

DOI: 10.5846/stxb201405120972

宁晨, 闫文德, 宁晓波, 梁小翠, 王新凯. 贵阳市区灌木林生态系统生物量及碳储量. 生态学报, 2015, 35(8): 2555-2563.

Ning C, Yan W D, Ning X B, Ling X C, Wang X K. Biomass and carbon storage of shrub forests ecosystem in karst city. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(8): 2555-2563.

贵阳市区灌木林生态系统生物量及碳储量

宁 晨^{1,2,3,*}, 闫文德^{1,2,3}, 宁晓波^{1,2}, 梁小翠^{1,2,3}, 王新凯^{1,2}

1 中南林业科技大学, 长沙 410004

2 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 长沙 410004

3 湖南会同杉木林生态系统国家野外科学观测研究站, 会同 418307

摘要: 采用直接收获法和实测数据, 以贵州省贵阳市区天然灌木林内木本和草本植物、凋落物及土壤为研究对象, 研究了灌木林生态系统的生物量、碳含量及碳储量。结果表明: 灌木林植被层生物量为 23.16 t/hm², 其中木本植物层生物量为 12.46 t/hm²; 草本植物层为 3.74 t/hm²; 凋落物层为 6.96 t/hm², 分别占植被层生物量的 53.08%、16.15%、30.05%。木本植物 25 种的碳含量范围为 445.91—603.46 g/kg; 草本植物 6 种的碳含量为 408.48—523.04 g/kg; 凋落物层碳含量为 341.01—392.81 g/kg; 土壤层碳含量为 5.73—26.68 g/kg。生态系统总碳储量为 88.34 t/hm², 其中植被层为 8.10 t/hm²; 凋落物层为 2.56 t/hm²; 土壤层为 77.68 t/hm², 分别占系统总碳储量的 9.17%、2.89%、87.94%。灌木林生态系统碳储量的空间分布格局为: 土壤层>植被层>凋落物层。研究结果, 可为喀斯特城市估算森林生态系统碳储量和碳平衡提供科学依据。

关键词: 喀斯特地区; 灌木林生态系统; 生物量; 碳含量; 碳储量; 贵阳市

Biomass and carbon storage of shrub forests ecosystem in karst city

NING Chen^{1,2,3,*}, YAN Wende^{1,2,3}, NING Xiaobo^{1,2}, LIANG Xiaocui^{1,2,3}, WANG Xinkai^{1,2}

1 Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

2 National Engineering Lab for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, China

3 National Key Station for Field Scientific observation & Experiment, Huitong 418307, China

Abstract: Biomass, carbon concentration and carbon storage were investigated in the woody plants, herbaceous plants, litter and soil layers in a natural shrub ecosystem in Guiyang city, Guizhou Province. The results showed that biomass of the shrub vegetation was 23.16 t/hm², of which 12.46 t/hm² was in the woody plants (53.08% of the total biomass in the shrub vegetation), 3.74 t/hm² in the herbaceous plants (16.15% of the total biomass) and 6.96 t/hm² in the litter (30.05% of the total biomass). Carbon concentration ranged from 445.91 to 603.46 g/kg in 25 woody plant species, 408.48—523.04 g/kg in 6 herbaceous plant species, 341.01—392.81 g/kg in litter and 5.73—26.68 g/kg in the soils. The total carbon storage was 88.34 t/hm² in this natural shrub ecosystem, of which 9.17% was found in the vegetation (8.10 t/hm²), 2.89% in litter (2.56 t/hm²) and 87.94% in the soil components (77.68 t/hm²). The carbon storage in the shrub ecosystem decreased in an order soil component> vegetation component> litter component. Our results provide scientific basis and reference for estimating carbon storage and balance in urban forest ecosystems in the Karst areas.

Key Words: Karst regions; Shrub forests ecosystem; Biomass; Carbon concentration; Carbon stock; Guiyang city

基金项目: 林业公益性行业科研重大专项 (201104009); 湖南省教育厅高校创新平台建设项目 (湘财教字[2010]70 号); 长沙市科技局项目 (K1003009-61)

收稿日期: 2013-05-12; 网络出版日期: 2014-11-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: csuftdl@126.com

大气中 CO₂ 等温室气体的浓度正在逐年提高,全球变暖已经是不争的事实,威胁着人类的生存与健康,因而受到世界各国政府和科学家的普遍关注^[1-3]。全球变化减缓与适应将继续成为全球变化研究的焦点^[4]。森林在调节全球碳平衡中占据着主导地位,在减缓大气中 CO₂ 等温室气体浓度上升和维持全球气候稳定等方面具有不可替代的作用^[5-6]。

