

甘肃小陇山森林植被碳库及其分配特征

程堂仁^{1,2}, 冯 菁³, 马钦彦^{2,*}, 王玉涛², 康峰峰², 冯仲科², 张彦林^{2,4}, 邓向瑞²

(1. 国家花卉工程技术研究中心, 北京 100083; 2. 北京林业大学林学院, 北京 100083;
3. 北京林业大学图书馆, 北京 100083; 4. 甘肃林业职业技术学院, 甘肃天水 741020)

摘要:为准确估计甘肃小陇山林区森林植被的碳库大小,应用干烧法对该地区主要林分类型的 13 种乔木、14 种灌木、10 种草本植物的不同器官和 7 类林分的枯落物有机含碳率进行了测定,同时利用生物量标准地资料对 8 类林分的乔木层平均含碳率及森林植被的储碳密度和碳储量进行了估算,并分析了林分各组件的碳储量分配特征。结果表明:锐齿栎、油松、栓皮栎、白桦、红桦、日本落叶松、华山松、云杉、秦岭冷杉、水曲柳、大叶椴木、五角枫、辽东栎 13 种乔木树种的器官平均含碳率范围为 0.4501~0.5049,14 种灌木和 10 种草本的器官平均含碳率分别为 0.4446 和 0.3270,7 类林分枯落物平均含碳率为 0.4221。该地区 8 类林分的乔木层平均含碳率范围为 0.4676~0.4976;小陇山林区森林植被层平均储碳密度为 39.4254 t hm⁻²,总碳储量为 13.3579 Tg。8 类林分总碳储量分配中,乔木层占 98.07% ± 0.73%,灌木层占 1.38% ± 0.43%,草本层占 0.17% ± 0.08%,枯落物层占 0.37% ± 0.37%。甘肃小陇山 8 类林分乔木层的平均储碳密度值与我国及世界各地森林平均储碳密度的一些估计值基本接近。

关键词:森林植被;碳库分配;含碳率;储碳密度;碳储量;干烧法

文章编号:1000-0933(2008)01-0033-12 中图分类号:Q143,Q948,S718.55*6 文献标识码:A

Carbon pool and allocation of forest vegetations in Xiaolong Mountains, Gansu Province

CHENG Tang-Ren^{1,2}, FENG Jing³, MA Qin-Yan^{2,*}, WANG Yu-Tao², KANG Feng-Feng², FENG Zhong-Ke², ZHANG Yan-Lin^{2,4}, DENG Xiang-Rui²

1 National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3 Beijing Forestry University Library, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

4 Gansu Forestry Technological College, Tianshui 741020, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0033 ~ 0044.

Abstract: In order to accurately estimate the size of carbon pool in the forest region of Xiaolong Mountains (Gansu Province, China), carbon content rates (CCRs) of dominant forest vegetations (13 tree species, 14 shrub species, 10 herbaceous plants) and the forest litters of 7 stand types were measured with dry combustion method. Based on the biomass data from sample plots, the average CCR of tree layer, carbon storage density and carbon storage of forest vegetation were calculated, as well as the carbon storage allocation of each component in 8 forest stands. The average CCR of the 13 tree species, *Quercus Aliena* var. *Acuteserrata*, *Pinus tabulaeformis*, *Quercus variabilis*, *Betula platyphylla*, *Betula albo-*

基金项目:国家自然科学基金中国西部环境和生态科学重大研究计划资助项目(90302014)

收稿日期:2007-03-22; **修订日期:**2007-11-07

作者简介:程堂仁(1973~),男,安徽泾县人,博士,主要从事森林生态系统研究。E-mail: chengtangren@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: maqinyan@bjfu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China(No. 90302014)

Received date:2007-03-22; **Accepted date:**2007-11-07

Biography: CHENG Tang-Ren, Ph. D., mainly engaged in forest ecosystem. E-mail: chengtangren@163.com

sinensis, *Larix kaempferi*, *Pinus armandii*, *Picea asperata*, *Abies chensiensis*, *Fraxinus mandshurica*, *Cornus macrophylla*, *Acer mono*, and *Quercus liaotungensis* ranges from 0.4501 to 0.5049. The mean CCR of shrubs (14), herbaceous plants (10) and forest litters (7 stands) are 0.4446, 0.3270 and 0.4221, respectively. In this region, the average CCR of tree layer in the 8 stands varies between 0.4676 and 0.4976. Results show that the carbon storage density of forest vegetation in Xiaolong Mountains is $39.4254 \text{ t hm}^{-2}$, and carbon storage is 13.3579 Tg. In the tested 8 stands, carbon storage allocations of tree layer, shrub layer, herb layer and forest litters are $98.07\% \pm 0.73\%$, $1.38\% \pm 0.43\%$, $0.17\% \pm 0.08\%$ and $0.37\% \pm 0.37\%$, respectively. We conclude that the estimated tree layer carbon storage density in Xiaolong Mountains is similar to the reported value in other areas of China and around the world.

Key Words: forest vegetation; carbon storage and allocation; carbon content rate; carbon storage density; carbon storage; dry combustion method

森林生态系统是地球上最大的陆地碳库(1146 Gt C),约占全球陆地总碳库(2477 Gt C)的46%^[1],在全球碳循环和碳平衡中起着十分重要的作用。目前,估计不同尺度上森林碳贮量及其CO₂通量,普遍采用直接或间接测定森林植被的生产量与生物量现存量再乘以生物量中碳元素含量的方法来推算^[2],因此,森林群落的生物量及其组成树种的含碳率是研究森林碳贮量与碳通量的两个关键因子。本文以甘肃小陇山为例,对该地区主要林分类型建群种含碳率进行了测定,同时利用生物量标准地资料对8类林分的乔木层平均含碳率、林分储碳密度和碳储量进行了估算,并分析了林分各组分的碳储量分配特征,为进一步了解中国西部森林生态系统碳循环特征和减少我国森林碳库和碳汇评价中的不确定性提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

