

网络出版时间:2019-01-14 09:36

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.07.011

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190114.0935.022.html>

基于第 8 次森林资源清查数据的安徽森林 碳储量特征研究

王会荣,李爱琴,王晶晶,徐小牛

(安徽农业大学 林学与园林学院,安徽 合肥 230036)

【摘要】【目的】研究安徽森林植被碳储量的分布特征,为森林碳汇功能的评价提供依据。【方法】以安徽省第 8 次(2014 年)森林资源清查数据为基础,采用生物量-蓄积量转换模型法和平均生物量法,结合不同树种含碳率,估算安徽森林植被的碳储量和碳密度,并分析了不同森林类型及不同林级、林种和起源的乔木林碳储量分布特征。【结果】安徽不同森林类型的总碳储量为 8.51×10^7 t,平均碳密度为 20.55 t/hm^2 ,其中竹林的碳密度最高,为 37.33 t/hm^2 。乔木林和竹林的碳储量分别为 6.42×10^7 t 和 1.45×10^7 t,各占总碳储量的 75.47% 和 17.02%;不同龄级乔木林中,中龄林碳储量最大,达 2490.92×10^4 t,约占乔木林总碳储量的 40%;过熟林碳储量最小,为 256.24×10^4 t,仅占乔木林总碳储量的 3.99%,且表现出林龄越大碳密度越高的趋势。用材林和防护林的碳储量分别为 3798.04×10^4 t 和 2205.68×10^4 t,共占乔木林碳储量的 93.48%;各林种碳密度大小为特用林>防护林>用材林>经济林>薪炭林。天然林的面积($153.86 \times 10^4 \text{ hm}^2$)略低于人工林($154.81 \times 10^4 \text{ hm}^2$),但由于天然林的碳密度高于人工林,使得天然林的碳储量(3476.50×10^4 t)反而高于人工林(2946.29×10^4 t)。【结论】安徽省森林植被具有明显的碳汇能力,但其碳密度较低,应对现有森林进行科学抚育和管理,以提高森林的碳汇能力。

【关键词】 森林生物量;碳储量;碳密度;安徽省

【中图分类号】 S757.2⁺2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)07-0078-09

Characteristics of forest carbon storage in Anhui based on the 8th forest inventory data

WANG Huirong, LI Aiqin, WANG Jingjing, XU Xiaoni

(School of Forestry & Landscape of Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

Abstract: 【Objective】The distribution characteristics of forest carbon stock in Anhui were studied to provide basis for evaluation of the forest function for carbon sink. 【Method】Based on the 8th forest inventory data, the forest biomass carbon storage and carbon density were estimated for Anhui. The distribution characteristics according to dominant tree species, age class, forest type and origin were analyzed using the volume-derived biomass method and average-biomass method combined with carbon contents of different dominant tree species. 【Result】The total biomass carbon storage of forests was 8.51×10^7 t and average carbon density was 20.55 t/hm^2 . Among different forest types, bamboo forests had the highest carbon density of 37.33 t/hm^2 . The carbon storages of arbor forests and bamboo forests were 6.42×10^7 t and 1.45×10^7 t, accounting for 75.47% and 17.02% of the total carbon storage, respectively. Among different age arbor forests, the middle carbon forests had the largest carbon storage of 2490.92×10^4 t and the over-ripe

【收稿日期】 2018-06-29

【基金项目】 国家重点研发计划项目(2016YFD0600304);国家“973”计划项目(2010CB950602)

【作者简介】 王会荣(1994—),女,湖北汉川人,硕士,主要从事森林生产力及固碳能力的研究。E-mail: mishiwhr@163.com

【通信作者】 徐小牛(1961—),男,安徽庐江人,教授,博士,博士生导师,主要从事森林培育、森林生物地球化学等研究。

E-mail: xnxu2007@ahau.edu.cn

forests had the smallest carbon storage of 256.24×10^4 t, accounting for 40% and 3.99% of the total carbon storage of the arbor forests. The carbon density increased with age class of forest. The carbon storages of timber forests and protection forests were $3\,798.04 \times 10^4$ t and $2\,205.68 \times 10^4$ t, which together contributed 93.48% of the carbon storage of arbor forests. The carbon density was in the order of special-purpose forest > protection forest > timber forest > non-timber forest > firewood forest. The area of natural forests (153.86×10^4 hm²) was slightly lower than that of planted forests (154.81×10^4 hm²), but the carbon storage of natural forests ($3\,476.50 \times 10^4$ t) was higher than that of plantation ($2\,946.29 \times 10^4$ t) since the carbon density of natural forests was higher than that of planted forests. The carbon stock in natural forests was higher than in plantation forests. 【Conclusion】 The forests in Anhui had high carbon sequestration potential, but the carbon density was low. Thus, scientific management and tending of existing forests are needed to increase carbon sink capacity of forests.

