

2013 年河南省乔木林植被碳储量特征

贾松伟, 郭蔓蔓

(河南科技大学 经济学院, 河南 洛阳 471023)

摘要:准确评估区域范围内森林生态系统的固碳能力和趋势,系统分析不同森林类型的固碳能力时空异质性,对于实现森林可持续经营和固碳增汇具有重要意义。以河南省第八次森林资源清查数据为基础,运用生物量扩展因子法,研究了河南省乔木林植被的碳储量及碳密度特征。结果表明:2013 年河南省乔木林植被碳储量 7 422.78 万 t,其中栎类、杨树 2 个(组)树种植被碳储量占全省乔木林植被碳储量的 67.32%。河南省乔木林植被平均碳密度为 24.31 t/hm²,低于全国平均水平。河南省乔木林以幼、中龄林为主,其植被碳储量分别占全省乔木林植被碳储量的 34.09% 和 40.84%。河南省天然林、人工林植被的碳储量相差不大,分别为 3 512.35 万 t 和 3 910.43 万 t;平均碳密度分别为 26.72 t/hm², 22.49 t/hm²。研究表明河南省乔木林植被,特别是人工林,未来固碳潜力巨大,将会在森林植被碳储量中占有越来越重要的地位。

关键词:碳储量;碳密度;乔木林;河南省

中图分类号:S718.56

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)03-0029-06

Carbon Storage Characteristics of Arboreal Forests Vegetation of Henan Province in 2013

JIA Songwei, GUO Manman

(School of Economics, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China)

Abstract: It is important to accurately assess carbon sequestration ability and trends in forest ecosystems and systematically analyze tempo-spatial heterogeneity among various forest ecosystems and controlling factors to achieve sustainable forest carbon sinks. Based on the eighth forestry inventory data, the carbon storage and carbon density of arboreal forests in Henan Province, China was estimated. In addition, the characteristics were analyzed according to dominant tree species, age groups and forest origins. The results showed the total carbon storage of arboreal forests vegetation amounted to 74,227.8 million tons in 2013, in which *Deciduous oaks* and *Populus* forest accounted for 67.32%; the average carbon density of arboreal forests vegetation was 24.31 t/hm² and below the national average; the young forests and middle-aged forests were dominant forest types, and accounted for 34.09% and 40.84% of total carbon storage, respectively; the vegetation carbon storage of natural forests and plantation forests were 35,123.5 million tons and 39,104.3 million tons, and their average carbon density was 26.72 t/hm² and 22.49 t/hm², respectively. Furthermore, the results also indicated that arboreal forests of Henan Province, especially plantation forests, will have the huge potential for carbon sequestration in the future, and will play an important role in forest carbon storage.

Keywords: carbon storage; carbon density; arboreal forests; Henan Province

作为陆地生态系统最活跃、最重要的碳库,森林贮存了 76%~98% 的陆地植被碳储量,在调节全球碳平衡、缓解气候变暖等方面具有不可替代的作用^[1-2]。近 20 多年来,国内外学者从不同尺度、不同区域、不同森林类型等方面开展了森林植被碳储量、

碳密度和碳汇计量工作,并取得了显著成就^[2-12]。目前国内关于大尺度范围下的森林植被碳储量估算研究大多是基于我国历次的森林资源连续清查数据^[7-12],并为此确立了主要树种(组)蓄积量转换生物量的方法及其对应参数^[8,13-14]。

收稿日期:2018-06-22

修回日期:2018-07-16

资助项目:国家自然科学基金“黄土丘陵区森林植物凋落物—土壤化学计量特征耦合关系及对非生物环境因子的响应”(41371506);国家社会科学基金“我国到 2035 年煤炭减量化使用的规模阈值测度及实施机制研究”(18BJY068)

