

# 不同林龄桉树人工林土壤有机碳的变化

王纪杰<sup>1</sup>, 鲍爽<sup>1</sup>, 梁关峰<sup>2</sup>, 俞元春<sup>3\*</sup>

(1. 四川省林业调查规划院, 四川成都 610081; 2. 南京市江宁区古里街道财政所, 江苏 江宁 211164;  
3. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 对不同林龄的桉树人工林土壤有机碳的剖面分布特征进行了研究。结果显示, 桉树人工林土壤总有机碳、易氧化态有机碳和稳定态有机碳含量均随土层深度的增加而减小。随林龄的增加呈现先增加后减小的折线变化, 土壤总有机碳和易氧化态有机碳含量 4 a 时最大, 二者正相关性极强; 稳定态有机碳在 2 a 最大, 4 a 时下降幅度最大, 与 pH 值呈极显著负相关关系。说明 4 a 桉树林地土壤养分含量最高, 根系对稳定态有机碳的转化量最大。桉树根系可伸入 1 m 的土层吸收利用稳定态有机碳, 反应其较强的吸收利用养分的能力, 同时也降低了土壤碳汇稳定性。

**关键词:** 桉树人工林; 土壤总有机碳; 易氧化有机碳; 稳定态有机碳; 相关性

中图分类号: S163.6 文献标识码: A 文章编号: 1003-5508(2015)04-0018-04

## Changes of Soil Organic Carbon in Different-aged *Eucalyptus* Plantations

WANG Ji-jie<sup>1</sup> BAO Shuang<sup>1</sup> LIANG Guan-feng<sup>2</sup> YU Yuan-chun<sup>3\*</sup>

(1. Sichuan Forest Inventory and Plan Institute, Chengdu 610081, China;  
2. Nanjing Jiangning District Guli Street Finance, Jiangning 211164, China;  
3. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** In this paper, studies were made of soil organic carbon in different-aged *Eucalyptus* plantations. The results showed that the content of soil organic carbon, readily oxidized organic carbon and chemical recalcitrant organic carbon decreased with the increase of soil depth. And along with the increase of the forest age, they first increased, and then decreased, displaying a broken-line change. The soil organic carbon and readily oxidized organic carbon had the maximum contents at the age of four, and had a very significantly positive correlation. Stable organic carbon reached the maximum at the age of two, and but had a maximum decrease extent at the age of four. This index had a highly significant negative correlation with pH. It meant that the soil quality aged 4 was the best in *Eucalyptus* plantations, and the maximum was the transformation amount of their stable organic carbon. Root systems of *Eucalyptus* could absorb chemical stable organic carbon under 1 m thick soil, exhibiting the root's great ability of absorbing nutrients, and also decreasing the stability of soil carbon sequestration at the same time.

**Key words:** *Eucalyptus* plantations, Soil organic carbon, Readily oxidized organic carbon, Chemical stable organic carbon, relativity

森林土壤总有机碳的变化对全球碳循环有着极其重要的影响, 是营养元素生物地球化学循环的主要组成部分, 其质量和数量影响着土壤的物理、化学

和生物特征及其过程, 影响和控制着植物初级生产量, 是土壤质量评价和土地可持续利用管理中必须考虑的重要指标<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2015-04-30

基金项目: 林业科技成果国家级推广项目、国家林业公益性行业科研专项(200804040)。

作者简介: 王纪杰(1981-), 女, 博士, 工程师, 主要从事森林土壤研究及林业调查规划设计。E-mail: kxxbs2015@126.com, 13880673057。

通讯作者: 俞元春(1961-), 男, 博士, 教授, 主要从事森林土壤研究。E-mail: ycyu@njfu.com.cn, (025)85428810, 13951010679。

