

湖南 4种森林生态系统碳汇功能研究

肖 英^{*}, 刘思华, 王光军

(中南林业科技大学生命与科学技术学院, 中国 长沙 410004)

摘 要 通过对组成长沙城市森林中 4种主要森林类型的碳汇功能进行初步研究、对比分析和评价, 得出以下结论: 4种森林生态系统固定二氧化碳的能力为 586.24 Tg。湖南省城市森林固碳能力中起主要作用的是针叶林, 阔叶林虽然具有较强的固碳能力, 但由于其在面积上的劣势, 不是湖南省森林碳储量的主要来源, 4种森林生态系统碳储量的排列顺序为: 马尾松 (211.67 Tg)、樟树 (194.91 Tg)、杉木 (169.85 Tg)、枫香 (9.81 Tg)。

关键词 城市森林; 碳汇; 碳密度

中图分类号 X171.1

文献标识码 A

文章编号 1000-2537(2010)01-0124-05

Carbon Storage of 4 Forest Ecosystem in Hunan Province

XIAO Ying, LIU Sihu, WANG Guangjun

(College of Life Science and Technology, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract Based on the data of forest inventory, the carbon storage of 4 forest ecosystems in Hunan province are studied, contrasted and evaluated. The results are as follows: the total carbon storage of 4 forest ecosystems is 586.24 Tg. The main carbon storage is conifers ecosystem in Hunan and there is a smaller carbon storage about broadleaves because of little areas. The sequence of 4 forest ecosystems carbon storage is *Pinus massoniana* Lamb (211.67 Tg), *Cinnamomum camphora* (194.91 Tg), *Cunninghamia lanceolata* Hook (169.85 Tg), *Liquidambar formosana* Hance (9.81 Tg).

Key words urban forest; carbon sink; carbon density

森林作为陆地生态系统的主体, 其植物通过光合作用能固定并减少大气中的 CO₂, 同时释放出 O₂, 这对维持地球大气中的 CO₂ 与 O₂ 的动态平衡、减少温室效应以及提供人类的生存基础, 有着不可替代的地位和作用。据估计, 森林汇聚着全球植被碳库 86% 以上以及土壤碳库 73% 的碳, 当前许多科学家都支持森林生态系统的碳汇功能, 对全球森林碳汇功能展开了大量研究^[1-5]。目前, 我国森林生态系统碳循环研究在区域、国家尺度森林植被碳贮量和年净固碳量都有所展开^[6-7]。

城市森林是城市森林生态网络体系的重要组成部分, 有着城市“肺脏”之称。城市森林的固碳释氧作用, 保持着城市碳氧平衡, 对缓解城市热岛效应, 改善城市生态环境有着举足轻重的作用。因此, 开展城市森林碳汇功能的研究, 对改善城市生态环境, 支撑城市可持续发展有着重要意义。本文着重对组成湖南城市森林的 4种森林生态系统的碳汇功能进行研究, 同时对其碳汇功能进行对比、分析与评价, 为湖南省城市森林网络体系的布局与构建提供理论依据。

* 收稿日期: 2009-11-22

基金项目: 湖南省科技厅资助项目 (2008KK3129); 中南林业科技大学研究生创新基金资助项目 (2007bx03)

* 通讯作者, E-mail: seaskyxia@sina.com

1 研究区概况

试验地位于湖南省长沙市南郊的天际岭国家森林公园,即东经 $113^{\circ}02' \sim 01'$,北纬 $28^{\circ}06'$,核心区面积约 $4\,356\text{ km}^2$,海拔 $46 \sim 114\text{ m}$,坡度为 $5 \sim 25^{\circ}$ 。当地年平均气温 $17.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,1月最冷,平均 $4.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低温度 $-11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;7月最热,平均气温 $29.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 $40.6\text{ }^{\circ}\text{C}$;无霜期为 $270 \sim 300\text{ d}$ 日照时数年均 $1\,677.1\text{ h}$ 雨量充沛,年平均降雨量 $1\,422\text{ mm}$ 。属典型的亚热带湿润季风气候。其地层主要是第四纪更新世的冲积性网纹红土和砂砾,属典型红壤丘陵区,园内小生境众多,植物种类达 $2\,200$ 余种,植被以人工次生林为主。

