

巨桉碳含量的空间结构特征研究

张琼¹, 洪伟², 吴承祯², 吴继林³

(1. 漳州师范学院 生物科学与技术系, 福建 漳州 363000; 2. 福建农林大学 桉树研究中心, 福州 350002; 3. 永安市林业局, 福建 永安 365500)

摘要: 依据永安市巨桉人工林调查的基础, 对巨桉碳含量空间结构特征进行了研究, 结果表明: 巨桉不同胸径个体地上部分各器官的碳含量在 42.30%~55.07% 之间, 地上部分各器官碳含量大小顺序为: 叶>枝>干, 方差分析表明不同胸径标准木之间碳含量没有达到显著水平, 而地上部分各器官碳含量差异显著, 采用邓肯新复全距法和 q 检验法对其进行多重比较, 两种方法检验结果均表明巨桉枝和干的碳含量之间没有显著差异, 叶和枝以及叶和干之间差异显著; 不同高度层叶碳含量之间不存在明显差异, 把巨桉单株林木的树冠分为上下两部位, 方差分析表明上下两部分叶碳含量也不存在明显差异; 不同大小根的碳含量大小顺序为: 细根>中根>粗根>根兜; 巨桉不同粗细枝的碳含量存在一定的差异, 枝越细碳含量的值越高; 各器官碳含量中, 叶的碳含量较高, 为 51.86%, 果的碳含量最低, 为 46.62%, 排列顺序为: 叶>根>枝>干>果。

关键词: 永安市; 巨桉; 器官; 碳含量

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2007)04-0585-05

Spacial structure character of carbon content of *Eucalypts grandis*

ZHANG Qiong¹, HONG Wei², WU Cheng-Zhen², WU Ji-Lin³

(1. Department of Bioscience and Technology, Zhangzhou Normal University, Zhangzhou 363000, China; 2. Research Center of Eucalyptus, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Forestry Bureau of Yong'an, Yong'an 365500, China)

Abstract: Based on investigation of *Eucalypts grandis* plantations in Yong'an City, spacial structure character of carbon content of *E. grandis* was studied. Carbon content of different aboveground organ in different DBH of *E. grandis* was 42.30%~55.07% and the sequence of aboveground organic carbon content was that leaf(51.86%)>branch(47.64%)>trunk(47.25%); the difference in carbon content of leaf in different height was slight; the carbon content of different diameter of root was increased as diameter became thicker; the carbon content of different diameter of branch was increased as diameter became thicker, too; the sequence of organic carbon content was that leaf>root>branch>trunk>fruit.

Key words: Yong'an City; *Eucalypts grandis*; organ; carbon storage

《京都议定书》中的 CDM 造林碳汇项目在实施过程中存在很多技术问题, 比如项目基准线与额外性的确定, 碳储量的计量与核查, 以及碳汇项目所特有的非持久性、泄漏、不确定性、该项目对社会经济和环境的影响等问题, 其中碳储量是以林木各器官

碳含量为基础进行计算的(IPCC, 2000; 王伟中等, 2002; 王雪红, 2003), 本文就是针对 CDM 碳汇项目碳储量的计量与核查而进行的一些基础性研究。桉树的速生丰产性已是众所周知, 目前中国桉树面积已达 150 万 hm^2 , 其中巨桉(*Eucalypts grandis*)是

收稿日期: 2005-10-19 修回日期: 2006-06-29

基金项目: 福建省教育厅科研基金[Supported by Scientific Research Foundation of Education Department of Fujian Province]

