

子午岭辽东栎林不同组分碳含量与碳储量*

王娟¹ 陈云明^{2,3**} 曹扬^{2,3} 周建云¹ 侯磊¹

(¹ 西北农林科技大学林学院, 陕西杨陵 712100; ² 西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨陵 712100; ³ 中科院水利部水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

摘要 黄土高原碳储量及碳密度的准确估计对全球碳失汇的研究有重要贡献。通过研究黄土高原子午岭林区辽东栎天然次生林不同组分的碳含量及碳储量, 为准确估算黄土高原森林植被碳储量及碳密度提供依据。结果表明: 辽东栎中幼林、近熟林和成熟林乔木干、皮、枝、叶、根的碳含量分别为 44.16% ~ 47.01%、44.09% ~ 45.50%、43.17% ~ 46.25%、44.67% ~ 46.36% 和 38.93% ~ 41.10%; 灌木层叶、枝、根的碳含量分别为 44.39% ~ 46.26%、30.19% ~ 48.95% 和 28.06% ~ 40.13%; 草本层地上、地下的碳含量分别为 28.38% ~ 45.27% 和 24.53% ~ 46.06%; 枯落物层的碳含量为 32.10% ~ 32.90%。3 个林龄段乔木层碳储量依次为 32.78、35.51 和 43.79 t · hm⁻², 灌木层碳储量依次为 3.31 和 1.72、0.87 t · hm⁻², 草本层碳储量为 0.32、0.77 和 0.64 t · hm⁻², 枯落物层碳储量为 6.03、3.14 和 4.37 t · hm⁻²。在 3 个林龄段, 辽东栎群落的碳储量依次为 42.45、41.41 和 49.67 t · hm⁻²。由此可知, 在子午岭区, 辽东栎成熟林的碳储量最大。3 个林龄天然辽东栎林碳储量的空间分布均为乔木层 > 枯落物层 > 灌木层 > 草本层。因此, 本研究认为, 成熟林的碳储量对黄土高原子午岭区天然辽东栎林碳储量的贡献最大, 在今后估算该区辽东栎林生态系统碳储量时应予以重视。

关键词 林龄; 天然林; 次生林; 生物量; 空间分布

中图分类号 S718.54 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2012)12-3058-06

Carbon concentration and carbon storage in different components of natural *Quercus wutaishanica* forest in Ziwuling of Loess Plateau, Northwest China. WANG Juan¹, CHEN Yun-ming^{2,3**}, CAO Yang^{2,3}, ZHOU Jian-yun¹, HOU Lei¹ (¹College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ²State Key Laboratory of Soil and dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest Agriculture and Forestry University Yangling 712100, Shaanxi, China; ³Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(12): 3058-3063.

Abstract: To accurately estimate the carbon storage and carbon density in Loess Plateau is of significance to understand the global carbon sink-source balance. In this study, an investigation was made on the carbon distribution in different components of natural *Quercus wutaishanica* (syn. *Q. liaotungensis*) forest in Ziwuling of Loess Plateau hinterland, aimed to provide basis for accurately estimate the carbon concentration and carbon storage of forest vegetation in Loess Plateau. In the young and medium age, near-mature, and matured *Q. wutaishanica* forests, the carbon concentration of stem, bark, branch, leaf, and root was 44.16% - 47.01%, 44.09% - 45.50%, 43.17% - 46.25%, 44.67% - 46.36%, and 38.93% - 41.10%, respectively. In shrub layer, the carbon concentration of leaf, branch, and root was 46.26% - 44.39%, 30.19% - 48.95%, and 28.06% - 40.13%; in herb layer, the carbon concentration of above- and below-ground parts was 28.38% - 45.27% and 24.53% - 46.06%, respectively; and in litter layer, the carbon concentration was 32.10% - 32.90%. The carbon storage of tree layer in the young

