

吊丝单竹林生态系统碳储量及其垂直空间分配特征

王刚¹, 周本智^{1*}, 李晓靖¹, 孔维健¹, 温从辉², 胡晓林³

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省平阳县林业局, 浙江 平阳 325400; 3. 浙江省平阳林场, 浙江 平阳 325406)

摘要: 利用标准样方法研究了吊丝单竹(*Dendrocalamopsis vario-striata*)林的碳储量及其空间分布特征。结果表明,吊丝单竹不同器官的碳密度为 0.4684 ~ 0.5092 g g⁻¹, 依次为竹秆 > 竹莖 > 竹根 > 竹枝 > 竹叶; 碳储量在吊丝单竹不同器官中的分配以竹秆最大(达 50.46%), 其次为竹莖(20.71%), 竹叶的最小(仅 5.01%)。整个吊丝单竹林生态系统碳库主要由乔木层、灌草层、枯落物层和土壤层 4 部分组成, 总碳贮量为 104.9321 t hm⁻², 其空间分布为土壤层 > 乔木层 > 枯落物层 > 灌草层, 其中土壤层占总碳储量的比例最大(59.74%); 整个吊丝单竹林乔木层年固碳量为 6.4460 t hm⁻² a⁻¹, 相当于每年同化 CO₂ 的量为 23.6353 t hm⁻² a⁻¹, 这略低于我国森林植被的平均年固碳量, 表明吊丝单竹林还有较大的发展空间。

关键词: 吊丝单竹; 生态系统; 碳密度; 碳储量

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.01.013

Carbon Storage and Vertical Spatial Distribution of *Dendrocalamopsis vario-striata* Ecosystem

WANG Gang¹, ZHOU Ben-zhi^{1*}, LI Xiao-jing¹, KONG Wei-jian¹, WEN Cong-hui², HU Xiao-lin³

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forest, Fuyang 311400, China; 2. Forestry Bureau of Pingyang County, Pingyang 325400, China; 3. Pingyang Forestry Farm of Zhejiang, Pingyang 325406, China)

Abstract: Carbon storage and spatial distribution characteristics of *Dendrocalamopsis vario-striata* were studied by using quadrat method. The results showed that carbon density in different organs of *D. vario-striata* ranged from 0.4684 to 0.5092 g g⁻¹, with in order as: culm > rhizome > root > branch > leaf. The organ distribution of carbon storage was 50.46% for culm, 20.71% for rhizome, 14.31% for root, 9.24% for branch and 5.01% for leaf. The total carbon pool, counting for 104.9321 t hm⁻², mainly consisted of four components, such as arbor layer, shrub and herb layer, litter layer and soil layer, which spatial distribution was in order as: soil layer (59.74%) > arbor layer (36.86%) > litter layer (2.30%) > shrub and herb layer (1.10%). Annual fixed carbon content of bamboo forest was 6.4460 t hm⁻², equivalent to 23.6353 t hm⁻² CO₂, which was lower than that of average value of forests in China. It suggested that there was much development space for fixed carbon capacity of *D. vario-striata*.

Key words: *Dendrocalamopsis vario-striata*; Ecosystem; Carbon density; Carbon storage

当今世界,人们对全球气候变暖及其可能产生的影响倍加关注。IPCC 第四次评估报告提供的证据表明,近百年来(1906-2005)全球地面平均温度

上升了(0.74 ± 0.18)℃,预计到本世纪末,全球平均地面温度(与1980-1999年相比)可能会升高 1.1℃ ~ 6.4℃^[1]。森林生态系统作为陆地生态系统的重要

收稿日期: 2011-01-05 接受日期: 2011-07-13

基金项目: 林业公益性行业科研专项基金(201104008, 201104006); 国家“十一五”科技支撑项目专题基金(2006BAD19B0301); 浙江省和中国林科院省院合作重点基金项目(2005SY03)资助

作者简介: 王刚(1985 ~), 男, 硕士研究生, 研究方向为森林生态系统的结构与功能, email: realinter0000@126.com.

