

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.03.011

薛春燕,王哲,崔旋,等. 黄浦江中上游杨树人工林生态系统碳储量研究[J]. 广西植物,2014,34(3):338—343

Xue CY,Wang Z,Cui X,et al. Carbon storage of poplar plantations in upper and middle reaches of Huangpu River,Shanghai[J]. *Guihaia*,2014,34(3):338—343

黄浦江中上游杨树人工林生态系统碳储量研究

薛春燕¹,王哲¹,崔旋²,李琦¹,黄丹¹,孙文¹,韩玉洁^{1*}

(1. 上海市林业总站,上海 200072; 2. 上海建桥学院 艺术设计系,上海 201319)

摘要:以上海地区黄浦江中上游杨树人工林为研究对象,构建了杨树立木及各器官(根、干、皮、枝、叶)生物量方程,并对杨树人工林林分生物量(乔木层、地表枯落物层)、碳储量和土壤碳储量进行了估测。结果表明:杨树立木及各器官的生物量方程拟合效果较好($R^2=0.96\sim 0.99$, $P<0.001$)。9年生杨树人工林生态系统碳储量为 $90.9\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。其中乔木层碳储量所占比例为36.6%,乔木层各组分碳储量大小排序为树干>树根>树枝>树皮>树叶;地表枯落物层碳储量所占比例仅为1.7%。土壤碳储量(0~50 cm)所占比例最大,为61.6%。这些杨树人工幼龄林正处于快速生长阶段,对上海地区人工林碳汇经营具有重要意义。

关键词:上海;杨树;人工林;生物量;碳储量

中图分类号:Q948.1 文献标识码:A 文章编号:1000-3142(2014)03-0338-06

Carbon storage of poplar plantations in upper and middle reaches of Huangpu River, Shanghai

XUE Chun-Yan¹, WANG Zhe¹, CUI Xuan², LI Qi¹,
HUANG Dan¹, SUN Wen¹, HAN Yu-Jie^{1*}(1. *Shanghai Forestry Station*, Shanghai 200072, China; 2. *Department of Art Design*,
Shanghai Jianqiao College, Shanghai 201319, China)

Abstract: Poplar tree is a fast growing and strong adaptability tree species, which is one of the important tree species used for fast-growing forest silviculture in our country. In this study, poplar plantations were studied and allometric equations for different organs such as root, trunk, bark, branch and foliage of poplar tree were established in the upper and middle reaches of Huangpu River. The carbon storage of tree biomass, forest floor and soils (0—50 cm) were estimated in three 9 year-old stands. The results showed that there was a significantly relationship between individual biomass and the diameter at breast height for the allometric equation in each organs, with the coefficient of determination($R^2=0.96-0.99$, $P<0.001$). Total carbon storage in the poplar tree stands was $90.9\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$. In the total carbon storage of the poplar tree stands, tree biomass carbon storage proportionally accounted for 36.6%, and each organs ranked as: trunk>root>branch>bark>foliage. The forest floor was accounted 1.7%. The soil was the biggest part which accounted 61.6%. This result indicated that the poplar young plantations currently were at fast-growing stage, which had an important role for carbon sequestration management in Shanghai.

Key words: Shanghai; poplar; plantation; biomass; carbon storage

收稿日期:2013-11-05 修回日期:2013-12-23

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050204);上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻2010第6-1,沪农科攻2011第1-6);上海市绿化和市容管理局局管项目(G141208)。