从 2006 年 12 月开始,在天际岭国家森林公园选择树龄相同或相近的杉木 (*Cunninghamia lanceolata* Hook)、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb)、樟树 (*Cinnamomum camphora*) 和枫香 (*Liquidambar formosana* Hance) 4 种类型森林群落作为研究对象,2007 年 1 月调查 4 种森林群落的基本情况见表 1。4 种森林群落主要组成成分分别为:杉木群落以杉木为主,林下植被有檫木 (*Sassafras tsumu* Hemsl)、山矾 (*Symplocos caudata* Wall. ex A. DC.)、大青 (*Clerodendron cyrtophyllum* Turcz) 和樟树,草本植物有肾蕨 (*Nephrolepis auriculata* Trimen)、淡竹叶 (*Lophantherum gracile* Brenkn) 和商陆 (*Phytolacca acinosa* Roxb.);枫香群落以枫香为主,木荷 (*Schima superba* Gardn. Et Champ)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla* Schott)、山矾、大青和樟树,草本植物有五节芒 (*Miscanthus floridulus* Warb)、淡竹叶和商陆为主;马尾松群落以马尾松为主,林下植被有樟树、大青、山矾和青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* Oerst);草本植物有五节芒、肾蕨、淡竹叶和商陆为主;樟树群落以樟树为主,白栎 (*Quercus fabri* Hance)、毛泡桐 (*Paulownia tomentosa* Steud)、苦槠、山矾、糙叶树 (*Aphananthe aspera* Planch) 和柘树 (*Cudrania tricuspidata* Bur),草本植物以淡竹叶、酢浆草 (*Oxalis corniculata* L)、鸡矢藤 (*Paederia scandens* Merr) 和商陆为主。

2 研究方法与内容

2.1 数据来源

本研究所采用的基本资料是湖南省林业厅提供的森林资源清查资料中各个森林类型的面积、蓄积量等为基础数据^[8],部分数据来源于方精云等的有关我国森林植被生物量和净生产力的研究,并以湖南省森林资源统计年报(2007年)的基础数据为补充,估算出 4 种森林生态系统的生物量。对所收集到的资源和数据进行整理分析,得到 4 种森林类型的总生物量和碳汇能力。

2.2 样地选择

自天际岭国家森林公园杉木、樟树、枫香和马尾松 4 种森林群落中,各选择 3 块半径 15 m 的圆形固定样地,共 12 块,每块样地之间相隔 100 m 以上。调查每个样地内出现的物种及其高度、盖度,并记录其胸径等。在每个样地选 5~6 个点,每个点挖 1 个土壤剖面,利用环刀分层 ($0 \sim 15$, $15 \sim 30$, $30 \sim 45$, $45 \sim 60\text{ cm}$) 采集用于测定容重的土样,同时分层采集用于分析有机碳的土样。

表 1 4 种森林群落的基本情况

| 森林类型 | 乔木层 | | | | | | 灌木层组成 | 草木层组成 |
|------|------|------------------------|-------|-------|-------|-----|---------------------|----------------|
| | 年龄/a | 密度/株· hm^{-2} | 胸径/cm | 树高/m | 枝下高/m | 郁闭度 | | |
| 杉木 | 18 | 1 102 | 16.26 | 12.47 | 5.26 | 0.8 | 檫木、山矾、大青 | 肾蕨、淡竹叶、商陆 |
| 枫香 | 21 | 1 146 | 12.46 | 12.83 | 5.27 | 0.9 | 樟树、大青、山矾、青冈 | 五节芒、肾蕨、淡竹叶、商陆 |
| 马尾松 | 33 | 690 | 18.65 | 13.57 | 7.83 | 0.7 | 白栎、毛泡桐、苦槠、山矾、糙叶树、柘树 | 淡竹叶、酢浆草、鸡矢藤、商陆 |
| 樟树 | 31 | 775 | 17.47 | 12.6 | 4 | 0.7 | 木荷、苦槠、山矾、大青、樟树 | 五节芒、淡竹叶、商陆 |

2.3 室内分析

野外采集的土壤样品,在 105 °C 条件下土样烘干至恒重,并测定容重和其中 > 2 mm 的砾石含量;用于测定有机碳浓度的风干土样,四分法取样后挑去其中 > 2 mm 的砾石,并使其全部通过 2 mm 土壤筛,然后挑去其中的根系,最后利用 Retsch S100 球磨机粉碎,并使其全部通过 0.15 mm 土壤筛,采用重铬酸钾外加热氧化法测定土壤有机质浓度 (鲍士旦等, 2000).