* 通讯作者 Corresponding author, email: benzhi_zhou@126.com

组成部分,储存了陆地生态系统有机碳地上部分的80%,地下部分的40%^[2],同时,森林生态系统的碳储量是研究森林生态系统与大气间碳交换的基本参数,也是估算森林生态系统向大气吸收和排放含碳气体的关键因素^[3]。应对气候变化,加快林业发展、增强森林生态系统碳汇功能的重要性已得到全世界的认可与响应。

随着《京都议定书》的生效实施,正确评价森林对大气CO₂的固定能力,从较小尺度上研究某个地区、某个林种的碳平衡特征也就显得十分迫切^[4]。吊丝单竹(*Dendrocalamopsis vario-striata*)为禾本科(Poaceae)竹亚科(Bambusoideae)绿竹属植物,在我国东南沿海地区分布广泛,主要分布于浙江南部、福建、广西、广东、台湾等省,在浙江、台湾、福建三省普遍栽培,是我国亚热带地区优良速生笋材两用丛生竹种之一。近年来,因其成林快、产量高、笋味鲜美等优点^[5],吊丝单竹在亚热带地区栽种面积不断扩大。目前国内学者对吊丝单竹生长习性、适应性、叶片生理生化特性、丰产技术等^[5-7]已进行了初步研究,但对吊丝单竹林生态系统固碳能力的研究尚未见报道。本文用样方法对吊丝单竹林生态系统碳储量及其空间分配特征进行了系统研究,为亚热带地区森林生态系统碳汇功能研究提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 研究地概况

研究地位于浙江省平阳县山门镇山门林场,东经120°24'~121°08',北纬27°21'~27°46'。本地属于中亚热带海洋性季风气候,四季分明,冬无严寒,夏无酷暑;全年光照充足,雨水丰沛,温暖湿润。年平均气温为17.0℃~20.0℃,最冷月平均气温为6℃~8℃,极端最低温为-5.8℃,无霜期约为280 d。年降水量达1600 mm以上,降水主要集中在3~9月份。该地区以火山形成地貌为主,其次为沉积地貌,类型复杂,南雁荡山脉和鳌江水系贯穿全境,地势西高东低,西部四周高中间低^[8]。试验地中吊丝单竹平均胸径达5.24 cm,平均秆高为9.85 m,竹林密度为678 丛/hm²,每丛平均15株。竹林采用集约经营管理,每年冬季和出笋期定期施肥2次,并进行松土及除杂草,每年砍伐老竹1次。立地条件为缓坡地,微酸性红壤土。

1.2 吊丝单竹生物量的测定

在吊丝单竹试验林中设置18个20 m×20 m样方,总面积为7200 m²,并对吊丝单竹进行每株检尺,调查其胸径、年龄。根据立竹径级与年龄分布规律,从中选取66株生长良好、无病虫害的标准竹。将标准竹连莖及莖上的根一并挖起,将竹子从秆基处锯断,洗净莖上泥土,剃下鞭根和细根以及枝、叶,对竹叶、竹枝、竹秆、竹莖和竹根分别称量鲜重,并各取500~1000 g鲜样带回实验室测其含水率,计算各器官的干重,以计算出各器官的生物量。

1.3 样品采集

对样地内吊丝单竹的每株检尺,计算出不同龄级的吊丝单竹的平均胸径,然后分别伐倒1年生、2年生、3年生3个年龄段平均竹各3株进行全竹取样,并各取500~1000 g混合鲜样供室内分析。在林中设置3个20 m×20 m典型样地,在每个样地的四角与中心处设置2 m×2 m的样方5个,分别收集样方中的灌木及枯落物;然后在每个样方的右上角设置1 m×1 m的小样方收集草本,混合后称量,并各选500~1000 g鲜样供室内分析。同时,在每个典型样地中各按品字形挖取3个剖面,用100 cm³的标准环刀按0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm(60 cm以下土层中碳密度降到很低,碳储量很小,故不作统计)分层采集土样,测定土壤容重和进行化学分析。土壤容重取3土层的平均值,3个样地的土样混合进行化学分析。

