

喀斯特地区 3 种针叶林林分生物量及碳储量研究

刘之洲^{1,2}, 宁 晨^{1,2}, 闫文德^{1,2}, 倪晓薇^{1,2}, 陈 毅^{1,2}, 宁晓波³

(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. 贵州省林业厅, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 以贵州喀斯特地区 3 种针叶林为研究对象, 采用标准样地调查和生物量实测数据, 对各生态系统的生物量、碳含量以及碳储量进行研究分析。结果表明: 马尾松天然林、马尾松人工林和湿地松人工林生态系统乔木生物量分别为 103.46、140.55、164.15 t/hm²; 林下植被及死地被物层生物量分别为 7.762、6.994、8.622 t/hm²。林木各器官含碳量: 马尾松天然林 0.427 ~ 0.530 gC/g、马尾松人工林 0.443 ~ 0.574 gC/g、湿地松人工林 0.444 ~ 0.466 gC/g。3 种森林生态系统碳储量分别为: 马尾松天然林 678.025 t/hm²、马尾松人工林 777.11 t/hm²、湿地松人工林 834.135 t/hm²。其中植被层分别为 48.199、70.788、76.438 t/hm²; 死地被物层为 0.667、0.659、0.742 t/hm²; 土壤层为 629.159、705.664、756.955 t/hm²。碳储量分布格局为土壤层 > 植被层 > 死地被物层。研究结果可以为贵州喀斯特地区针叶林管理及运营提供基础数据。

关键词: 针叶林生态系统; 碳含量; 生物量; 碳储量; 马尾松; 湿地松;

中图分类号: S718.55⁺6

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2017)10-0105-07

Three kinds of pine forest biomass and carbon storage research in karst landform

LIU Zhizhou^{1,2}, NING Chen^{1,2}, YAN Wende^{1,2}, NI Xiaowei^{1,2}, CHEN Yi^{1,2}, NING Xiaobo³

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China;

2. National Engineering Lab. for Applied Technology of Forestry and Ecology in South China, Changsha 410004, Hunan, China;

3. Forestry Bureau of Guizhou Province, Guiyang 550001, Guizhou, China)

Abstract: Afforestation and restoration are vital contributors for offsetting greenhouse gas emissions. However, when compared to native species, how fast-growing exotic tree species will influence the local ecosystem process remains poorly understood. In this study, the carbon storage and biomass in vegetation and soil were compared one of three ways, natural native masson pine (*Pinus massoniana*), planted native masson pine, or exotic slash pine (*Pinus elliottii*) plantation. The results showed that biomass of overstory vegetation was 103.46、140.55、164.15 t/hm² in natural masson pine forest, masson pine plantation, and slash plantation, respectively. The mean carbon storage was 678.025 t/hm² in natural masson pine forest, 777.11 t/hm² in masson pine plantation, and 834.135 t/hm² in slash pine plantation. Carbon content ranges from 0.427-0.530 gC/g in natural masson pine forest, 0.443-0.574 gC/g in masson pine plantation, and 0.444-0.466 gC/g in slash pine plantation. For understory vegetation, 0.659-0.742 gC/g in litter layer, and 629.159-756.955 gC/g in the soil. The carbon (C) content of soil of the three forest types decreased with soil depth. The distribution of C storage was soil > vegetation > litter. The results provide a scientific basis and reference for coniferous forest management and long-term location monitoring.

Keywords: *Pinus massoniana*; *Pinus elliottii* biomass; carbon content; carbon storage; coniferous forest ecosystem

随着社会的发展科技的进步, 人们在享受着各种工业产物的便利的同时也在排放大量的 CO₂^[1-3]。全球气候变暖已经威胁到了人类的健康及其赖以生存的环境, 如何解决温室效应已经成为各国科

学家和政府的关注和研究的焦点^[4-8]。森林被称作地球的肺^[9], 它维持着 86% 以上的全球植被碳库, 同时也维持着约 73% 全球土壤碳库, 并且森林每年固定的碳约占整个陆地生态系统的三

收稿日期: 2017-03-16

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项 (201404316); 国家自然科学基金项目 (31070410, 30571487, 30870455)

作者简介: 刘之洲, 硕士研究生

通讯作者: 闫文德, 教授, 博导; E-mail: csfuyywd@hotmail.com

引文格式: 刘之洲, 宁 晨, 闫文德, 等. 喀斯特地区 3 种针叶林林分生物量及碳储量研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(10): 105-111.

