

连栽对尾巨桉短周期人工林碳贮量的影响

梁宏温^{1,*}, 温远光¹, 温琳华¹, 殷庆仓¹, 黄锡泽², 周国福²

(1. 广西大学林学院, 南宁 530005; 2. 广西国有东门林场, 扶绥县东门镇 532108)

摘要:对广西国有东门林场不同连栽代数尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*)短周期人工林生态系统碳贮量开展研究,旨在阐明短周期桉树人工林连栽对生态系统各组分(土壤、凋落物、林下植物和乔木)的碳含量、碳贮量及其分配格局的影响。结果表明:(1)尾巨桉短周期人工林生态系统同一层次的不同器官(或组分)碳含量因连栽代数和林龄不同存在差异,但差异不显著($p > 0.05$);而不同层次和不同器官(或组分)碳含量的差异极显著($p < 0.01$),表明人工林生态系统的物种组成及其特性对碳含量的影响更显著。(2)7.6a 尾巨桉连栽林分的碳贮量平均为 $127.649 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,比第 1 代($134.411 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)低 5.03%,差异不显著($p > 0.05$);两类林分碳贮量的空间分布序列均表现为土壤层 > 乔木层 > 凋落物层 > 林下植物层。(3)两类林分各组分的碳含量和碳贮量均随着林龄的增加而增加。(4)连栽对乔木层和凋落物层的碳贮量影响较小,但具有降低林下植被和土壤碳贮量的作用。短周期桉树人工林连栽采取的采伐林木、炼山清理、机耕全垦整地等措施对林地的反复干扰是导致林下植被和土壤碳贮量下降的主要原因。

关键词:尾巨桉;短周期;人工林;碳含量;碳贮量;连栽

文章编号:1000-0933(2009)08-4242-09 中图分类号:S792.39 文献标识码:A

Effects of continuous cropping on the carbon storage of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* short-rotations plantations

LIANG Hong-Wen^{1,*}, WEN Yuan-Guang¹, WEN Lin-Hua¹, YIN Qing-Cang¹, HUANG Xi-Ze², ZHOU Guo-Fu²

¹ Forestry College, Guangxi University, Nanning 530004, China

² Dongmen National Forest Farm of Guangxi, Dongmen 532108, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4242 ~ 4250.

Abstract: Plantations of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* in the Dongmen National Forest farm of Guangxi were studied over an eight-year management period to determine the effects of continuous short-rotation cropping on the subsequent carbon content in these ecosystems. The carbon sequestration rates and storage, and how carbon is distributed across the ecosystem components were examined for pattern changes as a result of management. The components studied include soil, litter, undergrowth, and tree layers. The results of the research showed: (1) There are differences between the carbon content of the same component in the same layer of short-rotation *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantation because of continuous cropping and the stand ages. but no significant differences were found ($p > 0.05$); there are significant differences for the carbon content of different layers and component ($p < 0.01$), it shows that the species composition of plantation and its characteristics have great impact on carbon content. (2) The average carbon storage of 7.6a continuous *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* short-rotation cropping plantation is $127.649 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and was 5.03% lower than that of the first generation ($134.411 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), no significant difference was found within each layer between the first and second generation ($p > 0.05$); Significant differences were found between the different layers in the order of soil layer > tree layer > litter layer > undergrowth layer, (3) Carbon content of two generation increases as the plantation ages increase. (4)

基金项目:国家教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(教外司留[1997]832);国家环保公益性行业科研专项资助项目(200709017);广西省林业局重大资助项目;广西大学人才引进基金资助项目

收稿日期:2009-02-09; 修订日期:2009-05-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lhwen59@163.com

Continuous cropping has the potential to influence the patterns of carbon accumulation and storage in *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantations by increasing the percentage of stored carbon in tree and litter layers, and decreasing the percentage in the undergrowth and soil layers. The main reasons of decreasing carbon in the undergrowth and soil layers are the continuous disturbance of falling trees, mountain smelting and tractor plowing in continuous *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* short-rotation cropping.

Key Words: *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*; short rotation; plantation; carbon content; carbon storage; continuous cropping

在 20 世纪,大气中的 CO_2 浓度从 $280 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 增至 $367 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ [1], 大气层中 CO_2 的积累引起了全球变暖等全球性问题的发生,威胁着全球生态环境和人类生存与发展。随着全球气候变化的加剧,《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 谈判的政治化和贸易化趋势,使世界各国和区域尺度上的陆地碳汇/源格局研究成为世界政治和经济格局重建的“科学武器”或“环境武器”,因而引起国际社会普遍关注 [2,3]。森林生态系统在维护区域生态环境和全球碳平衡方面起着极其重要的作用 [4,5]。由于天然森林迅速地转变为农地、牧地、人工植被或退化土地 [6], 土地利用和土地覆盖变化成为 CO_2 排放的第二大来源 [1]。减少森林破坏、增加森林面积等森林管理措施可以增加森林植被和土壤的碳贮存量,从而减缓 CO_2 在大气中的积累速度 [3~5]。