2.4 数据处理

2.4.1 生物量 根据收集和整理方精云等在研究中国森林生物量 and 生产力中所进行的研究结果以及湖南省森林资源监测中心的森林资源清查资料中各个森林类型的面积、蓄积量等为基础数据进行估算.对所收集到的各类资料、数据进行整理分析,得到主要森林类型的生物量.

2.4.2 土壤有机碳含量和碳密度的测定 利用室内分析的结果,采用重铬酸钾外加热氧化法测定土壤有机质浓度^[9].

土壤有机碳密度是指单位面积一定深度的土层中 SOC 的贮量,土壤碳密度已成为评价和衡量土壤中有有机碳贮量的一个极其重要的指标.考虑到土壤有机碳密度随深度的垂直变化 (Jobb gy & Jackson, 2000),采用分层方法计算每个剖面的有机碳含量 ($\text{kg C} \cdot \text{m}^{-2}$).首先计算每层的有机碳密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) (公式 1),在此基础上建立有机碳含量与深度的函数关系,并计算整个剖面的有机碳含量 (式 2).

$$\text{SOCD}_i = 0.58 \times \rho_i \times M_i \times (1 - C_i) / 10 \quad (1)$$

式中, 0.58 为 Bannelen 系数 (将有机质浓度转化为有机碳浓度), ρ 表示第 i 层土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), M_i 表示有机质含量 (%), C_i 表示 > 2 mm 的砾石含量 (%), SOCD_i 为第 i 层土壤有机碳密度 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

$$\text{SOCC} = \sum_{i=1}^n 0.58 \times T_i \times \rho_i \times M_i \times (1 - C_i) / 10 \quad (2)$$

式中, n 为剖面层数, T_i 表示第 i 层土层厚度 (cm), SOCC 为土壤有机碳含量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)^[10], 其他同式 (1).

3 结果与分析

3.1 不同林分类型的基本特征

通过野外数据的采集与分析,4 种森林类型的基本特征见表 1.

3.2 不同森林类型碳汇的功能比较

3.2.1 不同森林类型生物量的比较

表 2 湖南 4 种森林类型乔木层生物量与碳含量

| 森林类型 | 平均碳含量 /% | 平均生物量 / $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ | 总面积 / hm^2 | 总生物量 / Tg^* |
|------|----------|---|---------------------|----------------------|
| 杉木 | 0.5022 | 36.516 | 2670584.4 | 97.52 |
| 马尾松 | 0.55 | 16.277 | 2322563.2 | 37.80 |
| 樟树 | 0.4638 | 84.351 | 1517982.5 | 12.80 |
| 枫香 | 0.5268 | 127.266 | 83344.9 | 10.61 |
| 合计 | — | 234.41 | 6594475 | 158.73 |

* 注:表中单位 $1 \text{Tg} = 10^6 \text{t}^{[11]}$,全文同.

由表 1 可知,4 种森林生态系统的平均碳含量相差不大,都在 50% 左右,但平均生物量相差较大.平均生物量最大的枫香为 $127.266 \text{ t}/\text{hm}^2$ 相当于马尾松 ($16.277 \text{ t}/\text{hm}^2$) 的 7.8 倍,其次是樟树和杉木,分别为 $84.351 \text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $36.516 \text{ t}/\text{hm}^2$. 对平均碳含量、平均生物量、总面积与总生物量进行相关性分析,发现总面积与总生物量之间存在着明显的直线相关性, $R^2 = 0.873$ $P = 0.02$ 因此,各种森林类型的总生物量是与其种植面积呈正相关的.在 4 种森林类型中,总生物量最大的是杉木,为 97.52 Tg 而枫香和樟树虽然在平均生物量上占有很大比重,但由于种植面积较小,其总生物量也受到很大影响,分别为 10.61 Tg 和 12.80 Tg 这两种森林类型生物量只占 4 种森林类型总生物量的 14.75%. 说明生物量在不同树种之间存在着显著的差异,湖南森林生态系统所提供的生物量与其种植面积有很大关系.