研究表明,不同森林植被类型和林地经营历史影响土壤有机碳库的储量及有机碳剖面分布规律<sup>[2]</sup>,受人类活动影响较大的人工林造林也会导致土壤碳库的巨大变化<sup>[3]</sup>;近年来发展迅速、种植面积较大的桉树人工林土壤有机碳的变化对全球碳循环有着重要的影响<sup>[4]</sup>。为此,本文对福建省漳州市岩溪林场不同林龄的桉树人工林土壤总有机碳、易氧化态有机碳和稳定态有机碳含量及其剖面分布特征进行了研究,旨在为桉树人工林的可持续利用,提高经营与管理水平,增强桉树人工林生态系统的碳汇功能提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区设在福建省漳州市岩溪林场(117°45'5"E, 24°27'24"N),属于亚热带海洋性季风气候,年均温 21℃,最热月月均温 38℃,最高温 41℃,最低温 0℃,年积温 7 701.5℃,无霜期 330 d,年降雨量

1 400 mm,主要集中在 3 月~6 月。试验地海拔 200 m~300 m,坡度 20°~24°,坡向南坡,土壤为发育自花岗岩风化坡积和残积母质的赤红壤和山地红壤,pH 值 4.0~4.8,土层厚度 >100 cm。林下植被主要有铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)、五节芒(*Miscanthus floridulus* (Labill.) Warb.)、山乌桕(*Sapium discolor* (Champ.) Muell. Arg.)等。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样品采集

2009 年 10 月在福建省漳州市岩溪林场选择立地条件基本一致的 0.3 a、2 a、4 a、6 a 桉树人工林地 4 块,其前作为杉木林,伐后次年 2 月炼山整地,3 月造林,连续 2 a 抚育追肥。每块样地内设 3 个采样点按照 0~5 cm、5 cm~10 cm、10 cm~20 cm、20 cm~30 cm、30 cm~40 cm、40 cm~60 cm、60 cm~80 cm 和 80 cm~100 cm 的分层方式,分别分层用环刀和取土器采集土样,样品按需处理后测定土壤容重、pH、粘粒含量以及各形态碳。各样地基础指标见表 1。

表 1 不同林龄的土壤 pH 值、容重和粘粒含量  
Table 1 Soil pH, bulk density and clay content at different forest ages

土层 (cm)	0.3 a			2 a			4 a			6 a		
	pH (H <sub>2</sub> O)	容重 (g·cm <sup>-3</sup> )	粘粒 (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	容重 (g·cm <sup>-3</sup> )	粘粒 (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	容重 (g·cm <sup>-3</sup> )	粘粒 (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	容重 (g·cm <sup>-3</sup> )	粘粒 (%)
0~5	4.52	1.19	49.03	3.95	1.16	21.72	4.44	1.22	24.96	4.75	1.34	24.34
5~10	4.18	1.25	43.21	4.23	1.17	26.54	4.34	1.33	26.66	4.44	1.27	24.53
10~20	4.25	1.39	38.70	4.24	1.41	10.19	4.18	1.41	24.3	4.47	1.29	25.16
20~30	4.33	1.37	34.11	4.26	1.43	30.99	4.16	1.34	24.79	4.34	1.34	19.01
30~40	4.29	1.55	32.41	4.3	1.36	17.53	4.22	1.53	19.71	4.4	1.28	14.01
40~60	4.25	1.54	30.14	4.4	1.5	30.31	4.52	1.42	20.39	4.37	1.36	18.23
60~80	4.39	1.54	30.11	4.43	1.32	30.89	4.64	1.4	13.47	4.79	1.46	21.46
80~100	4.37	1.54	18.62	4.63	1.34	28.07	4.63	1.45	11.95	4.66	1.45	17.95

#### 1.2.2 样品分析

土壤样品分析的项目有土壤总有机碳、易氧化态有机碳、稳定态有机碳和矿质结合态碳。土壤总有机碳采用重铬酸钾外加热氧化-硫酸亚铁滴定法<sup>[5]</sup>;土壤易氧化态有机碳是利用高锰酸钾溶液比色法<sup>[6]</sup>;土壤稳定态有机碳是利用 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 氧化法<sup>[7]</sup>;土壤矿质结合态有机碳是利用 10% 的 HF 法<sup>[8]</sup>。数据分析采用 EXCEL 2013、SPSS16.0, Origin 8.5 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤总有机碳

