

胡耀文,周光南,李林海,等. 江西 4 个县毛竹生态系统碳储量及分布格局研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):234-237.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.067

# 江西 4 个县毛竹生态系统碳储量及分布格局研究

胡耀文<sup>1,2</sup>, 周光南<sup>3</sup>, 李林海<sup>3</sup>, 赵自稳<sup>1,2</sup>, 郭晓敏<sup>1,2</sup>, 刘苑秋<sup>1,2</sup>, 张文元<sup>1,2</sup>

(1. 江西农业大学园林与艺术学院,江西南昌 330045; 2. 江西省森林培育重点实验室,江西南昌 330045;

3. 江西省贵溪市国营双圳林场,江西贵溪 335414)

**摘要:**毛竹(*Phyllostachys edulis*)在我国南方分布广泛,生长快速,具有广泛的用途。对江西省崇义、靖安、资溪、井冈山 4 个地区毛竹样地的立竹生长、林下植被、土壤以及环境状况进行了调查,研究样地碳储量的分配格局。结果表明,毛竹样地的土壤层是固碳主体,其次是毛竹立竹,林下植被。毛竹立竹秆的碳储量是立竹的固碳主体。崇义、靖安、资溪、井冈山 4 个研究区域单位面积平均碳储量分别为 189.096、215.336、198.838、239.723 t/hm<sup>2</sup>。

**关键词:**毛竹(*Phyllostachys edulis*); 碳储量; 分布; 生态系统

**中图分类号:** S795.01; S181.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0234-04

森林碳汇主要是指森林从空气中吸收并储存二氧化碳的多少,或者说是森林吸收并储存二氧化碳的能力。对森林碳储量研究是全球碳循环研究焦点之一<sup>[1-2]</sup>,森林植被吸收大气中的二氧化碳并存储在植被或土壤中,从而减少二氧化碳在大气中的浓度。植物通过光合作用把吸收的二氧化碳转变为糖、氧气和有机物,是地球最基本的物质和能量的来源。地球的森林面积虽然只占陆地总面积的 1/3,但是森林在降低大气中二氧化碳浓度、减缓全球气候变暖中,发挥着重要的作用。森林植被部分碳库占全球植被碳库的 76%<sup>[3]</sup>,森林土壤碳库储存了全球土壤碳储量的 40% 左右<sup>[4-5]</sup>,森林是陆地生态系统中最大的碳库<sup>[6]</sup>。毛竹(*Phyllostachys edulis*)系禾本科刚竹属多年生散生竹<sup>[7]</sup>。毛竹秆箨厚革质,密被糖毛及深褐色斑点、斑块,箨环被有 1 圈脱落性毛,箨耳和箨毛发达,箨舌发达,箨片呈三角形或披针形,外翻<sup>[8]</sup>。中国长江以南,生长着世界 85% 的毛竹,其分布面积为 386.83 万 hm<sup>2</sup>,占竹林总面积的 71.89%<sup>[9]</sup>。长期以来,人们一直都只关注毛竹的经济实用价值<sup>[10]</sup>,但是近年来随着生态理念日渐深入人心,毛竹为生态环境带来的效益功能也越来越受到学者和专家们的关注。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本次研究试验样地设在崇义、靖安、资溪、井冈山 4 个地区。崇义试验样地地处中低纬度地区,属中亚热带季风湿润区,气候差异显著,历年平均气温 17.8℃,年降雨量

1 615.2 mm。靖安试验样地属于北亚热带湿润气候 历年平均气温 17.0℃,少数高山区年平均气温在 15.0℃左右,要比平原低 3℃以上,主要土壤类型有红壤、山地黄壤、山地黄棕壤等。资溪地区试验样地属亚热带湿润季风气候,气候温和,年平均气温 16.9℃,年平均降雨量 1 929.9 mm。井冈山样地属亚热带季风气候,年平均气温 14.2℃,年平均降雨量 1 856.3 mm。