近些年来,许多生态学家在致力于森林生态系统碳贮量及其动态研究 [7~18], 并取得了一些成果,如方精云等 [11] 和王绍强等 [12] 分别利用土壤普查资料对我国土壤有机碳库进行了估算;周玉荣等 [13] 研究了我国主要森林生态系统的碳贮量和碳平衡,方晰等对杉木和马尾松人工林的碳素贮量动态进行过报道 [16,17]。中国是世界上人工林保存面积最多的国家,广西是我国人工林面积最大的省区。人工林的碳汇功能被认为是减缓全球气候变化的一种最有希望的选择 [2]。目前,桉树人工林是我国南方发展规模较大的人工林,其面积已突破 200 万 hm^2 [19]。连栽是桉树短周期人工林经营过程中普遍采用的措施。连栽对桉树人工林生产力、土壤肥力和物种多样性影响的报道较多 [20~22], 对森林碳贮量的研究多数是采用面上调查或以空间代替时间的方法 [23,24], 而进行长期定位研究的很少,尤其是桉树连栽人工林碳贮量动态的定位研究还未见报道。作者于 1998~2005 年,采用时空序列和定位监测相结合的方法 [25], 研究不同连栽代数尾巨桉 (*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*) 短周期人工林生态系统碳含量和碳贮量动态及其分配规律,旨在正确评估桉树短周期人工林的固 C 潜能提供理论依据,同时也为我国森林生态系统碳平衡的研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验设计

试验区设在广西国有东门林场雷卡分场 ($22^\circ 17' \sim 22^\circ 30' \text{N}$, $107^\circ 14' \sim 108^\circ 00' \text{E}$), 属北热带半湿润气候区,年平均气温 $21.2 \sim 22.3^\circ \text{C}$, 1 月平均气温 $12.5 \sim 13.8^\circ \text{C}$, 7 月平均气温 $27.2 \sim 28.6^\circ \text{C}$, 极端最高温 $34.0 \sim 41.0^\circ \text{C}$, 极端最低温 $-4.0 \sim 1.9^\circ \text{C}$, $\geq 10^\circ \text{C}$ 的年积温 $7190 \sim 7762^\circ \text{C}$ 。年降雨量 $1100 \sim 1300 \text{mm}$, 主要集中在 6~8 月, 占全年降雨量的 51.03%, 年蒸发量 1600mm , 相对湿度 74.8%。试验地的海拔 $80 \sim 95 \text{m}$, 坡向 $\text{NE}30^\circ \sim \text{NE}40^\circ$, 坡度 $8 \sim 10^\circ$ 。土壤为砂页岩发育的赤红壤, 质地粘重, 土壤 pH 值 $5.0 \sim 5.5$ 。

选择立地条件相同或相近, 且彼此相连的连栽林地 (第 2 代) 和对照林地 (第 1 代) 作为试验地, 面积 3.2hm^2 。试验地选定后, 采用机耕全垦整地, 并按照相同造林时间 (1998 年 4 月 6 日)、相同造林树种 (尾巨桉无性系: DH30-1)、相同造林密度 (株行距 $3.4 \text{m} \times 1.7 \text{m}$) 和相同施肥管理措施 (造林前施钙镁磷肥 $0.5 \text{kg}/\text{株}$, 造林后每年追施氮磷钾复合肥 2 次, 连续追肥 2a, 总追肥量: N 为 $0.2 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、P 为 $0.15 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、K 为 $0.1 \text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 进行试验。于造林当年设置固定样地, 每一代设 3 个重复样地, 每个样地面积 667m^2 , 各样地的概况见表 1。

1.2 生物量测定

于 1999、2001、2003 和 2005 年的 12 月采用相对生长法 [26] 测定乔木层生物量。首先在样地内测定每株林

木胸径和树高,然后在样地外的同类林分中按 2cm 为一径阶选取生物量样木,每次 7~9 株,共 34 株。样木伐倒后,地上部分按 Monsic 分层切割法,每 2m 为一区分段,分干材、干皮、光枝、叶枝和叶测定鲜重;地下部分采用全挖法,按根兜、粗根(根系直径>2.0cm)、细根(0.5~2.0cm)和吸收根(<0.5cm)测定鲜重,分别采集各器官样品,于室内以 80℃ 恒温下烘至恒重,计算含水率和干重。利用样木各器官生物量与测树因子($D^2 \cdot H$)之间存在的函数关系,建立各器官生物量的相对生长方程($r=0.918 \sim 0.998, F=53.51 \sim 1420.75$),将每个样地的林木测树因子($D^2 \cdot H$)代入各器官生物量的相对生长方程,统计计算乔木层的生物量^[27]。

表 1 各样地的概况

Table 1 Site locations and soil variables in plots

代数 Generation	样地号 Plots	海拔 Altitude (m)	坡向 Exposure	坡度 Slope (°)	土壤容重 Volume weight (g·cm ⁻³)	有机质含量 Organic matter (%)
1	Fg-1	90	NE27°	9	1.326	1.626
	Fg-2	91	NE36°	8	1.344	1.714
	Fg-3	92	NE38°	8	1.317	1.683
2	Sg-1	85	NE30°	7	1.272	1.687
	Sg-2	84	NE30°	7	1.299	1.662
	Sg-3	89	NE32°	8	1.326	1.598

在每个样地内随机设置 5 个面积为 1m×1m 的小样方,采用样方收获法^[28]分别测定林下灌木和草本植物的地上部分和地下部分生物量,于同一小样方中收获全部凋落物现存量,分别采集各组分样品,于室内以 80℃ 恒温下烘至恒重,计算含水率和干重。