分之二^[10-11]。因此森林在缓解温室效应调节全球碳平衡方面具有着非常重要的作用^[12-13]。

针叶林是森林生态系统中一种重要的类型, 是我国的重要森林资源之一, 与灌木林、阔叶林、竹林共同组成了我国森林的四大林型^[14]。马尾松 *Pinus massoniana* 是造林面积仅次于杉木的本土造林树种, 占全国总造林面积的 20%^[15-17]。马尾松也是我国种植的松树当中数量最多、分布最广的, 马尾松的耐干旱, 适应能力等特性使得它成为我国南方低山丘陵区荒山绿化造林的主要树种, 它在我国的覆盖面积为已经超过 1 000 万 hm^2 ^[18]。我国自 1930 年开始引进的湿地松 *Pinus elliottii* 原产于美国东南部, 由于它适应性强、木材用途广、生长快, 目前是我国南方主要的造林先锋树种^[19]。作为乡土树种的马尾松与外来树种属于同一属, 在对其林分生物量碳储量差异等方面国内没有太多的研究。

本研究以喀斯特地区贵州省龙里县响水林场的马尾松人工林、马尾松天然林、湿地松人工林为研究对象, 使用生物量数据和标准样地调查来研究 3 种针叶林的有机碳含量、碳储量以及生物量及其分布特征, 为喀斯特地区森林规划与管理提供基础数据依据。

1 试验区概况与研究方法

1.1 试验区概况

实验样地设置在贵州省龙里林场, 地理位置为 $26^{\circ}22' \sim 26^{\circ}45' \text{N}$, $106^{\circ}45' \sim 107^{\circ}11' \text{E}$ 之间, 处于苗岭山脉中段, 长江流域乌江水系与珠江流域红水河水系的分水岭, 乌江三级支流三元河从林区流过, 地势西北高、东南低, 属中亚热带季风湿润气候, 多年平均气温 14.8°C , 降水量 1 089.3 mm, 相对湿度 77%。龙里林场成土母岩主要为砂页岩。土壤以黄壤为主, 另有少量黄棕壤、草甸土。pH 值在 5.5 ~ 6.5 之间, 呈微酸性。

1.2 研究方法

1.2.1 标准样地设置

在 3 种不同的针叶林类型中分别设置标准样地。在马尾松天然林、马尾松人工林、湿地松人工林内分别设置 3 个 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的标准样地, 共 9 块。对标准地内的马尾松天然林、马尾松人工林、湿地松人工林进行每木检尺, 测得林木树高、胸径等, 由每木检尺结果, 计算从而得出各树种的平均树高和平均胸径。各标准样地林分特征见表 1。

表 1 各标准样地林分结构特征[†]
Table 1 Stand structure characteristics of sample plot

类型	年龄	密度 (株/ hm^2)	胸径/ cm^2	树高/m	林下主要植物
马尾松天然林	18	$2\,241.67 \pm 125.83$	13.012 ± 1.09	12.22 ± 0.63	菝葜 杜鹃 白栎 小果南烛 野茉莉
马尾松人工林	19	$1\,216.67 \pm 625.17$	17.50 ± 0.35	15.61 ± 0.59	茅栗 菝葜 杜鹃 白栎 小果南烛
湿地松人工林	20	950.00 ± 163.94	20.96 ± 1.19	14.78 ± 0.51	杜鹃 野茉莉 小果南烛 野合欢 云南白珠

[†] 表中数据为均值±标准差。

1.2.2 生物量测定

采用分层切割的方法测量林木地上各器官的生物量。从根干交界处伐倒各标准木后, 截取 1 m 长的各段的树枝、树干、树叶, 称取其各项鲜质量, 每一个种类采集样品 1 千克。

