

# 广州市森林碳汇分析

周国逸 唐旭利

中国科学院华南植物园 广州 510650

文章根据广州市林业“十一五”发展规划和“青山绿地工程”的执行状况,以广州市林业“一城三地五极七带多点”的森林生态网络体系为基础,选择典型森林类型;在对广州市林业碳储量现状与固碳潜力、化石燃料消耗结构动态及发展趋势综合分析的基础上,对广州市现有森林的碳汇功能作出评价,并据此提出提高林业碳汇能力的几点建议。

## 1 经济发展与化石能源消费状况

广州市 2006年GDP约为1978年的140倍。“十五”时期GDP年均增长13.82%,由2001年的2 841.65亿元增长到2005年的5 154.23亿元,高于同期全国平均增长幅度。产业结构上,第一产业所占比例逐渐下降,第三产业逐渐成为地区生产总值的主要部分,“十五”期间第一、第二、第三产业占GDP的平均比例分别为2.9%、39.3%和57.8%。

随着GDP的增长,化石燃料消耗所释放的碳量由1985的538.3万t增加到2006年的2 807.61万t,但单位GDP能耗释放的CO<sub>2</sub>量持续下降,由1985年的4.33t(碳)/万元下降至2006年的0.46t(碳)/万元,说明节能减排技术的进步。“十五”期间能源消耗年均增长11.91%,根据广州市能源发展规划,“十一五”

期间能源消费年均增长8%,由此预计2010年将达到近6 000万t标准煤,释放4 300万t以上的碳。

## 2 广州市森林碳动态

### 2.1 森林生态系统碳储量及密度变化

从1993年到2006年,森林生态系统总碳储量从 $1.69 \times 10^7$ t增加至 $5.09 \times 10^7$ t,年均增长 $0.39 \times 10^6$ t。其中,植被碳储量从 $2.81 \times 10^6$ t增长至 $5.32 \times 10^6$ t,年均增长 $0.19 \times 10^6$ t;土壤碳储量从 $1.41 \times 10^7$ t增加至 $1.67 \times 10^7$ t,年均增长 $0.20 \times 10^6$ t。碳密度由1993年的 $59.9\text{t}/\text{hm}^2$ 提高到2006年的 $65.9\text{t}/\text{hm}^2$ ,其中,植被碳密度从1993年的 $9.93\text{t}/\text{hm}^2$ 提高到2006年的 $15.9\text{t}/\text{hm}^2$ ,此期间森林面积由1993年的 $2.83 \times 10^5\text{hm}^2$ 扩大到2006年的 $3.34 \times 10^5\text{hm}^2$ ,平均每年增加 $3 973.6\text{hm}^2$ 。说明广州市森林在此期间为碳汇,碳汇平均增长率为 $7.59\text{t}/\text{hm}^2/\text{a}$ 。

上述土壤碳储量是以平均碳密度为 $50\text{t}/\text{hm}^2$ 估算得到的,其变化规律目前我们没有掌握,需要进一步研究。这里主要讨论植被碳库的动态。

11种优势林型在面积和碳储量方面占有绝对优势,分别都超过了总面积和总碳储量的80%,是构成森林碳汇的主要森林类型。以下主要从森林类型、龄级结构、空间分布方面对植被碳储量及碳密度动态

进行讨论。

(1) 森林类型: 1993–2006年,以阔叶林对总碳库的贡献最大,为57.3%,并有逐年递增的趋势,由1993年的46%增加至2006年的74.4%;针叶林次之为26.2%,并有逐年下降的趋势,由1993年的34%下降至2006年的14%;针阔混交林对总碳库的贡献最小为16.5%,亦呈逐年下降的趋势,由1993年的19.3%下降至2006年的11%。阔叶林类型中,以阔叶混交林碳储量最大( $0.76\text{--}1.93$ ) $\times 10^6$ t,针叶林类型中以马尾松林碳储量最大( $0.28\text{--}0.69$ ) $\times 10^6$ t。3大森林类型碳密度均表现出逐渐增加的趋势。针叶林的平均碳密度由1993年的 $6.1\text{t}/\text{hm}^2$ 增长至2006年的 $11.2\text{t}/\text{hm}^2$ ,针阔混交林的平均碳密度由1993年的 $12.6\text{t}/\text{hm}^2$ 增长至2006年的 $18.2\text{t}/\text{hm}^2$ ,阔叶林的平均碳密度由1993年的 $12.8\text{t}/\text{hm}^2$ 增长至2006年的 $18.7\text{t}/\text{hm}^2$ 。

(2) 年龄结构: 广州森林主要是由幼龄林和中龄林构成的未成熟森林,其碳储量占总碳储量的50%以上。近10年来,广州市未成熟森林和成熟森林碳储量都明显增加,但成熟森林的碳储量增加更为显著,由1993年的 $0.7 \times 10^6$ t增加至2006年的 $2.1 \times 10^6$ t。不同优势树种碳储量的年龄结构存在一定的差异。碳储量以未成熟林占优势的林型包括: 桉树、阔叶混交林、马尾

松、杉木、针阔混交林和针叶混交林；碳储量以成熟林占优势的林型包括：黎蒴、湿地松、木麻黄、南洋楹和相思。

(3) 空间格局：2004–2006年，广州市各区的森林碳储量都有增加，其中从化和番禺的碳储量都以 $0.1 \times 10^6 \text{t/a}$ 的速率增加。各区碳储量差异较大，且年间趋势一致，总体呈从化>增城>广州市辖区>花都>番禺的趋势。以2006年为例，总碳储量最大的区为从化，达 $1.79 \times 10^6 \text{t}$ ，是总碳储量最小的番禺区( $0.10 \times 10^6 \text{t}$ )的1.5倍多。各区的碳密度则与碳储量大致呈相反的趋势，碳密度最大的为番禺，平均碳密度超过 $30 \text{t/hm}^2$ ，其次为广州市辖区( $21 \text{t/hm}^2$ )，花都与从化相当，平均碳密度约为 $15 \text{t/hm}^2$ ，碳密度最低的区为增城，约为 $12 \text{t/hm}^2$ 。

