

研究论文

广州市森林生态系统碳储量格局分析

粟娟¹ 周璋² 李意德²

1 广州市林业和园林局 广州 510060

2 中国林业科学研究院热带林业研究所 国家林业局森林碳汇研究与实验中心 广州 510520

摘要: 相对准确地计量地带性森林碳库大小是估算区域森林碳汇潜力的前提。根据全市不同森林类型设置样地 900 个,运用样地清查法估算广州市森林生态系统碳储量和碳密度。结果表明:广州市森林生态系统碳储量为 52.16 Tg C。其中,植被层和土壤层碳储量分别为 21.97 Tg C 和 27.16 Tg C。碳储量空间分布主要集中在从化区和增城区;总碳储量的组成中,土壤层碳库比例最大(58%),其次为乔木层碳库比例(40%),而灌木层、草本层、凋落物层和细根(≤ 2.0 mm)的生物量比例大多在 1%~2%;天然林碳储量与人工林接近,但是碳密度显著大于人工林($p < 0.05$);不同林龄从小到大排序为:幼龄林、中龄林、近熟林、过熟林、成熟林;天然林以阔叶混和它软阔的碳储量最高,阔叶混和黎蒴的碳密度最高。人工林不同林型从大到小排序为:南洋楹>黎蒴>木荷>木麻黄>它软阔>阔叶混>湿地松。森林生态系统碳密度为 $178.03 \text{ t C hm}^{-2}$,其中,植被层和土壤层碳密度分别为 $79.61 \text{ t C hm}^{-2}$ 和 $98.42 \text{ t C hm}^{-2}$ 。本研究全面计量了广州市森林生态系统碳库现状,这对评估该地区森林固碳潜力和指导碳汇林经营管理具有重要参考价值。

关键词: 广州市,森林生态系统,碳储量,碳密度

DOI: 10.3969/j.issn.1672-4925.2016.04.004

Carbon Storage Pattern of Forest Ecosystems in Guangzhou City

Su Juan¹ Zhou Zhang² Li Yide²

(1. Administration of Forestry and Gardening of Guangzhou Municipality, Guangzhou 510060, China;

2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: The accurate measurement of carbon pools of zonal forests is precondition to estimate the carbon sequestration capacity of forests in one region. Carbon storage and carbon density of forest ecosystem in Guangzhou were evaluated using sample plot inventory method, with the 900 sample plots selected from different forest types. The results indicated that carbon storage of forest ecosystem in Guangzhou was 52.16 Tg C, while the carbon storage of forest vegetation and of soil were 21.97 Tg C and 27.16 Tg C, respectively. Carbon storage of urban forest was distributed mainly in Conghua and Zengcheng. In the total carbon storage, the soil layer gives the largest inputs (58%), followed by the tree layer (40%) and the fractions of biomass for shrub layer, herb layer, aboveground litter and fine roots (≤ 2.0 mm) were mostly 1%~2%. The carbon storage of natural forest is close to that in the plantation, but the carbon density of natural forest was significantly larger than that in plantation ($P < 0.05$). The carbon storage capacity of forest in different times sorted could be descended as the followed order: young forest, middle-age forest, near-mature forest, over-mature forest and mature forest. In nature forest, hardleaved mixed forest and softwood hardleaved forest have the highest carbon storage while hardleaved mixed forest and *Castanopsis fissa* have the highest

收稿日期: 2016-08-01

* 基金项目: 广州林业和园林局科技项目“广州市森林碳汇计量与监测研究”

作者简介: 粟娟(1964-),女,副研究员,广州市林业和园林局总工程师,研究方向为城市林业和森林生态。E-mail: sujuannihao@126.com

carbon density. The plantation were different in terms of carbon for different forest types, which could be ordered as *Albizia falcataria* > *Castanopsis fissa* > *Schima superba* > *Casuarina equisetifolia* > softwood hardleaved forest > hardleaved mixed forest > *Pinus elliottii*. The carbon density of forest ecosystem in Guangzhou was 178.03 t C hm⁻², of which vegetation and soil carbon density were 79.61 t C hm⁻² and 98.42 t C hm⁻², respectively. The study comprehensively evaluated the status of forest ecosystem carbon pool in Guangzhou City, which will be of great reference value for evaluating forest carbon sequestration capacity and guiding carbon forest management.