根系则使用分层挖掘的方法测量土壤及根系生物量。马尾松天然林、马尾松人工林、湿地松人工林的标准木都是按照树冠投影区域来挖掘, 每层深度为 0.5 m, 并且按照根系的粗细等级分层进行挖取, 大根的直径大于 0.5 cm、粗根的直径为 0.2 ~ 0.5 cm、细根的直径小于 0.2 cm, 取不同粗细等级的根系称量记其鲜质量, 取样品 1 kg; 将采取的各器官样品, 放到烘箱中以 105°C 的温度杀青 5 min 后, 再置于烘箱中以 80°C 烘干至恒重, 求各器官含水率, 并且

计算标准木的各器官生物量。

1.2.3 土壤样品采集

在马尾松天然林、马尾松人工林、湿地松人工林的标准样地内, 随机取 3 个采样点, 对土壤进行坡面, 按 0 ~ 15 cm、15 ~ 30 cm、30 ~ 45 cm、45 cm 以下的土层, 分层取土样各 500 克, 共采土壤 99 个。将土壤中的根系和石砾等杂物去除石砾后, 置于风干室里风干, 然后进行粉碎, 使用 2 mm 的筛子过筛以后用于测定有机碳含量。土壤容重的测量准备则使用环刀取样, 放到烘箱中设置 105°C 烘干至恒重。

1.2.4 碳含量测定

采用重铬酸钾 - 油浴加热法来测定土壤和植物样品的有机碳含量。

1.3 数据处理与计算

实验数据的整理和分析是使用的 Excel 以及 SPSS 软件。实验数据的差异显著性的检验采用的是最小显著差异法 (LSD) 和单因素方差分析 (ANOVA), 对马尾松天然林、马尾松人工林、湿地松人工林的林分碳含量、碳储量及生物量进行了比较, 显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同林分的生物量

2.1.1 不同林分乔木层生物量及其分配

表 2 中可以得出, 湿地松人工林乔木层生物量最高, 为 164.15 t/hm^2 , 其次为马尾松人工

林 140.55 t/hm^2 , 马尾松天然林生物量最低, 为 103.46 t/hm^2 。在各林分中树干生物量显著高于树枝、树叶和树根 ($P < 0.05$), 树干的生物量占总生物量的一半以上。

2.1.2 灌木层、草本层和死地被物层生物量

从表 3 中得出, 马尾松天然林林下植被层生物量为 7.762 t/hm^2 , 死地被物层生物量为 1.489 t/hm^2 , 高于草本层 1.147 t/hm^2 。马尾松人工林林下植被层生物量为 6.994 t/hm^2 , 草本 0.881 t/hm^2 , 死地被物层生物量为 1.811 t/hm^2 , 高于草本层。湿地松人工林林下植被层生物量为 8.622 t/hm^2 , 且灌木丛显著高于草本层 ($p < 0.05$), 死地被物层生物量为 1.557 t/hm^2 , 高于草本层。从总体上看, 三种林分之间各林下植被层次均无差异显著性 ($p > 0.05$)。

表 2 不同林分乔木层的生物量及分配比例
Table 2 Stand biomass and its distribution ratio in organs for different forest types

	林分类型	干	枝	叶	根	合计
林分生物量	马尾松天然林	66.31±15.10 aA	18.06±4.78 bA	7.05±1.65 b	11.95±2.71 b	103.37±24.24 A
	马尾松人工林	80.81±11.98 aA	36.28±6.64 bB	10.14±1.62 c	13.22±1.88 c	140.45±22.12 AB
	湿地松人工林	125.16±26.97 aB	14.75±3.94 bA	9.04±2.31 c	15.08±2.44 b	164.04±35.66 B
分配比例	马尾松天然林	64.148 205 48	17.471 219 89	6.820 160 588	11.560 414 05	100
	马尾松人工林	57.536 489 85	25.831 256 67	7.219 651 121	9.412 602 35	100
	湿地松人工林	76.298 463 79	8.991 709 339	5.510 851 012	9.192 879 785	100

† 表中数据为均值±标准差; 不同小写字母表示同一林分不同器官生物量差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示不同林分间生物量差异显著 ($P < 0.05$)。