1.3 林分生物量和地表凋落物现存量

由图 1 看出,连栽林分(第 2 代)1.6、3.6、5.6a 和 7.6a 乔木层的生物量分别为 24.209、43.531、84.127、94.289t·hm⁻¹,其 1.6a 和 3.6a 的生物量比第 1 代(25.305t·hm⁻²和 45.995t·hm⁻²)的分别低 4.3% 和 5.4%,但 5.6a 和 7.6a 的生物量比第 1 代(78.047t·hm⁻²和 88.950t·hm⁻²)的分别高 7.8% 和 6.0%。

由图 2 看出,连栽林分 1.6、3.6、5.6a 和 7.6a 林下灌木的生物量分别为 1.046、1.318、1.082t·hm⁻²、

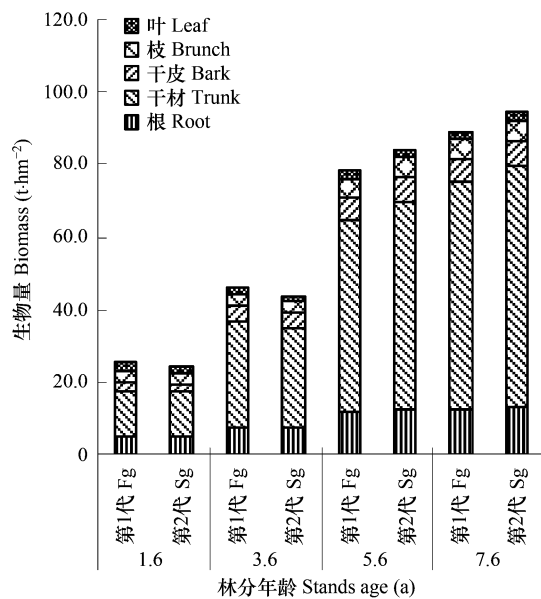


图 1 不同代数乔木层生物量
Fig. 1 Biomass of the tree layer in different generation

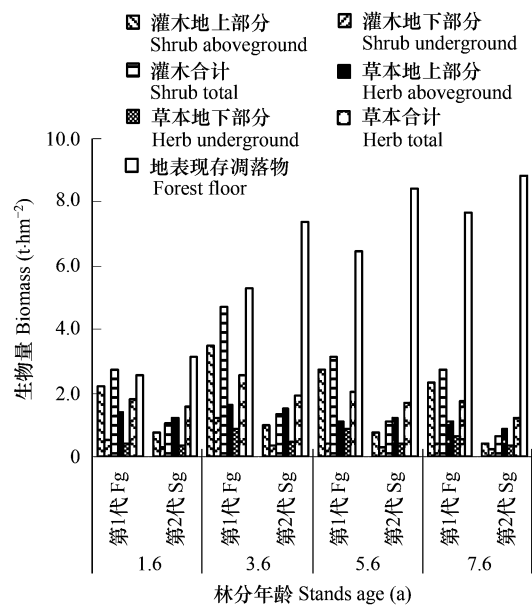


图 2 不同代数林下植物生物量和凋落物现存量
Fig. 2 Biomass of under-plant and litter in different generation

0.662t·hm⁻², 仅是第1代林分的0.38、0.28、0.34倍和0.24倍; 其林下草本植物的生物量分别为1.046、1.318、1.082、0.662t·hm⁻², 依次是第1代林分的0.88、0.76、0.82倍和0.71倍; 其地表凋落物现存量分别为3.139、7.372、8.418、8.814t·hm⁻², 依次是第1代林分的1.22、1.41、1.32倍和1.15倍。

1.4 样品采集及其碳含量分析和碳贮量的计算方法

在测定生物量时, 分别样地采集尾巨桉的树叶、树枝(叶枝和光枝)、干材、树皮、根兜、粗根、细根与吸收根等器官样品和灌木层的地上部分与地下部分、草本层的地上部分与地下部分及林地凋落物的样品, 即每次每种器官(或组分)各取6个样品。在每个样地内随机设置5个代表性土壤采样点, 按0~20cm、20~40cm和40~60cm土层采集土壤样品; 同时用环刀(100cm³)采集原状土, 带回实验室测定土壤容重。

采用重铬酸钾-水合加热法^[29]测定不同植物器官(或组分)和土壤样品的C含量, 每个样品重复3次。不同植物器官(或组分)生物量和不同层次土壤质量(采样厚度×土壤容重)乘以其相应的C含量, 得到其对应的C贮量。

使用SPSS11.0软件包对不同栽培代数的平均值差异显著性进行分析。

2 结果与分析

2.1 连栽对生态系统各组分碳含量动态的影响

2.1.1 尾巨桉各器官碳含量动态

不同栽培代数尾巨桉各器官的碳含量动态见表2。由表2看出, 连栽林分(第2代)不同年龄各器官的碳含量在总体上与第1代的相当; 前者的平均值为47.43%、后者的为47.52%, 两者仅相差0.19%, 差异不显著。连栽林分1.6、3.6、5.6、7.6a的碳含量平均分别为46.83%、46.91%、47.68%、48.29%, 第1代的依次为46.94%、47.01%、47.78%、48.33%, 均随林龄的增加而有所提高(表2); 经林龄与器官的双因素方差分析表明, 同一代次的同一器官在不同林龄之间碳含量的差异均不显著($F=0.69 \sim 0.83 < F_{0.05}=3.01, p>0.05$), 而同一林龄不同器官碳含量的差异则达到极显著水平($F=11.38 \sim 12.53 > F_{0.01}=3.36, p<0.01$), 在总体上是树叶的碳含量较高, 干材、根系和枝条等木质器官的次之, 树皮的最低, 显示出树叶作为碳素同化器官的重要性。

