

近 20 年辽宁省森林碳储量及其动态变化

王雪军^{1,2}, 黄国胜², 孙玉军^{1,*}, 付 晓³, 韩爱惠^{1,2}

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714;
3 北京联合大学应用文理学院, 北京 100083)

摘要:利用辽宁省第 3 次(1984 ~ 1988 年)至第 6 次(1999 ~ 2003 年)4 期森林资源清查资料,采用按优势树种(组)建立与材积兼容的生物量模型,测算辽宁省森林植被的生物量。同时,通过植物分子式的方法确定不同树种的含碳量参数,进而对辽宁省的森林植被碳储量进行了估算。结果表明:1984 ~ 2000 年,辽宁省森林碳储量从 1984 年的 51.82 Tg C 增加到 2000 年的 70.30 Tg C,年均增长 1.16 Tg C,森林的碳汇作用显著,尤其是在 1990 ~ 1995 年间的碳汇作用最强。在研究时段内,森林平均碳密度为 20.61 Mg C/hm²,并呈现出了先上升后下降再上升的变化趋势。但低于全国平均值,这与目前辽宁省的林龄结构幼、中龄林所占比重很大有关。随着林龄结构的改善,森林成熟度不断增加,碳储量和碳密度会相应增加。

关键词:辽宁省;生物量;碳储量;碳密度;碳汇

文章编号:1000-0933(2008)10-4757-08 中图分类号:Q948,S718 文献标识码:A

Forest carbon storage and dynamics in Liaoning Province from 1984 to 2000

WANG Xue-Jun^{1,2}, HUANG Guo-Sheng², SUN Yu-Jun^{1,*}, FU Xiao³, HAN Ai-Hui^{1,2}

1 The Key Lab. for Silviculture and Forest Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Academy of Forest Inventory and planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China

3 College of Applied Sciences and Humanities of BUU, Beijing 100083, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4757 ~ 4764.

Abstract: Based on the national continuous forest inventory data, forest biomass change in Liaoning Province from 1984 to 2000 was estimated using dominant tree species biomass models. Specifically, forest carbon storage was parameterized, via plant molecular formulae, as a function of individual tree species carbon content. The results show that forest carbon storage in Liaoning increased from 51.82 Tg C in 1984 to 70.30 Tg C by 2000 with an annual average accumulation of 1.16 Tg C, indicating a gradual escalation of forest carbon sink. Forest carbon density increased from 1984 to 1990, followed by a decrease from 1990 to 1995 and an increase after 1995. The mean carbon density from 1984 to 2000 was estimated at 20.61 Mg C/hm², which was significantly lower than the national average. A large proportion of young-aged and low quality of second-growth forests and plantations in Liaoning greatly limit carbon fixation. Forest carbon density will increase as the young-aged forests age and new management initiatives aiming to improve forest health are implemented.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30571492);国家高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060022009);引进国际先进林业科学技术计划资助项目(948)(2008-4-48)

收稿日期:2008-01-02; **修订日期:**2008-07-07

作者简介:王雪军(1977 ~),男,浙江新昌人,工程师,主要从事森林资源监测、遥感地理信息系统应用研究. E-mail:wangxuejun320@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:sunjy@bjfu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China(No. 30571492); Foundation of MOE for Ph. D. Work of China (No. 20060022009); 948 Plan of China (No. 2008-4-48)

Received date: 2008-01-02; **Accepted date:** 2008-07-07

Biography: WANG Xue-Jun, Engineer, mainly engaged in forest resources and environment monitoring and applications of RS and GIS. E-mail:wangxuejun320@126.com

Key Words: Liaoning Province; biomass; carbon storage; carbon density; carbon sink