表 3 林下植被层和死地被物层生物量及其分配(t/hm^2)[†]
Table 3 Biomass and its distribution ratio in undergrowth an litter layer

层次	马尾松天然林	马尾松人工林	湿地松人工林	
灌木层生物量	5.126±3.631 a	4.303±1.691 a	6.228±2.555 a	
草本层生物量	1.147±0.539 ab	0.881±0.277 b	0.837±0.217 b	
死地被物层	未分解生物量	0.469±0.085	0.418±0.073	0.340±0.251
	半分解生物量	0.519±0.114	0.428±0.042	0.387±0.105
	已分解生物量	0.501±0.357	0.964±0.191	0.830±0.378
	小计 生物量	1.489±0.194 b	1.811±0.290 b	1.557±0.330 ab
合计	7.762±4.281	6.994±1.883	8.622±2.836	

† 表中数据为均值±标准差, 不同小写字母表示同一林分不同层间生物量差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 植被和死地被物碳素含量

2.2.1 乔木层林木各器官碳素含量

从表 4 中可以看出, 马尾松天然林各器官碳含量在 $0.427 \sim 0.530 \text{ gC/g}$ 之间, 树根碳含量 > 树干碳含量 > 树叶碳含量 > 树枝碳含量; 马尾松人工林各器官碳含量在 $0.443 \sim 0.574 \text{ gC/g}$ 之间, 树根碳含量 > 树干碳含量 > 树叶碳含量 > 树枝碳含量; 湿地松人工林各器官碳含量在 $0.444 \sim 0.466 \text{ gC/g}$ 之间, 以树叶含量最高, 树枝含量最低。表明不同

林型, 碳含量不同, 且在树木各器官中存在差异。

2.2.2 灌木层、草本层和死地被物层碳含量

由表 5 可得出, 湿地松人工林灌木层碳含量最高, 为 0.431 gC/g , 马尾松人工林次之, 为 0.425 gC/g , 马尾松天然林最低, 为 0.396 gC/g ; 草本层碳含量同样以湿地松林最高, 为 0.379 gC/g , 而马尾松天然林其次, 为 0.372 gC/g , 马尾松人工林最低, 为 0.369 gC/g 。各森林类型中灌木层的林植被碳含量均大于草本层林下植被碳含量; 死地

表 4 不同林木各器官碳素含量[†] (gC/g)
Table 4 Carbon contents of different organs in different forest types

林木类型	干	枝	叶	根	平均值
马尾松天然林	0.451±0.018 aA	0.427±0.020 a	0.448±0.023 aA	0.530±0.023 bA	0.464±0.071 A
马尾松人工林	0.508±0.009 aB	0.443±0.012 b	0.540±0.022 cB	0.574±0.014 dB	0.516±0.052 B
湿地松人工林	0.464±0.003 aA	0.444±0.010 b	0.466±0.005 aA	0.448±0.015 aA	0.455±0.014 A

† 表中数据为均值±标准差; 不同小写字母表示同一林分不同器官生物量差异显著 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示不同林分间生物量差异显著 ($P < 0.05$)。

表 5 不同林分林下植被层和死地被物层碳含量[†] (gC/g)
Table 5 Carbon contents of under growth and litter layer in different forest

林型	灌木层	草本层	死地被物			平均值
			未分解	半分解	已分解	
马尾松人工林	0.425±0.082	0.369±0.068	0.477±0.164	0.407±0.086	0.308±0.090	0.443±0.137
马尾松天然林	0.396±0.073	0.372±0.099	0.396±0.061	0.430±0.090	0.335±0.114	0.419±0.078
湿地松人工林	0.431±0.060	0.379±0.143	0.452±0.163	0.417±0.061	0.432±0.106	0.464±0.116

† 表中数据为均值±标准差; 各项指标无差异显著性 ($p > 0.05$)。

被物层平均碳含量在 0.419 ~ 0.464 gC/g 之间。

2.3 土壤层碳含量

由表 6 可以看出, 马尾松天然林土壤有机碳含量大于 2.977 gC/g 小于 8.149 gC/g, 土壤有机碳含量于土层深度成反比。0 ~ 15 cm 及 15 ~ 30 cm 土壤有机碳含量均与 30 ~ 45 cm 及 45 cm 以下土层存在显著差异 ($p < 0.05$)。马尾松人工林土壤有机碳含量在 4.843 ~ 9.603 gC/g 之间, 0 ~ 15 cm 土壤有机碳含量与 15 ~ 30 cm 土壤有机碳

