

# 杉木人工林 C 库与 C 吸存的动态研究

方 晰, 田大伦

(中南林学院生态研究室, 湖南长沙 410004)

**摘要:** 对湖南会同 10 年生、14 年生杉木人工林 C 库和 C 吸存的动态研究结果表明, 杉木人工林生态系统的 C 库主要由植被层、死地被物层、土壤层组成的, 按其 C 库大小顺序排列为: 土壤层 > 植被层 > 死地被物层。10 年生、14 年生杉木林生态系统的 C 库分别为 120.52 和 171.40 t · hm<sup>-2</sup>, 具有一定的年龄阶段和地带性特点。随着杉木林年龄的增长, 乔木层 C 贮量的优势逐渐加强, 从 10 年生的 30.38 t · hm<sup>-2</sup> 增加到 14 年生的 61.24 t · hm<sup>-2</sup>, 分别占总 C 库的 25.21% 和 38.50%, 树干 C 贮量占林分 C 贮量的比例最大, 可达 47.17% 以上, 并随杉木林年龄的增长而明显增强, 分布在枝、叶、皮和根中的 C 贮量占 48.11% 以上, 地上部分的 C 贮量占总 C 贮量的 84.73% 以上。10 年生和 14 年生林地土壤层(0~60 cm)的 C 库分别为 88.21 和 108.20 t · hm<sup>-2</sup>, 占生态系统总 C 库的 63.13% 以上, 土壤表层(0~15 cm)的 C 储量分别占土壤总 C 库的 36.57% 和 34.26%, 土壤 0~30 cm 层中的 C 储量分别占土壤总 C 库的 63.44% 和 61.05%。地上部分 C 贮量与地下部分 C 贮量之比为: 10 年生时为 1:3.53, 14 年生时为 1:2.22。10 年生和 14 年生杉木人工林生态系统的年净固定 C 量分别为 5.488 和 9.285 t · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>。湖南省现有杉木林植被 C 库为 0.1916 × 10<sup>8</sup> t, 潜在 C 库为 1.4710 × 10<sup>8</sup> t, C 吸存潜力为 1.2794 × 10<sup>8</sup> t, 湖南省现有杉木林植被的 C 库仅为其潜在 C 库的 13.03%, 低于全国水平 26.46%。

**关键词:** 杉木人工林; C 库; C 吸存; 动态

**中图分类号:** Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2006)05-0516-07

## Dynamic of carbon stock and carbon sequestration in Chinese fir plantation

FANG Xi, TIAN Da-lun

(Research Section of Ecology, Central South Forestry University, Changsha 410004, China)

**Abstract:** The dynamic of carbon stock and carbon sequestration in Chinese fir plantation at 10-year-old and 14-year-old were researched in Huitong, Hunan Province. The carbon stock of Chinese fir plantation ecosystem was mainly consisted of three sections, that was the trees, the litter and the soil, and the order of whose carbon stock could be ranked as follow; the soil > the trees > the litter. Carbon stock of Chinese fir plantation was 120.52 t · hm<sup>-2</sup> at the 10-year-old and 171.40 t · hm<sup>-2</sup> at the 14-year-old, with characteristics of age stage and zone. Superiority of carbon storage in the trees gradually strengthen with the forest stands age growth, carbon storage of the trees had gone up from 30.38 t · hm<sup>-2</sup> at the 10-year-old to 61.24 t · hm<sup>-2</sup> at the 14-year-old, occupied 25.21% and 38.50% of total carbon stock of the whole ecosystem respectively, carbon storage of different organs was basically direct proportion with its biomass, carbon storage of the trunk occupied the greatest proportion of that in the trees, up to 47.17%, and increased with the forest stands age growth, that in bran-

收稿日期: 2005-08-18 修回日期: 2006-04-16

基金项目: 国家重点项目(2000-076); 国家林业局重点项目(2001-07); 湖南省教育厅项目(01C053) [Supported by the Program of National Key Scientific Station for Scientific Observation and Experiment(2000-076); Key Program from China State Forestry Administration(2001-07); Program of Education Department of Hunan Province(01C053)]

作者简介: 方晰(1968-), 女, 广西邕宁县人, 博士, 副教授, 主要从事森林生态系统定位研究, (E-mail) fangxizhang@sina.com.