灌木林是自然界中广泛存在的一种重要的陆地生态系统类型,是森林资源的重要组成部分,与针叶林、阔叶林、竹林组成我国森林的四大类型。全国灌木林地总面积占全国林地总面积的 16.02%^[7]。在我国西南(云南、贵州、四川)就有大量的分布^[8]。但长期以来,因灌木林与乔木林生态系统相比,所占比例小,处于次要地位而较少受到重视^[9]。随着我国天保林工程的实施,生态建设的需要,灌木林的地位和作用日显重要^[9]。对灌木林的研究也越来越受到重视。在全球气候变化的影响下,我国灌丛分布面积和地区的消长,对正确评价中国陆地生态系统的碳储量和碳交换具有重要的影响^[8]。有关灌木林碳储量研究,有胡会峰等^[8]、李洪建等^[10]、陈伏生等^[11]、刘涛等^[12],报道了我国主要灌木植被的碳储量。近些年来,部分学者胡忠良等^[13]、吴鹏等^[14]、张明阳等^[15]、宁晓波等^[16]、钟银星等^[17]又分别报道了我国西南喀斯特地区灌木林地土壤和植被的碳储量。这些研究成果均为准确评价灌木林的固碳效果,改善生态环境,为国家应对全球变化、制定相关政策提供了科学依据。但由于灌木林组成的植物种类不同,而不同植物或同一植物的不同器官中的碳元素含量是有差别的^[18],为了能精确估算灌木林的碳储量,有必要对灌木林内各植物种类的含碳率分别进行测定和分析。但对于灌木林内植被层碳储量分植物种类实测的研究却鲜有报道。在我国西南部的喀斯特地区,灌木林分布面积较大,而且是区域有机物质的主要生产者和生态环境的直接影响者,在区域生态系统中具有十分重要的地位和作用^[19]。因此,有必要对该地区的灌木林碳储量进行深入而细致的研究。

本研究在喀斯特地貌上的森林城市——贵阳市,选择了天然的灌木林生态系统为研究对象,采用直接收获法和实测数据,在原有研究的基础上^[16],更深入、细致地研究了灌木林生态系统的生物量、有机碳含量、储量及其分布特征,可为准确估算喀斯特地区灌木林碳储量提供基础数据,对喀斯特地区森林建设规划和布局及生态环境建设具有现实意义。

1 研究地概况

研究地设置于贵州省林业科学研究院试验林场。该场地处贵阳市南端。贵阳市位于我国西南云贵高原的东部,介于 106°12′—107°17′E, 26°11′—26°55′N 之间。海拔 880—1659m。年平均气温 15.3℃,年平均降雨量 1129.5 mm,相对湿度 78%,属亚热带湿润温和型气候,土壤以酸性黄壤为主,与石灰岩、白云岩、砂岩、页岩等交错分布。地带性植被为中亚热带湿润性常绿阔叶林,原生植被已经被破坏,现状植被主要有马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、金樱子(*Rosa laevigata*)等次生植被。

试验林场经营管理面积 1223.0 hm²,林业用地 1168.02 hm²,其中灌木林地 8.34 hm²,天然灌木林地 3.63 hm²,而国家特别规定的灌木林 6.24 hm²。

灌木林样地基本概况:样地面积 1000m² 两块(同一类型的灌木林地);群落类型为喀斯特灌木林(天然);海拔 1318m,坡度 10°;坡向为东;坡位为中;土壤为黄壤、pH 值 5.28;轻度石漠化(35%);植被特征有少量“小老头”乔木,以灌木植物为主,高度 2—4m,盖度 60%;草本层盖度 25%;凋落物层厚度 1—3cm。

2 研究方法

2.1 植物生物量测定

采用直接收获法测定。具体做法为:2013 年 7 月在设置的两块 1000m² 灌木林样地的对角线中心部位,各设置 4m×4m 的样方 4 个共 8 个,分别记载木本植物的种类、株(丛)数、基径、高度和草本植物的种名、丛数,并将凋落物分为 3 层(未分解层、半分解层、已分解层)全选出,然后将各样方内的植物全部挖出,将木本

植物中的同种植物(含3种藤本植物)分为地上部分(茎、叶、枝)和地下部分(根系),草本植物中的同种植物全株(不分器官),分别称取植物和死地被物各层的鲜重,再从中分别称取小样本各1.0kg,置于鼓风烘箱内保持80℃烘至恒重,求出各类植物及凋落物干物质重。

2.2 土壤样品的采集

在试验林场的灌木林样地内,各随机设置4个采样点,且尽可能选择土层厚度差异不大的采样点,在每个采样点按0—15cm、15—30cm、30—45cm、>45cm 4个层次,分别采集土样0.5kg,共采土样32个,并去除石砾与杂物,风干后过20目和100目土壤筛备用。

在采取土样同时,用环刀取土测定土壤容重。

2.3 样品分析方法

植物和土壤中的有机碳含量用重铬酸钾氧化外加热法测定,样品测定重复4次。

2.4 数据处理

用Excel 2003和Spss13.0软件进行数据处理。数据统计采用单因子方差分析。

植物体碳储量(t/hm^2) = 植物体生物量 $\times$ 植物体含碳量

土壤有机碳储量(t/hm^2) = 土壤有机碳含量 $\times$ 土壤容重 $\times$ 土层深度

3 结果与分析

3.1 灌木林木本植物生物量

由表1可以看出,灌木林的木本植物有25种,总生物量为12461.01 kg/hm^2 ,其中灌木植物类为9523.93 kg/hm^2 ,占总生物量的76.43%,衰弱“小老头”乔木及小乔木类生物量2937.08 kg/hm^2 ,占23.57%。在木本植物生物量中,以皱叶荚蒾生物量最高,为2996.27 kg/hm^2 ($P<0.05$),占木本植物总生物量的24.05%,其次为火棘和紫薇,分别为2089.33 kg/hm^2 和2069.82 kg/hm^2 ($P<0.05$),占16.77%和16.61%,而以毛白杨生物量最低,为13.88 kg/hm^2 ($P<0.05$),仅占0.11%。在木本植物生物量中最高值是最低值的216倍。表明灌木林中木本植物生物量在植物种类之间的分布不均匀。