含量存在显著差异 ($p < 0.05$), 表层土壤 (0 ~ 15 cm) 与 45 ~ 60 cm 土壤有机碳含量也存在显著差异 ($p < 0.05$); 湿地松林土壤有机碳含量最高, 但由于喀斯特地貌的影响 45 cm 土层以下均为岩石阻隔所以只取了 0 ~ 15 cm、15 ~ 30 cm、30 ~ 45 cm 3 层土层的土壤, 土壤有机碳含量在 8.116 ~ 13.629 gC/g 之间, 且土壤有机碳含量均无显著差异。3 种针叶林分土壤有机碳平均含量大于 5.592 gC/g 小于 11.327 gC/g, 湿地松人工林 > 马尾松人工林 > 马尾松天然林, 差异不显著。

表 6 不同林分土壤有机碳含量 (gC/g)[†]
Table 6 Soil carbon content in different forest types

林分	0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm	30 ~ 45 cm	45 ~ 60 cm	加权平均
马尾松天然林	8.149±2.386 aA	7.732±1.857 aAB	3.512±0.309 bA	2.977±0.207 b	5.592±3.259 A
马尾松人工林	9.603±1.302 aAB	5.309±0.708 bA	8.241±3.095 aB	4.843±0.683 b	7.006±3.506 A
湿地松人工林	13.629±5.758 B	12.237±7.942 B	8.116±3.192 B	—	11.327±7.291 B

† 表中数据为均值±标准差; 括号内数据为土壤容重; 同行相同小写字母表示同一森林类型不同土层间有机碳含量差异不显著 ($p < 0.05$); 同列不同大写字母表示不同森林类型间和相同土层间有机碳含量差异显著 ($p < 0.05$)。

2.4 森林生态系统碳储量及空间分布

2.4.1 不同林分乔木层碳储量

从表 7 可得, 湿地松人工林乔木层的总碳储量高于其他 2 种森林类型, 为 83.776 t/hm², 其次为马尾松人工林 67.276 t/hm², 最低为马尾松 43.1 t/hm², 3 种森林生态系统总碳储量间没有显著差异。

3 种林分的各器官碳储量树干碳储量显著高于其他器官 ($P < 0.05$), 树干碳储量占乔木层总碳储量的 53% 以上。其次是树枝的碳储量, 占 8.6% ~ 25.4%, 树叶碳储量最低, 为 2.922 ~

6.413 t/hm², 只占了总碳储量的 3 成。

由表 7 可得, 3 种林分地上部分碳储量大小均为树干最高, 3 种林分的树枝、树叶碳储量之间无显著差异 ($p > 0.05$)。

2.4.2 森林生态系统碳储量及空间分布

由表 8 可得, 马尾松天然林生态系统碳储量为 678.025 t/hm², 植被层碳储量为 48.20 t/hm², 占 7.1%; 死地被物层最低为 0.667 t/hm², 仅占 0.09%; 土壤层最高为 629.158 t/hm², 显著高于其他层次碳储量 ($p < 0.05$), 占系统总碳储量的 92.7%;

马尾松人工林生态系统, 其总碳储量为

表 7 不同林分乔木层碳储量 (t/hm^2)[†]
Table 7 Carbon storage of different organs in different forest types

林木	干	枝	叶	根	合计
马尾松天然林	29.195±10.850 aA	7.771±2.361 bA	2.922±0.740 bA	6.142±2.509 b	43.100b±16.460
马尾松人工林	36.144±12.063 aAB	17.151±2.999 bB	6.413±1.965 cB	7.568±0.890 c	67.276±17.917
湿地松人工林	65.425±8.854 aB	7.242±0.919 bA	4.558±0.568 bAB	6.551±1.834 b	83.776±12.175