Key words: forest biomass; carbon storage; carbon density; Anhui province

近一个世纪以来,由于人类大量使用矿物燃料,排放 CO₂ 等温室气体,导致全球气候发生了明显变化。森林是吸收 CO₂ 的重要载体,陆地生态系统中 76%~98% 的有机碳都储存于其中^[1]。由此可见,森林在调节全球碳平衡、缓解大气中 CO₂ 浓度上升以及维护全球气候等方面具有不可替代的作用^[2]。因此,准确估算森林碳储量对于研究森林在区域和全球碳循环中所起的作用有着十分重要的意义。20 世纪 90 年代以来,不同学者在各尺度上(包括全球^[1]、国家^[3-6]、区域^[7-9]、样地^[10-11])围绕森林碳储量、碳密度及碳汇功能进行了大量的研究,但区域尺度森林碳储量的精确性仍然有待于研究。

安徽是我国南方集体林区的重点省份,吴庆标等^[12]利用第 4—6 次森林资源清查数据估算了全国各省森林植被的固碳量,这 3 次清查期间,安徽省森林固碳量有所增长但固碳量年均增长并不明显。近年来,安徽省相继实施了一大批林业重点工程项目,2011 年又启动实施了千万亩森林增长工程,有力促进了全省林业持续、快速、健康的发展,前期对安徽省森林植被碳储量的估算已不能适用。本研究以第 8 次森林资源清查数据为基础,估算安徽省森林植被的碳储量与碳密度,分析不同森林类型及不同龄级、林种和起源的乔木林碳储量分布特征,旨在揭示安徽省森林植被的固碳现状,为提高森林碳汇功能提供基础数据,并为安徽林业碳汇项目的实施提供参考依据。

1 研究区概况

安徽省($29^{\circ}41' - 34^{\circ}38' N$, $114^{\circ}54' - 119^{\circ}37' E$)位于中国东部,地处长江三角洲腹地,地势西南高、东北低,地形地貌复杂多样,平原、丘陵、山地、台

地等类型齐全,长江、淮河贯穿省内,将全省分为 5 个地形区:淮北平原、江淮丘陵、皖南山区、皖西大别山区和长江中下游平原^[13]。受季风影响显著,四季分明,在气候上属暖温带与亚热带的过渡地区。全年无霜期 200~250 d,年平均气温 14~17 ℃,年均降水量 773~1 670 mm,有南多北少,山区多、平原丘陵少的特点,夏季降水丰沛,占年降水量的一半。植被类型丰富,主要有常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、针叶林以及针阔混交林,还有竹林和大量人工林,大宗造林树种主要有马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、湿地松(*Pinus elliotti* Engelm)、杨树(*Populus* spp.)、油茶(*Camellia oleifera* Abel)等。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究所用数据来源于安徽省第 8 次(2014 年)森林资源连续清查资料,按照 4 km×3 km 网布设调查固定样地 11 678 个,布设遥感判读样地 70 130 个。由于森林资源清查中未对林下植被层、枯落物层及土壤层进行调查,故本研究仅包括乔木林、灌木林、竹林及疏林;经济林包括乔木经济林和灌木经济林,本研究分别将其计入乔木林和灌木林中。

2.2 森林植被生物量的估算

大尺度森林生物量的估算方法一直是人们关注的焦点。森林蓄积量是森林生长的立地条件、气候条件、林龄及其他因素的综合反映^[2],通过对大量森林实测生物量与蓄积量的研究发现,二者之间存在着良好的回归关系^[5,14]。

2.2.1 生物量-蓄积量转换模型法估算 本研究采

用方精云等^[14]的生物量-蓄积量转换模型对乔木林及疏林的生物量进行估算:

$$B=aV+b.$$

式中: B 表示生物量(t), V 表示蓄积量(m^3), a 、 b 为参数。各优势树种的生物量-蓄积量回归方程参数见表 1。在分树种的计算过程中,对于没有明确生物量-蓄积转换模型的树种采用近似树种参数代替。

对乔木经济林的生物量采用生物量扩展因子法进行估算:

$$B=V\times D\times BEF\times (1+RSR)=V\times D/R.$$

式中: D 表示木材基本密度, BEF 为生物量扩展因子(地上部分生物量与树干生物量的比值), RSR 为地下部分生物量与地上部分生物量的比值, R 为树干生物量与总生物量的比值。由于安徽省乔木经济林以山核桃(*Carya cathayensis* Sarg)为主,且资料有限,故乔木经济林的 D 、 R 值以核桃的相应值^[16-17]来替代。

2.2.2 平均生物量法估算 采用平均生物量法来

估算灌木林、竹林的生物量:

$$B=A\times S.$$

式中: A 表示单位面积生物量(t/hm^2), S 表示面积(hm^2)。灌木林的生物量采用我国秦岭淮河以南的灌木林平均生物量值 $19.76 t/hm^2$ ^[14]。在全省森林资源调查资料中,竹林分为毛竹和杂竹两类,采用 Guo 等^[18]的研究结果,即毛竹和杂竹的平均生物量密度分别为 81.9 和 $53.1 t/hm^2$ 。

2.3 森林植被碳储量的估算

目前,国内外关于森林碳储量的估算通常用森林生物量乘以含碳系数推算而得。含碳系数普遍采用 0.45 或 0.50 ^[7,19],但由于不同植被类型的树种组成、年龄和种群结构不同,含碳系数也有所差异^[20],仅采用固定含碳系数会使精确度降低。因此,本研究 中森林碳储量以国家林业局印发的《造林项目碳汇计量监测指南》^[21]及前人已有研究成果中各树种(组)含碳率为依据进行测算,对于没有测算过含碳率的树种,采取与其相近的树种含碳率(表 1)代替。

表 1 优势树种生物量方程和含碳率

Table 1 Biomass estimation equation and carbon concentration of dominant tree species