作者简介: 张琼(1980-), 女, 河南郑州人, 硕士, 助教, 数量生态学专业, 主要从事植物生态学及生理学方面的教学与研究。

较为优良的树种,通过对巨桉各器官碳含量研究,对CDM碳汇项目碳储量的计量与核查以及对进一步丰富我国森林生态系统碳循环和全球生态系统碳循环与碳贮量具有重要的意义。

1 研究区概况

永安市位于闽中偏西,闽中大谷地南端,沙溪河中游地段,处武夷山脉与戴云山脉的过渡地带。大约界于 $116^{\circ}56' \sim 117^{\circ}47' E$, $25^{\circ}33' \sim 26^{\circ}12' N$;地貌素有“九山半水半分田”之称,地势东、西、南三面高,中部低,山地、丘陵多(占90.87%),盆谷、平原少(占6.23%),九龙溪横贯东南;永安市属典型的亚热带季风山地气候,雨量充沛,日照时间长,霜期短,热量资源充足,夏长冬短,气候温暖湿润,年均气温 $19.1^{\circ}C$,无霜期301 d,年均日照1766.1 h,年降雨量1688 mm;永安市森林资源集存量,是我国南方48个重点林区县(市)之一,也是经国务院批准的南方集体林区改革试点区之一。

2 研究方法

2.1 标准木取样

在永安市桉树人工林中(坑边、贡川、曹远及福专等乡镇),对巨桉人工林生长情况进行样地调查,依据样地调查资料选取6株标准木,伐倒后,从树干基部按2 m为区分段,依据区分段分别对树干和树枝混合取样,然后烘干、粉碎;叶的取样则在树冠层依据区分段分别取样,烘干粉碎,按照树冠层区分段数将每株样木的树冠层平均化分为上下两部分,若是包含奇数区分段,则中间层划分到树冠下层。在样地调查基础上选取一株平均木,进行全根挖掘,分别对细根(0~1 cm)、中根(1~2 cm)、粗根(>2 cm)和根兜进行混合取样、烘干、粉碎;分别对平均木的细枝(0~1 cm)、中枝(1~3 cm)和粗枝(>3 cm)混合取样,然后烘干、粉碎;对平均木的果、叶进行混合取样然后烘干、粉碎。

2.2 碳含量测定

植物碳含量的测定一般有干烧法和湿烧法两类,干烧法需要特殊的设备,且手续繁琐,而湿烧法操作简便、快速、有足够的准确度,适宜于大批样品的分析(中国土壤学会农业化学专业委员会,1983)。本文采用的湿烧法是吴良欢等(1993)改进的植物有

机碳测定法。吴良欢等认为常规方法中用 $FeSO_4$ 标准溶液回滴剩余的 $K_2Cr_2O_7$ 需要指示剂指示终点,且滴定过程费时、费力,不便大批样品分析,氧化液用比色法代替容量法测定碳含量,比较快速、省力,测定结果稳定,且与常规法较为接近,符合大批样品的测定要求(中国科学院数学研究所概率统计室,1975)。

2.3 方差分析与多重比较方法

方差分析是R. Fishar于1923年提出的,该方法广泛应用于科学试验结果的数据分析。进行无交互作用两因素方差分析之前用Tukey(1949)的F检验法,检验两因素间有无交互作用。当方差分析结果显示某些因素对试验指标影响显著时,可采用多重比较来比较多水平间的差异显著性(洪伟等,2004)。多重比较方法较多,本研究采用的是邓肯新复全距法和q检验法。

3 结果与分析

3.1 巨桉不同胸径植株地上部分各器官碳含量的比较

对巨桉不同胸径标准木地上部分各器官碳含量进行测定(表1),对测定结果进行两项方差分析之前,用Tukey(1949)的F检验法对表1中巨桉地上部分器官和胸径两因素进行判断(洪伟等,2004,1997,1999,2001;张琼等,2005;吴承祯等,1999),结果表明,胸径和地上部分器官两因素均对碳含量大小不存在交互作用,因此对测定结果进行两项分组方差分析。

表1 巨桉不同胸径标准木地上部分各器官的碳含量(%)
Table 1 Carbon content in different aboveground organ of different DBH of *Eucalypts grandis*

器官 Organ	不同胸径 Different DBH (cm)						平均 Mean
	3	4.9	6.9	9	11	13	
枝 Branch	42.30	48.82	48.83	49.18	48.28	48.43	47.64
叶 Leaf	53.40	51.90	49.33	51.50	49.96	55.07	51.86
干 Trunk	47.34	50.76	47.98	43.85	44.71	48.83	47.25
平均 Mean	47.68	50.49	48.71	48.18	47.65	50.78	48.91

