

亚热带森林转换对不同粒径土壤有机碳的影响^{*}

胡雪寒^{1, 2} 刘 娟^{1, 2†} 姜培坤^{1, 2} 周国模^{1, 2} 李永夫^{1, 2} 吴家森^{1, 2}

(1 浙江农林大学亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江临安 311300)

(2 浙江农林大学浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江临安 311300)

摘 要 以亚热带天然阔叶林和由其转换而来的针阔混交人工林和杉木人工林为研究对象, 探讨森林转换对土壤有机碳 (Soil organic carbon, SOC) 含量和分布格局的影响。选取不同土层 (0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm) 土壤作为样本, 运用物理分组方法研究森林转换对土壤粗颗粒有机碳 (Coarse particulate organic carbon, CPOC)、细颗粒有机碳 (Fine particulate organic carbon, FPOC)、矿物结合态有机碳 (Mineral-associated organic carbon, MOC) 含量及其分配比例的影响。结果表明: 天然林转换为人工林后 (1) 各土层土壤有机碳含量均呈下降趋势; (2) 0~20 cm 土层土壤粗颗粒有机碳含量和分配比例均显著降低, 土壤细颗粒有机碳含量和比例呈增加趋势; 矿物结合态有机碳含量呈减少趋势, 比例呈增加趋势; (3) 各土层土壤颗粒有机碳/矿物结合态有机碳 (POC/MOC) 和矿物结合态有机碳/土壤有机碳 (MOC/SOC) 比值均呈下降趋势, 0~20 cm 土层土壤 CPOC 与 SOC 相关性最好, 40~60 cm 土层 MOC 与 SOC 相关性最好。因此, 亚热带天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林, 土壤总有机碳含量降低, 土壤有机碳的稳定性增强; 土壤 CPOC 更能反映森林转换对表层土壤有机碳的影响; 而 MOC 更能反映森林转换对深层土壤有机碳的影响。

关键词 林分转换; 颗粒态有机碳; 土壤粒径; 天然林; 人工林

中国分类号 S714.8 **文献标识码** A

森林是陆地生态系统的主体, 森林土壤碳储量为全球土壤碳储量的 73%, 森林土壤碳库的微小变化对大气中 CO₂ 浓度和全球气候变化均会产生深刻影响^[1]。土壤有机碳是土壤碳库的容量指标, 按照粒径大小可分为粗颗粒有机碳 (250 μm~2000 μm) (Coarse particulate organic carbon, CPOC)、细颗粒有机碳 (53 μm~250 μm) (Fine particulate organic carbon, FPOC) 和矿物结合态有机碳 (0~53 μm) (Mineral-associated organic carbon, MOC)^[2-3]。粗颗粒有机碳和细颗粒有机碳统称为

颗粒有机碳 (Particulate organic carbon, POC), 主要为植物残体的半分解产物, 生物活性高, 周转速度快, 是土壤有机碳变化的敏感性指标之一^[4-7]。矿物结合态有机碳为有机质最终分解的产物, 周转速度慢, 是土壤有机碳中的非活性部分^[8-9]。

森林转换是土地利用方式改变的一种重要方式, 是影响土壤碳、氮循环的重要驱动因子^[10-12]。森林转换导致植物地上部分生物量、凋落物等均发生明显变化, 显著影响了土壤有机碳的储量和转化过程。研究表明, 受林龄、林分类型、土壤类型、气

^{*} 国家自然科学基金项目 (31700540) 和浙江省自然科学基金项目 (LY15C160004) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 31700540) and the Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. LY15C160004)

[†] 通讯作者 Corresponding author, E-mail: liujuan@zafu.edu.cn

作者简介: 胡雪寒 (1993—), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 主要从事森林土壤碳汇方面的研究。E-mail: huxuehan111@163.com

收稿日期: 2018-03-14; 收到修改稿日期: 2018-05-16; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2018-07-18