1.4 统计分析

对植株鲜样准确称重后,先在105℃下杀青30 min,再在80℃下烘至恒重并称重,用高速粉碎机粉碎待用。土壤化学分析样品经过自然风干、过筛(0.25 mm)后待用。植被层含碳量和土壤层有机碳含量的测定采用重铬酸钾-外加热法^[9];土壤密度应用土壤容重法进行测定。

吊丝单竹各器官生物量与其碳密度的乘积为吊丝单竹各器官的碳储量;吊丝单竹各器官碳储量之和为乔木层碳储量;各层土壤有机碳储量之和为土壤有机碳总储量;乔木层、灌草层、枯落物层和土壤层碳储量之和为整个吊丝单竹林生态系统碳储量。

2 结果和分析

2.1 吊丝单竹林植被层碳储量及其分布特征

2.1.1 乔木层碳密度分析

从表 1 和表 2 可以看出,吊丝单竹乔木层不同器官的碳密度为 $0.4684 \sim 0.5092 \text{ g g}^{-1}$,与毛竹(*Phyllostachy pubescens*) ($0.4683 \sim 0.5210 \text{ g g}^{-1}$)^[10]、慈竹(*Neosinocalamus affinis*) ($0.4600 \sim 0.5105 \text{ g g}^{-1}$)^[11]、孝顺竹(*Bambusa multiplex*) ($0.4893 \sim 0.5222 \text{ g g}^{-1}$)^[12]等相近,与热带雨林($0.4562 \sim 0.5790 \text{ g g}^{-1}$)^[13]、楠木(*Phoebe bourmei*) ($0.4654 \sim 0.5769 \text{ g g}^{-1}$)^[14]也相似。吊丝单竹不同器官的碳密度依次为:竹秆>竹莖>竹根>竹枝>竹叶,其中变异最大的是竹根(变异系数为 6.95%),最小的是竹秆(变异系数为 2.74%);这与毛竹(竹根>竹秆>竹莖>竹枝>竹鞭>竹叶)^[10]、慈竹(竹秆>竹根>竹莖>竹枝>竹叶)^[11]、孝顺竹(竹秆>竹根>竹莖>竹叶>竹枝)^[12]、退耕还林的苦竹(*Pleioblastus amarus*) (竹秆>竹莖>竹鞭>竹枝>竹根>竹叶)^[15]等各器官的碳密度变化不尽相同,同时也与杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、

栓皮栎(*Quercus variabilis*)及火炬松(*Pinus taeda*)的^[16-17]不同。差异性检验表明,吊丝单竹不同器官间的碳密度存在显著差异($P<0.05$)。因此,采用不同器官各自的碳密度作为转换系数来计算吊丝单竹林植被层碳储量相对更准确。

另外,从不同年龄的吊丝单竹各器官碳密度来看,1 年生吊丝单竹各器官碳密度都低于年龄较大植株的碳密度,而 2 年生与 3 年生的吊丝单竹除了竹叶以外,竹枝、竹秆、竹莖、竹根的碳密度都是 2 年生的略低于 3 年生的,但二者之间各器官的碳密度差异不大,这与慈竹^[11]的研究结果基本一致,而与毛竹^[10]、苦竹^[15](除了竹鞭、竹根 1 年生明显低以外,竹秆、竹枝和竹叶之间没有明显变化规律)的研究结果不一致。这可能与吊丝单竹特殊的生物学特性及生长规律有关。

表 1 吊丝单竹不同器官碳密度(g g⁻¹)