土壤总有机碳主要来源于动植物的死腐物、枯

落物以及根系等的分泌脱落物。由图 1 可以看出,土壤总有机碳随土层深度的增加而降低,80 cm~100 cm 较 0~5 cm 有机碳下降按林龄依次下降 84.30%、83.69%、69.83% 和 71.84%;0~5 cm 表现为 2 a>0.3 a>4 a>6 a;0~100 cm 层内平均土壤总有机碳含量表现为 4 a>2 a>6 a>0.3 a。说明炼山整地等大幅度人工扰动使土壤总有机碳含量降低<sup>[9]</sup>,幼龄期桉树需肥量相对较少,桉树种植后的施肥抚育措施使土壤总有机碳短期内积累,随桉树林枯落物的逐年增加,有机碳含量在 4 a 达到最大,后因桉树林的迅速生长需肥量增加而导致有机碳含量逐渐下降,说明桉树生长对养分消耗量较大。这与樊后保等<sup>[10]</sup>对土壤养分的研究结果一致。

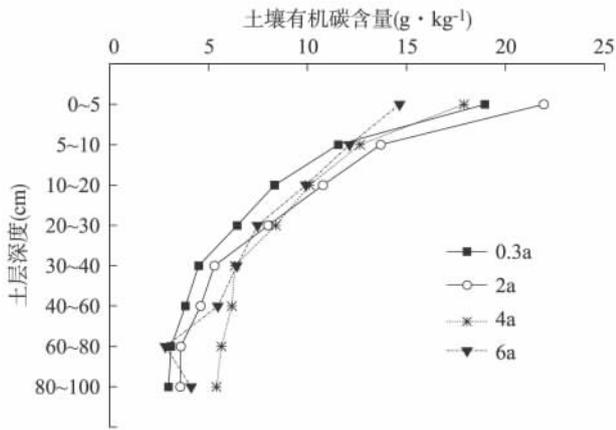


图1 不同林龄土壤有机碳随土层深度的变化

Fig.1 Changes of soil organic carbon along with soil depth at different forest ages

2.2 土壤易氧化态有机碳

土壤易氧化态有机碳是土壤的活性有机碳库,是土壤养分的重要来源,主要是指土壤中结构相对简单而化学活性较强的有机化合物,易被植物吸收利用,能敏感反应人为活动对土壤的扰动。图2显示,土壤易氧化态有机碳含量在5 g·kg<sup>-1</sup>以下,随林龄增加,土壤易氧化态有机碳占总有机碳的比例有增加的趋势,这可能是桉树人工林根系固氮菌的作用体现<sup>[10]</sup>,其比例依次为13.83%、16.68%、19.98%和19.19%。姜培坤等<sup>[11]</sup>对阔叶林和杉木林的研究发现该值依次是17.80%和17.90%,结果相近。各林龄土壤易氧化态有机碳含量均随土层深度的增加而逐渐减少,这是因为土壤易氧化态有机碳主要来源于地上凋落物、死亡根系及根系分泌物等物质,受地上植被及根系影响很大,所以表层易氧化态有机碳含量比底层高。80 cm~100 cm较0~5 cm

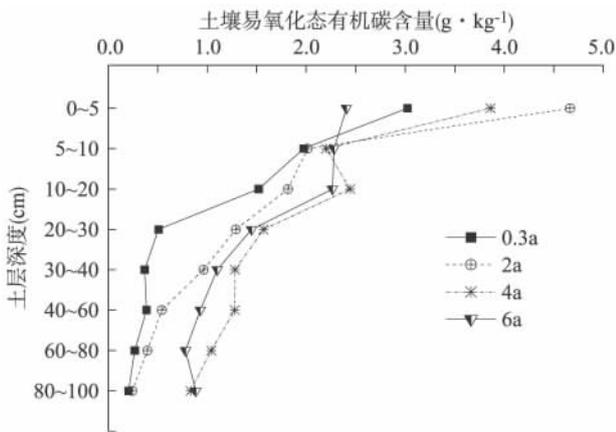


图2 不同林龄土壤易氧化态碳随土层深度的变化

Fig.2 Changes of readily oxidized organic carbon along with soil depth at different forest ages