* 中国科学院暖温带落叶阔叶混交林区陕西省森林固碳现状、速率和潜力研究项目(XDA05050203-05)资助。

** 通讯作者 E-mail: ymchen@ms.iswc.ac.cn

收稿日期: 2012-06-17 接受日期: 2012-10-16

and medium age, near-mature, and matured *Q. wutaishanica* forests was 32.78, 35.51, and 43.79 t · hm⁻², and that of shrub layer, herb layer, and litter layer was 3.31, 1.72 and 0.87 t · hm⁻², 0.32, 0.77 and 0.64 t · hm⁻², and 6.03, 3.14 and 4.37 t · hm⁻², respectively. The total carbon storage of the three age forests was 42.45, 41.41, and 49.67 t · hm⁻², respectively. All the results indicated that in the Ziwuling of Loess Plateau hinterland, matured *Q. wutaishanica* forest had the greatest carbon storage, and in the three age natural *Q. wutaishanica* forests, the carbon storage was in the order of tree layer > litter layer > shrub layer > herb layer. It was considered that in Ziwuling of Loess Plateau hinterland, the carbon storage of matured forest had the greatest contribution to the carbon storage of natural *Q. wutaishanica* forest, which should be paid more attention in the estimation of the carbon storage of natural *Q. wutaishanica* forest ecosystem in the study area in the future.

Key words: forest age; natural forest; secondary forest; biomass; spatial distribution.

森林生态系统碳储量既是陆地生态系统与大气碳交换的基本参数,也是估算陆地生态系统吸收和排放含碳气体数量的关键要素(Munishi & Shear, 2004)。林下灌木和草本作为森林生态系统中的重要层次,在碳储量研究中占有重要地位(胡海清和孙龙, 2007)。近十几年来,国内外对不同森林类型碳储量研究取得重大进展。Paul等(2002)研究发现,生态系统碳储量的变化受到多种因素的影响,如研究地区、土壤质地、林地年龄等。Hooker和Compton(2003)研究表明,农田造林后100年期间地上植被库的碳储量显著增加(1.53 Mg C · hm⁻² · a⁻¹)。官超等(2011)研究了湖南鹰嘴界自然保护区内马尾松(*Pinus massoniana*)林、马尾松阔叶混交林和常绿阔叶林这3种处于不同演替阶段森林类型的碳储量及时空分布格局,结果表明:3种森林生态系统碳储量分别为182.86、179.84和229.12 Mg C · hm⁻²。随森林进展演替增加,乔木层是生态系统碳储量主要贡献者,且均以树干占乔木层碳储量比例最大。马炜等(2010)对7~41年长白落叶松人工林碳储量的研究发现,在不同发育阶段群落和乔木层碳储量的年生产力呈先降后升的变化趋势,中龄林的碳储量积累速率高于幼龄林及其成熟林。白雪爽等(2008)以农田和不同退耕还林年限(5、10、15年)的人工杨树林为对象,开展了退耕还林对生态系统有机碳和分配格局特征的研究,结果表明:随着退耕年限的增加,生物量不断累积,且其增加的碳库主要分配在树干。刘迎春等(2011)对黄土丘陵区油松和刺槐两种主要退耕还林树种林地的碳储量和固碳潜力研究指出,造林后的油松和刺槐林地植被、枯落物及土壤碳储量逐年增加,在没有人干扰的情况下的19、27、36和86年生油松林地碳储量分别为70.16、143.43、167.30、271.23~332.26 Mg ·

hm⁻²。韩娟娟等(2010)对子午岭次生林辽东栎群落碳储量的研究表明,土壤层>乔木层>枯落物层>草本层>灌木层。这些研究的对象多限于人工林乔木层或者某一林龄下森林系统的碳储量,而对天然林下植被生物量及碳储量随林龄变化的积累和分布的综合性研究还不多见(Teklemariam *et al.* 2005)。