Table 1 Carbon density in different organs of *Dendrocalamopsis vario-striata* (g g⁻¹)

竹龄 Age	叶 Leaf	枝 Branch	秆 Trunk	莖 Rhizome	根 Root
1	0.4608 ± 0.0296 (6.42%)	0.4689 ± 0.0217 (4.63%)	0.5014 ± 0.0271 (5.40%)	0.4837 ± 0.0218 (4.51%)	0.4795 ± 0.0272 (5.67%)
2	0.4724 ± 0.0350 (7.41%)	0.4849 ± 0.0099 (2.04%)	0.5102 ± 0.0241 (4.72%)	0.4970 ± 0.0102 (2.05%)	0.4873 ± 0.0245 (5.03%)
3	0.4720 ± 0.0113 (2.39%)	0.4883 ± 0.0101 (2.07%)	0.5160 ± 0.0262 (5.08%)	0.4988 ± 0.0143 (2.87%)	0.4902 ± 0.0137 (2.79%)
平均值 Average	0.4684 ± 0.0310 (6.61%)	0.4807 ± 0.0216 (4.49%)	0.5092 ± 0.0193 (3.79%)	0.4932 ± 0.0313 (6.35%)	0.4823 ± 0.0335 (6.95%)

括号内数据为变异系数。下同。

The data in parenthesest represent variation coefficient. The same as following Tables.

表 2 不同竹种间各器官碳密度的比较(g g⁻¹)

Table 2 Carbon density in different organs of different bamboos (g g⁻¹)

竹种 Species	叶 Leaf	枝 Branch	秆 Trunk	莖 Rhizome	根 Root
毛竹 <i>Phyllostachy pubescens</i> ^[10]	0.4683 ± 0.0232 (4.94%)	0.4961 ± 0.0135 (2.74%)	0.5104 ± 0.0168 (3.31%)	0.5011 ± 0.0270 (5.38%)	0.5210 ± 0.0170 (3.24%)
慈竹 <i>Neosinocalamus affinis</i> ^[11]	0.4600 ± 0.0233 (5.07%)	0.4929 ± 0.0168 (3.41%)	0.5015 ± 0.0373 (7.31%)	0.5038 ± 0.0287 (5.70%)	0.5065 ± 0.0305 (6.02%)
孝顺竹 <i>Bambusa multiplex</i> ^{* [12]}	0.4967 ± 0.0235	0.4893 ± 0.0072	0.5222 ± 0.0196	0.5041 ± 0.0330	0.5177 ± 0.0248
苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i> ^[15]	0.3619 ± 0.0147 (4.05%)	0.4506 ± 0.0095 (2.11%)	0.4950 ± 0.0236 (4.77%)	0.4669 ± 0.0186 (3.99%)	0.3785 ± 0.0253 (6.68%)
吊丝单竹 <i>D.vario-striata</i>	0.4684 ± 0.0310 (6.61%)	0.4807 ± 0.0216 (4.49%)	0.5092 ± 0.0193 (3.79%)	0.4932 ± 0.0313 (6.35%)	0.4823 ± 0.0335 (6.95%)

* 孝顺竹的变异系数未测定。

* Variation coefficient of *Bambusa multiplex* was not determined.

2.1.2 乔木层不同器官碳储量及其分布特征

对吊丝单竹标准竹各器官的生物量进行测定,并对胸径、秆高与各器官生物量、地上生物量、地下

生物量、全株生物量进行了相关性分析。结果表明,胸径与全株生物量(W)及各器官生物量间的关系密切,通过对生物量和胸径(D)进行回归分析,得

出拟合模型为： $W = 0.2331D^{2.1008}$ ($R = 0.9328$, $n = 66$, $P < 0.001$)。

从表 3 可以看出,吊丝单竹乔木层的总生物量为 77.7863 t hm⁻²,总碳储量为 38.6757 t hm⁻²,其生物量与碳储量的转化系数为 0.4972,接近于 0.5。吊丝单竹各器官的碳储量与生物量呈正相关关系,其中,碳在吊丝单竹各器官中的分配以竹秆最大,达

