

湖南安仁县典型森林生态系统生物量和碳贮量

陈小林¹, 闫文德^{1,2,3}, 梁小翠^{1,3}, 康文星^{1,2,4}, 刘曙光^{1,2}, 曾令旗¹

(1. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2. 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 湖南 长沙 410004; 3. 城市森林生态湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004; 4. 湖南会同杉木林生态系统国家野外科学观测研究站, 湖南 会同 418300)

摘要: 以2013年安仁县“十二五”森林资源调查资料作为依据, 运用生物量、蓄积量为依据的生物量转换因子连续函数法, 对安仁县9种森林类型的生物量、碳贮量进行了估算。结果表明: 安仁县的主要森林类型是杉木、慢生阔叶树、马尾松、中生阔叶树、湿地松、速生阔叶树、桉树组、柏木、杨树, 其中杉木是优势树种, 林分面积占乔木总面积的40.07%; 幼龄林占乔木林面积的51.85%, 中龄林占乔木林面积的21.15%, 近熟林占乔木林面积的11.35%, 成熟林占乔木林面积的7.25%, 过熟林占乔木林面积的1.40%; 主要树种的生物量、碳贮量分别为1 808 132.55×10³、904 006.37×10³ t, 碳汇价值为5.8×10¹⁰元; 林分单位面积生物量、平均碳密度分别为25.37、12.68 t·hm⁻²; 几种森林类型单位面积的生物量、碳密度都比全国平均水平低, 因此, 安仁县的碳汇潜力非常大。

关键词: 生物量; 碳贮量; 固碳价值; 湖南安仁县

中图分类号: S718.556

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2017)01-0094-05

Biomass and carbon storage of typical forest ecosystem in Anren of Hunan province

CHEN Xiaolin¹, YAN Wende^{1,2,3}, LIANG Xiaocui^{1,3}, KANG Wenxing^{1,2,4}, LIU Shuguang^{1,2}, ZENG Lingqi¹

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China; 2. National Engineering Laboratory for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, Hunan, China; 3. Key Laboratory of Urban Forest Ecology of Hunan Province, Changsha 410004, Hunan, China; 4. National Key Station for Field Scientific Observation & Experiment, Huitong 418300, Hunan, China)

Abstract: This article based on the data twelve five forest resource survey of Anren county in 2013, using the biomass conversion factors between biomass and volume based on continuous function method 9 tree species of biomass, carbon and carbon storage were estimated of Anren county. Results is concluded that: the main forest types of Anren is *Cunninghamia lanceolata*, slow-growth broadleaved trees, *Pinus massoniana*, normal-growing broadleaved trees, *Pinus elliottii*, fast-growth broadleaved trees, *Eucalyptus*, *Cedar wood*, *Populus L.* The *Cunninghamia lanceolata* is advantage, the forest stand area accounted for 40.07% of the total area. the young forest age, the mid-maturation forest age, the nearly ripe forest age, the arbor area mature forest, the overripe Lin forest stand area accounted for 51.85%, 21.15%, 11.35%, 7.25%, 1.40% of the total area. The biomass and carbon storage of the main tree in Anren were 1 808 132.55×10³, 904 006.37×10³ t; The value of carbon sinks was 5.8×10¹⁰ yuan; the average biomass and the average carbon density are 25.37, 12.68 t·hm⁻²; the average forest biomass and the average carbon density of Anren were lower than that of the national level. Therefore, the potential carbon sink of forest is very great in Anren.

Keywords: biomass; carbon storage; value of carbon sinks; Anren county of Hunan province

收稿日期: 2016-01-10

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201404316); 湖南省自然科学创新研究群体基金(湘基金委字[2013]7号); 国家林业局软科学研究项目(2013-R09); 湖南省教育厅一般项目(15C1431); 中南林业科技大学青年科学研究基金项目(QJ2013005A); 城市森林生态湖南省重点实验室资助项目

作者简介: 陈小林, 硕士研究生

通讯作者: 闫文德, 教授, 博士, 博士生导师; E-mail: csfuywd@hotmail.com

引文格式: 陈小林, 闫文德, 梁小翠, 等. 湖南安仁县典型森林生态系统生物量和碳贮量[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(1): 94-98.

