Excel 和 SAS 9.0 软件系统。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤容重

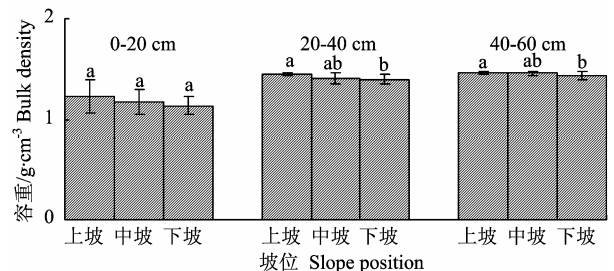
**2.1.1 不同坡位的土壤容重** 采伐迹地各土层中, 上坡的土壤容重大于中坡, 后者又大于下坡 (图 1)。其中,  $20\sim 40\text{ cm}$  和  $40\sim 60\text{ cm}$  土层的上坡土壤容重显著大于下坡 ( $P<0.05$ )。

**2.1.2 不同土层的土壤容重** 采伐迹地各坡位的土壤容重均随着土层加深而增加 (图 2), 且各坡位  $0\sim 20\text{ cm}$  土层的土壤容重均显著小于  $20\sim 40\text{ cm}$  与  $40\sim 60\text{ cm}$  土层 ( $P<0.05$ ), 后二者无显著差异。

## 2.2 土壤有机碳含量

**2.2.1 不同坡位的土壤有机碳含量** 采伐迹地各土层中, 上坡的土壤有机碳含量均小于中坡, 而后者又小于下坡 (图 3)。其中  $0\sim 20\text{ cm}$  土层中, 上、中、下坡的土壤有机碳含量分别为  $22.16$ 、 $23.48$  和  $23.97\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。  $20\sim 40\text{ cm}$  土层中, 下坡位的土壤有机碳含量为  $17.76\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  显著高于上坡的  $11.41\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和中坡位的  $13.24\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $P<0.05$ )。  $40\sim 60\text{ cm}$  土层中, 下坡位的土壤有机碳含量为  $12.08\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  显著高于上坡的  $9.85\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和中坡位的  $9.96\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $P<0.05$ )。

**2.2.2 不同土层的土壤有机碳含量** 采伐迹地各坡位的土壤有机碳含量均随土层深度的增加而减少 (图 4)。上坡的  $0\sim 20\text{ cm}$  土层的土壤有机碳含量为  $22.16\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 显著高于  $20\sim 40\text{ cm}$  与  $40\sim 60\text{ cm}$  土层的  $11.41$  和  $9.85\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  ( $P<0.05$ )。中坡的上、中、下土层的土壤有机碳含量分别为  $23.48$ 、 $13.24$  和  $9.96\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 各土层间显著差异 ( $P<0.05$ )。下坡的上、中、下土层土壤有机碳含量分别为  $23.97$ 、 $17.76$  和  $12.08$ , 各土层间显著差异 ( $P<0.05$ )。



图中 a、b、c 为多重比较结果, 字母相同表示差异不显著 ( $P<0.05$ )。下同

a, b and c in the figure represent multiple comparison results, and the same letter means no significant difference at the 0.05 level. The same below

图 1 不同坡位的土壤容重

Figure 1 Soil bulk density of different slope position

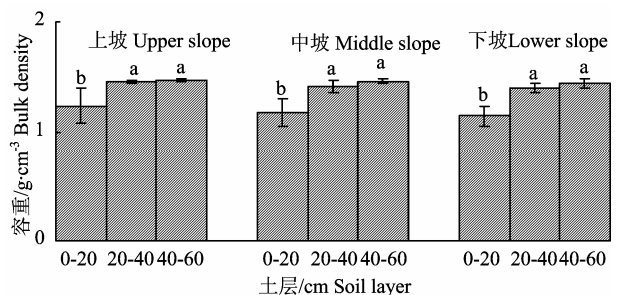


图 2 不同土层的土壤容重

Figure 2 Soil bulk density of different soil layers

### 2.3 土壤有机碳密度

**2.3.1 不同坡位的土壤有机碳密度** 采伐迹地  $0\sim$

20 cm 土层中, 上、中、下坡的土壤有机碳密度分别为 5.48, 5.51 和 5.47 kg·m<sup>-2</sup>, 坡位间差异不明显(图 5)。20~40 cm 与 40~60 cm 土层中, 上坡的土壤有机碳密度均小于中坡, 中坡又显著小于下坡 ( $P<0.05$ )。20~40 cm 土层中, 下坡的土壤有机碳密度分别为上坡的 1.51 倍, 下坡的 1.33 倍。40~60 cm 土层中, 下坡的土壤有机碳密度分别为上坡的 1.2 倍, 下坡的 1.19 倍。