表2 不同连栽代数尾巨桉碳含量比较(%)

Table 2 Compared of carbon content of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* of different continuous cropping generation

代数 Generation	林龄 Age	树叶 Leaf	叶枝 Leaf-branch	光枝 Perennial-branch	树皮 Bark	干材 Trunk	根兜 Root-tip	粗根 Root diameter >2cm	细根 Root diameter ≥0.5 ~ ≤2cm	吸收根 Root diameter <0.5cm	平均 Average ^①
1	1.6	51.03	48.12	47.76	44.91	46.69	46.18	45.96	45.13	44.92	46.94
	3.6	49.91	47.97	46.92	43.67	47.76	47.47	46.07	46.95	45.53	47.01
	5.6	49.15	47.39	47.67	42.74	48.34	47.72	46.83	47.68	46.11	47.78
	7.6	48.43	46.98	48.88	42.26	49.58	48.09	47.34	48.01	46.32	48.33
	平均 Average	49.63	47.62	47.81	43.40	48.09	47.37	46.55	46.94	45.72	47.52
2	1.6	50.24	48.13	47.07	45.69	46.31	46.66	46.05	46.62	44.80	46.83
	3.6	49.36	47.81	46.88	43.27	47.41	47.17	45.95	47.15	45.17	46.91
	5.6	48.75	46.91	47.84	42.26	48.47	47.26	46.42	47.53	45.86	47.68
	7.6	48.69	46.43	48.55	42.87	49.13	48.21	47.96	47.83	46.08	48.29
	平均 Average	49.26	47.32	47.59	43.52	47.83	47.33	46.60	47.28	45.48	47.43
<i>t</i> -检验 <i>t</i> -check ^②		0.189	0.297	0.153	0.059	0.121	0.027	0.037	0.151	0.215	0.073

①经生物量加权 Biomass weigh, ② $t_{0.05}=2.447$

2.1.2 林下植物各组分和凋落物碳含量动态

由表3看出, 连栽林分和第1代林分林下灌木碳含量的平均值分别为44.09%和45.37%, 前者比后者的

低 2.82% ;林下草本植物和林地现存凋落物的依次为 40.27%、39.90% 和 43.04%、41.93% ,前者比后者的分别高 0.93% 和 2.65% ,差异均不显著。不管是连栽林分、还是第 1 代林分,其林下灌木和草本植物的碳含量随林龄的变化规律不一致,前者表现为低-高-低-高,后者则表现为高-低-高-低。这种现象主要是由于林下灌木和草本植物的组成种类随林分年龄和乔木层郁闭度的变化而发生不同的变化所致^[30]。方差分析显示,同一代次的同一组分(灌木、草本植物或凋落物)在不同林龄之间碳含量的差异不显著($F = 0.37 \sim 0.53 < F_{0.05} = 4.76, p > 0.05$),而同一林龄不同组分碳含量的差异则达到极显著水平($F = 12.17 \sim 14.03 > F_{0.01} = 10.91, p < 0.01$)。综合表 2 和表 3 得到,第 2 代和第 1 代林分各垂直层次的碳含量平均值序列均表现为乔木层 > 灌木层 > 地表现存凋落物层 > 草本层,即植被层各组分的碳含量随植物高度及其组织木质化程度的降低而降低。

表 3 不同连栽代数林下植物、地表现存凋落物碳含量比较(%)

Table 3 Compared of carbon content of understory plants and ground litter of different continuous cropping generation

代数 Gene- ration	林龄 Age (a)	灌木地上部分 Shrub aboveground	灌木地下部分 Shrub underground	灌木平均 Shrub average ^①	草本植物 地上部分 Herb aboveground	草本植物 地下部分 Herb underground	草本植物平均 Herb average ^①	地表现存 凋落物 Forest floor
1	1.6	45.82	44.97	45.14	40.77	39.61	40.05	41.04
	3.6	46.94	44.63	46.43	39.56	40.47	39.89	40.69
	5.6	45.39	43.17	44.33	41.47	40.01	40.76	42.23
	7.6	45.77	42.72	45.59	38.89	38.92	38.89	43.77
	平均 Average	45.98	43.87	45.37	40.17	39.75	39.90	41.93
2	1.6	44.85	42.97	43.97	41.24	39.91	40.66	41.63
	3.6	45.75	43.27	45.10	39.98	41.02	40.35	41.82
	5.6	43.15	42.14	43.01	41.83	40.53	41.25	43.68
	7.6	44.62	41.37	44.27	39.33	39.44	39.41	45.03
	平均 Average	44.59	42.44	44.09	40.60	40.23	40.27	43.04
t-检验 t-check ^②		1.084	0.738	0.814	0.202	0.397	0.374	0.436

①经生物量加权 Biomass weigh,② $t_{0.05} = 2.447$

表 4 不同连栽代数林地土壤碳含量比较(%)