Key words: Guangzhou, forest ecosystem, carbon storage, carbon density

森林生态系统作为陆地生态系统最大的碳库^[1],在固碳释氧、减缓气候变暖、维护全球碳平衡方面发挥着重要作用^[2-3]。在国家和地区尺度上,国内外学者开展了大量的有关森林生态系统固碳特征及机制的研究^[4-7],但这些结果大多是针对森林乔木层的碳库进行估算,没有估算森林生态系统其他层次(林下灌草层、凋落物层、细根层及土壤层)的碳库,这直接导致了无法准确全面地估算森林生态系统碳库,进而不利于森林生态系统的固碳增汇经营管理。有关城市森林生态系统碳储量、碳密度等固碳特征及功能的研究尚少见报道,仅报道过广州^[8]、深圳^[9]和南京^[10]等少数城市,且研究仅停留在关注森林乔木层或土壤层碳储量。

城市森林不仅通过光合作用固定CO₂,森林土壤固定有机碳,还分别通过遮阴和挡风作用减少建筑物或工厂的降温和升温时的能源消耗而降低碳排放量^[11]。因此,城市森林在减缓全球气候变暖过程起着重要作用。同时城市森林在降低热岛效应、净化 and 美化城市环境等功能方面是城市其他生态系统无法替代的。

目前我国对城市森林生态系统的碳汇功能研究较少。本研究以广州城市森林生态系统为研究对象,运用样地清查法估算森林生态系统乔木层、灌木层、草本层、枯死木、地表凋落物、细根的生物量以及土壤碳储量,深入分析森林碳库的结构特征,全面计量具

有不同群落组成的广州市森林的固碳现状,旨在了解广州城市森林在减缓气候变化中的作用,为实现城市森林间接碳减排提供翔实的数据和技术支撑。

1 试验地概况

广州市位于广东省中南部、珠江三角洲北缘, E112°57′~114°13′, N22°26′~23°56′, 市域总面积为7 434.4 km²。地势东北高、西南低,北部和东北部是山区,中部是丘陵、台地,南部是珠江三角洲冲积平原。属于亚热带季风海洋性气候,年均气温约为20℃~22℃,常年降雨量约为1 689~1 876 mm。土壤以赤红壤为主,山地垂直谱带上还有红壤和黄壤分布,母岩为发育着的沉积岩、岩浆岩和变质岩,地带性典型植被为亚热带常绿阔叶林。根据广州市2014年森林资源清查数据,全市林地面积为29.22万hm²,占市域面积的40%,森林覆盖率为42.03%。

2 研究方法

2.1 样地布设

根据广州市森林资源二类清查数据分析,综合考虑森林类型和林龄以及样点空间分布,在全市所有林地中共设计和选定了300个计量与监测样点,每个样点3个样地,全市共900个样地,全市样点分布情况介绍见表1和图1。

表1 广州市森林碳汇计量与监测样点在各区的分布数量

区市	面积(hm ²)	面积比例(%)	样点数量(个)	样点数比例(%)
从化区	139 038.5	47.6	145	48.3
增城区	78 375.6	26.8	85	28.4
黄埔区	19 071.9	6.6	21	7.0
花都区	35 174.6	12.0	29	9.8
白云区	13 194.6	4.5	11	3.7
天河区	2 215.8	0.8	1	0.3
番禺区	2 551.7	0.9	5	1.5
南沙区	2 540.6	0.9	3	0.9
合计	292 163.3	100.0	300	100.0

