

青冈栎混交林生物量及碳储量分布特征

林立彬, 李铁华, 杨柳

(中南林业科技大学林学院, 长沙 410004)

摘要: 以湖南永顺 43 年生青冈栎混交林为研究对象, 采用平均木法和样方收获法测定乔木层生物量和林下植被层生物量, 采用重铬酸钾—水合加热法测定样品碳素含量, 对林分各组分生物量和碳储量分布特征进行研究。结果表明: 青冈栎混交林单位面积生物量为 320.03 t/hm², 各组分单位面积生物量由大到小的排列顺序为乔木层、枯落物层、灌木层和草本层。林分单位面积碳储量高达 389.43 t/hm², 其中植被层和土壤层分别为 249.02, 140.41 t/hm²。林分内青冈栎、栲树和杉木单株平均蓄积分别为 0.156 1, 0.291 2, 0.296 0 m³, 单株平均碳储量分别为 103.85, 99.15, 97.90 kg。青冈栎属于生长速度较慢但木材密度大的树种, 单株平均蓄积仅有栲树和杉木的单株平均蓄积的 1/2 左右, 但其单株平均生物量和碳储量却比栲树和杉木的单株平均生物量和碳储量要高, 表明树种碳汇能力的高低并不完全取决于树种生长速度的快慢, 这对今后生态公益林树种的选择提供了一个新的方向。

关键词: 青冈栎混交林; 生物量; 碳储量; 树种选择

中图分类号: S718.55

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)01-0139-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2019.01.023

Distribution Features of Biomass and Carbon Storage in *Cyclobalanopsis glauca* Mixed Forest

LIN Libin, LI Tiehua, YANG Liu

(College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology School of Forestry, Changsha 410004)

Abstract: The distribution features of biomass and carbon storage of 43-year-old *Cyclobalanopsis glauca* mixed forest in Yongshun county, Hunan province, were studied. The biomass of tree layer and under-storey was measured by the average standard method and plot harvest method, and carbon contents by potassium dichromate-hydration heating method. The results showed that biomass per unit area of the mixed forest was 320.03 t/hm². The order of biomass per unit area from large to small was tree layer, litter layer, shrub layer and herb layer. Carbon storage per unit area of the mixed forest was 389.43 t/hm², which included vegetation layer (249.02 t/hm²) and soil layer (140.41 t/hm²). As increasing of soil depth, the carbon storage decreased. The average volumes per plant of *Cyclobalanopsis glauca*, *Castanopsis fargesii* and *Cunninghamia lanceolata* were 0.156 1, 0.291 2 and 0.296 0 m³ respectively, while the average carbon storages per plant were 103.85, 99.15 and 97.90 kg respectively. *Cyclobalanopsis glauca* was slow-growing woody species with large wood density, its average individual volume was only half of *Castanopsis fargesii*'s and *Cunninghamia lanceolata*'s, but both its average biomass per plant and average carbon storage per plant were higher than the latter two. It showed that the ability of carbon sequestration of tree species wasn't entirely determined by the growth rate. This finding provided a new option of tree species for ecological forest.

Keywords: *Cyclobalanopsis glauca* mixed forest; biomass; carbon storage; choice of tree species

20 世纪以来, 人类对自然资源的需求量不断增加, 大量使用化石燃料、毁坏林地等行为已经严重破坏了全球碳平衡, 导致大气中 CO₂ 的浓度不断升高^[1]。CO₂ 浓度不断升高导致了温室效应, 加速了全球变暖, 碳汇与全球变暖越来越成为各国学者们所关注的研究热点^[2]。而森林生态系统作为陆地最大的

碳库, 它保存了陆地 76%~80% 的碳储量, 在调节大气碳循环以及全球碳收支平衡方面起着不可或缺的作用^[3]。因此, 对森林生态系统生物量及碳储量的监测、准确把握碳汇情况以及制定合理的经营管理措施是十分必要的。Malhi 等^[4]研究了全球热带雨林与大气 CO₂ 的关系。Lewis 等^[5]对非洲热带雨林的碳

收稿日期: 2018-06-26

资助项目: 国家公益性行业科研专项(201504301)

第一作者: 林立彬(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事森林培育研究。E-mail: 812843284@qq.com