50.46%,其次为竹莖,竹叶的最小,这与其他竹林类型,如毛竹林、慈竹林、孝顺竹林^[10-12]间存在差异。吊丝单竹乔木层地上部分(竹叶、竹枝、竹秆)总的生物量为 54.1219 t hm⁻²,其碳储量为 27.0605 t hm⁻²,占乔木层总碳储量的 69.97%;地下部分(竹莖、竹根)总生物量为 23.6644 t hm⁻²,其碳储量为 11.6152 t hm⁻²,占乔木层碳储量的 30.03%。

表 3 吊丝单竹不同器官的碳储量分配
Table 3 Carbon storage distribution in diferent organs of *Dendrocalamopsis vario-striata*

器官 Organ	生物量 Biomass (t hm ⁻²)	%	碳储量 Carbon storage (t hm ⁻²)	%
竹叶 Leaf	4.1522	5.32	1.9449	5.01
竹枝 Branch	11.5418	14.79	5.5481	14.31
竹秆 Trunk	38.4279	49.25	19.5675	50.46
竹莖 Rhizome	16.2832	20.87	8.0309	20.71
竹根 Root	7.3812	9.46	3.5843	9.24
合计 Total	77.7863	100.00	38.6757	100.00

2.1.3 灌草层、枯落物层碳储量及其分布特征

本研究结果表明,吊丝单竹林林下灌草层的碳密度为 0.4386 g g⁻¹,枯落物层为 0.4154 g g⁻¹,而乔木层平均碳密度为 0.4972 g g⁻¹,分别为林下植被和枯落物的 1.13 和 1.20 倍。林下灌草层和枯落物层的碳贮量分别为 1.1546 t hm⁻²、2.4116 t hm⁻²,因此,整个吊丝单竹林植被层的总碳储量为 42.2419 t hm⁻²,乔木层、灌草层、枯落物层分别占植被层总碳储量的 91.56%、2.73% 和 5.71%。吊丝单竹林植被层碳储量低于我国森林植被平均碳储量 57.07 t hm⁻²^[18],这可能与吊丝单竹林的林分结构和经营方式有关,如吊丝单竹林的种植密度较低,经营造成地表植被稀少等。已有的研究表明,土壤中新生成的有机碳中 64% 来自于地表枯落物的分解^[19]。枯落物不仅是土壤有机碳的主要来源,同时也是植物-土壤系统碳循环的联结库,而且因覆盖于地面,能有效地减少或防止土壤有机碳的流失,并有利于土壤有机碳的形成^[20]。因此,减少人类活动对森林生态系

统的干扰,加强对森林植被的保护,对于维持和增加土壤有机碳储量、减缓大气 CO₂ 浓度上升有着重要的生态意义。

2.2 土壤层碳储量及其分布特征

从表 4 可以看出,随着土层不断加深,吊丝单竹林土壤有机碳密度及碳储量都逐渐减少。土壤层总有机碳储量为 62.6902 t hm⁻²,其中,表层土(0 ~ 20 cm)的土壤碳密度最大,为 0.0124 g g⁻¹。土壤层总有机碳储量为 62.6902 t hm⁻²,其中 0 ~ 20 cm 土壤层的碳储量为 34.3786 t hm⁻²,占整个土壤层碳储量的 54.84%,20 ~ 40 cm 土层的为 17.0531 t hm⁻²,占 27.20%,0 ~ 20 cm 土层碳储量约为 20 ~ 40 cm 土层的 2 倍,表明土壤层有机碳主要储存在 0 ~ 20 cm 土层。这与毛竹林、慈竹林、孝顺竹林、苦竹林^[10-12,15]等竹林类型土壤层有机碳储量的分配特征基本一致。这是因为植物根系主要集中分布在土壤表层,而枯落物和腐殖质对土壤有机碳积累的影响也会随着土壤深度的增加而降低,因而土壤表层的有机碳储量大。