作者简介:薛春燕(1986-),女,江苏常熟人,硕士,助理工程师,从事城市林业研究,(E-mail)yanyan-6.6.6@163.com。

*通讯作者:韩玉洁,高级工程师,从事城市生态学方面的研究,(E-mail)zhewang0815091@163.com。

人工林碳汇是我国森林碳汇的主要贡献来源(方精云等,2001)。目前,我国现有人工林面积0.62亿公顷,是世界上人工林面积最大的国家,发展人工林面积,提高人工林固碳功能对森林固碳增汇意义重大(贾治邦,2010)。因而在区域尺度上,构建树种乔木生物量方程,研究树种林分生物量、碳储量也具有重要意义(王哲等,2012)。上海地处我国长三角地区,经济发达,人口众多。自20世纪末开始,上海地区先后开展了黄浦江水源涵养林、外环线带等一批重大林业工程建设,截至2009年,上海地区森林总面积达7.9万 hm^2 ,森林覆盖率为12.58%(Wang *et al.*,2013)。杨树由于生长快、易繁殖、适应性强等特点,是我国大部分地区主要造林树种之一。杨树作为先锋树种在上海林业发展之初起到了重要作用,目前上海地区杨树总面积已达4 349 hm^2 ,占上海地区森林总面积的4.9%(Wang *et al.*,2013)。在其他地区,一些学者已经对杨树人工林的生物量和碳储量开展了大量研究(吴泽明等,2001;Liang *et al.*,2006;程乐蓓,2008;崔鸿侠等,2012;赵栋等,2012;贾黎明等,2013),而上海地区关于杨树人工林生物量、碳储量方面的研究还未见报道。

本文研究目的是:(1)构建上海地区杨树生物量方程,为研究上海地区杨树人工林生态系统生物量和碳储量提供基础;(2)用构建的生物量方程,估算杨树人工林乔木层生物量和碳储量;(3)通过系统研究杨树人工林生态系统碳储量,完整地展示杨树人

工林生态系统碳储量分布特点。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域

21世纪初上海开始沿黄浦江中上游两岸建设水源涵养林,目前已在黄浦江中上游主干河流两侧实现了森林全覆盖,水源涵养林面积达10 311 hm^2 。黄浦江水源涵养林多以纯林为主,主要造林树种包括香樟(*Cinnamomum camphora*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、杨树(*Populus euramevicana* 'I-214')、女贞(*Ligustrum lucidum*)、重阳木(*Bischofia polycarpa*)等。本研究主要在闵行区浦江镇水源涵养林林带内开展。闵行区地处黄浦江中上游,地势低平,土壤为盐渍土,气候温和湿润,年平均温度15.5 $^{\circ}\text{C}$,年降雨量1 304 mm。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择 在闵行区黄浦江水源涵养林内,选择树木生长良好、立地条件相似,人为干扰较少的杨树人工纯林设置样地。本文所设置的样地林龄为9年生杨树(*P. euramevicana* 'I-214')人工林。样地大小为20 m \times 30 m,共3个重复样地,分别命名为P1、P2和P3。外业调查和采样时间为2012年6月,地表枯落物层的外业调查取样时间为2012年11月。

表1 杨树人工林林分样地概况

Table 1 General conditions in poplar tree stands

样地名称 Site	地点 Location	林龄 Age	林分密度 Density (trees \cdot hm^{-2})	平均树高 Height (m)	平均胸径 DBH (cm)
P1	闵行浦江 Pujiang Town, Minhang District	9	650	14.5	17.7
P2	闵行浦江 Pujiang Town, Minhang District	9	883	11.6	14.9
P3	闵行浦江 Pujiang Town, Minhang District	9	750	13.5	16

1.2.2 乔木层标准木调查取样 对样地内的树木进行每木调查,测量并记录每株杨树胸径和树高,以4 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,本文共选取杨树标准木5株(表2)。

用“全挖法”测定地下根部分的鲜重;用“分层切割法”对标准木的树干部分生物量进行测定,以2 m定长进行截干,测定树干的总鲜重,在每段树干分别截取1个圆盘;用“标准枝法”测定枝、叶部分鲜重,

对每棵标准木的各器官部分均取样约1 000 g,树干部分每段截取1个圆盘,带回实验室,80 $^{\circ}\text{C}$ 条件下烘干,计算各器官的含水量,换算成干重。

1.2.3 乔木层生物量方程构建 通过构建二元幂函数形式的生物量方程,来研究上海地区杨树立木及各器官(根、干、皮、枝、叶)的生物量大小。在所构建生物量方程中,胸径DBH为自变量,杨树立木及各器官的生物量为因变量。生物量方程式:

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

1.2.4 土壤碳储量估测 黄浦江中上游水源涵养林

表2 杨树各标准木胸径和树高

Table 2 Diameter at breast height (DBH) and tree height (H) in poplar standard trees

地点 Location	编号 Number	径阶 Diameter (cm)	胸径 DBH (cm)	平均树高 Height (m)
闵行浦江镇 Pujiang Town, Minhang District	1	5.0~9.0	7.5	9
	2	9.0~13.0	10.9	9.3
	3	13.0~17.0	14.4	12
	4	17.0~21.0	18.3	14.7
	5	21.0~25.0	22.3	17