位于我国中纬度地区、占4%国土面积的黄土高原,其碳储量及碳密度的准确估计对全球碳失汇的研究有重要贡献。辽东栎(*Quercus wutaishanica*)林是暖温带阔叶林北部地区分布较广的森林植物群落,属地区地带性森林类型之一,从该种分的地理单元和环境来看,主要分布在黄土高原南部的广大地区(中国植被编辑委员会,1980)。为此,本文以黄土高原子午岭区的辽东栎天然林及林下植被为对象,研究其碳储量的时空分布规律,为准确估算子午岭林区天然辽东栎林的碳储量及碳密度提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于黄土高原子午岭林区的黄陵县店头乡、黄龙县大岭林场和宜川县英旺林场(107°30'E—109°40'E, 33°50'N—36°50'N),是黄土高原现存比较完整的天然次生林区。该区多年平均降水量587.6 mm,干燥0.97,平均相对湿度63%~68%。气候类型属温带湿润冷凉类型。该区属温带半湿润区,平均气温7.4℃(韩娟娟等,2010)。森林植被主要分布于阴坡及半湿润坡,其主要森林群系有油松林(*Pinus tabulaeformis*)、辽东栎林、山杨林(*Populus davidiana*)和白桦林(*Betula platyphylla*)等,还有辽东栎林与白桦、山杨、油松林等的混交林,辽东栎为该区顶极群落(邹厚远等,2002)。灌木以杭子梢(*Campylotropis macrocarpa*)、胡颓子(*Elaeagnus*

pungens Thunb)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、绣线菊(*Spiraea pubescens*)、多花胡枝子(*Lespedeza floribunda*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)和丁香(*Syringa oblata*)为主,草本以披针苔草(*Carex lanceolata*)和铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)等为主。土壤为原生(山坡)或次生(沟谷)黄土,厚度一般为50~100 m,其下为80~100 m的红土(梁向锋等 2008)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 2010年8月底,在经过全面实地调查的基础上,选取分布在子午岭林区的黄陵县店头乡、黄龙县大岭林场和宜川县英旺林场生长健康、林相整齐的辽东栎林为研究对象。依据《标准化工作指导则》(GB/T 1.1-2009)对天然辽东栎林龄与林组的划分,选取中幼龄林(≤ 40 a; 40~60 a)、近熟林(61~80 a)、成熟林(80~120 a)标准样地(20 m×50 m)各3个,所选标准样地的基本信息情况见表1。

1.2.2 生物量测定 乔木生物量:按林龄设置面积20 m×50 m的样方各3个,共9个。对样地内的乔木进行每木检尺,记录胸径和树高,统计株数。依据平均胸径确定标准木,分树叶、树枝、树干、树皮、树根5个器官取样,树干在1.3 m处取样;树根不分级,取样深度为40 cm。每个器官取样300 g左右,称鲜重后带回实验室。乔木的生物量采用冯宗炜建立的硬阔相对生长模型(李海奎和雷渊才 2010)估测,该模型以胸径的平方和树高的乘积(D^2H)作为自变量,模型如下:

$$W = a(D^2H)^b$$

式中, W 为生物量($t \cdot \text{hm}^{-2}$), a 、 b 为常数; D 为胸径(cm); H 为树高(m)。 $W_{\text{树干}} = 0.044(D^2H)^{0.9169}$, $W_{\text{树皮}} = 0.023(D^2H)^{0.7115}$, $W_{\text{树枝}} = 0.0104(D^2H)^{0.9994}$, $W_{\text{树叶}} = 0.0188(D^2H)^{0.8024}$, $W_{\text{树根}} = 0.0197(D^2H)^{0.8963}$ 。

灌木生物量:采用全部收获法(冯宗炜,1999)。

在每个乔木标准样地内沿对角线设置灌木样方3个,样方面积2 m×2 m,调查样方内的灌木种类,并将样方内的灌木全部挖起,分枝、叶、根称其鲜重,并将3个样方内枝、叶、根混合取样各300 g左右,称鲜重后带回实验室。