ches, leaves, bark and roots occupied more than 48.11%, and that of aboveground accounted for more than 84.73%. Carbon storage in forestlands soil layer(0~60 cm) at the 10-year-old and the 14-year-old Chinese fir forestlands soil was up to 88.21 and 108.20 t · hm<sup>-2</sup> respectively, accounting for more than 63.13% of carbon storage in the whole ecosystem, carbon storage of the surface soil(0~15 cm) layer at the 10-year-old and the 14-year-old Chinese fir forestlands held 36.57% and 34.26% of that in the soil layer(0~60 cm) respectively, and that of the soil layer(0~30 cm) took up 63.44% and 61.05% of that in the soil layer(0~60 cm) respectively. The ratio of carbon storage of aboveground to that of underground at the 10-year-old and the 14-year-old Chinese fir plantation ecosystem was 1:3.53 and 1:2.22 respectively, and decreased as the Chinese fir forest age growth. The annual net carbon amount of the 10-year-old and the 14-year-old Chinese fir plantation was respectively up to 5.488 and 9.285 t · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>. Extant carbon storage, potential carbon storage and potentiality of carbon sequestration of Chinese fir forest vegetation in Hunan Province was 0.1916 × 10<sup>8</sup> t, 1.4710 × 10<sup>8</sup> t and 1.2794 × 10<sup>8</sup> t respectively, extant carbon storage was only accounting for 13.03% of potential carbon storage, was less than the whole national level 26.46%.

**Key words:** Chinese fir plantation; carbon stock; carbon sequestration; dynamic

森林是陆地生物圈的主体, 约占全球陆地面积的 30%, 其生物量约占整个陆地生态系统生物量的 86%, 生产量约占陆地生态系统的 70%, 是生物圈中最重要的参与者(秦建华等, 1997)。它在调节全球 C 收支平衡, 减缓大气 CO<sub>2</sub> 等温室气体浓度上升等方面具有不可替代的作用。森林生态系统的 C 库是研究森林生态系统与大气圈之间 C 交换的基本参数(Dixon 等, 1994), 是正确估算和解释森林生态系统向大气吸收和排放含 C 气体的关键因子, 也是研究全球 C 循环的基础(王效科等, 1995)。然而, 由于森林生态系统的复杂性, 森林生态系统 C 库和 C 汇的大小及其分布在当前仍存在很大的不确定性和争议(Brown, 1996)。近十年来, 方精云等(1996, 2000, 2001)、王效科等(1995, 2000, 2001)、刘国华等(2000)和周玉荣等(2000)分别利用我国森林资源调查资料, 结合我国森林生态系统生物量和生产力研究的基础上, 推算我国近 50 年来森林植被的 C 库及其动态, 为评价北半球中高纬度地区 C 库和我国森林 C 汇功能做出了贡献。但是, 由于我国幅员辽阔, 地形复杂, 气候多样, 形成了具有暖、寒、干、湿等各种气候状况下复杂多样的森林类型, 这增加了按大尺度估算我国森林生态系统 C 库的难度和不确定性(方运霆等, 2002; 李江等, 2003)。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方亚热带特有优良速生乡土用材树种。目前, 我国杉木林面积达 1 239.1 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 蓄积量为 47 357.33 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 分别占我国人工林面积和蓄积的 26.55% 和 46.89%, 杉木人工林是我国南方集体林区的主要森林类型之一, 在缓解我国经济发展对木材需求增长

的压力和支持天然林保护等重大生态工程的实施方面起着重要作用。为此, 本研究通过分析杉木人工林生态系统 C 库空间分布及 C 吸存的动态变化, 估算湖南省现有杉木林植被层的 C 库和 C 吸存潜力, 为区域尺度、国家尺度的森林生态系统 C 密度的分布状况研究和 C 库的估算提供基础数据, 减少森林生态系统 C 循环研究中的不确定性。

## 1 实验地概况

试验地设于国家重点野外科学试验站、国家林业局重点森林生态系统定位观测站——中南林学院湖南会同森林生态系统定位研究站。该站地理坐标 109°45' E, 26°50' N, 气候属典型的亚热带湿润性气候, 年平均温度为 16.8℃, 年降水量在 1 100~1 400 mm 之间, 年均相对湿度 80% 以上。海拔高度 300~500 m, 相对高度 150 m 以下, 为低山丘陵地貌。土壤系震旦纪板溪系灰绿色板岩发育的山地黄壤, 非常适合杉木的生长。站内设有面积为 2 hm<sup>2</sup> 试验集水区 8 个, 平均坡度为 25°, 8 个集水区相互平行且自然地理状况基本相似, 彼此相距不超过 100 m。