Table 4 Compared of carbon content in soil of different continuous cropping generation

代数 generation	林龄 age (a)	土层深度 Soil depth			平均 Average ^①
		0 ~ 20cm	20 ~ 40cm	40 ~ 60cm	
1	1.6	1.322	0.933	0.676	0.994
	3.6	1.425	1.043	0.645	1.019
	5.6	1.495	0.962	0.675	1.089
	7.6	1.586	1.003	0.664	1.112
	平均 Average	1.457	0.985	0.665	1.054
2	1.6	1.287	0.892	0.668	0.969
	3.6	1.356	0.999	0.611	0.961
	5.6	1.405	0.975	0.655	0.947
	7.6	1.511	0.862	0.636	1.009
	平均 Average	1.390	0.932	0.643	0.972
t-检验 t-check ^②		0.338	0.596	0.808	0.837

①经土壤容重加权 Soil density weigh,② $t_{0.05} = 2.447$

2.1.3 土壤碳含量动态

由表 4 可见,连栽林地和第 1 代林地土壤碳含量的平均值分别为 0.972% 和 1.054% ,前者比后者的低 7.78% ,差异不显著。不管是连栽林地、还是第 1 代林地,其土壤的碳含量均明显低于植物各组分;除 0 ~ 20cm 土层的碳含量随林龄的增加而增加并与林地凋落物碳含量的变化趋势一致外,20 ~ 40cm 和 40 ~ 60cm

土层的变化规律则不明显;而同一林龄的土壤碳含量在垂直分布上均存在明显差异,并随土层深度增加而下降。方差分析显示,同一代次的同一土层在不同林龄之间碳含量的差异不显著($F = 0.92 \sim 1.13 < F_{0.05} = 4.76, p > 0.05$),而同一林龄不同土层碳含量的差异则达到极显著水平($F = 102.39 \sim 126.13 > F_{0.01} = 10.91, p < 0.01$)。

2.2 连栽对生态系统各组分碳贮量及其分配动态的影响

2.2.1 植物层的碳贮量动态

由不同器官(或组分)生物量(图1和图2)及其相应的C含量(表2和表3)计算得出,连栽林分乔木层1.6、3.6、5.6、7.6a的碳贮量分别为11.291、20.422、40.115、45.532 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,第1代林分的依次为11.837、21.623、37.292、42.987 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,连栽林分的平均值(29.340 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)比第1代林分(28.435 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的高3.18%,经平均数差异显著性 t 检验显示两者的差异不显著($t = 0.028 < t_{0.05} = 2.447$)。连栽林分和第1代林分的林下灌木碳贮量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的平均值分别为0.452和1.523,前者比后者的低70.32%,差异显著($t = 2.528 > t_{0.05} = 2.447$);其草本植物的碳贮量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)平均分别为0.649和0.808,前者比后者的低19.68%,差异不显著($t = 0.596 < t_{0.05} = 2.447$);其林地现存凋落物层的碳贮量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)平均分别为3.009和2.320,前者比后者的高29.70%,差异不显著($t = 0.383 < t_{0.05} = 2.447$)。除树叶外,乔木层其它器官和林地现存凋落物的碳贮量都随林龄的增加而增加,而林下植物各组分的碳贮量则随林龄的增加呈先增后减趋势,即植物各组分碳贮量的差异及年度动态与其生物量的差异及年度变化规律是相辅相成的(图1和图2)。

2.2.2 土壤层的碳贮量动态

从表5看出,连栽林地和第1代林地0~60cm土层的平均碳贮量分别为71.297、81.758 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,前者比后者的低12.80%,差异不显著(表5);其土壤碳贮量均随林龄增大而增加,且随土壤深度的增加而递减,以0~20cm土层碳贮量最高、20~40cm土层的次之、40~60cm土层的最低,这是由于凋落物分解归还的碳主要集中于土壤表层,其碳含量(表4)和贮量就远高于其它层次。

表5 不同代数的土壤碳贮量比较($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 5 Compared of carbon storage in soil of different continuous cropping generation

代数 Generation	林龄 Age	0 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	40 ~ 60 cm	合计 Total
1	1.6	31.322	24.933	18.976	75.231
	3.6	35.312	27.786	18.408	81.506
	5.6	38.601	26.243	19.427	84.271
	7.6	39.840	26.981	19.203	86.024
	平均 Average	36.269	26.486	19.004	81.758
2	1.6	29.287	19.092	19.168	67.547
	3.6	30.969	19.184	18.795	68.948
	5.6	29.216	23.722	18.378	71.316
	7.6	34.431	24.757	18.190	77.378
	平均 Average	30.976	21.689	18.633	71.297
t -检验 t -check		0.788	1.864	0.470	1.234

$t_{0.05} = 2.447$

2.2.3 生态系统的碳贮量及其分配动态

尾巨桉人工林生态系统碳贮量是由乔木层、林下植物层(因林下灌木和草本植物的高度分化不明显,均低于1.5m,故将两者合并为一个层次,下同)、凋落物层和土壤层4个层次的碳贮量组成。由图3看出,连栽尾巨桉人工林生态系统1.6、3.6、5.6、7.6a的总碳贮量分别为81.930、93.825、116.260、127.649 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,第1代的依次为87.062、108.461、126.539、134.411 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,均随林龄的增加而增大,前者的平均值(104.916 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)比后者(114.118 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的低8.06%,差异不显著($t = 0.242 < t_{0.05} = 2.447$)。

