

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2011.05.013

大岗山毛竹林与常绿阔叶林碳储量及分配格局

王兵¹, 杨清培^{2*}, 郭起荣³, 赵广东¹, 方楷²

(1. 中国林业科学研究院 森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 2. 江西农业大学 江西省竹子种质资源与利用重点实验室, 南昌 330045; 3. 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘要: 基于固定样地, 对江西大岗山毛竹林与常绿阔叶林生态系统碳储量及分配格局进行了研究。结果表明: 毛竹各器官碳含量介于 42.22%~47.53%, 其大小顺序依次为秆(47.53%)>枝(46.49%)>鞭(46.10%)>根(45.30%)>叶(42.22%)。丝栗栲不同器官碳含量介于 43.09%~45.53%, 其干、叶、枝、根的碳含量依次为 45.53%、44.96%、43.63%和 43.09%, 其它植物各器官介于 40.21%~49.54%之间。毛竹林与常绿阔叶林土壤从表层 0 至 100 cm 碳含量分别为 3.62%~0.43%和 4.15%~0.58%; 从上到下依次降低, 表层(0~20 cm)土壤碳素含量最高。两种森林生态系统碳储总量分别为 226.75 tC·hm²和 267.94 tC·hm², 前者低于后者, 但其碳储量空间分布格局基本一致, 土壤层占主要部分, 分别为 143.80 tC·hm²和 173.93 tC·hm², 分别占 63.42%和 64.23%, 其次为乔木层, 分别占 26.36%和 33.12%, 林下植被层和凋落物层所占比例最小, 不足 2%。毛竹林和常绿阔叶林植被年固定碳量分别为 4.76 tC·hm²·a⁻¹和 4.15 tC·hm²·a⁻¹, 分别相当于 17.45 tCO₂·hm²·a⁻¹和 15.22 tCO₂·hm²·a⁻¹, 毛竹林年固碳量高于常绿阔叶林。

关键词: 碳储量; 分配格局; 毛竹林; 常绿阔叶林; 大岗山

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2011)03-0342-07

Carbon storage and allocation of *Phyllostachys edulis* forest and evergreen broad-leaved forest in Dagangshan Mountain, Jiangxi

WANG Bing¹, YANG Qing-Pei^{2*}, GUO Qi-Rong³,
ZHAO Guang-Dong¹, FANG Kai²

(1. Institute of Forest Ecology Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Jiangxi Provincial Key Laboratory for Bamboo Germplasm Resources and Utilization, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 3. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: Based on the permanent plot and investigation, the biomass, carbon storage and its allocation of *Phyllostachys edulis* forest and evergreen broad-leaved forest were studied. The results showed that the mean carbon concentrations among tree species were significantly different. The average carbon concentration in organs of *Ph. edulis* changed in the order of culm(47.53%)>branch(46.49%)>rhizome(46.10%)>root(45.30%)>leaf(42.22%), in the order of trunk(45.53%)>leaf(44.96%)>branch(43.63%)>root(43.09%) for *Castanopsis fargesii*, and

收稿日期: 2010-08-23 修回日期: 2010-12-15

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划项目(2006BAD03A0703, 2006BAD19B0102); 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ08192); 大岗山国家级生态站资助[Supported by the Supporting Program of the “Eleventh Five-year Plan” for Sci & Tech Research of China(2006BAD03A0703, 2006BAD19B0102); Educational Commission of Jiangxi Province of China(GJJ08192); Dagangshan State Ecological Station]

作者简介: 王兵(1965-), 男, 辽宁西丰县人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事森林生态系统关键过程长期观测与模拟等研究, (E-mail) wangbing@caf.ac.cn.

* 通讯作者: 杨清培, 副教授, 主要从事森林生态学教学与科研工作, (E-mail) Qingpeiyang@126.com.

40.21%—49.54% for different organs of other woody species. The carbon concentration of soil of 2 forests are 4.15%—0.58% and 3.62%—0.43% from 0 to 100 cm depth respectively, with higher carbon concentration and storage in the layer of 0—20 cm than in the other layer. The total carbon storage of *Ph. edulis* forest and broad-leaved forest were 226.75 tC·hm⁻² and 267.94 tC·hm⁻² respectively. The spatial distribution pattern of carbon storage was basically consistent in the order of soil layer>trees layer>shrub and herb and litter layer. The carbon storage and its allocation among their organs in tree layer were found to be highly correlated with their biomass. Annual carbon fixation of plant layers in *Ph. edulis* forest was 4.76 tC·hm⁻²·a⁻¹, amounted to 17.45 tCO₂·hm⁻²·a⁻¹, higher than that of evergreen broad-leaved forest of 15.22 tCO₂·hm⁻²·a⁻¹.