表 4 吊丝单竹林土壤层碳储量
Table 4 Carbon storage distribution along soil depth of *Dendrocalamopsis vario-striata*

土层深度 Depth of soil (cm)	容重 (t hm ⁻²) Volume weight	碳密度 (g g ⁻¹) Carbon density	碳储量 (t hm ⁻²) Carbon storage
0 ~ 20	2768 ± 234	0.0124 ± 0.0016	34.3786 ± 4.4925
20 ~ 40	3022 ± 183	0.0056 ± 0.0012	17.0531 ± 3.7020
40 ~ 60	3193 ± 176	0.0035 ± 0.0013	11.2585 ± 4.2499
合计 Total	8983	/	62.6902

2.3 吊丝单竹林生态系统碳储量空间分配格局

如图 1 所示,吊丝单竹林生态系统碳库主要包括乔木层、灌草层、枯落物层和土壤层 4 个部分,整个竹林生态系统碳贮量为 $104.9321\text{ t hm}^{-2}$,碳储量空间分布以土壤层 > 乔木层 > 枯落物层 > 灌草层,其中土壤层占总碳储量的比例最大(59.74%),这与中国竹林生态系统的碳储量空间分配特征一致^[21];而乔木层和枯落物层分别占 36.86%、2.30%,灌草层的最小(1.10%)。这说明在吊丝单竹

林生态系统中,土壤是最大的有机碳库,由于土壤碳周转速率慢,碳储存能维持较长时间;且土壤层加上枯落物层的碳储量占了整个生态系统的 2/3 左右,这与全世界森林系统这两部分碳储量是地上部分的 2.0 倍^[22]的研究结果基本一致。但就整个吊丝单竹林生态系统而言,其碳储量要低于我国主要森林生态系统碳储量($163.82\sim463.59\text{ t hm}^{-2}$)^[18],这从侧面说明吊丝单竹林生态系统碳储量还有较大的提升空间。

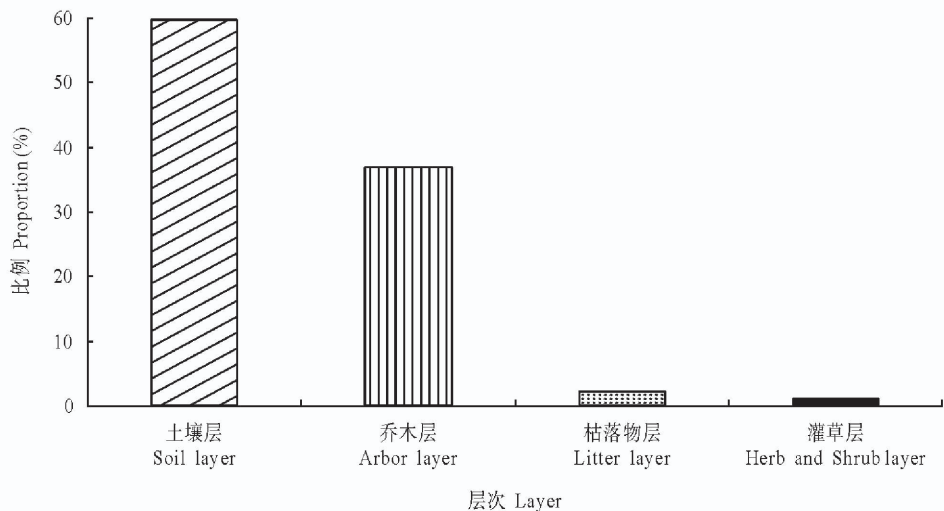


图 1 吊丝单竹林生态系统碳储量分布格局
Fig. 1 Carbon storage and spatial distribution of *Dendrocladopsis vario-striata*