第一作者:贾松伟(1979—),男,河南新密人,博士,副教授,主要从事低碳经济、环境经济方面的研究。E-mail:jswl011@163.com

河南是一个森林资源相对较少的省份,第 8 次全国森林资源清查结果显示^[15],河南省森林面积 359.07 万 hm^2 ,比第 7 次森林资源清查结果增加了 22.48 万 hm^2 ;全省森林覆盖率 21.50%,略低于全国森林覆盖率 (21.63%),在中部六省中仅高于山西省的 18.03%。目前关于河南省森林碳储量的研究多是基于第 7 次森林资源清查数据(2004—2008 年)或第 6 次森林资源清查数据(1999—2003 年)^[11-12]。近年来,在一系列国家或省级林业生态工程的持续推动下,河南省森林面积不断增加,森林质量不断提高,亟需更新森林碳储量的评估结果,以能准确反映和揭示该省森林固碳现状及潜力。为此,本文以河南省第 8 次森林资源清查数据(2013 年)为基础,运用生物量扩展因子法,估算河南省乔木林植被的碳储量与碳密度,探讨其按优势树种、龄组、起源的分布规律,旨在揭示河南省乔木林的固碳能力和其分异规律,为中国省域尺度的森林生态系统碳汇功能评估提供参考数据,并为区域森林碳汇管理与发展提供科学决策依据^[10]。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

河南省位于黄河中下游、华北大平原南端,地理坐标为东经 $110^{\circ}21'$ — $116^{\circ}39'$ 、北纬 $31^{\circ}23'$ — $36^{\circ}22'$,属暖温带—亚热带、湿润—半湿润季风气候,年平均气温 $12.8\sim 15.5^{\circ}\text{C}$,年均降水量 784.8 mm。全省东西长约 580 km,南北相距约 530 km,国土面积 16.7 万 km^2 ,约占全国国土总面积的 1.73%;境内山地、丘陵、平原面积分别占全省陆地面积的 26.3%,18.0%,55.7%。全省土壤类型主要为棕壤、褐土、黄棕壤、黄褐土等。森林植被类型以暖温带落叶阔叶林和亚热带常绿阔叶林为主。全省森林资源相对较少,主要分布于伏牛山和大别山、桐柏山系的深山区。

1.2 数据来源

本研究所用数据来源于国家林业局汇编的全国第 8 次(2009—2013 年)森林资源清查资料。全国森林资源连续清查由国家林业局负责安排,以省为单位,每 5 a 复查一次。森林资源清查数据包括各森林类型的龄级、面积和蓄积以及在各省的分布状况等。河南省于 2013 年开展了第 8 次森林资源清查,此次清查工作通过对全省 10 355 个固定样地($4\text{ km}\times 4\text{ km}$ 网格)的复位测设调查,以及 41 750 个样点($2\text{ km}\times 2\text{ km}$ 网格)的卫星遥感图像判读,查清了全省森林资源现状和分布。

1.3 研究方法

以森林资源清查资料为基础的碳储量估算,国内外采用的方法多属于蓄积量—生物量转换因子

法^[8,13-14],但因模型或参数选取的不同,造成估算结果差异较大。为规范国内碳汇造林项目的计量和监测,增进项目可比性,中国启动了国家和省级温室气体清单的编制工作,而“土地利用变化与林业温室气体清单”是其重要内容之一,清单中给出了乔木林植被碳储量的计算公式,并提供了将不同树种(组)林分蓄积量转换为碳储量所需要的参数^[16](见表 1)。乔木林植被的碳储量计算公式为:

$$C = V \times D \times \text{BEF} \times (1 + R) \times \text{CF} \quad (1)$$

式中: C 为乔木林植被碳储量(t); V 为林分总蓄积量(m^3); D 为基本木材密度(t/m^3); BEF 为生物量扩展因子,即地上生物量与树干生物量的比值,无量纲; R 为地下生物量/地上生物量的比值,无量纲; CF 为优势树种(组)的含碳率,无量纲。由于森林资源清查资料中缺少灌木层、草本层生物量数据,故本文中的碳储量仅为乔木林植被的碳储量。