Key words: carbon storage; allocation pattern; *Phyllostachys edulis* forest; evergreen broad-leaved forest; Dagangshan Mountain

大量化石燃料的使用和土地利用方式的改变等原因,造成 CO₂、CH₄ 等主要温室气体的大量积累,从而引发了全球性的气候问题,并已威胁到全球生态环境和人类的生存与发展。森林生态系统是陆地生态系统的主体,通过植物生长从大气中吸收储存大量的 CO₂,其维持的碳库占全球总碳库的 46.3%,其中森林植被部分碳库占全球植被的 77.1%(莫江明等,2003)。森林碳储能力取决于森林类型、种类组成、林龄及其与人类活动的关系(Houghton 等,2000)。常绿阔叶林是我国亚热带地区的地带性植被,也是重要的森林资源,但在持续干扰情况下,却很容易逆行演替为毛竹(*Phyllostachys edulis*)林(江西森林编委会,1986),且近年来毛竹林面积有不断增大的趋势。那么在这一改变过程中森林 C 储特征又有怎样的变化呢?为此,本研究选取江西大岗山生态站毛竹林和常绿阔叶林为研究对象,探讨亚热带植被类型变化及其碳储特征,为全球变化、森林生产力和人为干扰对森林生态系统碳特征影响的研究提供参考。

1 研究区概况

江西大岗山位于江西省分宜县境内,114°30′~114°45′ E,27°30′~27°50′ N,属亚热带湿润气候区,年均气温 15.8~17.7℃,年均降水量 1 591 mm,降水主要集中在 4~6 月,年均蒸发量 1 503 mm。常绿阔叶林是本地区的地带性植被,也是天然林演替系列的顶级群落,同时本区也是毛竹林的适生区(王兵等,2005;李少宁等,2007)。受“木材林业”思想的影响,常绿阔叶林中大树都被当材采伐,形成大量采伐“林窗”,为毛竹入侵提供条件,阔叶林逐渐演变成毛竹林,而且毛竹还不断向阔叶林扩张,竹林面积呈现逐年扩大的趋势。

2 研究方法

2.1 样地调查

2007 年设置毛竹林和常绿阔叶林永久样地,大小为 50 m×50 m,将样方细分为 25 个 10 m×10 m 小样方,并进行群落调查,记录其种名、胸径、树高,并对样方内所有 DBH≥5.0 cm 的树木进行挂牌标记和定位。

毛竹林是 40~50 a 前由常绿阔叶林退化受毛竹入侵形成的竹木混交林,竹木数量比为 6:4。乔木层主要树种有丝栗栲(*Castanopsis fargasii*)、刨花楠(*Machilus pauhoi*)、山乌桕(*Sapium discolor*)、拟赤杨(*Alniphyllum fortunei*)等,下木层主要有油茶(*Camellia oleifera*)、绒楠(*Machilus velutina*)、杜茎山(*Maesa japonica*)等,草本植物主要有淡竹叶(*Lophatherum gracile*)、芒萁(*Dicranopteris linearis*)和寒莓(*Rubus buergeri*)等。

常绿阔叶林是以丝栗栲为主要优势种的丝栗栲林,林龄为 40~50 a。乔木层伴生树种主要是苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、小叶栎(*Quercus chenii*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、黄牛奶树(*Symplocos laurina*)等,下木层主要有绒楠、黄牛奶树、油茶等,草本植物主要有淡竹叶、草珊瑚(*Sarcandra glabra*)、芒萁等。

2.2 毛竹、阔叶树生物量及生物量增量

根据群落调查结果,在样地周边按不同径级伐倒优势树种(毛竹、丝栗栲)并挖出树根,分器官称其鲜重。注意:毛竹属散生型竹种,地下有着庞大的鞭根系统。鞭根系统生物量测定采用小样方取样法,即沿“S”形路线在样地内挖 10 个 50 cm×50 cm 小样方,挖出竹鞭和鞭根,挖至无根为止,用水细心漂洗,沥干称其鲜重。同时,取各器官部分植物样品,