候条件以及营林措施的影响,森林转换对土壤有机碳的影响存在诸多不确定性^[13]。Guo和Gifford^[14]综述了全球范围内不同土地利用方式变化对土壤有机碳库的影响,表明天然林转换为针叶林,土壤有机碳储量平均下降了15%;而天然林转换为阔叶林,土壤有机碳未发生显著变化。天然阔叶林是亚热带地区的典型代表植被,随着商品林的开发,大面积的天然阔叶林经皆伐转变为人工林^[15]。我国人工林面积已达6 933万公顷,占林地面积的36.3%^[16]。Yang等^[17]在我国湖南浏阳和Sheng等^[18]在福建三明开展的森林转换对土壤碳库影响的研究表明,天然林转换为人工林同时导致了土壤有机碳和颗粒有机碳的损失。本研究以亚热带代表性天然阔叶林和由其转换而来的针阔混交人工林和杉木人工林作为研究对象,通过揭示森林转换对土壤有机碳含量及其在不同粒径分布的影响,探讨森林转换导致的土壤有机碳稳定性的变化及其表征,为土地利用变化对森林生态系统土壤碳循环的影响提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于浙江省临安区西北部的临安玲珑山风景区,地理坐标为119° 39' E, 30° 14' N,属亚热带季风气候区,该地区温暖湿润,四季分明,1月温度最低,历年平均温度为3.4℃,7月温度最高,历年平均温度为28.1℃,年平均气温15.8℃,年平均日照时数1 939 h,年有效积温5 774℃。年均降水量1 614 mm。研究区原为天然次生阔叶林,20世纪90年代初,一部分天然次生阔叶林改造为针阔混交人工林和杉木人工林,另一部分保留了原来的天然次生林。天然阔叶林、针阔混交人工林和杉木人工林3种林地毗邻,林地的坡度、坡向基本一致,土壤为由凝灰岩发育而来的黄红壤。3种林地基本情况如下:(1)天然阔叶林(Natural broad-leaved forests, BL):林龄25~28 a,郁闭度70%,平均胸径16.7 cm,主要优势树种有苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、木荷(*Schimasuperba*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)等,林下灌木种类有山胡椒(*Lindera glauca*)和山苍子(*Litsea cubeba*)等,覆盖度70%;(2)针阔混交人工林(Mixed conifer and broadleaf plantations, CB):天然阔叶林砍伐后保留了部

分树种如苦槠、木荷等,并补种了杉木、马尾松,林龄25~28 a,郁闭度70%,平均胸径16.5 cm;(3)杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林(Chinese fir plantation, CF):阔叶林皆伐后种植杉木人工纯林,林龄25~28 a,郁闭度70%,平均胸径15.3 cm,树高12 m,林下灌木稀少,草本层仅有少量蕨类植物。

1.2 样品采集与分析

2016年11月中旬,在上述三种林地中,各建立20 m×20 m的样地4个,在每个样地内,挖掘4个0~60 cm的土壤剖面,取0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm土层的样品。将同一样地同一土层的4个样品混合,作为该样地的土壤样品。样品采集后在室温下风干,除去砾石和根系后,磨细过2 mm钢筛,待测。土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮采用半微量凯氏定氮法测定;土壤pH采用水浸提酸度计法(土:水=1:5)测定。

土壤粒度分级:采用超声分散湿筛法^[19]。称取土样10 g,按照水土比5:1的比例加水,搅拌,放置在超声波清洗仪(300 W)中处理15 min,取出后依次过250 μm和53 μm筛,用水洗至水清为止,获得粗颗粒250~2 000 μm,细颗粒53~250 μm,以及0~53 μm的部分,60℃烘干至恒重后,称重、磨细,测定各粒级土粒碳含量,由此计算单位土壤中各粒级含碳量和各粒级含碳量占土壤总有机碳的比例,公式如下:

不同粒径土壤颗粒有机碳含量($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)=不同粒径土壤颗粒物中有机碳($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)×不同粒径颗粒物占土壤的百分比(%)

不同粒径土壤颗粒有机碳分配比例(%)=不同粒径土壤颗粒有机碳含量($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)/土壤总有机碳含量($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)×100

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2010和SPSS 22软件进行数据统计分析,采用Origin 8软件进行制图。图表中所有数据均为四次重复的平均值,采用单因素方差分析比较不同数据组间的差异,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 森林转换对土壤有机碳、全氮、pH和凋落物的影响

如表1所示,天然阔叶林转换为针阔混交人工

林和杉木人工林后，各土层土壤有机碳含量均呈下降趋势。天然林转换为针阔混交人工林和杉木人工林，0~20 cm土层土壤有机碳含量分别下降了19.3%和24.1% ($P < 0.05$)，针阔混交人工林和杉木人工林土壤有机碳含量无显著差异。天然林转换为人工林，0~20 cm和20~40 cm土层土壤全氮含量呈下降趋势，40~60 cm土层土壤全氮含量呈上升趋势，但各处理之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。森林转换对各土层土壤pH均没有显著影响 (表1)。天然阔叶林、针阔混交人工林和杉木人工林凋落物现存量分别为 $5.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 $4.15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $1.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ，天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后凋落物现存量分别显著下降了21.0%和79.4%。