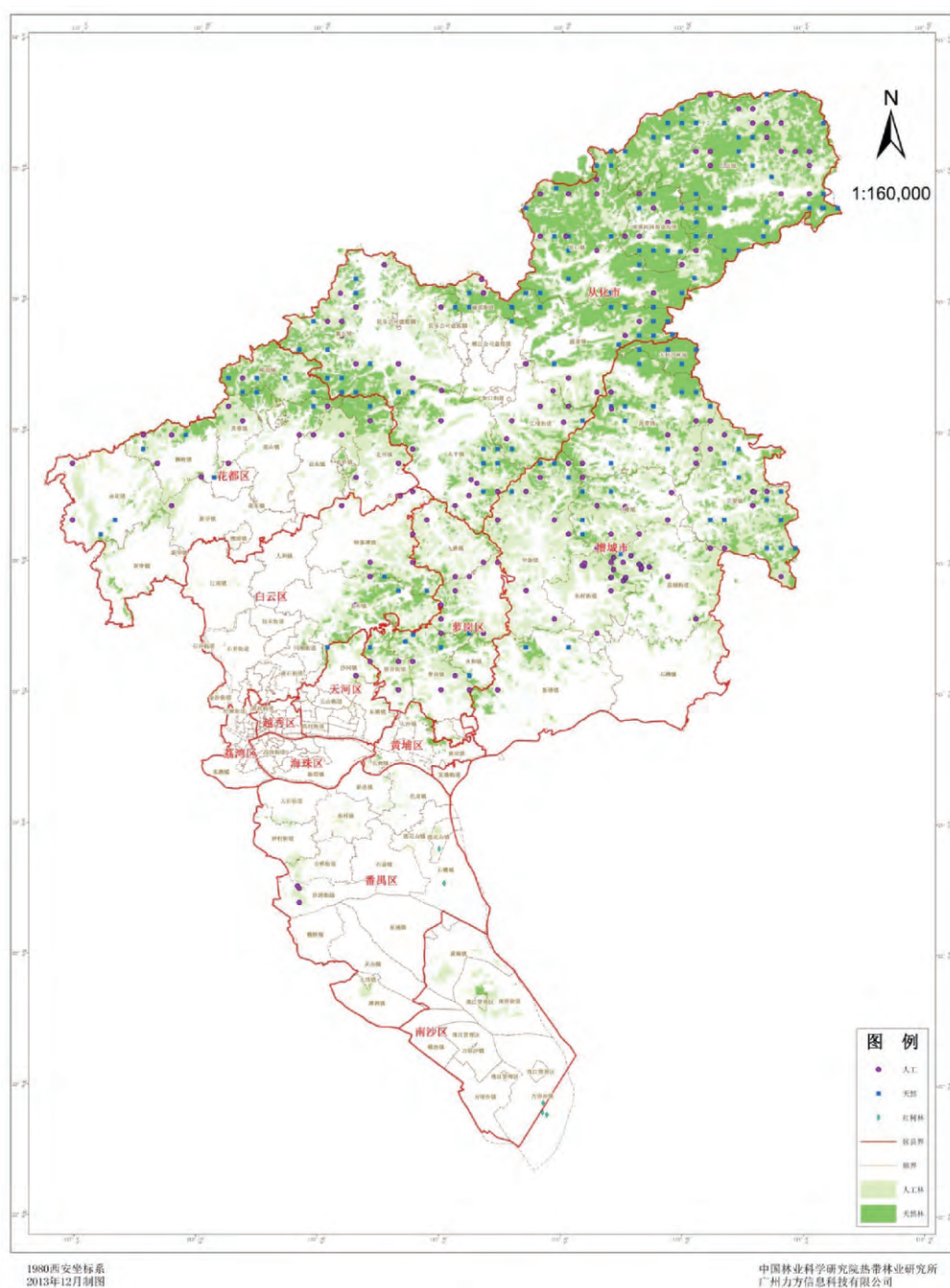


图1 广州市森林碳汇计量与监测样点分布图

2.2 野外调查和采样

本研究于2014—2015年广州全市森林范围开展生物量调查和样品采集。每个森林样点均设置3个规格为调查样地,样地间距100 m以上。样地面积(水平投影面积):天然林统一为1 200 m²;乡土阔叶树种人工林为900 m²,树种单一的用材林(桉树、相思等)、经济林(荔枝、龙眼等)、竹林等的样地面积为600 m²,样地内划分为10 m×10 m的样方若干个。乔木起测胸径为3 cm,测量和记录指标包括

