

文章编号: 1000-5692(2003)04-0374-06

# 不同密度湿地松人工林中碳的积累与分配

方 晰, 田大伦, 项文化, 蔡宝玉

(中南林学院 生态研究室, 湖南 株洲 412006)

**摘要:** 探讨了广西禄峰山林场 16 年生 4 种密度湿地松 *Pinus elliottii* 人工林生态系统的碳积累、分配及与林分密度的关系。结果表明: 4 种密度湿地松人工林生态系统碳库的空间分布序列均为土壤层>植被层>死地被物层, 碳库总量范围为 264.834~323.978 t·hm<sup>-2</sup>, 平均为 291.663 t·hm<sup>-2</sup>, 随着林分密度的增大而增加。植被层的碳贮量范围为 96.614~110.717 t·hm<sup>-2</sup>, 占碳库总量的 35.40%, 各组分碳贮量排列均为树干>树根>树枝>树叶, 碳贮量的地上/地下之比为 7.185~7.922, 随着密度的增大而下降。随着林分密度的增加, 死地被物层的碳贮量由 5.746 t·hm<sup>-2</sup> 增加至 9.181 t·hm<sup>-2</sup>, 占 2.17%~2.83%。土壤层 (0~60 cm) 的碳贮量平均为 180.94 t·hm<sup>-2</sup>, 占 60.32% 以上。密度组 I, 密度组 II, 密度组 III 和密度组 IV 的年净固定碳量依次分别为 9.729 t·hm<sup>-2</sup>, 9.882 t·hm<sup>-2</sup>, 11.239 t·hm<sup>-2</sup> 和 11.946 t·hm<sup>-2</sup>, 平均为 10.699 t·hm<sup>-2</sup>。表 7 参 16

**关键词:** 湿地松人工林; 碳贮量; 碳分配; 林分密度; 广西

**中图分类号:** S718.55<sup>+</sup>4.2 **文献标识码:** A

在过去 1 个世纪中, 大气中二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 浓度增加了 25%<sup>[1]</sup>, 而且目前的增加速率是上升的<sup>[2]</sup>。大气中 CO<sub>2</sub> 浓度升高, 导致全球变暖、降水格局变异和海平面上升等问题, 正威胁着全球生态环境和人类自身的生存与发展, 已引起了国际社会的普遍关注<sup>[3,4]</sup>。森林是生物圈的主体, 维持的碳库占全球总碳库的 46.3%, 森林植被维持的碳库占全球植被碳库的 77.1%<sup>[3]</sup>。1850~1998 年间因全球土地利用方式的变化而释放的 CO<sub>2</sub> 累积达 (126±55) Gt, 其中约 89% 来源于森林的变化<sup>[3,4]</sup>。可见, 森林生态系统在全球碳收支平衡中占主导地位。近年来我国已开始森林碳循环方面的研究, 如方精云等<sup>[5,6]</sup>、王效科等<sup>[7]</sup> 和周玉荣等<sup>[8]</sup> 推算了我国 50 a 来森林碳库及其动态变化。康惠宁等<sup>[9]</sup> 和陈育峰等<sup>[10]</sup> 估算了我国森林年净吸收碳量, 为评价北半球中高纬度地区森林碳库和我国森林碳汇功能做出了重大贡献。然而我国森林碳循环的研究仍然十分薄弱, 森林碳通量估计中仍存在较大的差异<sup>[5~10]</sup>。因此, 为了正确评价森林对大气 CO<sub>2</sub> 的平衡能力, 在生态系统尺度上研究典型森林生态系统的碳储量、分布和动态显得十分迫切。湿地松 *Pinus elliottii* 原产于美国东南部, 20 世纪 30 年代, 我国开始引种, 目前已成为我国南方丘陵区主要造林树种之一。至 1995 年全国南方湿地松的造林面积积达 1.9×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup><sup>[11]</sup>, 不仅具有显著的经济效益, 而且在维护生态环境方面发挥明显的作用。本文探讨湿地松人工林生态系统碳积累、分配及密度的关系, 旨在了解亚热带森林生态系统碳循环特征, 以