巨桉的测定结果表明(表1),不同胸径地上部分各器官的碳含量在42.30%~55.07%之间;地上部分各器官碳含量大小顺序为:叶(51.86%)>枝(47.64%)>干(47.25%)。方差分析结果(表2)表明,在显著水平 $\alpha=0.05$ 下,地上部分不同器官的碳含量差异显著。采用邓肯新复全距法和q检验法对

其进行多重比较(表 3、4),两种方法检验结果均表明巨桉枝和干的碳含量之间没有显著差异,叶和枝以及叶和干之间在 $\alpha=0.05$ 显著水平下,差异显著;胸径不同的个体的碳含量差异没有达到显著水平。

表 2 巨桉地上部分器官与胸径两项因素方差分析表

Table 2 The analysis of variance table between aboveground organ and DBH of *Eucalypts grandis*

离差来源 Source	离差平方和 Sum of square	自由度 df	均方 Mean squares	F	F _α
A	29.008	5	5.802	0.94	F _{0.05} (5,10)=3.33, F _{0.01} (5,10)=5.64
B	78.520	2	39.260	6.34	F _{0.05} (2,10)=4.10, F _{0.01} (2,10)=7.56
e	61.953	10	6.195		

注: A 为胸径, B 为地上部分器官, e 为剩余。

Note: A is DBH, B is aboveground organ and e is rest.

表 3 LSR 检验法的 LSR 值与 q 检验法的 W 值表

Table 3 The value of LSR in LSR multiple comparison and value of W in q multiple comparison

a	K	2	3	K	2	3
0.05	SSR	3.15	3.30	q	3.15	3.88
	LSR	3.20	3.35	W	3.20	3.94
0.01	SSR	4.48	4.73	q	4.48	5.27
	LSR	4.55	4.81	W	4.55	5.36

注: a 为显著水平, K 为所含平均个数, SSR 为 SSR 值, LSR 为 LSR 法的最小显著极差, q 为 q 值, W 为 q 检验法的最小显著极差。

Note: a is significance level, K is count of inclusive average, SSR is SSR value, LSR is the least significant range in LSR, q is q value, W is the least significant range in q test.

3.2 不同高度叶碳含量的比较

巨桉不同高度层叶碳含量的测定结果表明(表

5)各层叶碳含量变幅范围在 44.30%~57.29%之间,平均是 52.31%;各层平均碳含量变化范围在 49.79%~54.31%之间,处于 14 m~16 m 高度层的叶碳含量值最高,处于 10 m~12 m 高度层的最低,其次是 4 m~6 m。对其用 SPSS 程序进行方差分析,结果表明(表 6)各层之间的叶碳含量不存在明显差异。为进一步分析巨桉单株林木树冠层不同部位叶碳含量之间是否存在差异,将每株样木的树冠层也分为上下两部分,树冠上部叶碳含量为 53.09%,下部叶碳含量为 51.43%,对上下两部分叶碳含量的均值差异性进行显著性检验(t 检验)(表 7),表明巨桉树冠上下两层叶碳含量差异不显著,但呈现为上部叶碳含量大于下部叶的态势,这可能因为所截获的光能和热能较林冠的下层截获的量高,单株林木树冠上部总是比树冠下部获得的太阳辐射多,光合作用就相应的强,合成和积累的碳水化合物较多。方差分析的结果可能是因为虽然总的趋势一致,但因素之间差异确实不明显,也可能是因为所调查的样木数不够多,得到的数据没有足够的代表性,进而造成了差异不显著,关于这方面的结论有待进一步的调查研究。

表 4 地上部分器官碳含量多重比较差异表

Table 4 The value of diversity of multiple comparison of carbon content of aboveground organs

器官 Organ	代号 Code	平均值(%) Mean	x_1-x_j	x_2-x_j
叶 Leaf	x_1	51.86		
枝 Branch	x_2	47.64	4.22	
干 Trunk	x_3	47.25	4.61	0.39