带回实验室,在 85 °C 烘干至恒重,求算生物量(杨清培等,2003),构建生长模型(表 1)。

毛竹生物量增量测定,根据样地内近 5 a 不同秆龄的毛竹数量,加上竹鞭年生长量,可得毛竹生物

量增量。阔叶树生物量增量测算,根据树干解析资料结合生长模型 $f(D)$,用当年胸径(D)推测生物量(W)减去上一年胸径($D-\Delta D$)时的生物量,就可得到当年生物量增量,即 $\Delta W=f(D)-f(D-\Delta D)$,取

表 1 大岗山毛竹林与常绿阔叶林乔木树种生物量回归模型

Table 1 Regression models for biomass of trees in *Phyllostachys edulis* forest and evergreen broad-leaved forest in Dagangshan Mountain, Jiangxi

树种 Species	径级及样本数 DBH range	器官 Organ	回归模型*Regression models	相关系数 R ²
毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	5 cm ≤ DBH ≤ 16 cm (n=30)	秆	$W_{Cu}=0.231D^{1.985}H^{-0.207}$	0.730**
		枝	$W_{Br}=0.215D^{1.303}H^{-0.185}$	0.502*
		叶	$W_{Lf}=0.050D^{1.695}H^{-0.184}$	0.722**
		莖	$W_{Ba}=0.008D^{0.657}H^{1.617}$	0.544*
		莖根	$W_{Rt}=0.009D^{0.890}H^{1.364}$	0.444*
		总体	$W_{Tl}=0.364D^{1.696}H^{0.071}$ $1/H=0.047+0.276/D$	0.684**
丝栗栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	5 cm ≤ DBH ≤ 40 cm (n=10)	干	$W_{St}=0.112(D^2H)^{0.813}$	0.992**
		枝	$W_{Br}=0.001(D^2H)^{1.178}$	0.912**
		叶	$W_{Lf}=0.002(D^2H)^{0.851}$	0.882**
		根	$W_{Rt}=0.026(D^2H)^{0.852}$	0.978**
		总体	$W_{Tl}=0.045(D^2H)^{0.981}$ $1/H=0.016+1.149/D$	0.924**
		其它阔叶树 Other trees	5 cm ≤ DBH ≤ 40 cm (n=12)	干
枝	$W_{Br}=0.021(D^2H)^{0.824}$	0.965**		
叶	$W_{Lf}=0.005(D^2H)^{0.950}$	0.930**		
根	$W_{Rt}=0.018(D^2H)^{0.912}$	0.949**		
总体	$W_{Tl}=0.048(D^2H)^{1.005}$ $1/H=0.043+0.596/D$	0.957**		

注: D 为胸径(cm); H 为树高(m); W 为生物量(kg); * $P<0.05$; ** $P<0.01$ 。

5 a 平均值(杨清培,2003)。

2.3 灌木、草本层生物量和生物量增量

采用全挖法实测灌木、草本层生物量。在毛竹林和常绿阔叶林样地内分上、中、下坡位设立 1 m×1 m 小样方 5 个,收集每个小样方中全部灌木、草本植物的所有器官,先称其鲜重,并带部分样品回实验室烘干至恒重,再推算其干重。生物量增量为灌木层、草本层生物量除以各自的平均年龄(杨清培等,2003)。

2.4 凋落物现存量

每个样地内设置 10 个(1 m×1 m)收集器,每月按组分收集全部凋落物,在 85 °C 条件下烘干至恒重,同时选取一定量的凋落物作为分析样品。

2.5 细根生物量

采用土钻法(廖利平等,1999;郭忠玲等,2006)按 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm 和 50~60 cm 土层用直径 50 mm 的土钻取得土芯,各 15 个,用塑料袋装好后带回,放置在 2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm 土壤套筛,用水细心漂洗,检出所有直径 ≤ 2 mm 的细根。并根据细根

外形、颜色、质地和弹性区分死根和活根,沥干重力水,称其鲜重,置 85 °C 的烘箱中烘干至恒重,折算单位面积生物量。

2.6 土壤样品采集

在样地的上、中、下坡各取 3~4 个取样点并挖土壤剖面,从上到下 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm,用环刀法取原状土,并用布袋取化学性质待测样品。带回实验室测定容重、含砂率、C 含量等理化指标。