表1 不同森林类型土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties in forest land relative to type of forest				
土层 Soil layer /cm	林分类型 Forest types	有机碳 Soil organic carbon /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen /(g·kg ⁻¹)	pH
0~20	BL	21.08a	1.74a	4.63a
	CB	17.01b	1.57a	4.37a
	CF	16.01b	1.45a	4.67a
20~40	BL	6.84a	0.98a	4.48a
	CB	6.00a	0.81a	4.34a
	CF	6.26a	0.80a	4.54a
40~60	BL	4.78a	0.49a	4.50a
	CB	4.13a	0.54a	4.34a
	CF	1.59b	0.61a	4.49a

注：BL：天然阔叶林；CB：针阔混交人工林；CF：杉木人工林。同列不同字母表示不同林分之间差异显著 ($P < 0.05$)。下同 Note: BL: Natural broad-leaved forests; CB: Mixed conifer and broadleaf plantations; CF: Chinese fir plantation. Different letters in the same column mean significant difference between different forest lands at 0.05 level. The same below

2.2 森林转换对土壤粗颗粒有机碳含量和分配比例的影响

天然林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后，0~20 cm 土层土壤粗颗粒有机碳含量显著下降 (表2)。天然阔叶林、针阔混交人工林和杉木人工林土壤粗颗粒有机碳的含量分别为 $6.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $2.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2.95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，天然林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后土壤粗颗粒有机碳含量分别

下降60.0%和54.6%。0~20 cm土层天然林土壤粗颗粒有机碳占总有机碳的比例为30.8%，显著高于针阔混交人工林和杉木人工林 ($P < 0.05$)。

同一林分土壤粗颗粒有机碳含量均随土壤深度增加而下降 (表2)。天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后土壤粗颗粒有机碳含量和分配比例的差异主要体现在0~20 cm土层，20~40 cm和40~60 cm土层之间的差异减少。

表2 不同森林类型土壤粗颗粒有机碳含量和分配比例

Table 2 Content and proportion of CPOC in the soil relative to type of forest						
林分类型 Forest types	粗颗粒有机碳CPOC/(g·kg ⁻¹)			分配比例CPOC/ SOC/%		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
BL	6.49a	0.70a	0.50a	30.8a	10.2a	10.4a
CB	2.60b	0.47a	0.25ab	15.3b	7.8a	6.1a
CF	2.95b	0.77a	0.20b	18.4b	12.3a	12.3a

2.3 森林转换对土壤细颗粒有机碳含量和分配比例的影响

天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后0~20 cm 土层土壤细颗粒有机碳含量呈现增加趋势(表3)。天然阔叶林、针阔混交人工林和杉木人工林土壤细颗粒有机碳含量分别为5.53 g·kg⁻¹、6.14g·kg⁻¹和5.83 g·kg⁻¹,转换为针阔混交人工林和杉木人工林后土壤细颗粒态有机碳含量分别增加10.9%和5.3%,但处理之间差异

不显著($P>0.05$)。天然林0~20 cm土层土壤细颗粒有机碳的分配比例为26.2%,转换为针阔混交人工林和杉木人工林后显著增加($P<0.05$)(表3)。

同一林分土壤细颗粒有机碳含量和分配比例均随土壤深度增加而下降(表3)。天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后土壤细颗粒态有机碳含量和分配比例在20~40 cm和40~60 cm土层均呈减少趋势(表3)。

表3 不同森林类型土壤细颗粒有机碳含量和分配比例

Table 3 Content and proportion of FPOC in the soil relative to type of forest

林分类型 Forest types	细颗粒有机碳FPOC/(g·kg ⁻¹)			分配比例FPOC/ SOC/%		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
BL	5.53a	1.36a	0.83a	26.2b	19.4a	17.3a
CB	6.14a	0.86a	0.44b	36.1a	14.4a	10.6a
CF	5.83a	1.06a	0.18c	36.4a	16.9a	11.1a

2.4 森林转换对土壤矿物结合态有机碳含量和分配比例的影响

天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后,0~20 cm土层土壤矿物结合态有机碳含量显著降低($P<0.05$)(表4)。天然阔叶林、针阔混交人工林和杉木人工林土壤矿物结合态有机碳含量分别为9.06 g·kg⁻¹、8.28 g·kg⁻¹和7.24 g·kg⁻¹,转换为针阔混交人工林和杉木人工林后土壤矿物结合有机碳含量分别减少8.6%和20.1%。天然阔叶林、针