通信作者: 李铁华(1964—), 男, 博士, 教授, 主要从事森林培育及水土保持研究。E-mail: 1273284580@qq.com

汇功能以及碳储量的变化进行了研究。王效科等^[6]利用我国森林资源连续清查等资料,研究我国森林生态系统的碳汇功能以及碳循环动态。目前,增加碳汇的主要措施就是大面积营造人工林,提高森林覆盖面积。人们对于碳汇树种的选择,更多的是选择杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和马尾松(*Pinus massoniana*)等针叶速生树种。但大面积营造针叶速生树种和结构单一的林分伴随而来的是林地地力衰退,水土流失和林分生产力下降等一系列问题。森林的水土保持功能是森林生态系统不可或缺的功能之一。森林植被对大气降水的截留减轻了雨滴对表土层的冲蚀,并且植被的根系以及枯落物层能够很好地改良土壤结构,增强土壤持水能力,从而起到固土保肥的作用^[7]。但由于林分组成结构以及树种生物学特性的不同,不同类型的森林其保土蓄水的能力存在一定的差异^[8]。针叶林易对土壤造成酸化,降低土壤通透性,且难以形成林下植被,导致其涵养水源、培肥林地等能力弱;而阔叶树种在涵养水源、培肥林地以及维护生态系统平衡等各方面要优于针叶树种^[9]。因此,对阔叶树种碳储量进行研究,选择合适的阔叶树种来代替针叶树种,既能很好地起到增加碳汇的作用,又能充分发挥森林涵养水源、固土保肥的作用,对今后营造生态公益林及碳汇林具有现实意义。

青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*),属壳斗科(Fagaceae)青冈属(*Cyclobalanopsis*)常绿大乔木,是我国的珍贵用材树种,主要生长在湖南、湖北、广东、四川等亚热带海拔 2 600 m 以下的常绿阔叶林中。青冈栎枝叶浓密,根系发达,寿命长,是涵养水源、固土保肥的优良树种。目前我国学者对青冈栎的研究主要集中在群落结构特征、生理特性以及育苗技术等方面^[10-12],对青冈栎生物量及碳储量分布特征的研究还比较少。本文以 43 年生青冈栎为主体的天然混交林为研究对象,对林分的生物量、碳储量的空间分布格局进行研究,一方面能够丰富国内对栎类混交林碳储量的研究,另一方面能够为将来营造碳汇林时固碳树种的选择提供参考。

1 研究区概况

研究地位于湖南湘西永顺县龙珠村内,地理坐标为 29°08'20" N, 109°25'34" E, 海拔 474 m。该地区属于亚热带季风性湿润气候,雨热同期、热量充足,降雨量充沛,温暖湿润,年降水量为 1 400 mm,主要集中在 5—8 月,年平均气温 16.5 °C,无霜期 270 d。研究地土壤母岩为板岩,土壤类型为红壤,土层厚度 60 cm,腐殖质层厚度 3 cm 以下,石砾含量中等。林分起源为天然林,林分为以青冈栎为主的青冈栎、栲树(*Castanopsis fargesii*)、杉木针阔混交林,位于山地

阳坡。林下植被很少,灌木几乎没有,草本主要为菜蕨(*Diplazium esculentum*)、血水草(*Eomecon chionantha*)和金线草(*Rubia membranacea*)等。

2 研究方法

2.1 标准地设置与调查

于 2017 年 3 月对湘西永顺县龙珠村青冈栎混交林进行林分踏查,该地区的混交林主要为青冈栎、栲树、杉木针阔混交林,青冈栎为优势种群。在林分内选择了 3 块 25.8 m×25.8 m 具有代表性的标准地,标准地的立地条件(包括海拔、坡度、坡位以及土壤类型)基本一致,且标准地内的林分结构特征能够很好地代表该地区青冈栎混交林。标准地基本情况见表 1。

表 1 标准地林分结构特征

树种	密度/ (株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均树高/m
青冈栎	810	16.29±0.34c	16.37±0.61b
栲树	555	21.79±0.39b	17.11±0.55a
杉木	135	22.97±0.34a	15.60±0.54c