闵行浦江段的地下水位实测值为 57 cm, 本试验取 0~50 cm 土壤层土样, 研究并估算土壤有机碳储量。在每样地随机选取土壤取样点 5~8 个, 每取样点按 0~10、10~20、20~30、30~50 cm 分层取样 d_i (cm)。将同一土层样品混合后带回实验室。采用环刀法分层测定土壤容重 D_i ($g \cdot cm^{-3}$)。土壤样品经风干研磨过 0.149 mm 土壤筛备用。各层次土壤混合样的有机碳含量 C_i ($g \cdot kg^{-1}$) 的测定采用重铬酸钾—外加加热法。林土壤有机碳储量 (0~50 cm) 用下式计算:

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

式中, i 为土壤层次。

1.2.5 地表枯落物层碳储量估测 由于林业养护部门对水源涵养林的林下植被层定期进行养护, 杨树人工林地被层稀少, 本试验中林下植被层生物量碳

储量忽略不计, 只对地表枯落物层生物量进行估算。采用全收获法, 对每个样地内对角线法设置的 5 个小样方 (1 m × 1 m) 的枯落物层进行收集, 带回实验室后, 80 °C 条件下将样品烘干, 测定烘干重, 得到单位面积内 (1 m²) 地表枯落物层生物量, 依此来估算杨树人工林林分枯落物生物量。

1.2.6 碳储量估算 植物碳素含量一般为 0.45~0.55 (吴仲民等, 1998), 本研究生物量—碳储量转换因子取 0.5, 来估算林分生态系统生物量碳储量。

1.2.7 数据处理 用 EXCEL (Microsoft Inc. 2007)、SigmaPlot 10.0 (Systat Inc. US) 软件包中的均数比较分析、方差分析、线性拟合等方法对数据进行统计分析处理。

2 结果与分析

2.1 杨树生物量方程

从表 3 看出, 立木和树干的生物量方程决定系数 R^2 达 0.99, 树枝的生物量方程决定系数 R^2 较其他组分低, 但仍达到 0.982 ($P < 0.001$)。杨树各器官的生物量 BM 与乔木胸径 DBH 间呈显著相关性 ($P < 0.001$), 说明所构建的各器官生物量方程拟合效果较好。由此可以用来准确估测杨树人工林乔木层立木及各器官的生物量大小。

表3 杨树各器官生物量方程

Table 3 Allometric biomass equations of different organs for *P. euramevicana* 'I-214'

树种 Species	器官 Organs	$BM = a (DBH)^b$ 系数 Biomass equation parameters		径阶 Diameter (cm)	标准株 Model trees (n)	决定系数 Coefficient (R^2)	P 值 P-Value
		a	b				
<i>P. euramevicana</i> 'I-214' Poplar	立木 Tree	0.019011	3.1051	5~25	5	0.995	<0.001
	树根 Root	0.013449	2.4535			0.984	<0.001
	干材 Stem	0.006725	3.1964			0.990	<0.001
	树皮 Bark	0.001848	3.0384			0.982	0.001
	树叶 Foliage	0.003399	2.6815			0.961	0.003
	树枝 Branch	0.001885	3.0213			0.987	<0.001

2.2 乔木层生物量碳储量

表 4 中三个 9 年生杨树人工林样地乔木层生物量大小分别为 75.2、59.0 和 66.2 t · hm⁻², 乔木层碳储量则分别为 37.6、29.5 和 33.1 t · hm⁻²。三个样地林分乔木层生物量和碳储量的均值分别为 66.8 和 33.4 t · hm⁻²。9 年生杨树人工林乔木层各组分的生物量和碳储量大小差异较大 (表 4)。杨树人工林乔木层树干部分的生物量和碳储量所占比例最大一般在 55% 以上, 根、枝和皮部分其次, 分别为