收稿日期: 2003-08-06; 修回日期: 2003-09-12

基金项目: 国家科技部基础研究重大项目(2102); 国家科技部重点野外科学观测试验站资助项目(2000-076); 国家林业局重点项目(2001-07, 2001-29); 中南林学院青年资金资助项目

作者简介: 方晰(1968-), 女, 广西邕宁人, 副教授, 从事森林生态学。E-mail: zhangshiji@hotmail.com

及为减少我国森林碳循环研究中的不确定性提供基础数据。

## 1 试验地自然概况

试验地设于广西禄峰山林场, 地理位置为  $23^{\circ}45'N$ ,  $109^{\circ}40'E$ 。该区年平均气温  $21.1^{\circ}C$ , 年降水量  $1\,418.5\text{ mm}$ , 相对湿度  $76\%$  左右。土壤为第四纪红土发育的粘性红壤, 土层厚度大于  $1\text{ m}$ , 石砾少, 坡度小于  $10^{\circ}$ 。为了进行不同密度湿地松人工林的生长对照试

表 1 不同密度 16 年生湿地松测树因子

密度组	密度/ (株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ )	$D/\text{cm}$	$H/\text{m}$	蓄积量/ ( $\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ )
I	2 220	16.0	12.9	273.06
II	2 745	14.5	12.7	273.95
III	3 255	14.7	12.7	312.48
IV	3 750	14.2	12.7	360.00

验, 1974 年造林时按  $2\,220\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $2\,754\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $3\,255\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$  和  $3\,750\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$  4 种不同密度造林。现实林分为 16 年生, 林分一直未进行间伐, 但进行抚育, 林相整齐, 林下无其他灌木和草本植物。林分特征如表 1。

## 2 研究方法

### 2.1 林分生物量的测定和净生产力的估算

林分生物量的测定和生产力的估算采用标准地—标准木—分级分层切割法<sup>[11]</sup>。

### 2.2 年凋落物和林地凋落物现存量的测定

在 4 种密度样地内各设置  $1\text{ m}\times 1\text{ m}$  的尼龙网收集器 5 个, 每月收集凋落物 1 次, 按组分 (小枝、叶、花、果) 测定干质量。同时, 在不同密度样地内, 各随机设置 5 个  $1\text{ m}\times 1\text{ m}$  的小样方, 按未分解、半分解和已分解 3 个层次, 测定现存凋落物的干质量。

### 2.3 分析样品的采集

在测定生物量的同时, 按层次分干、叶 (分当年生叶和老叶)、枝 (分当年生枝和老枝)、根 (分为  $<0.2\text{ cm}$ ,  $0.2\sim 0.5\text{ cm}$ ,  $>0.5\text{ cm}$  和根头) 采集标准木的分析样品, 对样品逐一进行化学分析, 以标准木分析结果的平均值作为最终测定结果。

年凋落物是把各月份的凋落物混合, 取混合样进行测定作为最终结果; 现存凋落物是按未分解、半分解和已分解 3 个层次分别混合, 取混合样进行测定作为最终结果。在不同密度样地内, 各按  $0\sim 15\text{ cm}$ ,  $15\sim 30\text{ cm}$ ,  $30\sim 45\text{ cm}$ ,  $45\sim 60\text{ cm}$  分层随机取土样 3~4 次, 再按层次分别混合, 取混合样测定, 作为不同密度土壤的最终测定结果。同时测定其容重, 根据容重估算单位面积土层的质量。