小陇山位于甘肃省东南部,地处秦岭西段(33°30'~34°49'N,104°22'~106°43'E),是暖温带向亚热带的过渡地带。年平均气温7~12℃,极端最高温度39.2℃,最低-23.2℃,≥10℃年积温2444~3825℃;年日照时数1520~2313h;无霜期120~218d;年均降雨量460~900mm,雨季集中在7、8、9月份;年蒸发量989~1658mm,相对湿度68%~79%;干燥度0.89~1.29,属湿润和半湿润类型区;区内土壤多属壤土、轻壤土,pH值6.5~7.5。全区有木本植物824种,其中乔木树种312种,灌木512种;草本植物1687种^[3,4]。

1.2 试验设计和测定方法

1.2.1 标准地设置

试验选择林相相对整齐、具有一定代表性的地段作为固定标准地。根据各类林分所占比例和优势树种,布设0.06hm²(24.495m×24.495m)的正方形固定标准地40块^[5],在每块标准地内按对角线布设5个4m²(2m×2m)的样方。另根据收集的林场森林资源调查资料,设置临时标准地1219块(基本情况见表1)^[3]。

1.2.2 实验材料采集与处理

标准地每木检尺,确定林分平均木和优势木。伐倒标准木,根据径阶有选择地用全挖法挖根。因小陇山全辖区属国家天然林保护工程,采伐活立木受到极大限制,经甘肃省林业厅批准,试验共采伐标准木102株。分别对各伐倒木的器官(干、干皮、枝、叶、根)进行取样,其中干、干皮从树干基部到梢头分段取样,枝(带皮)从粗枝到细枝按比例取样,叶混和取样包括不同大小及不同年龄的叶片,根包括主根、侧根及大于2mm的细根;分别对林下样方的灌木层(干枝、叶、根)、草本层(叶、根)和枯落物层进行取样,方法与乔木层取样相似。

本研究在小陇山共采集了13种乔木、14种灌木、10种草本植物以及7类林分的枯落物(落叶松林下未采集到枯落物)样品(表2)。乔木树种包括锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、红桦(*Betula albo-sinensis*)、日本落叶松(*Larix kaempferi*)、华山松(*Pinus armandii*)、云杉(*Picea asperata*)、秦岭冷杉(*Abies chensiensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、大叶棕子木(*Cornus macrophylla*)、五角枫(*Acer mono*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)等13种;灌木包括悬钩

接表 1,2

子(*Rubus* sp.)、蔷薇(*Rosa* sp.)、榛子(*Corylus heterophylla*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、黄栌(*Cotinus coggygia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、毛樱桃(*Cerasus tomentosa*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、牛奶子(*Elaeagnus umbellata*)、山荆子(*Malus baccata*)、椴树(*Tilia tuan*)、卫茅(*Euonymus alatus*)、箭竹(*Sinarundinaria nitida*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)等14种;草本植物包括长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、白草(*Pennisetum flaccidum*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、灯心草(*Juncus effusus*)、野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、野草莓(*Fragaria vesca*)、野棉花(*Anemone hupehensis*)、唐松草(*Thalictrum* sp.)等10种^[3,6]。

将采集的所有样品在粉碎前均放入85℃的恒温箱中烘至恒重。考虑到在分析时样品的实际用量很少,为了保证取样全面及混和均匀,本实验采用3次粉碎法制样,即初次粉碎时取样量较大,在初次粉碎的基础上按四分法取其中的1/4进行第2次粉碎,然后依法进行第3次粉碎,经粉碎的样品过100目筛后装瓶备用。制取14种灌木的3组样品(枝、叶、根)、10种草本的2组样品(叶、根)、7类林分枯落物的1组样品,先按乔木树种各组分的制样方法独立制样,然后分别在各种灌木、草本、枯落物的相同组分中等量称取3g经充分混和后称取3g作为其分析样(表2)。所有粉碎后的样品在分析前,再次放入85℃的恒温箱中烘24h。

1.2.3 样品含碳率分析

木质样品中有机含碳率测定方法可分为两种,即湿烧法与干烧法,湿烧法(以重铬酸钾-硫酸氧化法为代表)的误差一般为±2%~±4%^[7],干烧法的误差不超过±0.3%^[8],因此干烧法的分析精度远高于湿烧法。本研究样品的有机含碳率测定采用干烧法,具体采用Elementar Vario EL(Germany)元素分析仪进行样品分析,每次测2个平行样,测定结果取平均值,误差为±0.3%。

1.3 数据处理

1.3.1 生物量估算

采取径阶-株数法^[9]对乔木层各器官进行生物量估算,采取收获法^[10]估算林下灌木层、草本层、枯落物层生物量。具体估算方法详见“甘肃小陇山森林生物量研究”^[3]。

1.3.2 变异系数计算

变异系数(Coefficient of Variation,简称为C·V)是以相对数形式表示的变异指标,反映的是单位平均水平下标志值的离散程度,它是通过变异指标中的全距、平均差或标准差与平均数对比得到的,常用的是标准差系数,用公式(1)计算^[11]。本文数据处理中的变异系数均是指标准差变异系数。

$$C \cdot V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}}{\frac{1}{n} \sum x_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中, S 为样本标准差, \bar{x} 为样本平均值, n 样本数($i=1,2,\dots,n$)。

1.3.3 林分平均含碳率计算

由于树种不同组分的含碳率值存在着一定的差异,单木或林分各组分的生物量在总生物量中所占的权重又不尽相同,因此以每个树种各组分含碳率的算术平均值来作为该树种或由该树种所组成的林分的平均含碳率值并不能真实地反映实际含碳率情况。只有根据各组分的生物量权重计算林分的平均含碳率,才能真实地反映其实际平均水平及每一组分在平均值中的贡献,林分的平均含碳率用公式(2)进行计算。

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

式中, \bar{P} 是某类林分的平均含碳率; P_i 是某类林分的第*i*块标准地的生物量加权平均含碳率($i=1,2,\dots,n$),用公式(3)进行计算:

$$P_i = \frac{\sum W_{ij} P_{ij}}{\sum W_{ij}} \quad (3)$$

式中, W_{ij} 、 P_{ij} 分别指第 i 株树的 j 组分的生物量、含碳率 ($i=1, 2, \dots, n; j=$ 干, 皮, 枝, 叶, 根)。