编号 Number	优势树种(组) Dominant tree species (group)	生物量回归方程 Biomass estimation model	含碳率/% Carbon content
1	黑松 <i>Pinus thunbergii</i>	$B=0.5168V+33.2378$ ^[14]	51.46 ^[21]
2	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	$B=0.5101V+1.0451$ ^[5]	50.52 ^[22]
3	国外松 <i>Exotic pines</i>	$B=0.5168V+33.2378$ ^[14]	53.11 ^[21]
4	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	$B=0.5168V+33.2378$ ^[14]	53.11 ^[21]
5	杉木 <i>Cunninghamia lanceolate</i>	$B=0.3999V+22.5410$ ^[5]	50.64 ^[23]
6	水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	$B=0.4158V+41.3318$ ^[5]	54.89 ^[22]
7	池杉 <i>Taxodium ascendens</i>	$B=0.4158V+41.3318$ ^[5]	54.89 ^[22]
8	柏木 <i>Cupressus</i> spp.	$B=0.6129V+46.1451$ ^[5]	50.88 ^[21]
9	栎类 <i>Quercus</i>	$B=1.3288V-3.8999$ ^[5]	47.98 ^[21]
10	樟木 <i>Cinnamomum camphora</i>	$B=1.0357V+8.0591$ ^[14]	49.14 ^[22]
11	榆树 <i>Ulmus</i> spp.	$B=0.7564V+8.3103$ ^[5]	46.48 ^[24]
12	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	$B=0.7564V+8.3103$ ^[5]	46.40 ^[25]
13	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	$B=0.4754V+30.6034$ ^[5]	49.26 ^[21]
14	其他硬阔类 Other sclerophyll broadleaved forest	$B=0.7564V+8.3103$ ^[5]	49.01 ^[21]
15	檫木 <i>Sassafras tzumu</i>	$B=0.6255V+91.0013$ ^[5]	45.02 ^[21]
16	杨树 <i>Populus</i> spp.	$B=0.4754V+30.6034$ ^[5]	45.02 ^[21]
17	柳树 <i>Salix</i> spp.	$B=0.6255V+91.0013$ ^[14]	44.70 ^[26]
18	泡桐 <i>Paulownia</i> spp.	$B=0.8956V+0.0048$ ^[15]	41.40 ^[26]
19	楝树 <i>Melia azedarach</i>	$B=0.6255V+91.0013$ ^[14]	45.02 ^[21]
20	其他软阔类 Other malacophyll broadleaved forest	$B=0.6255V+91.0013$ ^[14]	45.02 ^[21]
21	针叶混交林 Mixed coniferous forest	$B=0.5168V+33.2378$ ^[15]	51.68 ^[21]
22	阔叶混交林 Mixed broadleaved forest	$B=0.6255V+91.0013$ ^[14]	47.96 ^[21]
23	针阔混交林 Mixed conifer and broadleaved forest	$B=0.8019V+12.2799$ ^[14]	48.93 ^[21]
24	乔木经济林 Arbor economic t forest	$B=0.4710V/0.5296$ ^[16-17]	47.00 ^[21]
25	毛竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	$B=81.90\times S$ ^[18]	49.36 ^[27]
26	杂竹 Mixed bamboo	$B=53.10\times S$ ^[18]	46.20 ^[28]
27	灌木 Shrub	$B=19.76S$ ^[14]	48.97 ^[29]

注: B . 生物量,t; V . 蓄积量, m^3 ; S . 面积, hm^2 。
Note: B . Biomass, t. V . Volume, m^3 . S . Area, hm^2 .

3 结果与分析

3.1 不同类型森林的碳储量和碳密度

不同类型森林的碳储量和碳密度存在很大差异^[2]。根据安徽省第 8 次森林资源连续清查数据,并结合表 1 估算得出,安徽省不同类型森林的总碳储量为 8.51×10^7 t,平均碳密度为 20.55 t/hm^2 (表 2)。其中乔木林碳储量最多,达 6.42×10^7 t,占总

碳储量的 75% 以上;其次是竹林,占总碳储量的 17.02%,二者碳储量占总碳储量的 92.49%,这说明乔木林和竹林在维持安徽省碳平衡方面起着非常重要的作用。不同类型森林中竹林的碳密度最高,为 37.33 t/hm^2 ,而疏林地碳密度最低,仅为竹林的 12.7%;不同类型森林的碳密度大小为竹林>乔木林>灌木林>疏林。

表 2 安徽省不同类型森林的碳储量和碳密度
Table 2 Carbon storage and carbon density of different forest types in Anhui

森林类型 Forest type	面积/ $\times10^4\text{ hm}^2$ Area	生物量/t Biomass	碳储量/t Carbon storage	碳储量百分比/% Percentage of carbon storage	碳密度/ $(\text{t}\cdot\text{hm}^{-2})$ Carbon density
乔木林 Arbor forest	308.67	1.32×10^8	6.42×10^7	75.47	20.81
灌木林 Shrub forest	65.43	1.29×10^7	6.33×10^6	7.44	9.68
竹林 Bamboo forest	38.80	2.96×10^7	1.45×10^7	17.02	37.33
疏林 Thin forest	1.17	1.09×10^5	5.54×10^4	0.07	4.74
合计 Total	414.07	1.75×10^8	8.51×10^7	100.00	20.55