表 1 河南省乔木林各优势树种(组)蓄积量和碳汇计量参数

树种 编号	优势 树种(组)	2013 年蓄积量/ 万 m^3	D / ($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$)	BEF	R	CF
1	落叶松	6.02	0.490	1.416	0.212	0.521
2	黑松	21.21	0.493	1.551	0.280	0.523
3	油松	321.69	0.360	1.589	0.251	0.521
4	华山松	4.07	0.396	1.785	0.170	0.523
5	马尾松	607.49	0.380	1.472	0.187	0.460
6	火炬松	78.54	0.424	1.631	0.206	0.511
7	黄山松	7.01	0.424	1.631	0.206	0.511
8	其他松类	7.83	0.424	1.631	0.206	0.511
9	杉木	98.99	0.307	1.634	0.246	0.520
10	柏木	165.97	0.478	1.732	0.220	0.510
11	栎类	4222.66	0.676	1.355	0.292	0.500
12	樟木	1.92	0.460	1.412	0.275	0.492
13	刺槐	389.96	0.598	1.674	0.261	0.497
14	枫香	5.99	0.598	1.765	0.398	0.497
15	硬阔类	138.44	0.598	1.674	0.261	0.497
16	杨树	7511.49	0.378	1.446	0.227	0.496
17	柳树	28.14	0.443	1.821	0.288	0.485
18	泡桐	345.85	0.443	1.833	0.247	0.470
19	楝树	2.64	0.443	1.586	0.289	0.485
20	软阔类	32.05	0.443	1.586	0.289	0.485
21	针叶混	18.00	0.405	1.587	0.267	0.510
22	阔叶混	2673.17	0.482	1.514	0.262	0.490
23	针阔混	405.43	0.486	1.656	0.248	0.498
合计		17094.56				

注:“土地利用变化与林业温室气体清单”中未提供黄山松、樟木、刺槐的相关参数,本文中黄山松、樟木和刺槐的相关参数分别由其他松类、樟树、硬阔类的参数替代。

2 结果与分析

2.1 不同乔木林类型的植被碳储量与碳密度

林分类型不同,其碳储量和碳密度存在着很大差异^[17]。第 8 次森林资源清查结果表明,2013 年河南省有

林地面积为 359.07 万 hm^2 ,其中乔木林面积 305.36 万 hm^2 ,经济林面积 50.97 万 hm^2 ,竹林面积 2.74 万 hm^2 。乔木林中,主要优势树种为栎类和杨树,二者面积分别占全省乔木林面积的 30.97%和 28.99%,其次为阔叶混,面积占全省乔木林面积的 17.36%(表 2)。根据“土地利用变化与林业温室气体清单”的有关参数,得出 2013 年河南省乔木林植被碳储量为 7 422.78 万 t。按森林类型划分,全省阔叶林、针叶林、针阔混交林面积分别占 85.86%,11.88%和 2.26%,而相应的植被碳储

量则分别占 90.73%,6.54%和 2.73%。河南省乔木林植被的平均碳密度 24.31 t/hm^2 ,其中针阔混交林的碳密度最大,为 29.35 t/hm^2 ,其次为阔叶林,其碳密度为 25.68 t/hm^2 ,碳密度最小的是针叶林,为 13.39 t/hm^2 。由此可见,阔叶林是河南省森林碳储量的主要贡献者。阔叶林中,栎类、杨树这 2 个(组)树种在全省整个森林植被碳储量中占主导地位,其植被碳储量分别为 2 498.64 万 t 和 2 498.68 万 t,二者占全省乔木林植被碳储量的 67.32%。