本次试验在 I、Ⅲ号集水区内进行。该集水区是 1987 年对该区的 1966 年营造杉木人工林皆伐后, 年底炼山、整地, 1988 年春以 1 500~2 490 株/hm<sup>2</sup> 营造杉木纯林。1988~1990 年间, 每年进行两次(5、8 月)全林抚育, 现为郁闭度 0.8~0.9 的杉木人工林, 生长正常。林内有少量的杜茎山(*Maesa japonica*)、木姜子(*Litsea cubeba*)、油桐(*Fordii hemsra-siticus*)和毛冬青(*Ilex purpurea*)等灌木, 以及华南毛

蕨(*Cyclosorus parasiticus*)、狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、铁芒箕(*Dicranopteris dichotoma*)、地苘(*Melastoma dodecandrum*)等草本植物。

## 2 研究方法

### 2.1 杉木生物量和净生产力的测定

在集水区的山坡、山麓和山谷 3 个不同部位分别设置面积为 0.667 hm<sup>2</sup> 样地,将样地内的林木按克拉夫特分级法(即 I 级木、II 级木、III 级木、IV 级木、V 级木 5 个生长级)分级,进行每木调查,根据胸

径、树高和冠幅等测树因子(如表 1 所示),选取各生长级的平均木和林分平均木,共 6 株标准样木。采用 6 株标准木法建立  $W = a(D^2 H)^b$  相对生长方程估测林分的生物量,考虑到同龄人工林特点,采用年平均生物量作为净生产力的估算指标(潘维俦等,1981)。本研究测定时间为 1997 年 11 月和 2001 年 12 月。

10 年生杉木林生物量与胸径(D)、树高(H)的回归方程为:  $W_T = 0.014 1(D^2 H)^{0.956 4}$  ( $r = 0.993$ );  $W_{皮} = 0.010 3(D^2 H)^{0.743 3}$  ( $r = 0.998$ );  $W_{枝} = 0.012 3(D^2 H)^{0.802 6}$  ( $r = 0.996$ );  $W_{叶} = 0.090 7(D^2 H)^{0.556 1}$  ( $r = 0.978$ );  $W_{根} = 0.010 6(D^2 H)^{0.834 4}$  ( $r = 0.973$ )。

表 1 不同年龄杉木林分特征

Table 1 The characteristics of different-aged Chinese fir stands

生长级 Growth grade	10 年生 10-year-old (1997)			14 年生 14-year-old (2001)		
	平均胸径 DBH (cm)	平均树高 H (m)	株数 Tree number (tree/hm <sup>2</sup> )	平均胸径 DBH (cm)	平均树高 H (m)	株数 Tree number (tree/hm <sup>2</sup> )
I	16.2	12.8	180	18.59	15.11	195
II	14.0	11.6	360	15.88	13.49	375
III	11.4	10.6	960	12.85	11.34	930
IV	8.4	8.0	405	9.64	8.36	390
V	6.1	6.0	270	6.90	7.17	255
Σ			2 175			2 155

14 年生杉木林生物量与胸径(D)、树高(H)的回归方程为:  $W_T = 0.016 3(D^2 H)^{0.958 2}$  ( $r = 0.981$ );  $W_{皮} = 0.002 8(D^2 H)^{1.003 6}$  ( $r = 0.921$ );  $W_{枝} = 0.381 3(D^2 H)^{0.334 4}$  ( $r = 0.963$ );  $W_{叶} = 0.005 8(D^2 H)^{0.889 0}$  ( $r = 0.898$ );  $W_{根} = 0.043 6(D^2 H)^{0.646 4}$  ( $r = 0.931$ )。

### 2.2 林下植被生物量和年凋落物量的测定

在样地内按梅花形设置 25 个面积 1 m × 1 m 的小样方,记录每个小样方内的植物种类,灌木分为叶、茎、根,草本植物分为地上部分和地下部分,采用全挖实测法。同种植物的相同器官取混合样品。死地被物全部测定生物量,取混合样品,80℃烘干至恒重后再估算干重,同时用作分析样品。

在集水区内的山坡、山麓安装面积为 20 m<sup>2</sup> 的长方形的承接器,整个穿套在树根离地面约为 80 cm 外并固定,各 1 个,每月收集 1 次,按组分(叶、小枝、皮、果、有机碎屑)测定凋落物量。同时选取一定量的凋落物作为分析样品。