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同字母表示不同树种之间差异显著($P<0.05$)。

2.2 林木采样及生物量测定

根据每木检尺从青冈栎、栲树和杉木中各选出代表林分整体的平均标准木 3 株,并将平均标准木伐倒,对其各个器官的生物量进行测定。地上部分生物量采用分层收获法来测定,按照 2 m 1 个区分段分别测定树干、树皮、树枝、树叶各个器官的鲜重;地下部分生物量则采用分层挖掘法来测定,将根系分为细根(≤ 0.2 cm)、粗根(0.2~0.5 cm)和根桩(> 0.5 cm)来测定其鲜重。采集平均标准木各个器官的样品,将其带回实验室在 100 °C 下进行烘干至恒重,计算出各个器官的干重,从而算出平均标准木的生物量。最后根据林分密度推算出整个林分的生物量。将烘干的样品用粉碎机粉碎后过 0.25 mm 筛子并保存,以供有机碳的测定。

2.3 林下植被采样及生物量测定

采用样方收获法测定林下植被的生物量。分别在标准地的 4 个角以及中间设置 5 个 5 m×5 m 的样方来测定林下灌木层的生物量以及 5 个 1 m×1 m 的小样方来测定草本层的生物量,将样方内的植物全部挖出称其鲜重,并将采集到的样品带回实验室烘干至恒重后称量其干重,进而推算出生物量。将烘干的样品用粉碎机粉碎后过 0.25 mm 筛子并保存,以供有机碳的测定。

2.4 枯落物采样及生物量测定

采用样方收获法测定枯落物层的生物量。在标准地内随机设置 6 个 1 m×1 m 的样方,将收集到的枯落

物按照未分解枯落物和半分解枯落物进行分类并测定鲜重,后将采集到的样品带回实验室烘干至恒重量干重,求得其生物量。随后将烘干的样品用粉碎机粉碎过 0.25 mm 筛子并保存,用于测定有机碳含量。

2.5 土壤样品采集

采用剖面调查法分别在标准地内随机挖掘 4 个土壤剖面,并按照 0—20, 20—40, 40—60 cm 分层采集土壤样品装于塑料袋中,挑出石砾及根系等杂物,带回实验室风干研碎后过 0.25 mm 筛子保存,以供土壤有机碳的测定。使用环刀(100 cm³)分层采集土壤样品,测定各层土壤的容重,并且根据土壤的容重推算出各个土层单位体积土壤质量。

2.6 样品碳储量测定及数据处理

采用重铬酸钾—水合加热法测定所有植物、土壤样品中的有机碳含量^[13]。植物的碳储量通过各部分碳含量乘以生物量得出,并通过样地面积得出单位面积碳储量。土壤各层单位面积碳储量计算公式为:

$$S_i = D_i C_i H_i / 10$$

式中: S_i 为某层土的单位面积壤碳储量(t/hm²); D_i 为该层土的土壤容重(g/cm³); C_i 为该层土的碳含量(g/kg); H_i 为该层土的厚度(cm)。运用 Excel 软件对所得的原始数据进行整理,并用 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析。

3 结果与分析

3.1 青冈栎混交林各组分碳素含量及分配

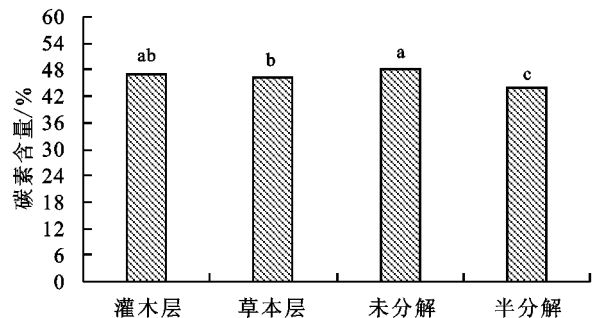
3.1.1 乔木层不同树种各个器官碳素含量 由表 2 可知,43 年生的青冈栎混交林乔木层中,青冈栎、栲树和杉木各个器官碳素含量的变化范围分别为 46.64%~50.74%,46.09%~50.32%,46.80%~50.11%。3 种树种各器官的平均碳素含量分别为 49.25%,48.36%,48.84%,其中,青冈栎的平均碳素含量最高。青冈栎和栲树碳素含量最高的器官是叶,最低的是细根;杉木各器官碳素含量最高的是根茎,最低的是细根。3 种树种叶的碳素含量都在 50% 左右,青冈栎和栲树碳素含量最高的器官均为叶片,这可能与叶作为重要的光合作用器官拥有较高的碳素同化能力有关。