3.2.2 不同森林类型乔木碳汇功能分析 4 种森林类型植被的单位面积碳贮量由森林植被的生物量(地上生物量和地下生物量)乘以实测的主要树种的平均碳含量得出(见表 3)。

表 3 湖南 4 种森林类型碳贮量

| 森林类型 | 平均碳密度 / $t \cdot hm^{-2}$ | 面积 / hm^2 | 总碳贮量 / Tg^a |
|------|---------------------------|-------------|---------------|
| 杉木 | 19.848 5 | 2 670 584.4 | 53 007.2 |
| 马尾松 | 19.617 8 | 2 322 563.2 | 45 563.5 |
| 樟树 | 41.165 1 | 912 390.8 | 80 300.5 |
| 枫香 | 20.597 9 | 83 344.9 | 1 716.7 |
| 合计 | — | 6 594 475 | 180 587.9 |

从表 3 可以看出, 4 种森林类型中, 碳密度差异较大, 以樟树的单位面积碳贮量最大, 为 $41.165 1 t/hm^2$, 杉木、马尾松这两种湖南主要的针叶树种由于平均生物量较小, 其碳密度均在 $20 t/hm^2$ 以下, 可见森林植被的平均碳贮量与单位面积生物量的关系密切。各森林类型的碳密度从大到小排列顺序为: 樟树、枫香、杉木、马尾松。中国森林植被平均碳密度为 $38.4 \sim 49.45 t/hm^2$ ^[12], 湖南 4 种森林的平均碳密度 ($25.31 t/hm^2$) 与我国的一些研究估计值相比存在较大差距, 特别是针叶树的估计值偏低, 这是多方面的原因造成的, 也表明研究如何加强林分管理, 进行合理生态规划和改善林分结构, 对今后提高湖南省主要森林生态系统碳贮量的潜力空间具有重要意义。

3.2.3 森林土壤碳汇能力 森林土壤的有机碳贮量在森林生态系统总碳贮量中占了很大的比重, 本文定义的森林土壤碳贮量主要是由某类森林植被覆盖下的贮存在一定土壤深度内的土壤有机碳的总和。从表 4 可知, 4 种森林类型中, 土壤碳密度最大的依然是枫香, 最小的是杉木, 但由于种植面积的巨大差异, 湖南 4 种森林类型的土壤碳储量中, 碳储量最大的还是马尾松 ($166.11 Tg$), 最小的是枫香为代表的软阔叶树种 ($8.09 Tg$), 以马尾松和杉木为代表的针叶林占了 4 种森林土壤碳储量的 70%, 尽管樟树的碳储量较大, 但两种阔叶树土壤碳储量也只占 4 种森林类型中的 30% 左右。

4 种森林类型土壤的有机碳贮量从大到小排序是: 杉木、马尾松、樟树、枫香。

表 4 4 种森林类型土壤碳贮量

| 森林类型 | 土壤碳密度 / $t \cdot hm^{-2}$ | 面积 / hm^2 | 土壤碳储量 / Tg |
|------|---------------------------|-------------|--------------|
| 杉木 | 4.375 | 2 670 584.4 | 116.84 |
| 马尾松 | 7.152 | 2 322 563.2 | 166.11 |
| 樟树 | 7.55 | 1 517 982.5 | 114.61 |
| 枫香 | 9.705 | 83 344.9 | 8.09 |
| 总计 | — | 6 594 475 | 405.65 |

3.2.4 4 种森林类型碳汇功能比较 根据湖南省 4 种森林生态系统生物量和碳储量估算结果可知, 以杉木、马尾松、樟树和枫香为代表的湖南 4 种森林类型的生态系统总碳贮量(包括乔木层和土壤层)为 $586 237.9 Tg C$, 其中杉木 $169 847.2 Tg C$, 马尾松为 $211 673.5 Tg C$, 樟树 $194 910.5 Tg C$, 枫香 $9 806.7 Tg C$ 。主要森林类型生态系统的碳贮量从大到小排序为: 杉木、马尾松、樟树、枫香。可见湖南的森林以杉木、马尾松为针叶林代表是主要的森林生态系统, 两者的碳贮量占了 4 种森林生态系统总碳贮量的 65.27%, 樟树森林生态系统的碳贮量在阔叶树当中是最多的, 占了总碳贮量的 33.35%; 而枫香虽然是湖南主要的森林类型, 但是它们的碳贮量相对来说就很少了, 只占了 1.68%, 可见森林类型分布不均匀是湖南森林存在的主要问题。

4 结论

本文初步研究了湖南省 4 种森林生态系统生物量及碳储量, 为评价湖南省森林生态系统碳汇功能提供

了一些必要的参数. 湖南省 4 种森林总碳储量为 586 237.9 Tg 分别为杉木 169 847.2 Tg 马尾松 211.673 5 Tg 樟树 194 910.5 Tg 枫香 9 806.7 Tg 4 种森林生态系统碳储量中最大的是马尾松, 最小的是枫香. 4 种森林生态系统碳储量从大到小排列为: 马尾松、樟树、杉木、枫香. 湖南省碳汇能力中起主要作用的是以马尾松和杉木为代表的种植面积最广的针叶林, 樟树和枫香等阔叶林虽然占有较大的生物量和平均碳密度, 但由于种植面积相对较少而在整个湖南省森林碳储量中只占很小的比重. 说明森林资源分布不均匀是湖南省森林资源发展中需要解决的问题.