### 2.3 分析样品采集

在测定生物量的同时,按树高不同层次分组分采集 6 株标准木的分析样品。样品组分分为干、皮、枝(分为:当年生、1 年生、2 年生、多年生)、叶(分为:

当年生、1 年生、2 年生、多年生)和根(分为:<0.2 cm、0.2~0.5 cm、>0.5 cm、根头)。对样品逐一进行测定。土壤随机设定 3~4 个样点,分层(0~15 cm、15~30 cm、30~45 cm、>45 cm)采集分析样品,同时测定土壤容重,根据容重计算单位面积土壤重量。

### 2.4 分析样品中 C 含量的测定、C 库及 C 吸存量的计算

植物分析样品于 80℃烘干,土壤样品则置于室内风干,然后磨碎,再以 105℃恒重为基准。植物、土壤样品中 C 含量采用重铬酸钾—水合加热法(中国土壤学会农业化学专业委员会,1984)测定,测定结果见文献(田大伦等,2004)。

用各器官的 C 含量与其生物量来估算林分 C 库量;用各器官的 C 含量与其生物量的年增量相乘来估算林分的 C 吸存量;土壤 C 库采用单位面积土层重量与相应土层 C 含量的乘积。

## 3 结果分析

### 3.1 杉木林各器官中的 C 贮量与分配

由表 2 可以看出,杉木林的生物量和 C 贮量均随着林龄的增长而增加,由 10 年生到 14 年生,生物

量由  $63.97 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  增加到  $127.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , C 贮量由  $30.38 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  增加到  $61.24 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 而且以树干部分的增加最为明显。地上部分的 C 贮量占杉木林 C 贮量的 85.35% 以上。C 贮量在不同器官中的分配,基本上与各器官的生物量成正比关系,如 10 年生时,树干生物量占林分生物量的 47.10%,相

应其 C 贮量所占的比例为 47.17%, 14 年生时占 52.29%, 其 C 贮量所占的比例更高,为 51.89%, 枝、叶、皮、根的 C 贮量所占的比例约 48.11%。

### 3.2 杉木林地土壤 C 储量的垂直分布

表 3 表明,10 年生和 14 年生杉木林土壤层(0~60 cm)C 储量分别为  $88.21$  和  $108.20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,

表 2 不同年龄杉木各器官中的碳素贮量与分配<sup>1)</sup>

Table 2 Carbon storage and distribution in different organs of different-aged Chinese fir( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

器官 Organ	10 年生 10-year-old		14 年生 14-year-old		
	生物量 Biomass	C 贮量 Carbon storage	生物量 Biomass	C 贮量 Carbon storage	
地上部分 Above ground	树叶 Leaf	10.82(16.91)	5.21(17.15)	14.25(11.17)	7.26(11.85)
	树枝 Branch	8.92(13.94)	4.04(13.30)	17.25(13.52)	7.90(12.90)
	树干 Trunk	30.13(47.10)	14.33(47.17)	66.70(52.29)	31.78(51.89)
	树皮 Bark	4.72(7.38)	2.35(7.74)	12.13(9.51)	6.06(9.90)
树根 Root	9.38(14.66)	4.45(14.65)	17.22(13.50)	8.24(13.46)	
合计 Total	63.97(100)	30.38(100)	127.55(100)	61.24(100)	
地上部分的百分比 Percentage of above ground (%)	85.34	85.35	86.50	86.54	

<sup>1)</sup> 括号内数字为百分数 Data in bracket represent percentage (%)

不同年龄杉木林地土壤的 C 储量随着土壤深度的增加而减少。10 年生和 14 年生杉木林地土壤表层(0~15 cm)的 C 储量分别占土壤总 C 储量的 36.57% 和 34.26%, 而 0~30 cm 的土壤层中的 C 储量分别占土壤总 C 储量的 63.44% 和 61.05%。可见,林地土壤 0~30 cm 层保存了绝大部分的 C。

表 3 不同年龄杉木林地土壤 C 储量的垂直分布

Table 3 Vertical allocation of soil carbon storage in different Chinese fir forestlands( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

土壤深度 Soil depth (cm)	10 年生 C 储量 10-year-old carbon storage	14 年生 C 储量 14-year-old carbon storage
0~15	32.36	37.08
15~30	23.60	28.98
30~45	18.56	22.88
45~60	13.69	19.26
合计 Total	88.21	108.20