表 2 乔木层各个器官碳素含量 单位:%

层次	器官	青冈栎	栲树	杉木
地上部分	树干	49.81±0.55ab	49.52±0.85ab	49.17±0.76ab
	树皮	49.65±0.65ab	48.47±1.41b	48.71±0.93b
	树枝	49.25±0.49b	47.16±0.55bc	48.86±1.45b
	树叶	50.74±1.25a	50.32±0.49a	50.11±0.91ab
	根茎	49.86±0.71ab	49.95±1.45ab	50.64±0.74a
地下部分	粗根	48.78±0.48b	46.33±1.01c	47.62±0.99bc
	细根	46.64±0.38c	46.09±0.82c	46.80±1.03c
	平均	49.25	48.36	48.84

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同字母表示同一树种不同器官碳素含量差异显著($P<0.05$)。

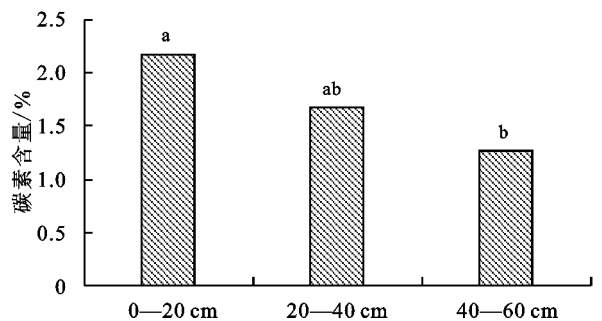
3.1.2 林下植被层各组分碳素含量 由图 1 可知,林下植被层碳素含量的变化范围为 44.01%~48.25%,其碳素含量由高到低的排列顺序为未分解枯落物层、灌木层、草本层和半分解枯落物层,其中未分解枯落物层和灌木层碳素含量差异不显著($P>0.05$),灌木层和草本层差异不显著($P>0.05$)。未分解枯落物层碳素含量显著高于草本层和半分解枯落物层($P<0.05$),半分解枯落物层碳素含量显著低于其他层次($P<0.05$)。



注:不同字母表示林下植被不同层次碳素含量差异显著($P<0.05$)。

图 1 林下植被层各组分碳素含量

3.1.3 不同土层深度碳素含量 由图 2 可知,土壤不同深度碳素含量的变化范围为 1.27%~2.17%,土壤碳素含量随着土层深度的增加而降低,其中 0—20 cm 的碳素含量与 20—40 cm 的碳素含量差异不显著($P>0.05$),20—40 cm 的碳素含量与 40—60 cm 的碳素含量差异不显著($P>0.05$),3 个层次的平均碳素含量为 1.71%。



注:不同字母表示土壤不同层次碳素含量差异显著($P<0.05$)。

图 2 土壤各层次碳素含量

3.2 青冈栎混交林各组分生物量

3.2.1 乔木层不同树种各个器官生物量 由表 3 可知,青冈栎、栲树和杉木单株平均生物量分别为 208.92, 202.34, 199.04 kg,其中青冈栎的生物量最大,3 种树种之间差异不显著($P>0.05$)。3 种树种单株生物量最大的器官均为树干,生物量最小的器官均为细根。青冈栎树叶的生物量显著低于栲树和杉木树叶的生物量($P<0.05$),栲树细根的生物量显著低于青冈栎和杉木细根的生物量($P<0.05$),除此之外,3 种树种其余器官的生物量之间差异均不显著($P>0.05$)。

表 3 不同树种平均木各个器官生物量

		单位:kg		
层次	器官	青冈栎	栲树	杉木
地上部分	树干	127.30±7.57a	119.37±6.98a	118.50±8.61a
	树皮	12.17±0.84a	12.80±0.71a	13.72±1.03a
	树枝	24.40±2.24a	25.99±1.63a	21.88±1.65a
	树叶	11.62±0.85b	14.01±1.01a	15.08±1.23a
	小计	176.47±10.32a	172.17±8.02a	169.18±9.27a
	根茎	17.17±1.25a	16.19±0.98a	15.68±1.03a
地下部分	粗根	14.27±0.98a	13.15±0.96a	13.04±0.81a
	细根	0.99±0.06a	0.83±0.07b	1.13±0.09a
	小计	32.44±1.21a	30.17±1.64a	29.86±1.04b
	合计	208.92±4.33a	202.34±3.76a	199.04±8.98a