树种名、胸径、树高、冠幅、枝下高和存活状态。在每一样地沿对角线设置3个2 m×2 m灌木层调查样方,记录植物种、株(丛)数、平均基径和平均高度,并在每一灌木调查样方内设置1个1 m×1 m草本层调查样方,记录植物种、平均盖度、株(丛)数和平均高度。灌木和草本样方调查完后,采用全收割法测量其鲜重,并取样品带回室内进行干重测定。

地表凋落物调查在每个1 m×1 m草本层调查样

方,收集全部凋落物并称量其鲜重,然后采集样品带回室内进行干重测定。枯死木为全样地调查。木材直径 ≥ 5 cm、长度 ≥ 1 m的枯死木与乔木调查同步进行,即在 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的样方内进行调查;直径 <2.5 cm的枯死木,则归为地表凋落物。记录枯立木胸径、完整程度(完整、干折木、冠折木)、中央直径、分解程度(轻度、中度、重度)^[12-13]、高度,记录倒木中央直径、长度、分解程度。细根(≤ 2.0 mm)调查采用土钻法,利用内径5.5 cm的土钻,在每个样地采集8钻土混合,挑选0~20 cm和20~40 cm土层的细根。土壤样品采集在每个样地进行,挖剖面法和土钻法相结合,采集0~10 cm,10~20 cm,20~30 cm,30~50 cm,50~100 cm共5个层次的土壤。样品采集两份,一份是环刀法采集用于土壤容重测定,一份用于土壤碳含量测定。

2.3 实验室分析

植物样品在设置65℃的烘箱内烘干到恒重(至少24 h),然后测量其干重率。测定容重的土壤样品在设置105℃烘箱连续烘24 h,然后测量其干重,并根据环刀体积得出土壤容重。植物和土壤碳含量(全碳)利用“燃烧-气相色谱”元素分析仪器测定(德国Elementar公司的vario Macro cube系统)。

2.4 生物量计算方法

乔木层生物量采用南亚热带常绿阔叶林已有经验公式计算^[14-15],每个样地每株乔木依据其胸径大小选取相应胸径范围的公式计算干、枝、叶、根生物量,所有乔木累加即得到整个样地的生物量,乔木层碳储量=生物量 $\times$ 乔木碳含量(取0.45)。灌木层、草本层、凋落物层的生物量,根据样方的鲜重乘上干重率,再除以样方面积得出。细根生物量,根据每个样地的细根干重除以土钻面积得出,灌木层、草本层、凋落物层和细根层碳储量=生物量 $\times$ 碳含量(室内分析测定)。

植被总碳储量的计算,本研究首先将已经得出的乔木层、灌木层、草本层、地表凋落物层和细根碳储量统一转换为以 t hm^{-2} 单位计量的生物量,然后全部累加即为总碳储量。

2.5 土壤碳储量的计算方法

土壤碳储量采用分层计算各采样层次(0~10 cm,10~20 cm,20~30 cm,30~50 cm,50~100 cm)碳储量得到,各层次的土壤碳储量通过相应层次的土壤碳含量、容重和土壤层厚度计算。

2.6 广州市碳储量计算方法

本研究采用样地平均法估算广州市森林碳库。以300个样点碳储量为基础,分布以各林型、各林龄面积加权平均,得出各林型、各林龄组的单位面积碳储量,然后乘上广州市相应起源、相应林型、相应龄组的森林面积(广州市2014年森林资源数据),最后累加,即得出全市森林的碳库。

3 结果与分析

3.1 广州市森林生态系统碳储量和碳密度

广州市森林生态系统总碳储量约为52.16 Tg C(1 Tg=10¹² g),其中植被碳储量(包括乔木层、灌木层、草本层、地表凋落物和细根)约为21.97 Tg C,土壤碳储量(0~100 cm)约为27.16 Tg C,两者所占比例分别为44.7%和55.3%。在植被碳储量方面,乔木层占了绝对多比例,其他植被碳库组分比例很小,其中比例最大为细根,约占1.0%。(表2)。全市森林生态系统平均碳密度约为178.03 t C hm⁻²,其中,植被碳密度为79.61 t C hm⁻²,土壤碳密度为98.42 t C hm⁻²,土壤碳密度是植被的1.24倍。