表 2 2013 年河南省乔木林植被碳储量分布

树种	合计		幼龄林		中龄林		近熟林		成熟林		过熟林	
	面积/ 万 hm^2	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm^2	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm^2	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm^2	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm^2	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm^2	碳储量/ 万 t
落叶松	0.16	2.64	0	0	0.16	2.64	0	0	0	0	0	0
黑松	0.65	10.85	0.16	0	0.16	3.81	0.33	7.04	0	0	0	0
油松	7.23	119.95	1.92	10.63	3.53	62.38	1.61	44.31	0.17	2.63	0	0
华山松	0.16	1.76	0	0	0	0	0.16	1.76	0	0	0	0
马尾松	13.40	185.53	5.32	55.74	5.16	73.92	2.43	40.29	0.49	15.58	0	0
火炬松	1.76	33.47	0.32	2.99	1.44	30.48	0	0	0	0	0	0
黄山松	0.16	2.99	0	0	0	0	0.16	2.99	0	0	0	0
其他松类	0.48	3.33	0.16	0.46	0.16	1.67	0.16	1.20	0	0	0	0
杉木	2.76	32.17	1.13	1.06	1.15	14.28	0.48	16.83	0	0	0	0
柏木	8.22	85.50	5.00	32.38	2.26	26.37	0.96	26.75	0	0	0	0
栎类	94.56	2498.64	81.99	1709.78	8.71	519.07	2.56	183.45	1.30	86.34	0	0
樟木	0.16	0.78	0.16	0.78	0	0	0	0	0	0	0	0
刺槐	10.31	244.65	1.93	7.36	2.25	38.89	2.25	50.15	2.43	79.16	1.45	69.09
枫香	0.16	4.39	0	0.35	0.16	4.04	0	0	0	0	0	0
硬阔类	4.66	86.85	3.70	60.07	0.80	20.61	0.16	6.17	0	0	0	0
杨树	88.53	2498.68	7.57	105.35	54.68	1487.68	22.23	746.83	3.56	146.52	0.49	12.30
柳树	0.48	14.18	0.16	1.07	0.16	9.13	0	0	0.16	3.98	0	0
泡桐	7.77	164.60	2.61	27.02	3.88	93.07	0.96	29.21	0.16	7.98	0.16	7.32
楝树	0.16	1.16	0.16	0.19	0	0.97	0	0	0	0	0	0
软阔类	2.40	14.08	1.28	3.91	0.48	2.73	0.16	5.78	0.32	1.66	0.16	0
针叶混	1.28	7.48	0.64	3.12	0.48	3.21	0.16	1.15	0	0	0	0
阔叶混	53.00	1206.30	31.44	455.09	16.11	537.39	3.84	129.47	1.45	81.84	0.16	2.51
针阔混	6.91	202.80	4.03	52.81	2.08	98.91	0.64	41.23	0.16	9.85	0	0
合计	305.36	7422.78	149.68	2530.16	103.81	3031.25	39.25	1334.61	10.20	435.54	2.42	91.22

2.2 不同龄组乔木林植被的碳储量与碳密度

乔木林碳储量、碳密度与林龄的关系密切。河南省乔木林以幼龄林和中龄林为主,面积分别占全省乔木林面积的 49.02%和 33.99%,对应的植被碳储量则分别占全省乔木林植被碳储量的 34.09%和 40.84%(表 2)。不同林龄组的乔木林碳密度存在较大差异,从幼龄林到过熟林的碳密度分别为 16.90 t/hm^2 ,29.20 t/hm^2 ,34.00 t/hm^2 ,42.70 t/hm^2 ,37.69 t/hm^2 ,表现出林龄越大,相应龄组碳密度越高的趋势。由此可以看出,林龄结构偏年轻的河南乔木林资源,随着幼龄林和中龄林的继续生长,将会具有很大的碳汇潜力。

2.3 天然林植被的碳储量与碳密度

由表 3 可知,2013 年河南省天然林面积为 131.47 万 hm^2 ,占全省乔木林面积的 43.05%,对应的植被碳储量为 3 512.35 万 t,占全省森林植被碳储量的 47.32%;其中,栎类和阔叶混的植被碳储量分别为 2 239.38 万 t 和 941.32 万 t,二者占天然林植被碳储量的 90.56%。天然林植被碳储量主要集中在幼龄林和中龄林,分别占天然林植被总碳储量的 60.21%和 29.17%;近熟林、成熟林和过熟林分别占 6.44%,4.11%和 0.07%。

从碳密度来看,2013 年天然林植被平均碳密度为 26.72 t/hm^2 ;不同林龄组的天然林植被碳密度存在较大差异,从幼龄林到成熟林(过熟林因面积太小,不考虑其

碳密度)的碳密度分别为 20.51 t/hm²,45.03 t/hm²,67.33 t/hm²,68.66 t/hm²,表现出林龄越大,相应龄组碳密度越高的趋势。不同树种天然林的碳密度差异也较大,介于 6.66 t/hm²(其他松类)~31.50 t/hm²(油松)之间,天然林中植被碳储量最大的栎类和阔叶混的碳密度分别为 30.02 t/hm²,24.03 t/hm²。