阔混交人工林和杉木人工林0~20 cm土层土壤矿物结合态有机碳的分配比例分别为43.1%、48.7%和45.2%,天然林转换为人工林土壤矿物结合态有机碳的分配比例呈现上升趋势。

不同土层土壤矿物结合态有机碳含量差异较大,但天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后,0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm土层土壤矿物结合态有机碳的分配比例均呈现上升趋势。

表4 不同森林类型土壤矿物结合态有机碳含量和分配比例

Table 4 Content and proportion of MOC in the soil relative to type of forest

林分类型 Forest types	矿物结合态有机碳MOC/(g·kg ⁻¹)			分配比例MOC/ SOC/%		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
BL	9.06a	4.79a	3.45a	43.1b	70.0a	72.2a
CB	8.28b	4.67a	3.44a	48.7a	77.8a	83.2a
CF	7.24c	4.43a	1.22b	45.2ab	70.8a	76.6a

2.5 森林转换对土壤POC/SOC和POC/MOC的影响

天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后,0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm土层土壤颗粒有机碳含量(粗颗粒和细颗粒有机碳含量之和)和分配比例(POC/SOC)均呈现下降趋势(表2,表3,图1)。

天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后,不同土层土壤颗粒有机碳含量/矿物结合态有机碳含量(POC/MOC)均呈下降趋势。0~20 cm 土层土壤的POC/MOC值变化范围为5.94~19.30,显著高于20~40 cm(0.59~1.00)和40~60 cm土层(0.39~0.86)(图2)。

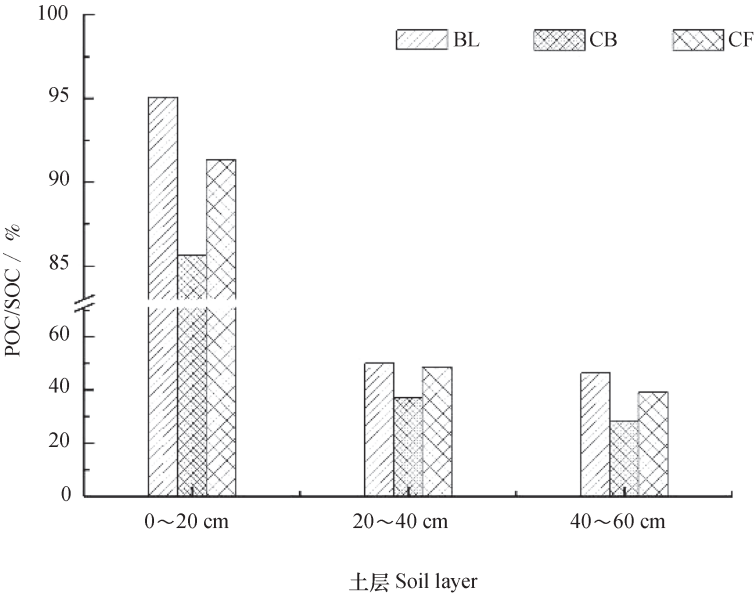


图1 不同林分土层土壤颗粒有机碳含量分配比例
Fig. 1 POC/SOC in the soil relative to type of forest and soil layer

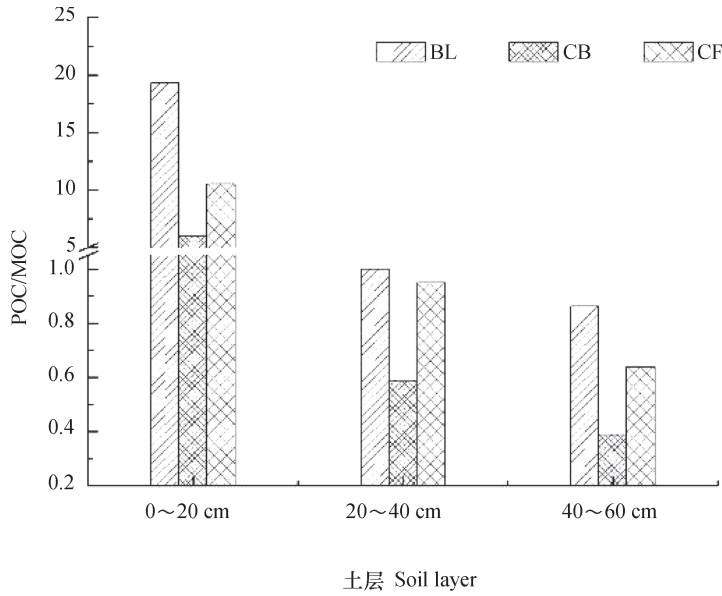


图2 不同林分土层土壤颗粒态/矿物态有机碳比例
Fig. 2 POC/MOC in the soil relative to type of forest and soil layer

