

# Carbon Storage of *Magnolia grandiflora* Plantations in Upper and Middle Reaches of Huangpu River, Shanghai

Zhe Wang

Shanghai Forestry Station, Shanghai  
Email: [zhewang0815091@163.com](mailto:zhewang0815091@163.com)

Received: Jun. 23<sup>rd</sup>, 2014; revised: Jul. 14<sup>th</sup>, 2014; accepted: Jul. 18<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by author and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

*Magnolia grandiflora* is one of the most common evergreen tree species in subtropical area in China. In this study, three plantations were studied and allometric equations for different organs such as root, trunk, bark, branch and foliage of *M. grandiflora* were established in the upper and middle reaches of Huangpu River in Shanghai area. The carbon storage of tree biomass, forest floor and soils (0 - 30 cm) were estimated in three 9-year-old stands. The results showed that there was a significant relationship between individual biomass and the diameter at breast height for the allometric equation in each organs, with the coefficient of determination  $R^2 = 0.90 - 0.99$ ,  $P < 0.05$ . Total carbon storage in the poplar tree stands was  $59.9 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ . In the total carbon storage of the poplar tree stands, tree biomass carbon storage proportionally accounted for 23.4%, and each organ was ranked as: trunk > root > foliage > branch > bark. The forest floor accounted for 1.5%. The soil is the biggest part which accounted for 75.1%. This result indicated that the poplar young plantations currently are at fast-growing stage, which has an important role for carbon sequestration management in Shanghai.

## Keywords

Shanghai, *M. grandiflora*, Plantation, Biomass, Carbon Storage

## 黄浦江中上游广玉兰人工林生态系统 碳储量特点

王 哲

上海市林业总站, 上海  
Email: [zhewang0815091@163.com](mailto:zhewang0815091@163.com)

收稿日期: 2014年6月23日; 修回日期: 2014年7月14日; 录用日期: 2014年7月18日

## 摘要

广玉兰是我国亚热带地区常见绿化树种之一。本研究以上海黄浦江中上游广玉兰人工林为研究对象, 构建了广玉兰林木及各器官(根、干、皮、枝、叶)生物量方程, 并估测了广玉兰人工林林分生物量(乔木层、凋落物层)、碳储量和土壤碳储量。研究表明, 广玉兰立木及各器官的生物量方程拟合效果较好( $R^2 = 0.90 \sim 0.99$ ,  $P < 0.05$ )。9年生广玉兰人工林生态系统总碳储量为 $59.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在广玉兰人工林林分总碳储量中, 乔木层碳储量所占比例为23.4%, 其中, 广玉兰立木各组分碳储量大小排序为树干 > 树根 > 树叶 > 树枝 > 树皮。凋落物层碳储量所占比例仅为1.5%。土壤碳储量(0~30 cm)所占比例最大, 为75.1%。这些广玉兰人工幼龄林正处于生长旺盛阶段, 对上海地区人工林碳汇经营具有重要意义。

## 关键词

上海, 广玉兰, 人工林, 生物量, 碳储量

## 1. 引言

森林是陆地生态系统的主体, 其地上植被生物和土壤中储存了大量碳, 并且与大气层进行交换, 因此对全球生态系统碳循环具有重要意义[1]-[4]。2014年全国第八次森林资源普查数据表明, 全国森林面积2.08亿公顷, 森林覆盖率达21.63%, 人工林面积从原来的6169万公顷增加到6933万公顷[5], 是人工林现存面积最大的国家。发展人工林面积, 提高我国森林固碳增汇的潜力, 对于我国人工林增碳汇经营意义重大。因而在不同地区的气候和立地条件下, 研究树种人工林林分的生长状况, 构建林木生物量方程, 测算林分碳储量是一项重要研究任务。

上海位于我国长三角中心地区, 是我国重要的金融中心。近年来, 随着上海地区经济的快速发展, 城市污染问题也越来越突出, 人们对环境保护和生态文明建设的意识越来越强烈。上海林业近年来也得到了快速发展, 自上世纪末, 上海地区先后开展了外环线带、黄浦江上游水源涵养林等一批重大林业工程建设, 截至2009年, 最新森林资源清查数据结果表明, 上海地区森林总面积达7.9万 $\text{hm}^2$ , 森林覆盖率为12.58%[6]。这些新造林主要集中在郊区, 且人工林正处于幼龄快速生长阶段。广玉兰由于树冠高大、叶片四季常绿荫浓, 是我国城市园林绿化的观赏树种之一, 在我国北京、河南、江苏、浙江等地分布较广[7]。在上海地区, 广玉兰作为城区园林绿化树种和郊区造林树种之一, 对上海地区林业建设中也起到了重要作用, 其栽植面积约为2285.3 hm, 占全市森林总面积的2.3%[6]。