2.7 碳含量测定

植物、土壤样品中碳素含量测定采用重铬酸钾法(刘光崧等,1996)。

2.8 碳储量的计算

不同器官碳储量等于不同器官生物量与其碳含量的乘积;植被各层碳储量等于各器官碳储量之和;乔木层、灌木层、草本层、枯落物层和土壤层有机碳储量之和为生态系统中的碳储量。其中,土壤碳储量的计算公式:土壤有机碳储量=土壤容重×采样深度×(1-含砂率)×土壤有机碳含量×面积。

3 结果与分析

3.1 群落生物量及其分配规律

大岗山毛竹林和常绿阔叶林生物量(表 2)。由表 2 可知,毛竹林和常绿阔叶林生物量分别为 174.80 t·hm²和 207.63 t·hm²,前者明显小于后者。从群落垂直结构来看,二者表现相同的规律,乔木层生物量最大分别为 136.87 t·hm²、199.12 t·

hm²,分别占各群落的 78.30%和 95.90%;灌木层次之,二者分别为 3.46 t·hm²和 2.69 t·hm²,不到 2%;草本层最少,二者分别只有 0.55 t·hm²和 0.22 t·hm²,均未到总生物量的 0.5%。

从生物量的器官分配来看,干(秆)的生物量占的比重最大,毛竹林为 80.77 t·hm²,阔叶林为 129.17 t·hm²,前者小于后者,但毛竹林的细根生物量(33.92 t·hm²)明显高于阔叶林(5.60 t·hm²)。尽管毛竹林中毛竹种群数量比重较大,但其

表 2 大岗山毛竹林和常绿阔叶林生物量及分配格局 (tC·hm⁻²)

Table 2 Biomass and its allocation of *Ph. edulis* forest and evergreen broad-leaved forest in Dagangshan Mountain

群落类型 Forest type	层次/器官 Layer/Organ	干/秆 Stem/Culm	枝 Branch	叶 Leaf	根(菹) Root	竹鞭 Rhizome	合计 Total	比例(%) Percentage
毛竹林 <i>Ph. edulis</i> forest	乔木层	79.32	16.20	3.15	24.33	13.87	136.87	78.30
	毛竹	18.01	2.81	1.63	4.42	13.87	40.74	23.31
	杂木	61.32	13.39	1.52	19.91	—	96.14	55.00
	灌木层	1.45	0.66	0.73	0.62	—	3.46	1.98
	草本层	—	—	0.40	0.15	—	0.55	0.31
	细根	—	—	—	33.92	—	33.92	19.41
	合计	80.77	16.86	4.28	59.02	13.87	174.80	100.00
	比例 (%)	46.21	9.65	2.45	33.76	7.93	100.00	
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	乔木层	127.53	29.13	2.92	39.52	—	199.12	95.90
	乔木层 I	116.41	27.66	2.68	35.76	—	182.51	87.90
	乔木层 II	11.12	1.48	0.25	3.76	—	16.61	8.00
	灌木层	1.64	0.36	0.54	0.15	—	2.69	1.30
	草本层	—	—	0.14	0.08	—	0.22	0.11
	细根	—	—	—	5.60	—	5.60	2.70
	合计	129.17	29.49	3.6	45.35	—	207.63	100.00
	比例 (%)	62.21	14.20	1.73	21.84	—	100.00	

表 3 主要植物各器官碳含量特征 (%)

Table 3 Carbon concentration in different organs of *Phyllostachys edulis* and other species

主要树种 Species	取样 Sample	干(秆)Stem/Culm	枝 Branch	叶 Leaf	根(菹)Root(Base)	鞭 Rhizome
毛竹 <i>Ph. edulis</i>	30	47.53(1.23)	46.49(2.19)	42.22(3.02)	45.30(3.20)	46.10(1.23)
丝栗栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	45	45.53(1.75)	43.63(2.50)	44.96(3.52)	43.09(3.15)	—
苦槠栲 <i>C. slerophylla</i>	30	44.27(0.80)	47.11(0.91)	45.98(1.28)	49.54(1.16)	—
山乌柏 <i>Sapium discolor</i>	30	44.70(1.48)	47.27(0.92)	46.62(2.04)	48.46(0.74)	—
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	12	45.35(0.87)	45.92(1.44)	44.93(1.35)	45.24(1.12)	—
绒楠 <i>Machilus velutina</i>	10	48.62(1.79)	45.50(0.60)	43.42(1.33)	42.19(1.80)	—
狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	10	—	—	42.44(1.00)	40.21(1.12)	—
芒萁 <i>Dicranopteris linearis</i>	10	—	—	43.60(1.06)	44.56(1.88)	—