注:表中数据为平均值±标准差;不同字母表示同行不同列间差异显著($P<0.05$)。

3.2.2 混交林各组分单位面积生物量 由表 4 可知,林分单位面积总生物量高达 320.03 t/hm²,其中,乔木层单位面积生物量为 308.39 t/hm²,占总生物量的 96.36%,灌木层、草本层、未分解枯落物层和半分解枯落物层的生物量分别为 2.20,0.33,2.23,6.88 t/hm²,分别占总生物量的 0.69%,0.10%,0.70%,2.15%。整个林分各个层次单位面积生物量由大到小排序分别为乔木层>半分解枯落物层>未分解枯落物层>灌木层>草本层。灌木层和草本层的单位面积生物量仅为 2.20,0.33 t/hm²,这表明该林分内几乎不存在灌木和草本植物,这可能是由于 43 年生的混交林郁闭度高,导致林下植被层生物量减小。

表 4 混交林各组分单位面积生物量

层次	生物量/(t·hm ⁻²)	所占百分比/%
树干	185.36±12.24	57.92±2.41
树皮	18.81±1.42	5.88±0.35
树枝	37.95±3.27	11.86±1.29
树叶	19.22±1.56	6.01±0.40
树根	47.05±2.89	14.70±0.33
乔木层小计	308.39	96.36
灌木层	2.20±0.04	0.69±0.08
草本层	0.33±0.01	0.10±0.01
未分解枯落物层	2.23±0.17	0.70±0.04
半分解枯落物层	6.88±0.65	2.15±0.21
合计	320.03	100.00

3.3 青冈栎混交林各组分碳储量

3.3.1 乔木层不同树种单株各个器官碳储量 由表 5 可知,青冈栎、栲树和杉木单株平均碳储量分别为 103.85,99.15,97.90 kg,其中青冈栎的单株平均碳储量最大,它们之间差异不显著($P>0.05$)。就地上部分总碳储量而言,3 种树种之间差异不显著($P>0.05$),其中,青冈栎树叶的碳储量显著低于栲树和杉木($P<0.05$);青冈栎树枝碳储量显著高于杉木($P<0.05$),与栲树树枝碳储量差异不显著($P>0.05$);3 种树种树干、树皮碳储量之间差异不显著($P>$

0.05)。青冈栎地下部分总碳储量为 15.99 kg,显著高于栲树($P<0.05$),与杉木差异不显著($P>0.05$)。杉木地下部分总碳储量为 14.67 kg,栲树为 14.57 kg,它们之间不存在显著差异($P>0.05$)。

表 5 不同树种单株各个器官碳储量

		单位:kg		
碳储量/kg	器官	青冈栎	栲树	杉木
地上部分	树干	63.42±3.88a	59.08±2.50a	58.30±5.09a
	树皮	6.04±0.36a	6.20±0.18a	6.69±0.60a
	树枝	12.52±1.23a	12.25±0.71ab	10.67±0.48b
	树叶	5.89±0.41b	7.05±0.53a	7.56±0.75a
	小计	87.87±2.36a	84.58±3.07a	83.23±5.83a
	根茎	8.57±0.68a	8.09±0.66a	7.94±0.43a
地下部分	粗根	6.96±0.47a	6.09±0.47b	6.21±0.28ab
	细根	0.46±0.03a	0.38±0.03b	0.53±0.05a
	小计	15.99±0.49a	14.57±0.73b	14.67±0.26ab
	合计	103.85±2.47a	99.15±3.50a	97.90±5.61a

3.3.2 植被层单位面积碳储量 由表 6 可知,混交林植被层各层次单位面积碳储量由大到小的排列顺序为乔木层>枯落物层>灌木层>草本层,其中,乔木层单位面积碳储量最高,为 243.73 t/hm²,占整个植被层单位面积碳储量的 97.88%;草本层单位面积碳储量最低,仅有 0.15 t/hm²,占总单位面积碳储量的 0.06%。乔木层各组分单位面积碳储量由大到小的排列顺序为树干>树根>树枝>树叶>树皮,其中树干碳储量为 146.44 t/hm²,占植被层总碳储量的 58.81%。由此可见,乔木层碳储量直接决定了大部分植被层碳储量,而乔木层碳储量大部分取决于树干碳储量的多少。