草本生物量:在每个乔木标准样地内沿对角线设置草本样方3个,面积为1 m×1 m,调查样方内的草本种类,并将样方内的草本全部挖起,分草地上、草地下称其鲜重,并将3个样方内草地上、草地下混合取样各300 g左右,称鲜重后带回实验室。

枯落物现存量:在草本样采集的同时进行,将3个草本样方内的枯落物全部收获称重,然后混合取样300 g左右,称鲜重后带回实验室。

在实验室内将乔木、灌木、草本、枯落物样品置于85℃的烘箱烘至恒重,称重记录。由公式(1)计算出样品含水率(P),由公式(2)换算出各级器官的生物量($W_{\text{干}}$),各级器官的生物量相加便得总的生物量(林业部科技司,1994)。灌木生物量为灌木叶、灌木枝和灌木根的生物量之和,草本生物量为草地上生物量和草地下生物量之和。最后将样品磨碎,过0.25 mm筛,用塑封袋保存待测。

$$P = 1 - (W_{\text{干样}} / W_{\text{鲜样}}) \quad (1)$$

$$W_{\text{干}} = W_{\text{鲜}}(1 - P) \quad (2)$$

1.2.3 碳储量的估算 乔木、灌木、草本各器官及枯落物的碳含量用重铬酸钾-氧化法测定,测定碳含量时每个样品都设置3个重复,称样量0.015~0.02 g。要求测得碳含量>40%时,相对偏差<2%;碳含量为40%~30%时,相对偏差<3%;碳含量为30%~10%时,相对偏差<4%。碳储量是根据单位面积林分干物质重量(生物量)乘以其碳含量而求得。公式如下:

$$\text{碳储量} = \text{生物量} \times \text{碳含量}$$

表1 天然辽东栎林标准样地概况

Table 1 Basic status of sample-plot for natural *Quercus wutaishanica* forests

龄组	林龄 (a)	样地	坡位	坡度 (°)	坡向	海拔 (m)	林分密度 (株·hm ⁻²)	平均胸径 (cm)	平均树高 (m)	林下植被类型
中幼龄林	35	1	中坡	37	东北	1069.56	1010	13.1	8.2	杭子梢-披针苔草
		2	中坡	17	东北	1097.23	710	14.4	8.5	杭子梢-披针苔草
		3	中坡	19	东北	1098.4	590	18.3	10.2	杭子梢-披针苔草
近熟林	75	4	中坡	38	西北	1467.74	970	17.4	9.5	绒毛绣线菊-披针苔草
		5	上坡	35	西南	1474.56	1240	18	9.2	绒毛绣线菊-披针苔草
		6	下坡	32	西南	1040.47	830	14.2	10.9	胡颓子-披针苔草
成熟林	105	7	下坡	33	东南	1305.2	870	16.2	9.3	麻叶绣线菊-披针苔草
		8	中坡	18	东南	1346.8	1040	19.4	10.5	丁香、黄刺玫-披针苔草
		9	中坡	24	西北	1341.17	470	17	11.6	丁香、黄刺玫-披针苔草

2 结果与分析

2.1 不同林龄天然辽东栎林乔木层生物量及分配

由表 2 的估算结果可知: 中幼林至成熟林的 3 个林龄段辽东栎林乔木层的生物量依次为 76.02、79.35 和 96.71 t · hm⁻²。随着林龄的增大, 天然辽东栎群落乔木层的生物量逐渐增加, 乔木各器官的生物量也呈逐渐增加的趋势。随着林龄的增大, 干、根在乔木中的分配比基本保持稳定; 皮、叶在乔木中的分配比刚开始基本保持稳定, 后降低; 枝在乔木中的分配比逐渐增加。3 个林龄段, 乔木各器官生物量的空间分布序列均为干 > 枝 > 根 > 叶 > 皮。