森林资源清查资料具有分布范围广、涵盖的森林类型全、测定的因子容易获得、时间连续性强等优点。到目前为止,我国已经完成了连续 6 次全国范围的、系统的森林资源清查(1973 ~ 1976 年,1977 ~ 1981 年,1984 ~ 1988 年,1989 ~ 1993 年,1994 ~ 1998 年,1999 ~ 2003 年),第 7 次正在进行中。清查资料包括各类林分的龄级、面积、蓄积量以及在各省的分布情况等^[1]。鉴于森林清查资料的信息量大和权威性高,如何更有效地利用森林资源清查资料,评估国家和区域尺度的森林碳储量和碳收支,正日益成为人们关注的重点^[2]。目前,从森林资源清查资料估算森林生物量和碳储量所用的方法包括:平均生物量法、生物量转换因子法(材积源生物量法)及生物量转换因子连续函数法。生物量转换因子法和生物量转换因子连续函数法是应用比较广泛的两种估测方法。生物量转换因子法是利用林分生物量与木材材积比的平均值,乘以该森林类型的总蓄积量,得到该类型森林总生物量的方法。该方法将生物量转换因子看作是一恒定的常数。实际上,它随着材积的变化而变化,只有当材积很大时,该值才趋于一常数。因此,采用常数的生物量转换因子不能准确地估算森林生物量。生物量转换因子连续函数法是将单一不变的生物量平均转换因子改为分龄级的转换因子,以更加准确地估算区域或国家的森林生物量。但这种方法难以实现由样地调查到区域推算尺度的转换。方精云^[1,3]等利用倒数方程表示生物量转换因子法与林分材积的关系,实现了由样地调查向区域推算的尺度转换,并据此推算了区域尺度的森林生物量。但是,对某一森林类型而言,该线性关系存在样本数不足的缺陷^[4]。为了提高估测精度,充分利用我国连续清查的森林蓄积量数据,张会儒、唐守正^[5]、胥辉^[6]、王仲锋^[7]等人提出了与材积兼容的生物量模型,在相关区域得到了很好的试验,并取得了很高的精度。

为此,本文总结了国内外森林生物量模型估测方法的研究成果,在此基础上,筛选出按优势树种(组)建立与材积兼容的生物量模型,基于辽宁省 4 期森林资源清查资料,测算森林生物量,同时,针对目前大多研究对于森林碳储量的计算,通常通过森林生物量乘以含碳量得到的,而含碳量通常采用固定值(0.5 或 0.45)^[8~10],极少考虑不同森林类型之间含碳量的差异性,导致森林碳储量估测精度不高的情况,本文提出根据森林生物学结构的分子式确定不同树种的含碳量,然后用森林生物量乘以含碳量估算各树种的碳储量通过汇总,最后计算得到辽宁省各期清查时间的森林碳储量,通过对辽宁省各期清查时间森林碳储量动态变化分析,揭示近 20 年来辽宁省森林碳汇功能作用及其发展态势。

1 研究区域与研究资料

1.1 研究区域

辽宁省位于我国东北地区的南部(118°50' ~ 125°46'E, 38°43' ~ 43°29'N)。属暖温带季风大陆性气候,年平均降水量为 714.9mm,年平均气温 4 ~ 10℃。陆地总面积 14.59 万 km²,其中山地丘陵 62%、平原 30%、其它 8%。辽宁省土壤多属草甸土、褐色土、棕色森林土。兼有长白、蒙古和华北 3 个植物区系的植被。

1.2 研究资料

本文所采用的基本资料是 4 期辽宁省森林资源清查资料即 1984 年第 3 次、1990 年第 4 次、1995 年第 5 次、2000 年第 6 次。森林资源清查资料包括森林资源清查统计报表资料,样地库和样本库数据,样地库数据记载了样地号、地理纵横坐标、样地类型、平均胸径、平均树高、郁闭度、林分蓄积等 48 项因子,样本库数据记载了样本号、立木类型、样地号、胸径、材积等 11 项因子。

2 研究方法

2.1 森林生物量计算方法与适用性

根据辽宁省森林分布的特点,分析森林生物量计算模型的适用性,分类计算生物量。

2.1.1 比例法

它是利用树种或森林类型生物量与材积的比值和对应的总材积相乘,以及地上生物量与地下生物量的比例关系,求森林总生物量的方法,这种方法简单易行、精度低。

2.1.2 模型法

它是根据生物量模型(不同树种或树种组的树干生物量模型、树叶生物量模型、树枝生物量模型、树根生物量模型)分别按照不同地区不同径级计算单位生物量,进一步计算森林总生物量,这种方法相对比较复杂,但精度较高。

2.1.3 混合法

比例法与模型法两种方法的联合应用。主要是因为有的树种或树种组的生物量模型不完整,如只有地上生物量模型,缺少地下生物量模型等。这时可采用地上生物量与地下生物量的比例,求地下生物量,进而求出总生物量。

2.2 森林生物量计算

比例法、模型法与混合法 3 种方法各有优缺点,根据对森林生物量模型的现状和适用范围分析,本文采用混合法计算辽宁省森林生物量。森林生物量的计算包括森林资源清查统计资料数据中 19 种优势树种(组)以及散生木、四旁树、疏林。本文采用唐守正等人在东北地区建立的分优势树种(组)的生物量模型。各树种生物量模型及参数(见附表 1)。

在森林资源调查过程中,林分与散生木、四旁树、疏林的调查统计项目不尽相同,其生物量计算不能采用同一种公式。因此,森林总生物量按林分和散生木、四旁树、疏林分别计算,森林总生物量等于林分生物量与散生木、四旁树、疏林生物量之和:

①林分生物量计算公式

$$\text{生物量} = \frac{\text{林分优势树种蓄积} \times \sum_{i=1}^n \text{样地实测材积} \times \frac{\text{样地理论生物量}}{\text{样地理论材积}}}{\sum_{i=1}^n \text{样地实测材积}} \quad (1)$$

式中, i 为样地数;样地实测材积为指样地因子表中的材积;样地理论材积是根据材积公式按径阶计算的材积;样地理论生物量是根据生物量公式(叶、枝、干、根)按径阶计算的生物量。

理论生物量以二元生物量公式为主,生物量和材积均按径级计算,计算时所用的各径级的树高值,是根据样地资料中的树木直径与树高拟合的树高曲线公式计算径级所对应的树高值。树高曲线用 Schumacher Equation: $H = a \exp(-b/D)$ 拟合。

②散生木、四旁树、疏林生物量计算公式

$$\text{生物量} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{树种生物量} \times (\text{散生木蓄积} + \text{四旁树蓄积} + \text{疏林蓄积})}{\sum_{i=1}^n \text{树种蓄积}} \quad (2)$$

式中, i 为样地数;树种生物量是按生物量模型计算的生物量;树种蓄积为样地因子表中材积。

2.3 森林碳储量估算方法

目前,我国对森林碳储量的估计,无论在森林群落或森林生态系统尺度上还是在区域、国家尺度上,普遍采用的方法是通过直接或间接测定森林植被的生产量与生物现存量再乘以生物量中碳元素的含量推算而得。

森林生物量及其组成树种的含碳量是研究森林碳储量的两个关键因子,对它们的准确测定及估计是估算森林碳储量的基础。迄今为止,国内对不同区域及不同森林类型的生物量和生产力的研究已经有数百例,而对森林群落组成树种的含碳量的测定仅见数例报道^[11~13],难以满足对森林碳储量的精确估算。在过去的估算研究中,方精云、刘国华^[1,3,10]等人含碳量采用 0.5;周玉荣等^[9]和王效科^[8]等人也有采用 0.45 作为平均含碳量。只有极少数研究根据不同森林类型采用不同的含碳量,如 Shvidenko 等在估算俄罗斯北方森林的碳储量时对木质植物生物量按含碳量 0.5 计算,其他植被成分按 0.45 计算。Birdsey 在估算美国全国碳储量时按 0.521 计算针叶林,0.491 计算阔叶林。

本文根据不同树种的化学组成及化学成分的分子式来确定不同树种的含碳量。植物体分为有机质和无机质,有机质为纤维素、半纤维素、木质素,无机质为水和少量矿物质等,水和少量矿物质等基本不含碳。根据纤维素分子式($C_6H_{10}O_5$) $_n$,以及分子式中各种元素的原子量及含有原子的个数,可以得到碳(C)元素在纤维素中,占其重量的4/9。根据半纤维素的分子式($C_5H_8O_4$) $_n$,以及分子式中各种元素的原子量及含有原子的个数,可以得到碳(C)元素在半纤维素中,占其重量的5/11。木素根据结构单元的不同,碳(C)元素在分子中的含量分别82.2%(愈创基结构)、70.6%(紫丁香基结构)、86.4%(对羟基苯基结构)。本文中的木质素中的碳元素比重按愈创基中的碳元素比重计量,即82.2%。

不同树种中,根据纤维素、半纤维素、木质素的组成比例(%),以及纤维素、半纤维素和木质素中碳元素所占重量比例,就可以得到不同树种的含碳量,公式(3)如下

$$C_e = \text{纤维素含量} \times \frac{4}{9} + \text{半纤维素含量} \times \frac{5}{11} + \text{木质素含量} \times 82.2\% \quad (3)$$

通过对《木材化学》等资料的整理,得到各树种中纤维素、半纤维素、木质素的含量,并根据公式(3)得到各树种含碳量,如表1所示。其中各树种化学组成由《木材化学》^[14,15]等整理所得。针叶混的含碳量取针叶树种含碳量均值,针阔混的含碳量取针叶树种和阔叶树种的均值,水胡黄的含碳量取水曲柳、胡桃楸、黄波罗含碳量的均值,硬阔类含碳量取水胡黄含碳量值,软阔类含碳量取杨树含碳量值,阔叶混的含碳量取阔叶树种含碳量均值,散生木、四旁树和疏林取0.5。

表1 各树种纤维素、半纤维素、木质素含量含碳量

Table 1 Cellulose, hemi cellulose, lignin rate and carbon rate of different tree species