2.4 吊丝单竹林年固碳量的推算

吊丝单竹林生态系统总碳储量为 $104.9321\text{ t hm}^{-2}$,其中乔木层碳储量为 38.6757 t hm^{-2} 。由于吊丝单竹林是异龄林分,通常采取择伐作业,每年伐去 3 年生以上吊丝单竹。因而从时间分布上看,吊丝单竹林永远处于生长动态平衡中,可以近似认为每次采伐的吊丝单竹的生物量相当于现存生物量的 1/3,从而推算出吊丝单竹林乔木层年固碳量为 $6.4460\text{ t hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ (不含年枯落物及灌草生产量),相当于同化 CO_2 的量为 $23.6353\text{ t hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$,是同处亚热带的毛竹林的 1.26 倍^[10]、杉木人工林 1.85 倍^[17]、楠木人工林 1.52 倍^[14],说明吊丝单竹林是一个固碳能力较强的林种。对吊丝单竹生物量与林分密度进行回归分析,得到拟合模型为

$y=-3\times10^{-6}x^2+0.0614x-233.02\text{ (}R^2=0.6892,\text{ }P=0.006\text{)}$,当林分密度达到 $10200\text{ ind. hm}^{-2}$ 左右时,其生物量达到最大值,而在实际调查中有超过 2/3 的林分其密度小于 9000 ind. hm^{-2} ,表明吊丝单

竹林生物量还有较大的发展空间,年固碳量还有很大的提升潜力,适合未来推广固碳。

3 结论

本研究结果表明,吊丝单竹各器官的碳密度为 $0.4684\sim0.5092\text{ g g}^{-1}$,且以竹秆 > 竹莖 > 竹根 > 竹枝 > 竹叶。随着年龄的增长,吊丝单竹各器官的碳密度变化规律不明显。碳储量在吊丝单竹各器官中的分配,基本与其生物量成正比。

吊丝单竹林土壤有机碳密度及碳储量,随着土层深度的增加而降低。

吊丝单竹林生态系统的碳储量空间分布为土壤层 > 乔木层 > 枯落物层 > 灌草层,其中,0~60 cm 土壤层的总计为 62.6902 t hm^{-2} ,占 59.74%,乔木层为 38.6757 t hm^{-2} ,占 36.86%,枯落物层为 2.4134 t hm^{-2} ,占 2.30%,灌草层为 1.1543 t hm^{-2} ,占 1.10%。

整个吊丝单竹林乔木层年固碳量为 $6.4460\text{ t hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$,相当于每年同化 CO_2 的量为