13.9%、10.3% 和 10.0%。叶部分的生物量和碳储量所占比例最小, 一般为 6.7%。

表 5 为 9 年生杨树人工林乔木层单立木及组分生物量。三个样地林分乔木层平均单立木的生物量分别为 122.04、90.62 和 92.52 kg。单立木各个器官的平均生物量为树干 60.19 kg、树根 14.07 kg、树枝 10.46 kg、树皮 10.16 kg、树叶 6.86 kg。杨树立木各器官生物量和碳储量大小排序一般为树干 > 树根 > 树枝 > 树皮 > 树叶。

表 4 林分乔木层各组分生物量碳储量 ($t \cdot hm^{-2}$)
Table 4 Biomass and carbon storage of tree layers in poplar tree stands

林龄 Age	林分 Stands	根 Root	干 Stem	皮 Bark	枝 Branch	叶 Foliage	总生物量 Total biomass	碳储量 ^b Carbon storage
9	P1 ^a	10.1 (13.4) ^c	44.9 (59.7)	7.5 (10.0)	7.7 (10.2)	5.0 (6.6)	75.2 (100.0)	37.6
9	P2	8.3 (14.1)	34.7 (58.8)	5.9 (10.0)	6.1 (10.3)	4.0 (6.8)	59.0 (100.0)	29.5
9	P3	9.4 (14.2)	38.9 (58.8)	6.6 (10.0)	6.8 (10.3)	4.5 (6.8)	66.2 (100.0)	33.1
	平均值 Average	9.3 (13.9)	39.5 (59.1)	6.7 (10.0)	6.9 (10.3)	4.5 (6.7)	66.8 (100.0)	33.4

a: P1、P2 和 P3 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。

a: P1, P2 and P3 mean three replication sampling sites. b: Conversion factor for biomass to carbon storage is 0.5. c: Values in the bracket means the biomass proportions of different organs in tree layer.

表 5 林分乔木层平均单立木生物量 (kg)
Table 5 Biomass of standard wood in poplar tree stands

林龄 Age	林分 Stands	根 Root	干 Stem	皮 Bark	枝 Branch	叶 Foliage	总生物量 Total biomass	碳储量 ^a Carbon storage
9	P1	16.38	72.84	12.18	12.56	8.08	122.04	61.02
9	P2	12.72	53.38	9.05	9.32	6.16	90.62	45.31
9	P3	13.10	54.34	9.24	9.51	6.33	92.52	46.26
	平均值 Average	14.07	60.19	10.16	10.46	6.86	101.73	50.86

a: 生物量碳储量转换因子 0.5

a: The parameter of biomass convert to carbon storage is 0.5.

2.3 杨树人工林土壤碳储量

在三个杨树人工林样地土壤中, P1 林分 0~50 cm 土壤碳储量最大 ($58.1 t \cdot hm^{-2}$), 其次为 P3 和 P2 ($55.1, 54.4 t \cdot hm^{-2}$), 三个样地的土壤碳储量均值是 $55.9 t \cdot hm^{-2}$ 。在林分土壤各层次中, 土壤碳储量的垂直分布特征为土壤表层 0~10 cm 碳储量一般较高, 随着土壤层深度的增加而逐渐减小, 土壤 30~50 cm 的碳储量最小 (图 1)。在三个样地土壤 10~20 cm 中, P2 和 P3 的土壤碳储量高于 P1, 原因可能是由于 P2 和 P3 样地林分栽植密度较大, 土壤有机碳积累程度较高引起的。

2.4 杨树人工林生态系统碳储量

在 3 个杨树人工林样地, 林分生态系统碳储量分别为 $97.3, 85.5$ 和 $90.0 t \cdot hm^{-2}$ (表 6)。地表枯落物层碳储量所占比例最小 (P1 1.6%、P2 1.8%、P3 1.7%) (表 6), 乔木层碳储量其次 (P1 38.6%、P2 34.5%、P3 36.8%), 土壤层碳储量所占比例最大 (P1 59.7%、P2 63.6%、P3 61.2%)。由表 6 可知杨树人工林生态系统碳储量均值为 $90.0 t \cdot hm^{-2}$, 土壤层碳储量所占比例最大为 61.6%, 乔木层碳储量占 36.6%, 而地表枯落物层碳储量所占比例最小, 不到人工林林分生态系统碳储量的 2%。