由图4看出,连栽林分生态系统碳贮量的空间分布序列在总体上与第1代林分是相一致的,均表现为土壤层>乔木层>凋落物层>林下植物层。然而,不同栽培代次的不同层次碳贮量占生态系统总碳贮量的百分

率却存在较大差异。连栽林分乔木层和凋落物层的碳贮量均分别为 28.13% 和 2.87%, 分别比第 1 代 (24.25% 和 2.03%) 的增加了 3.88 和 0.84 个百分点; 其林下植物层和土壤层的平均值分别为 1.05% 和 67.96%, 依次比第 1 代 (2.07% 和 71.64%) 的减小了 1.02 和 3.68 个百分点。

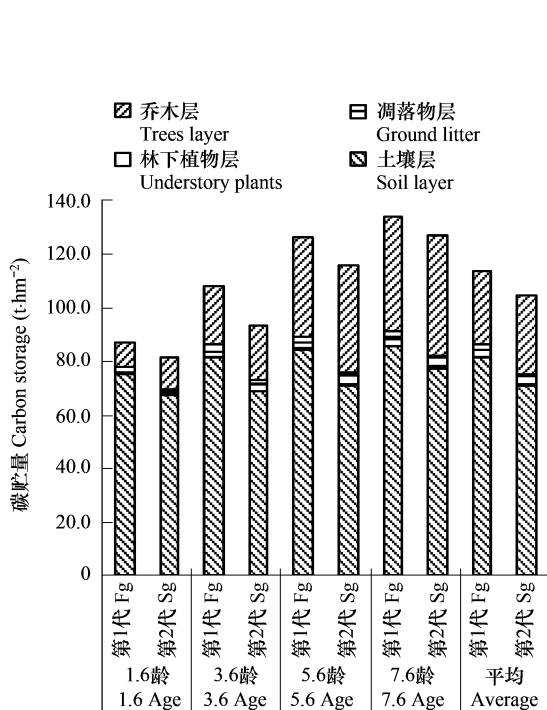


图3 不同代数的碳贮量

Fig. 3 The carbon accumulation of different generation

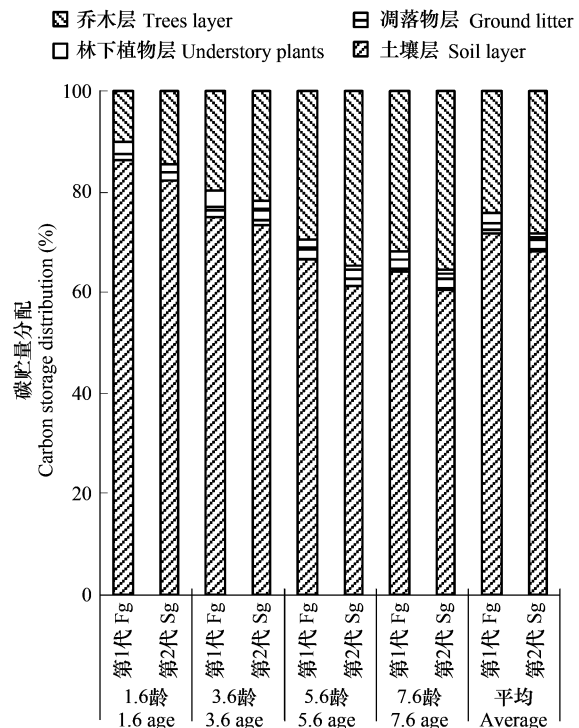


图4 不同代数的碳贮量分配

Fig. 4 The carbon accumulation distribution of different generation

3 结论与讨论

在森林生态系统碳贮量的研究中,国际上常用 0.45^[13,31] 与 0.50^[13] 作为植被和凋落物平均含碳率的转换系数。本研究表明,尾巨桉 7.6a 林分不同植物的碳含量平均为 39.41% ~ 48.33% (即含碳率的转换系数为 0.39 ~ 0.48),落在上述植被含碳率标准的范围内;其凋落物的碳含量平均为 43.77% ~ 45.03%,比上述标准偏低 9.9% ~ 12.5%。研究发现,尾巨桉人工林植被的碳含量随着林龄的增加而增加,碳含量的平均值序列为乔木层 > 灌木层 > 凋落物层 > 草本层,连栽对植被和凋落物的碳含量无显著影响,而不同层次和不同器官 (或组分) 碳含量的平均值存在极显著差异 ($p < 0.01$),表明物种特性对植被碳含量的影响更大。

