不同坡位杉木林土壤碳储量研究

薛 立[1], 薛 晔[2], 列淦文[1], 叶龙华[1], 黄香兰[1]
(1. 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642; 2. 浙江工业大学, 浙江 杭州 310023)

摘 要: 通过实地调查取样和室内实验测定,比较了上坡和下坡杉木的土壤碳库及其垂直分布差异,研究了坡位对杉木人工林固碳功能的影响。结果表明,杉木上坡和下坡的枯枝落叶层有机碳贮量分别为 0.9 和 1.1 t/hm^2,坡下的枯枝落叶层有机碳贮量较坡上高出 32%。坡上和坡下的土壤有机碳贮量分别为 149.9 和 174.2 t/hm^2, 且表层(0—40 cm)碳贮量分别占整个碳贮量(0—100 cm)的 55%和 56%。上坡和下坡的土壤有机碳含量和贮量随土层深度的加深而递减,各土层的有机碳含量和贮量均表现为下坡高于上坡。

关键词: 土壤有机碳; 杉木; 坡位
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2012)06-0043-04 **中图分类号**: S714

Soil Organic Carbon Storage on Different Slope Positions in *Cunninghamia Lanceolata* Stands

XUE Li[1], XUE Ye[2], LIE Gan-wen[1], YE Long-hua[1], HUANG Xiang-lan[1]
(1. *College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong* 510642, *China*; 2. *Zhejiang University of Technology, Hangzhou, Zhejiang* 310023, *China*)

Abstract: Based on the field investigation and laboratory analysis, soil organic carbon was compared between upper and lower slope positions of *Cunninghamia lanceolata* stands with the aim of understanding the effects of slope position on carbon fixation of *Cunninghamia lanceolata* stands. The results showed that organic carbon storage of litter layer were 0.9 and 1.1 t/hm^2 in upper-slope and lower-slope, respectively, indicating a 32% increase from the former to the latter. Soil organic carbon storage was 149.9 and 174.2 t/hm^2, respectively, in the upper-slope and lower-slope. The surface(0—40 cm) layers accounted for 55% and 56% of the total carbon storage(0—100 cm) for upper and lower slopes, respectively. Organic carbon contents decreased with increasing soil depths in both upper and lower slopes. In each layer, the content and storage of organic carbon of the upper slope were greater than those of the lower slope.

Keywords: soil organic carbon; *Cunninghamia lanceolata*; slope position

大气中 CO_2 浓度增加引起的全球气候变暖已成为当今世界关注的重大环境问题[1]。森林储存了陆地生态系统中 50%～60%和土壤碳库的 70%～73%的碳,在缓解大气 CO_2 升高及调节全球气候方面具有举足轻重作用[2]。全球以低纬度地区森林碳储量最高[3],我国森林碳汇主要来自人工林的贡献[4]。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国重要的人工林之一,其面积达 1.23×10^7 hm^2,占我国人工林面积的 26.55%,蓄积量达人工林的 46.89%,在我国森林生态系统碳平衡中发挥着重要的作用[5],因此研究杉木林的碳储量特别重要。我国学者对杉木林生态系统的碳储量进行了较多研究[5-13],但对不同坡位的杉木林土壤碳储量的研究还鲜有报道。通过对云勇林场不同坡位的杉木人工林土壤和枯落物层的碳储量特征进行研究,可以了解坡位对杉木人工林固碳功能的影响,对于杉木人工林的经营与管理具有一定的参考价值。

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°40′,北纬 22°43′,属于亚热带气候。气候温和,年平均气温、

收稿日期:2012-01-17 修回日期:2012-02-24
资助项目:广东省林业局项目"林分改造优良乡土阔叶树种筛选"(4400-F02084)
作者简介:薛立(1958—),男(汉族),湖南省桃江县人,博士,教授,主要从事森林土壤、森林培育和生态学方面的研究。Email:forxue@scau.edu.cn。

最高气温和最低气温分别为 22.0,34.5 和 3.5 ℃,偶有霜冻。雨量充沛,年降雨量平均达 2 000 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[14]。

试验林为 13 年生杉木人工林,样地海拔 235～265 m,坡长约 100 m,主要林下植物为乌蕨(*Stenoloma chusanum*)、铁线蕨(*Adiantum capillus-veneris*)和金毛狗(*Cibotium barometz*),林分平均冠层厚度约6 m,郁闭度0.9。试验林的基本特征详见表 1。

表 1 杉木试验林的基本特征

坡 位	坡 向	坡度/(°)	林龄/a	密度/(株·hm^{-2})	平均胸径/cm	平均树高/m
坡 上	NE60°	35	10	2 500	17.8	17.1
坡 下	NE60°	35	10	2 500	19.2	17.9