目前关于广玉兰生物量和碳储量的研究还较少[8], 而对上海地区广玉兰生物量方程构建和林分碳储量的研究也还未见报道。综上所述, 本文研究目的有: 1)构建上海地区广玉兰生物量方程, 为研究上海及周边地区广玉兰人工林林分生物量和碳储量奠定基础; 2)用构建的生物量方程, 估算广玉兰人工林林分生物量和碳储量; 3)通过系统研究广玉兰人工林生态系统碳储量, 完整地展示广玉兰人工林林分碳储量分布特点。

## 2. 研究地区与研究方法

### 2.1. 研究区域

本文研究区域位于黄浦江中上游松江区泖港镇晨兴生态林内。自 2003 年松江区进行黄浦江水源涵养林工程建设以来,截止 2009 年,黄浦江中上游两岸已建成 200~500 m 宽的水源涵养林,总面积达 0.33 万公顷,黄浦江主干河流两侧 60 km<sup>2</sup>、拦路港 - 泖河 - 斜塘 - 横潦泾两侧 40 km<sup>2</sup> 实现了森林全覆盖。松江区地势低平,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 17.8℃,年降雨量 1200 mm。该区域水源涵养林主要造林树种包括香樟(*Cinnamomum camphora*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、黄山栎树(*Koelreuteria interfolia*)等。

### 2.2. 研究方法

#### 2.2.1. 样地选择

在松江区晨兴水源涵养林内,选择树木生长良好、立地条件相似,人为干扰较少的广玉兰人工纯林设置样地(表 1)。样地大小为 20 m × 30 m,共 3 个重复样地,分别命名为 M1、M2 和 M3。本研究外业调查和采样时间为 2012 年 6 月下旬,由于当地林业养护部门定期对水源涵养林进行维护,在与林业养护部门沟通协商后,本研究的凋落物外业调查取样时间为 2012 年 11 月。

#### 2.2.2. 乔木层标准木调查取样

对样地内的树木进行每木调查,测量并记录每株广玉兰乔木胸径和树高,以 2 cm 为一个径阶,统计每个径阶范围内的乔木株数和平均胸径,采用径阶标准木法在每个径阶内选取 1~2 株胸径最接近径阶平均胸径的乔木作为标准木,本文共选取广玉兰标准木 5 株。

标准木的根部分采用“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均取鲜样约 500 g,(树干部分每段截取 1 个圆盘),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。

#### 2.2.3. 乔木层生物量方程构建

本研究以胸径 *DBH* 为自变量,以树种各个器官(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:

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

#### 2.2.4. 土壤碳储量估测

由于该地区土壤地下水位较高,实测值为 37 cm,故本试验土壤碳储量为 0~30 cm 土壤层碳储量。具体方法为在每个样地中按对角线法设定土壤取样点 5 个,每个取样点按 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 分层取样  $d_i$  (cm)。将同一土层样品混合后带回实验室。同时用环刀法测定各层次土壤容重  $D_i$  (g·cm<sup>-3</sup>)。将各层次土壤混合样品带回实验室后,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<sup>-1</sup>); 土壤 50 cm 深度土壤有机碳储量用下式计算:

$$S = \sum d_i \times D_i \times C_i \quad (2)$$

式中,  $i$  为土壤层次。

#### 2.2.5. 凋落物碳储量估测

在广玉兰人工林林分调查中发现,当地林业养护部门按照当地政府要求,定期对林下植被层进行养

Table 1. General conditions in *M. grandiflora* stands

表 1. 广玉兰人工林林分样地概况

样地名称	地点	林分密度(株·hm <sup>-2</sup> )	平均树高(m)	平均胸径 DBH(cm)
M1	松江泖港	767	5.7	7.6
M2	松江泖港	650	5.2	7.7
M3	松江泖港	633	5.0	7.5