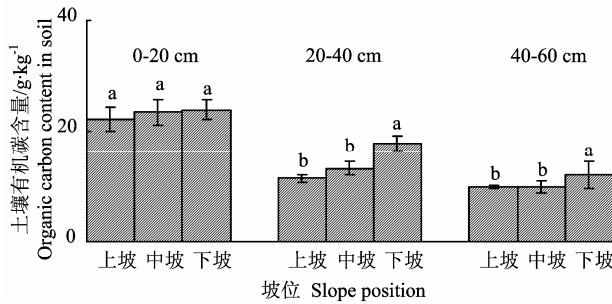


图 3 不同坡位的土壤有机碳含量

Figure 3 Organic carbon contents in soil from different slope position

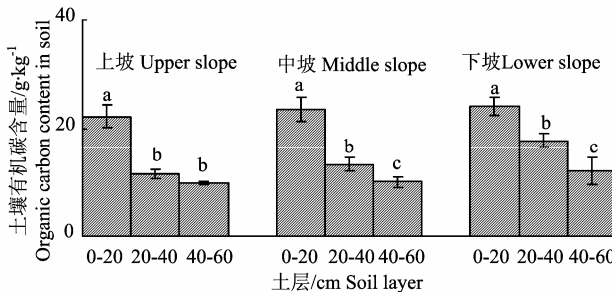


图 4 不同土层的土壤有机碳含量

Figure 4 Soil organic carbon content of different soil layers

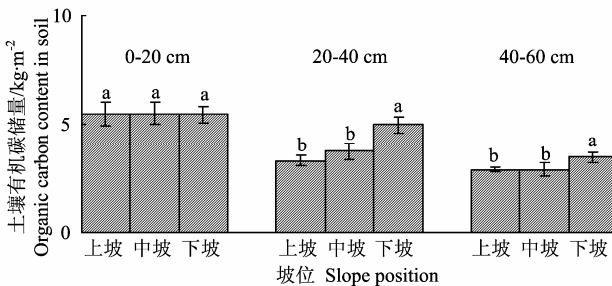


图 5 不同坡位的土壤有机碳密度

Figure 5 Soil organic carbon density of different slope position

**2.3.2 不同土层的土壤有机碳密度** 采伐迹地各坡位的土壤有机碳密度均随土层加深度而减少(图 6)。其中, 上坡的 0~20 cm 土层的土壤有机碳密度显著大于 20~40 cm 与 40~60 cm 土层, 中坡各土层间的土壤有机碳密度差异显著, 下坡的 0~20 cm 和

20~40 cm 土层的土壤有机碳密度显著大于 40~60 cm 土层 ( $P<0.05$ )。

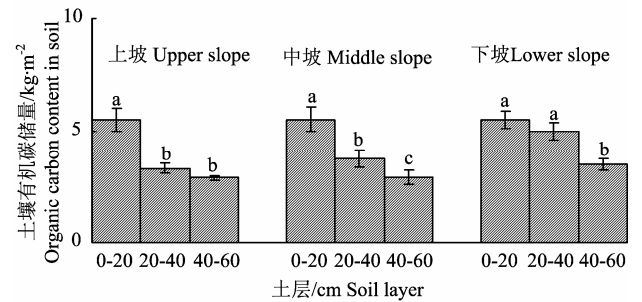


图 6 不同土层的土壤有机碳密度

Figure 6 Soil organic carbon density of different soil layers

### 3 小结与讨论

土壤中的有机碳储量是进入土壤的生物残体(包括植物、动物及微生物的遗体、排泄物、分泌物及其部分分解产物和土壤腐殖质)等有机物质的输入与以土壤微生物分解作用为主的有机物质损失之间的平衡<sup>[14-15]</sup>, 土壤有机碳库的动态变化主要取决于植物凋落物的归还量和枯枝落叶的分率, 以及土壤生物的呼吸速率和土壤表层的流失量<sup>[13]</sup>。因此, 土壤有机碳储量与气候、植被、地形和人类活动等变量密切相关<sup>[14]</sup>。在采伐迹地的土壤垂直剖面上, 土壤有机碳密度与其含量变化规律相似, 即随着土壤深度的增加而递减。