### 2.4 分析样品中碳含量的测定方法与碳贮量的计算

植物、土壤样品中碳含量采用重铬酸钾-水合加热法<sup>[12]</sup>测定。经测定得到, 植物中各组分的碳含量为: 树干  $54.786\%$ , 树枝  $55.590\%$ , 树叶  $59.330\%$ , 树根  $56.311\%$ , 年凋落物  $58.885\%$ ; 现存凋落物中未分解  $57.839\%$ , 半分解  $55.43\%$ , 已分解  $49.867\%$ 。变异系数均为  $2.5\%\sim 15.5\%$ 。

碳贮量是根据单位面积林分干物质质量 (生物量) 乘以其碳含量而求得。土壤碳贮量则是单位面积土层质量与相应土层碳含量的乘积。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同密度湿地松人工林土壤容重和土壤碳含量

不同密度湿地松林土壤容重基本上随土层深度增加而增加, 且同一土层, 不同密度湿地松林之间土壤容重差异不明显。  $0\sim 15\text{ cm}$ ,  $15\sim 30\text{ cm}$ ,  $30\sim 45\text{ cm}$  和  $45\sim 60\text{ cm}$  土层容重平均值依次为  $1.099\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $1.400\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $1.343\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  和  $1.360\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。从表 2 中可以看出, 不同密度湿地松林地各土层的碳含量分布状况虽然不尽相同, 但基本上表现出随着土层深度的增加而下降的趋势。其原因在于

上部土层较下部土层的生物归还量大, 有机碳较多积累在上部土层的缘故。

表2 不同密度湿地松人工林土壤碳含量

Table 2 Soil carbon concentration in slash pine plantation with different densities

土壤深度/cm	土壤碳含量/%			
	密度组 I	密度组 II	密度组 III	密度组 IV
0~15	3.075 9	3.680 6	2.833 0	5.452 2
15~30	2.344 3	2.673 6	2.632 9	2.383 2
30~45	1.544 3	1.372 8	1.797 7	1.498 6
45~60	1.381 4	1.334 5	1.821 4	1.576 2

### 3.2 不同密度湿地松林分的碳贮量

森林碳贮量主要来源于森林植物吸收固定大气CO<sub>2</sub>形成的有机物。从表3可以看出, 不同密度湿地松林分的碳贮量变动于96.614~110.717 t·hm<sup>-2</sup>[7]之间, 接近或高于我国针叶混交林和针阔叶混交林成熟林的平均值(98.87 t·hm<sup>-2</sup>和86.85 t·hm<sup>-2</sup>)[7]大于我国针叶、针阔混交林植被碳贮量的平均水平(64.76 t·hm<sup>-2</sup>)。可见, 湿地松人工林植被碳贮量较高。无论哪一密度, 碳在各组分中的分配, 基本上与各组分的生物量成正比例关系, 均为树干>树根>树枝>树叶。不同密度湿地松林分生物量和碳贮量地上/地下之比分别为7.356~8.100和7.185~7.922, 且随着密度的增大而下降。对不同密度湿地松林分碳贮量之间差异显著性分析结果(表4)表明: 不同密度之间林分碳贮量的差异不显著。

表3 不同密度湿地松林分生物量、碳贮量及分配

Table 3 Biomass, carbon storage and their distribution of slash pine stands with different densities

密度	项目	地上部分(a)/(t·hm <sup>-2</sup> )			树根(b)/(t·hm <sup>-2</sup> )	合计/(t·hm <sup>-2</sup> )	a/b
		树叶	树枝	树干			
密度组 I	生物量	8.10 (4.63)	10.16 (5.81)	137.50 (78.50)	19.23 (10.99)	174.99 (100)	8.100
	碳贮量	4.806	5.648	75.331	10.829	96.614	7.922
密度组 II	生物量	7.61 (4.36)	9.13 (5.23)	137.70 (78.91)	20.06 (11.50)	174.50 (100)	7.609
	碳贮量	4.515	5.511	75.440	11.296	96.762	7.566
密度组 III	生物量	8.70 (4.34)	10.30 (5.14)	158.37 (78.96)	23.20 (11.57)	200.58 (100)	7.645
	碳贮量	5.162	5.726	86.765	13.064	110.717	7.457
密度组 IV	生物量	6.62 (3.35)	8.33 (4.22)	158.95 (80.46)	23.64 (11.97)	197.54 (100)	7.356
	碳贮量	3.928	4.631	87.820	13.312	108.953	7.185