2.6 不同粒径土壤有机碳与土壤总有机碳之间的关系

对不同土层不同粒径的土壤有机碳和SOC进行相关性分析，结果表明0~20 cm土层土壤CPOC、MOC均与SOC呈显著相关 ($P < 0.01$)， R^2 值分别为0.829 3和0.633 7。20~40 cm土层各粒径土

壤有机碳与SOC均没有显著相关。40~60 cm土层土壤中，FPOC和MOC与SOC呈显著相关 ($P < 0.01$)， R^2 值分别为0.655 0和0.915 1 (表5)。由此推测土壤CPOC更能反映森林转换对表层土壤有机碳的影响；而MOC更能反映森林转换对深层土壤有机碳的影响。

表5 不同土层土壤 CPOC、FPOC、MOC与SOC的相关性

Table 5 Correlations of CPOC, FPOC and MOC with SOC in the soil relative to soil layer (R^2)

R^2	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	40 ~ 60 cm
粗颗粒有机碳CPOC	0.829 3**	0.119 8	0.275 4
细颗粒有机碳FPOC	0.081 5	0.180 3	0.655 0**
矿物结合态有机碳MOC	0.633 7**	0.017 5	0.915 1**

**： $P < 0.01$

3 讨 论

土壤有机碳含量是有机物质输入和矿化分解动态平衡的结果^[20]。土地利用变化通过改变地表植被的覆盖类型以及生物地球化学过程，显著影响了土壤有机碳的含量和转化过程^[21]。据估计，在过去100年间，由森林转化为其他土地利用方式所造成的土壤碳损失达25%~50%^[22-23]。森林转换是土地利用变化的一种方式，通过细根生物量、凋落物输入量以及土壤质地和结构等方面的变化影响土壤有机碳含量。由于受林龄、林分类型、土壤条件、气候条件以及营林措施的影响，森林转换对土壤有机碳的影响存在诸多不确定性^[13]。Guo 和 Gifford^[14]对不同土地利用方式变化对土壤有机碳的影响进行了综述，表明天然林转换为针叶林，土壤有机碳储量平均下降15%；而天然林转换为阔叶林，土壤有机碳未发生显著变化。本试验研究结果表明，天然林转换为针阔混交人工林和杉木人工林，0~20 cm土层土壤有机碳含量分别下降19.3%和24.1%。同处于亚热带地区在湖南浏阳和福建三明开展的森林转换对土壤有机碳的影响的研究表明，天然林转换为人工林后土壤有机碳含量下降29.5%~35.9%^[17-18]。亚热带天然林转换为人工林后土壤有机碳含量下降的原因主要有：（1）细根生物量和凋落物数量的减少。本试验中，天然林转换为针阔混交人工林和杉木人工林凋落物现存量分别降低21.0%和79.4%。Sheng等^[18]的研究发现，天然林转换为杉木人工林和板栗林后细根生物量下降63.2%和50.0%，凋落物质量减少57.5%和47.0%，土壤有机碳分别下降30.0%和29.5%。（2）降雨量的影响。据统计，当年累积降雨量大于1 500 mm时，森林转换才会导致土壤有机碳的损失^[14]。本研究地处浙江省西北部，年均降雨量为1 600 mm左右，属典型的中纬度亚热带季风气候，较高的降雨量会导致土壤有机碳的淋

失^[24-25]。本研究中天然阔叶林、针阔混交人工林和杉木人工林三种林地样地毗邻，林地的坡度、坡向基本一致，因此天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林导致的土壤有机碳的减少主要源于细根生物量^[18]和凋落物数量的减少以及水土流失加剧了碳的损失。