护收割, 因此林下地被层植被稀少, 本试验只对样地林分枯落物层生物量进行计算。在每个样地内, 按对角线法设置 5 个 1 m × 1 m 的小样方; 采用全收获法将凋落物样品收集。在实验室将样品于 80 °C 下烘干, 测定烘干重, 估算单位面积内凋落物生物量。

### 2.2.6. 碳储量估算

一般植物碳素含量转换率为 0.45~0.55, 本文根据前人研究结果, 取 0.5 作为生物量碳储量转换因子, 计算林分碳储量[9] [10]。

### 2.2.7. 数据处理

本试验数据的统计处理采用 Excel (Microsoft Inc. 2007) 进行, 试验数据分析及生物量方程的拟合则用 SigmaPlot 10.0 (Systat Inc. US) 软件进行。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 树种生物量方程

广玉兰的各组分生物量方程见表 2。各组分的生物量与测树因子 *DBH* 间具显著相关性( $P < 0.05$ ), 可见各组分的生物量方程拟合效果较好。其中树皮的生物量方程决定系数  $R^2$  达到 0.99,  $P < 0.001$ 。树根的生物量方程决定系数  $R^2$  较其他组分低, 为 0.895,  $P < 0.05$ 。由表 2 可知广玉兰胸径 *DBH* 与生物量有良好的相关性, 所构建的生物量方程都具有很高的适用性, 可以用来估测样地林分中立木及各组分的生物量大小。

### 3.2. 人工林乔木层生物量碳储量

表 3 中 M1、M2 和 M3 分别代表三个广玉兰人工林样地。三个样地林分生物量大小分别为 14.6 t·hm<sup>-2</sup>、13.1 t·hm<sup>-2</sup> 和 14.2 t·hm<sup>-2</sup>, 乔木层碳储量则分别为 7.3 t·hm<sup>-2</sup>、6.6 t·hm<sup>-2</sup> 和 7.1 t·hm<sup>-2</sup>。表 3 中三个广玉兰样地林分乔木层生物量和碳储量均值分别为 14.0 t·hm<sup>-2</sup> 和 7.0 t·hm<sup>-2</sup>。9 年生广玉兰人工林乔木层各组分的生物量和碳储量大小差异较大(表 3)。广玉兰人工林林分乔木层树干部分的生物量和碳储量所占比例最大一般可达 35% 以上, 其次为根、叶和枝部分, 分别为 25%、16% 和 12%。皮部分的生物量和碳储量所占比例最小, 一般在 7%。

表 4 为广玉兰人工林乔木层平均单立木及各组分生物量。三个样地林分乔木层单立木的生物量分别为 16.39 kg、15.34 kg 和 16.28 kg。单立木各个器官的平均生物量为: 树根 4.24 kg, 树干 5.86 kg, 树皮 1.13 kg, 树枝 2.03 kg, 树叶 2.73 kg。广玉兰立木各器官生物量和碳储量大小排序一般为树干 > 树根 > 树叶 > 树枝 > 树皮。

### 3.3. 广玉兰人工林土壤碳储量

在广玉兰人工林样地土壤中, M3 林分 0~30 cm 土壤碳储量最大(51.3 t·hm<sup>-2</sup>), 其次为 M1 和 M2 (43.8 t·hm<sup>-2</sup>, 39.8 t·hm<sup>-2</sup>), 三个样地的土壤碳储量均值是 45.0 t·hm<sup>-2</sup>。在林分土壤各层次中, 土壤 10~20 cm 碳储量一般较高, 其次为 0~10 cm, 土壤 20~30 cm 土壤碳储量最小(图 1)。

**Table 2.** Allometric biomass equations of different organs for *M. grandiflora***表 2.** 广玉兰各器官生物量方程

树种	器官	生物量方程 $BM = a(DBH)^b$ 系数		径阶 (cm)	标准株 $n$	决定系数 $R^2$	$P$ 值
		$a$	$b$				
广玉兰				3-13	5		
	立木	0.330788	1.90957			0.974	0.002
	树根	0.104937	1.80928			0.895	0.015
	干材	0.057657	2.25148			0.943	0.006
	树皮	0.028253	1.80469			0.987	<0.001
	树枝	0.052639	1.78865			0.897	0.014
	树叶	0.062077	1.85157			0.918	0.010