从表1还可以看出,木本植物生物量是由地上部分和地下部分生物量组成,其中地上部分茎、叶、枝生物量为8420.27 kg/hm^2 ,占木本植物总生物量的67.57%,地下部分根系生物量为4040.74 kg/hm^2 ,占32.43%。表明灌木林地上部分多分枝的茎与近地面的树冠生长繁茂,具有较强的截留降水作用,能够防风固沙和保持水土,而地下部分盘根错节发达的根系,是土壤层的水分储蓄库和调节器,所以灌木林根系有较强的蓄水作用和抗旱能力^[20]。

表1 灌木林木本植物生物量

Table 1 Biomass of woody plants in shrub forest

植物名 Name of plant	生活型 Life Type	地上部分 生物量/(kg/hm^2) Aboveground biomass	地下部分 生物量/(kg/hm^2) Belowground biomass	地上地下 生物量合计/(kg/hm^2) Total
毛白杨 <i>Populus tomentosa</i> Carr.	落叶乔木	7.62(0.622)	6.26(0.639)	13.88a(1.261)
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	常绿乔木	9.03(3.170)	7.57(1.991)	16.60a(5.143)
茅栗 <i>Castanea seguinii</i> Dode	落叶灌木	12.58(0.959)	5.48(1.010)	18.05ab(1.931)
菝葜 <i>Smilax lanceifolia</i> Roxb.	落叶灌木	9.32(0.938)	9.31(1.189)	18.63ab(2.073)
马桑 <i>Coriaria sinica</i> Maxim	落叶灌木	16.37(1.434)	4.50(0.784)	20.87abc(2.202)
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> Ait	常绿乔木	22.68(2.047)	10.92(0.721)	33.59bc(2.758)
刺桐 <i>Erythrina indica</i> Lam	落叶乔木	25.28(1.821)	10.93(0.787)	36.21bc(2.608)
山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i>	落叶小乔木	20.45(1.115)	24.47(2.073)	44.92c(3.180)
乌藨莓 <i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep.	草质藤本	56.51(10.318)	37.68(6.878)	94.19cd(17.196)
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	落叶乔木	75.81(5.281)	27.75(2.002)	103.56d(7.275)

续表

植物名 Name of plant	生活型 Life Type	地上部分	地下部分	地上地下
		生物量/(kg/hm ²) Aboveground biomass	生物量/(kg/hm ²) Belowground biomass	生物量合计/(kg/hm ²) Total
白栎 <i>Quercus fabri</i> Hance	落叶乔木	56.49(7.526)	51.71(6.281)	108.19d(13.802)
野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	落叶小灌木	85.03(8.770)	23.73(3.596)	108.76d(12.261)
接骨木 <i>Sambucus williamsii</i>	落叶灌木	66.29(12.102)	44.19(8.068)	110.48d(20.170)
野葡萄 <i>Ampelopsis brevipedunculata</i>	木质藤本	70.64(7.111)	47.09(4.741)	117.73d(11.852)
刺梨 <i>Rosa roxburghii</i>	落叶灌木	132.22(25.235)	5.32(1.031)	137.54d(25.031)
悬钩子 <i>Rubus pungens</i>	落叶灌木	162.24(16.559)	108.16(11.039)	270.40e(27.598)
野花椒 <i>Zanthoxylum simulans</i> Hance	落叶灌木	358.22(88.202)	68.64(34.715)	426.86e(113.993)
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	落叶灌木	346.70(128.204)	123.70(34.088)	470.40e(161.517)
野扇花 <i>Sarcococca ruscifolia</i> Stapf	常绿灌木	299.75(74.372)	170.76(67.522)	470.50e(125.057)
木姜子 <i>Litsea cubeba</i>	常绿小乔木	393.75(57.514)	98.48(26.436)	492.23e(78.628)
灰毛果莓 <i>Rubus foliolosus</i>	落叶小灌木	555.47(77.033)	396.31(84.570)	951.78f(160.595)
金银花 <i>Lonicera japonica</i>	半常绿藤本	744.11(665.443)	496.07(443.629)	1240.18f(1109.072)
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	落叶小乔木	573.74(56.977)	1496.08(131.028)	2069.83g(138.874)
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	常绿灌木	1807.58(1086.912)	281.75(98.135)	2089.33g(1171.70)
皱叶荚蒾 <i>Viburnum rhytidophyllum</i>	常绿灌木	2512.39(596.129)	483.88(195.897)	2996.27h(782.752)
合计 Total		8420.27(1663.355)	4040.74(722.418)	12461.01(2238.775)

括号内数据为标准误差, 同列相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$)