土壤颗粒有机碳是指53~2 000 μm 粒径中的土壤有机碳，分为粗颗粒有机碳（250~2 000 μm ）和细颗粒有机碳（< 53 μm ），是土壤碳库中的活性组分，具有周转速度快，容易被分解的特点，是土地利用变化的重要指示指标^[9, 26-27]。颗粒有机碳主要来源于植物残体的输入，天然林转换为人工林后植物残体凋落物质量以及细根生物量的下降^[18]，导致各个土层土壤颗粒态有机碳含量均呈下降趋势（表2、表3）。本研究中，天然阔叶林转换为针阔混交人工林和杉木人工林后，0~20 cm土层土壤中粗颗粒有机碳含量显著下降，但细颗粒态有机碳含量却呈现不同程度的增加趋势，这表明粗颗粒有机碳更能反映土地利用方式对表层土壤有机碳含量的影响^[28]。沈艳等^[3]在岩溶地区不同土地利用方式对土壤颗粒有机碳影响的研究结果也表明，土壤粗颗粒有机碳对人为干扰和耕作措施的反应更加敏感。本研究中各土层土壤CPOC、FPOC、MOC与SOC的相关性分析结果表明，0~20 cm土层土壤CPOC与SOC相关性最好，表明土壤CPOC更能反映森林转换对表层土壤有机碳含量的影响。

一般而言，土壤有机碳中活性有机碳所占比例越高，土壤碳的稳定性越差^[29]。本研究中，土壤POC/SOC的变化范围为16.8%~58.7%，与张秀兰等^[4]在江西省泰和县中国科学院千烟洲生态实验站对于杉木林土壤有机碳的研究结果类似（29.7%~52.9%），高于Yang等^[17]在福建三明（14%~40%）的研究结果。研究表明，由于土壤颗粒态有机碳主要来源于半分解的植物残体，土壤

颗粒有机碳的含量和分配比例具有明显的季节变化规律, 田舒怡和满秀玲^[29]在白桦林、白桦-山杨林和落叶松林的研究中发现, 土壤中颗粒有机碳的含量具有明显的季节变化规律, 10月份达到最高。本研究采样时间为11月份, 此时气温降低, 土壤微生物活性减弱, 对有机碳中的非保护性组分的分解减少, 加之植物残体的累积, 导致土壤中活性有机碳含量较高^[25]。具体还需要进一步开展森林转换对土壤有机碳和颗粒有机碳季节变化影响的研究。

土壤POC/MOC值在一定程度上反映土壤有机碳的质量和稳定程度。比值增大, 说明土壤有机碳较易矿化、周转期较短, 活性高; 比值减小, 说明土壤有机碳不易被矿化, 周转期较长或者活性较低^[8]。唐光木等^[8]在对新疆绿洲农田不同开垦年限的颗粒态有机碳的研究发现, 开垦使得POC/MOC值先上升后下降, 使得有机碳由不稳定趋于稳定。本研究中, 天然林转换为人工林后, 不同土层土壤POC/MOC均呈下降趋势, 这表明天然林转换为人工林后土壤有机碳趋于稳定, 有机碳的分解减弱, 由此会导致土壤呼吸显著降低^[30]。

4 结 论

亚热带天然林阔叶林转换为针阔混交林和杉木人工林, 土壤总有机碳含量降低, 不同土层土壤颗粒态有机碳/土壤有机碳和颗粒态有机碳/矿物结合态有机碳均呈不同程度的下降趋势, 土壤有机碳的稳定性增强。各土层土壤粗颗粒有机碳、细颗粒有机碳、矿物结合态有机碳与土壤有机碳的相关性分析结果表明, 0~20 cm土层土壤粗颗粒有机碳与土壤有机碳相关性最好, 40~60 cm土层土壤矿物结合态有机碳与土壤有机碳相关性最好。表明土壤粗颗粒有机碳更能反映森林转换对表层土壤有机碳的影响; 而土壤矿物结合态有机碳更能反映森林转换对深层土壤有机碳的影响。