† 表中数据为均值±标准差；同行不同小写字母表示差异显著 ($p<0.05$)；同列相同大写字母表示差异不显著 ($p<0.05$)。

表 8 森林生态系统碳储量及空间分布[†] (t/hm^2)
Table 8 Carbon storage and distribution for different Forest types

层次	马尾松天然林	马尾松人工林	湿地松人工林	
植被层	乔木层	47.297±12.303 Aa	70.096±10.243 ABa	75.595±16.504 Ba
	灌木层	0.746±1.245 a	0.597±0.367 b	0.775±0.622 a
	草本层	0.157±0.211 a	0.094±0.089 b	0.888±0.060 a
	小计	48.199±17.635	70.788±25.222	76.438±28.042
死地被物层	未分解	0.187±0.045	0.179±0.068	0.222±0.081
	半分解	0.223±0.045	0.292±0.107	0.161±0.069
	已分解	0.256±0.112	0.187±0.059	0.358±0.244
	小计	0.667±0.080 a	0.659±0.104 b	0.742±0.170 a
土壤层	0-15	213.628±87.578	212.719±62.628	312.337±168.890
	15-30	217.209±98.023	131.388±58.150	265.017±144.037
	30-45	100.169±28.223	224.554±130.989	179.601±68.572
	45-60	88.154±11.200	137.003±40.418	—
	小计	629.159±87.747 b	705.664±88.432 c	756.955±140.500 b
合计	678.025±344.460	777.110±416.876	834.135±567.790	

† 表中数据为均值±标准差；同列不同小写字母表示相同林型不同层次碳储量差异显著 ($p<0.05$)；同行相同大写字母表示不同林型碳储量差异显著 ($p<0.05$)。

777.110 t/hm^2 ；植被层为 70.788 t/hm^2 ，占 9.11%；死地被物层最低为 0.659 t/hm^2 ，占生态系统碳储量的 0.08%；土壤层碳储量最高为 705.664 t/hm^2 ，显著高于其他层次碳储量 ($p < 0.05$)，占系统总碳储量的 90.8%。

湿地松人工林生态系统总碳储量为 834.135 2 t/hm^2 ，植被层为 76.438 t/hm^2 ，占 7.96%；死地被物层碳储量最低为 0.742 t/hm^2 ，只占 0.08%；土壤层碳储量最高为 756.995 t/hm^2 ，占系统总碳储量的 90.7%。

从表 8 还可以看出，3 种森林生态系统碳储量的空间分布格局均为：土壤层>植被层>死地被物层。而总碳储量则以湿地松人工林最高，马尾松天然林最低。

3 讨论

3.1 林分生物量

本文所测得 19 年生马尾松人工林生物量为

140.45 t/hm^2 ，分别高于长沙市区 13 年生和广西隆林县 14 年生马尾松林 63.42 和 114 t/hm^2 ^[20-22]。同时，20 年生湿地松林生物量 164.04 t/hm^2 ，高于屏南县 15 年生湿地松人工林 32.82 t/hm^2 ，低于五台山国有林场 30 年生湿地松人工林 431.83 t/hm^2 ^[23-24]。表明生物量是随林分年龄的增大而增加。18 年生马尾松天然林生物量为 103.46 t/hm^2 ，远高于江西吉安市 18 年生马尾松 38.88 t/hm^2 ^[25-26]。表明，不同地区、不同立地类型、不同气候都会影响到森林生物量的多少。

植物呼吸作用的产物，除了呼吸作用消耗的部分以外，还有部分有机物质是按照一定比例流动到各个植物器官种去的。本文所测得各林分生物量中都是树干最高，且显著高于树枝、树叶和树根 ($P < 0.05$)，总生物量的 57% 以上都是树干生物量，接下来是。与冯宗炜等人在湖南会同所测的树干生物量最大，占乔木层生物量的 55% 的结论大致相同^[25]。但本文所测的林木各器官生物量从大到小依次为树干、树枝、树根、树叶，

而冯宗炜等人在湖南会同所测的则为树干、树根、树枝、树叶, 张成典等^[23]在福建五台山国有林场所测的 30 年生湿地松林则为树干>树枝>树根>树叶。上述表明, 树干生物量通常是器官生物量中最大的且常占 50% 以上, 且表明林龄不同、地区不同、气候不同都会影响生物量的多少。