表 3 2013 年河南省天然林植被碳储量分布

树种	合计		幼龄林		中龄林		近熟林		成熟林		过熟林	
	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t
油松	0.16	5.04	0	0.43	0.16	4.61	0	0	0	0	0	0
华山松	0.16	1.76	0	0	0	0	0.16	1.76	0	0	0	0
马尾松	7.26	98.51	4.51	51.98	2.75	46.53	0	0	0	0	0	0
其他松类	0.32	2.13	0.16	0.46	0.16	1.67	0	0	0	0	0	0
柏木	1.29	25.59	1.13	20.98	0.16	4.61	0	0	0	0	0	0
栎类	74.59	2239.38	64.58	1532.56	7.11	472.11	1.76	148.37	1.14	86.34	0	0
枫香	0.16	4.39	0	0.35	0.16	4.04	0	0	0	0	0	0
硬阔类	3.70	85.18	2.90	59.43	0.64	19.58	0.16	6.17	0	0	0	0
软阔类	0.96	11.35	0.48	3.91	0	0	0.16	5.78	0.32	1.66	0	0
针叶混	0.16	1.41	0	0	0.16	1.41	0	0	0	0	0	0
阔叶混	39.17	941.32	26.60	407.67	10.65	410.79	1.12	64.16	0.64	56.19	0.16	2.51
针阔混	3.54	96.29	2.74	37.17	0.80	59.12	0	0	0	0	0	0
合计	131.47	3512.35	103.1	2114.94	22.75	1024.47	3.36	226.24	2.1	144.19	0.16	2.51

2.4 人工林植被的碳储量与碳密度

表 4 显示,2013 年河南省人工林面积为 173.89 万 hm²,占全省乔木林面积的 56.95%,对应的植被碳储量为 3 910.43 万 t,占全省森林植被碳储量的 52.68%;其中,杨树碳储量为 2 498.68 万 t,占人工林植被碳储量的 63.90%,其余树种碳储量所占比例均小于 7%。人工林植被碳储量主要集中于中龄林和近熟林,分别占人工林植被总碳储量的 51.32%和 28.34%;幼龄林、成熟林和过熟林分别占 10.62%,

7.45%和 2.27%。

从碳密度来看,2013 年人工林植被平均碳密度为 22.49 t/hm²;不同林龄组的人工林植被碳密度存在较大差异,从幼龄林到过熟林的碳密度分别为 8.91 t/hm²,24.76 t/hm²,30.88 t/hm²,35.97 t/hm²,39.25 t/hm²,表现出林龄越大,相应龄组碳密度越高的趋势。不同树种人工林的碳密度差异较大,介于 1.74 t/hm²(其他硬阔类)~31.61 t/hm²(针阔混),人工林中植被碳储量最大的杨树林碳密度为 28.22 t/hm²。

表 4 2013 年河南省人工林植被碳储量分布

树种	合计		幼龄林		中龄林		近熟林		成熟林		过熟林	
	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t
落叶松	0.16	2.64	0	0	0.16	2.64	0	0	0	0	0	0
黑松	0.65	10.85	0.16	0.00	0.16	3.81	0.33	7.04	0	0	0	0
油松	7.07	114.91	1.92	10.20	3.37	57.77	1.61	44.31	0.17	2.63	0	0
马尾松	6.14	87.02	0.81	3.76	2.41	27.40	2.43	40.28	0.49	15.58	0	0
火炬松	1.76	33.47	0.32	2.99	1.44	30.48	0	0	0	0	0	0
黄山松	0.16	2.99	0	0	0	0	0.16	2.99	0	0	0	0
其他松类	0.16	1.20	0	0	0	0	0.16	1.20	0	0	0	0
杉木	2.76	32.17	1.13	1.06	1.15	14.28	0.48	16.83	0	0	0	0
柏木	6.93	59.91	3.87	11.39	2.10	21.77	0.96	26.75	0	0	0	0
栎类	19.97	259.26	17.41	177.22	1.60	46.96	0.80	35.08	0.16	0	0	0
樟木	0.16	0.78	0.16	0.78	0	0	0	0	0	0	0	0
刺槐	10.31	244.65	1.93	7.36	2.25	38.89	2.25	50.15	2.43	79.16	1.45	69.09
硬阔类	0.96	1.67	0.80	0.65	0.16	1.02	0	0	0	0	0	0
杨树	88.53	2498.68	7.57	105.35	54.68	1487.68	22.23	746.83	3.56	146.52	0.49	12.30
柳树	0.48	14.18	0.16	1.07	0.16	9.13	0	0	0.16	3.98	0	0
泡桐	7.77	164.60	2.61	27.02	3.88	93.07	0.96	29.21	0.16	7.98	0.16	7.32
楝树	0.16	1.16	0.16	0.19	0	0.97	0	0	0	0	0	0
软阔类	1.44	2.73	0.80	0.00	0.48	2.73	0	0	0	0	0.16	0.00
针叶混	1.12	6.07	0.64	3.12	0.32	1.80	0.16	1.15	0	0	0	0
阔叶混	13.83	264.98	4.84	47.42	5.46	126.59	2.72	65.32	0.81	25.65	0	0
针阔混	3.37	106.51	1.29	15.64	1.28	39.79	0.64	41.23	0.16	9.85	0	0
合计	173.89	3910.43	46.58	415.22	81.06	2006.78	35.89	1108.37	8.1	291.35	2.26	88.71

