上海外环林带女贞人工林生态系统碳储量*

王 哲[1,2**] 杜宝明[2,3] 韩玉洁[1] 崔 旋[4] 李 琦[1] 黄 丹[1] 薛春燕[1] 孙 文[1]
([1]上海市林业总站, 上海 200072; [2]上海交通大学低碳农业研究中心, 上海 200240; [3]上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240; [4]上海建桥学院艺术设计系, 上海 201319)

摘 要 提高林分碳储量估测精度,对于研究区域尺度上森林固碳功能具有重要的意义。本文以上海外环林带女贞(*Ligustrum lucidum*)人工林为研究对象,构建了女贞立木及各器官(根、干、皮、枝、叶)生物量方程,并对9年生女贞人工林乔木层、地表枯落物层和土壤层(0~100 cm)碳储量进行了估测。结果表明,女贞立木及各器官生物量方程拟合效果较好(R^2>0.9, P<0.01)。女贞人工林生态系统总碳储量为169.89 t·hm^{-2},其中林分乔木层碳储量为10.48 t·hm^{-2},地表枯落物层碳储量为1.54 t·hm^{-2},林分土壤(0~100 cm)碳储量所占比例最大,为157.7 t·hm^{-2}。在女贞人工林乔木层生物量中,树干占林木生物量的比例最大(40%),其次分别为枝(20%)、根(15%)、叶(11%)和皮(4%)。

关键词 上海; 人工林; 女贞; 生物量; 碳储量
中图分类号 S718.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2014)4-0910-05

Carbon storage of *Ligustrum lucidum* plantations in Shanghai Out-Loop Forest Belt.

WANG Zhe[1,2**], DU Bao-ming[2,3], HAN Yu-jie[1], CUI Xuan[4], LI Qi[1], HUANG Dan[1], XUE Chun-yan[1], SUN Wen[1] ([1]*Shanghai Forestry Station*, *Shanghai* 200072, *China*; [2]*Research Centre for Low Carbon Agriculture*, *Shanghai Jiao Tong University*, *Shanghai* 200240, *China*; [3]*School of Agriculture and Biology*, *Shanghai Jiao Tong University*, *Shanghai* 200240, *China*; [4]*Department of Art Design*, *Shanghai Jianqiao College*, *Shanghai*, 201319, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(4): 910-914.

Abstract: It is essential to improve the estimation of carbon storage in stands for assessing the forest carbon sink at local and regional scales. In this study, the carbon storage of tree biomass, forest floor and soil (0-100 cm) in three *Ligustrum lucidum* plantations in Shanghai Out-Loop Forest Belt were investigated, and allometric equations for different organs such as root, trunk, bark, branch and foliage were established. The results showed that there was a good relationship between biomass and the diameter at breast height for the allometric equations of individual trees and different organs (R^2>0.9, P<0.01). Total carbon storage of the *L. lucidum* plantation ecosystem was 169.89 t·hm^{-2}, of which the carbon storage amounts of tree biomass, forest floor, and soil (0-100 cm) were 10.48, 1.54 and 157.7 t·hm^{-2}, respectively. In the tree biomass carbon storage of *L. lucidum* stands, the trunk, branch, root, foliage and bark proportionally accounted for 40%, 20%, 15%, 11% and 4%, respectively.

Key words: Shanghai; forest plantation; *Ligustrum lucidum*; biomass; carbon storage.

森林生态系统作为陆地生态系统的主体,在调节全球气候以及维护全球碳平衡等方面具有不可替代的作用(Brown *et al.*,1997)。在陆地上,森林生物量和净初级生产力约占陆地生态系统生物量的86%和70%,其土壤碳储量约占全球土壤碳储量的73%(Post *et al.*,1982;Dixon *et al.*,1994)。为了应对全球气候变化,通过森林有效经营来增加碳在森林生态系统中的固定已成为国际社会公认的减缓大气中 CO_2 浓度的有效手段之一(Bogner *et al.*,1982)。徐新良等(2007)对我国森林植被碳储量时空变化格局的研究结果表明,中幼龄林对于我国森

*上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻2010第6-1和沪农科攻2011第1-6)和中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050204)资助。
**通讯作者 E-mail: zhewang0815091@163.com
收稿日期: 2013-09-02 接受日期: 2013-12-12