说明: 括号内的数据为百分数

### 3.3 不同密度湿地松林凋落物 现存量及碳贮量

枯枝落叶是林木新陈代谢的产物, 它对森林生态系统中的物质循环、维持土壤肥力和涵养水源有着重要的作用, 而且凋落物的分解状况反映了森林生态系统物质循环快慢以及结构的合理性。表5表明, 林分密度越大,

林木空间竞争越强烈, 凋落物现存量也越大, 当林分密度由2220株·hm<sup>-2</sup>增至3750株·hm<sup>-2</sup>, 凋落物现存量由9.75 t·hm<sup>-2</sup>增加到17.40 t·hm<sup>-2</sup>, 几乎增加了1倍。其碳贮量也随林分密度的增加, 由

表4 不同密度湿地松林分碳贮量平均值和方差差异性检验表

Table 4 The *t*-test and *F*-test results for stands storage of different densities

密度组	<i>t</i>	<i>t</i> <sub>0.05</sub>	差异显著性	<i>F</i>	<i>F</i> <sub>0.05</sub>	差异显著性
I-II	0.426 8	2.021	不显著	0.789 0	2.00	不显著
I-III	0.435 4	2.021	不显著	0.617 1	2.00	不显著
I-IV	0.462 0	2.021	不显著	0.785 7	2.00	不显著
II-III	0.428 0	2.021	不显著	0.815 0	2.00	不显著
II-IV	1.600 8	2.021	不显著	0.996 6	2.00	不显著
III-IV	0.466 9	2.021	不显著	0.818 2	2.00	不显著

5.746 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>增加至 9.181 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>。密度 II、III 类林分中, 未分解、半分解、已分解三者的量大致相等, 说明了林内光照和湿度有利于微生物活动, 物质循环稳定。而林分密度过大或过小都不利于微生物的活动, 阻碍了物质循环进程。

表 5 不同密度湿地松林凋落物现存量及碳贮量

Table 5 The existing storage and carbon storage of litter in different densities slash pine plantation

组成	密度组 I / (t <sup>°</sup> hm <sup>-2</sup> )		密度组 II / (t <sup>°</sup> hm <sup>-2</sup> )		密度组 III / (t <sup>°</sup> hm <sup>-2</sup> )		密度组 IV / (t <sup>°</sup> hm <sup>-2</sup> )	
	现存量	碳贮量	现存量	碳贮量	现存量	碳贮量	现存量	碳贮量
未分解	6.51	3.765	4.96	2.869	4.92	2.846	6.64	3.841
半分解	1.71	0.948	3.72	2.062	4.32	2.395	2.31	1.281
已分解	1.53	0.763	5.30	2.643	4.21	2.099	8.14	4.590
合计	9.75	5.746	13.87	7.576	13.46	7.340	17.40	9.181

### 3.4 不同密度湿地松人工林生态系统碳库的空间分布

由表 6 可以看出, 4 种密度湿地松人工林生态系统碳贮量范围为 264.834 ~ 323.978 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>, 平均为 291.663 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>, 且随密度的增大而增加。湿地松人工林生态系统中碳库主要为 3 个部分: 乔木层、死地被物层和土壤层, 其空间分布序列均为土壤层 > 植被层 > 死地被物层。植被层的碳贮量平均为 103.262 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>, 占总碳贮量的 35.40%; 死地被物层的变动于 5.746 ~ 9.181 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>之间, 占 2.17% ~ 2.83%; 林地土壤 (0 ~ 60 cm) 碳贮量是相当可观的, 均在 162.744 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>以上, 平均为 180.94 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>, 占 60.32% 以上。森林土壤中 (包括土壤、树根和死地被物层) 碳贮量占整个生态系统碳贮量的 67% 以上, 即地上部分与地下部分碳贮量之比为 1 : 2.20。据 Baumgarter (1978) 的估计, 全球森林地上部分碳贮量与地下部分碳贮量之比约为 1 : 2<sup>[13]</sup>。可见林地土壤是碳的一个极重要的贮存库。