崇义试验样地的土壤类型主要是红壤,植被类型为毛竹林,群落以毛竹、榿木、芒萁、柃木、淡竹叶、榿木为优势树种,郁闭度为 80%,群落高度在 12~13 m 之间。靖安的试验样地土壤类型也为红壤,林龄为 6、7 年,植被类型为毛竹纯林,植被群落优势树种为毛竹、榿木、百合科、油茶、络石、蔷薇科、蕨类、禾本科。林分郁闭度在 90%~100% 之间。资溪地区试验样地土壤类型为红壤和黄壤,群落层优势树种为毛竹、杜荆山、淡竹叶、蕨,林分郁闭度 60%~80% 之间。井冈山地区试验样地土壤主要类型为红壤、棕壤、山地黄棕壤,植被类型为毛竹林,植被群落优势树种为毛竹、柃木、乌药、狗脊蕨、新木姜、莎草,林分郁闭度 60%~80%,群落高度 14~15 m。

### 1.2 样地设置

按要求样地水平投影大小为 800 m<sup>2</sup>。以样地的西南角为起点,顺时针方向用罗盘仪测角(确保样地 4 个角成直角)和坡度,皮尺量距离。按样地垂直投影面积计算森林生物量、碳储量和土壤碳储量对样地进行样地面积校正。样地设置好以后,应标记其所处的地点,记录样地的 GPS 定位坐标、坡向、坡度、坡位、海拔、方位及在林分中的相对位置,并将样地设置的大小、形状在样地调查表上按比例绘制略图;保存 GPS 设备中的样地和途径路线定位数据,以便复查、核查。对能够反映样地在地理和植被典型特征的视觉景象进行拍照,现场记录相片编号,对照片按样地编号进行重新命名保存。

### 1.3 取样方法

每个样地根据毛竹林每木检尺结果得出其年龄结构、平均胸径、竹高指标,据此计算出每度竹的平均立竹作为标准竹,分别砍伐 I、II、III 度竹的标准竹各 1 根。地上部分别测定竹秆、竹枝和竹叶,地上部分生物量测定以 1 m 为区分段,

收稿日期:2015-11-30

基金项目:中国科学院战略性先导科技专题(编号:XDA05050205);

江西省自然科学基金(编号:20132BAB204026);江西省教育厅科技项目(编号:GJJ13270);江西省教育厅落地推广项目(编号:2KJLD1304)。

作者简介:胡耀文(1991—),男,江西抚州人,硕士研究生,主要从事森林培育研究。E-mail:hyw910729@163.com。

通信作者:张文元,博士,讲师,主要从事森林培育理论和技术、竹林培育方面的研究。E-mail:zwy15@126.com。

表 1 样地概况及立竹生长状况

试验点	平均胸径 (cm)	平均树高 (m)	生物量(g)				坡度 (°)	平均海拔 (m)
			秆	枝	叶	根		
崇义	11.00	13.56	10 464.145	1 683.473	806.131	2 761.367	23.67	374.00
靖安	11.05	13.88	13 276.654	2 236.956	1 011.954	2 743.835	17.89	585.73
资溪	10.72	13.72	12 547.200	1 651.200	1 603.200	1 818.240	12.80	499.67
井冈山	9.70	10.07	5 048.515	5 098.735	1 741.640	3 339.400	34.00	1074.00

注:试验中的根表示竹筴。

对竹秆、竹枝、竹叶各部分的区分段,现场称其鲜质量,并分别取样 300 g 左右带回试验室,烘干称质量。

地下部分调查,根据所取的标准竹,分别以毛竹基部竹秆为中心,在其周围挖取 1 m×2 m 的小样方,从土壤开始,每 20 cm 向下挖取所有的土壤和根系,直到无竹根为止。用清水冲洗干净,进行毛竹根结构观察。

