



**CFF**

关注森林活动组织委员会

**第五届**

【城市森林 · 生态文明】

**中国  
城市  
森林  
论坛**

【会刊】

中国 · 广州 · 2008

# 广州市森林碳汇分析——现状与前景

中国科学院华南植物园教授、博导 周国逸

## 1、前言

《京都议定书》已于2005年2月16日正式生效。它规定作为碳源的国家或地区必须通过减排、限排的方式以减少向大气中排放CO<sub>2</sub>的量，提出了联合履约、排放贸易的机制，作为碳源的国家或地区向作为碳汇的国家或地区支付CO<sub>2</sub>排放的补偿费，籍此达到向大气中减排和限排CO<sub>2</sub>的目的。现阶段我国虽无温室气体减排义务，但对森林碳汇大小的估算以及对区域

森林碳吸存潜力的正确评价，寻求CO<sub>2</sub>减排与增汇的对策技术同样是关系到我国政治经济国际地位和发展趋势的重要举措。广州市的社会经济经过了长时间的高速发展，而且必然再高速发展下去，由此带来的能源消耗和CO<sub>2</sub>排放也将持续增加。寻求节能减排技术的同时，显著地提高广州市森林及其它类型生态系统CO<sub>2</sub>固定能力是保证经济持续发展的根本途径，在一定程度上决定了广州市社会经济发展的上限。

专家观点



本文根据广州市林业“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。

## 2、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2841.65亿元增长到2005年的5154.23亿元，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年的538.3万吨增加到2006年的2807.61万吨，但单位GDP能耗释放的CO<sub>2</sub>量持续下降，由1985年的4.33吨(碳)/万元下降至2006年的0.46吨(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6000万吨标准煤，释放4300万吨以上的碳。

## 3、广州市森林碳动态

### 3.1 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 $1.69 \times 10^7$ 吨增加至 $5.09 \times 10^7$ 吨，年均增长 $0.39 \times 10^6$ 吨。其中，植被碳储量从 $2.81 \times 10^6$ 吨增长至 $5.32 \times 10^6$ 吨，年均增长 $0.19 \times 10^6$ 吨；土壤碳储量从 $1.41 \times 10^7$ 吨增加至 $1.67 \times 10^7$ 吨，年均增长 $0.20 \times 10^6$ 吨。碳密度由1993年的59.9吨/公顷



提高到2006年的65.9吨/公顷，其中，植被碳密度从1993年的9.93吨/公顷提高到2006年的15.9吨/公顷，此期间森林面积由1993年的 $2.83 \times 10^5$ 公顷扩大到2006年的 $3.34 \times 10^5$ 公顷，平均每年增加3973.6公顷。说明广州市森林在此期间碳汇平均增长率为7.59吨/公顷/年。

上述土壤碳储量是以平均碳密度为50吨/公顷估算得到的，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。

**森林类型** 1993—2006年间，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( $0.76-1.93 \times 10^6$ 吨)，针叶林类型中以马尾松林碳储量最大( $0.28-0.69 \times 10^6$ 吨)。三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吨/公顷增长至2006年的11.2吨/公顷，针阔混交林的平均碳密度由1993年的12.6吨/公顷增长至2006年的18.2吨/公顷，阔叶林的平均碳密度由1993年的12.8吨/公顷增长至2006年的

18.7吨/公顷。

**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。近十年来，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 $0.7 \times 10^6$ 吨增加至2006年的 $2.1 \times 10^6$ 吨。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。

**空间格局** 2004—2006年期间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 $0.1 \times 10^6$ 吨/年的速率增加。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 $1.79 \times 10^6$ 吨，是总碳储量最小的番禺区( $0.10 \times 10^6$ 吨)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吨/公顷，其次为广州市辖区(21吨/公顷)，花都与从化相当，平均碳密度约为15吨/公顷，碳密度最低的区为增城，约为12吨/公顷。

### 3.2 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 $7.2 \pm 0.7$ 吨/公顷/年，略高于珠江三角洲森林净初级生产力平均水平(5.1吨/公顷/年，杨昆和管东生，2006)。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(周国逸等，2005)，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1米的土壤层碳储量是植被碳储量的4.5倍(Lal, 2004)。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，Potter et al, 1993)，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(李跃林等，

2002)，马占相思人工林14年后，土壤碳储量以2.66吨/公顷/年的速率增加。Zhou et al (2006)对南亚热带常绿阔叶林的研究发现，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吨/公顷/年。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吨/公顷/年。

#### 4、广州市二氧化碳吸排及其分析

下表为广州市2006年CO<sub>2</sub>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1209754吨，可以抵消化石燃料释放CO<sub>2</sub>总量的4.3%。