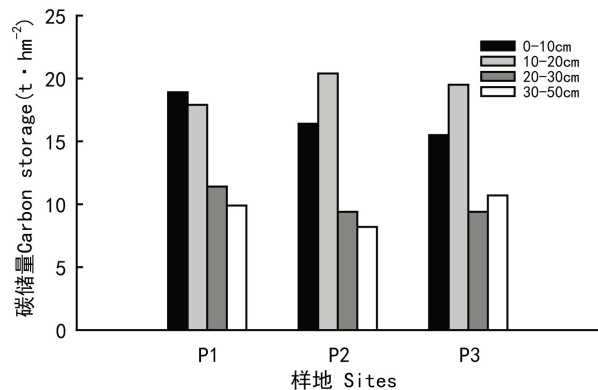


图 1 杨树人工林林分土壤碳储量
Fig. 1 Carbon storage of different soil depths in poplar tree stands

3 讨论与结论

3.1 生物量方程构建

本研究中杨树人工林生物量 BM 与乔木胸径 (D) 的异速生长方程, 拟合效果也较好 (一般 $R^2 > 0.95, P < 0.001$)。通常在林分调查中, 胸径 (D) 的测量比树高 (H) 数据获取要简单许多, 且测量树高数据往往带来较大误差, 所以构建林分乔木生物量

表 6 不同树种人工林林分碳储量及空间分配

Table 6 Carbon storage and its allocation in three poplar tree stands

林分 Stands	碳储量 ^a Carbon storage ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)				
	林龄 Age	乔木层 Tree layer	地表枯落物层 Litter layer	土壤层 ^b Soil layer	合计 Total
P1	9	37.6 (38.6) ^c	1.59 (1.6)	58.1 (59.7)	97.3 (100.0)
P2	9	29.5 (34.5)	1.56 (1.8)	54.4 (63.6)	85.5 (100.0)
P3	9	33.1 (36.8)	1.56 (1.7)	55.1 (61.2)	90.0 (100.0)
平均 Average	9	33.4 (36.6)	1.57 (1.7)	55.9 (61.6)	90.9 (100.0)

注: a. 生物量-碳储量转换因子取 0.5; b. 土层深度 0~50 cm; c. 括号中数字为人工林各层次所占林分生态系统碳储量百分比。

Note: a. Conversion factor for biomass to carbon storage is 0.5; b. Soil depth indicates 0~50 cm; c. Values in the bracket means the proportion of carbon storage of different layers in plantation ecosystems.

方程时, 树木胸径(D)经常作为自变量来进行生物量的估算 (Kueh *et al.*, 1999; Chambers *et al.*, 2001; Pilli *et al.*, 2006; Zianis, 2008)。

表 7 不同异速生长方程估测林分乔木层生物量

Table 7 Comparison of different allometric equations for estimating biomass of poplar tree stands

生物量方程 Biomass equation	地区 Area	径阶 Diameter (cm)	估测结果 Estimation ($t \cdot \text{hm}^{-2}$)				文献出处 Reference
			P1	P2	P3	平均 Average	
$BM=0.019011 D^{3.1051}$	上海 Shanghai City	5.0~25.0	75.2	59.0	66.2	66.8	本研究 In this research
$BM=0.087955 D^{2.5029}$	湖南 Hunan Province	6.0~40.0	76.4	62.2	70.7	70.0	蔡洁, 2010 Cai, 2010
$BM=0.13513(D^2 H)^{0.8020}$	安徽 Anhui Province	7.9~30.6	74.7	63.0	71.4	69.7	吴泽民等, 2001 Wu <i>et al.</i> , 2001
$BM=0.123611(D^2 H)^{0.8040}$	江苏 Jiangsu Province	8.0~20.0	69.5	58.6	66.4	64.8	陈乐蓓, 2008 Chen, 2008
$BM=0.1362(D^2 H)^{0.7796}$	新疆 Xinjiang Uygur Autonomous Region	10.4~24.5	62.1	52.6	59.7	58.1	胡莎莎等, 2012 Hu <i>et al.</i> , 2012