表2 广州市森林生态系统碳储量和碳密度组成

层次	碳储量 (Tg)	储量比例 (%)	碳密度 (t C hm ⁻²)
乔木层	20.72	42.16	75.07
灌木层	0.18	0.37	0.64
草本层	0.23	0.47	0.83
地表凋落物	0.3	0.61	1.09
细根	0.55	1.12	1.98
土壤	27.16	55.27	98.42
生态系统	49.14	100	178.03

从林分起源分析(竹林除外),广州市天然林和人工林碳储量几乎相等,两者分别为24.29 Tg C和23.53 Tg C,但碳储量的组成不同,天然林植被所占比例(49.7%)大于人工林植被(39.8%),土壤碳储量比例则相反(表3)。在碳密度方面,天然林的碳密度大于人工林,两者碳密度分别为199.39 t C hm⁻²和159.63 t C hm⁻²。天然林和人工林碳密度差异主要来源于植被碳密度(主要是乔木层),两者碳密度相差35.61 t C hm⁻²,而土壤碳密度只相差4.15 t C hm⁻²。

3.2 广州市森林生态系统碳库林龄组分布

按照林龄组划分(不包括竹林、经济林),广州市森林成熟林的碳储量最大,约为12.71 Tg C,占全部龄组碳储量的29.0%,接下来为过熟林和中龄林,

幼龄林最小 (所占比例为 13.1%) 。从林分起源分析, 天然林和人工林碳储量林龄组构成相似, 均为成熟林和过熟林所占比例较大, 其他 3 个林龄组所占比例较小 (表 4) 。在碳密度方面, 森林生态系统随着林龄增

大而增加, 从幼龄林的 158.74 t C hm⁻² 增加到中龄和近熟林的 175.30 t C hm⁻², 最后增加到成熟和过熟林的 232.23 t C hm⁻², 植被也随着林龄增大呈增加趋势, 而土壤碳密度则变化很小 (图 2) 。

表 3 广州市天然林和人工林碳储量和碳密度组成

层次	天然林			人工林		
	碳储量(Tg)	比例(%)	碳密度(t C hm ⁻²)	碳储量(Tg)	比例(%)	碳密度(t C hm ⁻²)
乔木层	11.44	47.09	93.85	8.78	37.32	59.58
灌木层	0.10	0.41	0.83	0.07	0.30	0.50
草本层	0.09	0.37	0.75	0.13	0.55	0.90
地表凋落物	0.14	0.58	1.14	0.16	0.68	1.06
细根	0.31	1.28	2.57	0.22	0.94	1.49
土壤	12.21	50.27	100.25	14.17	60.21	96.10
生态系统	24.29	100	199.39	23.53	100	159.63

表 4 广州市森林生态系统不同林龄组的碳储量

林龄组	全市		天然林		人工林	
	碳储量(Tg)	比例(%)	碳储量(Tg)	比例(%)	碳储量(Tg)	比例(%)
幼龄	5.74	13.13	3.10	12.08	2.64	14.61
中龄	7.80	17.83	4.51	17.57	3.30	18.21
近熟	6.96	15.91	4.17	16.26	2.79	15.42
成熟	12.71	29.04	8.11	31.59	4.60	25.41
过熟	10.54	24.09	5.77	22.49	4.77	26.35