3 讨论

3.1 河南省乔木林植被碳储量在全国乔木林植被碳储量中的贡献

作为陆地生态系统中最大的碳库,森林在抑制全球温室气体浓度上升中发挥着重要作用,林业碳汇也成为《京都议定书》、“巴厘岛路线图”及“哥本哈根世界气候大会”等历次国际气候谈判的重要内容。国内学者历来重视我国的森林植被碳储量研究^[2,6-14,17],Zhang 等以历次全国森林资源清查数据为基础估算了我国乔木林植被碳储量,其中 2009—2013 年期间我国乔木林植被碳储量为 68.96 亿 t^[18]。本研究中,2013 年河南省乔木林植被碳储量估算结果为 7 422.78 万 t,约占全国乔木林植被碳储量的 1.08%;与 2008 年相比^[11],乔木林植被碳储量增加了 446.66 万 t。与邻省陕西省、山东省比较(表 5),陕西省乔木林面积是河南省的 2.09 倍,而乔木林植被碳储量却是河南省的 2.69 倍,这主要是陕西省森林以天然林为主,且天然林各优势种的碳密度较高;而山东省的森林以人工林为主,尽管山东省的乔木林面积为河南省的 0.53 倍,但致使乔木林植被碳储量仅为河南省的 0.46 倍。河南省乔木林植被的碳密度为 24.31 t/hm²,小于全国的平均值 41.41 t/hm²,与四川省的 56.61 t/hm² 和云南省的 50.77 t/hm² 差距较大,与山西省和山东省的乔木林植被平均碳密度大致相当,远高于广西省和湖南省的乔木林植被平均碳密度(表 5),其原因可能与每个省份的优势树种不同有关,广西省、湖南省的优势树种以松类、杉木类为主,而河南省以栎类和杨树为主。

表 5 基于第 8 次森林资源清查数据的全国及部分省份乔木林植被碳储量

区域	面积/ 万 hm ²	碳储量/ 万 t	碳密度/ /(t·hm ⁻²)	文献
全国	16655.36	689630	41.41	[18]
河南	305.36	7422.78	24.31	本研究
陕西	639.26	19942.20	31.20	[19]
湖南	731.39	11454	15.66	[7]
山东	161.44	3404.46	21.09	[10]
山西	210.45	5606.81	26.64	[20]
云南	1526.95	77530	50.77	[21]
四川	1183.75	67010	56.61	[22]
广西	904.10	16400	18.14	[9]

3.2 评估方法对森林植被碳储量估算的影响

目前国内关于森林生态系统碳储量的估算方法较多,且计算中用到的参数不一致,从而造成估算森林生态系统碳储量时,因采用方法不同导致估算结果存在较大差异。基于第 7 次全国森林资源清查资料,李海奎等^[23]利用不同树种的生物量经验模型估算出中国森林植被碳储量为 78.11 亿 t,其中乔木林 66.62 亿 t;李妍等^[24]采用分树种、分龄组的生物量——蓄积量拟合模型