灌木(胸径<5 cm,高度>50 cm,若对于高度小于 50 cm 的小灌木,归为草本层)的调查,在样地的主对角线上随机设置(结合样地实际情况挑选有代表性的样方)3 个 2 m×2 m 的样方;草本和凋落物在另外一条主对角线上选择 3 个 1 m×1 m 的样方。记录主要种类及其盖度后,将样方内所有植物全部收获后,灌木分叶、枝干、根称质量;草本分地上、地下部分;凋落物凋落叶片、枝条、草本和木炭等,加上难以辨别的有机物分解碎片,直径<5 cm 的枯死木也包括在枯落物层中,一并进行测定,同时区分未分解的凋落物和已经开始分解的凋落物组分(根据肉眼判断:新鲜刚凋落的枯枝落叶为未分解,已经凋落一定时间,并且叶、枝等开始腐烂统一定义为半分解)。以上分别称鲜质量后,取 300 g 代表性样本带回试验。

土壤的测定是在调查样地内选择 1 个未受人为干扰、植被结构和土壤具代表性的地段,挖掘 1 个土壤剖面,深至 100 cm,不够 100 cm 至基岩为止。对土壤剖面进行拍照并将照片编号,现场记录。拍照时将米尺(或卷尺)立于向阳剖面,调好位置和焦距,保证包含剖面 1 m 内所有土层。数码照片的像素不低于 800 万像素。在剖面按照自然发生层取 O 层(有机质层)、A 层(淋溶层)、B 层(淀积层)样品。沿剖面按 0~10、10~20、20~30、30~50、50~100 cm 分层,用环刀采集各层土壤,每层打 2~3 个环刀,带回试验室测定土壤容重。每层再随机钻取 3 钻土,混合成一个混合样。同一样地 3 个灌木样方的同层次土样组成该层次混合样品。需注意的是,取样时尽量保持每个小土体的完整性,尽早进行风干处理。

1.4 样品测定方法

将采集回来的毛竹各器官、林下植被及土壤样品,称质量后置于 65℃恒温箱中,烘干后再称质量,并计算植被层生物量,土壤容重等。立竹各器官、林下植被含碳率使用重铬酸钾氧化容量法测定,土壤有机碳使用浓硫酸消煮重铬酸钾氧化容量法测定<sup>[11]</sup>。

1.5 分析方法

现存碳储量的计算包括立竹各器官碳储量、林下植被碳储量和土壤碳储量的计算。立竹各器官碳储量为立竹各器官生物量与其含碳率的乘积,林下植被碳储量为林下植被生物量与含碳率之积,土壤碳储量为各层容重、有机碳含量、厚度

乘积之和。而立竹、林下植被和土壤的碳储量总和为本次试验毛竹林的碳储量<sup>[12]</sup>。

毛竹立竹碳储量的算法采用标准木法计算,在样地选取平均立竹作为标准木,选取地上部分秆、枝、叶和地下部分根作为样品,称其鲜质量,带回试验室测其碳储量。

林下植被主要包括林下灌木层和林下草本层,林下植被生物量的估算通过收获法测定野外调查设定样方内灌木的叶、枝干、根和草本的地上、地下生物量鲜质量,并采集小样本回试验室获得干质量鲜质量比例,换算样方内灌木和草本的生物量干质量。

根据植株各器官的碳含量将生物量转换为碳储量,除以样方面积,获得单位面积碳储量,以 t C/hm<sup>2</sup> 表示。

$$S_{sh_i} = \sum_{k=1}^K \sum_j (B_{sh_{i,k,j}} \times CF_{sh_{i,k,j}}) \times 10\,000/AP。$$

式中: $B_{sh_{i,k,j}}$ 、 $CF_{sh_{i,k,j}}$  分别表示生态系统  $i$  林下植被  $k$ 、器官  $j$  的生物量(t DM)和平均含碳量。

土壤有机碳含量、容重和对应的土壤层厚度分别计算 0~10、10~20、20~30、30~50、50~100 cm 土壤的有机碳储量(厚度不及 100 cm 的土壤剖面以实际深度计算),各层碳储量累加即为土壤有机碳的储量,以 t C/hm<sup>2</sup> 表示。

$$C_{SOC_i} = \sum_{j=1}^5 \left[ \frac{1}{10} SOC_{C_{i,j}} \times BD_{i,j} \times Depth_{i,j} \right]。$$