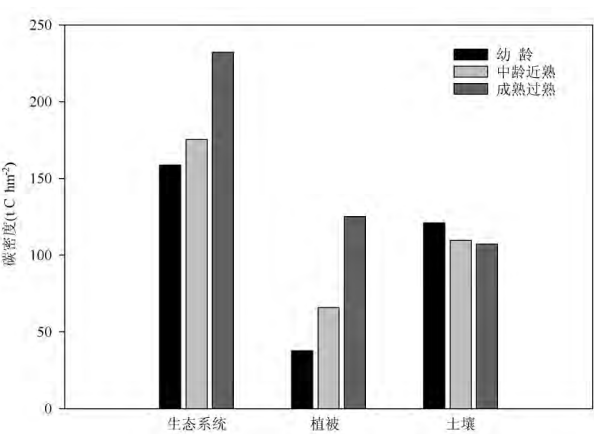


图 2 广州市森林生态系统不同林龄组的碳密度

3.3 广州市森林生态系统碳库林型组成

广州市天然林不同林型碳库差异很大 (图 3A) , 其中碳库最大两类林型为阔叶混和它软阔, 分别为 9.00 TgC 和 6.44 TgC, 两者比例占有林型碳储量的 60.2% 。在碳密度方面, 天然林最大两类林型为阔叶混和黎蒴 (图 3B) , 分别为 250.30 t C hm⁻² 和 224.46 t C hm⁻², 最小两类林型为马尾松和针叶混, 分别为 154.87 t C hm⁻² 和

160.82 t C hm⁻² 。

在人工林 19 个林型组中, 不同林型碳库差异很大, 其中碳库最大两类林型为桉树和荔枝龙眼 (图 4A) , 其碳库分别为 5.56 Tg C 和 4.99 Tg C, 两者约占到所有林型碳储量的 42.0% 。在人工林碳密度方面, 最大为南洋楹 (图 4B) , 其碳密度为 248.81 t C hm⁻², 接下来为黎蒴、木荷、木麻黄、它软阔、阔叶混、湿地松, 碳密度均在 200 t C hm⁻² 以上, 最小为经济林 (荔枝龙眼、木本果、它经济) , 碳密度只有 143.70 t C hm⁻² 。

3.4 广州市森林生态系统碳库地区分布

在广州市森林碳库地区分布方面, 排名前三名为从化、增城、花都 (表 5) , 其碳储量分别约为 25.38、14.01、5.72 TgC, 分别约占到全市森林碳储量的 48.7% , 26.9% 和 11.0% , 其他白云、番禺、黄埔、萝岗、南沙和天河仅占 13.5% 。从各区森林面积与碳储量关系可以看出, 某一地区森林面积越大, 其森林碳储量越大 (表 5) 。在森林碳密度方面, 各地相差不大, 最大地区为从化, 其碳密度为 194.71 t C hm⁻², 最小为南沙, 其碳密度约为 153.82 t C hm⁻² 。