参考文献:

- [1] MAHLIY, NOBRE A, GRACE J *et al*. Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998, 103: 31 593-31 612.
- [2] SKOLE D, TUCKER C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988 [J]. *Science*, 1993, 260: 1 905-1 910.
- [3] GRACE J, LLOYD J, MCINTYRE J *et al*. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992-1993 [J]. *Science*, 1995, 270: 778-780.
- [4] TIAN H, MELLILO JM, KICH LGHTER D W, *et al*. Effects of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems [J]. *Nature*, 1998, 396: 664-667.
- [5] 周玉荣, 于振良, 赵士栋, 等. 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.
- [6] 方精云, 刘国华. 我国森林植被的生物量和净生产量 [J]. *生态学报*, 1996, 16(5): 497-508.
- [7] 解宪丽, 孙 波, 周惠珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析 [J]. *土壤学报*, 2004, 41(1): 35-43.
- [8] 湖南省林业厅资源林政处编. 湖南省森林资源主要数据汇编 (1999—2003) [Z]. 2005.
- [9] BAO S D, JIANG R F, YANG C G, *et al*. *Soil and agricultural chemistry analysis* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001.
- [10] 安尼瓦尔·买买提, 杨元合, 郭兆迪, 等. 新疆天山中段巴音布鲁克高山草地碳含量及其垂直分布 [J]. *植物生态学报*, 2006, 30(4): 545-552.
- [11] 刘国华, 傅伯杰, 方精云, 等. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献 [J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 733-740.
- [12] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云, 等. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究 [J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 13-16.

(编辑 王 健)

(上接第 70 页)

参考文献:

- [1] 郭颖娜, 孙 卫. 蛋白质含量测定方法的比较 [J]. *河北化工*, 2008, 31(4): 36-37.
- [2] 陈智慧, 史 梅, 王秋香, 等. 用凯氏定氮法测定食品中的蛋白质含量 [J]. *新疆畜牧业*, 2008, 22(5): 22-24.
- [3] 王玉贤, 强 洪. 国产凯氏定氮仪测定食品中蛋白质的研究 [J]. *分析实验室*, 2008, 27(5): 390-391.
- [4] 汪家政, 范 明. *蛋白质技术手册* [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 田志梅. 甲醛值滴定法快速测定牛奶中蛋白质含量 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2008, 20(3): 244-245.
- [6] 陈 辉, 刘振林, 张忠义. 凯氏定氮法测定牛奶中蛋白质的不确定度分析 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2004, 14(3): 373-374.
- [7] 牛江梅. 微波消解-凯氏定氮法测定食品中蛋白质的方法研究 [J]. *实用预防医学*, 2003, 10(5): 780-781.
- [8] 陆晓滨, 李敬龙, 董磊磊. 提高凯氏定氮法蛋白质测定速度的研究 [J]. *中国调味品*, 2003, 6(1): 37-39.
- [9] 雷彩霞. 凯氏定氮法测定粗蛋白应注意的几个问题 [J]. *西部粮油科技*, 2003, (1): 62-64.
- [10] 于 雯, 吕玉琼. 全自动凯氏定氮仪测定食品中蛋白质 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2001, 11(5): 610.
- [11] 武丽艳, 郑翼腾, 吴 勇, 等. 凯氏定氮装置的改进 [J]. *化学通报*, 2008-2-12(B1): 158-160.
- [12] 夏道宗, 陈明之, 于新芬. 过氧化凯氏定氮法在食品蛋白质分析中的应用 [J]. *食品与药品*, 2005, 5(4): 54-56.
- [13] 夏道宗, 陈明之, 于新芬. 强化凯氏定氮法在蛋白质测定中的应用研究 [J]. *江西食品工业*, 2005, 3(1): 24-25.
- [14] 毕卫红, 李 超, 苗玉洁, 等. 利用近红外光谱技术对牛奶中蛋白质含量进行定量分析 [J]. *计量技术*, 2005, (8): 34-36.

(编辑 任楚威)