3.2 不同龄级乔木林中优势树种的碳储量和碳密度

碳密度如表 3 所示。

安徽省不同龄级乔木林中优势树种的碳储量和

表 3 安徽省不同龄级乔木林中优势树种的碳储量和碳密度
Table 3 Carbon storage and carbon density of dominant tree species for different age classes in Anhui

编号 Number	幼龄林 Young forest		中龄林 Middle-aged forest		近熟林 Premature forest		成熟林 Mature forest		过熟林 Over-mature forest		合计 Total	
	CS	CD	CS	CD	CS	CD	CS	CD	CS	CD	CS	CD
1					0.03		1.10	9.19			1.13	9.47
2	31.72	8.39	220.03	16.89	314.47	23.21	123.91	27.17	5.01	41.75	695.14	19.84
3	30.78	5.91	55.27	18.87	51.06	25.15					137.11	13.48
4	3.26	9.59	15.14	18.46	25.05	23.63	11.58	32.18	26.62	44.37	81.65	25.68
5	56.21	5.08	202.53	17.66	250.93	26.84	249.58	28.11	73.25	34.07	832.50	19.40
6			4.43	18.46			0.97	8.06			5.40	14.99
7							2.93	24.42			2.93	24.42
8			6.83	11.57	1.78	7.72	4.83	20.15			13.44	11.39
9	226.30	15.50	309.66	53.30	108.47	82.80	70.67	201.91			715.10	32.40
10	13.99	14.57									13.99	14.57
11	5.71	6.96	8.41	17.53							14.12	10.86
12	2.68	12.19	13.61	28.36							16.29	23.28
13	17.89	7.27	10.63	22.63	5.56	46.30					34.08	11.17
14	24.01	7.55	41.33	43.97	14.04	58.48	3.36	30.54			82.74	18.51
15	2.14	17.87	3.71	33.73							5.85	25.45
16	0.51	0.62	56.67	16.97	107.29	17.14	453.12	19.68	77.00	40.31	694.59	19.64
17	0.09	0.76									0.09	0.76
18	0.75	2.16	12.30	17.56	5.42	22.57	4.52	37.66			22.99	16.30
19	0.63	5.24									0.63	5.24
20	10.45	5.90	9.25	12.85	5.92	24.66	2.22	20.24	6.20	51.68	34.04	11.50
21	21.76	10.77	116.60	20.90	118.07	24.96	78.28	31.69	12.17	52.90	346.88	23.08
22	446.46	10.40	916.06	25.90	158.06	30.51	137.85	39.05	53.72	37.31	1 712.15	19.36
23	159.77	14.97	464.83	29.29	145.74	34.37	118.82	43.21			889.16	26.52
24	23.64	6.03	23.63	19.86	4.99	21.12	16.26	45.17	2.27	18.88	70.79	12.16
合计 Total	1 078.75	10.22	2 490.92	24.87	1 316.88	26.87	1 280.00	27.10	256.24	38.30	6 422.79	20.81

注:树种编号同表 1;CS. 碳储量, $\times10^4$ t;CD. 碳密度, t/hm^2 ,下同。
Note:The number of tree species is the same as Table 1. CS. Carbon stock, $\times10^4$ t;CD. Carbon density, t/hm^2 . The same below.
由表 3 可知,不同优势树种的碳储量、碳密度差异较大,其中,栎类林分的碳密度最大,达到 32.40

t/hm²,远高于全省乔木林平均碳密度(20.81 t/hm²);而柳树林和楝树林碳密度很小,分别为0.76和5.24 t/hm²,其原因是由于现有柳树林和楝树林分均为幼龄林,其碳密度相对较低。

森林碳储量与其林龄结构密切相关,森林碳动态在很大程度上取决于其龄级的变化^[30]。安徽乔木林以幼、中龄林为主,二者面积占乔木林总面积的66.65%,而其碳储量占乔木林的55.39%。

由表3还可知,不同龄级乔木林中中龄林的碳储量最大,约占乔木林总碳储量的40%;其次是近熟林和成熟林,其碳储量均约占乔木林总碳储量的20%。不同龄级林分的碳密度大小为过熟林>成熟林>近熟林>中龄林>幼龄林,表现出林龄越大碳密度越高的趋势。

表 4 安徽省不同林种乔木林中优势树种的碳储量和碳密度

Table 4 Carbon storage and carbon density of dominant tree species for different forest categories in Anhui												
编号 Number	防护林 Protection forest		特用林 Special-purpose forest		用材林 Timber forest		薪炭林 Firewood forest		经济林 Non-timber forest		合计 Total	
	CS	CD	CS	CD	CS	CD	CS	CD	CS	CD	CS	CD
1	1.10	9.19			0.03						1.13	9.47
2	270.86	21.72			424.28	18.80					695.14	19.84
3	11.88	12.51	3.14	8.73	122.09	13.78					137.11	13.48
4	47.32	21.22	32.53	38.73	1.80	16.33					81.65	25.68
5	186.10	21.79	36.96	28.65	609.44	18.42					832.50	19.40
6	2.00	16.64	0.97	8.06	2.43	20.29					5.40	14.99
7	0.32				2.61	21.72					2.93	24.42
8	7.30	12.38	0.36	3.03	5.78	12.28					13.44	11.39
9	318.42	25.17	28.05	47.55	355.06	45.58	13.57	13.05			715.10	32.40
10	0.82	6.87	0.35		12.82	15.26					13.99	14.57
11	4.22	8.98	4.10	11.39	5.80	12.34					14.12	10.86
12	3.44	28.69	1.21	10.98	11.64	24.77					16.29	23.28
13	10.38	22.08			23.70	9.19					34.08	11.17
14	45.56	24.23	23.78	40.30	13.40	6.70					82.74	18.51
15					5.85	25.44					5.85	25.45
16	75.23	17.70			619.36	19.91					694.59	19.64
17			0.09								0.09	0.76
18					22.99	16.30					22.99	16.30
19	0.63	5.24									0.63	5.24
20	12.07	25.15	2.30	19.18	19.67	8.33					34.04	11.50
21	127.93	27.22	2.94	12.24	216.01	21.41					346.88	23.08
22	755.34	19.01	160.38	28.79	788.04	18.67	8.39	8.93			1 712.15	19.36
23	324.76	26.17	27.14	32.70	535.24	26.68	2.02	8.77			889.16	26.52
24									70.79	12.16	70.79	12.16
合计 Total	2 205.68	21.53	324.30	29.11	3 798.04	20.30	23.98	10.85	70.79	12.16	6 422.79	20.81