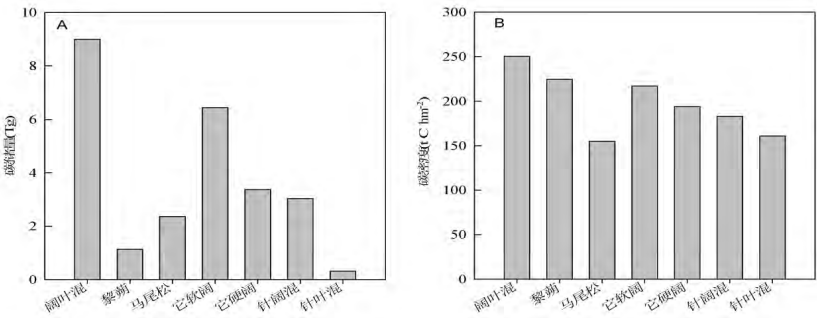


图 3 广州市天然林不同林型的碳储量和碳密度

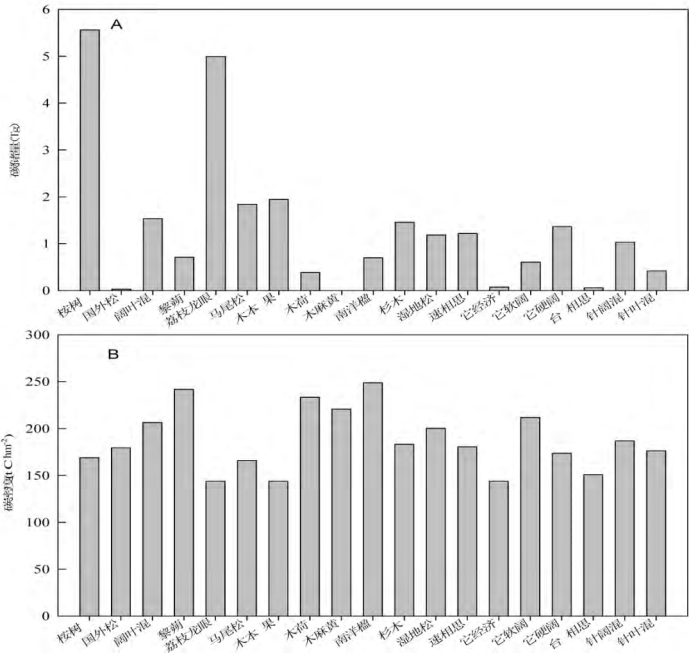


图 4 广州市人工林不同林型的碳储量和碳密度

表 5 广州市不同地区森林生态系统碳储量和碳密度

地区	森林面积(hm ²)	面积比例(%)	碳储量(Tg)	储量比例(%)	碳密度(t C hm ⁻²)
白云	12 647. 3	4. 58	2. 32	4. 72	183. 44
从化	129 555. 1	46. 93	23. 93	48. 70	184. 71
番禺	2 479. 8	0. 90	0. 44	0. 90	177. 43
花都	32 225. 9	11. 67	5. 39	10. 97	167. 26
黄埔	1 067. 4	0. 39	0. 17	0. 35	159. 27
萝岗	17 616. 1	6. 38	2. 99	6. 08	169. 73
南沙	2 145. 4	0. 78	0. 33	0. 67	153. 82
天河	2 105. 5	0. 76	0. 37	0. 75	175. 73
增城	76 198. 6	27. 60	13. 18	26. 82	172. 97
广州市	276 041. 1	100	49. 14	100	178. 02

4 结论与讨论

4. 1 结论

1) 广州市森林生态系统碳储量为 52. 16 Tg C, 其中,植被层和土壤层碳储量分别为 21. 97 Tg C 和

27. 16 Tg C。碳密度为 178. 03 t C hm⁻²,其中,植被层和土壤层碳储量分别为 79. 61 t C hm⁻²和 98. 42 t C hm⁻²。碳储量在空间上主要分布在广州市北部的从化区和东部的增城区。

2) 广州市森林生态系统碳储量和碳密度均受其生长环境、林龄、林型和起源的影响。从林分起源看,天然林和人工林对森林生态系统的碳储量贡献接近,天然林的碳密度高于人工林。林龄方面,成熟林和过熟林具有有较高的碳储量,生态系统和植被碳密度随着林龄增大而增加,而土壤碳密度不随林龄的变化而变化。林型方面,天然林以阔叶混和它软阔的碳储量最高,两者比例占有所有林型碳储量的 60.2%,阔叶混和黎蒴的碳密度最高。人工林碳库最大为桉树和荔枝龙眼,两者约占到所有林型碳储量的 42.0%,在人工林碳密度方面,最大为南洋楹,接下来为黎蒴、木荷、木麻黄、它软阔、阔叶混、湿地松,碳密度均在 200 t C hm^{-2} 以上。

4.2 讨论

1) 比较其他文献研究结果,在广州市层面,除了一个基于遥感模型的研究结果($170.1 \text{ t C hm}^{-2}$)^[4]外,本研究的森林植被碳密度是其他文献结果的 2~3 倍^[8,17]。与南亚热带演替顶极森林比较,本研究得出的广州市森林的平均植被碳密度均远低于鼎湖山^[18]和陈禾洞的季风常绿阔叶林。在土壤碳密度比较上,本研究得出的广州市森林土壤平均碳密度与鼎湖山和陈禾洞^[19]季风常绿阔叶林相近。由此看出,与南亚热带顶极森林相比,当前广州市森林在植被固碳具有很大潜力,而土壤固碳潜力有限。与广东省^[2]和全国^[6]森林层面比较,广州市森林仍具有较高的植被碳密度,表明广州市森林具有较高的植被固碳能力。