2.2 不同林龄天然辽东栎林下灌木层生物量及分配

由表 3 可以看出, 随着林龄的增大, 林下灌木层

表 2 不同林龄天然辽东栎林乔木层各器官生物量及分配
Table 2 Component specific biomass of tree layer under different aged natural *Quercus wutaishanica* forests

指标	组分	中幼龄林	近熟林	成熟林
生物量 (t · hm ⁻²)	干	36.00	37.57	45.78
	皮	3.66	3.81	4.53
	枝	16.56	17.31	21.41
	叶	6.15	6.41	7.68
	根	13.66	14.25	17.31
	地上	62.37	65.10	79.40
分配比 (%)	合计	76.02	79.35	96.71
	干	47.35	47.35	47.34
	皮	4.81	4.80	4.68
	枝	21.79	21.82	22.13
	叶	8.09	8.07	7.95
	根	17.97	17.96	17.90
	地上	82.03	82.04	82.10

表 3 不同林龄天然辽东栎林灌木层各器官生物量及分配

Table 3 Component specific biomass of shrub under different aged natural *Quercus wutaishanica* forests

林龄	生物量(t · hm ⁻²)				分配比(%)		
	叶	枝	根	合计	叶	枝	根
中幼龄林	0.89 ± 0.21	5.45 ± 1.06	4.48 ± 0.14	10.82	8.20	50.36	41.44
近熟林	0.31 ± 0.07	1.93 ± 0.25	1.70 ± 0.17	3.95	8.02	48.95	43.03
成熟林	0.20 ± 0.03	0.73 ± 0.18	1.12 ± 0.05	2.05	9.68	35.82	54.50

数据为均值 ± 标准差(n=9)。

表 4 不同林龄天然辽东栎林草本、枯落物生物量及分配比

Table 4 Component specific biomass of herb and litter under different aged natural *Quercus wutaishanica* forests

林龄	生物量(t · hm ⁻²)				分配比(%)	
	草地上	草地下	枯落物	合计	草地上	草地下
中幼龄林	0.27 ± 0.06	0.43 ± 0.01	18.80 ± 1.58	0.71	38.82	61.19
近熟林	0.76 ± 0.14	1.34 ± 0.07	9.56 ± 0.53	2.10	36.37	63.63
成熟林	0.92 ± 0.41	1.56 ± 0.20	21.61 ± 3.79	2.48	37.17	62.83

数据为均值 ± 标准差(n=9)。

的生物量逐渐减小, 中幼龄林、近熟林和成熟林林下灌木层生物量依次为 10.82、3.95 和 2.05 t · hm⁻²。灌木各器官生物量的分配比在中幼龄林和近熟林中为枝 > 根 > 叶, 在成熟林中则为根 > 枝 > 叶。随着林龄的增大, 灌木叶、枝、根的生物量均呈减小的趋势。当林龄增大时, 各器官在灌木中的分配比表现为枝生物量逐渐减小, 从中幼龄林的 50.36% 减小到成熟林的 35.82%; 叶生物量先减少后增加, 由 8.20% 先减小到 8.02%, 后又增加到 9.68%; 根生物量则从中幼龄林的 41.44% 逐渐升高到成熟林的 54.50%。

2.3 不同林龄天然辽东栎林下草本、枯落物层生物量及其分配

不同林龄天然辽东栎林下草本层生物量呈现出与灌木层截然相反的变化规律, 即随着林龄的增大, 林下草本层生物量逐渐增加, 依次为 0.71、2.10 和 2.48 t · hm⁻²(表 4)。由表 4 还可看出, 在 3 个林龄段, 草本层生物量的分配均为地下 > 地上。