1.3.4 森林植被储碳密度和碳库计算

根据标准地资料、不同林分的基本资料、林分各部分生物量、森林植被各组分的含碳率, 利用式(4)分别对小陇山 8 类林分的乔木层、灌木层、草本层、枯落物层的各组分和总储碳密度进行估算, 利用式(5)分别估算 8 类林分的各层次的碳储量, 利用式(6)按面积加权分别计算小陇山林区不同层次各组分的平均储碳密度以及碳储量。

$$D_c = B \cdot R_c \quad (4)$$

式中, D_c 为某类林分某组分储碳密度 (t hm^{-2}), B 为生物量 (t hm^{-2}), R_c 为某类林分某组分含碳率。

$$S_c = D_c \cdot S \times 10^{-6} \quad (5)$$

式中, S_c 为某类林分各组分(总)碳储量 (Tg), D_c 为某类林分各组分(总)储碳密度 (t hm^{-2}), S 为某类林分面积 (hm^2)。

$$\bar{D}_c = \frac{\sum D_{ci} S_i}{\sum S_i} \quad (6)$$

式中, \bar{D}_c 为小陇山林区乔木层某组分平均储碳密度 (t hm^{-2}), D_{ci} 为小陇山林区某类林分乔木层(灌木层、草本层、枯落物层)某组分平均储碳密度 (t hm^{-2}), S_i 为小陇山林区某类林分面积 (hm^2)。

2 结果与分析

2.1 含碳率分析

2.1.1 各树种的组分含碳率特征

各树种的含碳率分析测定结果(表 3)表明, 在所研究的乔木树种中以白桦干皮的含碳率最高, 以大叶栎子木干皮最小。无论是同一树种各组分之间还是不同树种的相同组分之间的含碳率变化幅度都不大。种内各组分之间的含碳率变化以日本落叶松最小, 白桦最大, 所有树种种内组分之间的含碳率变异系数在 5% 以内, 组分之间的含碳率极差(最大值与最小值之差)均不超过 6%。不同树种的相同组分之间含碳率变化幅度相对大一些, 各组分含碳率的种间变异系数在 6.6% 以内, 各组分含碳率的种间极差在 10.6% 以内。从总体上看, 不同树种各组分含碳率高低随机分布, 并不呈现出某种规律性的变化, 其大小完全由各树种自身的特性决定。但从树种的形态学特性比较可以看出, 针叶树种各组分的含碳率普遍高于阔叶树种, 所有针叶树种各组分的平均含碳率均相应高于阔叶树、灌木树种和草本。各树种的地上部分平均含碳率与总平均含碳率十分接近, 其差值在 0.6% 以内; 树种的平均含碳率的种间比较是针叶树种高于阔叶树种(白桦例外)、14 种灌木、10 种草本和 7 类林分的枯落物。

2.1.2 林分的平均含碳率特征

表 3 可以看出, 同一树种的不同组分和不同树种的同一组分的含碳率值均存在着一定的差异。根据小陇山地区的标准地资料和乔木各组分生物量^[3]、含碳率, 用公式(2)、(3)分别计算出 8 类林分的乔木层平均含碳率(表 4)。

结果表明, 在一定的区域内, 尽管树种各组分生物量在总生物量中所占的比例随树种的年龄、立地条件等变化而变化, 但林分按生物量加权的平均含碳率值受这些因素的影响却很小, 是一个相对稳定的值, 从变异系数可以看出其平均含碳率的变化幅度非常小, 表 4 中 8 类林分的平均含碳率无论是地上部分平均还是林分总平均其变异系数均在 0.21% 以内, 各树种林分地上部分的平均含碳率与林分的总平均含碳率也相差不大, 8 类林分的最大差值为 0.49%。将表 3 中的树种按组分平均含碳率与表 4 中的相应的林分按生物量加权平均含碳率比较, 其差值在 1.81% 以内。4 种针叶林分和杨桦林的平均含碳率值比较接近, 均在 0.49 左右 (0.49 ± 0.01), 其他 3 种阔叶林分的含碳率稍低于此值, 接近 0.47。

2.2 森林植被碳库和储碳密度

甘肃小陇山 8 类林分的乔木层、灌木层、草本层、枯落物层各组分平均储碳密度和碳储量计算结果见表 5~8。

接表 3,4

表 5 小陇山 8 类林分乔木层不同组分的储碳密度及碳储量

Table 5 Carbon storage and density of different components of tree layer in 8 stand types in Xiaolong Mountains

林分 Stand	面积 Area (hm^2)	储碳密度 Carbon storage density (t hm^{-2})							碳储量 Carbon storage (Tg)
		干 Stem	干皮 Bark	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root	地上部分 Above ground	总 Total	
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	178556.8	21.6233	4.2415	4.7893	0.5737	7.0435	31.2278	38.2713	6.8336
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	46755.8	14.7226	2.7549	4.8616	2.4887	5.3689	24.8278	30.1967	1.4119
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	16995.9	14.9511	3.9115	6.2228	1.5755	10.6854	26.6609	37.3463	0.6347
杨、桦 <i>Populus</i> sp. and <i>Betula</i> sp.	7082.5	18.9504	2.7866	6.6362	1.1466	6.8986	29.5198	36.4184	0.2579
落叶松 <i>Larix</i> sp.	6241.5	19.0225	3.1107	4.5473	0.4098	5.9458	27.0903	33.0361	0.2062
华山松 <i>Pinus armandii</i>	4813.0	16.1123	2.5843	9.6031	2.0273	3.1566	30.3270	33.4836	0.1612
云、冷杉 <i>Picea</i> sp. and <i>Abies</i> sp.	444.0	22.7211	2.9921	10.0596	4.3813	6.1104	40.1541	46.2645	0.0205
其他阔叶混交林 The other-broad leaved mixed forest	77925.5	23.3223	2.2401	9.2512	1.6447	8.7479	36.4583	45.2062	3.5227
合计 Total	338815.0	20.5464	3.4831	6.0068	1.1691	7.3074	31.2054	38.5129	13.0487