**Table 3.** Biomass and carbon storage of tree layers in *M. grandiflora* stands**表 3.** 广玉兰人工林乔木层各组分生物量碳储量( $t \cdot hm^{-2}$ )

林分	根	干	皮	枝	叶	总生物量	碳储量 <sup>b</sup>
M1 <sup>a</sup>	3.7(25.3) <sup>c</sup>	5.3(36.3)	1.0(6.8)	1.8(12.3)	2.4(16.4)	14.6(100.0)	7.3
M2	3.4(26.0)	4.6(35.1)	0.9(6.9)	1.6(12.2)	2.2(16.8)	13.1(100.0)	6.6
M3	3.7(26.1)	5.0(35.2)	1.0(7.0)	1.8(12.7)	2.4(16.9)	14.2(100.0)	7.1
平均值	3.6(25.8)	5.0(35.6)	1.0(7.0)	1.7(12.4)	2.3(16.7)	14.0(100.0)	7.0

a: M1、M2 和 M3 分别代表 3 个重复样地; b: 生物量碳储量转换因子 0.5; c: 括号中数值表示树种各组分所占乔木层生物量的比例。

**Table 4.** Biomass of standard wood in *M. grandiflora* stands**表 4.** 广玉兰人工林乔木层平均单立木生物量(kg)

林分	根	干	皮	枝	叶	总生物量	碳储量 <sup>a</sup>
M1	4.32	6.06	1.15	2.07	2.79	16.39	8.20
M2	4.08	5.56	1.09	1.96	2.63	15.34	7.67
M3	4.31	5.97	1.15	2.07	2.78	16.28	8.14
平均值	4.24	5.86	1.13	2.03	2.73	16.00	8.00

a: 生物量碳储量转换因子 0.5。

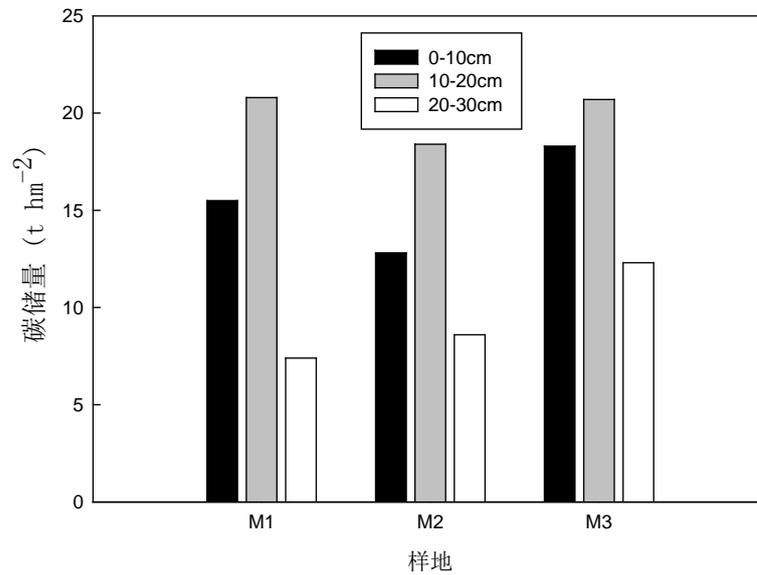
### 3.4. 广玉兰人工林生态系统碳储量

在 3 个样地林分中, 广玉兰人工林生态系统总碳储量分别为  $59.3 t \cdot hm^{-2}$ 、 $53.8 t \cdot hm^{-2}$  和  $66.4 t \cdot hm^{-2}$ (表 5)。其中, 土壤层碳储量所占比例最大(P1 73.8%、P2 74.1%、P3 77.3%), 其次为乔木层碳储量(P1 24.6%、P2 24.3%、P3 21.4%), 凋落物层碳储量所占比例最小(P1 1.6%、P2 1.6%、P3 1.3%)(表 5)。由表 5 可知广玉兰人工林生态系统碳储量均值为  $59.9 t \cdot hm^{-2}$ , 土壤层碳储量所占比例最大为 75.1%, 乔木层碳储量占 23.4%, 而凋落物层碳储量所占比例最小, 不到林分生态系统总碳储量的 2%。