比($57.78 t \cdot \text{hm}^{-2}$) (周玉荣等, 2000) 处于较低水平。刘国华等(2000)和徐新良等(2007)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在 $15.00 \sim 19.51 t \cdot \text{hm}^{-2}$, 华东地区的森林植被碳密度为 $26.58 t \cdot \text{hm}^{-2}$, 与本文研究结果相比, 上海地区杨树人工林植被碳密度高于我国及华东地区人工幼龄林平均碳密度。贾黎明等(2013)根据全国第七次森林资源清查数据, 采用材积源生物量法对我国各省份杨树人工林的碳储量进行研究, 结果表明上海地区杨树人工林碳密度为 $18.75 t \cdot \text{hm}^{-2}$, 而本文根据所构建的生物量方程对杨树人工林乔木层生物量和碳储量进行实测, 对比发现本文实测值($33.4 t \cdot \text{hm}^{-2}$) 高。这说明采用构建异速生长方程可以大大提高在区域尺度上植被生物量碳储量的估

我们利用在其他地区建立的杨树生物量方程来估算本试验样地的杨树人工林乔木层生物量。本研究结果与用湖南(蔡洁, 2010)、安徽(吴泽民等, 2001)、江苏(陈乐蓓, 2008)地区的生物量方程估算的结果相近, 但用新疆(胡莎莎等, 2012)地区生物量方程估算的结果偏大, 这说明在湖南、安徽、江苏等地气候和水分条件相似的情况下, 杨树生长速度相似, 生长量也大致相同, 而上海与新疆等干旱地区相比, 由于水分充足, 植株生长相对旺盛, 林木生物量较大。目前, 关于上海地区人工林树种生物量方程的报道较少(Xiaver, 2009; 詹自强等, 2011; 王哲等, 2012; 庄红蕾等, 2012), 而本研究中杨树人工林立木及各器官生物量方程, 为上海地区森林生物量碳储量的全面估算提供基础。

3.2 杨树人工林乔木层碳储量及其分配格局

本研究表明, 上海地区杨树人工林乔木层碳储量为 $33.4 t \cdot \text{hm}^{-2}$, 与我国森林植被平均碳储量相

算精度。

在湖北省江汉平原地区, 崔鸿侠等(2012)的研究结果表明 8 年生杨树人工林的乔木层生物量达 $113.357 t \cdot \text{hm}^{-2}$; 蔡洁(2010)对湖南省洞庭湖区 9 年生杨树人工林碳储量的研究结果显示, 9 年生杨树人工林乔木层碳储量为 $41.06 t \cdot \text{hm}^{-2}$; 唐罗忠等(2004)对江苏省里下河地区 10 年生杨树人工林的生物量碳储量研究结果表明, 10 年生杨树人工林乔木层碳储量为 $73.5 t \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与上述结果相比, 本文中 9 年生杨树人工林乔木层生物量和碳储量相对较小, 这可能是由于造林之初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 $3000 \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上。本研究中, 杨树乔

木层生物量碳储量分配格局为树干所占最大比例(60%),树根和枝干其次(15%),树叶最小(7%)。本研究的乔木生物量碳储量分配特征与前人研究结果基本一致(唐罗忠等,2004;程乐蓓,2008;闫婷等,2012)。

3.3 杨树人工林土壤碳储量

本研究中,杨树人工林地下水位较高(实测值 57 cm),且林地由农田转化而来,造林时间相对较短,因此杨树人工林土壤(0~50 cm)碳储量实测值只有 $55.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,相比我国森林土壤(0~100 cm)碳储量平均值($201.76 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),处于较低水平(周玉荣等,2000)。唐罗忠等(2004)的研究表明,10 年生 I-69 杨无性系(*P. deltoids* Batrt.cv.“Lux”)土壤(0~50 cm)土壤碳储量达 $59.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。崔鸿侠等(2012)对江汉平原地区的 8 年杨树人工林土壤表层(0~20 cm)碳储量研究结果为 $61.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与上述结果相比,本文杨树人工林林龄较小,林分土壤(0~50 cm)碳储量相对较低,这可能是由于上海地区杨树人工林多数是在其他土地利用类型(农田、居住用地、工矿用地)转化而来,林分土壤碳积累时间还较短导致。由于这些人工林分还处于幼龄林阶段,随着林木快速生长和发育,林分土壤层增汇的潜力较大。

本文通过构建杨树立木及各组分生物量方程的方法,估测杨树人工林乔木层的生物量和碳储量,并通过样地实测数据估算杨树人工林生态系统碳储量,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。当前准确地定量研究城市森林生态系统碳收支平衡已成为国内外森林生态学研究热点。目前上海地区人工林随着林分快速生长,人工林生态系统固碳的速率、潜力和机制方面的研究将是今后的重点研究方向,对上海地区建设宜居型城市方面具有重要意义。