生物量只占 23.31%,远小于阔叶树生物量。

3.2 主要植物各器官碳含量

不同植物、不同器官其碳含量不尽相同(表 3)。从表 3 可知,毛竹各器官碳含量在 42.22%~47.53%,各器官碳含量高低依次为秆(47.53%)、枝(46.49%)、鞭(46.10%)、根(45.30%)、叶(42.22%)。丝栗栲不同器官碳含量为 43.09%~45.53%,其干、叶、枝、根的碳含量依次为 45.53%、44.96%、

43.63%和 43.09%。另外,苦槠栲、山乌柏、油茶、绒楠、狗脊、芒萁等植物各器官的碳含量在 40.21%~49.54%。

3.3 植被碳储量及其空间分布格局

毛竹林植被碳储量要略低于常绿阔叶林(表 4)。毛竹林群落碳储量为 82.06 tC·hm⁻²,阔叶林为 96.13 tC·hm⁻²,二者都明显高于我国森林植被平均碳储量(57.07 tC·hm⁻²)(周玉荣等,2000)。

从其空间分布看,乔木层仍是植被碳储量的主体,毛竹林和常绿阔叶林乔木层碳储量分别为 $59.77 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $93.31 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占整个植被碳储量的 72.84% 和 93.31%; 其次是灌木层, 分别只占 3.02% 和 1.31%; 草本层所占比例最低, 都未到 1%。

从碳储量的各器官分配看,毛竹林中,树干(竹秆)碳储量所占比例最大(43.74%),其次是细根(23.53%),然后依次为根(13.44%)、枝(9.20%)、

鞭(7.79%),叶最低(2.30%),阔叶林树干碳储量所占比例也最大(60.03%),其次是根(19.18%)、枝(13.83%)、细根(5.32%),叶所占比例也最小(1.64%)。二者碳储量在器官间分布格局存在一定差异。

从表 2、表 4 还可看出,碳储量在不同层次、不同器官中的分配与生物量基本一致,垂直结构上的乔木层和植物器官的树干生物量占比例最大,其碳

表 4 毛竹林和阔叶林植被层碳储量及其空间分布格局 ($\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 4 Vegetation carbon storage and its spatial distribution of *Phyllostachys edulis* and evergreen broad-leaved forest in Dagangshan Mountain

群落类型 Forests	层次/器官 Layers/Organs	干/秆 Stem/Culm	枝 Branch	叶 Leaf	根(兜) Root	鞭 Rhizome	合计 Total	比例 (%) Percentage
毛竹林 <i>Phyllostachys edulis</i> forest	乔木层	34.07	7.25	1.38	10.68	6.39	59.77	72.84
	杂木	27.42	5.95	0.69	8.68	—	42.74	52.08
	毛竹	6.66	1.31	0.69	2.00	6.39	17.05	20.78
	灌木层	1.57	0.30	0.33	0.28	—	2.48	3.02
	草本层	0.25	—	0.18	0.07	—	0.50	0.61
	细根	—	—	—	19.31	—	19.31	23.53
	合计	35.89	7.55	1.89	30.34	6.39	82.06	100.00
	比例 (%)	43.74	9.20	2.30	36.97	7.79	100.00	
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	乔木层	56.97	13.12	1.28	18.33	—	89.70	96.18
	乔木层 I	52.01	12.43	1.17	16.53	—	82.14	88.09
	乔木层 II	4.96	0.68	0.11	1.80	—	7.55	8.10
	灌木层	0.74	0.17	0.24	0.07	—	1.22	1.31
	草本层	—	—	0.06	0.04	—	0.10	0.11
	细根	—	—	—	2.24	—	2.24	2.40
	合计	57.71	13.29	1.58	20.68	0.00	93.26	100.00
	比例 (%)	61.88	14.25	1.69	22.17	0.00	100.00	

表 5 毛竹林和常绿阔叶林土壤碳特征 ($\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 5 Carbon concentration and carbon storage of soil under *Phyllostachys edulis* forest and evergreen broad-leaved forest