林植被碳汇功能贡献巨大。目前,我国现有人工幼龄林面积达4273.79万 hm^2(贾治邦,2010),将在今后森林植被固碳增汇方面发挥重要作用。

上海是我国经济快速发展的大都市之一,城市森林对于提高城市生态环境质量、促进宜居型城市建设都具有重要意义。外环林带是上海城市森林重要组成部分,目前多为人工幼龄林,正处于快速生长阶段,碳汇潜力巨大。女贞是我国常见绿化树种之一,也是上海外环林带主要造林树种之一,在上海地区林业生态建设方面具有重要作用。目前关于女贞人工林生物量方面的文献还较少(Dascanio *et al.*, 1994;姚立等,2004;贺红早等,2007),而本研究通过对外环林带女贞人工林生物量和碳储量开展有关研究,主要目的有以下3个方面:1)构建女贞林木生物量方程,为研究外环林带和上海市域尺度上森林碳汇功能奠定基础;2)用构建的生物量方程,估算女贞人工林林分乔木层生物量和碳储量;3)系统研究女贞人工林林分乔木层、草本层、地表枯落物层和土壤层的碳储量,完整地展示外环林带女贞人工林生态系统碳储量和分布特点。

1　研究地区与研究方法

1.1　研究区概况

外环林带是上海市最大的跨世纪生态工程,自20世纪末开工建设以来,至2007年底,沿浦东新区、徐汇、闵行、长宁、嘉定、普陀、宝山S20外环路两旁已建成400 m宽的林带,面积约3900 hm^2(李艳等,2008;王瑞,2010;张凯旋,2010)。该区域最常见的树种有香樟(*Cinnamomum camphora*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、黄山栾树(*Koelreuteria integrifolia*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)和广玉兰(*Magnolia grandiflora*)等。本研究主要在浦东新区川沙镇迎宾大道唐黄路段外环林带内开展。该区域地势低平,地下水位较高,土壤为盐渍土,日照充分,温和湿润,年平均温度16.3 ℃,年降雨量1240 mm。

1.2　研究方法

1.2.1　样地选择　在浦东新区外环林带内选择林相完整、树木生长良好且人为干扰较少的林分设置样地。由于浦东新区川沙镇外环林带唐黄路标段在2003年建设之初,林地树木栽植密度过大(3000株·hm^{-2}),导致该地区林分群落不稳定,养分竞争剧烈,林木生长受限,因此,在2009—2012年,该地区林业养护部门进行了2次大规模的间伐工作,故本文在该区域所设置的3个重复样地(分别命名为L1、L2和L3),是在林分间伐后设置的,导致3块样地林分栽植密度存在一定差异。本研究所设置的样地大小面积为20 m×20 m(表1)。本研究外业调查和标准木作业时间为2012年6月,因当地林业部门在上半年对地表枯落物进行过干扰处理,故本文在与有关部门协调的基础上,地表枯落物的外业调查取样时间为2012年11月下旬,以使林分地表枯落物层碳储量估算更为准确。土壤层调查取样时间为2012年11月下旬。

1.2.2　乔木层生物量方程构建　在每个样地内对每株乔木进行每木检尺,记录下每株林木的胸径(*DBH*)和树高(*H*)。以2 cm为一个径阶,统计每个径阶内林木数量和平均胸径,计算每个径阶的林木平均胸径。本研究,采用径阶标准木法在样地内按径阶选取标准木。以2 cm为1个径阶,在每个径阶范围内选取1~2株标准木,本文共选取标准木5株。

标准木根部分采用"全挖法"测定地下部分根的鲜重;标准木的树干部分生物量测定采用"分层切割法"进行,以1 m定长测定树干的鲜重,采用"标准枝法"测定枝、叶部分总鲜重。对每株标准木的各个器官(根、干、枝、叶)均取鲜样约500 g(树干部分每段截取1个3~5 cm圆盘),带回实验室在80 ℃条件下烘干至恒重,计算出含水量,换算成干重。以胸径*DBH*为自变量,以立木各个器官(根、干、皮、枝、叶)生物量为因变量,利用二元幂函数进行生物量模型回归,生物量方程形式为:

$$BM = a\ (DBH)^b \qquad (1)$$

1.2.3　土壤碳储量估测　本研究中土壤碳储量为0~100 cm土壤层碳储量。具体研究方法为:在每个样地中按"S"型设土壤取样点5个,用内径为5 cm的土钻在每个取样点按0~10、10~20、20~30、30~50和50~100 cm分层取样 d_i(cm),将5个取样点同层次的土壤样品混合均匀,每层留取1 kg土