## 2.2 森林碳汇潜力分析

1981–2000年，广州市森林净初级生产力以碳量计算平均值为 $(7.2 \pm 0.7) \text{t/hm}^2/\text{a}$ ，略高于珠江三角洲森林净初级生产力平均水平 $5.1 \text{t/hm}^2/\text{a}$ 。森林净初级生产力的增加潜力巨大。前面的分析指出三大森林类型碳密度变化以阔叶林的增长最快，其次为针阔叶混交林，针叶林碳密度增长最慢，结合三大类森林的分布面积动态，以及本区域森林碳储量、碳密度随演替阶段发展的趋势<sup>[1]</sup>，可以预计，随着针叶林向针阔混交林、以及针阔混交林向阔叶林演替，本区域的森林碳密度将增加。未成熟林是目前构成广州市森林碳汇的主要部分，随着森林成熟度的增加，区域森林碳汇功能将增加。土壤是陆地生态系统最大的碳库，其碳汇功能不可忽视，全球厚度为1m的土壤层碳储量是植被碳储量的4.5倍<sup>[2]</sup>。尽管土壤碳积累速率低于植被碳积累速

率，但由于土壤碳库周转时间长（几个月至数百年乃至千年）<sup>[3]</sup>，能够将碳长期地储存于生态系统中，毫无疑问，土壤的碳汇潜力是巨大的。研究证明<sup>[4]</sup>，马占相思人工林14年后，土壤碳储量以 $2.66 \text{t/hm}^2/\text{a}$ 的速率增加。对南亚热带常绿阔叶林的研究发现<sup>[5]</sup>，即使是被认为净生产力为零的成熟森林，其土壤碳储量仍然具有较强的碳汇功能，仅表层土壤(0–20cm)碳积累速率就达到 $0.61 \text{t/hm}^2/\text{a}$ 。结合前面所述的植被碳汇增长速度，广州市森林生态系统(植被+土壤)碳汇增长速度达到 $10.3 \text{t/hm}^2/\text{a}$ 。

## 3 广州市二氧化碳吸排及其分析

表1为广州市2006年 $\text{CO}_2$ 排放和吸收状况。包括园林绿地在内的森林生态系统当年碳储量增量为1209754t，可以抵消化石燃料释放 $\text{CO}_2$ 总量的4.3%。

据测算，如果将煤炭使用量降低1%， $\text{CO}_2$ 的排放总量将减少0.74%，但在现今技术条件下，GDP将下降0.64%，居民福利降低0.60%，减少470多万个就业岗位，引发一系列社会问题。由此可见，单纯依靠工业减排 $\text{CO}_2$ 的难度很大。相比之下，林业碳汇成本较工业减排成本低，造林固定 $1 \text{tCO}_2$ 的价格约2.8–5.0美元，因此发挥

包括林业在内的生物固碳潜力至关重要。

1993–2006年，广州森林碳汇总体呈增加趋势，平均年增长率为 $0.19 \times 10^6 \text{t}$ 。这一方面是森林面积扩大(增长率为 $3973.6 \text{hm}^2/\text{a}$ )的结果，同时也是碳密度增加的结果。近10年来，广州森林的平均碳密度由1993年的 $9.93 \text{t/hm}^2$ 增加至2006年的 $15.9 \text{t/hm}^2$ ，年均增长率为 $0.46 \text{t/hm}^2/\text{a}$ ，约为同期广东省碳汇增长率 $0.29 \text{t/hm}^2/\text{a}$ 的1倍。广州市森林平均碳密度低于同期全省碳密度( $21.2 \pm 0.9 \text{t/hm}^2$ )<sup>[6]</sup>。其原因主要包括以下两个方面，其一，仅考虑了乔木的碳密度，未考虑经济林、疏林、竹林等的碳密度，也未考虑凋落物、四旁树等的碳密度，这部分碳库量占总量的12.5%左右<sup>[6]</sup>；其二，广州市在近10年先后提出了“青山绿地工程”“广州市林业十一五发展规划”等措施，进行了大量的造林和森林更新，森林年龄结构以幼龄林、中龄林和近成熟林等未成熟林为主，这样的林龄结构必然使林分碳密度偏低。随着时间推移，森林整体成熟度不断增加，在森林经营管理水平跟上的前提下，森林植被碳密度将在长时间内持续上升，碳储量也有同样趋势。本文只考虑了森林地上部分的碳储量及动态，而未考虑地下部分

表1 广州市2006年 $\text{CO}_2$ 排放量与生态系统固定量

| 化石燃料排放 $\text{CO}_2$ 量(以碳量计, 单位: 吨) |            | 生态系统固定 $\text{CO}_2$ 量(以碳量计, 单位: t) |           |
|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|-----------|
| 煤炭                                  | 14 161 707 | 森林植被                                | 192 921   |
| 原油                                  | 6 199 060  | 土壤                                  | 848 642   |
| 燃料油                                 | 2 639 950  | 园林绿地                                | 168 191   |
| 汽油                                  | 1 742 565  | 湿地*                                 | 861 787   |
| 柴油                                  | 2 493 059  |                                     |           |
| 煤油                                  | 837 945    |                                     |           |
| 合计                                  | 28 076 086 | 合计                                  | 2 071 541 |

\*湿地碳增量由当年湿地面积与湿地平均净初级生产力( $10 \text{t/hm}^2/\text{a}$ , Aselmann and Crutzen, 1989)