在本文中湿地松林树干生物量 125.16 t/hm^2 远大于马尾松人工林 80.81 t/hm^2 和马尾松天然林 66.31 t/hm^2 。早期湿地松干材的高产量能够缓解市场的需求; 马尾松碳储量虽低, 但生态环境稳定程度高^[26], 且在林龄超过 30 以后马尾松生物量累积超越湿地松, 因此具有长远生态服务功能^[18]。

3.2 森林的碳储量及其分配格局

本研究中的马尾松天然林碳储量为 47.279 t/hm^2 , 远高于潘鹏等人在赣中地区所测量的 18 年生马尾松天然林 15.58 t/hm^2 , 略微高于宜昌市 20 年生马尾松天然林 33.97 t/hm^2 ^[27-28]。

本文种的马尾松人工林碳储量为 70.096 t/hm^2 , 高于长沙市 13 年生马尾松人工林 32.42 t/hm^2 , 小于贵阳市 33 年生的麻栎林 71.60 t/hm^2 ^[21,29]。

本研究中湿地松人工林碳储量为 75.595 t/hm^2 , 低于千烟洲 20 年生湿地松林碳储量为 106.4 t/hm^2 , 高于贵阳 25 年生杨树林 59.84 t/hm^2 ^[30-31]。

相同一树种的不同器官碳储量和李斌等人在湖南所研究所得出的规律一样, 不同地区、不同气候条件将会影响碳储量的变化^[32]。

上述表明, 各地马尾松天然林、马尾松人工林和湿地松人工林生态系统的碳储量各有不同, 这表明不同的研究地区不同的气候条件甚至和各地的经营方式都有关系。但是不同的地区不同的森林类型的碳储量分布都有一个共同点, 即: 土壤层>植被层>凋落物层。

本研究只是测量了一年的森林生物量和碳储量, 并没有进行长期取样观察, 以后应该进行多年取样, 做出长期变化的观测, 并且总结 3 种针叶林的生物量、碳储量的长期变化, 为针叶林森林资源经营提供依据。

4 结 论

(1) 贵州省马尾松天然林、马尾松人工林和湿地松人工林生态系统乔木生物量分别为 103.46、140.55、164.15 t/hm^2 ; 林下植被及死地被物层生物量分别为 7.762、6.994、8.622 t/hm^2 。

(2) 林木各器官含碳量: 马尾松天然林

0.427 ~ 0.530 gC/g 、马尾松人工林 0.443 ~ 0.574 gC/g 、湿地松人工林 0.444 ~ 0.466 gC/g 。

(3) 3 种森林生态系统碳储量分别为: 马尾松天然林 678.025 t/hm^2 、马尾松人工林 777.11 t/hm^2 、湿地松人工林 834.135 t/hm^2 。其中植被层分别为 48.199、70.788、76.438 t/hm^2 ; 死地被物层为 0.667、0.659、0.742 t/hm^2 ; 土壤层为 629.159、705.664、756.955 t/hm^2 。碳储量分布格局为土壤层>植被层>死地被物层。