### 3.3 杉木林生态系统中 C 库的空间分布

如表 4 所示,10 年生和 14 年生杉木林生态系统中的 C 库分别为  $120.87$ 、 $171.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 杉木人工林生态系统中的 C 库主要由植被层、死地被物层和土壤层组成的,按其 C 库的大小顺序排列为:土壤层>植被层>死地被物层。杉木林生态系统植被层 C 贮量呈现出随着林龄的增长而增加的趋势,10 年生和 14 年生杉木林生态系统中,植被层的 C 贮量分别为  $31.80$  和  $61.69 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 分别占整个生态

系统 C 贮量的 26.31%、35.99%。其中乔木层 C 贮量增加的程度最为明显,10 年生时,乔木层的 C 贮

表 4 杉木人工林生态系统中 C 贮量的空间分布

Table 4 Spatial distribution of carbon storage in Chinese fir plantation ecosystem ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

层次 Stratum	10 年生 10-year-old		14 年生 14-year-old	
	生物量 Biomass	C 贮量 Carbon storage	生物量 Biomass	C 贮量 Carbon storage
乔木层 Tree stratum	63.97	30.38	127.55	61.24
下林层 Under stratum	3.42	1.42	1.27	0.45
灌木层 Shrub stratum	1.19	0.52	0.37	0.16
草本层 Herb stratum	2.23	0.90	0.90	0.29
小计 Subtotal	67.39	31.80	128.82	61.69
死地被物层 Litter stratum	1.97	0.86	3.07	1.51
土壤层 Soil stratum(0~60 cm)		88.21		108.20
合计 Total		120.87		171.40
地上部分/地下部分 Above ground/Under ground		1/3.53		1/2.22

量占植被层的 95.53%, 占整个生态系统的 25.21%, 14 年生时分别占 99.27% 和 38.50%。随着林分年龄的增长,林下活地被物层的生物量逐渐下降,其 C 贮量也随之减少。由此可见,在杉木人工林生态系统中,植被层的 C 贮量主要取决于乔木层的 C 贮量。死地被物层的 C 贮量随着林分年龄的增长而增加,10 年生时为  $0.86 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 14 年生时增加到  $1.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 分别占整个生态系统 C 贮量的

0.71%、0.95%。林地土壤层(0~60 cm)的C贮量是相当可观的,在不同年龄的杉木林中均在 $88.27 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,占整个生态系统C贮量的63.13%以上。

### 3.4 杉木林净第一性生产量及年净固定C量的初步估算

由表5可以看出,10年生和14年生杉木林的净第一性生产力分别为 $11.624$ 、 $19.459 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,当年净固定C量分别 $5.488$ 、 $9.285 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,地上部分年净固定C量分别相当于地下部分的5.68和8.79倍。10年生和14年生杉木林生物量净增量分别为 $10.957$ 和 $18.290 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,当年净积累C量分别为 $5.183$ 和 $8.739 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,分别占杉木林当年净固定C量的94.44%和94.12%,均以树干的年净固定C量为最高。当年凋落物归还的C量分别为 $0.305$ 、 $0.550 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,分别占杉木林当年净固定C量的5.56%、5.92%。

表5 杉木人工林的净第一性生产量及C固定量  
Table 5 Net primary production and its carbon amounts in Chinese fir plantation ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

组分 Component	10年生 10-year-old		14年生 14-year-old	
	净生产力 Net productivity	净C固定量 Net carbon storage	净生产力 Net productivity	净C固定量 Net carbon storage
树叶 Leaf	1.347	0.648	1.273	0.648
树枝 Branch	1.507	0.683	2.950	1.351
树干 Trunk	5.573	2.635	10.607	5.053
树皮 Bark	0.797	0.396	1.477	0.738
树根 Root	1.733	0.821	1.983	0.949
小计 Subtotal	10.957	5.183	18.290	8.739
年凋落物 Annual litter	0.667	0.305	1.169	0.546
合计 Total	11.624	5.488	19.459	9.285

## 4 讨论

杉木林的C贮量随着年龄的增长而增加,从10年生的 $30.38 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到14年生的 $61.24 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,而且以树干部分的增加最为明显,增加了4.72%,地上部分的C贮量占杉木林C贮量的84.73%以上。据报道,福建三明33年生的福建柏和杉木人工林地上部分的C贮量分别占林分C贮量的85.71%和81.13%(何宗明等,2003)。C贮量在不同器官中的分配,基本上与各器官的生物量成正比例,以树干部分C贮量所占的比例最高,可达