参 考 文 献

- [1] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263 (5144) : 185
- [2] 周萍, 潘根兴. 长期不同施肥对黄泥土水稳性团聚体颗粒态有机碳的影响. *土壤通报*, 2007, 38 (2) : 256—261
- [3] 沈艳, 傅瓦利, 蓝家程, 等. 岩溶山地不同土地利用方式土壤颗粒有机碳和矿物结合态有机碳的分布特征. *水土保持研究*, 2012, 19 (6) : 1—6
- [4] Shen Y, Fu W L, Lan J C, et al. Distribution characteristics of soil particulate organic carbon and mineral-associated organic carbon of different land use in Karst Mountain (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19 (6) : 1—6
- [5] 张秀兰, 王方超, 方向民, 等. 亚热带杉木林土壤有机碳及其活性组分对氮磷添加的响应. *应用生态学报*, 2017, 28 (2) : 449—455
- [6] Zhang X L, Wang F C, Fang X M, et al. Responses of soil organic carbon and its labile fractions to nitrogen and phosphorus additions in *Cunninghamia lanceolata* plantations in subtropical China (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28 (2) : 449—455
- [7] Huang X, Tang X, Wei C. Variation of total and particulate organic carbon in topsoil of a Purple paddy under different land use practices. *Ecology & Environment*, 2007, 16 (4) : 1277—1281
- [8] Marriott E E, Wander M. Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38 (7) : 1527—1536
- [9] Anaya C A, Huber-Sannwald E. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics after conversion of tropical forest to traditional sugarcane agriculture in East Mexico. *Soil & Tillage Research*, 2015, 147: 20—29
- [10] 唐光木, 徐万里, 盛建东, 等. 新疆绿洲农田不同开垦年限土壤有机碳及不同粒径土壤颗粒有机碳变化. *土壤学报*, 2010, 47 (2) : 279—285
- [11] Tang G M, Xu W L, Sheng J D, et al. The variation of soil organic carbon and soil particle-size in Xinjiang oasis farmland of different years (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47 (2) : 279—285
- [12] Christensen B T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates// *Advances in soil science*. New York: Springer, 1992: 1—90
- [13] Guan F, Tang X, Fan S, et al. Changes in soil carbon and nitrogen stocks followed the conversion

- from secondary forest to Chinese fir and Moso bamboo plantations. *Catena*, 2015, 133: 455—460
- [11] 李晓东, 魏龙, 张永超, 等. 土地利用方式对陇中黄土高原土壤理化性状的影响. *草业学报*, 2009, 18 (4) : 103—110
- Li X D, Wei L, Zhang Y C, et al. Effects of land use regimes on soil physical and chemical properties in the Longzhong part of loess plateau (In Chinese). *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18 (4) : 103—110
- [12] 马玉红, 郭胜利, 杨雨林, 等. 植被类型对黄土丘陵区流域土壤有机碳氮的影响. *自然资源学报*, 2007, 22 (1) : 97—105
- Ma Y H, Guo S L, Yang Y L, et al. Influence of vegetation types on soil organic C at Yangou catchment in the loess hilly-gully region (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 2007, 22 (1) : 97—105
- [13] Lewis T, Smith T E, Hogg B, et al. Conversion of sub-tropical native vegetation to introduced conifer forest: Impacts on below-ground and above-ground carbon pools. *Forest Ecology and Management*, 2016, 370: 65—75
- [14] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology*, 2002, 8 (4) : 345—360
- [15] 张睿. 天然林转换为人工林后土壤温室气体排放的动态变化. 杭州: 浙江农林大学, 2016
- Zhang R. Dynamic changes of soil greenhouse gas emissions after conversion from natural forest to plantations (In Chinese). Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2016
- [16] 国家林业局. 中国森林资源报告. 北京: 中国林业出版社, 2014
- State Forestry Administration. China forest resources report (In Chinese). Beijing: China Forestry Publishing Press, 2014
- [17] Yang Y, Guo J, Chen G, et al. Effects of forest conversion on soil labile organic carbon fractions and aggregate stability in subtropical China. *Plant and Soil*, 2009, 323 (1/2) : 153—162
- [18] Sheng H, Zhou P, Zhang Y, et al. Loss of labile organic carbon from subsoil due to land-use changes in subtropical China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 88: 148—157
- [19] Six J, Elliott E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 62 (5) : 1367—1377
- [20] Fearnside P M, Barbosa R I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 1998, 108 (1/2) : 147—166
- [21] Li J. Soil labile organic carbon fractions and soil organic carbon stocks as affected by long-term organic and mineral fertilization regimes in the North China Plain. *Soil & Tillage Research*, 2018, 175: 281—290
- [22] Scharlemann J P, Tanner E V, Hiederer R, et al. Global soil carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Manager*, 2014, 5 (1) : 81—91
- [23] Kim D G, Kirschbaum M U F. The effect of land-use change on the net exchange rates of greenhouse gases: A compilation of estimates. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 208 (1) : 114—126
- [24] Jenny H. The soil resource. New York: Springer, 1980: 102—102
- [25] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, et al. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298 (5870) : 156—159
- [26] Luo S, Zhu L, Liu J, et al. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to soil surface mulching in semiarid farmland. *European Journal of Soil Biology*, 2015, 67: 35—42
- [27] Wang Q, Wang S. Response of labile soil organic matter to changes in forest vegetation in subtropical regions. *Applied Soil Ecology*, 2011, 47 (3) : 210—216
- [28] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰, 等. 黄土台塬不同土地利用土壤有机碳与颗粒有机碳. *自然资源学报*, 2010, 25 (2) : 218—226
- Liu M Y, Chang Q R, Qi Y B, et al. Soil organic carbon and particulate organic carbon under different land use types on the Loess Plateau (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 2010, 25 (2) : 218—226
- [29] 田舒怡, 满秀玲. 大兴安岭北部主要森林类型土壤活性碳特征研究. *水土保持学报*, 2015, 29 (6) : 165—171
- Tian S Y, Man X L. Study on characteristics of soil labile organic carbon in main forest types in the north of Daxing' an Mountains (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29 (6) : 165—171
- [30] 张睿, 白杨, 刘娟, 等. 亚热带天然阔叶林转换为杉木人工林对土壤呼吸的影响. *应用生态学报*, 2015, 26 (10) : 2946—2952
- Zhang R, Bai Y, Liu J, et al. Effects of conversion