1.2 研究方法

1.2.1 土壤和枯枝落叶层采样及有机碳含量测定 2008 年 4 月,在上坡和下坡林分中分别建立 3 个 20 m×20 m 标准样地,在每个标准样地内按 S 形选择 5 个代表性土壤剖面,分层(0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm,40—50 cm,50—60 cm,60—70 cm,70—80 cm,80—90 cm,90—100 cm)测定土壤容重,并采集土样用于测定有机碳含量;在每个标准地布设 5 个 1 m×1 m 小样方,收集地表枯枝落叶,并分别取样用于测定干重和有机碳含量。土壤容重(BD)测定采用环刀法;土壤和枯枝落叶层的有机碳采用重铬酸钾容量法测定。

1.2.2 土壤有机碳贮量的计算 土壤有机碳贮量分别按各土层(0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm,40—50 cm,50—60 cm,60—70 cm,70—80 cm,80—90 cm,90—100 cm)和枯枝落叶层计算。每 1 hm^2 的矿质土壤层第 i 土层有机碳贮量(w_i)计算公式为:

$$w_i = BD_i \cdot T_i \cdot S \cdot A_i$$

式中:BD_i——容重(g/cm^3);S——面积(hm^2);T_i——土层厚度(cm);A_i——C 含量(g/kg)。枯枝落叶层的有机碳贮量则为枯枝落叶层干重和其有机碳含量的乘积。

2 结果和分析

2.1 土壤容重的变化

杉木林上坡 0—40 cm 土层的土壤容重随着土壤深度增加而增大,40—100 cm 的土壤容重保持相对稳定(图 1);下坡 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的土壤容重相近,约为 1.10 g/cm^3,20—30 cm 土层显著增加到 1.26 g/cm^3($p<0.05$),然后小幅增加并保持稳定。

上坡各土层的土壤容重均大于下坡,其中 0—60 cm 土层中各层的土壤容重显著大于下坡($p<0.05$),60—100 cm 土层中各层的土壤容重与后者无显著差异(图 2),说明上坡的土体紧实,土壤通气性差。

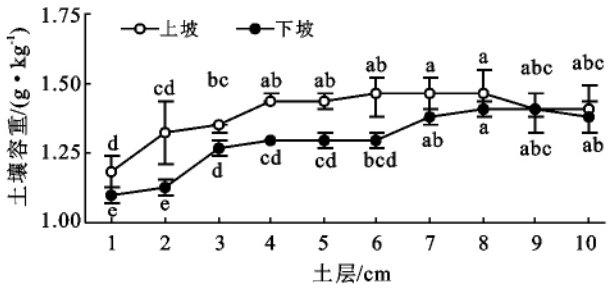


图 1 不同坡位杉木林的土壤容重

注:土层编号 1—10 分别代表 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm,40—50 cm,50—60 cm,60—70 cm,70—80 cm,80—90 cm,90—100 cm 土层。下同。图中不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

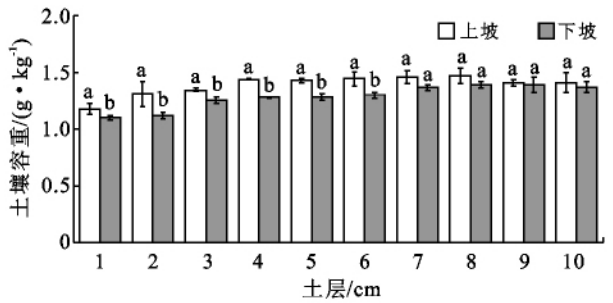


图 2 不同坡位相同土层深度的杉木林土壤容重比较

2.2 土壤有机碳的含量

杉木林上坡和下坡的土壤有机碳含量随土层加深而递减(图 3)。随土层深度的加深,上坡 0—10 cm 土层的土壤有机碳从 23.22 g/kg 显著下降到 30—40 cm 土层的 10.29 g/kg($p<0.05$),然后缓慢下降;下坡从 0—10 cm 土层的 28.51 g/kg 显著下降到 40—50 cm 土层的 11.50 g/kg($p<0.05$),此后下降幅度趋缓。

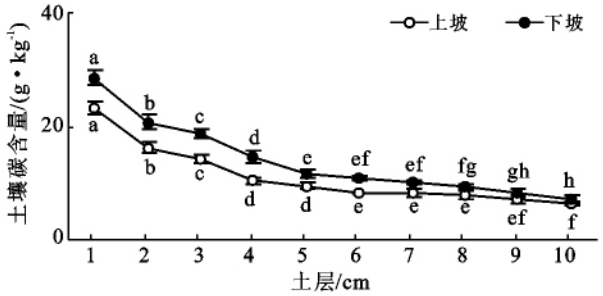


图 3　不同坡位杉木林的土壤碳含量

在 0—100 cm 各土层的有机碳含量均是坡下显著高于上坡($p<0.05$);0—10 cm,10—20 cm 和 20—30 cm 土层分别高出 23%,28%和 31%;30—40 cm 土层相差最大,高达 42%(图 4)。随着土层加深,二者的差值减少,在 18%～31%之间。