表1　女贞人工林林分样地概况

Table 1　Main characteristics of the sampling *Ligustrum lucidium* stands

样地	林分密度(株·hm^{-2})	林龄(a)	平均树高(m)	平均胸径(cm)
L1	490	9	8.4	10.6
L2	480	9	8.4	10.6
L3	670	9	7.5	11.1

壤样品带回实验室。同时用环刀法测定各层次土壤容重 D_i(g·cm^{-3})。土壤样品带回实验室后,经风干研磨过0.149 mm土壤筛,用重铬酸钾-外加热法测定有机碳含量 C_i(g·kg^{-1});土壤0~100 cm深度有机碳储量用下式计算:

$$S = \sum d_i \times D_i \times C_i \times (1 - G_i) /100 \qquad (2)$$

式中,G_i为直径>2 mm的石砾所占的体积比例,由于女贞人工林土层中石砾质量分数很少,忽略不计。i为土壤层次。

1.2.4 地表枯落物层碳储量估测 在外环林带人工林林分调查中发现,由于当地林业养护部门要求对林下植被层进行定期养护收割,因此林下地被层植被稀少,本试验只对地表枯落物层碳储量进行计算。每个样地内,按对角线法设置5个1 m×1 m的小样方;采用全收获法将地表枯落物样品收集。在实验室将样品于80 ℃下烘干,测定烘干重,估算单位面积内地表枯落物生物量。

1.2.5 碳储量估算 一般植物碳素含量转换率为0.45~0.55,本研究采用全国各地区代表性植物的各器官碳含量测定结果0.5作为生物量-碳储量转换因子(吴仲民等,1998;杨洪晓等,2005),计算林分生态系统碳储量。

1.3 数据处理

试验数据的记录和统计用Excel (Microsoft Inc. 2007)进行,试验数据的分析及生物量方程的拟合则用SigmaPlot 10.0(Systat Inc. US)软件进行。

2 结果与分析

2.1 女贞生物量方程

由表2可见,女贞各组分生物量 *BM* 均与测树因子 *DBH* 具有显著相关性($P<0.01$)。各组分的生物量方程拟合效果较好,其中立木、树干、树皮、树枝和树叶的决定系数 R^2 在0.95以上,树根的生物量方程决定系数相对其他器官较小,但其决定系数(R^2)仍在0.9以上($R^2=0.92$, $P<0.01$)。由表2可知,女贞胸径 *DBH* 与生物量 *BM* 有良好的相关性,本研究所构建的女贞立木及各器官生物量方程都具有很高的适用性,可以用来估测样地林分树木各组分及单立木的生物量大小。

表2 女贞各器官生物量方程

Table 2 Allometric biomass equations of different organs for the *Ligustrum lucidum* stands

林龄	器官	生物量方程 $BM=a(DBH)^b$ 系数		径阶(cm)	标准株(n)	R^2	P
		a	b				
9	立木	0.139	2.342	4~14	5	0.98	0.001
	树根	0.107	1.619			0.92	0.009
	树干	0.049	2.341			0.95	0.004
	树皮	0.031	1.583			0.95	0.005
	树枝	0.044	2.124			0.97	0.002
	树叶	0.071	1.720			0.96	0.004

2.2 乔木层生物量碳储量

3个女贞人工林乔木层生物量分别为17.67、17.65和27.57 t·hm^{-2}(表3)。在3个样地林分乔木层生物量中,树干部分所占生物量比例最大,一般占乔木层生物量的40%左右,其次为枝、根部分,分别占乔木层生物量的20%和14%,叶部分所占比例较小为11%,皮部分所占生物量比例最小,不足5%。3个样地林分生物量和碳储量均值分别为20.96和10.48 t·hm^{-2}。

表4为女贞人工林3个样地林分乔木层平均单立木生物量。3个样地林分乔木层平均单立木生物量分别为37.60、51.41和46.19 kg。女贞单立木各器官平均生物量大小分别为树根2.81 kg,树干8.04 kg,树枝4.33 kg,树皮0.80 kg,树枝4.33 kg,树叶2.55 kg(表3)。

2.3 女贞人工林土壤碳储量

图1可知,3个女贞人工林土壤层碳储量分别为187.9、149.5和136.2 t·hm^{-2}。女贞人工林土

表3 林分乔木层各组分生物量碳储量(t·hm^{-2})