表 6 不同密度湿地松林生态系统碳贮量的空间分布

Table 6 The carbon storage spatial distribution in different densities slash pine plantation

组成	碳贮量 / (t <sup>°</sup> hm <sup>-2</sup> )					
	密度组 I	密度组 II	密度组 III	密度组 IV	平均	
植被层	96.614 (36.48)	96.762 (34.50)	110.717 (37.21)	108.953 (33.63)	103.262 (35.4)	
死地被物层	5.746 (2.17)	7.576 (2.70)	7.34 (2.47)	9.181 (2.83)	7.461 (2.56)	
土壤层	0 ~ 15 cm	50.706 (19.15)	60.675 (21.63)	46.702 (15.70)	89.880 (27.74)	61.991 (21.25)
	15 ~ 30 cm	52.747 (19.92)	60.156 (21.45)	59.387 (19.96)	53.622 (16.55)	56.478 (19.36)
	30 ~ 45 cm	31.110 (11.75)	27.655 (9.86)	36.215 (12.17)	30.189 (9.32)	31.292 (10.73)
	45 ~ 60 cm	28.181 (10.64)	27.224 (9.71)	37.157 (12.49)	32.154 (9.92)	31.179 (10.90)
小计	162.744 (61.45)	175.71 (62.65)	179.461 (60.32)	205.845 (63.54)	180.94 (62.04)	
合计	264.834 (100)	280.46 (100)	297.518 (100)	323.978 (100)	291.663 (100)	
地上部分/地下部分	1/2.09	1/2.28	1/2.05	1/2.39	1/2.20	

说明: 括号内的数据为百分数, 小计是指土壤各层次的总量

4 种密度湿地松人工林林地土壤碳贮量中, 0 ~ 15 cm 和 15 ~ 30 cm 土层含碳量较高, 分别占土壤层 (0 ~ 60 cm) 碳贮量的 26.02% ~ 43.66% 和 26.05% ~ 34.24%; 0 ~ 30 cm 土层中, 占土壤层 (0 ~ 60 cm) 碳贮量依次分别为 63.57%, 68.77%, 59.11% 和 69.71%, 分别占整个生态系统的碳贮量的 39.07%, 43.08%, 35.66% 和 44.24%。可见, 森林土壤表层的碳贮量贡献较大, 任何引起水土流失的活动均容易导致土壤碳损失, 同时也反映了亚热带地区森林土壤的脆弱性。

林地凋落物现存量的大小对土壤碳贮量有很大的影响。如下蜀次生栎林凋落物现存量为 9.2 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup>, 其土壤 (0 ~ 80 cm) 碳贮量为 69.7 t<sup>°</sup>hm<sup>-2</sup><sup>[14]</sup>。鼎湖山 50 ~ 70 年生马尾松 *Pinus massoniana* 林

生态系统中,凋落物现存量为 $10.904 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,土壤(0~100 cm)碳贮量为 $73.705 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。广西23年生的马尾松林生态系统中,凋落物现存量为 $13.542 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其土壤层(0~60 cm)碳贮量为 $175.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。湿地松人工林生态系统中凋落物现存量平均为 $13.62 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其土壤层(0~60 cm)碳贮量平均为 $180.94 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。可见林地现存凋落物的碳贮量虽为最小,但它是土壤-植物系统碳循环的联结库,对森林生态系统的碳循环起到重要的作用。