表 5 显示,林分乔木层储碳密度在不同林分之间和相同林分的各组分之间均存在较大差异,无论是相同林分的不同组分之间,还是不同林分的相同组分之间均呈现出极大的差异性,与林分生物量、含碳率分布呈现出类似的规律。

由式 4~6 知,林分储碳密度和碳储量的大小与林分生物量、含碳率、林分面积直接相关,而林分生物量直接受林分平均胸径、平均树高和林分密度影响,含碳率因树种而异,由测树学可知,胸径、树高是林木的生长指标,除受立地条件和外界环境影响外,树木年龄是很重要的影响因子,因此林分的树种结构、年龄结构与林分面积直接影响森林生态系统的储碳密度和碳储量,即森林的碳循环过程及其碳储量的分布在时间上和空间上均存在差异性。因此,森林生态系统的碳储量与储碳能力是一个随着时间连续变化的动态过程,在区域尺度、国家尺度、全球尺度的森林生态系统碳循环研究中,如果用历史数据来推算森林未来某一时段碳库及储碳能力的大小必须十分谨慎,否则将会产生较大的误差。

表 6 小陇山 8 类林分灌木层不同组分的储碳密度及碳储量

Table 6 Carbon storage and density of different components of shrub layer in 8 stand types in Xiaolong Mountains

林分 Stand	面积 Area (hm^2)	储碳密度 Carbon storage density (t hm^{-2})					碳储量 Carbon storage (Tg)
		枝 + 茎 Stem & Branch	叶 Leaf	根 Root	地上部分 Above ground	总 Total	
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	178556.8	0.3417	0.0509	0.2893	0.3926	0.6819	0.1218
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	46755.8	0.2706	0.0401	0.1384	0.3107	0.4491	0.0210
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	16995.9	0.3061	0.0455	0.2138	0.3516	0.5654	0.0096
杨、桦 <i>Populus</i> sp. and <i>Betula</i> sp.	7082.5	0.3182	0.0632	0.2388	0.3814	0.6202	0.0044
落叶松 <i>Larix</i> sp.	6241.5	0.3066	0.0650	0.2421	0.3716	0.6137	0.0038
华山松 <i>Pinus armandii</i>	4813.0	0.3133	0.0640	0.2401	0.3773	0.6174	0.0030
冷杉* <i>Abies</i> sp.	300.7	0.3182	0.0632	0.2388	0.3814	0.6202	0.0002
其他阔叶混交林 The other broad-leaved mixed forest	77925.5	0.2967	0.0935	0.3233	0.3902	0.7135	0.0556
合计 Total	338671.7	0.3182	0.0597	0.2698	0.3778	0.6102	0.2193

* 由于云杉林多为人工林,均已形成郁闭,林下无灌草生长,只有林木自身的枯落物;冷杉林林下灌木、草本层与红桦林类似 No shrub and herb but only forest litter under the *Picea* sp. forests because most *Picea* sp. plantations had formed canopy structure; the shrub and herb layer under *Abies* sp. forests is similar to those under the *Betula albo-sinensis* forests

表 7 小陇山 8 类林分草本层不同组分的储碳密度及碳储量

Table 7 Carbon storage and density of different components of herb layer in 8 stand types in Xiaolong Mountains

林分 Stand	面积 (hm^2) Area	储碳密度 Carbon storage density (t hm^{-2})			碳储量 Carbon storage (Tg)
		叶 Leaf	根 Root	总 Total	
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	178556.8	0.0180	0.0196	0.0376	0.0067
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	46755.8	0.0268	0.0413	0.0682	0.0032
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	16995.9	0.0224	0.0305	0.0529	0.0009
杨、桦 <i>Populus</i> sp. and <i>Betula</i> sp.	7082.5	0.0477	0.0216	0.0694	0.0005
落叶松 <i>Larix</i> sp.	6241.5	0.0406	0.0424	0.0830	0.0005
华山松 <i>Pinus armandii</i>	4813.0	0.0188	0.0389	0.0577	0.0003
冷杉* <i>Abies</i> sp.	300.7	0.0477	0.0216	0.0694	0.00002
其他阔叶混交林 The other broad-leaved mixed forest	77925.5	0.0141	0.0270	0.0411	0.0032
合计 Total	338671.7	0.0196	0.0256	0.0452	0.0153

* 由于云杉林多为人工林,均已形成郁闭,林下无灌草生长,只有林木自身的枯落物;冷杉林林下灌木、草本层与红桦林类似 No shrub and herb but only forest litter under the *Picea* sp. forests because most *Picea* sp. plantations had formed canopy structure; the shrub and herb layer under *Abies* sp. forests is similar to those under the *Betula albo-sinensis* forests

表 8 小陇山 8 类林分枯落物层的储碳密度及碳储量

Table 8 Carbon storage and density of forest litter layer in 8 stand types in Xiaolong Mountains

林分 Stand	面积 (hm^2) Area	储碳密度 (t hm^{-2}) Carbon storage density	碳储量 (Tg) Carbon storage
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	178556.8	0.2427	0.0433
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	46755.8	0.2236	0.0105
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	16995.9	0.2332	0.0040
杨、桦 <i>Populus</i> sp. and <i>Betula</i> sp.	7082.5	0.2005	0.0014
落叶松* <i>Larix</i> sp.	6241.5	0.0000	0.0000
华山松 <i>Pinus armandii</i>	4813.0	0.2216	0.0011
云杉* <i>Picea</i> sp.	143.3	0.2255	0.00003
其他阔叶混交林 The other broad-leaved mixed forest	77925.5	0.1842	0.0144
合计 Total	338514.3	0.2205	0.0746

* 落叶松林、冷杉林没有收集到枯落物 No forest litter under the *Larix* sp. plantations and *Abies* sp. forests