3.2 灌木林下草本植物和凋落物层生物量

灌木林由于木本植物在生长发育过程中自身占据了空间位置, 改变了林内环境和土壤养分的可利用性, 使得林下草本植物种类较少, 仅有 6 种(表 2)。生物量为 3745.12 kg/hm²。

在生物量分配上, 以五节芒最高 ($P<0.05$), 其生物量为 2069.36 kg/hm², 占草本植物总生物量的 55.25%, 蛇莓最低 ($P<0.05$), 仅为 12.63 kg/hm², 只占 0.34%, 生物量最高值与最低值相差 164 倍。这种分配状态与木本植物的规律是一致的。

表 2 草本植物生物量
Table 2 Biomass of herbivorous plants layer

草本植物名 Name of herbivorous plants	生活型 Life Type	生物量 Biomass/(kg/hm ²)
艾草 <i>Artemisia argyi</i> Levl.	多年生	376.89a(186.03)
黄茅 <i>Heteropogon contortus</i>	多年生	603.58b(158.42)
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	多年生	590.02b(111.82)
马鞭草 <i>Verbena officinalis</i> Linn.	多年生	92.64c(16.49)
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i> (Labnll.) Warb	多年生	2069.36d(390.89)
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	多年生	12.63e(1.09)
合计 Total		3745.14(483.13)

括号内数据为标准误差, 同列相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$)

从表 3 可以看出, 凋落物层生物量为 6957.12 kg/hm², 其中未分解层为 1279.01 kg/hm², 占凋落物层总生物量 18.38%; 未分解层为 2452.38 kg/hm², 占 35.25%; 已分解层为 3225.73 kg/hm², 占 46.37%。未分解层生物量分别低于半分解层和已分解层 1.9 倍和 2.5 倍 ($P<0.05$)。表明未分解层已向半分解层和已分解层迁移, 有机质向土壤归还, 这有利于土壤肥力的增加。

3.3 灌木林中木本植物碳储量

从表 4 可以看出, 灌木林中 25 种木本植物碳含量因植物种类不同而不同。以马尾松含量最高, 为 603.46 g/kg, 其次为木姜子 573.78 g/kg, 而以接骨木 445.91 g/kg 最低, 最高与最低含碳量间相差 1.4 倍。

从表 4 中还可以看出,灌木林木本植物碳储量为 6365.76 kg/hm²,其中以皱叶荚蒾最高 ($P<0.05$),为 1476.35 kg/hm²,占灌木植物总碳储量的 23.19%,其次为火棘 1141.48 kg/hm² ($P<0.05$),占 17.93%,以毛白杨 7.07 kg/hm² 最低 ($P<0.05$),仅占 0.11%。灌木植物碳储量的最高值是最低值的 209 倍。表明灌木林木本植物的碳储量在植物种类分配间呈现不均匀状态,这与灌木植物生物量在种类分配间的不均匀状况是紧密相关的。

表 3 凋落物层生物量

Table 3 Biomass of litter layer

层次 Layer	生物量/(kg/hm ²) Biomass
未分解 Litter	1279.01a(175.02)
半分解 Fermentation	2452.38b(368.58)
已分解 Humus	3225.73b(148.24)
合计 Total	6957.11(620.94)

括号内数据为标准误差,同列相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$)

表 4 灌木林木本植物碳含量和储量

Table 4 Carbon content and storage of woody plants in shrub forests

植物名 Name of plant	碳含量/(g/kg) Carbon concentration	碳储量 Carbon stock/(kg/hm ²)		合计 Total
		地上部 Aboveground	地下部 Belowground	
毛白杨 <i>Populus tomentosa</i> Carr.	509.35±10.771	3.88	3.19	7.07a
茅栗 <i>Castanea seguimii</i> Dode	514.11±8.205	6.47	2.82	9.29ab
菝葜 <i>Smilax lanceifolia</i> Roxb.	527.72±4.500	4.92	4.91	9.83ab
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	603.46 ±18.767	5.45	4.57	10.02ab
马桑 <i>Coriaria sinica</i> Maxim	528.41 ±6.810	8.65	2.38	11.03ab
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> Ait	514.64 ±4.890	11.67	5.62	17.29b
刺桐 <i>Erythrina indica</i> Lam	504.64±3.110	12.76	5.52	18.28b
山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i>	502.07 ±8.140	10.27	12.29	22.56bc
乌莓 <i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep.	447.53 ±18.807	25.29	16.86	42.15c
接骨木 <i>Sambucus williamsii</i>	445.91±3.159	29.56	19.70	49.26c
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	481.85 ±1.729	36.53	13.37	49.90c
白栎 <i>Quercus fabri</i> Hance	510.46 ±2.699	28.84	26.40	55.24cd
野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	523.57±3.460	44.52	12.42	56.95cd
野葡萄 <i>Ampelopsis brevipedunculata</i>	515.91 ±6.279	36.44	24.29	60.73cd
刺梨 <i>Rosa roxburghii</i>	506.14 ±11.933	66.92	2.69	69.61cd
悬钩子 <i>Rubus pungens</i>	504.09±3.678	81.78	54.52	136.30e
野花椒 <i>Zanthoxylum simulans</i> Hance	523.88 ±11.885	187.66	35.96	223.62ef
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	507.71 ±6.109	176.02	62.80	238.82ef
野扇花 <i>Sarcococca ruscifolia</i> Stapf	532.38±1.087	159.58	90.91	250.49f
木姜子 <i>Litsea cubeba</i>	573.87±5.851	225.96	56.51	282.47f
灰毛果莓 <i>Rubus foliolosus</i>	517.30 ±1.706	287.34	205.01	492.35g
金银花 <i>Lonicera japonica</i>	458.73 ±1.843	341.35	227.56	568.91g
紫薇 <i>Lagerstroemia indica</i>	514.91 ±2.578	295.42	770.35	1065.77h
火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	546.34±1.814	987.55	153.93	1141.48h
皱叶荚蒾 <i>Viburnum rhytidophyllum</i>	492.73±11.039	1237.93	238.42	1476.35h
合计 Total		4312.76	2053.00	6365.76