式中: $C_{SOC_i}$  为生态系统  $i$  土壤有机碳储量(t C/hm<sup>2</sup>); $SOC_{C_{i,j}}$  是生态系统  $i$  第  $j$  层( $j=1,2,3,4,5$ , 分别代表 0~10、10~20、20~30、30~50、50~100 cm)土壤有机碳含量(g/kg); $BD_{i,j}$  是第  $j$  层土壤容重(g/cm<sup>3</sup>); $Depth_{i,j}$  是第  $j$  层土壤的厚度(cm)。

1.6 数据处理

本次试验数据处理主要采用 SPSS Statistics V17.0、Excel 软件进行数据的统计和分析。

2 结果与分析

2.1 立竹各器官碳储量现状

从表 2 可以看出,井冈山地区立竹总平均碳储量最大,为 17.67 t/hm<sup>2</sup>。立竹各器官中,碳储量最大的器官是竹秆,但是井冈山样地与其他 3 个样地不同,立竹各器官碳储量中枝的平均碳储量值最大,略高于竹秆的碳储量,其他 3 个试验样地秆的平均碳储量明显大于其他器官的平均碳储量,崇义地区立竹秆的平均碳储量是 4 个地区中最大的,为 10.295 t/hm<sup>2</sup>。刘玉霞对不同海拔高度对寿宁县毛竹生长影响的研究发现,海拔高度在 800 m 以下,毛竹林的竹秆平均胸径较大,产量较高<sup>[13]</sup>。井冈山地区样地平均海拔在 1 074.00 m,大于 800 m,其他 3 个样地平均海拔低于 800 m,井冈山样地中立竹的平均株高和胸径也均低于其他 3 个样地,

此现象与刘玉霞的研究结果相同。高海拔是造成井冈山地区样地毛竹秆的碳储量和生物量水平异于其他样地的原因之一。

方差分析显示崇义地区毛竹立竹各器官的碳储量差异显著,靖安和资溪毛竹秆与枝、叶、根的碳储量之间的差异显著,而枝、叶、根内部之间的碳储量差异不显著,井冈山地区毛竹各器官碳储量之间都不存在显著性差异。

表 2 样地立竹各器官碳储量

样地	碳储量(t/hm <sup>2</sup> )				
	秆	枝	叶	根	总计
崇义	10.295 ± 0.28A	1.585 ± 0.04C	0.735 ± 0.08D	2.57 ± 0.32B	15.185
靖安	8.345 ± 0.63A	1.385 ± 0.12B	0.618 ± 0.05B	1.523 ± 0.12B	11.871
资溪	7.644 ± 0.86A	1.194 ± 0.14B	0.744 ± 0.18B	0.969 ± 0.18B	10.551
井冈山	5.431 ± 3.82A	6.425 ± 2.11A	2.058 ± 0.41A	3.756 ± 0.96A	17.67

注:表中数据为平均值 ± 标准差,相同字母表示差异性不显著,不同字母表示差异性显著( $P < 0.05$ ),下同。

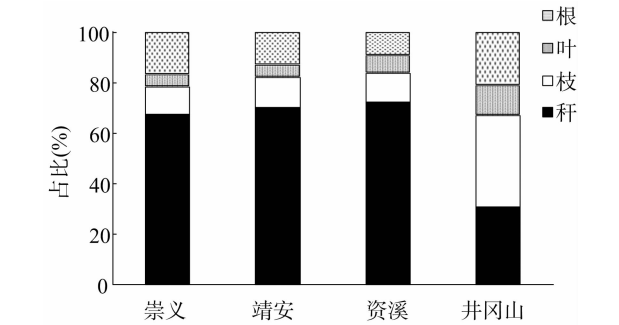


图1 立竹各器官碳储量百分比

从图 1 立竹各器官碳储量百分比的分布可以看出,崇义、靖安、资溪 3 个样地立竹秆的含碳量均占总碳储量的 60% 以上,其中资溪地区样地最大,占 72.45%。立竹各器官中,所占碳储量百分比最小的器官是竹叶,其中崇义地区立竹叶器官碳储量百分比只占总碳储量的 4.84%,是 4 个样地之中最小的。