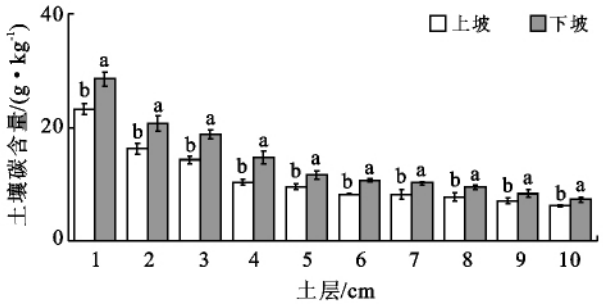


图 4　不同坡位同土层的杉木林土壤碳含量比较

2.3　土壤有机碳储量

在 0—100 cm 土层内,杉木林上坡和下坡的土壤有机碳储量随土层深度的加深而递减(图 5)。其中,表层土壤有机碳储量降幅最大,从 0—10 cm 到 10—20 cm 土层,上坡土壤有机碳储量从 27 t/hm² 下降到 21 t/hm²,降幅为 23%,下坡土壤有机碳储量从 31 t/hm² 下降到 23 t/hm²,降幅为 26%。上坡 20—30 cm,30—40 cm,40—50 cm 各土层的土壤有机碳储量分别为 0—10 cm 土层的 70%,54%和 50%,此后随着土层加深,土壤有机碳储量最后下降到 0—10 cm 土层的 32%。下坡 20—30 cm,30—40 cm,40—50 cm 各层的土壤有机碳储量分别为 0—10 cm 的 75%,60%和 47%,在 60—100 cm 土层,下坡和上坡的土壤有机碳含量变化幅度相对一致,变化比较平缓,最后均下降到 0—10 cm 土层土壤有机碳含量的 32%。

各土层有机碳储量均表现为下坡高于上坡,0—10 cm,10—20 cm 和 30—40 cm 土层的有机碳储量均表现出下坡高出上坡 4 t/hm²,其余各层高出 1～2 t/hm²。从百分比看,0—10 cm,10—20 cm 和 20—30 cm 层分别高出 14%,9%和 22%。30—40 cm 层相差最大,高达 27%,40—50 cm 层高 9%,60—100 cm 土层各层相差 15%～18%)。

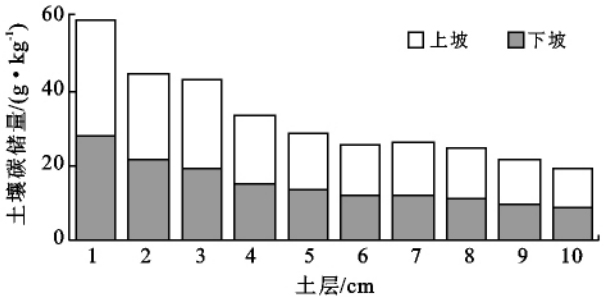


图 5　不同坡位杉木林的土壤碳储量

2.4　林地有机碳贮量及其垂直分布

上坡和下坡枯枝落叶层的有机碳储量分别为0.9 和 1.1 t/hm²,下坡为上坡的 1.31 倍。0—100 cm 土层的土壤有机碳储量分别为 149.9 和 174.2 t/hm²,下坡为上坡的 1.16 倍。上坡和下坡土壤有机碳储量分别占林地有机碳贮量的 99.4%和 99.2%。下坡的枯枝落叶层和土壤的有机碳储量分别为上坡的 1.3 和 1.2 倍。上坡和下坡 0—40 cm 土层中各层的碳贮量所占其总碳贮量的比例均大于 10%,40—100 cm 土层各层的碳贮量所占比例在 6%～9%之间,上坡和下坡 0—40 cm 土层的碳贮量分别占其土壤总碳储量的 55%和 56%。

3　结 论

森林凋落物积累在土壤表面构成土壤的枯枝落叶层,因而凋落物数量和碳含量决定了枯枝落叶层碳贮量。由于上坡和下坡杉木凋落物碳含量大体接近(凋落物碳与凋落物干重的重量比例分别为 43.6%和 45.1%),杉木林上坡的凋落物量显著低于下坡,因此其碳贮量也就低于坡下。