## 4. 结论与讨论

### 4.1. 生物量方程构建

通过构建乔木异速生长方程来对林分尺度上森林生物量和碳储量的估测, 是一种广泛应用的方法[11]。



**Figure 1.** Carbon storage of different soil depths in *M. grandiflora* stands  
**图 1.** 广玉兰人工林分土壤碳储量

**Table 5.** Carbon storage and its allocation in three *M. grandiflora* stands  
**表 5.** 不同树种人工林分碳储量及空间分配

林分	林龄(年)	碳储量 <sup>a</sup> (t·hm <sup>-2</sup> )			合计
		乔木层	凋落物层	土壤层 <sup>b</sup>	
M1	9	14.6(24.6) <sup>c</sup>	0.93(1.6)	43.8(73.8)	59.3(100.0)
M2	9	13.1(24.3)	0.85(1.6)	39.8(74.1)	53.8(100.0)
M3	9	14.2(21.4)	0.87(1.3)	51.3(77.3)	66.4(100.0)
平均	9	14.0(23.4)	0.88(1.5)	45.0(75.1)	59.9(100.0)

本研究中广玉兰人工林乔木胸径( $D$ )与各器官的生物量  $BM$  的异速生长方程,拟合效果较好(一般  $R^2 > 0.90$ ,  $P < 0.05$ )。通常在林分调查中,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,在乔木生物量回归方程的构建中,树木胸径( $D$ )常常作为自变量来进行生物量的估算[12]-[16]。本研究正是基于此,构建了上海黄浦江中上游广玉兰人工林乔木器官及立木基于胸径生长的生物量方程,目前,关于上海地区人工林树种生物量方程的报道还较少[17]-[20],而本研究中构建的广玉兰人工林立木及各组分生物量方程,对于准确估算上海地区广玉兰人工林生物量碳储量具有重要意义,同时采用异速生长方程的方法,构建上海地区主要树种生物量方程,对于市域尺度上的上海地区森林生物量碳储量估测,提供了方法学基础。

#### 4.2. 广玉兰人工林乔木层碳储量及其分配格局

本研究表明,上海地区广玉兰人工林乔木层碳储量为  $14.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 低于我国森林植被平均碳储量 ( $57.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )[21]。另外,根据我国人工幼龄林碳密度的研究结果[22] [23],我国人工幼龄林植被碳密度在  $15.00 \sim 19.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,华东地区的森林植被碳密度是  $26.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,与本文研究结果相比,上海地区广玉兰人工林植被碳密度相对我国及华东地区人工幼龄林平均碳密度。与上述结果相比,本文中9年生广玉兰人工林乔木层生物量和碳储量相对较小,这可能是由于林分栽植密度过大造成树木生长发育受限,养

分竞争剧烈。根据当地林业部门资料显示, 2003 年进行造林时, 林木栽植密度一般都在  $2000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$  以上。

本研究中, 广玉兰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(35%), 其次为树根部分(26%)、树叶(16%)和树枝(12%), 最小为树叶部分(7%)。本研究的乔木生物量碳储量分配特征与相关树种生物量研究结果基本一致[24]。

### 4.3. 广玉兰人工林土壤碳储量

本研究中, 广玉兰人工林林分土壤(0~30 cm)碳储量仅为  $45.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 与我国森林生态系统土壤(0~100 cm)碳储量平均值( $201.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )[21]相比, 仅为我国森林土壤碳储量均值水平的四分之一, 这主要是由于黄浦江中上游地区地下水位较高, 且林地多由农田转化而来, 造林时间相对较短, 因此广玉兰人工林随着林分生长和发育, 广玉兰人工林土壤碳储量具有较高的增汇潜力。

本文通过构建广玉兰立木及各组分生物量方程的方法, 估测了黄浦江中上游广玉兰人工林乔木层生物量和碳储量, 并通过样地实测数据估算了广玉兰人工林凋落物层、土壤(0~30 cm)的碳储量, 为系统估算上海市域尺度上森林生物量和碳储量奠定了基础。

广玉兰作为我国主要城市的园林绿化和庭院绿化树种之一, 在吸收污染物、固碳释氧方面具有很好的生态服务效益。本文仅对黄浦江中上游地区水源涵养林内的广玉兰人工幼龄林进行标准木砍伐和构建生物量方程, 但是由于标准木胸径都偏小, 而对于城区广玉兰中龄林及成熟林的高大乔木缺乏大径阶标准木, 因而本文所构建的广玉兰生物量方程还具有一定的局限性, 在准确估测大径阶广玉兰乔木生物量时会出现一定程度的误差。基于此, 本文今后的研究方向应注意补充大径阶广玉兰标准木, 完善生物量方程, 以期为准准确估算市域尺度上森林固碳现状、速率和潜力提供研究基础。