2.3 小陇山森林植被碳库分配特征

将表 5~8 中甘肃小陇山各类林分森林植被的各部分碳储量的估算结果汇总于表 9。

表 9 显示,甘肃小陇山地区森林植被层总储碳密度从小到大顺序依次为:油松 < 落叶松 < 华山松 < 杨、桦 < 栓皮栎 < 锐齿栎 < 其他阔叶混交 < 云、冷杉。小陇山林区各林分森林植被层平均储碳密度为 $39.4254 \text{ t hm}^{-2}$,总碳储量为 13.3579 Tg ,其中以锐齿栎林的碳储量最大,其他阔叶混交林的碳储量次之,分别占该区域森林植被层总碳储量的 52.44% 和 26.92%。在甘肃小陇山 8 类林分森林植被总碳储量构成中,森林乔木层占 97.34%~98.80%,灌木层占 0.96%~1.81%,草本层占 0.09%~0.24%,森林枯落物占 0%~0.73%。乔木层碳储量在森林植被总碳储量中占有极大的比重,在森林生态系统碳循环中具有重要的地位与作用。

3 结论与讨论

(1) 小陇山主要林分类型的 13 种乔木树种的器官平均含碳率范围为 0.4501~0.5049,针叶树种组分的平均含碳率普遍高于阔叶树种,平均高出 1.47%~3.40%。种内各组分的含碳率变异系数在 1.55%~4.91% 之间,组分含碳率的种间变异系数在 1.75%~6.59% 之间,与中国热带雨林变异系数(6.5%~15%)相比这种变动幅度相对较小^[12]。该地区 8 类林分按生物量加权的乔木层平均含碳率范围为 0.4676~0.4976,相应的针叶林分的平均含碳率也高于阔叶林。

(2) 各树种组分的平均含碳率值(算术平均)与林分的平均含碳率值(按生物量加权平均)非常接近,在本研究所涉及的 13 个乔木树种中其差值不超过 1.81%,国内的一些同类研究也支持这一点,但热带雨林是个例外(表 10)。

接表 9,10

(3) 在过去的区域和国家尺度的森林生态系统碳储量的估算中,国内外研究者大多采用 0.5 来作为所有森林类型的平均含碳率^[2,17~25],也有采用 0.45 作为平均含碳率的^[26~28],极少数根据不同森林类别采用不同含碳率,如 Birdsey 在估算美国森林生态系统的碳储量时针叶林按 0.521 的含碳率计算,阔叶林按 0.498 计算^[29,30],Shvidenko 等人在估算俄罗斯北方森林的碳储量时对于木质植物生物量按 0.5 的含碳率计算,其余植被成份则按 0.45 计算^[31]。

根据本研究及前人(表 10)的研究结果,中国乔木树种平均含碳率值均大于 0.45,以 0.45 作为平均含碳率转换系数无论对针叶树、阔叶树亦或全部乔木树种都明显偏小,在估算中国森林乔木层的碳储量或碳通量时可能带来 3%~10% 的负系统误差^[2]。本研究中,阔叶树的平均含碳率值大多接近 0.47,针叶树种的平均含碳率接近 0.49,相对目前国内外普遍应用的两种森林植被生物量含碳率换算系数 0.45 与 0.5,以 0.48 作为转换系数来估算全部森林乔木层的碳储量,估算结果可能更优。更精确的估算应该是依据不同区域不同森林类型而采用不同的含碳率转换系数。

(4) 与前人研究比较(表 10),小陇山地区森林植被的无论是树种还是相应林分的含碳率均普遍小于华北地区,如针叶树种各组分平均含碳率相差 1.1%~3.3%,针叶树种平均含碳率相差 1.4%,针叶林分平均含碳率相差 1.5%;与甘肃中部的祁连山地区相比也存在一定的差异,两种云杉各组分平均含碳率相差 1.1%~7.7%,树种平均含碳率相差 3.6%,林分平均含碳率相差 3.1%。由此可以得出结论,生长在不同区域的同一树种各组分的含碳率不尽相同,组成的林分含碳率也存在差异。因此,森林碳储量的估算精度与估算单元的区域尺度密切相关,建立在小区域尺度或区域森林生态系统尺度上的估算精度较高,树种的含碳率可能与树木的生长情况有关,即含碳率与影响林木生长的纬度、海拔、降水等气候条件相关。

(5) 研究结果表明,甘肃小陇山 8 类林分乔木层的平均储碳密度值(39.4254 t hm⁻²) 与我国及世界各地森林平均储碳密度的一些估计值基本接近(表 11)。由此可见,甘肃小陇山的森林植被储碳密度处于我国的平均水平,森林植被相对较好,这也是国家实施天然林保护工程的积极成果,同时,小陇山林管局积极加强林政管理、造林营林、改善林分结构,也为提高该地区森林的碳储量和储碳能力奠定了良好的基础。该地区的各类森林生态系统的碳储量还有很大的潜力空间。

表 11 不同国家和地区森林碳库和平均储碳密度

Table 11 Carbon pool and average carbon storage density in different country or region

国家或地区 Country or region	森林面积(M hm ²) Area of forests	碳库(Pg C) Carbon pools	平均储碳密度(t hm ⁻²) Average carbon storage density	资料来源 Reference
中国 China	108.6	4.2~5.4	38.4~49.45	[24,25,27,32]
前苏联 FSU	800	46.3~50.2	57.9~62.7	[33]
俄罗斯 Russia	771.1	25.6~42.1	33.2~47.6	[34~36]
美国 USA	200.7	11.4~12.2	56.6~61.0	[29,30]
加拿大 Canada	440.8	15.2	30.7	[37]
温带 Temperate zone	600.0	33.7	57.1	[38]

References:

- [1] Watson R T, Noble I R, Bolin B, *et al.* Land use, land-use change, and forestry, A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 30
- [2] Ma Q Y, Chen X L, Wang J, *et al.* Carbon content rate in constructive species of main forest types in northern China. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(5-6): 96-100.
- [3] Cheng T R, Ma Q Y, Feng Z K, *et al.* Research on forest biomass in Xiaolong Mountains, Gansu Province. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(1): 31-36.
- [4] Mao X W, Zhang H L, Kong H. A study on composition and characteristics of floristic in Xiaolong Mountains. Bulletin of Botanical Research, 2003, 23(4): 485-491.