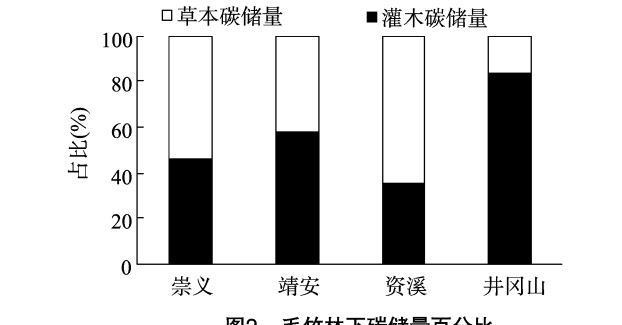


图2 毛竹林下碳储量百分比

2.2 林下植被状况

4 个样地林下植被碳储量和百分比见表 3 和图 2,在 4 个试验样地中,资溪地区和崇义地区的林下主要以草本为主,林下草本碳储量分别占林下总碳储量的 64.12% 和 54.12%,崇义地区样地草本碳储量在 4 个样地中是最大的,为 0.860 t/hm<sup>2</sup>。井冈山地区和靖安试验样地林下植被以灌木为主,其中井冈山地区的林下灌木碳储量为 3.021 t/hm<sup>2</sup>,占样地林下碳储量的 83.11%,是 4 个试验样地中灌木生物量和百分比最大的,林下植被碳储量总量 3.635 t/hm<sup>2</sup>,在所有样地中也是最大的,造成这种现象的原因与井冈山样地的较高海拔环境有关,人为干扰较少,破坏较少,林下灌木自然生长,灌木的量就相对其他 3 个地区的样地来说生长旺盛。

表 3 毛竹林下植被碳储量

样地	碳储量(t/hm <sup>2</sup> )		
	灌木	草本	总计
崇义	0.729 ± 0.20A	0.860 ± 0.01A	1.589
靖安	0.385 ± 0.10A	0.283 ± 0.05A	0.668
资溪	0.221 ± 0.05A	0.395 ± 0.07A	0.616
井冈山	3.021 ± 1.12A	0.614 ± 0.17A	3.635

2.3 土壤碳储量

土壤碳库是陆地生态系统碳库中最大的贮库,而且是其中非常活跃的部分<sup>[14]</sup>。即使在森林类型相同的生态系统中,其碳储量也会随土壤类型不同而不同<sup>[15]</sup>。不同土壤类型的营养状况和营养元素的流动不同都可能影响到碳在土壤中积累的相对量和绝对量<sup>[16]</sup>。表4为4个试验样地各土层碳

储量分配格局,崇义地区样地碳储量最高的是 0 ~ 10 cm 土壤层,碳储量达 38.559 t/hm<sup>2</sup>,最低的土壤层为 30 ~ 50 cm,为 27.966 t/hm<sup>2</sup>,方差显示崇义地区样地各土层之间的碳储量不存在显著差异。4 个样地中同样不存在显著性差异的样地是井冈山地区样地,井冈山地区样地土壤碳储量最高的是 50 ~ 100 cm 土壤层,达 44.894 t/hm<sup>2</sup>,最低的土壤层是 20 ~ 30 cm,为 29.479 t/hm<sup>2</sup>。靖安和资溪土壤含碳量最高的土层为 500 ~ 100 cm 层,最低的在 20 ~ 30 cm 层。方差显示 50 ~ 100 cm 层的土壤碳储量与其他 4 个土层的碳储量存在显著差异性。