易氧化态有机碳下降按林龄依次下降93.23%、94.83%、78.47%和63.23%,80 cm~100 cm易氧化态有机碳含量依次为0.3 a (0.20 k·kg<sup>-1</sup>) < 2 a (0.24 k·kg<sup>-1</sup>) < 4 a (0.83 k·kg<sup>-1</sup>) < 6 a (0.88 k·kg<sup>-1</sup>),说明桉树根系较深,且所到之处能够增加易氧化态有机碳的含量。总体看,土壤易氧化态有机碳表现为4 a > 2 a > 6 a > 0.3 a,证明桉树人工林根系吸收利用养分的能力较其前作杉木林强且效率更高。4 a时易氧化态有机碳含量最高,变化规律与有机碳一致。

2.3 土壤稳定态有机碳

土壤稳定态有机碳是指那些不能被微生物直接利用的那部分土壤总有机碳,主要通过稳定的化学键被固定在团聚体表面,性质稳定,能保持几十年不变,其固定机制的研究有助于提高土壤碳库含量,对大气碳循环有重要的研究价值<sup>[12]</sup>,反映植物对土壤养分的吸收利用规律。从图3可见,土壤稳定态有机碳随土层深度的增加而直线下降,林龄间差异不大,其含量较低,0~100 cm层平均土壤稳定态有机碳含量表现为2 a (1.67 k·kg<sup>-1</sup>) > 0.3 a (1.55 k·kg<sup>-1</sup>) > 4 a (1.31 k·kg<sup>-1</sup>) > 6 a (1.28 k·kg<sup>-1</sup>),占土壤总有机碳的比例分别是20.83%、18.70%、14.42%、16.27%,80 cm~100 cm比0~5 cm土壤稳定态有机碳分别下降了18.20%、31.16%、41.65%、20.42%,可见土壤稳定态有机碳所占土壤总有机碳的比例随桉树林龄的增加有下降后又升高的趋势,4 a的林地土壤稳定态有机碳下降幅度最大。可能源于桉树根系能够将稳定态有机碳转化为可利用的活性碳,从而导致稳定态有机碳出现下降趋势,对于短轮伐期(6 a~7 a)的桉树林来讲,可能4 a是桉树生长最迅速的时期,所以4 a桉树对养分利用能力最强,稳定态有机碳含量最低,相应于易氧

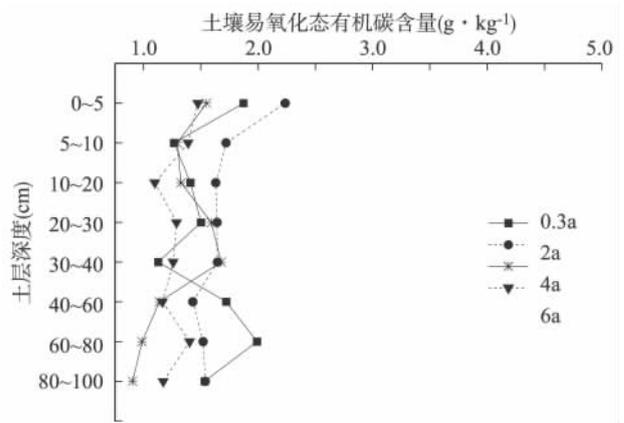


图3 不同林龄土壤稳定态碳随土层深度的变化

Fig.3 Changes of stable organic carbon along with soil depth at different forest ages

化态有机碳含量最高,验证了樊后保等<sup>[10]</sup>的结论。

## 2.4 相关性分析

为更好地研究 3 种土壤总有机碳之间的相互关系以及 pH 值、容重和粘粒含量对各类型土壤总有机碳含量的影响,对其进行相关性统计(表 2)。结果表明:土壤总有机碳与易氧化态有机碳呈极显著正相关(0.957),与稳定态有机碳呈显著相关(0.384),与容重呈极显著负相关(-0.770),说明易氧化态有机碳完全可以反映土壤中总有机碳含量