土壤层次 Soil depth (cm)	取样 Samples	毛竹林 <i>Ph. edulis</i> forest				常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest			
		容重 Density (g/cm^3)	含石量 Sand content (%)	C 含量 C content (%)	C 储量 C storage (tC/hm^2)	容重 Density (g/cm^3)	含石量 Sand content (%)	C 含量 C content (%)	C 储量 C storage (tC/hm^2)
0~20	10	0.94(0.16)	10.00(7.71)	3.62(1.95)	64.39	0.86(0.18)	3.67(2.92)	4.15(1.20)	72.42
20~40	10	1.22(0.10)	15.22(10.13)	1.67(0.01)	34.56	1.13(0.16)	8.67(6.36)	2.10(0.62)	48.07
40~60	10	1.26(0.20)	21.44(4.19)	1.08(0.52)	22.85	1.24(0.04)	12.67(9.79)	1.27(0.24)	25.71
60~80	10	1.33(0.09)	31.33(15.53)	0.79(0.47)	14.62	1.32(0.03)	24.78(10.27)	0.98(0.21)	16.05
80~100	10	1.44(0.05)	40.24(14.24)	0.43(0.16)	7.42	1.40(0.05)	32.35(11.52)	0.58(0.06)	11.68
合计 Total					143.84				173.93

储量也最高,说明植被碳储量主要受其生物量影响。

3.4 生态系统土壤碳含量与碳储量

林下土壤有机碳含量和碳储量随着土壤深度加深而下降(表 5)。毛竹林和常绿阔叶林土壤各层有机碳含量和碳储量均以 0~20 cm 层最高,其次为 20~40 cm 层,含量最低的为 80~100 cm 层。毛竹林土壤有机碳总量为 $143.84 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中 0~20 cm 层土壤碳储量为 $64.39 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占林地土壤碳

储量的 44.77%; 常绿阔叶林林土壤有机碳总量为 $173.93 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中 0~20 cm 层土壤碳储量为 $72.42 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占林地土壤碳储量的 41.64%。

3.5 生态系统主要组分碳储量

由表 6 可知,毛竹林生态系统碳储量为 $226.75 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中土壤层碳储量最大,为 $143.80 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占 63.42%, 其次是乔木层为 $59.77 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占 26.36%, 细根为 $19.31 \text{ tC} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占 8.53%, 灌木

层、草本层和凋落物层分别为 2.48、0.50、0.89 tC·hm⁻², 分别占 1.09%、0.22% 和 0.39%。常绿阔叶林生态系统中碳储量为 267.94 tC·hm⁻², 土壤层也最大, 为 173.93 tC·hm⁻², 占总碳储量的 64.91%, 其次是乔木层, 占 33.48%, 再次是细根(占 0.84%)、

灌木层(0.46%)、凋落物层(0.28%) 和草本层(0.04%)。两生态系统的地上与地下部分(凋落物和土壤层)碳储量之比分别为 1:1.73 和 1.85, 说明林下土壤是一个极大的碳储量库, 如果经营管理不当, 它会逆转变成为巨大的碳源。

表 6 毛竹林和常绿阔叶林生态系统各组分碳储量 (tC·hm⁻²)

Table 6 Carbon storage in components of ecosystem of *Phyllostachys edulis* forest and evergreen broad-leaved forest

群落 Forests	乔木层 Arbor layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	凋落物 Litter	细根 Fine root	土壤 Soil	合计 Total
毛竹林 <i>Ph. edulis</i> forest	59.77	2.48	0.50	0.89	19.31	143.80	226.75
%	26.36	1.09	0.22	0.39	8.52	63.42	100.00
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	89.7	1.22	0.1	0.75	2.24	173.93	267.94
%	33.48	0.46	0.04	0.28	0.84	64.91	100.00

表 7 毛竹林与常绿阔叶林碳素年净固定量 (t·hm⁻²·a⁻¹)

Table 7 The annual accumulation of carbon in *Phyllostachys edulis* forest and evergreen broad-leaved forest

群落类型 Forests	层次 Layers	生物量增量 Biomass increment (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	年碳固定量 Annual C accumulation (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	折合 CO ₂ 量 Annual CO ₂ accumulation (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	比例(%) Percentage
毛竹林 <i>Ph. edulis</i> forest	乔木层	8.96	4.30	15.77	90.34
	灌木层	0.69	0.32	1.17	6.72
	草本层	0.28	0.14	0.51	2.94
	合计	9.93	4.76	17.45	100.00
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	乔木层	7.89	3.77	13.82	90.84
	灌木层	0.63	0.31	1.14	7.47
	草本层	0.15	0.07	0.26	1.69
	合计	8.68	4.15	15.22	100.00