表 4 不同土层碳储量

土层 (cm)	碳储量(t/hm <sup>2</sup> )			
	崇义	靖安	资溪	井冈山
0 ~ 10	38.559 ± 9.85A	33.981 ± 4.24B	27.569 ± 4.46B	39.875 ± 1.79A
10 ~ 20	37.930 ± 7.39A	26.181 ± 3.03B	21.204 ± 3.31B	37.753 ± 0.84A
20 ~ 30	29.736 ± 6.39A	21.301 ± 3.60B	19.367 ± 3.43B	29.479 ± 2.11A
30 ~ 50	27.966 ± 9.90A	38.133 ± 5.56B	33.219 ± 3.33B	42.116 ± 12.58A
50 ~ 100	38.136 ± 10.93A	83.201 ± 11.01A	86.311 ± 18.42A	44.894 ± 12.30A

从图 3 可以看出,土壤的碳储量随土壤深度变化而呈现出一定的规律性,4 个试验样地土壤层深度在 0 ~ 10、10 ~ 20 cm 层土壤碳储量均呈现下降的趋势,土壤深度 50 ~ 100 cm 层的土壤碳储量均呈现上升趋势。造成这种现象的原因之一是由于土壤的淋溶作用,土壤受到雨水的冲刷使上层的有机质和矿物质下渗,积聚在下方土层,所以使得土壤随着土壤层深度加深碳储量出现一个先下降后上升的趋势。

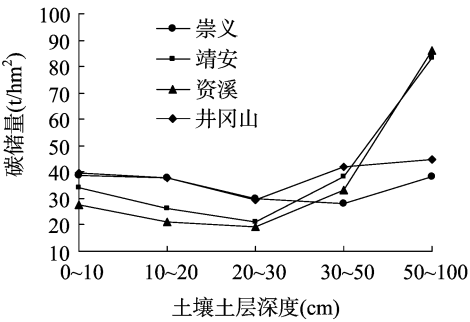


图3 土壤碳储量变化

表5 样地碳储量与分配格局

部位	崇义		靖安		资溪		井冈山	
	碳储量(t/hm <sup>2</sup> )	占比(%)	碳储量(t/hm <sup>2</sup> )	占比(%)	碳储量(t/hm <sup>2</sup> )	占比(%)	碳储量(t/hm <sup>2</sup> )	占比(%)
乔木	15.180	8.03	11.870	5.51	10.551	5.31	17.671	7.37
林下	1.589	0.84	0.668	0.31	0.616	0.31	3.635	1.52
土壤	172.327	91.13	202.798	94.18	187.671	94.38	218.417	91.11
总计	189.096		215.336		198.838		239.723	

3 结论

综合 4 个地区的试验样地可知,毛竹林生态系统各层次碳储量大小排序为土壤层>乔木层>林下植被。在乔木层中,毛竹秆所含碳储量是最大的,叶所含的碳储量最小。而在井冈山地区样地,毛竹立竹枝的碳储量是最大的,这与样地的海拔有关,大于 800 m 的海拔使毛竹秆的生长受到影响。林下植被碳储量的分布则与当地的植被生长状况有关,靖安和井冈山 2 地林下灌木碳储量大于林下草本碳储量,而崇义和资溪 2 地林下灌木碳储量小于草本碳储量。

4 个样地土壤层碳储量之中有 3 个高于世界土壤碳储量平均值,4 个样地碳储量百分比均占样地总储量的 90% 以上,其中井冈山地区土壤碳储量最高,为 218.417 t/hm<sup>2</sup>,井冈山样地平均海拔最高,为 1 074.00 m,通过样地海拔对比和样地碳储量的对比可以看出,样地土壤有机碳和碳储量随着海拔的上升也表现为上升的趋势。资溪样地土壤碳储量所占百分比为 94.38%,是 4 个样地中最大的,而资溪样地的林下植被碳储量含量及占比在所有样地中都是最小的。