3.4 不同起源乔木林中优势树种的碳储量和碳密度

由表5可知,安徽省天然林碳储量为3 476.50×10⁴ t,其中阔叶混交林碳储量最高,达到1 460.40×10⁴ t,其次是栎类、马尾松及针阔混交林,这4类乔木林的碳储量占天然林总碳储量的88.84%。人工林碳储量为2 946.29×10⁴ t,其中杨树和杉木碳储量较高,分别为788.34×10⁴ t和

3.3 不同林种乔木林在优势树种的碳储量和碳密度

在安徽森林资源中,用材林和防护林的面积占乔木林总面积的93.79%,其碳储量占乔木林碳储量的93.48%,其中用材林碳储量高达3 798.04×10⁴ t,占乔木林碳储量的59.13%;薪炭林碳储量最小,为23.98×10⁴ t,仅占乔木林碳储量的0.37%(表4)。各林种碳密度大小为特用林>防护林>用材林>经济林>薪炭林。特用林的碳密度达29.11 t/hm²,远高于其他林种,这主要是由于安徽森林资源不足、人口密集、山区民众生活对森林的依存度较高,因此人为破坏和经营利用干扰严重,导致乔木林质量不高、碳密度较低,而特用林(包括国防林、实验林、风景林及自然保护区林木等)受到保护,干扰破坏较少,因此其碳密度相对较高。

694.59×10⁴ t,占人工林碳储量的50.33%,其余树种的碳储量相对较为平均,这说明安徽省人工林以杨树和杉木为主。天然林中栎类林分的碳密度为36.59 t/hm²,但栎类人工林的碳密度仅为20.30 t/hm²,二者差异较大。天然林与人工林的面积分别为153.86×10⁴和154.81×10⁴ hm²,分别占乔木林总面积的49.85%和50.15%,人工林面积略高于

天然林,但是天然林的碳储量反而高于人工林。这主要是由于天然林受人为干扰较少,林分结构比较合理,因此碳密度相对较高,固碳能力更强。但人工

林(17.87 t/hm²),这可能是由于人工

林(17.87 t/hm²),这可能是由于人工林经营管理措施做得好,提高了碳密度,这也说明良好的经营管理对于提高森林植被碳储量有重要意义。

表 5 安徽省不同起源乔木林中优势树种的碳储量与碳密度

Table 5 Carbon storage and carbon densities of dominant tree species with different origins in Anhui

编号 Number	天然林 Natural forests		人工林 Plantations		合计 Total	
	CS	CD	CS	CD	CS	CD
1			1.13	9.46	1.13	9.47
2	480.50	19.99	214.64	19.51	695.14	19.84
3			137.11	13.48	137.11	13.48
4	72.06	26.59	9.59	20.40	81.65	25.68
5	44.16	16.18	788.34	19.62	832.50	19.40
6			5.40	14.99	5.40	14.99
7			2.93	24.42	2.93	24.42
8			13.44	11.39	13.44	11.39
9	600.00	36.59	115.10	20.30	715.10	32.40
10			13.99	14.57	13.99	14.57
11	10.79	12.85	3.33	7.24	14.12	10.86
12			16.29	23.27	16.29	23.28
13	21.76	16.74	12.32	7.04	34.08	11.17
14	62.72	29.58	20.02	8.52	82.74	18.51
15	2.14	17.87	3.71	33.73	5.85	25.45
16			694.59	19.64	694.59	19.64
17			0.09	0.72	0.09	0.76
18			22.99	16.30	22.99	16.30
19	0.63	5.24			0.63	5.24
20	15.50	13.03	18.54	10.47	34.04	11.50
21	158.10	23.05	188.78	23.11	346.88	23.08
22	1 460.40	19.34	251.75	19.49	1 712.15	19.36
23	547.74	27.52	341.42	25.05	889.16	26.52
24			70.79	12.16	70.79	12.16
合计 Total	3 476.50	22.60	2 946.29	19.03	6 422.79	20.81