Table 3 Biomass and carbon storage of tree layers in three *Ligustrum lucidum* stands

样地	根	干	皮	枝	叶	总生物量	碳储量[b]
L1	2.42 (13.7)[a]	7.18 (40.6)	0.72 (4.1)	3.87 (21.9)	2.28 (12.9)	17.67 (100.0)	8.83
L2	2.39 (13.5)	7.11 (40.3)	0.71 (4.0)	3.83 (21.7)	2.25 (12.7)	17.65 (100.0)	8.82
L3	3.61 (13.1)	9.83 (35.7)	0.98 (3.6)	5.29 (19.2)	3.11 (11.3)	27.57 (100.0)	13.78
平均	2.81 (13.4)	8.04 (38.9)	0.80 (3.9)	4.33 (20.9)	2.55 (12.3)	20.96 (100.0)	10.48

[a]括号中数值表示树种各组分所占乔木层生物量的比例;[b]生物量碳储量转换因子0.5。

表4 林分乔木层平均单立木生物量碳储量(kg)

Table 4 Biomass and carbon storage of standard wood in three *Ligustrum lucidum* stands

林分	根	干	皮	枝	叶	总生物量	碳储量[a]
P1	5.65	16.52	1.58	8.78	5.06	37.60	18.80
P2	8.40	22.84	1.97	11.78	6.42	51.41	25.71
P3	6.65	20.83	1.85	10.85	6.01	46.19	23.10
平均值	6.90	20.07	1.80	10.47	5.83	45.07	22.53

[a]生物量碳储量转换因子0.5。

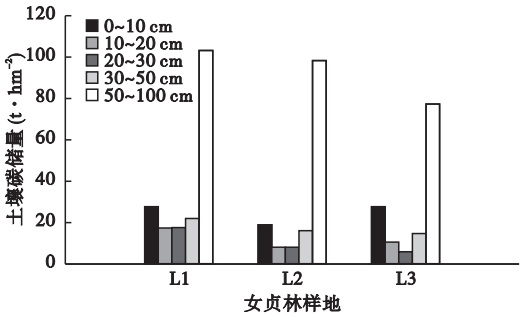


图 1　女贞人工林土壤层碳储量

Fig. 1　Carbon storage in different soil depths in three *Ligustrum lucidum* stands

表 5　女贞人工林生态系统碳储量及空间分配 (t · hm^{-2})

Table 5　Carbon storage and its allocation in *Ligustrum lucidum* stands

林分	林龄(年)	碳储量			
		乔木层	地表枯落物层	土壤层(0 ~ 100 cm)	合计
L1	9	8.83 (4.5)[a]	1.21 (0.6)	187.90 (94.9)	197.94 (100.0)
L2	9	8.82 (5.5)	1.44 (0.9)	149.50 (93.6)	159.76 (100.0)
L3	9	13.78 (9.1)	1.98 (1.3)	136.20 (89.6)	151.96 (100.0)
平均	9	10.48 (6.3)	1.54 (0.9)	157.7 (92.7)	169.89 (100.0)

碳-生物量转换因子取 0.5;[a]人工林各层次所占林分生态系统碳储量百分比。

壤层平均碳储量为 157.9 t · hm^{-2}。女贞人工林林分土壤碳储量的垂直分布特征是土壤表层有机碳含量较高,3 个样地林分 0 ~ 10 cm 土壤层碳储量平均值为 24.8 t · hm^{-2},随着土层深度增加,土壤碳储量逐渐降低(10 ~ 20 cm 土壤碳储量均值 12.0 t · hm^{-2},20 ~ 30 cm 土壤碳储量均值 10.5 t · hm^{-2}),至土壤层 50 cm 时,土壤碳储量增大(30 ~ 50 cm 土壤碳储量均值 17.6 t · hm^{-2},50 ~ 100 cm 土壤碳储量均值 92.9 t · hm^{-2})(图 1)。

2.4　女贞人工林生态系统碳储量

在 3 个女贞人工林中,林分总碳储量分别为 197.94、159.76 和 151.96 t · hm^{-2}(表 5)。在林分总碳储量中,土壤层碳储量所占比例最大(L1 94.9%、L2 93.6% 和 L3 89.6%),其次为乔木层碳储量(L1 4.5%、L2 5.5% 和 L3 9.1%),地表枯落物层碳储量所占比例最小(<2%)(表 5)。