树种(组) Tree species	纤维素含量 (%)	半纤维素含量 (%)	木质素含量 (%)	含碳量 Carbon rate	树种(组) Tree species	纤维素含量 (%)	半纤维素含量 (%)	木质素含量 (%)	含碳量 Carbon rate
红松	53.98	13.48	25.56	0.5113	栎类	44.91	26.89	21.72	0.5004
冷杉	41.34	17.19	28.96	0.4999	桦木	41.82	30.37	20.37	0.4914
云杉	58.96	8.14	26.98	0.5208	硬阔类				0.4827
柏木	50.13	7.72	29.87	0.5034	椴树类	41.84	23.52	17.81	0.4392
落叶松	52.63	15.33	26.46	0.5211	杨树	44.57	21.54	24.28	0.4956
樟子松	55.34	11.7	27.15	0.5223	针叶混				0.5011
赤松	50.19	21.62	23.45	0.5141	针阔混				0.4978
黑松	52.09	11.46	28.1	0.5146	软阔类				0.4956
油松	55.32	11.94	26.83	0.5207	阔叶混				0.4900
水、胡、黄				0.4827	散、四、疏				0.5000

表中:纤维素含量 Cellulose rate; 半纤维素含量 Hemi cellulose rate; 木质素含量 Lignin rate; 含碳量 Carbon rate; 红松 *Pinus koraiensis*; 云杉 *Picea*; 冷杉 *Abies*; 柏木 *Platycladus* and *Cupressus*; 落叶松 *Larix*; 樟子松 *Pinus sylvestris*; 赤松 *Pinus densifolia*; 黑松 *Pinus thunbergis*; 油松 *Pinus tabulaeformis*; 水胡黄 *Fraxinus Juglans*; 栎类 *Quercus* spp; 桦木 *Betula* spp; 硬阔类 *Hardwood*; 椴树类 *Tilia*. ; 杨树 *Populus* spp; 软阔类 *Softwood*; 针叶混 *Mixed coniferous*; 针阔混 *Mixed coniferous and broad-leaf forest*; 阔叶混 *Mixed broad-leaf forest*; 散、四、疏 *Open forest land and Scattered trees*

3 研究结果

3.1 森林碳储量的动态变化

由表2可知,2000年,辽宁省森林碳储量达到70.30 Tg C (1Tg C = 1×10^{12} g C),比1984年的碳储量(51.82 Tg C)增加了18.48 Tg C,年均增长1.16 Tg C,年均增长率2.23%。从1984年到1990年的6a中,森林碳储量增加5.39 Tg C,年均增长0.90 Tg C;从1990年到1995年的5a中,森林碳储量增加8.32 Tg C,年均增长1.66Tg C;从1995年到2000年的5a中,森林碳储量增加4.77 Tg C,年均增长0.95 Tg C。可见,从1984到2000年的16a,1990年以前的碳汇作用较弱,1990~2000年的碳汇作用较强,尤其是1990~1995年间的碳汇作用最强。

表 2 辽宁省 1984~2000 年间森林的面积、碳储量及碳密度

Table 2 Area, carbon storage and carbon density during 1984~2000, Liaoning Province

时期 Period	面积 Area (10 ⁴ hm ²)	蓄积 Volume (10 ⁶ m ³)	总生物量 Total biomass (Tg C)	碳储量 Carbon storage (Tg C)	碳密度 Carbon density (Mg C/hm ²)
1984	276.96	132.35	114.77	57.21	18.70
1990	271.27	152.27	114.77	57.21	21.09
1995	314.28	173.63	131.41	65.53	20.85
2000	322.57	185.45	140.96	70.3	21.80
平均 Average	296.27	160.93	125.48	62.56	20.61

1984 年、1990 年森林郁闭度为 0.3 以上,1995 年、2000 年森林郁闭度为 0.2 以上 Forest canopy cover is more than 30% in 1984 and 1990, it is more than 20% in 1995 and 2000

分析各时期辽宁省森林碳储量与森林面积、蓄积量变化规律发现,从 1984 年至 2000 年间,森林碳储量随着森林面积和森林蓄积量的增加而增加。由图 1 可知,从 1984 至 2000 年的 16 年,辽宁省森林碳储量呈现上升趋势,2000 年最高为 70.30 Tg C,说明了其较好的碳汇功能。主要原因是辽宁省加强对辽东地区原始林和天然次生林的管理和保护,加大辽西少林地区和平原造林绿化力度,同时,随着采伐限额制度等一系列保护森林资源制度和措施的实施,使得森林资源得到了有效的保护和发展,辽宁省森林资源呈现出较快的增长趋势。