2) 本研究估算数据为评价广州市森林生态系统的碳汇功能提供了基础数据,但还存在一些不确定性。不同乔木树种的碳含量差异较大,本研究只取了一个均值 0.45 来计算,这会导致碳储量估算结果出现偏差,乔木树种的取样测定工作正在进行,待这部分工作完成将及时进行校正。同时,研究建议结合当地的气象资料数据、森林经营措施等方面来共同探讨森林生态系统的碳汇问题,以便更加科学准确地分析一个地区的森林生态系统碳汇功能。

致谢:感谢参与广州林业和园林局科技项目“广州市森林碳汇计量与监测研究”的所有人员。

参考文献

- [1] FAO. Global Forest Resources Assessment 2015: How have the world's forests changing? [M] Rome, Italy. 2015.
- [2] LITTON C M, RAICH J W, RYAN M G. Carbon allocation in forest ecosystems [J]. *Global Change Biology*, 2007, 13(10): 2089–2109.
- [3] PAN Y, BIRDSEY R A, FANG J, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests [J]. *Science*, 2011, 333(6045): 988–993.
- [4] DIXON R K, BROWN S, HOUGHTON R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem [J]. *Science*, 1994, 263(5144): 185–190.
- [5] FANG J, CI L. Changes in Forest Biomass Carbon Storage in China between 1949 and 1998 [J]. *Science*, 2001, 291(5525): 2320–2322.
- [6] FANG J Y, GUO Z D, PIAO S L, et al. Terrestrial vegetation carbon sinks in China, 1981–2000 [J]. *Science in China*, 2007, 50(9): 1341–1350.
- [7] 郭兆迪, 胡会峰, 李品, 等. 1977–2008 年中国森林生物量碳汇的时空变化 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2013(5): 421–431.
- [8] 刘萍, 邓鉴峰, 魏安世, 等. 广州市森林生物量及碳储量评估 [J]. *西南林业大学学报*, 2015, 26(04): 62–65.
- [9] 谭一凡, 彭友贵, 史正军, 等. 深圳市森林碳储量及其动态变化 [J]. *西南林业大学学报*, 2013, 33(4): 17–24.
- [10] 王祖华, 刘红梅, 关庆伟, 等. 南京城市森林生态系统的碳储量和碳密度研究 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2011, 35(4): 18–22.
- [11] ESCOBEDO F, VARELA S, ZHAO M, et al. Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities [J]. *Environmental Science & Policy*, 2010, 13(5): 362–372.
- [12] 唐旭利, 周国逸, 周霞, 等. 鼎湖山季风常绿阔叶林粗死木质残体的研究 [J]. *植物生态学报*, 2003, 27(04): 484–489.
- [13] 张修玉, 许振成, 曾凡棠, 等. 珠江三角洲森林生态系统碳密度分配及其储量动态特征 [J]. *中国环境科学*, 2011, 31(S1): 69–77.
- [14] 温达志, 魏平, 孔国辉, 等. 鼎湖山锥栗+黄果厚壳桂+荷木群落生物量及其特征 [J]. *生态学报*, 1997, 17(05): 497–504.
- [15] 尹光彩. 基于 LS-SVM 构建中国森林主要树种生物量方程 [J]. 北京: 中国科学院华南植物园, 2014.
- [16] 吴志峰, 黄银华, 姜春. 广州市土壤与植被碳蓄积及其空间格局分析 [J]. *广州大学学报(自然科学版)*, 2014, 13(3): 73–79.
- [17] 李晓曼, 康文星. 广州市城市森林生态系统碳汇功能研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2008, 28(1): 8–13.
- [18] 方运霆, 莫江明, 彭少麟, 等. 森林演替在南亚热带森林生态系统碳吸收中的作用 [J]. *生态学报*, 2003, 23(09): 1685–1694.
- [19] 陈步峰, 潘永军, 史欣, 等. 广州市典型森林土壤有机碳密度及储量生态特征 [J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38(04): 59–61, 65.