土壤各层的碳储量分布也不是均匀的,在本试验设置的 5 个土壤层中,50~100 cm 层的土壤碳储量最大,碳储量最小的为 20~30 cm 土壤层。随着土壤层的加深,土壤碳储量也呈现出先降低后增加的趋势。凋落物的分解是土壤表层重要的碳源,随着土壤土层的增加,土壤碳储量呈现减少的趋势。样地中的毛竹受到人为干扰少,毛竹枯萎死亡后其根系在土壤中被微生物分解不完全,所以造成土壤碳储量在 50~100 cm 的土层呈现出反常的增加趋势。

参考文献:

[1] Cao M, Woodward F I. Net primary and ecosystem production and carbon stocks of terrestrial ecosystems and their response to climate-change[J]. Global Change Biology,1998,4:185-198.  
[2] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science,1994,263(5144):185-190.  
[3] 李海奎,雷渊才,曾伟生. 基于森林清查资料的中国森林植被碳

2.4 毛竹林碳储量分配格局

4 个试验样地的碳储量分配格局见表 5,土壤层所占比例最大,表明土壤是毛竹生态林中碳储量最大的碳库,这是因为森林土壤碳库库存量大,而且土壤碳周转速率比较缓慢,所以能维持较长时间的碳储存<sup>[17]</sup>。毛竹林土壤碳储量世界平均值为 189.00 t/hm<sup>2</sup><sup>[18]</sup>,本研究中靖安、资溪、井冈山 3 个地区试验样地土壤碳储量均高于世界平均值。我国森林土壤平均碳贮量为 193.55 t/hm<sup>2</sup><sup>[19]</sup>,本次研究中的靖安地区样地为 202.798 t/hm<sup>2</sup>,井冈山地区样地为 218.417 t/hm<sup>2</sup>,均高于国家森林平均碳储量。

储量[J]. 林业科学,2011,47(7):7-12.

[4] Marland E. The treatment of long-lived, carbon-containing products in inventories of carbon dioxide emissions to the atmosphere [J]. Environmental Science & Policy, 2003, 6(2): 139-152.  
[5] 陈先刚,张一平,张小全,等. 过去 50 年中国竹林碳储量变化[J]. 生态学报,2008,28(11):5218-5227.  
[6] 朱琳琳,张萌新,赵竑绯,等. 不同经营措施对毛竹林生物量与碳储量的影响[J]. 经济林研究,2014,32(1):58-64.  
[7] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1996.  
[8] 余婷婷. 低丘红壤地区毛竹低产林改造技术[D]. 长沙:中南林业科技大学,2014.  
[9] 朱永. 第七次全国森林资源清查结果表明——我国提前两年实现对世界承诺的森林增长目标[J]. 国土绿化,2009(12):5-7.  
[10] 张蕊,申贵仓,张旭东,等. 四川长宁毛竹林碳储量与碳汇能力估测[J]. 生态学报,2014,34(13):3592-3601.  
[11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法(1999)勘误表[J]. 土壤,2004(4):455-456.  
[12] 周艳翔,吕茂奎,谢锦升,等. 深层土壤有机碳的来源、特征与稳定性[J]. 亚热带资源与环境学报,2013(1):48-55.  
[13] 刘玉霞. 不同海拔高度对寿宁县毛竹生长的影响[J]. 防护林科技,2012(1):36-38.  
[14] 刘留辉,邢世和,高承芳,等. 国内外土壤碳储量研究进展和存在问题及展望[J]. 土壤通报,2009(3):697-701.  
[15] 张城,王绍强,于贵瑞,等. 中国东部地区典型森林类型土壤有机碳储量分析[J]. 资源科学,2006,28(2):97-103.  
[16] 黄从德,张国庆. 人工林碳储量影响因素[J]. 世界林业研究,2009,22(2):34-38.  
[17] 徐娜,胡海波,朱燕飞,等. 北亚热带毛竹林碳储量及其空间分配[J]. 林业科技开发,2014,28(2):37-41.  
[18] 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[J]. 植物生态学报,2000,24(5):518-522.  
[19] 王兵,王燕,郭浩,等. 江西大岗山毛竹林碳贮量及其分配特征[J]. 北京林业大学学报,2009,31(6):39-42.