表 5 不同高度层叶碳含量(%)

Table 5 Carbon content of leaf at different height

胸径 DBH	高度 Height						
	4~6 m	6~8 m	8~10 m	10~12 m	12~14 m	14~16 m	平均 Mean
5.1	51.42	53.27	55.52	—	—	—	53.40
7.0	50.67	51.63	52.71	51.08	—	—	51.52
9.0	—	—	—	49.33	—	—	49.33
11.0	—	—	52.73	50.27	—	—	51.50
12.8	—	—	52.03	44.34	52.13	51.32	49.96
15.0	—	56.61	54.11	53.92	53.43	57.29	55.07
平均值 Mean	51.05	53.84	53.42	49.79	52.78	54.31	52.31
树冠上部均值 Upside mean				53.09			
树冠下部均值 Lower mean				51.43			

—表示该层没有叶。— means there is no leaf in this layer.

3.3 不同大小根碳含量的比较

分别对巨桉平均木的根碳含量测定(表 8),不同大小根的碳含量存在一定的差异,随着根径的增

大而减小趋势,根兜碳含量介于粗根和中根之间,其排列顺序为:细根(0~1 cm,为 51.67%)>中根(1~2 cm,为 48.76%)>粗根(>2 cm,为 47.39%)

>根兜(46.71%)。

表 6 不同高度层叶碳含量方差分析表

Table 6 The analysis of variance table of carbon content of leaf at different height

方差来源 Source	离差平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F value	显著度 Sig.
组间 Between Groups	56.557	5	11.311	1.662	0.213
组内 Within Groups	88.492	13	6.807		
总共 Total	145.049	18			

表 7 树冠上下两部分叶碳含量均值差异显著性检验分析表

Table 7 The analysis of variance table of carbon content of leaf in upper and lower portion

部位 Portion	均值 Means	方差 Variance	自由度 df	Se	t	分位数 Fractile (0.05)
下部 Lower	51.43	11.420	8	7.7608	0.274	2.11
上部 Upper	53.094	4.508	9			

3.4 不同粗细枝以及各器官的碳含量的比较

对巨桉平均木不同粗细的枝以及果测定了碳含量(表 9),不同粗细枝的碳含量存在一定的差异,枝越细碳含量的值越高,细枝碳含量是 51.50%、中枝

为 49.13%、粗枝为 46.57%,可能因为细枝是生长较活跃的部位,糖、蛋白质和脂类等营养物质较丰富,营养元素 C 占的比例多。各器官碳含量中,叶的碳含量较高,为 51.86%,果的碳含量最低,为 46.62%,排列顺序为:叶>根>枝>干>果。

3.5 碳含量公式拟合

运用 SPSS 程序对巨桉枝、叶和干碳含量与胸径关系(类型 A)以及叶碳含量与所处树高关系(类型 B)进行多种曲线拟合,均以曲线模型 $C = b_0 + b_1 \times x + b_2 \times x^2 + b_3 \times x^3$ 相关系数最大,且对四个模型的相关系数进行 t 检验,均达到显著水平,所以选取该模型为巨桉枝、叶和干碳含量与胸径关系以及叶碳含量与所处树高关系的拟合模型(表 10)。这些模型为确定巨桉不同胸径各器官碳含量以及不同高度叶碳含量提供了依据,对 CDM 碳汇项目乃至统计全球森林生态系统碳储量具有重要的应用价值和意义。

表 8 不同大小根的碳含量

Table 8 Carbon content of different form of root

根大小 Root form				平均 Mean
0~1 cm	1~2 cm	> 2 cm	根兜	
51.67	48.76	47.39	46.71	48.63

表 9 不同粗细枝以及各器官的碳含量(%)

Table 9 Carbon content of different kind of branch and organ

细枝 Tig	中枝 Moderate	粗枝 Thickstem	枝 Branch	叶 Leaf	干 Trunk	果 Fruit	根 Root	平均 Mean
51.50	49.13	46.57	47.64	51.86	47.25	46.62	48.63	48.40