- [5] Kang X G. Forest resource management. Beijing: China Forestry Publishing House,2001. 79.
- [6] An D G. Flora of Xiaolong Mountains, Gansu Province. Lanzhou:Gansu Nationalities Press ,1995. 126 — 1106.
- [7] Dong M. Investigation, observation and analyse of land biocoenosis. Beijing:Standards Press of China, 1997. 152 — 153.
- [8] Analytical Chemistry Staff room of Chemistry Department, Hangzhou University. Manual of Analytical Chemistry (the 2nd fascicule: chemical analyse). Beijing: Chemical Industry Press,1982. 935 — 941.
- [9] Ma Q Y. A study on the biomass of Chinese pine forests. Journal of Beijing Forestry University ,1989,11(4) :1 — 10.
- [10] Satou D, Tsutsumi T. Mass production of terrestrial plant communities. Nie S Q, Ding B Y, tran. Beijing: Science Press,1986. 21 — 47.
- [11] Huang L W. Statistical Elements, Beijing: China Statistical Press,2000. 84 — 85.
- [12] Li Y D, Wu Z M, Zeng Q B, *et al.* Estimation of community productivity and net CO₂ accumulation of a tropical mountain rein forest in Jianfengling, Hainan island, China. Acta Phytoecologica Sinica,1998,22(2) :127 — 134.
- [13] Wu Z M, Li Y D, Zeng Q B, *et al.* Carbon pool of tropical mountain rain forests in Jianfengling and effect of clear cutting on it. Chin J Appl Ecol, 1998,9(4) :341 — 344.
- [14] Wang J Y, Che K J, Jiang Z R. A study on carbon balance of *Picea crassifolia* in Qilian Mountains. Journal of Northwest Forestry University,2000, 15(1) :9 — 14.
- [15] Ruan H H, Jiang Z L, Gao S M. Preliminary studies of carbon cycling in three types of forests in the hilly regions of southern Jiangsu Province. Chin J Ecol,1997,16(6) :17 — 21.
- [16] Li M H, Yu M J, Chen Q C, *et al.* Dynamics of carbon in the evergreen broadleaved forest dominated by *Cyclobalanopsis Glauca*. Acta Ecologica Sinica, 1996,16(6) :645 — 651.
- [17] Sykes M, Prentice C. Carbon storage and climate change in Swedish forest:a comparison of static and dynamic modeling approaches. In: Apps M J, Price D T. eds. Forest Ecosystems,Forest Management and the Global Carbon Cycle. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag,1996. 69 — 77.
- [18] Larcher W. Physiological plant ecology. Berlin:Springer-Verlag,1980. 252.
- [19] Nabuurs C J. Significance of wood products in forests actor carbon. In: Apps M J,Price D T, eds. Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle. Berlin:Springer-Verlag,1996. 245 — 256.
- [20] Houghton R A, Skole D L, Nobre C A, *et al.* Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. Nature, 2000,403: 301 — 304.
- [21] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, *et al.* Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. Science, 2001, 292:2320 — 2322.
- [22] Fang J Y. Forest productivity in China and its response to global climate change. Acta Phytoecologica Sinica, 2000,24(5) :513 — 517.
- [23] He Q T. Influence of forest on circulation of carbon in the system of earth and atmosphere. Journal of Beijing Forestry University,1993,15(3) :132 — 136.
- [24] Ma Q Y, Xie Z M. Estimation of the Carbon Stored in Chinese Pine Forests. Journal of Beijing Forestry University, 1996, 18(3) :31 — 34.
- [25] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. Acta Ecologica Sinica, 2000,20(5) :733 — 740.
- [26] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon Storage and Budget of Major Chinese Forest Types. Acta Phytoecologica Sinica,2000,24(5) :518 — 522.
- [27] Zhao S D, Wang Y X, Yu Z L, *et al.* Study on carbon cycling in China forestry ecosystem. Message of China Ecological Society, 2000(Spec.) :50 — 52.
- [28] Wang X K, Feng Z W, OuYang Z Y. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystems in China. Chin J Appl Ecol, 2001,12(1) :13 — 16.
- [29] Birdsey R A. Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems. General Technical Report WO-59. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service ,1992. 51
- [30] Turner D P, Koepper G J, Harmon M E, *et al.* A carbon budget for forests of the conterminous United States. Ecological Applications. 1995,5(2) : 421 — 436.
- [31] Shvidenko A Z, Nilsson S, Rojikov V A, *et al.* Carbon budget of the Russian boreal forests; a systems analysis approach to uncertainty. In: Apps M J, Price D T. eds. Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle. Berlin: Springer-Verlag,1996,145 — 162.
- [32] Fang J Y, Wang G G, Liu G H, *et al.* Forest biomass of China: an estimation based on the biomass-volume relationship. Ecological Applications, 1998, (8) :1084 — 1091.
- [33] Kolchugina T P, Vinson T S. Comparison of two methods to assess the carbon budget of forest biome in the Former Soviet Union. Water, Air and Soil Pollution,1993,70:207 — 221.
- [34] Alexeyev V, Birdsey R, Stakanov V, *et al.* Carbon in vegetation of Russian forests: Methods to estimate storage and geographical distribution. Water, Air and Soil Pollution,1995,82:271 — 282.

- [35] Krankina O N, Harmon M E, Winjum J K. Carbon storage and sequestration in Russian forest sector. *Ambio*, 1996, 25(4) : 284 — 288.
- [36] Isaev A, Korvin G, Zamolodchikov D, *et al.* Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, 82: 247 — 256.
- [37] Kurz W A, Apps M J, Webb T M, *et al.* The carbon budget of the Canadian forest sector: Phase I. Nor-X-326. Forestry Canada, Edmonton, Alberta, Canada, 1992. 40 — 51.
- [38] Heath L S, Kauppi P E, Burschel P, *et al.* Contribution of temperate forests to the world's carbon budget. *Water, Air and Soil Pollution*, 1993, 70: 55 — 69.