## 致 谢

感谢马克平研究员、刘春江教授给予本文提出宝贵意见; 感谢上海市松江区林业站对本次试验外业调查取样给予了极大帮助; 感谢王紫君、杜宝明等人参与野外调查试验。

## 项目基金

中国科学院站旅行先导科技专项(XDA05050204), 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)和上海市绿化和市容管理局矩管项目 G141208。

## 参考文献 (References)

- [1] Cheng, D.L., Wang, G.X., Li, T., Tang, Q.L. and Gong, C.M. (2007) Relationships among the stem, aboveground and total biomass across Chinese forests. *Journal of Integrative Plant Biology*, **11**, 1573-1579.
- [2] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云 (2001) 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究. *应用生态学报*, **1**, 13-16.
- [3] Christopher, S. (1999) Terrestrial biomass and effects of deforestation on the globe carbon cycle. *Bioscience*, **49**, 769-778.
- [4] 方精云, 陈安平 (2001) 中国森林植被碳库的动态变化及其意义. *植物学报*, **9**, 967-973.
- [5] 国家林业局 (2014) 第八次全国森林资源清查结果公布. <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/3161/content-659779.html>
- [6] Wang, Z., Cui, X., Yin, S., Shen, G.R., Han, Y.J. and Liu, C.J. (2013) Characteristics of carbon storage in Shanghai's urban forest. *Chinese Science Bulletin*, **10**, 1130-1138.
- [7] 刘艳萍, 朱延林, 康向阳, 晏增, 马永涛 (2013) 广玉兰类型的初步划分. *河南农业科学*, **2**, 120-122.
- [8] 王立 (2013) 重庆主城区常见园林树种及群落的碳汇能力研究. 西南大学, 重庆.

- [9] 雷丕锋, 项文化, 田大伦, 等 (2004) 樟树人工林生态系统碳素贮量与分布研究. *生态学杂志*, **4**, 25-30.
- [10] 吴泽民, 孙启祥, 陈美工 (2001) 安徽长江滩地广玉兰人工林生物量和养分积累. *应用生态学报*, **6**, 806-810.
- [11] Chambers, J.Q., Santos, J.D. and Ribeiro, R.J. (2001) Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, **152**, 73-84.
- [12] Kueh, R.J.H. and Lim, M.T. (1999) An estimate of forest biomass in Ayer Hitam Forest Reserve. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, **22**, 117-123.
- [13] Pilli, R., Anfodillo, T. and Carrer, M. (2006) Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, **237**, 583-593.
- [14] Zianis, D. and Mencuccini, M. (2004) On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, **187**, 311-322.
- [15] Zianis, D. (2008) Predicting mean aboveground forest biomass and its associated variance. *Forest Ecology and Management*, **256**, 1400-1407.
- [16] Gargaglione, V., Peri, P.L. and Rubio, G. (2010) Allometric relations for biomass partitioning of *Nothofagus Antartica* trees of different crown classes over a site quality gradient. *Forest Ecology and Management*, **259**, 1118-1126.
- [17] 詹自强, 王哲, 吴尧, 耿晔, 黄丹, 康宏樟, 刘春江 (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.
- [18] 庄红蕾, 肖春波, 王月华, 王海, 殷杉, 刘春江 (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)*, **2**, 48-55.
- [19] 王哲, 韩玉洁, 康宏樟, 黄丹, 薛春燕, 殷杉, 刘春江 (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*, **8**, 1930-1935.
- [20] Xiaver, B (2009) Allometric estimation of the aboveground biomass and carbon in *Metasequoia glyptostroboide* plantations in Shanghai. Cranfield University, Bedfordshire.
- [21] 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*, **5**, 518-522.
- [22] 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*, **5**, 733-740.
- [23] 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*, **6**, 1-10.
- [24] 胡莎莎, 张毓涛, 李吉玫, 芦建江, 李翔, 王千军, 王晓康 (2012) 新疆杨生物量空间分布特征研究. *新疆农业科学*, **6**, 1059-1065..