4 讨论与结论

森林是陆地生态系统中最大的碳库,在抑制全球温室气体浓度上升中发挥着重要的作用,判定森林是大气 CO₂“源”或“汇”的重要依据是森林碳储量的变化^[31]。由于树种组成、林龄结构不同,森林碳储量差异很大。同时,森林碳储量还受气候、土壤、社会经济及人为经营管理措施等的影响。本研究表明,安徽省森林植被碳储量为 85.1 Tg,李海奎等^[4]和李奇等^[32]分别利用第 7 次和第 8 次全国森林资源清查数据估算了全国及各省森林植被碳储量,其中安徽省森林植被碳储量分别为 116.3 和 66.7 Tg,与本研究估算结果差异较大,这主要是由于估算森林生物量时采取的方法、含碳率的取值以及统计时对于灌木、竹林、散生木、四旁树等碳储量的取舍不同。前者利用生物量经验(回归)模型估算乔木林生物量,采用胸径-生物量回归模型来计算竹林生

物量,且计算了包括散生木、四旁树等植被的碳储量;而后者仅计算了乔木林的碳储量,忽略了竹林、灌木林及疏林地的生物量。吴庆标等^[12]利用第 4—6 次全国森林资源清查数据,估算得出 3 次森林资源调查时安徽省森林植被碳储量分别为 26.81、35.57 及 44.48 Tg,由此可知,从第 4 次到第 8 次森林资源清查期间,安徽省森林植被碳储量明显增长,特别是第 6 次到第 8 次增长更为迅速,这说明近年来实施的林业工程项目成效显著。

安徽省森林植被平均碳密度为 20.55 t/hm²,这与广东^[8]、浙江^[33]的森林植被平均碳密度差异不大,高于广西^[34],但与云南^[35]、四川^[36]、西藏^[37]及全国^[32]相比却低很多(表 6)。主要是由于安徽省人口密集、森林资源不足、人为破坏和经营利用干扰严重,导致林分质量不高、碳密度较低。此外,安徽省高度重视造林绿化工作也是导致碳密度低的一个原因。近些年来安徽省实施了一系列造林工程,导致

幼龄林、中龄林较多,二者占乔木林分总面积的 66.24%,而碳密度与龄级密切相关,龄级越低碳密度越低,从而导致安徽省森林平均碳密度较低,但这

也说明了安徽省森林植被资源趋于年轻化,有着巨大的发展潜力。

表 6 基于第 8 次森林资源清查数据的区域森林植被碳储量与碳密度的比较

区域 Region	碳储量 Carbon storage/Tg	碳密度 Carbon density/(t·hm ⁻²)	文献 Reference
全国 China	6 135.68	37.28	[32]
浙江 Zhejiang province	122.88	24.65	[33]
广东 Guangdong province	167.37	23.01	[8]
广西 Guangxi province	197.00	14.87	[34]
云南 Yunnan province	775.68	44.12	[35]
四川 Sichuan province	729.06	43.26	[36]
西藏 Tibet	1 067.16	72.49	[37]
安徽 Anhui province	66.70	22.87	[32]
安徽 Anhui province	85.10	20.55	本文 This paper

本研究表明,安徽省森林植被碳储量存在以下特点:乔木林碳储量占总碳储量的 75.47%,是安徽省森林植被固碳的主体,但乔木林总体质量不高,碳密度较低。不同乔木林中阔叶混交林碳储量最高,达 1.71×10^7 t,占乔木林碳储量的 26.66%;其次是针阔混交林、杉木林、栎类林、马尾松林及杨树林,这 6 种乔木林分共占乔木林总碳储量的 86.23%,因此加强对这 6 种林分的抚育管理,有利于提高安徽省森林植被碳储量。另外,不同龄级的林分碳密度表现出林龄越大、碳密度越高的趋势,这与关晋宏等^[9]、李奇^[38]、张亮等^[39]的研究结果一致,全省幼、中龄林所占比例偏高,有巨大的固碳潜力。各林种碳密度大小依次为:特用林>防护林>用材林>经济林>薪炭林,这与李伟等^[34]的研究结果一致,用材林和防护林的碳储量分别占乔木林的 59.13%和 34.34%。总体来说,安徽省天然林的碳储量高于人工林,这主要是由于天然林受人类活动干扰较少,林分结构比较合理,故碳密度相对较高,固碳能力较强,因此保护天然林对于维持其植被固碳能力十分重要。但个别树种的人工林碳密度明显高于天然林,这是因为良好的经营管理提高了人工林的碳密度,这充分说明科学、合理的经营管理对于提高森林植被的碳汇能力具有重要意义。

针对安徽省森林植被固碳现状,在此提几点建议:(1)以林业重点生态工程建设为依托,充分挖掘造林绿化潜力,进一步加快森林资源培育的步伐;(2)加强对现有森林资源的保护,严格控制对森林的采伐,保护天然林资源;(3)加强森林经营管理,特别是中幼龄林的抚育间伐及低质低效林的改造,提高森林质量。

本研究以第 8 次森林资源清查数据为基础,运

用生物量-蓄积转换模型法和平均生物量法,估算了安徽省不同森林类型及不同龄级、林种和起源的乔木林碳储量及碳密度,为安徽省森林植被的碳汇功能研究提供了基础数据,同时为区域森林资源可持续经营以及林种结构优化提供了依据。但该模型中的一些参数以及含碳率是针对全国范围而言的,由于缺乏适合安徽省域范围的各相关优势树种(组)的估算参数,这些参数还因林龄不同而异;其次,对于那些还没有生物量-蓄积量转换模型的树种,采用了近似树种参数代替进行估算,这在一定程度上增加了估算结果的不确定性。此外,本研究忽略了林下植被及枯落物层的碳储量,低估了森林碳储量和碳密度。

[参考文献]

[1] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. Science, 1994, 263(5144): 185-190.