天然辽东栎的中幼龄林至成熟林的 3 个林龄段林下枯落物层生物量表现为先减小后增大的趋势, 其值依次为 18.80、9.56 和 21.61 t · hm⁻²。

2.4 不同林龄天然辽东栎林乔木层、灌木层、草本层、枯落物层碳储量估算

由表 5 可知, 不同林龄段辽东栎林乔木干、皮、枝、叶、根的碳含量变化范围分别为 44.16% ~ 47.01%、44.09% ~ 45.50%、43.17% ~ 46.25%、44.67% ~ 46.36%、38.93% ~ 41.10%。中幼龄林表现为叶 > 皮 > 干 > 枝 > 根, 近熟林为叶 > 枝 > 干 > 皮 > 根, 成熟林为干 > 枝 > 叶 > 皮 > 根。随着林龄增大, 干、枝、

表5 不同林龄段天然辽东栎林乔木层的碳含量和碳储量

Table 5 Carbon content and storage in tree layer of different aged natural *Quercus wutaishanica* forests

植物器官	中幼龄林		近熟林		成熟林	
	碳含量 (%)	碳储量 ($t \cdot hm^{-2}$)	碳含量 (%)	碳储量 ($t \cdot hm^{-2}$)	碳含量 (%)	碳储量 ($t \cdot hm^{-2}$)
干	44.16	15.90	45.71	17.17	47.01	21.52
皮	44.32	1.62	45.50	1.73	44.09	2.00
枝	43.17	7.15	45.79	7.93	46.25	9.90
叶	45.46	2.80	46.36	2.97	44.67	3.43
根	38.93	5.32	40.06	5.71	41.10	6.93
地上		27.46		29.80		36.85
合计		32.78		35.51		43.79

表6 不同林龄段天然辽东栎林下灌木层、草本层和枯落物层的碳含量和碳储量

Table 6 Carbon content and storage in shrub layer, herbal layer and litter layers of different aged natural *Quercus wutaishanica* forests

		中幼龄林		近熟林		成熟林	
		碳含量 (%)	碳储量 ($t \cdot hm^{-2}$)	碳含量 (%)	碳储量 ($t \cdot hm^{-2}$)	碳含量 (%)	碳储量 ($t \cdot hm^{-2}$)
灌木层	叶	46.31	0.41	46.26	0.15	44.39	0.09
	枝	30.19	1.65	48.95	0.95	45.26	0.33
	根	28.06	1.26	36.81	0.62	40.13	0.45
	合计		3.31		1.72		0.87
草本层	地上	45.27	0.12	42.41	0.32	28.38	0.26
	地下	46.06	0.2	33.04	0.44	24.53	0.38
	合计		0.32		0.77		0.64
枯落物层		32.1	6.03	32.9	3.14	20.24	4.37
辽东栎群落			42.45		41.41		49.67

根的碳含量逐渐升高,皮、叶的碳含量则先升高后降低。中幼龄至成熟林的3个林龄段乔木层的碳储量依次为32.78、35.51和43.79 $t \cdot hm^{-2}$ 。乔木层、干、皮、枝、叶、根的碳储量随着林龄的增大均逐渐增加,不同龄段林分碳储量的空间分布序列均为干 > 枝 > 根 > 叶 > 皮。

由表6可知,不同林龄林下灌木层叶、枝、根的碳含量变化范围分别为46.26%~44.39%、30.19%~48.95%、28.06%~40.13%;不同组分碳含量变化表现为中幼龄林叶 > 枝 > 根,近熟林和成熟林为枝 > 叶 > 根;随着林龄的增大叶的碳含量逐渐降低,枝的碳含量先升高后降低,根的碳含量逐渐升高。中幼龄林、近熟林和成熟林下灌木碳储量依次为3.31、1.72和0.87 $t \cdot hm^{-2}$,随着林龄增大,灌木碳储量逐渐降低。

不同林龄段林下草本层地上、地下的碳含量变化范围分别为28.38%~45.27%、24.53%~46.06%,中幼龄林表现为地下 > 地上,近熟林和成熟林均表现为地上 > 地下。草本地上和地下的碳含量均随着林龄的增大而逐渐降低。中幼龄林、近熟林和成熟林草本的碳储量依次为0.32、0.77和0.64 $t \cdot hm^{-2}$,草本的碳储量随着林龄的增大呈先升后降的趋势。