参考文献:

- [2] 马钦彦,陈遐林,王娟,等. 华北主要森林类型建群种的含碳率分析. *北京林业大学学报*, 2002, 24(5-6) : 96 ~ 100.
- [3] 程堂仁,马钦彦,冯仲科,等. 甘肃小陇山森林生物量研究. *北京林业大学学报*, 2007, 29(1) : 31 ~ 36.
- [4] 毛学文,张海林,孔红. 小陇山种子植物区系组成及特征的研究. *植物研究*, 2003, 23(4) : 485 ~ 491.
- [5] 亢新刚. 森林资源经营管理. 北京: 中国林业出版社, 2001. 79.
- [6] 安定国. 甘肃小陇山高等植物志. 兰州: 甘肃民族出版社, 1995. 126 ~ 1106.
- [7] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社, 1997. 152 ~ 153.
- [8] 杭州大学化学系分析化学教研室编. 分析化学手册(第二分册: 化学分析). 北京: 化学工业出版社, 1982. 935 ~ 941.
- [9] 马钦彦. 中国油松生物量的研究. *北京林业大学学报*, 1989, 11(4) : 1 ~ 10.
- [10] 佐藤大七郎,堤利夫. 陆地植物群落的物质生产. 聂绍荃,丁宝永,译. 北京: 科学出版社, 1986. 21 ~ 47.
- [11] 黄良文. 统计学原理, 北京: 中国统计出版社, 2000. 84 ~ 85.
- [12] 李意德,吴仲民,曾庆波,等. 尖峰岭热带山地雨林群落生产和二氧化碳同化净增量的初步研究. *植物生态学报*, 1998, 22(2) : 127 ~ 134.
- [13] 吴仲民,李意德,曾庆波,等. 尖峰岭热带山地雨林 C 素库及皆伐影响的初步研究. *应用生态学报*, 1998, 9(4) : 341 ~ 344.
- [14] 王金叶,车克钧,蒋志荣. 祁连山青海云杉林碳平衡研究. *西北林学院学报*, 2000, 15(1) : 9 ~ 14.
- [15] 阮宏华,姜志林,高苏铭. 苏南丘陵主要森林类型碳循环研究——含量与分布规律. *生态学杂志*, 1997, 16(6) : 17 ~ 21.
- [16] 李铭红,于明坚,陈启瑞,等. 青冈常绿阔叶林的碳素动态. *生态学报*, 1996, 16(6) : 645 ~ 651.
- [22] 方精云. 中国森林生产力及其对全球气候变化的响应. *植物生态学报*, 2000, 24(5) : 513 ~ 517.
- [23] 贺庆棠. 森林对地气系统碳素循环的影响. *北京林业大学学报*, 1993, 15(3) : 132 ~ 136.
- [24] 马钦彦,谢征鸣. 中国油松林储碳量基本估计. *北京林业大学学报*, 1996, 18(3) : 31 ~ 34.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 赵士洞,汪业勋,于振良,等. 中国森林生态系统碳循环研究. *中国生态学会通讯*, 2000(特刊) : 50 ~ 52.
- [28] 王效科,冯宗炜,欧阳志云. 中国森林生态系统植物碳储量和碳密度研究. *应用生态学报*, 2001, 12(1) : 13 ~ 16.

表 3 小陇山森林植被各组成部分的含碳率(%)

Table 3 Tissue's carbon content rate of forest vegetation in Xiaolong Mountains

树种 Tree species	干 Stem	干皮 Bark	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root	地上部分平均 Average of above ground	树种平均 Average of tree species	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation	含碳率极差 Range of carbon content rate
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.4772	0.4578	0.4610	0.4813	0.4492	0.4693	0.4653	0.0135	2.91	0.0321
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0.4935	0.5258	0.4996	0.5241	0.4817	0.5108	0.5049	0.0194	3.84	0.0441
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	0.4710	0.4934	0.4590	0.4974	0.4566	0.4802	0.4755	0.0190	4.00	0.0408
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	0.4732	0.5332	0.4900	0.5135	0.4826	0.5025	0.4985	0.0245	4.91	0.0600
红桦 <i>Betula albo-sinensis</i>	0.4810	0.4929	0.4880	0.5081	0.4745	0.4925	0.4889	0.0128	2.62	0.0336
日本落叶松 <i>Larix kaempferi</i>	0.4853	0.5034	0.4919	0.5027	0.4982	0.4958	0.4963	0.0077	1.55	0.0181
华山松 <i>Pinus armandii</i>	0.4927	0.4880	0.4881	0.5190	0.4932	0.4970	0.4962	0.0130	2.62	0.0310
云杉 <i>Picea asperata</i>	0.4909	0.4806	0.4981	0.5112	0.4724	0.4952	0.4906	0.0151	3.08	0.0388
秦岭冷杉 <i>Abies chensiensis</i>	0.4920	0.4722	0.4757	0.5295	0.4839	0.4924	0.4907	0.0230	4.69	0.0573
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	0.4802	0.4519	0.4644	0.4521	0.4751	0.4622	0.4647	0.0130	2.79	0.0283
大叶樟子木 <i>Cornus macrophylla</i>	0.4694	0.4278	0.4638	0.4470	0.4425	0.4520	0.4501	0.0168	3.73	0.0416
五角枫 <i>Acer mono</i>	0.4809	0.4472	0.4622	0.4864	0.4679	0.4692	0.4689	0.0155	3.32	0.0392
辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>	0.4767	0.4492	0.4556	0.4804	0.4540	0.4655	0.4632	0.0143	3.08	0.0312
14 种灌木 14 shrub species			0.4700	0.4302	0.4335	0.4501	0.4446	0.0156	3.51	0.0398
10 种草本 10 herbaceous plants				0.3929	0.2611	0.3929	0.3270			
7 类林分枯落物 Forest litters of 7 stands				0.4221		0.4221				

表 4 按生物量加权的林分乔木层平均含碳率(%)