森林生态系统作为地球上最大的陆地生态系统,是陆地上生物光合产物的主体,也是陆地生态系统最大的碳库^[1],森林生态系统生物量占整个陆地生态系统生物量的 90% 左右^[2]。与其他生态系统相比,它拥有很长的生命周期、相当复杂的层次结构及最高的生物量和生长量等,因为人类的滥砍滥伐,森林面积越来越小,森林生物量的大小受光合作用、呼吸作用、人类活动等各种因素共同影响。因此,森林生物量的变化间接反映了森林群落的演替和自然干扰、人类活动、气候变化以及大气污染等影响^[3]。

20 世纪 50 年代,日本、英国等国家就对森林生物量进行了研究,并且取得了一定的成果,这些资料对我国森林生物量的研究具有很大的参考价值。20 世纪 70 年代末 80 年代初,我国的森林生物量研究开始进行^[4],冯宗炜等^[5]、李文华等^[6]最早对我国生物量进行了测定。黄采艺等^[7]采用了生物量连续转换函数模型对长沙市望城区的森林生物量和碳储量进行了估算。宁晨等^[8]对贵阳市市区灌木林生态系统进行了研究,结果表明生物量的空间分布格局为木本层>凋落物层>草本层,碳储量空间分布格局为土壤层>植被层>凋落物层。成晨阳等^[9]对浏阳市乔木人工林和天然林的生物量和碳储量进行了研究,得出人工林的碳密度水平略低于天然林。

本研究通过运用生物量转换因子连续函数法,对安仁县 9 种森林类型的生物量、碳贮量进行了估算,并根据《世界碳汇贸易价格预测比较表》中的碳汇价格对安仁县的碳汇价值进行了计算,以期为本区域的气候变化以及林业管理制定应对方法和对策。

1 研究区域概况

安仁县位于罗霄山脉西麓,湖南省的东南部,是郴州市的“北大门”,东界茶陵、炎陵,西连耒阳、衡阳,南与资兴、永兴相邻,北接衡东、攸县。地理坐标为东经 113°5′~113°36′、北纬 26°17′~26°50′,是井冈山革命根据地的一部分。安仁是典型的亚热带季风性湿润气候,光照充足,年平均气温在 17~18℃之间,无霜期为 270~280 d;雨量充沛,干湿季节分明,水、气、光、热基本同季,年平均降水量为 1 300~1 700 mm,年日照时数为 1 663.3 h。安仁县山地土壤成土母质主要有 8 个大类,有板页岩、紫色岩、花岗岩等。由于其地处亚热带,森林资源丰富。西部山丘地以油茶、竹、松为主,东南部、北部山地以竹、杉、松为主。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究数据来源于安仁县“十二五”森林资源调查基础数据以及相关文献查阅资料,安仁县总土地面积为 146 218.9 hm²,林地面积为 95 755.9 hm²,占土地面积的 65.49%。全县分乡镇对乔木林按优势树种各龄组面积、蓄积进行统计,天然和人工林乔木林按龄组面积、蓄积进行统计。

2.2 乔木生物量的估算

本文中主要依据 1996 年方精云等^[10]建立的连续函数模型对安仁县 9 种森林类型生物量进行估算。方程式^[11]为: $B=aV+b$ 。其中, B 为单位面积生物量 (t·hm⁻²); a 、 b 为参数; V 为单位面积蓄积量 (m³·hm⁻²)。

马尾松: $B=0.510 0V+1.045 0$ 。

杉木: $B=0.399 0V+22.541 0$ 。

柏木: $B=0.612 9V+26.145 1$ 。

慢生阔叶树: $B=1.035 7V+8.059 1$ 。

中生阔叶树: $B=0.625 5V+91.001 3$ 。

速生阔叶树: $B=0.475 0V+30.603 0$ 。

湿地松: $B=0.516 8V+33.237 8$ 。

杨树: $B=0.475 4V+30.603 4$ 。

桉树: $B=0.789 3V+6.930 6$ 。

2.3 碳贮量及碳汇价值估算

森林植被碳贮量通过森林植被的生物量与生物量中碳元素含量的乘积 (0.45~0.55) 推算而得。本研究采取 0.5 的转换率,来源于中国林业温室气体清单课题组的研究结果^[12-13]。碳贮量计算公式为: $C=Y \times Cc$ 。式中: Y 为小班森林生物量; Cc 为生物量中的碳含量。