47.17%以上,并随杉木林年龄的增长而明显增加,而分布在枝、叶、皮、根当中的C贮量为48.11%以上。因此,杉木林采伐利用时,木材部分制成家具或作为建筑材料,可以长期地保存其中的碳,但采伐后所剩下枝、叶、皮、根等部分应保留在林地内,让其在自然状态下缓慢分解,经由腐殖质的最后分解阶段常常需要很长的时间——有时要几年或几十年(拉夏埃尔,1982),以减缓C的排放。如果能够在采伐后及时完成造林更新过程,可以明显地减少由于采伐所造成的C排放。反之,如果杉木林采伐后,所剩下大量的树枝、叶、皮、根等被移出林地用作薪材,或进行“炼山”这将导致原来已固定的C在短时间内迅速氧化分解而排放,尤其是采伐后土壤表层裸露,土壤中的有机C在高温的条件下迅速氧化分解,将排放大量的C(方晰等,1997),从而成为大气 $\text{CO}_2$ 的源。

10年生和14年生杉木林地土壤(0~60 cm)C储量分别为 $88.21$ 、 $108.20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。明显高于江苏南部丘陵地区的杉木人工林地土壤(0~80 cm)的C贮量( $48.64 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )(阮宏华等,1997)。明显低于我国森林土壤平均C密度( $193.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )和世界土壤平均C贮量( $189.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),与同处中纬度的美国大陆土壤的C贮量( $108.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )相近(周玉荣等,2000),究其原因可能是土壤样品采集时,分层的差异,或者是在估算土壤的C库储量时,不同的学者所测算的土壤深度不同。由于森林动植物的残体和森林枯枝落叶作为土壤有机C的主要来源,并由于气候、生物等因素的作用,在林地土壤中形成了层次结构,其C储量也将随着土壤深度的不同而发生变化。不同年龄杉木人工林林地土壤的C储量随着土壤深度的增加而减少,10年生和14年生杉木林地土壤层0~30 cm中的C储量分别占土壤总C储量的63.44%和61.05%。也正由于土壤中的C主要分布在土壤0~30 cm层,以及人类的经营活动也主要发生土壤0~30 cm层。因此,人类的经营活动方式对土壤中的C也就产生巨大的影响,这也往往决定了森林土壤中的C库是“C源”或是“C汇”的作用。

不同地带森林类型的死地被物层现存量的变化对土壤C库储量有明显的影响。如:大兴安岭落叶松林中,死地被物层的现存量 $42.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其土壤层(10~78 cm)的C库储量高达 $347.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (阮宏华等,1997);江苏南部丘陵地区的次生栎林

中,死地被物层的现存量为  $9.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其土壤层(0~80 cm)的 C 库储量为  $69.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,地上部分与地下部分 C 贮量之比为 1:1.1(阮宏华等,1997);而在热带山地雨林生态系统中,死地被物层的现存量为  $5.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其森林土壤层(包括土壤和凋落物)的 C 库储量为  $107.676 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,占整个生态系统 C 库的 30.61%(李意德等,1998);湖南会同杉木人工林中,死地被物层的现存量为  $1.97 \sim 3.07 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其土壤层(0~60 cm)的 C 库储量为  $88.21 \sim 108.20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,地上部分与地下部分 C 库之比为:10 年生为 1:3.53,14 年生为 1:2.22,随着杉木林年龄的增长,地上部分与地下部分 C 库之比有逐渐下降的趋势。据估计,全球森林地上部分 C 库为  $4.0 \times 10^{11} \sim 7.0 \times 10^{11}$ ,林地死地被物和土壤中的 C 库约为它的 2~3 倍(Post 等,1982;Houghton 等,1990;Sedjo,1993)。显然,湖南会同杉木林生态系统地下部分 C 库与地上部分 C 库之比与这一估计相当。

10 年生和 14 年生杉木林生态系统中 C 库分别为  $120.52, 171.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,均低于我国森林生态系统的平均 C 贮量( $258.83 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),远低于我国针叶林生态系统的 C 贮量( $408.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )(周玉荣等,2000),具有一定的年龄阶段和地带性特点。湖南会同杉木人工林生态系统中的 C 库主要由植被

层、死地被物层和土壤层组成的,按其 C 库的大小顺序排列为:土壤层>植被层>死地被物层。由此可见,森林生态系统中的林地土壤层和植被层是 C 的一个极重要的贮存库,表明了保护好现有的森林植被在维持陆地生态系统的 C 贮量有着重要的意义。死地被物层的 C 贮量虽然远小于土壤层和植被层的 C 贮量,但它是森林生态系统 C 循环的联结库,对森林生态系统的 C 循环起着极为重要作用。