表 10 碳含量模型系数

Table 10 Models Coefficient of carbon content

类型 Variety	组分 Component	R	b_0	b_1	b_2	b_3
A	叶 Leaf	0.897	57.942	-0.4781	-0.1352	0.0102
	枝 Branch	0.978	-4.3423	15.2373	-1.3938	0.0409
	干 Trunk	0.965	-6.135	19.9562	-2.2414	0.0771
B	叶 Leaf	0.806	18.747	11.8626	-1.2947	0.0442

注:类型 A 模型为 $C = b_0 + b_1 \times D + b_2 \times D^2 + b_3 \times D^3$,其中 C 为各组分碳含量,D 为胸径;类型 B 模型为 $C = b_0 + b_1 \times H + b_2 \times H^2 + b_3 \times H^3$,其中 C 为不同高度叶碳含量,H 为所处的树高;R 为相关系数。

Note: Models of A variety is $C = b_0 + b_1 \times D + b_2 \times D^2 + b_3 \times D^3$, and C is carbon content of different component, D is DBH; Models of B variety is $C = b_0 + b_1 \times H + b_2 \times H^2 + b_3 \times H^3$, and C is carbon content of leaf at different height, H is height of position; R is correlation.

4 小结与讨论

方差分析表明巨桉的干、枝和叶的差异显著,叶(51.86%)>枝(47.64%)>干(47.25%),采用邓肯新复全距和 q 检验两种方法进行多重比较结果均表明,干和枝的差异不显著,干和叶、枝和叶的碳含量

差异显著,而胸径不同的个体的碳含量差异没有达到显著水平;不同高度层叶碳含量之间不存在明显差异,但叶碳含量最低值或较低值出现在样木叶的最低层,最高值出现在林冠的较上层,可能因为所截获的光能和热能较林冠的下层截获的量高,就造成了光合作用的差异,进而影响了碳的积累和含量;把巨桉单株林木的树冠分为上下两部位,方差分析表

明上下两部分叶碳含量也不存在明显差异;不同大小根的碳含量大小顺序为:细根>中根>粗根>根兜;巨桉不同粗细枝的碳含量存在一定的差异,枝越细碳含量的值越高,可能因为细枝是生长较活跃的部位,糖、蛋白质和脂类等营养物质较丰富,营养元素 C 占的比例多;各器官碳含量中,叶的碳含量较高,为 51.86%,果的碳含量最低,为 46.62%,排列顺序为:叶>根>枝>干>果。由以上结论可看出在对巨桉人工林进行碳汇项目计算时,可以直接选取本文的有关数据进行计算;也可以依据本文结论即胸径不同的个体碳含量差异不显著而选取平均木进行取样测定碳含量,但要区分各器官且最好进行不同高度的混合取样来测定各器官碳含量。

参考文献:

- 中国科学院数学研究所概率统计室. 1975. 回归分析法[M]. 北京:科学出版社
- 中国土壤学会农业化学专业委员会. 1983. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 第 1 版. 北京:科学出版社
- 洪伟,吴承祯. 2001. 闽江流域森林生态研究[C]. 北京:中国林业出版社:58—63
- 洪伟,吴承祯. 2004. 试验设计与分析[M]. 北京:林业出版社
- Hong W(洪伟),Wu CZ(吴承祯). 1997. Study of density restraining model of Masson pine stand in north Fujian(闽北马尾松人工林密度控制模型研究)[J]. *J Biomath*(生物数学学报),12(2):135—139
- Hong W(洪伟),Wu CZ(吴承祯). 1999. Study on fractal features of soil aggregate structure under different management patterns(不同经营模式团粒结构的分形特征研究)[J]. *Acta Pedol Sin*(土壤学报),36(2):162—167
- IPCC. 2000. Land Use, Land-use Change, and Forestry, Summary for Policymakers, a Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Geneva, Switzerland:1—20
- Wan WZ(王伟中),Chen B(陈滨). 2002. The Kyoto protocol and allocation of carbon emission permits(《京都议定书》和碳排放权分配问题)[J]. *J Tsinghua Univ (Phil Soc Sci)*(清华大学学报(哲学社会科学版)),17(6):81—85
- Wang XH(王雪红). 2003. Forest carbon sequestration project and an analysis on their potentialities in China(林业碳汇项目及其在中国的发展潜力浅析)[J]. *World Fore Res*(世界林业研究),16(4):7—12
- Wu LH(吴良欢),Tao QN(陶勤南). 1993. Study of improved mensuration of plant organic carbon(植物有机碳改进测定法研究)[J]. *Chin J Soil*(土壤通报),24(6):286—287
- Wu CZ(吴承祯),Hong W(洪伟). 1999. Study of case fitting of Logistic model by modified simplex method(用改进单纯形法拟合 Logistic 曲线的研究)[J]. *J Biomath*(生物数学学报),14(1):117—121
- Zhang Q(张琼),Hong W(洪伟),Wu CZ(吴承祯),et al. 2005. Studies on intraspecific and interspecific competition in natural communities of *Tsuga longibracteata*(长苞铁杉天然林群落种内及种间竞争关系研究)[J]. *Guihaia*(广西植物),25(1):14—17