致谢 感谢马克平研究员给予本文的指导建议;感谢上海市闵行区林业站对本研究外业调查取样提供支持;感谢杜宝明、朱鹏华、王紫君等人参与本研究野外调查试验。

参考文献:

Cai J(蔡洁).2010. Studies on the productivity and carbon storage of poplar plantations in Dongting Lake Area(洞庭湖区杨树人工林生物生产力与碳储量研究)[D]. Changsha:Central South University of Forestry and Technology(长沙:中南林业科技大学)

- Chambers JQ,Santos JD,Ribeiro RJ. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest[J]. *For Ecol Manag*,**152**:73-84
- Chen LB(陈乐蓓). 2008. Studies on biomass and carbon storage of poplar plantation ecosystem at different management patterns (不同经营模式杨树人工林生态系统生物量与碳储量的研究)[D]. Nanjing:Nanjing Forestry University(南京:南京林业大学)
- Cui HX(崔鸿侠),Tang WP(唐万鹏),Hu XY(胡兴宜),*et al.* 2012. Carbon storage dynamics during the growth of poplar plantation(杨树人工林生长过程中碳储量动态)[J]. *J Northeast For Univ*(东北林业大学学报),**40**(2):47-49
- Fang JY,Chen AP,Peng CH,*et al.* 2001. Changes in forest biomass carbon storage in china between 1949 and 1998[J].*Science*,**292**:2 320-2 322
- Hu SS(胡莎莎),Zhang YT(张毓涛),Li JM(李吉玫),*et al.* 2012. Characteristics of spatial distribution of the biomass of *Populus alba* var *pyramidalis* Bge(新疆杨生物量空间分布特征研究)[J]. *Xinjiang Agric Sci*(新疆农业科学),**49**(6): 1 059-1 065
- Jia LM(贾黎明),Liu SQ(刘诗琦),Zhu LH(祝令辉),*et al.* 2013. Carbon storage and density of poplars in China(我国杨树林的碳储量和碳密度)[J]. *J Nanjing For Univ:Nat Sci Edit*(南京林业大学学报·自然科学版),**37**(2):1-7
- Jia ZB(贾治邦). 2010. China Forest Resources Report: the 7th National Forest Inventory(中国森林资源报告:第 7 次全国森林资源清查)[M]. Beijing(北京):China Forestry Press(中国林业出版社):18-19
- Kueh RJH, Lim MT. 1999. An estimate of forest biomass in Ayer Hitam Forest Reserve[J]. *Pertanika J Trop Agric Sci*,**22**:117-123
- Liang WJ,Hu HQ,Liu FJ,*et al.* 2006. Research advance of biomass and carbon storage of poplar in China[J]. *J For Res*,**17**(1):75-79
- Liu GH(刘国华),Fu BJ(傅伯杰),Fang JY(方精云). 2000. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance(中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报),**20**(5):733-740
- Pilli R, Anfodillo T, Carrer M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass[J]. *For Ecol Manag*,**237**:583-593
- Tang LZ(唐罗忠),Haibara K(生原喜久雄),Huang BL(黄宝龙),*et al.* 2004. Storage and dynamics of carbon in a Poplar plantation in Lixiahe Region, Jiangsu Province(江苏省里下河地区杨树人工林的碳储量及其动态)[J]. *J Nanjing For Univ: Nat Sci Edit*(南京林业大学学报·自然科学版),**8**(2):1-6
- Wang Z(王哲),Han YJ(韩玉洁),Kang HZ(康宏樟),*et al.* 2012. Carbon storage of main tree species plantations for water resources conservation in upper reaches of Huangpu River, Shanghai(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)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志),**31**(8): 1 930-1 935
- Wang Z, Cui X, Yin S, *et al.* 2013. Characteristics of carbon storage in Shanghai's urban forest[J]. *Chin Sci Bull*,**58**(10):1 130-1 138
- Wu ZM(吴仲民),Li YD(李意德),Zeng QB(曾庆波),*et al.* 1998. (下转第 314 页 Continue on page 314)