碳汇价值是依据其在交易所的价格而进行推算的,由于其一直处于不断的波动中,故没有一个固定的值。本文中根据《世界碳汇贸易价格预测比较表》的分析,这里以 10 美元·t⁻¹ 碳作为估算标准,约为人民币 64 元·t⁻¹。

3 结果与分析

3.1 树种的结构和龄级结构

在全县林分总面积和总蓄积量中,安仁县主要树种的面积和蓄积量所占的比例详见图 1 和图 2。

由图 1、图 2 可知,安仁县主要树种有马尾

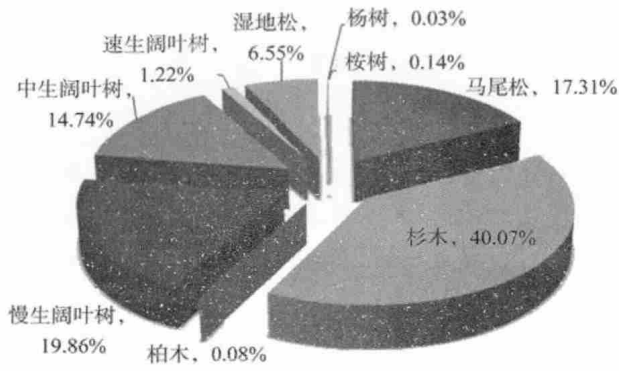


图 1 安仁县主要树种占乔木林面积百分比
Fig.1 Major species accounting for percentage of stand area

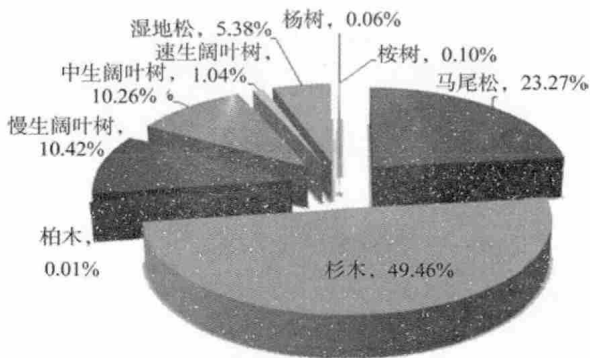


图 2 安仁县主要树种占乔木林蓄积量百分比
Fig.2 Major species accounting for percentage of volume

松、杉木、柏木、慢生阔叶树、中生阔叶树、速生阔叶树、湿地松、杨树、桉树等。其中，马尾松林占乔木林面积的 17.31%，占乔木林蓄积的 23.27%；杉木林占乔木林面积的 40.07%，占乔木林蓄积的 49.46%；柏木占乔木林面积的 0.08%，占乔木林蓄积的 0.01%；慢生阔叶树占乔木林面积的 19.86%，占乔木林蓄积的 10.42%；中生阔叶树占乔木林面积的 14.74%，占乔木林蓄积的 10.26%；速生阔叶树占乔木林面积的 1.22%，占乔木林蓄积的 1.04%；湿地松占乔木林面积的 6.55%，占乔木林蓄积的 5.38%；杨树占乔木林面积的 0.03%，占乔木林蓄积的 0.06%；桉树占乔木林面积的 0.14%，占乔木林蓄积的 0.10%。

在全县林分总面积和总蓄积量中，安仁县主要树种不同龄级林分面积和蓄积量所占的比例详见图 3 和图 4。

由图 3、图 4 可知，幼龄林面积占乔木林面积的 51.85%，占乔木林蓄积的 17.72%；中龄林面积占乔木林面积的 28.15%，占乔木林蓄积的 40.00%；近熟林面积占乔木林面积的 11.35%，占乔木林蓄积的 21.48%；成熟林面积占乔木林面积的 7.25%，占乔木林蓄积的 16.36%；过熟林面积占乔木林面积的 1.40%，占乔木林蓄积的 4.45%。