### 3.5 不同密度湿地松人工林分的年固碳量

森林生态系统的生产力研究的主要内容之一是确定系统同化 $\text{CO}_2$ 的能力。由表7可以看出,不同密度湿地松人工林年净生产力随着密度的增大而增加。密度组I,密度II,密度组III和密度组IV的年净生产力依次分别为 $17.211 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $17.547 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $19.927 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $21.134 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均为 $18.955 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。有机碳年净固定量也是随着密度的增大而增加,依次分别为 $9.729 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $9.882 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $11.239 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $11.946 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均为 $10.699 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与这相比,同一林区,同一年龄阶段的马尾松人工林生态系统年净固定碳量平均为 $9.027 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[19]</sup>。因此,在该地区发展湿地松人工林不仅具有较高的生产力,而且对平衡大气中 $\text{CO}_2$ 有积极意义。从表7还可以看出,不同密度林分各组分平均净生产力和年净固定碳量是不同的。林分平均净生产力和年净固定碳量分配给干、根和凋落物的量均随密度的增大而增加,分配给枝和叶的净生产力和年固定碳量随着密度增大而趋于稳定。

表7 不同密度湿地松林分年净生产力与年固碳量

Table 7 Net annual primary production and annual carbon amounts in different densities slash pine plantation

组成	密度组I / ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )		密度组II / ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )		密度组III / ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )		密度组IV / ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	
	年净生产力	年固碳量	年净生产力	年固碳量	年净生产力	年固碳量	年净生产力	年固碳量
树干	8.67	4.750	8.49	4.651	10.37	5.681	11.08	6.070
树枝	0.65	0.361	0.55	0.306	0.68	0.378	0.70	0.389
树叶	0.49	0.291	0.47	0.279	0.57	0.338	0.59	0.350
树根	1.21	0.681	1.24	0.698	1.51	0.840	1.64	0.942
凋落物	6.19	3.646	6.80	3.948	6.80	4.002	7.12	4.195
合计	17.21	9.729	17.55	9.882	19.93	11.239	21.13	11.946

## 4 结论

4种密度湿地松人工林中,土层碳含量随着土壤深度的增加而下降。林分碳贮量变化范围为 $96.614 \sim 110.717 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,碳在各组分的分配均为树干>树根>树枝>树叶。碳贮量地上/地下之比为 $7.185 \sim 7.922$ ,且随着密度的增大而下降。林分密度由 $2220 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增至 $3750 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,现存凋落物碳贮量由 $5.746 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加至 $9.181 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

4种密度湿地松人工林生态系统碳库变动于 $264.834 \sim 323.978 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,平均为 $291.663 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,且随密度的增大而增加;空间分布序列均为土壤层>植被层>死地被物层。地上部分与地下部分碳库之比为 $1:2.20$ 。可见,森林土壤的碳库贡献较大,任何引起水土流失的活动将导致土壤碳损失,反映了亚热带地区森林土壤的脆弱性。

密度组I,密度组II,密度组III和密度组IV的年净固定碳量依次分别为 $9.729 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $9.882 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $11.239 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $11.946 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均为 $10.699 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

### 参考文献:

- [1] Houghton R A, Jenkins G J, Rphraums J J. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 1-150.
- [2] Keeling C D, Bacastow R B. Impact of industrial gases on climate [A]. Clark W C. *Energy and Climate* [C]. Washington: National Academy of Sciences, 1977. 72-95.