3　讨　论

3.1　生物量方程构建

利用构建异速生长方程的方法来进行林分尺度上森林生物量和碳储量的估测,是一种广泛应用的生物量估测方法之一,而胸径(D)或胸径树高(D^2H)是异速生长方程中最常用的自变量(Zianis *et al.*,2004;Chave *et al.*,2005)。一般在林分调查中,由于树高(H)测量比胸径(D)的测量要困难许多,且树高的测量误差较大,因而在乔木异速生长方程构建时,树木易测因子如胸径(D)常常作为自变量而广泛应用(Chambers *et al.*,2001;Ketterings *et al.*,2001;Pilli *et al.*,2006;Zianis,2008)。在阿根廷(Dascanio *et al.*,1994)和我国贵州地区(姚立等,2004;贺红早等,2007)等地的研究中,也分别对女贞人工林乔木构建了立木胸径(D)或胸径树高(D^2H)与生物量 BM 的异速生长方程,也都达到了良好的拟合效果。目前,上海地区关于人工林树种生物量方程的报道还较少(Xiaver,2009;詹自强等,2011;王哲等,2012;庄红蕾等,2012)。本研究,通过径阶标准木法所构建的女贞立木和各组分生物量方程的 R^2 多数都在 0.95 以上(P<0.01),对于全面估算上海地区市域尺度上森林生物量碳储量及其分布格局奠定了基础。

3.2　女贞人工林乔木层碳储量及其分配格局

本研究表明,外环林带 9 年生女贞人工林乔木层碳储量为 8.83 ~ 10.49 t · hm^{-2},低于我国森林植被平均碳储量(57.78 t · hm^{-2})(周玉荣等,2000)。刘国华等(2000)对我国人工幼龄林碳密度的研究表明,我国人工幼龄林植被碳密度是 15.00 ~ 19.51 t · hm^{-2};徐新良等(2007)研究表明,我国华东地区的森林植被碳密度是 26.58 t · hm^{-2}。本研究中,外环林带女贞人工幼龄林植被平均碳密度均低于上述研究结果。这可能是由于目前外环林带女贞人工林造林时间短,还处于快速生长期,随着林木快速生长,今后该地区林分的增汇潜力巨大。

另据报道,贺红早等(2007)在贵阳二环林带研究表明,15 年生大叶女贞人工林乔木层生物量可达 33.68 t · hm^{-2},与上述结果相比,本文 9 年生女贞人工林乔木层平均生物量为 20.96 t · hm^{-2},明显小于上述研究结果。一般森林碳储量和年固碳量由气候、树种、林分年龄和营林措施等决定(庄红蕾等,2012)。本研究区域的气候条件(年平均温度 16.3 ℃,年降雨量 1240 mm)与贵州地区(年平均温度 15.3 ℃,年降雨量 1200 mm)无较大差异,因此林分栽植密度可能是导致本文研究结果偏低的主要原因。贺红早等(2007)研究区域的女贞人工林栽植密度为 1272 株 · hm^{-2},大于本研究林分栽植密度

(480 株·hm^{-2})。

本研究,9 年生女贞人工乔木层生物量碳储量分配格局表明,树干部分所占比例最大(40%),其次为树枝(20%),树根(15%)和树叶部分(11%),树皮部分所占比例最小(4%)。本研究的乔木生物量碳储量分配格局与其他研究结果基本一致(Dascanio *et al.*,1994),说明女贞立木生物量分配具有共同的特点。

3.3 女贞人工林土壤碳储量

本研究中,女贞人工林土壤(0~100 cm)碳储量均值为 157.7 t·hm^{-2},与周玉荣等(2000)研究结果相比,本研究结果远小于我国森林生态系统土壤(0~100 cm)碳储量平均值(201.76 t·hm^{-2})。其主要原因是,本研究区域的人工林造林时间相对较短,林地多由 21 世纪初其他土地利用类型转化而来(例如,住宅用地、农业用地、工业用地等)。随着林分生长和发育,该地区林分土壤增汇具有较大潜力。

本文通过构建女贞立木及各组分生物量方程,对女贞人工林乔木层生物量进行了估算,并对女贞人工林地表枯落物层、土壤层生物量进行了实测,为外环林带及上海市域尺度上森林生态系统生物量和碳储量估算奠定了基础。在当前城市土地利用情况日趋紧张的形势下,准确地定量研究城市森林生态系统碳收支已经成为国内外学者研究的热点。目前上海地区外环林带人工林虽然造林时间较短,但随着林分林龄增长,人工林生态系统固碳的速率、潜力和机制方面的研究依然是今后城市森林生态系统碳汇功能研究的重点方向。