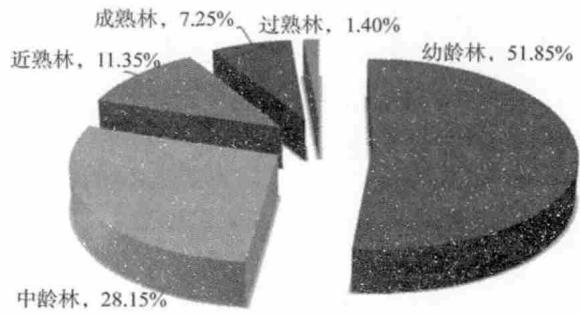


图 3 不同龄级林分占总面积百分比
Fig.3 Age classes accounting for percentage of total area

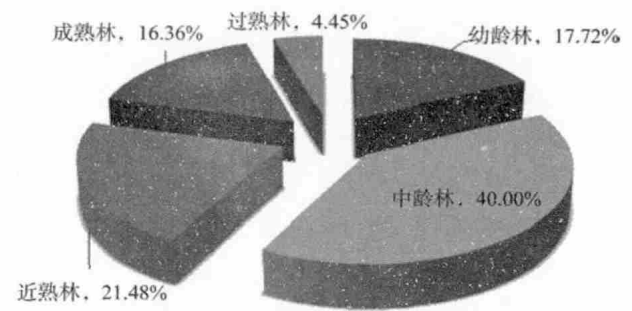


图 4 不同龄级林分占总蓄积量百分比
Fig.4 Age classes accounting for percentage of total volume

由此可见，近熟林和中幼龄林占优势地位。

3.2 树种的生物量和碳贮量

由表 1 可知各树种的生物量和碳贮量，安仁县总的生物量为 $1\ 808\ 132.55 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $904\ 006.37 \times 10^3\ t$ 。其中马尾松林生物量为 $410\ 825.52 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $205\ 412.77 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 22.7%；杉木林生物量为 $683\ 263.36 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $341\ 631.70 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 37.8%；柏木林生物量为 $224.51 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $112.26 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 0.01%；慢生阔叶树生物量为 $373\ 792.32 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $186\ 896.17 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 20.7%；中生阔叶树生物量为 $222\ 564.75 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $111\ 282.38 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 12.3%；速生阔叶树生物量为 $17\ 328.53 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $8\ 664.28 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 0.96%；湿地松生物量为 $96\ 433.63 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $48\ 216.83 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 5.3%；杨树生物量为 $1\ 106.02 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $553.02 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 0.06%；桉树生物量为 $2\ 593.91 \times 10^3\ t$ ，碳贮量为 $1\ 296.96 \times 10^3\ t$ ，占乔木总生物量和碳贮量的 0.1%。

从年龄分级来看，幼龄林、中龄林、近熟林、

表 1 安仁县主要树种生物量和碳贮量
Table 1 Biomass and carbon storage of forest stands in Anren county

		10 ³ t					
树种	项目	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	小计
马尾松	生物量	40 148.76	189 811.83	168 007.29	12 857.64	—	410 825.52
	碳贮量	20 074.38	94 905.92	84 003.65	6 428.82	—	205 412.77
杉木	生物量	113 349.31	206 315.52	118 419.81	186 234.25	58 944.47	683 263.36
	碳贮量	56 674.66	103 157.76	59 209.91	93 117.13	29 472.24	341 631.70
柏木	生物量	89.27	135.24	—	—	—	224.51
	碳贮量	44.64	67.62	—	—	—	112.26
慢生阔叶树	生物量	102 870.68	248 826.70	13 841.90	2 515.49	5 737.55	373 792.32
	碳贮量	51 435.34	124 413.35	6 920.95	1 257.75	2 868.78	186 896.17
中生阔叶树	生物量	56 370.36	125 885.31	33 345.08	6 964.00	—	222 564.75
	碳贮量	28 185.18	62 942.66	16 672.54	3 482.00	—	111 282.38
速生阔叶树	生物量	5 821.33	5 814.20	1 670.30	3 749.85	272.85	17 328.53
	碳贮量	2 910.67	2 907.10	835.15	1 874.93	136.43	8 664.28
湿地松	生物量	24 759.02	20 844.26	23 497.51	27 179.19	153.65	96 433.63
	碳贮量	12 379.51	10 422.13	11 748.76	13 589.60	76.83	48 216.83
杨树	生物量	68.64	555.45	141.37	340.56	—	1 106.02
	碳贮量	34.32	277.73	70.69	170.28	—	553.02
桉树	生物量	552.34	482.09	1 559.48	—	—	2 593.91
	碳贮量	276.17	241.05	779.74	—	—	1 296.96
合计	生物量	344 029.71	798 670.60	360 482.74	239 840.98	65 108.52	180 8132.55
	碳贮量	172 014.86	399 335.30	180 241.37	119 920.49	32 554.26	904 006.37