森林生态系统生产力研究的主要内容之一是要确定系统同化  $\text{CO}_2$  的能力。10 年生和 14 年生杉木林年净固定 C 量分别为  $5.488, 9.285 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,其中林分生物量当年净积累 C 量分别为  $5.183, 8.739 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,年凋落物归还的 C 量分别为  $0.305, 0.550 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。据报道,海南尖峰岭热带雨林第一性生产量和年净固定碳分别为  $16.30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}, 8.62 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,生物量年净增量及 C 同化净增量分别为  $6.92 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}, 3.82 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (李意德等,1998);江苏南部丘陵地区,国外松林生物量的 C 同化净增量为  $5.79 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,次生栎林和杉木人工林为  $2.46 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (阮宏华等,1997);福建三明 33 年生的福建柏和杉木林年净固定 C 量分别  $9.907, 6.450 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,其中年凋落物中归还的 C 量分别为  $3.769, 2.151 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (何宗明等,2003)。

表 6 湖南省及全国杉木林植被部分 C 吸存潜力<sup>1)</sup>

Table 6 Potentiality of carbon sequestration of the Chinese Fir forest vegetation in Hunan Province

项目 Items	面积 Area (104 hm <sup>2</sup> )	现有 C 贮量(106 t) Extant carbon storage					总计 Total	潜在 C 贮量 Potential carbon storage(106 t)
		幼龄林 Young	中龄林 Middle-aged	近熟林 Premature	成熟林 Mature	过熟林 Post-mature		
湖南省杉木林 H	240.21	3.94	9.01	3.09	2.70	0.42	19.16	147.10
湖南森林 F	667.89	12.52	14.16	4.29	6.55	1.20	38.72	
全国杉木林 C	768.31	9.98	31.61	11.73	7.50	2.87	63.69	240.71

<sup>1)</sup>湖南省杉木林的幼龄林中还包括了杉木疏林、散生林和四旁树等。 Young of Chinese fir forest stands in Hunan included sparse woods, scattered woods, back and front woods. H, Chinese fir in Hunan; F, Forest stands in Hunan; C, Chinese fir stands in China.

根据湖南省杉木林分布面积及其蓄积量(来自湖南省林业厅 1990~1995 年森林资源普查资料),利用杉木林蓄积量与其生物量之间的关系式(刘国华等,2000): $B=0.3999 \times V$ (蓄积量)+22.5410,并采用幼龄林的平均 C 含量为 47%、中龄林为 48%、近成熟林为 49%、成熟林和过熟林为 54%(田大伦等,2004),估算湖南省现有杉木林植被的 C 库和潜在 C 库。如表 6 所示,湖南省现有杉木林植被

的 C 库为  $0.1916 \times 10^8 \text{ t}$ ,占湖南省现有森林植被的 C 库的 49.48%(王效科等,2001),潜在 C 库为  $1.4710 \times 10^8 \text{ t}$ ,C 吸存潜力为  $1.2794 \times 10^8 \text{ t}$ 。如果以 1 tC 等于  $3.67 \text{ t CO}_2$  计(王效科等,2000),则折合成湖南现有杉木林植被  $\text{CO}_2$  吸收潜力为  $4.6954 \times 10^8 \text{ t}$ 。这结果意味着只要对现有杉木林进行适当的保护和管理,按杉木林轮伐期 25 年计,在 25 年后能再吸收  $4.6954 \times 10^8 \text{ t CO}_2$ 。另一方面,湖南省现有杉木林植被 C 库仅为其潜在 C 库的 13.03%,

低于全国杉木林水平的 26.46% (王效科等, 2000, 2001)。可见, 湖南省现有杉木林分布面积虽大, 但是林分的质量并不高, 为此湖南省林业有关部门可以通过适当的林业管理措施, 其 C 吸存能力将会有很大的前景。