Table 4 Average carbon content rate of tree layer in stands weighted by biomass

林分 Stand	地上部分 Above ground										林分 Stand		
	平均 Average	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation	含碳率极差 Range of carbon content rate	平均 Average			标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation	含碳率极差 Range of carbon content rate	标准地数 Number of sample plots		
					平均 Average	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation						
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.4720	0.0001	0.02	0.0008	0.4676	0.0002	0.0002	0.04	0.0012	0.0012	513		
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0.5012	0.0004	0.09	0.0025	0.4976	0.0002	0.0002	0.05	0.0014	0.0014	118		
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	0.4730	0.0008	0.18	0.0044	0.4681	0.0004	0.0004	0.08	0.0020	0.0020	111		
杨、桦 <i>Populus</i> sp. and <i>Betula</i> sp.	0.4844	0.0010	0.21	0.0041	0.4837	0.0007	0.0007	0.14	0.0034	0.0034	98		
落叶松 <i>Larix</i> sp.	0.4886	0.0001	0.03	0.0005	0.4903	0.0001	0.0001	0.02	0.0004	0.0004	120		
华山松 <i>Pinus armandii</i>	0.4926	0.0002	0.04	0.0007	0.4926	0.0002	0.0002	0.03	0.0006	0.0006	83		
云、冷杉 <i>Picea</i> sp. and <i>Abies</i> sp.	0.4921	0.0002	0.04	0.0009	0.4902	0.0002	0.0002	0.03	0.0007	0.0007	47		
其他阔叶混交林 The other broad-leaved mixed forest	0.4702	0.0001	0.01	0.0003	0.4682	0.0002	0.0002	0.04	0.0009	0.0009	169		
林分平均 Average of 8 stand types	0.4843	0.0114	2.36	0.0310	0.4823	0.0125	0.0125	2.58	0.0300	0.0300			
阔叶林分平均 Average of broad-leaved stands	0.4749	0.0064	1.36	0.0142	0.4719	0.0079	0.0079	1.67	0.0161	0.0161			
针叶林分平均 Average of coniferous stands	0.4936	0.0054	1.08	0.0126	0.4927	0.0035	0.0035	0.70	0.0074	0.0074			

表 9 小陇山 8 类林分总碳储量及其分布特征
Table 9 Total carbon storage and allocation of 8 stand types in Xiaolong Mountains

林分 Stand	面积 (hm ²) Area	乔木层 Tree layer		灌木层 Shrub layer		草本层 Herb layer		枯落物层 Litter layer		林分 Stand	
		碳储量 (Tg) Carbon storage	比例 (%) Allocation	碳储量 (Tg) Carbon storage	比例 (%) Allocation	碳储量 (Tg) Carbon storage	比例 (%) Allocation	碳储量 (Tg) Carbon storage	比例 (%) Allocation	总碳储量 (Tg) Total carbon storage	平均碳密度 (t hm ⁻²) Average carbon storage density
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	178556.8	6.8336	97.54	0.1218	1.74	0.0067	0.10	0.0433	0.62	7.0054	39.2335
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	46755.8	1.4119	97.60	0.0210	1.45	0.0032	0.22	0.0105	0.73	1.4466	30.9395
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	16995.9	0.6347	97.76	0.0096	1.48	0.0009	0.14	0.0040	0.62	0.6492	38.1974
杨、桦 <i>Populus</i> sp. and <i>Betula</i> sp.	7082.5	0.2579	97.61	0.0044	1.67	0.0005	0.19	0.0014	0.53	0.2642	37.3032
落叶松 <i>Larix</i> sp.	6241.5	0.2062	97.96	0.0038	1.80	0.0005	0.24	0.0000	0.00	0.2105	33.7259
华山松 <i>Pinus armandii</i>	4813.0	0.1612	97.34	0.0030	1.81	0.0003	0.18	0.0011	0.67	0.1656	34.4068
云、冷杉 <i>Picea</i> sp. and <i>Abies</i> sp.	444.0	0.0205	98.80	0.0002	0.96	0.00002	0.10	0.00003	0.14	0.0208	46.7342
其他阔叶混交林 The other broad-leaved mixed forest	77925.5	3.5227	97.96	0.0556	1.55	0.0032	0.09	0.0144	0.40	3.5959	46.1454
合计 Total	338815.0	13.0487	97.69	0.2193	1.64	0.0153	0.11	0.0746	0.56	13.3579	39.4254

表 10 不同森林类型的含碳率 (%)

林分 Stand	干		枝		叶		根		林分平均 Average of stand	测定方法 Analytic method	资料来源 Reference
	茎 Stem	树皮 Bark	干皮 Bark	枝 Branch	叶 Leaf	根 Root	平均 Average				
热带雨林原始林 Natural tropical rain forest	57.44	45.63	46.48	45.75	45.75	53.45	49.75	54.87	54.87	湿烧法	[13]
热带雨林更新林 Regenerative tropical rain forest	53.82	44.48	49.30	46.35	46.35	55.06	49.87	51.98	51.98	湿烧法	[13]
青海云杉 <i>Picea crassifolia</i>	50.34	50.00	50.86	56.96	56.96	54.890	52.61	52.12	52.12	湿烧法	[14]
栎林 The oak forests	51.2	52.3	48.6	52.1	52.1	45.2	49.90	49.91	49.91	湿烧法	[15]
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	47.4	53.3	49.1	51.9	51.9	51.0	51.0	49.30	49.30	湿烧法	[15]
火炬松 <i>Pinus taeda</i>	54.9	54.2	55.8	55.9	55.9	5.18	54.5	54.48	54.48	湿烧法	[15]
青冈常绿阔叶林 The evergreen broadleaved forest dominated by <i>Cyclobalanopsis Glauca</i>	49.04		49.01	49.94	49.94	48.00	49.00	47.61	47.61	干烧法	[16]
辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>	47.92	46.41	48.26	47.67	47.67	47.25	47.50	50.08	47.50	干烧法	[2]
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	48.90	56.89	50.46	50.68	50.68	49.34	51.25	48.59	50.08	干烧法	[2]
山杨 <i>Populus davidiana</i>	48.44	48.70	48.66	49.60	49.60	48.61	48.80	50.97	48.59	干烧法	[2]
华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	49.71	52.76	51.00	51.07	51.07	53.37	51.58	50.30	50.97	干烧法	[2]
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	49.58	53.11	50.19	51.58	51.58	50.80	51.05	51.11	50.30	干烧法	[2]
红皮云杉 <i>Picea koraiensis</i>	50.09	51.57	49.63	52.05	52.05	52.57	51.18	50.53	51.11	干烧法	[2]
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	51.34	49.52	49.63	49.15	49.15	50.85	50.10	50.53	50.53	干烧法	[2]