- [3] Brown S. Present and potential roles of forests in the global climate change debate [ J ]. *Unasylva*, 1996, **185**: 3—10.
- [4] Dixon R K, Winjum J K, Schroeder P E. Conservation and sequestration of carbon [ J ]. *Global Envir Change*, 1993, **3** (2): 159—173.
- [5] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国森林植被的生物量和生产力 [ J ]. *生态学报*, 1996, **16** (5): 497—508.
- [6] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及意义 [ J ]. *植物学报*, 2001, **43** (9): 967—973.
- [7] 王效科, 冯宗炜. 中国森林生态系统中植被固定大气碳的潜力 [ J ]. *生态学杂志*, 2000, **19** (4): 72—74.
- [8] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 中国主要森林生态系统的碳贮量与碳平衡 [ J ]. *植物生态学报*, 2000, **24** (5): 518—522.
- [9] 康惠宁, 马钦彦, 袁嘉祖. 中国森林 C 汇功能基本估计 [ J ]. *应用生态学报*, 1996, **7** (3): 230—234.
- [10] 石广生, 丁一汇, 张鹏, 等. 中国森林 CO<sub>2</sub> 释放与吸收的评估 [ A ]. 丁一汇. 中国的气候变化与气候影响研究 [ C ]. 北京: 气象出版社, 1996. 85—94.
- [11] 项文化, 湛小勇, 蔡宝玉. 湿地松人工林生产量的时空特征 [ A ]. 刘焯章. 森林生态系统定位研究 [ C ]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 60—64.
- [12] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [13] Houghton R A. Terrestrial sources and sinks of carbon inferred from terrestrial data [ J ]. *Tellus*, 1996, **46B**: 420—432.
- [14] 阮宏华, 姜志林, 苏高铭. 苏南丘陵主要森林类型的碳循环研究——含量与分布规律 [ J ]. *生态学杂志*, 1997, **16** (6): 17—21.
- [15] 方运霆, 莫江明. 鼎湖山马尾松林生态系统碳素分配和贮量的研究 [ J ]. *广西植物*, 2002, **22** (4): 305—310.
- [16] 方晰, 田大伦, 胥灿辉. 马尾松人工林生产与碳素动态 [ J ]. *中南林学院学报*, 2003, **23** (2): 11—15.

## On carbon accumulation, distribution of different densities in slash pine plantation

FANG Xi, TIAN Da-lun, XIANG Wen-hua, CAI Bao-yu

(Research Section of Ecology, Central South Forestry University, Zhuzhou 412006 Hunan, China)

**Abstract:** Carbon accumulation and distribution were studied in 16-year-old experimental slash pine plantations with four kinds of different densities at Lufeng Forest Farm in Guangxi Autonomous Region. The results indicated that the spatial distribution sequence of carbon storage ranked as soil layer > vegetation stratum > litter floor, the total carbon storage ranged from 264.834 t·hm<sup>-2</sup> to 323.978 t·hm<sup>-2</sup>, with an average value of 291.663 t·hm<sup>-2</sup>, and increased along with enlarging of density in 4 kinds of different densities of slash pine plantation ecosystem. Carbon storage of vegetation stratum ranged from 96.641 t·hm<sup>-2</sup> to 110.717 t·hm<sup>-2</sup>, amounted for 35.40% of the total carbon storage. Carbon storage of different components all was in the order as trunk > root > branch > leaf, and the carbon storage ratio of the over ground and the under ground ranged from 7.185 to 7.922 and descended along with enlarging of density in the vegetation stratum. Carbon storage of litter floor increased from 5.746 t·hm<sup>-2</sup> to 9.181 t·hm<sup>-2</sup> along with enlarging of stand densities, occupied 2.17% to 2.83% of the total carbon storage. Carbon storage of forest land soil (0~60 cm) averaged 180.94 t·hm<sup>-2</sup>, occupied more than 60.32% of the total carbon storage. Annual net fixing carbon amounts of density I, II, III, IV were 9.729, 9.882, 11.239 and 11.946 t·hm<sup>-2</sup>, respectively, with an average value of 10.699 t·hm<sup>-2</sup>. These results could provide some basic data for the carbon budget estimation of a forest ecosystem and dynamic simulation. [ Ch, 7 tab. 16 ref. ]

**Key words:** slash pine (*Pinus elliottii*) plantation; carbon storage; carbon distribution; stand density; Guangxi