法,估算出中国乔木林植被碳储量为 60.9 亿 t;Zhang 等^[18]基于通过实测样地数据改进后的生物量与蓄积量转换参数,估算出中国乔木林植被碳储量为 62.42 亿 t。从以上研究结果可以看出,尽管所采用的数据相同,但所运用的估算方法或参数不同,导致中国乔木林植被碳储量的估算结果最大差别为 5.72 亿 t。为减少估算方法所带来的不确定性,中国启动了国家和省级温室气体清单的编制工作,清单中给出了乔木林植被碳储量的计算公式,并提供了将不同树种(组)林分蓄积量转换为碳储量所需要的参数。杨传强等^[10]采用清单中所给出的计算公式和参数,以山东省第 8 次全国森林资源清查数据为基础,估算出山东省乔木林植被碳储量为 3 404.46 万 t;同样以山东省第 8 次全国森林资源清查数据为基础,张春华等^[25]采用生物量转换因子连续函数法和改进后的生物量与蓄积量转换参数,估算出山东省乔木林植被碳储量为 4 398.06 万 t,约为前者的 1.29 倍。本研究采用清单中所给出的计算公式和参数,估算出 2013 年河南省乔木林植被碳储量为 7 422.78 万 t;若采用 Fang 等^[8]的生物量转换因子连续函数法,2013 年河南省乔木林植被碳储量将达到 9 086.83 万 t。由此可见,采用“土地利用变化与林业温室气体清单”中给出的植被碳储量计算公式和参数,所估算出的结果偏低。

3.3 人工林经营管理以及人工林碳储量

通过植树造林和人工林经营等措施增强陆地碳汇功能是清洁发展机制(CDM)中的最主要途径之一。Lal 将提高人工林经营管理水平,增强人工林土壤碳汇功能称为“双赢策略”和“减缓全球变化的一种可能机制和最有可能的选择”^[26]。研究表明,从 1973—1976 年到 2009—2013 年,中国乔木林植被碳储量净增加了 27.85 亿 t,年均增加 0.77 亿 t,约 40%来自于人工林^[18]。本研究结果表明,2013 年河南省乔木林植被碳储量为 7 422.78 万 t,其中人工林植被碳储量为 3 910.43 万 t,占全省森林植被碳储量的 52.68%,可见人工林在河南省乔木林植被碳储量中占据着重要地位。本研究还表明,2013 年河南省人工林植被平均碳密度为 22.49 t/hm²,远低于同期全国人工林植被碳密度(29.70 t/hm²)^[18]。造成河南省人工林植被碳密度偏低的原因之一是人工林中幼、中龄林所占比重大,2013 年河南省幼、中龄林所占比高达 73.40%;另外河南省人工林普遍存在树种单一、结构不合理、生产力低下、病虫害发生严重等特点^[27],这也是导致河南省人工林植被平均碳密度较低的一个重要原因。为此,应提高现有人工林的经营管理水平,加强对幼、中龄林的抚育管理,调整该区域内的树种结构、改变树种单一格局,加强森林病虫害防治、增加森林抗灾能力,改善林分质量,将有助于进一步增强河南省森林的碳汇功能。

4 结论

(1) 研究期间河南省乔木林植被碳储量 7 422.78 万 t, 其平均碳密度为 24.31 t/hm^2 ; 其中, 栎类、杨树 2 个(组)树种在全省整个森林植被碳储量中占主导地位, 其植被碳储量分别为 2 498.64 万 t 和 2 498.68 万 t, 二者占全省乔木林植被碳储量的 67.32%。

(2) 研究期间河南省乔木林以幼龄林和中龄林为主, 其植被碳储量分别占全省乔木林植被碳储量的 34.09% 和 40.84%; 从幼龄林到过熟林的平均碳密度分别为 16.90 t/hm^2 , 29.20 t/hm^2 , 34.00 t/hm^2 , 42.70 t/hm^2 , 37.69 t/hm^2 。

(3) 研究期间河南省天然林植被碳储量为 3 512.35 万 t, 占全省森林植被碳储量的 47.32%; 其主要集中于幼龄林和中龄林, 分别占天然林植被总碳储量的 60.21% 和 29.17%。天然林植被平均碳密度为 26.72 t/hm^2 , 不同树种天然林的碳密度差异较大, 介于 6.66 t/hm^2 (其他松类)~ 31.50 t/hm^2 (油松) 之间。

(4) 研究期间河南省人工林植被碳储量为 3 910.43 万 t, 占全省森林植被碳储量的 52.68%; 其中, 人工林中植被碳储量所占比重最大的树种为杨树, 所占比重高达 63.90%。人工林植被碳储量主要集中于中龄林和近熟林, 分别占人工林植被总碳储量的 51.32% 和 28.34%。人工林植被平均碳密度为 22.49 t/hm^2 , 其中杨树林碳密度为 28.22 t/hm^2 。