森林组成、年龄结构、密度、林分起源以及森林经营活动对生态系统的碳贮量有明显影响^[31,32]。本研究发现,尾巨桉林分的碳贮量随着林分年龄的增加而增加,7.6a 连栽尾巨桉人工林生态系统的总碳贮量为 127.649 t·hm⁻²,比对照 (第 1 代, 134.411) 低 5.03%,但差异不显著 ($p > 0.05$)。Ordóñez 等的研究发现^[9],不同碳库的重要性随土地利用和土地覆盖类型不同而变化,农业和草地类型土壤的碳贮量占总碳贮量的 90% 以上,而冷杉林约为 30%。本研究表明,连栽引起土壤碳贮量的下降,从而使第二代林分土壤碳库的重要性 (占总碳贮量的 67.96%) 降低,比对照林分 (71.64%) 少 3.68 个百分点,这是连栽引起林地表层土壤有机质减少所致。连栽还引起林下植被碳贮量的明显下降,平均降低 52.77%,这与连栽林分经历了 2 次林木采伐、炼山清理、机耕全垦整地等强烈干扰,使林下植物多样性和生物量减少^[22] 有关。至于连栽林分乔木层和凋落物层的平均碳贮量百分率 (28.13% 和 2.87%) 分别比第 1 代林分 (24.25% 和 2.03%) 的多 3.88 和 0.84 个百分点,可能与连栽林分的保存密度较大有关。连栽林分 5.6a 和 7.6a 的林木保存密度分别为 1440 株/hm² 和 1410 株/hm²,比第 1 代林分 (1325 株/hm² 和 1310 株/hm²) 的分别高 8.68% 和 7.63%,导致其乔木层生物量

和凋落物现存量相应比第 1 代林分的高(图 1 和图 2)。连栽对桉树人工林植被碳贮量的影响尚需进一步研究。

我国森林土壤平均碳贮量为 $193.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 约是植被碳贮量的 3.4 倍^[13]。本研究得到尾巨桉短周期人工林第 1 代和第 2 代林地 0~60cm 土层的平均碳贮量分别为 $81.758 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $71.297 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 明显低于我国森林土壤平均碳贮量; 土壤碳贮量只是植被碳贮量的 2.5 和 2.1 倍, 远低于全国平均水平。其原因一方面是由于亚热带良好的水热条件有利于植被生物量对碳的累积; 另一方面是由于亚热带土壤呼吸速率较大, 凋落物分解释放快, 造成土壤的碳素积累较少; 同时由于造林时采取“炼山”清除前茬的采伐剩余物和林下植被, 导致土壤有机碳的大量流失。因此, 在桉树人工林经营中应尽量减少使用炼山清理采伐剩余物的方式, 要合理适度地保护林下植被, 以增强桉树人工林的碳汇功能。

References:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001. The Synthesis Report. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001. 397.
- [2] Wei D S. Forestation and Climate Change: a research on the problems of carbon sinks. Beijing: China Forestry Publishing House, 2003. 1—186.
- [3] IPCC. Land use, land—use change, and forestry, Summary for Policymakers — a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 2001. 1—20. Available from <http://www.ipcc.ch/pub/srlulucf-e.pdf>.
- [4] Brown S, Sathaye J, Cannell M. Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. In: Watson R T, Zinyowera M C, and Moss R H, eds. Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, Contribution of Working Group to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 1996.
- [5] Dixon R K, Brown S, Houghton R A. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. Science, 1994, 263: 185—190.
- [6] Lambin E F. Modeling deforestation processes: a review Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites, TREES Series B, Research report No. 1. Office of the European Commission, Directorate-General XIII. Luxemburg. 1994, 113.
- [7] Brown S, Lugo A E. Storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. Biotropica, 1982, 14: 161—187.
- [8] Detwiler R P. Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soil. Biogeochemistry, 1986, 2: 67—93.
- [9] Ordóñez J A B, de Jong B H J, García-Oliva F, et al. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 2074—2084.
- [10] Campbell J, Alberti G, Martin J, Law B E. Carbon dynamics of a ponderosa pine plantation following a thinning treatment in the northern Sierra Nevada. Forest Ecology and Management, 2009, 257: 453—463.
- [11] Fang J Y, Tang Y H, Lin J D, Jiang G M. Global ecology: climate change and ecological response. Springer Press and Higher Education Press, 2000. 135—141.
- [12] Wang S Q, Zhou C F, and Li K R. Analysis on spatial distribution characteristics of soil organic carbon reservoir in China. Acta Geographica Sinica, 2000, 55(5): 533—544.
- [13] Zhou Y R, Yu Z I, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types. Acta Ecologica Sinica, 2000, 24(5): 518—522.
- [14] Wang X K, Feng Z W, Ouyang Z Y. Vegetation Carbon Storage and Density of forest ecosystem in China. Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 13—16.
- [15] Liu G H, Fu B J, Fan g J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 733—740.
- [16] Fang X, Tian D L, Xiang W H. Density, storage and distribution of carbon in Chinese fir plantation at fast growing stage. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(3): 14—20.
- [17] Fang X, Tian D L, Xu C H. Productivity and carbon dynamics of Masson Pine Plantation. J Centr South Coll For, 2003, 23(2): 11—15.
- [18] Chertov O, Bhatti J S, Komarov A, Mikhailov A, Bykhovets S. Influence of climate change, fire and harvest on the carbon dynamics of black spruce in Central Canada. Forest Ecology and Management, 2009, 257: 941—950.
- [19] Wen Y G. Eucalyptus ecological, social issues and scientific development. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008. 1—135.
- [20] Yu X B, Bai X Q, Xu D P, Chai J G. Nutrient Cycle of *Eucalyptus* Plantations with Different Continuous-Planting Rotations Chinese. Journal of Tropical Crops, 1999, 20(3): 60—66.