《广西植物》又被 4 家知名国际检索系统收录

从相关数据库统计机构获悉,《广西植物》2006 年被美国《化学文摘》(CA)收录后,又先后被美国《剑桥科学文摘》(CSA)、英国《国际应用生物科学中心》(CABI)、日本《科学技术文献速报》(JST)和美国《乌利希国际期刊指南》(UIPD)等收录。

美国《剑桥科学文摘》(CSA)是美国 Cambridge Scientific Abstracts 公司出版发行、基于网络服务的文献信息检索系统,是近几年发展最快的、大型的、综合性最强的数据库,覆盖的学科范围包括:生命科学、水科学与海洋学、环境科学、计算机科学、材料科学以及社会科学。收录从 1960 年至今包括:期刊论文、图书、会议论文、科技报告、学位论文及专著等文献。目前下属 70 余种文摘或数据库,2 300 多万条记录。其中有的数据库的来源期刊达到 5 000~7 000 种。目前 CSA 已为全世界 1 500 多家机构提供服务。该资料库的检索结果为文献的题录及文摘咨询。

英国《国际应用生物科学中心》(CABI)是目前世界上最具权威性的农业检索工具之一。该数据库收录了世界上 130 多个国家或地区出版的 1.4 万余种期刊、图书、专题报告以及会议录等,语种涉及 70 多个,数据库自 1973 年以来累计数据约 420 万条记录,年增文摘约 15 万条。其内容覆盖了农业科学的各个领域,包括农艺学、生物技术、植物保护、乳品科学、林业、微生物、畜牧兽医、人类健康、经济及自然资源管理等,季度更新。该数据库为现今世界上最具权威性的农业文摘数据库之一。该数据库的最大特色之一是绝大多数的记录都带文摘,涵盖的信息年度达 20~50 年之久。

日本《科学技术文献速报》(JST),由日本科学技术情报中心(JICST)编辑出版,是世界三大综合性文摘杂志之一。它以文摘形式快速报道世界各国文献资料,并在一些大型商业数据库系统(如 Dialog、STN 等)中设有网络数据库供联机检索。文摘范围涵盖化工、机械、生命科学、管理科学等领域,是一套全面快速反映世界科技发展状况的综合性文摘。不仅具有综合性(包括社会科学领域和经济领域),而且具有快速报道的特点。报道时差仅 1 个月左右,能与美国的《工程索引》和《化学文摘》相比。

美国《乌利希国际期刊指南》(UIPD)是一部权威的、反映世界各国期刊和报纸出版信息的综合性指南。该指南虽为国际性,但以西方的刊物为主。该指南的一个非常有价值的特色是能指明某刊物被哪些索引和文摘所收录,因而不仅可以藉此判断某刊物的质量和参考价值,也可以帮助检索并利用收录该刊的索引或文摘查找登载在该刊上的文章。