不同林龄段林下枯落物层的碳含量变化范围为32.10%~32.90%。枯落物层的碳含量随着林龄的增加先升高后降低。中幼龄林、近熟林和成熟林枯落物碳储量依次为6.03、3.14和4.37 $t \cdot hm^{-2}$,即随着林龄增大,枯落物碳储量先降低后升高。

综合表5、表6可知:中幼龄至成熟林3个林龄段辽东栎群落的碳储量依次为42.45、41.41和49.67 $t \cdot hm^{-2}$,辽东栎群落的碳储量随着林龄的变化表现出先降低,然后升高的趋势。乔木层、灌木层、草本层和枯落物层的碳储量所占群落碳储量的比率随林龄增大差异显著,中幼龄林中依次为77.22%、7.81%、0.76%和14.21%,近熟林为86.32%、4.18%、1.86%和7.64%,成熟林为88.15%、1.75%、1.29%和8.81%。所有龄段林分碳储量空间分布序列均为乔木层 > 枯落物层 > 灌木层 > 草本层。

3 讨论

本研究表明,子午岭林区的辽东栎天然次生林,乔木的干、皮、枝、叶、根的碳含量平均值依次为45.63%、44.64%、45.07%、45.50%和40.03%,在估算辽东栎林乔木部分碳储量时可采用地上45%、地下40%作为生物量与其碳含量之间的换算比率。

随着林龄的增大,林下灌木叶的碳含量变化较小,灌木枝、根、草本地上、地下以及枯落物的碳含量均会发生明显的变化,灌木叶、枝、根碳含量平均值依次为45.66%、41.47%和35.00%,草本地上、地下及枯落物碳含量平均值依次为38.68%、34.54%和28.41%,一些研究中估算碳储量通常采用50%和45%(方精云,2000;马钦彦等,2002)作为灌草及地被生物量与其碳含量之间的换算比率,会导致估算的碳储量的值比真实值偏大。

随着林龄的增大,子午岭天然辽东栎林乔木层碳储量逐渐增多,灌木层碳储量逐渐减少,草本层的碳储量先增多后减少,枯落物层的碳储量则先减少后增多,辽东栎群落碳储量表现出先降低后升高的趋势。天然辽东栎的中幼龄时期,乔木还没有完全占据优势种的地位,因此林分的郁闭度较小,林下的灌木可以获得足够的光、二氧化碳和水分进行生长,所以该时期灌木的碳储量最大,灌木长势良好的话就会遮挡位于群落最下层的草本,此时草本由于无法获得足够的光照,碳储量较低。辽东栎的近熟林时期,辽东栎群落已经处于稳定阶段,乔木层已完全占据了优势种的地位,林分郁闭度增加,灌木层的生长受到乔木层的抑制,生物量减少,碳储量也因此减少,从近熟林到成过熟林也是如此。灌木层长势不好时,草本层则可以得到足够的光,草本层的生物量增加,所以近熟林时期草本层的碳储量会增加。当辽东栎处于成熟林时期,乔木层的郁闭度也达到最大,因此林下灌木、草本的生长都会受到抑制,灌草层生物量减少,碳储量也减少。枯落物层的碳储量则先减少后增多,和辽东栎群落的碳储量变化规律一致。天然辽东栎林乔木层、灌木层、草本层、枯落物层碳储量随林龄的变化规律从一定程度上反映了植物群落各物种之间相互影响、相互制约,从而维持整个植物群落的结构和功能的稳定(王震洪等,2006)。

本研究估算出的子午岭区辽东栎中幼龄林、近熟林、成熟林乔木层碳储量依次为32.78、35.51和43.79 t·hm⁻²,与韩娟娟等(2010)对该区辽东栎乔木层碳储量的估算值53.4529 t·hm⁻²相比均偏低,造成这种差异的原因可能与采用的生物量方程及所选样地林分密度、生长情况等不同而引起的。传统的森林生态系统生物量和碳储量乔木野外调查样方面积为10 m×10 m(王祥福等,2008),本研究采用的乔木样方面积为20 m×50 m,面积增加了10倍,因此本研究取得的研究结果具有较好的代表性。本研究的不足之处在于所选样地较少,还不能充分反