- [21] Yu X B, Yang G Q, Li S K. Change of soil properties of Eucalyptus plantations in different continuous cropping rotations. In: Yu X B. Management of Long-term Productivity of Eucalypt Plantation. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000. 94—103.
- [22] Wen Y G, Liu S R, Chen F. Effects of continuous cropping on understorey species diversity in *Eucalypt* plantations. Journal of Applied Ecology, 2005, 16 (9): 1667—1671.
- [23] Kang B, Liu S R, Zhang G J, Chang J G, Wen Y G, Ma J M, Hao W F. Carbon accumulation and distribution in *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forest ecosystem in Daqingshan, Guangxi of China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1320—1329.
- [24] Lei P F, Xiang W H, Tian D L, Fang X. Carbon storage and distribution in *Cinnamomum camphor* plan. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(4): 25—30.
- [25] Liang H W, Wen Y G, Wu G X, Huang X Z, Zhou G F, Chen D L. Effects of continuous cropping on the growth and productivity of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* short-term plantation. Jour of Fujian Forestry Sci and Tech, 2008, 35(3): 14—18.
- [26] Feng Z W, Wang X K, Wu G. Biomass and productivity of Chinese forest ecosystems. Beijing: Science Press, 1999. 1—157.
- [27] Wen Y G, Liang H W, Zhao L J, Wei S H. Biomass production and productivity of *Eucalyptus urophylla*. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2000, 8(2): 123—127.
- [28] Chen T, Wen Y G, Sun Y P, Liang H W. Initial report on biomass and productivity of continuous planting of *Eucalyptus* plantation. Guangxi Forestry Science, 2005, 34(1): 8—12.
- [29] Committee for agricultural chemistry of Chinese society of soil science. Conventional method of chemical analysis for agricultural soil. Beijing: Science Press, 1983. 272—276.
- [30] Wen Y G, Liu S R, Chen F, He T P, Liang H W, Chen T. Plant diversity and dynamics in industrial plantations of *Eucalyptus*. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(4): 17—22.
- [31] Levine J S, Cofer W R, Cahoon D R Jr, Winstead E L. Biomass burning, a driver for global change. Environmental Science Technology, 1995, 120: 120—185.
- [32] Schulpe C J E, Nabuurs G J, Verburg P H, Waal de R W. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. Forest Ecology and Management, 2008, 256: 482—490.

参考文献:

- [2] 魏殿生主编. 造林绿化与气候变化. 北京: 中国林业出版社, 2003. 1~186.
- [11] 方精云, 唐艳鸿, 林俊达, 蒋高明. 全球生态学——气候变化与生态响应. 北京: 高等教育出版社, 施普林格出版社, 2000. 135~141.
- [12] 王绍强, 周成虎, 李克让. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析. 地理学报, 2000, 55(5): 533~544.
- [13] 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. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518~522.
- [14] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳贮量和碳密度研究. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13~16.
- [15] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. 生态学报, 2000, 20(5): 733~740.
- [16] 方晰, 田大伦, 项文化. 速生阶段杉木人工林碳素密度、贮量和分布. 林业科学, 2002, 38(3): 14~20.
- [17] 方晰, 田大伦, 胥灿辉. 马尾松人工林生产力与碳素动态. 中南林学院学报, 2003, 23(2): 11~15.
- [19] 温远光主编. 桉树生态、社会问题与科学发展. 北京: 中国林业出版社, 2008. 1~135.
- [20] 余雪标, 白先权, 徐大平, 蔡景光. 不同连栽代次桉树人工林的养分循环. 热带作物学报, 1999, 20(3): 60~66.
- [21] 余雪标, 杨国清, 李尚昆. 不同连栽代次桉树林土壤性质的变化. 见: 余雪标. 桉树人工林长期生产力管理研究. 北京: 中国林业出版社, 2000. 94~103.
- [22] 温远光, 刘世荣, 陈放. 连栽对桉树人工林下物种多样性的影响. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1667~1671.
- [23] 康冰, 刘世荣, 张广军, 常建国, 温远光, 马姜明, 郝文芳. 广西大青山亚热带马尾松、杉木混交林生态系统碳素积累和分配特征. 生态学报, 2006, 26(5): 1320~1329.
- [24] 雷丕锋, 项文化, 田大伦, 方晰. 樟树人工林生态系统碳贮量与分布研究. 生态学杂志, 2004, 23(4): 25~30.
- [25] 梁宏温, 温远光, 吴国喜, 黄锡泽, 周国福, 陈东林. 连栽对尾巨桉短轮伐期人工林生长量和生产力动态的影响. 福建林业科技, 2008, 35(3): 14~18.
- [26] 冯宗炜, 王效科. 中国森林生态系统生物量和生产力. 北京: 科学出版社, 1999. 1~157.
- [27] 温远光, 梁宏温, 招礼军, 韦善华. 尾叶桉人工林生物量和生产力的研究. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(2): 123~127.
- [28] 陈婷, 温远光, 孙永萍, 梁宏温. 连栽桉树人工林生物量和生产力的初步研究. 广西林业科学, 2005, 34(1): 8~12.
- [29] 中国农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 272~276.
- [30] 温远光, 刘世荣, 陈放, 和太平, 梁宏温, 陈婷. 桉树工业人工林植物物种多样性及动态研究. 北京林业大学学报, 2005, 27(4): 17~22.