3.2 碳储量按森林类型的分布及变化

由表 3 可知,1984 年,辽宁省森林碳储量主要集中在栎类、硬阔类、软阔类等 3 个森林类型中,占整个森林碳储量的 70.07%;自 1990 年至 2000 年间,辽宁省森林碳储量主要集中在栎类、阔叶混、落叶松等 3 个森林类型中,占整个森林碳储量的 60% 以上。随着时间的变化,栎类所占的比例呈现先下降后上升的趋势,由 1984 年的 38.98%,下降 1990 年 21.69%、1995 年 21.48%,而后,在 2000 年上升到 22.25%。阔叶混与此相

表 3 不同时期辽宁省森林类型碳储量

Table 3 Carbon storage of each forest type group in different period, Liaoning Province

树种(组)* Tree species	1984 年		1990 年		1995 年		2000 年	
	碳储量 Carbon storage (Tg C)	比例 Per centage (%)	碳储量 Carbon storage (Tg C)	比例 Per centage (%)	碳储量 Carbon storage (Tg C)	比例 Per centage (%)	碳储量 Carbon storage (Tg C)	比例 Per centage (%)
红松	0.19	0.37	0.33	0.33	0.58	0.40	0.61	0.77
冷杉	0.05	0.10	0.09	0.09	0.16	0.21	0.32	0.50
云杉	—	—	0.04	0.04	0.07	—	—	0.06
柏木	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
落叶松	5.66	10.92	6.13	10.71	7.49	11.43	8.27	11.76
樟子松	—	—	0.17	0.30	0.24	0.37	0.27	0.38
赤松	—	—	0.11	0.19	0.14	0.21	0.17	0.24
黑松	—	—	0.04	0.07	0.08	0.12	0.10	0.14
油松	3.84	7.40	3.03	5.30	4.58	6.99	4.73	6.73
水、胡、黄	1.78	3.44	0.17	0.30	0.41	0.63	0.44	0.63
栎类	20.20	38.97	12.41	21.69	14.08	21.48	15.64	22.25
桦木	—	—	0.11	0.19	—	—	0.08	0.11
硬阔类	8.97	17.32	4.62	8.08	4.82	7.36	5.13	7.30
椴树类	—	—	—	—	—	—	0.08	0.11
杨树	—	—	4.23	7.39	4.88	7.45	4.58	6.51
软阔类	7.14	13.78	0.23	0.40	0.18	0.27	0.24	0.34
针叶混	—	—	0.21	0.37	0.06	0.09	0.17	0.24
针阔混	—	—	2.02	3.53	2.73	4.17	3.37	4.79
阔叶混	—	—	17.47	30.54	21.08	32.17	22.43	31.91
散、四、疏	3.98	7.70	5.80	10.13	4.15	6.33	3.67	5.23
合计	51.82	100.00	57.21	100.00	65.53	100.00	70.30	100.00

* 表中树种(组)同表 1 Tree species as table 1

反,自1990年至2000年间,先由1990年30.54%上升到1995年32.17%,而后,在2000年下降到31.91%,呈现出先上升后下降的趋势。由于1984年辽宁省第3次森林清查统计中,没有具体划分阔叶混这一类优势树种,所以无法知道阔叶混当时所占的比例。落叶松呈现出逐渐上升的趋势,由1984年的10.92%,上升到1990年的10.71%、1995年的11.43%、2000年的11.76%。其它森林类型的碳储量比例变化也呈现出类似的变化趋势。

3.3 碳密度动态变化

辽宁森林平均碳密度为20.61 Mg C/hm²。在1984至2000年间,辽宁森林碳密度呈现出了先上升后下降再上升的变化的趋势。

与同期全国森林碳密度相比,方精云等^[3]研究中,全国森林碳密度为38.05 Mg C/hm²,焦燕等^[16]研究中,全国森林碳密度为23.69 Mg C/hm²,而辽宁省森林碳密度仅为20.61 Mg C/hm²,比全国水平偏低。与同处东北三省的黑龙省相比,也远远小于黑龙省同期的森林碳密度(33.44 Mg C/hm²)(表4),仅与大兴安岭的兴安落叶松幼中龄林的碳密度水平相当^[17]。

表4 辽宁与全国和黑龙省森林碳密度的比较(Mg C/hm²)

Table 4 Comparison of forest carbon density among Liaoning and whole country, Heilongjiang (Mg C/hm²)