[2] 刘国华, 方精云. 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.

Liu G H, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 733-740.

[3] Pan Y, Luo T, Birdsey R, et al. New estimates of carbon storage and sequestration in China's forests: effects of age-class and method on inventory-based carbon estimation [J]. Climatic Change, 2004, 67(2/3): 211-236.

[4] 李海奎, 雷渊才, 曾伟生. 基于森林清查资料的中国森林植被碳储量 [J]. 林业科学, 2011, 47(7): 7-12.

Li H K, Lei Y C, Zeng W S. Forest carbon storage in China estimated using forestry inventory data [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(7): 7-12.

[5] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science,

- 2001,292(5525):2320-2322.
- [6] Yu G R,Li X R,Wang Q F,et al. Carbon storage and its spatial pattern of terrestrial ecosystem in China [J]. Journal of Resources and Ecology,2010 (2):97-109.
- [7] 王新闻,齐光,于大炮,等. 吉林省森林生态系统的碳储量、碳密度及其分布 [J]. 应用生态学报,2011,22(8):2013-2020.
- Wang X C,Qi G,Yu D P,et al. Carbon storage, density and distribution in forest ecosystems in Jilin province of Northeast China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2011,22(8):2013-2020.
- [8] 王璟睿,作宏基,孙昕,等. 广东省森林碳储量与动态变化 [J]. 东北林业大学学报,2016,44(1):18-22.
- Wang J R,Wu H J,Sun X,et al. Forest carbon storage and dynamic in Guangdong province [J]. Journal of Northeast Forestry University,2016,44(1):18-22.
- [9] 关晋宏,杜盛,程积民,等. 甘肃省森林碳储量现状与固碳速率 [J]. 植物生态学报,2016,40(4):304-317.
- Guan J X,Du S,Cheng J M,et al. Current stocks and rate of sequestration of forest carbon in Gansu province, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology,2016,40(4):304-317.
- [10] 胡芳,杜虎,曾馥平,等. 广西不同林龄喀斯特森林生态系统碳储量及其分配格局 [J]. 应用生态学报,2017,28(3):721-729.
- Hu F,Du H,Zeng F P,et al. Carbon storage and its allocation in karst forest at different stand ages in Guangxi, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2017,28(3):721-729.
- [11] 黄雪蔓,尤业明,蓝嘉川,等. 不同间伐强度对杉木人工林碳储量及其分配的影响 [J]. 生态学报,2016,36(1):156-163.
- Huang X M,You Y M,Lan J C,et al. The effect of carbon storage and its allocation in *Cunninghamia lanceolata* plantations with different thinning intensities [J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(1):156-163.
- [12] 吴庆标,王效科,段晓男,等. 中国森林生态系统植被固碳现状和潜力 [J]. 生态学报,2008,28(2):517-524.
- Wu Q B,Wang X K,Duan X N,et al. Carbon sequestration and potential by forest ecosystems in China [J]. Acta Ecologica Sinica,2008,28(2):517-524.
- [13] 贾良清,欧阳志云,赵同谦,等. 安徽省生态功能区划研究 [J]. 生态学报,2005,25(2):254-260.
- Jia L Q,Ouyang Z Y,Zhao T Q,et al. The ecological function regionalization of Anhui province [J]. Acta Ecologica Sinica,2005,25(2):254-260.
- [14] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 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.
- Fang J Y,Liu G H,Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in China [J]. Acta Ecologica Sinica,1996,16(5):497-508.
- [15] 田秀玲,夏婧,夏焕柏,等. 贵州省森林生物量及其空间格局 [J]. 应用生态学报,2011,22(2):287-294.
- Tian X L,Xia J,Xia H B,et al. Forest biomass and its spatial pattern in Guizhou province [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2011,22(2):287-294.
- [16] 费本华,江泽慧,虞华强,等. 人工经济林木材质研究 [J]. 林业科学,2005,41(1):116-122.
- Fei B H,Jiang Z H,Yu H Q,et al. Study on properties of plantation timber [J]. Scientia Silvae Sinicae,2005,41(1):116-122.
- [17] 梁智,周勃,邹耀湘. 核桃树体生物量构成及矿质营养元素累积特性研究 [J]. 果树学报,2012,29(1):139-142.
- Liang Z,Zhou B,Zou Y X. Compositional analysis of biomass and accumulation properties of mineral elements in walnut [J]. Journal of Fruit Science,2012,29(1):139-142.
- [18] Guo Z D,Hu H F,Li P,et al. Spatio-temporal changes in biomass carbon sinks in China's forests from 1977 to 2008 [J]. Science China,2013,56(7):661-671.
- [19] 陆君,刘亚凤,齐珂,等. 福州市森林碳储量定量估算及其对土地利用变化的响应 [J]. 生态学报,2016,36(17):5411-5420.
- Lu J,Liu Y F,Qi K,et al. The quantitative estimation of forest carbon storage and its response to land use change in Fuzhou, China [J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(17):5411-5420.
- [20] Lamlo S H,Savidge R A. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species [J]. Biomass & Bioenergy,2003,25(4):381-388.
- [21] 国家林业局. LY/2253—2014 造林项目碳汇计量监测指南 [S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- State Forestry Administration. LY/2253—2014 guidelines on carbon accounting and monitoring for afforestation project [S]. Beijing:China Standards Press,2014.
- [22] 黄从德,张健,杨万勤,等. 四川省森林植被碳储量的空间分异特征 [J]. 生态学报,2009,29(9):5115-5121.
- Huang C D,Zhang J,Yang W Q,et al. Spatial differentiation characteristics of forest vegetation carbon stock in Sichuan province [J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(9):5115-5121.
- [23] 施文涛,谢昕云,刘西军,等. 安徽大别山区杉木人工林乔木层生物量模型及碳贮量 [J]. 长江流域资源与环境,2015,24(5):758-764.
- Shi W T,Xie X Y,Liu X J,et al. Biomass model and carbon storage of Chinese fir plantation in Dabieshan mountains in Anhui [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2015,24(5):758-764.
- [24] 于颖,范文义,李明泽. 东北林区不同尺度森林的含碳率 [J]. 应用生态学报,2012,23(2):341-346.
- Yu Y,Fan W Y,Li M Z. Forest carbon rates at different scales in Northeast China forest area [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2012,23(2):341-346.
- [25] 曹晓阳. 山西中南部主要造林树种固碳能力研究 [D]. 北京:北京林业大学,2013.
- Cao X Y. Research on carbon sequestration ability of main afforestation tree species in central and southern Shanxi province, China [D]. Beijing:Beijing Forestry University,2013.
- [26] 马俊青,李高阳,田丽. 河南省主要造林树种含碳率比较研究 [J]. 河南农业科学,2012,41(9):131-132.