致 谢 感谢马克平研究员对论文提出宝贵意见;感谢浦东新区林业站对本次试验外业调查取样提供帮助;感谢沈琪、徐俊、朱运佳等参与野外调查和取样工作。

参考文献

贺红早, 黄丽华, 段 旭, 等. 2007. 贵阳二环林带主要树种生物量研究. 贵州科学, **25**(3): 33-39.
贾治邦. 2010. 中国森林资源报告:第 7 次全国森林资源清查. 北京: 中国林业出版社.
李 艳, 刘春江, 王 云, 等. 2008. 环城林带的营造及其经营问题: 以上海市外环林带为例. 上海交通大学学报: 农业科学版, **26**(2): 171-176.
刘国华, 傅伯杰, 方精云. 2000. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. 生态学报, **20**(5): 733-740.
王 瑞. 2010. 上海市环城林带人工植被更新格局与恢复潜力研究(硕士学位论文). 上海: 华东师范大学.
王 哲, 韩玉洁, 康宏樟,等. 2012. 黄浦江上游水源涵养林主要树种林分生态系统碳储量研究. 生态学杂志, **31**(8): 1930-1935.
吴仲民, 李意德, 曾庆波, 等. 1998. 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, **9**(4): 341-344.
徐新良, 曹明奎, 李克让. 2007. 中国森林生态系统植被碳储量时空动态变化研究. 地理科学进展, **26**(6): 1-10.
杨洪晓, 吴 波, 张金屯, 等. 2005. 森林生态系统的固碳功能和碳储量研究进展. 北京师范大学学报: 自然科学版, **41**(2): 172-177.
姚 立, 杨礼旦, 唐望远. 2004. 粗壮女贞的生物量研究. 贵州林业科技, **32**(1): 27-30.
詹自强, 王 哲, 吴 尧, 等. 2011. 上海佘山地区毛竹林生态系统碳储量研究. 上海农业学报, **27**(增刊): 1-5.
张凯旋. 2010. 上海环城林带群落生态学与生态效益及景观美学评价研究(博士学位论文). 上海: 华东师范大学.
周玉荣, 于振良, 赵士洞. 2000. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. 植物生态学报, **24**(5): 518-522.
庄红蕾, 肖春波, 王月华, 等. 2012. 上海崇明岛水杉人工林生物量方程构建及固碳潜力研究. 上海交通大学学报: 农业科学版, **30**(2): 48-55.
Bogner J, Pipatti R, Hashimoto S, *et al*. 2008. Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: Conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group Ⅲ (Mitigation). *Waste Management & Research*, **26**: 11-32.
Brown S, Schroeder P, Birdsey R. 1997. Aboveground biomass distribution of US eastern hardwood forests and the use of large trees as an indicator of forest development. *Forest Ecology and Management*, **96**: 37-47.
Chambers JQ, Santos JD, Ribeiro RJ. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, **152**: 73-84.
Chave J, Andalo C, Brown S, *et al*. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, **145**: 87-99.
Dascanio LM, Barrera MD, Frangi JL. 1994. Biomass structure and dry matter dynamics of subtropical alluvial and exotic *Ligustrum* forests at the Rio de la Plata, Argentina. *Vegetatio*, **115**: 61-76.
Dixon RK, Brown S, Houghton RA, *et al*. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, **263**: 185-189.
Ketterings QM, Coe R, van Noordwijk M, *et al*. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, **146**: 199-209.
Pilli R, Anfodillo T, Carrer M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, **237**: 583-593.
Post WM, Emanuel WR, Zinke PJ, *et al*. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, **298**: 156-159.
Xiaver B. 2009. Allometric estimation of the aboveground biomass and carbon in *Metasequoia glyptostroboide* plantations in Shanghai(Master thesis). Bedfordshire: Cranfield University.
Zianis D, Mencuccini M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, **187**: 311-322.
Zianis D. 2008. Predicting mean aboveground forest biomass and its associated variance. *Forest Ecology and Management*, **256**: 1400-1407.

作者简介 王 哲,男,1983 年生,博士,工程师,从事城市生态学方面研究。E-mail: zhewang0815091@163.com

责任编辑 王 伟