参考文献:

- [1] Ciais P, Tans P P, Trolier M, et al. A large northern hemisphere terrestrial CO_2 sink indicated by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric CO_2 [J]. *Science*, 1995, 269(5227): 1098-1102.
- [2] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China [J]. *Nature*, 2009, 458(7241): 1009-1013.
- [3] Fang J Y, Guo Z D, Hu H F, et al. Forest biomass carbon sinks in East Asia, with special reference to the relative contributions of forest expansion and forest growth [J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(6): 2019-2030.
- [4] McKinley D C, Ryan M G, Birdsey R A, et al. A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States [J]. *Ecological Applications*, 2011, 21(6): 1902-1924.
- [5] Stinson G, Kurz W A, Smyth C E, et al. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008 [J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(6): 2227-2244.
- [6] 赵敏, 周广胜. 中国森林生态系统的植物碳贮量及其影响因子分析 [J]. *地理科学*, 2004, 24(1): 50-54.
- [7] 刘兆丹, 李斌, 方晰, 等. 湖南省森林植被碳储量、碳密度动态特征 [J]. *生态学报*, 2016, 36(21): 6897-6908.

- [8] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. *Science*, 2001, 292(5525): 2320-2322.
- [9] 李伟, 张翠萍, 李士美. 基于第 8 次森林资源清查数据的广西森林碳储量特征研究 [J]. *西南林业大学学报*, 2017, 37(3): 127-133.
- [10] 杨传强, 李士美. 2012 年山东省乔木林碳储量研究 [J]. *资源科学*, 2015, 37(8): 1661-1667.
- [11] 贾松伟. 基于森林资源清查资料的河南省森林碳储量及其经济价值研究 [J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(6): 1612-1616.
- [12] 光增云. 河南森林植被的碳储量研究 [J]. *地域研究与开发*, 2007, 26(1): 76-79.
- [13] 李海奎, 雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [14] Luo Y, Wang X, Zhang X, et al. Variation in biomass expansion factors for China's forests in relation to forest type, climate, and stand development [J]. *Annals of Forest Science*, 2013, 70(6): 589-599.
- [15] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计: 第八次全国森林资源清查 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [16] 国家林业局. 碳汇造林项目方法学 [EB/OL]. <http://www.forestry.gov.cn/uploadfile/thw/2015-1/file/2015-1-28-8885c55f5c7949b5ac3a41a2e45ad061.pdf>.
- [17] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献 [J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 734-739.
- [18] Zhang C H, Ju W M, Chen J M, et al. Disturbance—induced reduction of biomass carbon sinks of China's forests in recent years [J]. *Environmental Research Letters*, 2015, 10(11): 261-272.
- [19] 曹扬, 陈云明, 晋蓓, 等. 陕西省森林植被碳储量、碳密度及其空间分布格局 [J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(9): 69-73.
- [20] 卢景龙, 梁守伦, 刘菊. 山西省森林植被生物量和碳储量估算研究 [J]. *中国农学通报*, 2012, 28(31): 51-56.
- [21] 燕腾, 彭一航, 王效科, 等. 云南省森林生态系统植被碳储量及碳密度估算 [J]. *西部林业科学*, 2015, 44(5): 62-67.
- [22] 邵波, 燕腾. 四川省森林植被碳储量及碳密度估算 [J]. *西南林业大学学报*, 2017, 37(2): 179-183.
- [23] 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储量 [J]. *林业科学*, 2011, 47(7): 7-12.
- [24] 李妍, 徐新良, 张超. 中国乔木林碳储量变化研究 [J]. *森林工程*, 2015, 31(4): 50-55.
- [25] 张春华, 居为民, 王登杰, 等. 2004—2013 年山东省森林碳储量及其碳汇经济价值 [J]. *生态学报*, 2018, 38(5): 1739-1749.
- [26] Lal R. Forest soils and carbon sequestration [J]. *Forest Ecology & Management*, 2005, 220(3): 242-258.
- [27] 李大银. 提高河南省人工林分质量探讨 [J]. *河南林业科技*, 2005, 25(3): 34-36.