碳含量为平均值±标准误差;同列相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$)

灌木林木本植物地上部分(茎、叶、枝)的碳储量为 4312.76 kg/hm²,占总碳储量的 67.75%,地下部分(根系)为 2053.00 kg/hm²,占 32.25%(表 4)。表明灌木林木本植物碳储量多数分布在植物的地上部分,这与灌木植物生物量的分配状况是一致的。

3.4 灌木林草本植物和凋落物层碳储量

从表 5 可以看出,6 种草本植物中以白茅的碳含量最高,为 523.01 g/kg,黄茅最低,为 408.48 g/kg,两者相

差 1.3 倍,这与木本植物碳含量的表现是一致的。

草本植物碳储量为 1734.20 kg/hm^2 ,其中五节芒最高为 947.37 kg/hm^2 ($P<0.05$),占草本植物总碳储量的 54.63%,而以蛇莓 5.73 kg/hm^2 最低 ($P<0.05$),仅占 0.33%,两者竟相差 165 倍。表明草本植物碳储量,在物种分配上亦存在不均匀状况。

表 6 表明,在灌木林地土壤上层的凋落物层中,未分解层碳含量为 392.81 g/kg ,半分解层 341.01 g/kg ,已分解层 377.48 g/kg ,虽各层次含碳量不同,但其间差异并不十分明显。凋落物层总碳储量为 2556.35 kg/hm^2 ,以已分解层的碳储量 1217.65 kg/hm^2 最高 ($P<0.05$),占总碳储量的 47.63%,其次是半分解层 836.29 kg/hm^2 ($P<0.05$),占 32.71%,以未分解层最低 ($P<0.05$),为 502.41 kg/hm^2 ,只占 19.66%。

表 5 灌木林草本植物碳含量和储量

Table 5 Carbon concentration and storage of herbivorous plants layer in shrub forest

草本植物名 Name of herbivorous plants	碳含量 Carbon concentration/(g/kg)	碳储量 Carbon stock/(kg/hm ²)
艾草 <i>Artemisia argyi</i> Levl.	485.19(13.259)	182.86a
黄茅 <i>Heteropogon contortus</i>	408.48(12.262)	246.55ab
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	523.01(6.816)	308.59b
马鞭草 <i>Verbena officinalis</i> Linn.	465.19(6.741)	43.10c
五节芒 <i>Miscanthus floridulu</i> (Labnll.) Warb	457.81(8.090)	947.37d
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	453.87(24.912)	5.73c
合计 Total		1734.20

括号内数据为标准误差。同列相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$)

3.5 灌木林地土壤碳储量

从表 7 可以看出,灌木林土壤有机碳含量随着土层深度的增加而下降,0—30cm 土层有机碳含量显著高于 30—45cm 以上土层含量 ($P<0.05$),因为土壤表面的枯枝落叶物和植物根系分解后所形成的有机碳首先进入土壤表层,从而使表层土表的有机碳含量明显高于土壤深层。

由表 7 还可以看出,灌木林土壤总有机碳储量为 77.68 t/hm^2 ,其中分布于 0—30cm 土表层 58.17 t/hm^2 ($P<0.05$),占土壤总有机碳储量的 74.9%,分布于 30—45cm 以上土层 19.51 t/hm^2 ,只占 25.1%。

表 6 凋落物层碳含量和碳储量

Table 6 Carbon concentration and storage in dead floor layer

层次 Layer	碳含量 Carbon concentration/(g/kg)	碳储量 Carbon stock/(kg/hm ²)
未分解 Litter	392.81(2.446)	502.41a
半分解 Fermentation	341.01(1.609)	836.29b
已分解 Humus	377.48(16.773)	1217.65c
合计 Total		2556.35

括号内数据为标准误差。同列相同小写字母表示差异不显著 ($P>0.05$)

表 7 土壤碳储量

Table 7 Carbon storage in the soil

土层 Soil depth/cm	土壤容重 Soil density/(g/cm ³)	碳含量 Carbon concentration/(g/kg)	碳储量 Carbon stock/(t/hm ²)
0—15	0.83a(0.05)	26.68a(5.81)	33.22a
15—30	0.92ab(0.08)	18.08ab(5.14)	24.95ab
30—45	0.92ab(0.02)	7.78bc(1.16)	10.74b
>45	1.02b(0.03)	5.73c(0.10)	8.77bc
合计 Total			77.68