表 6 混交林各组分单位面积碳储量

层次	碳储量/(t·hm ⁻²)	所占百分比/%
树干	146.44±3.55	58.81±1.37
树皮	15.33±0.64	6.15±0.23
树枝	28.71±1.04	11.53±0.47
树叶	16.61±1.09	6.67±0.43
树根	36.64±0.93	14.72±0.59
乔木层小计	243.73	97.88
灌木层	1.04±0.11	0.42±0.03
草本层	0.15±0.01	0.06±0.01
未分解枯落物层	1.08±0.07	0.43±0.04
半分解枯落物层	3.03±0.32	1.21±0.12
合计	249.02	100.00

3.3.3 土壤层单位面积碳储量垂直分布 由表 7 可知,土壤层总单位面积碳储量为 140.41 t/hm²,碳储量随着土层深度的增加而呈现出明显减小的趋势,这主要是因为土壤表层直接接触枯落物层,枯落物分解后碳大量聚集在土壤的表层^[14]。0—20 cm 层次单位面积碳储量最大,高达 60.33 t/hm²,占整个土壤层碳储量的 42.96%,显著高于其他层次单位面积碳储量($P<0.05$)。20—40,40—60 cm 层次单位面积

碳储量分别为 44.02, 36.07 t/hm², 分别占整个土壤层碳储量的 31.35% 和 25.68%, 它们之间不存在显著差异 ($P > 0.05$)。

表 7 土壤各层次单位面积碳储量垂直分布

类别	土层	碳储量/	所占
	深度/cm	(t · hm ⁻²)	百分比/%
土壤层	0—20	60.33 ± 1.47a	42.96 ± 0.77a
	20—40	44.02 ± 1.46b	31.35 ± 0.51b
	40—60	36.07 ± 1.24c	25.68 ± 0.29c
	合计	140.41	100.00

注:表中数据为平均值 ± 标准差;同列不同字母表示土壤层不同土层碳储量差异显著 ($P < 0.05$)。

4 讨论

以往学者^[15]对森林碳汇功能的研究以及碳汇树种的选择主要集中在杉木和马尾松等速生树种,认为树种生长迅速,材积增长越迅速,森林碳储量就累积得越多。本研究中混交林内青冈栎平均胸径和平均蓄积均显著低于栲树和杉木,而 3 种树种的单株平均生物量以及碳储量之间均不存在显著差异。青冈栎作为木材密度大的慢生树种,其单株碳储量甚至略高于栲树和杉木,这也表明了并不是材积增长得越快,碳汇能力就越强。青冈栎和速生树种栲树、杉木同样具备较高的碳汇功能,为今后固碳树种的选择提供了新的方向。如生态公益林就可以选择青冈栎等慢生、寿命相对较长的乡土珍贵用材树种,一方面可以有效地增加我国珍贵用材,另一方面因其具有着较高的水土保持效益以及固碳能力,能够很好地发挥生态公益林的功能。

本研究中青冈栎针阔混交林林分单位面积总碳储量为 389.43 t/hm², 比我国主要森林平均碳储量 258.83 t/hm² 要高得多^[16]。徐慧芳等^[17]对广西不同林龄马尾松碳储量进行了研究,其中 60 年生马尾松林分碳储量为 277.04 t/hm²。庞宏东等^[18]对湖北省马尾松天然林碳储量的研究中,马尾松近成过熟林的林分碳储量仅为 156.39 t/hm²。王红英等^[19]对吉安不同林龄杉木纯林的碳储量进行了研究,其中 34 年生杉木成过熟林的碳储量为 181.16 t/hm²。与上述研究的针叶林相比,青冈栎针阔混交林的碳汇能力要高得多。已有研究^[20]表明,营造针阔混交林的碳储量比营造针叶纯林或阔叶纯林要高。营造针阔混交林能够提高林分质量和增强生态系统稳定性,且混交林中的阔叶树种其丰富的枯枝落叶能够很好地改善土壤结构,起到蓄水保土的作用^[21-22]。青冈栎针阔混交林具有较强的碳汇能力和水土保持能力,因此在今后营造生态公益林及碳汇林时,可以选择营造青冈栎针阔混交林。