成熟林、过熟林生物量分别为 $344\ 029.71 \times 10^3$ 、 $798\ 670.60 \times 10^3$ 、 $360\ 482.74 \times 10^3$ 、 $239\ 840.98 \times 10^3$ 、 $65\ 108.52 \times 10^3$ t，碳贮量为 $172\ 014.86 \times 10^3$ 、 $399\ 335.30 \times 10^3$ 、 $180\ 241.37 \times 10^3$ 、 $119\ 920.49 \times 10^3$ 、 $32\ 554.26 \times 10^3$ t，占乔木总生物量和碳贮量的 19.0%、44.2%、19.9%、13.3%、3.6%。

3.3 树种的平均生物量和平均碳密度

由表 2 可知各树种的平均生物量和碳贮量，安仁县各树种的平均生物量为 $25.37\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $12.68\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中，马尾松林平均生物量为 $141.79\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $70.91\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；杉木林平均生物量为 $187.64\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $93.82\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；柏木平均生物量为 $12.83\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $6.41\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；慢生阔叶树平均生物量为 $430.25\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $215.13\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；中生阔叶树平均生物量为 $167.13\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $83.57\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；速生阔叶树平均生物量为 $185.20\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $92.60\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；湿地松平均生物量为 $222.95\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $111.48\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；杨树平均生物量为 $213.78\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $106.89\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；桉树平均生物量为 $92.56\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度为 $46.28\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表 2 安仁县主要树种平均生物量和平均碳密度
Table 2 The average biomass and average carbon density of main tree species in Anren county

		$\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$					
树种	项目	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	小计
马尾松	生物量	12.20	37.79	44.79	47.01	—	141.79
	碳密度	6.10	18.90	22.40	23.51	—	70.91
杉木	生物量	8.01	32.18	40.22	45.37	61.86	187.64
	碳密度	4.01	16.09	20.11	22.68	30.93	93.82
柏木	生物量	2.18	10.65	—	—	—	12.83
	碳密度	1.09	5.32	—	—	—	6.41
慢生阔叶树	生物量	10.32	62.42	108.39	87.95	161.17	430.25
	碳密度	5.16	31.21	54.20	43.98	80.58	215.13
中生阔叶树	生物量	9.30	33.24	60.23	64.36	—	167.13
	碳密度	4.65	16.62	30.12	32.18	—	83.57
速生阔叶树	生物量	10.52	31.18	41.86	44.80	56.84	185.20
	碳密度	5.26	15.59	20.93	22.40	28.42	92.60
湿地松	生物量	8.71	33.35	37.06	47.80	96.03	222.95
	碳密度	4.36	16.67	18.53	23.90	48.02	111.48
杨树	生物量	20.80	36.78	58.90	97.30	—	213.78
	碳密度	10.40	18.39	29.45	48.65	—	106.89
桉树	生物量	11.25	35.71	45.60	—	—	92.56
	碳密度	5.62	17.86	22.80	—	—	46.28
合计	生物量	9.31	39.81	44.58	46.38	65.45	25.37
	碳密度	4.65	19.91	22.29	23.19	32.72	12.68

从年龄分级来看，幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林平均生物量分别为 9.31、39.81、44.58、46.38、65.45 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，平均碳密度分别为 4.65、19.91、22.29、23.19、32.72 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

3.4 碳汇价值

本研究以《世界碳汇贸易价格预测比较表》的结论作为依据, 把计算标准定为 10 美元·t⁻¹ 碳^[13], 乘以当前汇率得出人民币价格 64 元·t⁻¹, 最后计算出安仁县主要森林类型的碳汇价值为 5.8×10¹⁰ 元人民币。

4 小结与讨论

安仁县的主要树种有马尾松、杉木、柏木、慢生阔叶树、中生阔叶树、速生阔叶树、湿地松、杨树、桉树等。其中杉木林是主体, 杉木林面积为 28 555.5 hm², 占乔木林面积的 40.07%, 幼龄林面积占乔木林面积的 51.85%, 中龄林面积占乔木林面积的 28.15%, 近熟林面积占乔木林面积的 11.35%。