括号内数据为标准误差; 同列小写字母相同表示差异不显著 ($P>0.05$)

上述表明,灌木林地土壤各层有机碳含量和储量均以表层土最高,并随着土层深度的增加而降低。因此,森林土壤碳储量的稳定性较差,尤其是生长在城郊邻近的森林,人为活动容易引起表层土的水土流失,从而导

致土壤有机碳储量的减少。所以减少人为对森林生态系统的干扰活动,对于维护和增加土壤碳储量有着重要的意义。

3.6 灌木林生态系统碳储量及其空间分布格局

森林生态系统中碳库,主要由植被层、凋落物层和土壤层组成。由表 8 可以看出,灌木林生态系统总碳储量为 88336.31 kg/hm^2 ,其中植被层为 8099.96 kg/hm^2 ,占系统总碳储量的 9.17%。在植被层碳储量中木本植物碳储量为 6365.76 kg/hm^2 ,占植被层碳储量的 78.6%,草本植物为 1734.20 kg/hm^2 ,只占 21.4%,表明灌木林生态系统植被层的碳储量主要分布于木本植物中;凋落物层碳储量较少,为 2556.35 kg/hm^2 ,仅占系统总碳储量的 2.89%,但它是土壤有机碳的主要来源,也是土壤有机碳动态变化的主要组成,又是土壤-植被间碳循环的连结库,而且它覆盖于土壤表面,能有效地减少或防止土壤碳的流失。土壤层碳储量是可观的,为 77680.00 kg/hm^2 ,它占据了系统总碳储量的 87.94%,表明土壤层是灌木林生态系统中极为重要的碳储存库。生态系统有机碳储量的空间分布序列为土壤层 > 植被层 > 凋落物层。研究区天然灌木林为 3.63 hm^2 ,则总碳储量为 320.7 t 。

表 8 灌木林生态系统碳储量的空间分布

Table 8 Spatial distribution of carbon stock in shrub forest ecosystem

层次 Layer		生物量/(kg/hm^2) Biomass	碳储量/(kg/hm^2) Carbon stock	碳储量百分比/% Percentage of carbon storage
木本植物层 Woody plant layer	地上部 Aboveground	8420.27	4312.76	
	地下部 Belowground	4040.74	2053.00	
	小计 Total	12461.01	6365.76	
草本植物层 Herbivorous layer		3745.12	1734.20	
植被层 Vegetable layer	合计 Total	16206.13	8099.96	9.17
凋落物层 Litter layer	未分解 Litter	1279.01	502.41	
	半分解 Fermentation	2452.38	836.29	
	已分解 Humus	3225.73	1217.65	
	合计 Total	6957.12	2556.35	2.89
土壤层 Soil layer	0—15cm		33220	
	15—30cm		24950	
	30—45cm		10740	
	> 45cm		8770	
合计 Total		77680	87.94	
总计 Total			88336.31	100.00

4 讨论

4.1 灌木林生物量

本研究区灌木林生物量为 23.16 t/hm^2 ,高于田秀玲等^[21]利用贵州及西南几个邻近省份的实测平均值作为 2000 年和 2005 年贵州省喀斯特地区灌木林生物量平均值(19.25 、 18.18 t/hm^2)和杜有新等^[22]对贵州省安顺地区普定县次生灌木林生物量 7.70 t/hm^2 ,还高于庞世龙等^[19]对桂西喀斯特地区 3 种典型灌丛群落生物量 15.98 、 16.04 t/hm^2 和 11.86 t/hm^2 。但低于夏焕柏^[23]对贵州茂兰自然保护区石生灌木群落和土壤灌木群落生物量(35.68 、 41.95 t/hm^2)。表明灌木林类型的不同,植物种类不同影响着生物量的高低。

灌木林生物量,在植被层次上较多表现为木本层>草本层>凋落物层,如杜有新等^[22]对贵州省普定县次生灌木林生物量在植被层次上的分布为木本层 5.51 t/hm^2 (占 71.56%)>草本层 1.70 t/hm^2 (占 22.08%)>凋落物层 0.49 t/hm^2 (占 6.36%);庞世龙等^[19]对桂西喀斯特地区 3 种典型灌丛群落生物量的分配也遵循木本层>草本层>凋落物层规律。但本研究中,植被层生物量的分配表现为木本层 12.46 t/hm^2 (占 53.80%)>凋落物层

6.96 t/hm²(占 30.03%)>草本层 3.74 t/hm²(占 16.17%)。没有遵循上述研究的规律,而存在一定的差异。这主要是本研究区灌木林的木本植物 25 种中有 16 种为落叶树种(占 64.0%),非落叶种为 9 种(占 36.0%),导致林内凋落物生物量高。表明植物种类的差异也会影响植被层生物量的分配。