区域 Region	1984 ~ 1988	1989 ~ 1993	1994 ~ 1998	1999 ~ 2003	平均 Average	文献 References
辽宁 Liaoning Province	18.71	21.09	20.85	21.80	20.61	本文
全国 Whole country	24.51	25.64	24.11	20.48	23.69	[13]
全国 Whole country	35.90	37.40	37.90	41.00	38.05	[1]
黑龙江 Heilongjiang Province	35.46	36.40	36.50	25.41	33.44	[13]

辽宁省森林碳密度偏低,在一定程度上反映了辽宁省的森林质量不高,幼、中龄林、人工林较多,森林整体碳固定能力还不强。从图2可知,从1984年至2000年间,辽宁幼、中龄林所占面积比例较大,不同时期均超过80%,这样的林龄结构必然使森林碳密度偏低。但从另一方面也反映出作为CO₂的“汇”,辽宁省的森林还有很大的潜力。可以预见随着时间的推移,森林成熟度不断增加,森林经营管理水平和森林保护措施同时跟上,整个辽宁省森林碳密度在一定时间内保持上升的趋势,然后稳定在一个较高的水平,森林碳储量也是如此。

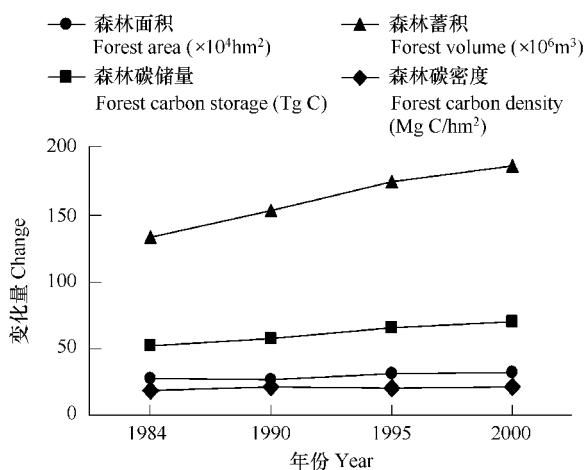


图1 森林面积、蓄积、碳储量及碳密度变化(1984~2000年)

Fig. 1 Change of area, timber volume, carbon storage and carbon density during 1984 ~ 2000

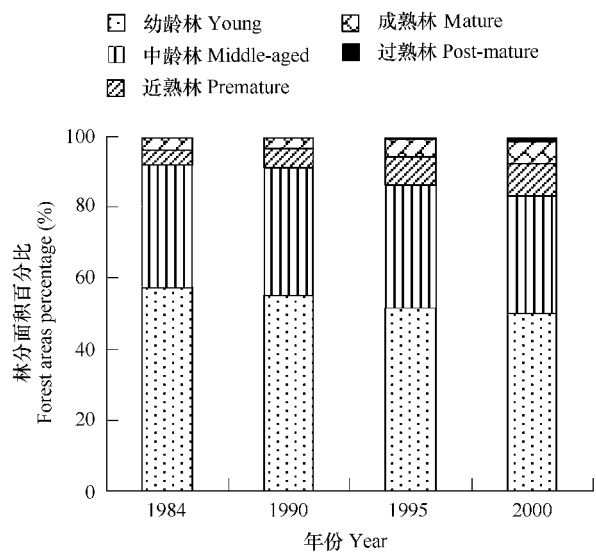


图2 各龄组的林分面积所占百分比(%) (1984~2000年)

Fig. 2 Percentage of areas in forest age groups during 1984 ~ 2000

4 结论与讨论

本文在系统总结国内外森林生物量估测方法及研究成果的基础上,利用按优势树种(组)建立生物量模型,首次利用辽宁省第 3 次、4 次、5 次、6 次、4 期森林资源清查的统计资料、样地库资料和样本库资料,对辽宁省森林生物量进行了测算,同时,根据森林生物学结构的分子式确定不同树种的含碳量,估算出辽宁省各森林类型的碳储量。研究表明,1984~2000 年,辽宁省森林碳储量增加了 18.48 Tg C,年均增长 1.16 Tg C。辽宁省森林的碳汇作用显著,尤其是在 1990~1995 年间的碳汇作用最强。在研究时段内,森林平均碳密度为 20.61 Mg C/hm²,并呈现出了先上升后下降再上升的变化趋势。与同期全国森林碳密度相比,辽宁省森林碳密度偏低,这与目前辽宁省幼、中龄林所占比重很大有关。随着林龄结构的改善,森林成熟度不断增加,碳储量和碳密度会相应增加。因此,辽宁省森林碳汇潜力巨大。