安仁县主要树种总的生物量为 1 808 132.55×10³ t, 平均生物量为 25.37 t·hm⁻², 与 84.08 t·hm⁻² 的全国平均水平相比^[13], 只占其 30.2%。各树种的生物量依次为: 杉木 (683 263.36×10³ t) > 马尾松 (410 825.52×10³ t) > 慢生阔叶树 (373 792.32×10³ t) > 中生阔叶树 (222 564.75×10³ t) > 湿地松 (96 433.63×10³ t) > 速生阔叶树 > (17 328.53×10³ t) > 桉树 (2 593.91×10³ t) > 杨树 (1 106.02×10³ t) > 柏木 (224.51×10³ t), 其中杉木是主要森林类型生物量的主体。

安仁县主要树种总的碳贮量为 904 006.37×10³ t, 平均碳密度为 12.68 t·hm⁻², 而全国平均碳密度为 35~39 t·hm⁻², 世界平均碳密度为 86 t·hm⁻², 与之相比, 远低于全国、世界平均水平^[14], 各森林类型的碳贮量依次为: 杉木 (341 631.70×10³ t) > 马尾松 (205 412.77×10³ t) > 慢生阔叶树 (186 896.17×10³ t) > 中生阔叶树 (111 282.38×10³ t) > 湿地松 (48 216.83×10³ t) > 速生阔叶树 > (8 664.28×10³ t) > 桉树 (1 296.96×10³ t) > 杨树 (553.02×10³ t) > 柏木 (112.26×10³ t)。

安仁县各种森林类型的碳汇价值为 5.8×10¹⁰ 元人民币。

安仁县的生物量和碳贮量都低于全国和世界平均水平, 这种现状不仅仅和当地的气候、立地条件、各林分之间的差异相关, 也可能与本文选用的生物量转换因子连续函数模型、当地的森林管理水平相关。本研究只估算了乔木林的生物量和碳贮量, 没有涉及到林下植被和凋落物以及土壤的生物量和碳贮量, 但是这部分量对于安仁县森林生态系统的固碳潜力来说是不可忽视的, 它将是今后研究的重点。

2004 年以来, 安仁县通过退耕还林、长江防护林、重点公益林经营等林业工程建设, 通过实施人工造林、封山育林等一系列措施, 来增加森林覆盖率。安仁县中幼龄林面积大, 后备资源丰富, 发展潜力大。但是针叶林面积大, 特别是杉木、马尾松占乔木林面积 57.38%, 树种和龄级结构尚不合理, 需要进一步改善。这些特点说明了安仁县的林业发展潜力巨大, 同时这种结构也是制约安仁林业跨越式发展的瓶颈, 这些问题在今后的森林经营中应该予以优先考虑。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 杨洪晓, 吴波, 张金屯, 等. 森林生态系统的固碳功能和碳储量研究进展 [J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(2): 172-177.
- [3] Brown S L, Schroeder P, Kern J S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA [J]. For. Ecol. Man., 1999, 123(1): 81-90.
- [4] 赵敏, 周广胜. 基于森林资源清查资料的生物量估算模式及其发展趋势 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1468-1472.
- [5] Field C B, Fung I Y. The not so-big US carbon sink [J]. Science, 1999, 285(5427): 544-545.
- [6] Li W H, Deng K M, Li F. Study on biomass and primary production of main ecosystems in Changbai Mountain [C]//Research of Forest Ecosystem. Beijing: Forestry Press, 1981: 34-50.
- [7] 黄采艺, 文仕知, 欧阳钦, 等. 长沙望城区主要树种生物量与碳储量的研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(9): 128-132.
- [8] 宁晨, 闫文德, 宁晓波, 等. 贵阳市区灌木林生态系统生物量及碳储量 [J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2555-2563.
- [9] 成晨阳, 汤腾方, 伍格致. 浏阳市乔木林碳贮量及碳密度特征分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(11): 104-109.
- [10] 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.
- [11] 方精云, 陈安平, 赵淑清. 中国森林生物量的估算: 对 Fang 等 Science 一文的若干说明 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(2): 243-249.
- [12] 张忠华, 李昭昭. 吉林省森林碳储量估计及碳汇价值分析 [J]. 中国城市经济, 2011(18): 267-270.
- [13] 李夏, 吴开华, 巩永芳, 等. 休宁县主要树种生物量及碳储量分析 [J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(4): 502-506.
- [14] 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.

[本文编校: 谢荣秀]