映该区辽东栎次生林从中幼林到成熟林演替过程中的群落结构变化情况;也没有完成该区辽东栎次生林的生物量方程,借用李海奎和雷渊才(2010)硬阔林生物量方程估算该区辽东栎林不同层次生物量可能会与实际情况有一定误差。因此,有必要在今后通过建立本地区辽东栎林生物量方程及增加研究样点,进一步阐明辽东栎林不同层次生物量及碳储量在生态系统演替过程中的变化规律。

参考文献

- 白雪爽,胡亚林,曾德慧,等. 2008. 半干旱沙区退耕还林对碳储量和分配格局的影响. *生态学杂志*, 27(10): 1647-1652.
- 方精云. 2000. 中国森林生产力及其对全球气候变化的响应. *植物生态学报*, 24(5): 513-517.
- 冯宗炜. 1999. 中国森林生态系统的生物量和生产力. 北京: 科学出版社.
- 宫超,汪思龙,曾掌权,等. 2011. 中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段碳储量与格局特征. *生态学杂志*, 30(9): 1935-1941.
- 韩娟娟,程积民,万惠娥,等. 2010. 子午岭辽东栎群落碳储量研究. *西北林学院学报*, 25(5): 18-23.
- 胡海清,孙龙. 2007. 1980—1999年大兴安岭灌木、草本和地被物林火碳释放估算. *应用生态学报*, 18(12): 2647-2653.
- 李海奎,雷渊才. 2010. 中国森林植被生物量和碳储量评估. 北京: 中国林业出版社.
- 梁向锋,赵世伟,张亚莉,等. 2008. 子午岭次生林区土壤持水力及其与土壤有机碳的关系. *水土保持研究*, 15(3): 15-19.
- 林业部科技司. 1994. 森林生态系统定位研究方法. 北京: 中国科学技术出版社.
- 刘迎春,王秋凤. 2011. 黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力. *生态学报*, 31(15): 4277-4286.
- 马炜,孙玉军,郭孝玉,等. 2010. 不同林龄长白落叶松人工林碳储量. *生态学报*, 30(17): 4659-4667.
- 马钦彦,陈遐林,王娟,等. 2002. 华北主要森林类型建群种的含碳率分析. *北京林业大学学报*, 24(5): 96-100.
- 王祥福,郭泉水,巴哈尔古丽,等. 2008. 崖柏群落优势乔木种群生态位. *林业科学*, 44(4): 6-13.
- 王震洪,段昌群,杨建松,等. 2006. 半湿润常绿阔叶林次生演替阶段植物多样性和群落结构特征. *应用生态学报*, 17(9): 1583-1587.
- 中国植被编辑委员会. 1980. 中国植被. 北京: 科学出版社.
- 邹厚远,刘国彬,王晗生. 2002. 北部近50年植被的变化发展. *西北植物学报*, 22(1): 1-8.
- Hooker TD, Compton JE. 2003. Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment. *Ecological Applications*, 13: 299-313.
- Munishi PKT, Shear TH. 2004. Carbon storage in afro-montane rain forests of the Eastern Arc Mountains of Tanzania: Their net contribution to atmospheric carbon. *Journal of Tropical Forest Science*, 16: 78-93.
- Paul KI, Polglase PJ, Nyakuengama JG, et al. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168: 241-257.
- Teklemariam T, Staebler RM, Barr AG, et al. 2009. Eight years of carbon dioxide exchange above a mixed forest at Borden, Ontario. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 2040-2053.

作者简介 王娟,女,1985年生,硕士研究生,研究方向为流域生态学。E-mail: wangjuan_2006456@126.com
责任编辑 王伟