3.6 植被层碳素年固定量

毛竹林植被层碳素年固定能力比阔叶林稍强(表 7)。毛竹林年均生物量增量为 9.93 t·hm⁻²·a⁻¹, 相当年固碳量为 4.76 tC·hm⁻²·a⁻¹, 折合 17.45 tCO₂·hm⁻²·a⁻¹, 其中乔木层固定能力最强, 占 90.34%、其次是灌木层 6.72%、草本层最低, 仅占 2.94%; 阔叶林植被层生物量增量为 8.68 t·hm⁻²·a⁻¹, 相当于固碳 4.15 tC·hm⁻²·a⁻¹, 折合 CO₂ 15.22 t·hm⁻²·a⁻¹, 稍低于毛竹林。

4 结论与讨论

大岗山毛竹各器官的碳含量为 42.22%~47.53%, 其高低依次为秆(47.53%)、枝(46.49%)、鞭(46.10%)、根(45.30%)、叶(42.22%), 略低于湖南会同毛竹各器官碳含量在 47.15%~50.82%(肖复明等, 2007), 而与周国模等(2004)的研究结果相似; 丝栗栲不同器官碳含量为 43.09%~45.53%, 其干、叶、枝、根的碳含量依次为 45.53%、44.96%、

43.63% 和 43.09%, 其它植物各器官介于 40.21%~49.54% 之间。这反映了植物碳素含量与其它营养元素含量一样受地理区域、森林类型和树种组成等因素影响(莫江明等, 2003), 森林植物碳素含量受树种组成因素影响的观点(方运霆等, 2002)。毛竹林和常绿阔叶林植被碳储量分别为 82.06 tC·hm⁻² 和 93.26 tC·hm⁻², 因毛竹林通常要进行隔年择伐, 因此其碳储量要低于常绿阔叶林。

毛竹林和常绿阔叶林不同层次土壤碳含量差异明显, 由上至下依次降低, 从表层至 100 cm 深度, 其碳含量分别为 3.62%~0.43% 和 4.15%~0.58%。二者土壤碳储量分别为 143.84 tC·hm⁻² 和 173.93 tC·hm⁻²。毛竹林土壤碳储量低于常绿阔叶林说明, 常绿阔叶林转变成毛竹林后, 其土壤碳含量和碳储量都有所下降。可能是每年秋冬季节林农挖冬笋和春季挖春笋, 给土壤带来的扰动, 增加了土壤的呼吸作用(李正才等, 2010), 同时也增加水土流失造成有机碳的流失。因此人类经营活动将对土壤有机碳产生深刻的影响, 也往往决定了森林土壤中的碳库

的源/汇功能(黄宇等,2005)。

毛竹林与常绿阔叶林生态系统碳储量分别为 226.75 tC · hm⁻² 和 267.94 tC · hm⁻², 其空间分布格局基本一致: 土壤层是主要碳储部分, 其次为乔木层、细根和灌木层, 凋落层和草本层所占比例最小; 植被层: 土壤层 ≈ 1 : 1.8, 可见土壤是一个极大的碳储量库, 必须科学经营森林、合理保护土壤, 防止它转变成碳源。

大岗山毛竹林和阔叶林植被年固碳量分别为 4.76 tC · hm⁻² · a⁻¹ 和 3.77 tC · hm⁻² · a⁻¹, 相当于同化 CO₂ 17.45 t · hm⁻² · a⁻¹ 和 15.22 t · hm⁻² · a⁻¹。尽管毛竹林植被层生物量比常绿阔叶林低, 但因毛竹具有生长快的特点, 其固碳能力比其它木本植物强, 所以毛竹林固碳能力稍高于常绿阔叶林, 这也验证周国模等(2004)的研究结果, 也说明毛竹林作为碳储林的前景广阔。

总之, 亚热带地区常绿阔叶林转变成毛竹林后, 森林植被生物量、森林土壤碳含量和生态系统总碳储量都有所下降, 但植被固碳能力却有所增强。

参考文献:

- 江西森林编委会. 1986. 江西森林[M]. 南昌: 江西科学技术出版社; 北京: 科学出版社: 222-230
- 蒋有绪. 1996. 中国森林生态系统结构与功能规律研究[M]. 北京: 中国林业出版社
- 刘光崧. 1996. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法——土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社: 121-165
- Fang YT(方运霆), Mo JM(莫江明). 2002. Study on carbon distribution and storage of a pine forest ecosystem in Dinghushan Biosphere Reserve(鼎湖山马尾松林生态系统碳素分配和储量的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **22**(4): 305-310
- Guo ZL(郭忠玲), Zheng JP(郑金萍), Ma YD(马元丹), et al. 2006. A preliminary study on fine root biomass and dynamics of woody plants in several major forest communities of Changbai Mountain, China(长白山几种主要森林群落木本植物细根生物量及其动态)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **26**(9): 2 855-2 862
- Houghton RA, Skole DL, Nobre CA, et al. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon [J]. *Nature*, **403**: 301-304
- Huang Y(黄宇), Feng ZW(冯宗炜), Wang SL(汪思龙), et al. 2005. C and N stocks under three plantation forest ecosystems of Chinese-fir, *Michelia macclurei* and their mixture(杉木、火力楠纯林及其混交林生态系统 C、N 储量)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **25**(12): 3146-3154
- Li SN(李少宁), Wang B(王兵), Guo H(郭浩), et al. 2007. Assessment of forest ecosystem services value in Dagangshan(大岗山森林生态系统服务功能及其价值评估)[J]. *Sci Soil & Water Conserv*(中国水土保持科学), **5**(6): 58-64
- Li ZC(李正才), Yang XS(杨校生), Cai XJ(蔡晓郡), et al. 2010. Effects of bamboo cultivation on the carbon storage(竹林培育对生态系统碳储量的影响)[J]. *J Nanjing Fore Univ: Nat Sci Edi*(南京林业大学学报·自然科学版), **34**(1): 24-2
- Liao LP(廖利平), Yang YJ(杨跃军), Wang SL(汪思龙), et al. 1999. Distribution, decomposition and nutrient return of the fine root in pure *Cunninghamia lanceolata*, *Michelia macclurei* and the mixed plantations(杉木、火力楠纯林及其混交林细根分布、分解与养分归还)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **19**(3): 342-346
- Mo JM(莫江明), Fang YT(方运霆), Peng SL(彭少麟), et al. 2003. Carbon accumulation and allocation of lower subtropical evergreen broad-leaved forests in a MAB reserve of China(鼎湖山南亚热带常绿阔叶林碳素积累和分配特征)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **23**(10): 1 970-1 976
- Wang B(王兵), Li HJ(李海静), LiSN(李少宁), et al. 2005. Studies on community types and species diversity of evergreen broad-leaved forests in Dagangshan Mountain(大岗山中亚热带常绿阔叶林物种多样性研究)[J]. *Acta Agri Univ Jiangxi: Nat Sci Edi*(江西农业大学学报·自然科学版), **27**(5): 678-682, 699
- Wang B(王兵), Wang Y(王燕), Guo H(郭浩), et al. Carbon storage and spatial distribution in *Phyllostachys pubescens* forest in Dagangshan Mountain of Jiangxi Province(江西大岗山毛竹林碳贮量及其分配特征)[J]. *J Beijing Fore Univ*(北京林业大学学报), **31**(6): 39-42
- Xiao FM(肖复明), Fan SH(范少辉), Wang SL(汪思龙). 2007. Carbon storage and spatial distribution in *Phyllostachys pubescens* and *Cunninghamia lanceolata* plantation ecosystem(毛竹、杉木人工林生态系统碳储量及其分配特征)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **27**(7): 2 795-2 801
- Yang QP(杨清培), Li MG(李鸣光), Wang BS(王伯荪), et al. 2003. Dynamics of biomass and net primary productivity in succession of south subtropical forests in Southwest Guangdong(粤西南亚热带森林演替过程中的生物量与净第一性生产力动态)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **14**(12): 2 136-2 140
- Zhou GM(周国模), Jiang PK(姜培坤). 2004. Density, storage and spatial distribution of carbon in *Phyllostachys pubescens* forest(毛竹林的碳密度和碳储量及其空间分布)[J]. *Sci Sil Sin*(林业科学), **40**(6): 20-24
- Zhou YR(周玉荣), Yu ZL(于振良), Zhao SD(赵士洞). 2000. Carbon storage and budget of major chinese forest types(我国主要森林生态系统碳储量和碳平衡)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **24**(5): 518-522