### 参考文献:

- 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 1996. 中国陆地生态系统的碳库 [M]//现代生态学的热点问题研究. 上册, 北京: 中国科学技术出版社: 109-127.
- 中国土壤学会农业化学专业委员会. 1984. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社: 272-273.
- 王效科, 冯宗炜. 1995. 森林生态系统中生物量和碳贮量的研究历史[C]//王如松. 现代生态学热点. 北京: 中国科学与技术出版社: 335-347.
- 拉夏埃尔. W. (李博译). 1982. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社: 90-117.
- 潘维涛, 田大伦. 1981. 森林生态系统第一性生产量的测定技术与方法[M]. 湖南林业科学, (2): 1-12.
- Brown S. 1996. Present and potential roles of forests in the global climate change debate[J]. *Unasylva*, **185**, **47**: 3-10.
- Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystem[J]. *Science*, **264** (14): 185-190.
- Fang JY(方精云). 2000. Forest biomass carbon pool of middle and high latitudes in the north hemisphere is probably much smaller than present estimates(北纬中高纬度的森林碳库可能远小于目前的估算)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), **24**(5): 635-638.
- Fang JY(方精云), Chen AP(陈安平). 2001. Dynamic forest biomass carbon pools in China and their significance(中国森林植被碳库的动态变化及其意义)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), **43**(9): 967-973.
- Fang X(方晰), Tian DL(田大伦). 1997. A study on the forest soil CO<sub>2</sub> release rates in Chinese fir plantation(杉木人工林林地 CO<sub>2</sub> 释放量的研究)[J]. *Sci Sil Sin*(林业科学), **33**(2): 94-103.
- Fang YT(方运霆), Mo JM(莫江明). 2002. Study on carbon distribution and storage of a pine forest ecosystem in Dinghushan Biosphere Reserve(鼎湖山马尾松林生态系统碳素分配和贮量的研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), **22** (4): 305-310.
- He ZM(何宗明), Li LH(李丽红), Wang YX(王义祥), et al. 2003. Carbon stock and carbon sequestration of a 33-year-old *Fokienia hodginsii* plantation(33年生福建柏人工林碳库与碳吸存)[J]. *J Mountain Sci*(山地学报), **21** (3): 298-303.
- Houghton R A, Skole D L, Carbon. 1990. The Earth As Transformed by Human Action[M]. In: Tumer B L, Clark W C, Kates R W (eds). Cambridge University Press, 393-408.
- Li YD(李意德), Wu ZM(吴仲民), Zeng QB(曾庆波), et al. 1998. Estimation of community productivity and net CO<sub>2</sub> accumulation of a tropical mountain rain forest in Jianfengling, Hainan Island, China(尖峰岭热带山地雨林生态系统碳平衡的初步研究)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **18** (4): 371-378.
- Li J(李江), Chen HW(陈宏伟), Feng X(冯弦). 2003. Carbon stock and rate of carbon sequestration assesment of hardwood plantations in tropical Yunnan, China(云南热区几种阔叶人工林 C 储量的研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), **23** (4): 294-298.
- Liu GH(刘国华), Fu BJ(傅伯杰), Fang JY(方精云). 2000. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance(中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **20**(5): 733-740.
- Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, et al. 1982. Soil carbon pools and life zones [J]. *Nature*, **298**: 156-159.
- Qin JH(秦建华), Jiang ZL(姜志林). 1997. Effect of forest on atmosphere carbon balance(森林在大气碳平衡中的作用)[J]. *World For Res*(世界林业研究), (4): 18-25.
- Ruan HH(阮宏华), Jiang ZL(姜志林), Gao SM(高苏铭). 1997. Preliminary studies of carbon cycling in three types of forests in the hilly regions of Southern Jiangsu Province(苏南丘陵主要森林类型碳循环研究一含量与分布规律)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **16**(6): 17-21.
- Sedjo R A. 1993. The carbon cycle and global forest ecosystem[J]. *Water Air and Soil Pollution*, (70): 295-307.
- Tian DL(田大伦), Fang X(方晰), Xiang WH(项文化). 2004. Carbon density of the Chinese fir plantation ecosystem at Huitong, Hunan(湖南会同杉木人工林生态系统的碳素密度)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **24**(11): 2382-2386.
- Wang XK(王效科), Feng ZW(冯宗炜). 2000. The potential sequester atmospheric carbon through forest ecosystem in China(中国森林生态系统中植物固定大气碳的潜力)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **19**(4): 72-74.
- Wang XK(王效科), Feng ZW(冯宗炜), Ouyang ZY(欧阳志云). 2001. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China(中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **12**(1): 13-16.
- Zhou YR(周玉荣), Yu ZL(于振良), Zhao SD(赵士洞). 2000. Carbon storage and budget of major Chinese forest types(我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡)[J]. *Acta Phytocol Sin*(植物生态学报), **24**(5): 518-522.