- Ma J Q, Li G Y, Tian L. Comparative study on carbon rate of main afforestation tree species in Henan province [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2012, 41(9): 131-132.
- [27] 刘西军. 亚热带北缘毛竹林群落生产力、有机碳及养分动态 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011.
- Liu X J. Dynamics of productivity, organic carbon and nutrients of bamboo forest community in the subtropical north China [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2011.
- [28] 王迪生. 基于生物量计测的北京城区园林绿地净碳储量研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- Wang D S. Studies on net carbon reserves in Beijing urban landscape green based on biomass measurement [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [29] 马钦彦, 陈遐林, 王 娟, 等. 华北主要森林类型建群种的含碳率分析 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(Z1): 96-100.
- Ma Q Y, Chen X L, Wang J, et al. Carbon content rate in constructive species of main forest types in northern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(Z1): 96-100.
- [30] 俞艳霞, 张建军, 王孟本. 山西省森林植被碳储量及其动态变化研究 [J]. 林业资源管理, 2008(6): 35-39.
- Yu Y X, Zhang J J, Wang M B. Study on changes in forest biomass carbon storage in Shanxi province [J]. Forest Resources Management, 2008(6): 35-39.
- [31] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 44-77.
- Yu G R. Carbon cycling and carbon accumulation in global change and terrestrial ecosystems [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003: 44-77.
- [32] 李 奇, 朱建华, 冯 源, 等. 中国森林乔木林碳储量及其固碳潜力预测 [J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(3): 287-294.
- Li Q, Zhu J H, Feng Y, et al. Carbon storage and carbon sequestration potential of the forest in China [J]. Climate Change Research, 2018, 14(3): 287-294.
- [33] 李 银, 陈国科, 林敦梅, 等. 浙江省森林生态系统碳储量及其分布特征 [J]. 植物生态学报, 2016, 40(4): 354-363.
- Li Y, Chen G K, Lin D M, et al. Carbon storage and its distribution of forest ecosystems in Zhejiang province, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2016, 40(4): 354-363.
- [34] 李 伟, 张翠萍, 李士美. 基于第 8 次森林资源清查数据的广西森林碳储量特征研究 [J]. 西南林业大学学报(自然科学版), 2017, 37(3): 127-133.
- Li W, Zhang C P, Li S M. Forest carbon storage in Guangxi province estimated by 8th forest inventory data [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Science Edition), 2017, 37(3): 127-133.
- [35] 周金杰, 续珊珊. 云南省森林碳储量现状与动态分析 [J]. 林业调查规划, 2016, 41(1): 17-23.
- Zhou J J, Xu S S. Analysis of the current status and dynamics of forest carbon storage in Yunnan province [J]. Forest Inventory and Planning, 2016, 41(1): 17-23.
- [36] 邵 波, 燕 腾. 四川省森林植被碳储量及碳密度估算 [J]. 西南林业大学学报(自然科学版), 2017, 37(2): 179-183.
- Shao B, Yan T. Study on carbon storage and carbon density of forest in Sichuan province [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Science Edition), 2017, 37(2): 179-183.
- [37] 刘淑琴, 夏朝宗, 冯 薇, 等. 西藏森林植被乔木层碳储量与碳密度估算 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3127-3134.
- Liu S Q, Xia C Z, Feng W, et al. Estimation of vegetation carbon storage and density of forests at tree layer in Tibet, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(10): 3127-3134.
- [38] 李 奇. 2010~2050 年中国乔木林碳储量与固碳潜力 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2016.
- Li Q. Forest carbon storage and carbon sequestration potential during 2010—2050 in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2016.
- [39] 张 亮, 林文欢, 王 正, 等. 广东省森林植被碳储量空间分布格局 [J]. 生态环境学报, 2010, 26(6): 1295-1299.
- Zhang L, Lin W H, Wang Z, et al. Spatial distribution pattern of carbon storage in forest vegetation of Guangdong province [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 26(6): 1295-1299.