4.2 灌木林生态系统碳储量

唐宵等^[18]研究四川主要针叶树种各器官平均含碳量为 507.4—539.7 g/kg,以油松树叶最高,507.8 g/kg,冷杉树叶最小,468.1 g/kg。表明不同植物及同一植物的不同器官中碳元素含量是有差别的,为了能精确估算区域和国家尺度上的森林碳储量,有必要对该区域各主要森林类型的含碳率分别进行测定和分析。本研究区灌木林 25 种木本植物碳含量范围为 445.91—603.46 g/kg;6 种草本植物为 408.48—523.01 g/kg;凋落物为 341.01—392.81 g/kg。因此,采用植物不同的含碳量,能够更准确的估算各种森林类型的碳储量。

研究区灌木林植被层碳储量为 8.10 t/hm,低于钟银星等^[17]对贵州印江槽谷型喀斯特地区灌木林碳储量 16.80 t/hm,低于张明阳等^[15]对桂西北喀斯特区灌木林碳储量 19.62 t/hm;高于同一研究区 10 年生亮叶桦+意杨林植被层碳储量 7.72 t/hm^[16]。表明森林类型或同是灌木林,因其树种的差异,都会影响着碳储量的高低。

喀斯特环境是一类发育在碳酸盐岩等可溶性岩石上的环境系统,受地形和小气候等因素的影响,喀斯特生态系统是具有高度空间异质性的系统,通常具有土地石漠化,土壤浅薄,土被不连续,植被生长缓慢,生态系统脆弱等特性。且土壤的空间异质性是多种物理过程、化学过程和生物过程共同作用的结果。所以探讨喀斯特植被演替中土壤养分库变化与其空间异质性变化的关系,对于阐明喀斯特生态系统演变机制具有重要的科学意义^[13,24-25]。吴鹏等^[14]对贵州茂兰国家级自然保护区的喀斯特灌木林土壤为富钙和富盐基化(pH 6.5—8.0)的钙质土,表土 0—20cm 层,有机碳含量为 38.38 g/kg,且随着土壤深度的增加而降低;杜有新等^[22]对贵州安顺普定县灌木林土壤为非地带性石灰土(pH 7.8),表土层 0—10cm 有机碳含量为 49.68 g/kg。杨成等^[26]对贵阳市郊花溪和龙里的石灰土(基岩石灰岩,pH 6.5)和黄壤(基岩硅质岩,pH 4.4),表土 0—10cm 层,有机碳平均含量分别为 62.50 g/kg 和 45.10 g/kg,均高于本研究区灌木林土壤为酸性黄壤(pH 5.3)0—15cm 碳含量 26.68 g/kg,亦随着土层深度的增加而下降。表明土壤类型和理化性质及森林类型都会影响土壤有机碳含量,尤其是土壤表层因其地表上的枯枝落物和植物根系分解所形成的有机碳首先进入土壤表层,从而使表层土壤的有机碳含量高于深层土壤^[27]。Jobbagy 等^[28]认为,植物根系的分布直接影响土壤中有有机碳的垂直分布,因为大量死根的腐解归还为土壤提供了丰富的碳源。系统研究喀斯特环境下的碳循环特征,对于喀斯特地区的生态环境保护具有重要意义^[26]。

研究区灌木林土壤表层(0—15cm)碳储量为 33.22 t/hm,低于吴鹏等^[14]对茂兰喀斯特灌木林土表层(0—20cm)碳储量 74.11 t/hm;低于同一研究区亮叶桦+意杨林土表层(0—15cm)碳储量 46.44 t/hm。产生以上差异的主要原因可能是:地表枯枝落叶、地下微生物和植物根系以及气候条件、土壤类型、性质等均会导致土壤碳储量的高低。

5 结论

(1)贵阳市区天然灌木林植被层生物量为 23.16 t/hm,其中木本层植物生物量为 12.46 t/hm,占植被层生物量的 53.08%;草本层植物生物量为 3.74 t/hm,占 16.15%;凋落物层生物量为 6.96 t/hm,占 30.05%。生物量空间分布结果为木本层>凋落物层>草本层。

木本层生物量由 25 种植物组成,生物量为 12.46 t/hm,其中植物地上部分生物量为 8.42 t/hm,占木本植物总生物量的 67.57%,地下部分生物量为 4.04 t/hm,占 32.43%;草本层生物量由 6 种植物组成,生物量为 3.74 t/hm;凋落物层生物量为 6.96 t/hm,其中未分解层生物量 1.28 t/hm、半分解层 2.45 t/hm、已分解层 3.23 t/hm。

(2)灌木林生态系统有机碳储量为 88.34 t/hm,其中植被层有机碳储量为 8.10 t/hm,占系统总碳储量的

9. 17%;凋落物层有机碳储量为 2.56 t/hm,占 2.89%;土壤有机碳储量为 77.68 t/hm,占 87.94%。

灌木林生态系统有机碳储量的空间分布格局为:土壤层>植被层>凋落物层。

研究区为贵州省林业科学研究院的试验林场,现有天然灌木林面积 3.63 hm²,依据本研究结果,则估算出该区域天然灌木林总碳储量为 320.7t。表明天然灌木林在参与维持和改善林场的生态环境中作出了应有的贡献,应予以保护。