(4) 马尾松天然林、马尾松人工林和湿地松人工林生态系统乔木生物量分别为 103.46、140.55、164.15 t/hm^2 。湿地松成材比较快, 碳吸存功能明显, 适量种植能够提供大量木材, 马尾松幼林时期生长略慢于湿地松但更加适合当地环境, 并且在 30 年后生物量累计将超过湿地松。马尾松和湿地松的种植在提高森林碳汇功能, 减缓气候负面变化等具有重要意义。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 胡会峰, 刘国华. 中国天然林保护工程的固碳能力估算 [J]. 生态学报, 2006,26(1): 291-296.
- [3] Oreskes N. The scientific consensus on climate change[J]. Science, 2004, 306: 1686.
- [4] Wright S J. The carbon sink in intact tropical forests[J]. Global change Biology, 2013, 19(2): 337-339.
- [5] Fang J Y, Guo Z D, Hu H F, *et al.* Forest biomass carbon sinks in East Asia, with special reference to the relative contributions of forests expansion and forest growth[J]. Global Change Biology, 2014,20(6): 2019-2030.
- [6] Syampungani S, Chirwa P W, Akinnifesi F K, *et al.* The potential of using agroforestry as a win-win solution to climate change mitigation and adaptation and meeting food security challenges in Southern Africa[J]. Agricultural Journal, 2010, 5(2): 80-88.
- [7] Tan Z H, Zhang Y P, Yu G R, *et al.* Carbon balance of a primary tropical seasonal rain forest[J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115(D4): D00H26.
- [8] Li F, Bond-lamberty B, Levis S. Quantifying the role of fire in the earth system-part 2: impact on the net carbon balance of global terrestrial ecosystems for the 20th century[J]. Biogeosciences, 2014, 11(5): 1345-1360.
- [9] Oreskes N. The scientific consensus on climate change[J]. Science, 2004, 306: 1686.
- [10] 冯瑞芳, 杨万勤, 张健. 人工林经营与全球变化减缓 [J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3870-3877

- [11] IPCC. Land Use, Land Use Change and Forestry. Cambridge[M]: Cambridge University Press, 2000.373.
- [12] 刘国华, 傅博杰, 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.
- [13] 李 斌, 方 晰, 项文化, 等. 湖南省的杉木林植被碳贮量、碳密度及碳吸存潜力[J]. 林业科学, 2013, 49(3): 25-32.
- [14] 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.
- [15] 刘士贵. 全国森林资源: 中国森林与生态环境[M] 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [16] 莫江明, Sandra Brown, 孔国辉, 等. 鼎湖山马尾松林营养元素的分布和生物循环特征[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 635-640.
- [17] Zhu X T, James L M, Hanover J W. Timber supply and demand in China[J]. Journal of Forestry, 1987, 21: 41-43.
- [18] 国家林业局. 第八次全国森林资源清查结果[J]. 林业资源管理, 2014(1): 1-2.
- [19] 茹正忠. 湿地松优化栽培技术专辑[C]. 广东林业科技, 1995, 11(4): 2.
- [20] 夏 鑫. 马尾松人工林的老龄林生态系统生物量和碳贮量研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [21] 巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等. 长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布[J]. 生态学报, 2012, 32(13): 4034-4042.
- [22] 张仕光, 刘 建, 黄开勇, 等. 桂西北马尾松人工林生物量生长规律及其分配模式[J]. 广西林业科学, 2010, 39(4): 189-192.
- [23] 张成典. 杉木与湿地松纯林及其混交林的生长及生物量分配格局[J]. 林业科技, 2014, 39(5): 34-37.
- [24] 张维轴. 屏南县湿地松人工林生物量及生产力的研究[J]. 林业勘察设计, 2010(2): 11-16.
- [25] 冯宗炜, 陈楚莹, 张家武, 等. 湖南会同地区马尾松林生物量的测定[J]. 林业科学, 1982, 18(2): 127-134.
- [26] Ma Z, Hartmann H, Wang H, *et al.* Carbon dynamics and stability between native masson pine and exotic slash pine plantations in subtropical China[J]. European Journal of Forest Research, 2014, 133: 307-321
- [27] 潘 鹏, 吕 丹, 欧阳勋志, 等. 赣中马尾松天然林不同生长阶段生物量及碳储量研究[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(1): 131-136.
- [28] 庞宏东, 王晓荣, 张家来, 等. 湖北省马尾松天然林碳储量及碳密度特征[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(7): 40-43.
- [29] 曹 娟. 喀斯特贵阳市 4 种森林生物量和碳储量研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [30] Ma Z Q, Liu Q J, Wang H M, *et al.* Observation and modeling of NPP for Pinus elliottii plantation in subtropical China[J]. 中国科学: 地球科学, 2008, 51(7): 955-965.
- [31] 王新凯. 喀斯特城市森林生物量及其碳吸存功能研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [32] 李 斌, 方 晰, 田大伦, 等. 湖南省现有森林植被主要树种的碳含量[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(1): 71-78.

[本文编校: 吴 彬]