杉木林上坡和下坡土壤碳库碳贮量(0—100 cm)分别达到 149.9 和 174.4 t/hm²。0—70 cm 土层的上坡和下坡土壤碳库碳贮量分别为 120 和 139 t/hm²,高于豫南地区杉木林的土壤碳贮量(107.21～119.80 t/hm²,0—75 cm 土层)[5];0—60 cm 土层的上坡和下坡土壤碳库碳贮量分别为 108 和 125 t/hm²,也高于会同地区杉木林的土壤碳贮量(91.14 t/hm²,0—60 cm 土层)[6],但是低于中国森林土壤平均碳贮量(193.55 t/hm²)[15]。云勇林场地处南亚热带,热量充足。试验林地位于山谷,雨水充沛、湿度大、土壤深厚。充足的水热使凋落物分解释放加快,有利于土壤碳素的积累[16]。另一方面,与其他树种特别是与阔叶树种相比,杉木叶片的角质层阻碍叶片

软组织分解，凋落物中难分解的木质素、单宁、蜡质等物质含量较高[17]，凋落时叶片和小枝一起脱落，难以紧贴地表，影响了凋落物分解。所以杉木林的碳贮量低于中国森林土壤平均碳贮量。

杉木林土壤有机碳含量随着土层深度的增加而降低，0—40 cm 土层的土壤有机碳含量变化较大，40—100 cm 土层变化较小，这与方晰等[18-19]研究湖南 18 年生樟树林和 10 年生杉木人工林土壤得到的结果相同，其原因是地表凋落物的分解和表层细根分布较多所致。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，深层土壤有机质最主要的补充途径则是根系分泌物。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[5]，造成土壤有机碳含量随着土层深度的增加而降低。

上坡各层的土壤有机碳含量显著大于下层，二者间的差异随着土层深度的增加而降低。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，所以下坡比上坡的土层厚，有机质含量也有所增加[20-22]。另外，与上坡相比，下坡的林分生长快，凋落物数量大，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运移，这可能是下坡较深层土壤的有机碳含量高于上坡的主要原因。由于有机质向土壤中的运移过程中逐渐减少，加上林分细根生物量均随土壤深度增加而减少，所以不同坡位 0—40 cm 土层的土壤有机碳含量差异大，40—60 cm 土层差异较小。

[参 考 文 献]

[1] Reay D S. Climate change for the masses[J]. Nature, 2008,452(31):31.

[2] 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.

[3] Woodwell G M, Whittaker R H, Reiners W A, et al. Biota and world carbon budget[J]. Science, 1978, 199(4326):141-146.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 尉海东，马祥庆. 中亚热带不同发育阶段杉木人工林生态系统碳贮量研究[J]. 江西农业大学学报，2006，28(2)：242-247.

[9] 罗云建，张小全. 多代连栽人工林碳贮量的变化[J]. 林业科学研究，2006，19(6)：791-798.

[10] 肖复明，范少辉，汪思龙，等. 毛竹(*Phyllostachy pubescens*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林生态系统碳贮量及其分配特征[J]. 生态学报，2007，27(7)：2974-2801.

[11] 钟羡芳，杨玉盛，高人，等. 老龄杉木人工林生态系统碳库及分配[J]. 亚热带资源与环境学报，2008，3(2)：11-18.

[12] 何斌，吴庆标，黄秀英，等. 杉木二代林生态系统碳素积累的动态特征[J]. 东北林业大学学报，2009，37(7)：36-38.

[13] 邓华平，李树战，何明山，等. 豫南不同年龄杉木林生态系统碳贮量及其空间动态特征[J]. 中南林业科技大学学报，2011，31(8)：83-90，95.

[14] 薛立，吴敏，徐燕，等. 几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究[J]. 土壤学报，2005，42(6)：1017-1023.

[15] 周玉荣，于振良，赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J]. 植物生态学报，2000，24(5)：518-522.

[16] 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.

[17] 杨玉盛. 不同栽杉代数林分生物量的研究[J]. 东北林业大学学报，1999，27(4)：9-12.

[18] 雷丕锋，项文化，田大伦，等. 樟树人工林生态系统碳素贮量与分布研究[J]. 生态学杂志，2004，23(4)：25-30.

[19] 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]. 浙江林学院学报，2004，21(4)：418-423.

[20] 薛立，赖日石，陈红跃，等. 深圳宝安区生态风景林典型造林地土壤养分、微生物和酶活性的研究[J]. 林业科学研究，2002，15(2)：242-246.

[21] 薛立，赖日石，陈红跃，等. 不同坡位造林地酶活性与土壤养分的关系[J]. 土壤通报，2002，32(4)：278-280.

[22] 薛立，薛晔，吴敏，等. 不同坡位的火力楠林土壤肥力变化特征[J]. 水土保持通报，2011，31(6)：52-54.