(3)本研究只估算了天然灌木林生态系统生物量现存量的碳储量,没有估算出灌木林的净第一性生产量和年净固碳量。因为在天然灌木林中,各种树种起源十分复杂,既有天然实生起源,也有萌生起源,所以灌木群落的年龄结构非常复杂,准确估算灌木群落的平均年龄十分困难^[9]。长期定位监测研究,才能为灌木林生态系统碳平衡提供完整的基础数据。

参考文献 (References):

- [1] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积. 北京:气象出版社, 2003.
- [2] 胡会峰, 刘国华. 中国天然林保护工程的固碳能力估算. 生态学报, 2006, 26(1): 291-296.
- [3] Oreskes N. The scientific consensus on climate change. Science, 2004, 306(5702): 1686.
- [4] 冯瑞芳, 杨万勤, 张健. 人工林经营与全球变化减缓. 生态学报, 2006, 26(11): 3870-3877.
- [5] 刘国华, 傅博杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
- [6] 李斌, 方晰, 项文化, 田大伦. 湖南省杉木林植被碳贮量、碳密度及碳吸存潜力. 林业科学, 2013, 49(3): 25-32.
- [7] 尹伟伦, 翟明普. 开发西部能源灌木资源实现生态能源双赢战略. 科学中国人, 2007, (4): 36-37.
- [8] 胡会峰, 王志恒, 刘国华, 傅伯杰. 中国主要灌丛植被碳储量. 植物生态学报, 2006, 30(4): 539-544.
- [9] 陈遐林, 马钦彦, 康峰峰, 曹文强, 张国华, 陈宗伟. 山西太岳山典型灌木林生物量及生产力研究. 林业科学研究, 2002, 15(3): 304-309.
- [10] 李洪建, 严俊霞, 李君剑, 曾朝旭, 潘恬豪. 黄土高原东部山区两种灌木群落的土壤碳通量研究. 环境科学学报, 2010, 30(9): 1895-1904.
- [11] 陈伏生, 张园敏, 胡小飞, 冯雪, 任文, 刘苑秋. 丘陵陡坡荒山灌木草丛及其造林地生态系统碳库的分配格局. 水土保持学报, 2012, 26(1): 151-155.
- [12] 刘涛, 党小虎, 刘国彬, 刘宝军, 邵传可. 黄土丘陵区 3 种退耕灌木林生态系统碳密度的对比研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2013, 41(9): 68-72.
- [13] 胡忠良, 潘根兴, 李恋卿, 杜有新, 王新洲. 贵州喀斯特山区不同植被下土壤 C、N、P 含量和空间异质性. 生态学报, 2009, 29(8): 4187-4195.
- [14] 吴鹏, 陈骏, 崔印春, 丁访军, 朱军. 茂兰喀斯特植被主要演替群落土壤有机碳研究. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(12): 181-186.
- [15] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 章春华, 段亚锋. 基于遥感影像的桂西北喀斯特区植被碳储量及密度时空分异. 中国生态农业学报, 2013, 21(12): 1545-1553.
- [16] 宁晓波, 刘隆德, 李明刚, 顾永顺, 王太清, 夏婧. 喀斯特城市主要森林生物量及碳吸存功能. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(11): 109-114.
- [17] 钟银星, 周运超, 李祖驹. 印江槽谷型喀斯特地区植被碳储量及固碳潜力研究. 地球与环境, 2014, 42(1): 82-89.
- [18] 唐宵, 黄从德, 张健, 宁远超. 四川主要针叶树种含碳率测定分析. 四川林业科技, 2007, 28(2): 20-23.
- [19] 庞世龙, 欧芷阳, 莫汉宁, 侯远瑞, 陆国导. 桂西喀斯特地区 3 种典型灌丛生物量及生产力研究. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(9): 86-90.
- [20] 李清河, 江泽平, 张景波, 赵英铭. 灌木的生态特性与生态效能的研究与进展. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 159-164.
- [21] 田秀玲, 夏婧, 夏焕柏, 倪健. 1996 年-2005 年贵州森林分布格局与生物量的变化. 铜仁学院学报, 2012, 14(3): 133-140.
- [22] 杜有新, 潘根兴, 李恋卿, 胡忠良, 王新洲. 黔中喀斯特山区退化生态系统生物量结构与 N、P 分布格局及其循环特征. 生态学报, 2010, 30(23): 6338-6347.
- [23] 夏焕柏. 茂兰喀斯特植被不同演替阶段的生物量和净初级生产力估算. 贵州林业科技, 2010, 38(2): 1-7, 49.
- [24] 万福绪, 张金池. 黔中喀斯特山区的生态环境特点及植被恢复技术. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, 27(1): 45-49.
- [25] 张伟, 陈红松, 王克林, 侯妮, 张继光. 桂西北喀斯特洼地土壤有机碳和速效磷的空间变异. 生态学报, 2007, 27(12): 5168-5175.
- [26] 杨成, 刘丛强, 宋照亮, 刘占民, 郑厚义. 贵州喀斯特山区植物土壤 C、N、S 的分布特征. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 45-51.
- [27] 田大伦, 王新凯, 方晰, 闫文德, 宁晓波, 王光军. 喀斯特地区不同植被恢复模式幼林生态系统碳储量及其空间分布. 林业科学, 2011, 47(9): 7-14.
- [28] Jobbágy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Application, 2000, 10(2): 423-436.