of natural broad-leaved forest to Chinese fir plantation
on soil respiration in subtropical China (In Chinese) .

Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26
(10) : 2946—2952

Effects of Change in Forest Type on Soil Organic Carbon in Soil Particles Relative to Size in Subtropical China

Hu Xuehan^{1,2} LIU Juan^{1,2†} JIANG Peikun^{1,2} ZHOU Guomo^{1,2} LI Yongfu^{1,2} WU Jiasen^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

(2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A&F
University, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

Abstract 【Objective】Any changes, even minor ones, in forest soil carbon pool would have profound effects on atmospheric CO₂ concentration and global climate change. Particulate organic carbon is mainly of semi-decomposed plant residues and very high in biological activity and short in turnover cycle, so it can be used as an indicator of changes in soil organic carbon. Change in forest type or forest conversion is an important pattern of changes in land use, and affects storage and transformation of soil organic carbon through increasing or reducing biomass of the plants and litter on the ground. So, it is an important driving force of soil organic carbon (SOC) dynamics. This paper focused on conversion of natural broad-leaved forest to mixed coniferous-broad-leaved forest or Chinese fir plantations (*Cunninghamia lanceolata* [Lamb.] Hook) in subtropical China to explore effects of the conversion on content of SOC and its distribution in the forestland. Therefore, three tracts of forests were selected as subjects of the study, i.e., a 28-years-old natural broad-leaved forest, a Chinese fir plantation and an artificial mixed coniferous broad-leaved forest converted from natural broad-leaved forest in November 2016. 【Method】Soil samples were collected from different soil layers (0 ~ 20 cm, 20 ~ 40 cm, and 40 ~ 60 cm) in the forestlands for analysis of effects of the conversion on contents of soil coarse particulate organic carbon (CPOC), soil fine particulate organic carbon (FPOC), and mineral-associated organic carbon (MOC) and their ratio. 【Result】Results show that once natural forest was converted into artificial ones, (1) content of soil organic carbon in various soil layers and stock of litter on the surface decreased significantly; (2) CPOC decreased in content by 60.0% and 54.6% in the mixed coniferous broad-leaved forest and Chinese fir plantation, respectively and in proportion, too in the 0 ~ 20 cm soil layer, while FPOC did reversely in both content and proportion; however, MOC declined in content, but rose in proportion, by 8.6% and 20.1%, respectively; and (3) The soil POC/MOC and MOC/SOC ratios in all the soil layers exhibited decreasing trends. In the 0 ~ 20 cm soil layer, soil CPOC was the most closely related to SOC, whereas in the 40 ~ 60 cm soil layer, MOC was. 【Conclusion】Therefore, the conversion of subtropical natural broad-leaved forests into coniferous-broad-leaved mixed forests and Chinese fir plantations reduces soil total organic carbon (SOC) as the latters produce less litter and fine root biomass, thus leaving the soils more susceptible to soil erosion caused by rainfall, which in turn enhances reduction of total SOC, and POC/SOC and POC/MOC in all soil layers to a varying extent. However, it improves stability of SOC. Soil CPOC is a better indicator reflecting the effect of forest conversion on topsoil organic carbon, while MOC is, reflecting the impact of forest conversion on deep soil organic carbon.

Key words Forest conversion; Particulate organic carbon; Particle size of soil; Natural forest; Plantations

(责任编辑：檀满枝)