青冈栎是亚热带地区的乡土树种,目前,以青冈栎

为优势种,与松、杉及其他阔叶树种组成的青冈栎天然混交林广泛分布于我国南方的低山丘陵地区,这一类林分不仅具有较高的碳汇能力,而且还具有涵养水源、固土保肥等功能。对这些天然林分进行封育管理,使其自然形成更稳定的森林群落结构,能够很好地起到增加碳汇和涵养水源的作用。对于一些青冈栎占比不高或没有青冈栎的天然次生林,也可以通过人工促进措施引入青冈栎,并适当进行封育改造,让次生林往以青冈栎为优势群落的方向发展。合理地利用现有的天然林,一方面能够避免人工造林不当造成的水土流失,林分质量差等问题,另一方面能够在原有的基础上提高天然林质量,增强天然林碳汇能力和固土蓄水能力,从真正意义上发挥森林固碳及水土保持作用。

5 结论

(1) 青冈栎、栲树和杉木单株平均生物量分别为 208.92, 202.34, 199.04 kg, 差异不显著 ($P > 0.05$)。青冈栎树叶的生物量显著低于栲树和杉木树叶的生物量 ($P < 0.05$), 栲树细根的生物量显著低于青冈栎和杉木细根的生物量 ($P < 0.05$), 除此之外, 3 种树种其余器官的生物量之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。3 种树种各个器官生物量由大到小排列均为: 树干 > 树根 > 树枝 > 树叶 > 树皮。

(2) 青冈栎混交林林分单位面积总生物量为 320.03 t/hm²。其中, 乔木层单位面积生物量高占总生物量的比例最大, 高达 96.36%, 而灌木层、草本层、未分解枯落物层和半分解枯落物层的生物量分别占总生物量的 0.69%, 0.10%, 0.70%, 2.15%。各个层次的生物量由大到小排序依次为: 乔木层 > 半分解枯落物层 > 未分解枯落物层 > 灌木层 > 草本层。该林分生物量主要集中在乔木层, 枯枝落叶层较厚, 林下植被层稀少。

(3) 3 种树种各器官碳含量的变化范围基本维持在 46%~50%, 与国际公认的碳转换率相符。青冈栎、栲树和杉木的单株平均碳储量分别为 208.92, 202.34, 199.04 kg, 其中青冈栎的最大, 它们之间差异不显著 ($P > 0.05$)。虽然青冈栎生长速度不如栲树, 杉木等速生树种, 但是其木材密度大, 单株生物量和碳储量均大于栲树和杉木, 是一种优良的固碳树种。

(4) 青冈栎混交林单位面积总碳储量高达 389.43 t/hm², 其中植被层和土壤层分别为 249.02, 140.41 t/hm²。植被层中乔木层的碳储量最高, 占林分单位面积总碳储量的 62.59%。各个层次的碳储量由大到小排列顺序依次为: 乔木层 > 土壤层 > 枯落物层 > 灌木层 > 草本层。青冈栎混交林林分单位面积碳储量大, 碳汇能力强, 因此在今后营造碳汇林时, 可以选择营造以青冈栎为主的针阔混交林。

参考文献:

- [1] Minnen J G, Goldewijk K K, Stehfest E, et al. The importance of three centuries of land-use change for the global and regional terrestrial carbon cycle [J]. *Climatic Change*, 2009, 97(1/2): 123-144.
- [2] Caldeira K, Duffy P B. The role of the southern ocean in uptake and storage of anthropogenic carbon dioxide [J]. *Science*, 2000, 287(5453): 620-622.
- [3] 王棣, 余雕, 张帆, 等. 森林生态系统碳储量研究进展 [J]. *西北林学院学报*, 2014, 29(2): 85-91.
- [4] Malhi Y, Grace J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2000, 15(8): 332-337.
- [5] Lewis S L, Lopez-gonzalez G, Sonké B, et al. Increasing carbon storage in intact African tropical forests [J]. *Nature*, 2009, 457(7232): 1003-1006.
- [6] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究 [J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 13-16.
- [7] 赵筱青, 和春兰, 易琦. 大面积桉树引种区土壤水分及水源涵养性能研究 [J]. *水土保持学报*, 2012, 26(3): 205-210.
- [8] 吴庆贵, 邹利娟, 吴福忠, 等. 涪江流域丘陵区不同植被类型水源涵养功能 [J]. *水土保持学报*, 2012, 26(6): 254-258.
- [9] 刘爱琴, 吴鹏飞, 刘春华. 福建青冈人工林土壤肥力与水源涵养功能 [J]. *西南林学院学报*, 2006, 26(1): 14-17.
- [10] 胡刚, 梁士楚, 张忠华, 等. 桂林岩溶石山青冈栎群落数量分析 [J]. *生态学杂志*, 2007, 26(8): 1177-1181.
- [11] 陈秋夏, 廖亮, 郑坚, 等. 光照强度对青冈栎容器苗生长和生理特征的影响 [J]. *林业科学*, 2011, 47(12): 53-59.
- [12] 宋曰钦, 乔春华, 马小利, 等. 不同施肥方法对青冈栎苗木生长的影响 [J]. *西南林业大学学报(自然科学版)*, 2015, 35(1): 12-16.
- [13] 康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 等. 南亚热带杉木生态系统生物量和碳素积累及其空间分布特征 [J]. *林业科学*, 2009, 45(8): 147-153.
- [14] 严登华, 王刚, 金鑫, 等. 滦河流域不同土地利用类型土壤微生物量 C、TN、TP 垂直分异规律及其影响因素研究 [J]. *生态环境学报*, 2010, 19(8): 1844-1849.
- [15] 马兰涛, 洪长福, 姚庆端. 漳州市主要速生树种林分生物多样性及碳汇能力比较 [J]. *桉树科技*, 2012, 29(4): 15-19.
- [16] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 518-522.
- [17] 徐慧芳, 宋同清, 黄国勤, 等. 广西不同林龄马尾松碳储量及分配格局 [J]. *农业现代化研究*, 2016, 37(1): 195-203.
- [18] 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.
- [19] 王红英, 樊星火, 华玉武, 等. 不同林龄序列杉木人工林生态系统碳储量变化特征 [J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(21): 278-280.
- [20] 赵凯. 福建柏火力楠人工纯林及其混交林碳储量的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [21] 杨菲, 杨吉华, 艾钊, 等. 鲁中片麻岩低山丘陵针阔混交林蓄水保土效益研究 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28(2): 51-56.
- [22] 陈伟光, 张卫强, 张卫华, 等. 南亚热带桉树林和针阔混交林土壤及凋落物持水能力比较 [J]. *广东林业科技*, 2014, 30(5): 35-42.
- (上接第 138 页)
- [10] 段兵红, 陆皎云, 刘敏国, 等. 陇东雨养农区紫花苜蓿叶片氮、磷、钾重吸收与生物固氮的偶联关系 [J]. *草业学报*, 2016, 25(12): 76-83.
- [11] 段兵红, 刘敏国, 杨惠敏. 陇东雨养农区 3 个紫花苜蓿品种叶片氮磷重吸收特性 [J]. *中国草地学报*, 2018, 40(2): 14-19.
- [12] 葛露露, 孟庆权, 林宇, 等. 滨海沙地不同树种人工林叶片和土壤表层稳定碳氮同位素及水分利用效率研究 [J]. *西北植物学报*, 2018, 38(3): 544-552.
- [13] 郜士垒, 何宗明, 黄志群, 等. 杉木宿存叶片的分解及稳定性碳氮同位素和化学组成 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(9): 2457-2463.
- [14] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 2-6.
- [15] Shearer G, Kohl D H. N_2 -fixation in field settings: estimations based on natural ^{15}N abundance [J]. *Functional Plant Biology*, 1987, 13(6): 699-756.
- [16] 杨子文. 应用 $\delta^{15}N$ 自然丰度技术量化陇东苜蓿生物固氮的研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [17] Vergutz L, Manzoni S, Porporato A, et al. Global resorption efficiencies and concentrations of carbon and nutrients in leaves of terrestrial plants [J]. *Ecological Monographs*, 2012, 82(2): 205-220.
- [18] Diehl P, Mazzarino M J, Funes F, et al. Nutrient conservation strategies in native Andean-Patagonian forests [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2003, 14(1): 63-70.
- [19] Lü X T, Reed S C, Yu Q, et al. Nutrient resorption helps drive intra-specific coupling of foliar nitrogen and phosphorus under nutrient-enriched conditions [J]. *Plant & Soil*, 2016, 398(1/2): 111-120.
- [20] Lajtha K. Nutrient reabsorption efficiency and the response to phosphorus fertilization in the desert shrub *Larrea tridentata* (DC.) Cov. [J]. *Biogeochemistry*, 1987, 4(3): 265-276.