23.6353 t hm⁻² a⁻¹, 其固碳能力较强, 说明吊丝单竹林的生产还有较大的发展潜力。

参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Summary for Policymakers [R/OR]. IPCC, 2007: 1-18.
- [2] Malhi Y, Baldocchi D D, Jarvis P G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests [J]. Plant Cell Environ, 1999, 22(6): 715-740.
- [3] 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.
- [4] Xiao F M(肖复明), Fan S H(范少辉), Wang S L(汪思龙), et al. Carbon storage and spatial distribution in *Phyllostachy pubescens* and *Cunninghamia lanceolata* plantation ecosystem [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2007, 27(7): 2794-2801.(in Chinese)
- [5] Zheng Y S(郑郁善), Chen L G(陈礼光). Some physiological characteristics of the leaves of *Dendrocalamopsis vario-striata* during shooting [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2004, 12(5): 444-448.(in Chinese)
- [6] Chen Z T(陈增童), Wu C P(吴持枰), Xu S J(徐善佳), et al. A study on acclimatization and growth of *Bambusa vario-striata* Chia [J]. Res Bamboo(竹类研究), 1990(1): 9-17.(in Chinese)
- [7] Jin C(金川), Wang Y Y(王月英). High-yield cultivation and base establishment of *Dendrocalamopsis vario-striata* [J]. Bamboo Res(竹子研究汇刊), 1996, 15(4): 68-76.(in Chinese)
- [8] Kong W J(孔维健), Zhou B Z(周本智), Gu X P(顾小平), et al. Analysis on the caloric values of *Bambusa wenchouensis* and *Dendrocalamopsis vario-striata* [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2009, 45(8): 108-112.(in Chinese)
- [9] Soil Science Society of China(中国土壤学会). Analysis Methods of Soil Agricultural Chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999: 146-226. (in Chinese)
- [10] Zhou G M(周国模), Jiang P K(姜培坤). Density storage and spatial distribution of carbon in *Phyllostachy pubescens* forest [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2004, 40(6): 20-24.(in Chinese)
- [11] Wang Y J(王勇军), Huang C D(黄从德), Wang X S(王宪帅), et al. Carbon stock and spatial distribution characteristics of *Neosinocalamus affinis* forest ecosystem [J]. J Fujian For Sci Techn(福建林业科技), 2009, 36(2): 6-9, 87.(in Chinese)
- [12] Shen D Y(沈迪玉), Huang C D(黄从德), Zhang M(张密), et al. Carbon storage and spatial distribution patterns of *Bambusa multiplex* forest ecosystem in Naxi District of Sichuan Province [J]. J Sichuan For Sci Techn(四川林业科技), 2010, 31(2): 39-42.(in Chinese)
- [13] Li Y D(李意德), Wu Z M(吴仲民), Zeng Q B(曾庆波), et al. Carbon pool and carbon dioxide dynamics of tropical mountain rain forest ecosystem at Jianfengling, Hainan Island [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 1998, 18(4): 371-378.(in Chinese)
- [14] Ma M D(马明东), Jiang H(江洪), Liu Y J(刘跃建). Biomass, carbon content, carbon storage and their vertical distribution of *Phoebe bournei* artificial stand [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2008, 44(3): 34-39.(in Chinese)
- [15] Li J(李江), Huang C D(黄从德), Zhang G Q(张国庆). Density, storage and spatial distribution of carbon in *Pleioblastus amarus* forest returned from farmland [J]. J Zhejiang For Sci Techn(浙江林业科技), 2006, 26(4): 1-5.(in Chinese)
- [16] Fang X(方晰), Tian D L(田大伦), Xiang W H(项文化). Density, storage and distribution of carbon in Chinese fir plantation at fast growing stage [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2002, 38(3): 14-19.(in Chinese)
- [17] Ruan H H(阮宏华), Jiang Z L(姜志林), Gao S M(高苏铭). Preliminary studies of carbon cycling in three types of forests in the hilly regions of southern Jiangsu Province [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 1997, 16(6): 17-21.(in Chinese)
- [18] Zhou Y R(周玉荣), Yu Z L(于振良), Zhao S D(赵士洞). Carbon storage and budget of major Chinese forest types [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 2000, 24(5): 518-522.(in Chinese)
- [19] Hobbie E A, Johnson M G, Rygielwicz P T, et al. Isotopic estimates of new carbon inputs into litter and soils in a four-year climate change experiment with Douglas-fir [J]. Plant Soil, 2004, 259(1/2): 331-343.
- [20] Huang Y(黄宇), Feng Z W(冯宗炜), Wang S L(汪思龙), et al. C and N stocks under three plantation forest ecosystems of Chinese-fir, *Michelia macclurei* and their mixture [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2005, 25(12): 3146-3154.(in Chinese)
- [21] Wang B(王兵), Wei W J(魏文俊), Xing Z K(邢兆凯), et al. Carbon storage of bamboo forest ecosystem in China [J]. Ecol Environ(生态环境), 2008, 17(4): 1680-1684.(in Chinese)
- [22] Houghton R A. Terrestrial sources and sinks of carbon inferred from terrestrial data [J]. Tellus, 1996, 48B(4): 420-432.