本文旨在提供一种新的估算思路和方法,为今后省级乃至全国尺度森林生物量和碳储量的估算提供一些参考方法,但其结果具有一定的不确定性。森林碳储量估算的主要误差源有森林清查误差、生物量模型误差以及含碳量测算误差。森林清查误差主要是样地调查胸径、树高的测量误差,一般来说,这些误差比较小,根据辽宁省历次森林清查技术规定,胸径测量误差小于 1.5%,树高测量误差小于 5%。生物量模型误差是对于各优势树种(组)的生物量模型可用模型较少,对地下部分生物量的测算采用地上生物量与地下生物量的比例关系来确定而引起的误差。含碳量测算误差原因主要是在对各优势树种(组)含碳量的确定过程中,没有对优势树种(组)分别龄级进行计算等,利用木材化学成分计算含碳量只考虑树干部分的含碳量,而没有考虑其他根茎叶的含碳量。本文估算结果中,一个重要的缺陷是没有估算起测径阶小于 6cm 的那部分森林的碳储量及变化。本文还需要说明的是,本文的研究时间段 1984~2000 年间,存在清查技术规定变动,辽宁省第五次清查后,对森林林分的定义中森林郁闭度从 0.3 降到 0.2。因辽宁省第 3 次、第 4 次森林资源统计数据没有具体统计森林郁闭度为 0.2 的那部份森林面积和蓄积,所以本文无法把四期数据统一到森林郁闭度为 0.2 的标准来估算,同时,考虑到技术规定的变动对本文森林碳储量估算结果的影响非常有限,因为本文计算过程中,不仅包括对林分碳储量的计算,而且对疏林、散生木和四旁树的也在计算之内,1984 年和 1990 这两期数据中小于郁闭度 0.3 的那部分森林已纳入到疏林计算之中,因此,对总体估算全省森林碳储量是没有影响的。综上所述的这些因素都可能在实际使用中产生一定的误差,为此,需要更为深入、细致的研究。

References:

- [1] Liu G H, Fu B J. Carbon dynamics of china forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Phytoecol Sin*, 2000, 20(5): 733—740.
- [2] Brown S L, Schroeder P, Kern J S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *For Ecol Man*, 1999, 123: 81—90.
- [3] Fang J Y, Guo D L, Pu S L, *et al.* Vegetation carbon storage estimation in china between 1981 and 2000. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, 37(6): 804—811.
- [4] Zhao M, Zhou G S. Forest inventory data based biomass models and their prospects. *Chin J Appl Ecol*, 2004, 8(15): 1468—1472.
- [5] Tang S Z, Zhang H R, Xu H. Study on establish and estimate method of compatible biomass model. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(1): 19—27.
- [6] Xu H. A biomass model compatible with volume. *Journal of Beijing Forestry University*, 1999, 5(21): 32—36.
- [7] Wang Z F, Feng Z K. On CVD model transforming forestry volume into biomass. *Journal of Beihua University(Natural Science)*, 2006, 3(7): 265—268.
- [8] Wang X K, Feng Z W, Ouyang Z Y. Vegetation carbon storage and density of forest ecosystem in China. *Chin J Appl Ecol*, 2001, 12(1): 13—16.
- [9] Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S T. Carbon storage and budget of major Chinese forest types. *Acta Phytoecol Sin*, 2000, 24(5): 518—522.
- [10] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Biomass and net production of forest vegetation in china. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 497—508.
- [11] Liu H, Lei R D. Research methods and advances of carbon storage and balance in forest ecosystems of China. *Acta Bot. Boreal. Occident. Sin*, 2005, 25(4): 835—843.
- [12] Wu Z M, Zeng Q B, Li Y D, *et al.* A preliminary research on the carbon storage and CO₂ release of the tropical forest soils in Jianfengling, Hainan Island, China. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1997, 21(5): 416—423.
- [13] Ma Q Y, Chen X L, Wang J, *et al.* Carbon content rate in constructive species of main forest type in northern China. *Journal of Beijing Forestry*

University, 2002, 24(56): 96—100.

- [14] Jiang Z H, Peng Z H. Wood properties of the global important tree species. Beijing: Science Press, 2001. 30—300.
- [15] Wang P Q. Wood chemistry. Beijing: China Forestry Publishing House, 1983. 51—88.
- [16] Jiao Y, Hu H Q. Carbon storage and its dynamics of forest vegetation in Heilongjiang Province. Chin J Appl Ecol, 2005, 16(12): 2248—2252.
- [17] Sun Y J, Zhang J, Han A H. Biomass and Carbon Pool of Larix gmelini Young and Middle Age Forest in XING' AN Mountains Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 1756—1762.