土壤有机碳处于不断分解与积累的动态过程中, 因此土壤有机碳是生态系统在特定条件下的动态平衡, 土壤理化性质、土壤微生物活性与土壤有机碳的关系密切<sup>[16]</sup>。在 0~60 cm 土层内, 下坡的碳密度最高, 中坡次之, 上坡最低, 这与孟莹的研究结果一致<sup>[17]</sup>。在适当的海拔范围内, 坡位是影响土壤的关键因子。上坡容易水土流失, 从上坡到下坡, 土壤逐渐由剥蚀过渡为堆积, 所以下坡比上中坡的土层厚, 有机质含量也有所增加<sup>[2]</sup>。另外, 与上中坡相比, 下坡的林分生长快, 凋落物数量大, 采伐迹地的枯枝落叶层现存量较大, 导致有机碳的输入量大。下坡的杉木林凋落物较多, 为林地输送较多的腐殖质, 会促使土壤微生物和土壤动物活跃, 从而加速枯枝落叶层的有机质分解, 促进有机质在土壤中的迁移, 这可能是下坡土壤的有机碳密度高于上中坡的主要原因。有研究表明, 土壤容重与森林土壤有机碳有极显著关系, 随着容重的增大, 有机碳含量有明显减小趋势<sup>[13]</sup>。与下坡相比, 上、中坡各土层土壤容重高而有机碳含量低, 是下坡较深层土壤的有机碳密度高于上中坡的原因。

采伐迹地 0~60 cm 土层内, 0~20 cm 的碳密度最高、20~40 cm 次之, 40~60 cm 土层最低, 这与王艳霞对杉木和马尾松<sup>[18]</sup>, 刘姝媛等对桉树<sup>[19]</sup>和黄从德等对四川森林<sup>[20]</sup>的研究结果一致。森林土壤表层土壤的有机碳主要来源于凋落物的分解与积累<sup>[2]</sup>, 凋落物主要集中地表, 且地表通气性好有利于微生物活动进行腐殖化过程, 促进有机碳积累, 而深层土壤有机质最主要的补充途径则是根系分泌物<sup>[2,19]</sup>。凋落物分解释放的有机质进入土壤的数量随着土层加深而减少, 同时林木的生长需要通过根系从深层土壤中吸收养分<sup>[21]</sup>, 造成土壤有机碳含量随着土层深度的增加而降低。

土壤碳密度的研究有助于揭示土壤碳对全球变化响应的时、空、方式及规模, 有助于正确评估土壤碳的变化方向和速率<sup>[5, 22-23]</sup>。有关土壤碳密度研究的不足严重影响对陆地生态系统碳循环的理解和全球气候变化的预测, 因此在全球范围内开展土壤碳循环及其平衡的研究意义重大<sup>[1]</sup>。研究不同的地形因子下人工林土壤碳密度的分配特征, 有助于了解现有人工林的储碳状况, 为人工造林增加碳储量提供科学的依据。

## 参考文献:

- [1] 方运霆, 莫江明, Brown S, 等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 135-142.
- [2] 薛立, 薛晔, 列淦文, 等. 不同坡位杉木林土壤碳储量研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6): 43-47.
- [3] Houghton R A, Skole D L, Nobre C A. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon [J]. Nature, 2000, 403: 301-304.
- [4] 焦燕, 胡海清. 黑龙江省森林植被碳储量及其动态变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2248-2252.
- [5] 刘留辉, 邢世和, 高承芳, 等. 国内外土壤碳储量研究进展和存在问题及展望[J]. 土壤通报, 2009, 40(3): 497-501.
- [6] 张勇, 史学正, 赵永存, 等. 滇黔桂地区土壤有机碳储量与影响因素研究[J]. 环境科学, 2008, 29(8): 2314-2319.
- [7] Schlesinger W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils [J]. Nature, 1990, 348(15): 232-234.
- [8] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change [J]. Geoderma, 2004, 123(1-2): 1-22.
- [9] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem [J]. Science, 1994, 262(5144): 185-190.
- [10] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义[J]. 植物学报, 2001, 43(9): 967-973.
- [11] 方晰, 田大伦, 项文化. 速生阶段杉木人工林碳素密度、贮量和分布[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 14-19.
- [12] 田大伦, 方晰, 项文化. 湖南会同杉木人工林生态系统碳素密度[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2382-2386.
- [13] Jobbagy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation [J]. Ecological Applications, 2000, 10: 423-436.
- [14] 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.
- [15] 何志斌, 赵文智, 刘 鹄, 等. 祁连山青海云杉林斑表层土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2572-2577.
- [16] 孟蕾. 子午岭人工油松林碳储量与碳密度研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [17] 孟莹. 小流域尺度下土壤有机碳储量估算与空间分布特征研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [18] 王艳霞. 福建主要人工林生态系统碳贮量研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [19] 刘姝媛, 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.
- [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): 1817-1825.
- [21] 魏文俊, 王兵, 白秀兰. 杉木人工林碳密度特征与分配规律研究[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(1): 73-80.
- [22] 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.
- [23] Batjes N H. Options for increasing carbon sequestration in West African soils: An exploratory study with special focus on Senegal[J]. Land Degradation & Development, 2001, 12(2): 131-142.