变化,容重越大,总有机碳含量越低,易氧化态有机碳含量越低(与容重的相关系数-0.728),表现为土壤肥力越低;土壤稳定态有机碳与 pH 值呈极显著负相关(-0.461),说明土壤酸性越大稳定态有机碳含量越高。2.3 节中 4 a 稳定态有机碳含量下降最多,可能是桉树根系分泌碱性物质使稳定态有机碳转化成可利用的活性易氧化态有机碳;土壤粘粒与 3 种有机碳含量数值上无显著的相关性,说明土壤粘粒含量对有机碳含量的影响相对较小。

表 2 各指标间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis among different nutrient indexes

	有机碳	易氧化态有机碳	稳定态有机碳	pH	容重	粘粒
有机碳	1.000					
易氧化态有机碳	0.957**	1.000				
稳定态有机碳	0.384*	0.310	1.000			
pH	-0.294	-0.289	-0.461**	1.000		
容重	-0.770**	-0.728**	-0.197	0.145	1.000	
粘粒	0.241	0.100	0.296	-0.179	-0.197	1.000

注:\*表示显著性相关  $p < 0.05$ ,\*\*表示极显著相关  $p < 0.01$ 。

## 3 结论与讨论

土壤总有机碳、易氧化态有机碳和稳定态有机碳含量均随土层深度的增加而减小,土壤总有机碳和易氧化态有机碳随林龄的变化均表现为随林龄增加而升高,4 a 最大,然后随林龄增加而下降的折线变化趋势,即 4 a > 2 a > 6 a > 0.3 a。稳定态有机碳随林龄的变化表现为 2 a > 0.3 a > 4 a > 6 a。4 a 林地土壤养分含量最高,桉树根系对稳定态有机碳的转化量最大,桉树根系较深,反映出较强的吸收养分的能力。相关性分析说明,土壤总有机碳与易氧化态有机碳的相关关系极强,实际研究中只测其一即可;容重大小能敏感反映土壤肥力大小,提高土壤有机质含量是改善土壤板结问题有效方法;桉树根系能够提高稳定态有机碳的利用率,可能通过根系分泌的一种或多种碱性物质来转化稳定态有机碳为活性有机碳。

总之,桉树种植会降低土壤有机碳含量,不利于土壤碳汇增加,降低了土壤碳汇稳定性。因此可通过合理经营来改善土壤碳汇稳定性下降的问题。桉树根系可以伸入 1 m 深的土壤利用稳定性极强的稳定态有机碳,目前未发现具有此类能力的树种报道。

### 参考文献:

[1] 任军,郭金瑞,边秀芝,等.土壤总有机碳研究进展[J].中国土

壤与肥料,2009,27(6):1~7.

- [2] 冯瑞芳,杨万勤,张健.人工林经营与全球变化减缓[J].生态学报,2006,26(11):3870~3877.
- [3] 史军,刘纪远,高志强,等.造林对土壤碳储量影响的研究[J].生态学杂志,2005,24(4):410~416.
- [4] 张苏峻,黎艳明,周毅,等.粤西桉树人工林土壤总有机碳密度及其影响因素[J].中南林业科技大学学报,2010,30(5):22~28.
- [5] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- [6] Blair G J, Lefroy R D B. Soil C fraction based on their degree of oxidation and the development of a C management index for agriculture systems[J]. Soil biology & biochemistry, 1995, 28(46):1459~1466.
- [7] Eusterhues K, Rumpel C, Kögel-Knabner I. Stabilization of soil organic matter by interactions with minerals as revealed by mineral dissolution and oxidative degradation[J]. Organic Geochemistry, 2003, 34:1591~1600.
- [8] Lorenz K, Lal R, Preston C M, et al. Strengthening the soil organic carbon pool by increasing contributions from recalcitrant aliphatic bio(macro) molecules[J]. Geoderma, 2007, 142:1~10.
- [9] Six J, Bossuyt H, Degryze S, et al. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics[J]. Soil & Tillage Research, 2004, 79:7~31.
- [10] 樊后保,袁颖红,廖迎春,等.闽南山区连续年龄序列桉树人工林土壤养分动态[J].应用与环境生物学报,2009,15(6):756~760.
- [11] 姜培坤.不同林分下土壤活性有机碳库的研究[J].林业科学,2005,41(1):10~13.
- [12] 王纪杰.桉树人工林土壤质量演变机制研究[D].南京林业大学博士论文,2011.