参考文献:

- [1] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林的碳动态及对全球碳平衡的贡献. 植物生态学报, 2000, 20(5): 733~740.
- [3] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981~2000 年中国陆地植被碳汇的估算. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(6): 804~811.
- [4] 赵敏, 周广胜. 基于森林资源清查资料的生物量估算模式及其发展趋势. 应用生态学报, 2004, 8(15): 1468~1472.
- [5] 唐守正, 张会儒, 胥辉. 与材积兼容的生物量模型的建立及其估计方法研究. 林业科学研究, 2000, 36(1): 19~27.
- [6] 胥辉. 一种与材积相容的生物量模型. 北京林业大学学报, 1999, 5(21): 32~36.
- [7] 王仲锋, 冯仲科. 森林蓄积量与生物量转换的 CVD 模型研究. 北华大学学报(自然科学版), 2006, 3(7): 265~268.
- [8] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统植物碳储量和碳密度研究. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13~16.
- [9] 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. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518~522.
- [10] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量. 生态学报, 1996, 16(5): 497~508.
- [11] 刘华, 雷瑞德. 我国森林生态系统碳储量和碳平衡的研究方法及进展. 西北植物学报, 2005, 25(4): 835~843.
- [12] 吴仲民, 曾庆波, 李意德, 等. 尖峰岭热带森林土壤 C 储量和 CO₂ 排放量的初步研究. 植物生态学报, 1997, 21(5): 416~423.
- [13] 马钦彦, 陈遐林, 王娟, 等. 中国北方主要森林类型含碳量的测定. 北京林业大学学报, 2002, 24(56): 96~100.
- [14] 江泽慧, 彭镇华著. 世界主要树种木材科学特性. 北京: 科学出版社, 2001. 30~300.
- [15] 王佩卿, 木材化学. 北京: 中国林业出版社, 1983. 51~88.
- [16] 焦燕, 胡海清. 黑龙江省森林植被碳储量及其动态变化. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2248~2252.
- [17] 孙玉军, 张俊, 韩爱惠, 等. 兴安落叶松幼中龄林的生物量与碳汇功能研究. 生态学报, 2007, 27(5): 1756~1762.

附表 1 各种种生物量模型及参数

Table 1 Models and parameters used to calculate biomass of stands by different dominant trees species

树种(组)* Tree species	地上部分生物量(W_T) Above-ground biomass(W_T)	地下部分生物量(W_R) Below-ground biomass(W_R)
红松	$W_T/V = 0.390374D^2H^{0.017299}$	$WR = WT/4.22$
云杉	$W_T/V = 0.844234D^2H^{-0.060296}$	$WR = W_T/3.94$
冷杉	$W_T/V = 0.844234D^2H^{-0.060296}$	$WR = W_T/3.94$
柏木	$W_T/V = 0.390374D^2H^{0.017299}$	$WR = W_T/4.22$
落叶松	$W_T/V = 1.121615D^2H^{-0.087122}$	$WR = W_T/4.81$
樟子松	$W_T/V = 0.390374D^2H^{0.017299}$	$WR = W_T/4.22$
赤松	$W_T/V = 0.390374D^2H^{0.017299}$	$WR = W_T/4.22$
黑松	$W_T/V = 0.390374D^2H^{0.017299}$	$WR = W_T/4.22$
油松	$W_T/V = 0.390374D^2H^{0.017299}$	$WR = W_T/4.22$
水胡黄	$W_T/V = 0.920996D^2H^{-0.06429}$	$WR = W_T/4.28$
栎类	$W_T/V = 0.834279D^2H^{-0.017832}$	$WR = W_T/4.28$
桦木	$W_T/V = 0.834279D^2H^{-0.017832}$	$WR = W_T/4.28$
硬阔类	$W_T/V = 0.834279D^2H^{-0.017832}$	$WR = W_T/4.28$
椴树类	$W_T/V = 0.834279D^2H^{-0.017832}$	$WR = W_T/4.28$
杨树	$W_T/V = 0.471235D^2H^{0.018332}$	$WR = W_T/5.04$
软阔类	$W_T/V = 0.471235D^2H^{0.018332}$	$WR = W_T/5.04$
针叶混	$W_T/V = 1.121615D^2H^{-0.087122}$	$WR = W_T/4.81$
针阔混	$W_T/V = 1.121615D^2H^{-0.087122}$	$WR = W_T/4.81$
阔叶混	$W_T/V = 0.88929D^2H^{-0.013555}$	$WR = W_T/4.95$
散、四、疏	$W_T/V = 0.471235D^2H^{0.018332}$	$WR = W_T/5.04$

* 表中树种(组)同表 1 Tree species as table 1; V: 蓄积 Volume, D: 胸径 Diameter at breast height, H: 树高 Tree's height