广州市2006年CO<sub>2</sub>排放量与生态系统固定量

化石燃料排放CO <sub>2</sub> 量(以碳量计, 单位吨)		生态系统固定CO <sub>2</sub> 量(以碳量计, 单位吨)	
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吨/公顷/年, Aselmann and Crutzen, 1989)

专家观点

据测算，如果将煤炭使用量降低1%，CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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吨CO<sub>2</sub>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年期间，广州森林碳汇总体呈增加趋势，平均年增长率为 $0.19 \times 10^8$ 吨。这一方面是森林面积扩大(增长率为3973.6公顷/年)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吨/公顷增加至2006年的15.9吨/公顷，年均增长率为0.46吨/公顷/年，约为同期广东省碳汇增长率0.29吨/公顷/年的1倍。广州市森林

平均碳密度低于同期全省碳密度( $21.2 \pm 0.9$ 吨/公顷，周传艳等，2007)。其原因主要包括以下两个方面：① 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(周传艳等，2007)；② 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，而未考虑地下部分及土壤碳库的动态，实际上，



据测算，如果将煤炭使用量降低1%，CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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吨CO<sub>2</sub>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年期间，广州森林碳汇总体呈增加趋势，平均年增长率为 $0.19 \times 10^6$ 吨。这一方面是森林面积扩大(增长率为3973.6公顷/年)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吨/公顷增加至2006年的15.9吨/公顷，年均增长率为0.46吨/公顷/年，约为同期广东省碳汇增长率0.29吨/公顷/年的1倍。广州市森林

平均碳密度低于同期全省碳密度( $21.2 \pm 0.9$ 吨/公顷，周传艳等，2007)。其原因主要包括以下两个方面，① 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(周传艳等，2007)；② 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，而未考虑地下部分及土壤碳库的动态，实际上，

专家观点



态功能有形化、货币化、市场化，促使林业碳汇的交易真正进入到经济社会中。这是一种机制创新，将来可以减轻政府对生态公益林的补偿投入，对于进一步完善现行森林生态效益补偿制度具有积极意义。近年来，广州投入巨大的人力、物力和财力，致力于林业建设，有大面积的以改善

生态环境为目标的生态公益林，目前绝大部分森林处于生长前期，生长力旺盛，具有强大的固定大气中CO<sub>2</sub>的作用，碳汇功能显著。加之广州优越的地缘环境和经济实力与影响力，已基本具备了建立区域性森林碳汇交易平台的基础。



周国逸，1979年9月~1987年8月，中南林学院本科/硕士生/助教；1987年9月~1989年12月，东北林业大学生态学专业博士生，获博士学位；1990年1月~1992年1月，湖南师范大学讲师；1992年2月~1994年4月，日本东京农工大学农学部博士后；1994年5月~至今，中国科学院华南植物研究所助研/副研究员/研究员。

周国逸专长于生态系统生态学研究，主要集中在生态系统C、N、H<sub>2</sub>O循环方面。主持过国家杰出青年基金、国家基金重点项目、973前期项目、中国科学院知识创新工程重要方向项目、973项目课题等在内的30多项项目。作为主持人获得过广东省自然科学一、二等奖各一项，作为主持人获得《2006年度中国基础研究十大新闻》，作为主持

人获得国家自然科学二等奖一项。出版专著2部；发表论文180篇，其中SCI论文52篇，包括Science、Global Change Biology等著名刊物。



## 参考文献

Lal R, Griffin M, Apt J, Lave L, Morgan MG. 2004. Managing soil carbon. *Science*, 304, 393.

李跃林, 彭少麟, 赵平, 任海, 李志安. 2002. 鹤山几种不同土地利用方式的土壤碳储量研究, *山地学报*, 20, 548-552.

Luyssaert, S, Schulze, ED, Börner, A, Knohl, A, Hessenmoller, D, Law, BE, Ciais, P and Grace, J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455, 213-215.

Potter CS, Randerson JT, Field CB, et al. 1993. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles*, 7, 811-841.

周传艳, 周国逸, 王春林, 王旭. 2007. 广东省森林植被恢复下的碳储量动态, *北京林业大学学报*, 29(2): 60-65.

Zhou GY, Liu SG, Li ZA, Zhang DQ, Tang XL, Zhou CY, Yan JH, Mo JM. 2006. Old-Growth Forests Can Accumulate Carbon in Soils. *Science*, 314: 1417.

周国逸, 周存宇, 刘曙光, 唐旭利, 欧阳学军, 张德强, 刘世忠, 刘菊秀, 闫俊华, 温达志, 徐国良, 周传艳, 罗艳, 官丽莉, 刘艳. 2005. 季风常绿阔叶林恢复演替系列地下部分碳平衡及累积速率. *中国科学D辑: 地球科学*, 35(6): 502-510.