

# 中国森林生态系统植被碳储量 时空动态变化研究

徐新良, 曹明奎, 李克让

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 森林是陆地生态系统的主体, 在全球碳循环中起着十分重要的作用。本文利用 20 世纪 70 年代以来的六次森林清查资料, 结合森林生物量实测数据, 采用分树种、分龄组的生物量—蓄积拟合关系, 估算了中国 20 世纪 70 年代以来森林植被碳储量的动态变化。结果表明: 我国六次森林资源清查中森林的植被总碳储量分别为 3.8488PgC、3.6960PgC、3.759PgC、4.1138PgC、4.6563PgC 和 5.5064PgC, 虽然存在一定的波动现象, 但总体增长趋势明显, 尤其是 80 年代以来, 植被碳储量净增加 1.8104PgC, 平均每年以 0.0823PgC 的速率增加, 这表明 80 年代以来我国森林植被一直起着明显的 CO<sub>2</sub> 汇的作用。从碳密度的变化看, 70 年代以来我国森林植被平均碳密度增长了 3.001Mgha<sup>-1</sup>, 其中幼龄林与中龄林碳密度分别增长 5.2871Mgha<sup>-1</sup> 和 0.6022 Mgha<sup>-1</sup>, 而成熟林碳密度却降低了 0.7581Mgha<sup>-1</sup>, 可见中国森林植被的碳汇功能主要来自于人工林的贡献, 而且随着幼龄林、中龄林碳储量和碳密度的增长, 中国森林植被的碳汇功能将进一步增强。我国森林植被碳储量和碳密度空间差异显著, 森林植被碳库主要集中于东北和西南地区, 平均碳密度以西南、东北以及西北地区为大, 中国森林植被碳储量和碳密度的这种空间分布规律与人类活动对森林的干扰强度密切相关。

**关 键 词:** 森林资源清查资料; 森林生态系统; 碳储量; 碳密度

## 1 引言

森林生态系统是陆地生态系统的主体, 在陆地上, 森林面积虽然只占全球非冰表面的 40%, 但其生物量约占陆地生物量的 90%, 其土壤碳储量约占全球土壤碳储量的 73%<sup>[1,2]</sup>。作为全球气候系统的重要组成部分, 森林在陆地生态系统碳循环研究中占有十分重要的地位, 寄托着人类降低大气 CO<sub>2</sub> 含量和减缓全球气候变暖趋势的希望<sup>[3]</sup>。目前大量的研究表明: 森林破坏(尤其是热带雨林的破坏)已成为继化石燃料燃烧之后, 大气中 CO<sub>2</sub> 浓度增加的第二大来源<sup>[4-6]</sup>。与此同时, 人们通过对全球碳通量的估算发现未知碳汇很可能存在于北半球中高纬度的森林中<sup>[5-10]</sup>。因此研究森林生态系统, 尤其是中高纬度森林的确切碳储量和固碳能力已成为当前生态学及相关学科的研究热点。

根据国家林业局公布的第六次森林资源清查结果, 截止到 2003 年, 我国森林面积 1.75

收稿日期: 2007-09; 修订日期: 2007-11.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40601079)、国家重点基础研究计划(G2002CB412507)。

作者简介: 徐新良(1972 - ), 男, 山东青岛人, 博士, 主要从事土地利用/土地覆被变化与陆地碳循环遥感研

究。E-mail: xuxl@reis.ac.cn

亿公顷,森林覆盖率 18.21%,随着植树造林步伐的加快和森林经营管理水平的提高,预计到 2010 年我国的森林覆盖率将会达到 20.3%,到 2050 年提高到 26%<sup>[11]</sup>。因此,有关森林生态系统碳储量和碳平衡的研究越来越受到重视,许多学者在这方面作出了非常有意义的工作。方精云等<sup>[12]</sup>基于中国近 50 年来的森林资源清查资料对中国森林植被碳库及其变化作了大尺度的研究探讨,该项工作被《科学》周刊编委会首席指导萨格登评价为:“首次对中国的碳汇做出了真正正确的评价……”。另外王效科<sup>[13]</sup>和赵敏<sup>[14]</sup>等分别基于第三次和第四次森林清查资料,估算了中国森林植被碳储量和碳密度,从某一时间断面上反映了中国森林对全球碳循环的影响。在森林碳储量的估算中,由于不同学者所采用的方法不同以及森林生态系统碳储量的空间异质性和时间变化的复杂性,使得森林碳储量的估算仍存在很大的不确定性<sup>[15-18]</sup>。

本文在分析中国森林生态系统主要优势树种生物量和蓄积量关系的基础上,根据全国第一至第六次森林资源清查资料中按省市和按优势树种调查统计的各林龄级的面积和蓄积量资料,估算了中国森林生态系统的植被碳储量,进而分析了 20 世纪 70 年代以来中国森林生态系统植被碳储量的时空动态变化特点和规律。

## 2 研究资料和方法

本研究所使用的数据来源有两类:森林资源清查资料和文献发表的生物量实测资料。

### 2.1 森林资源清查资料

森林资源清查资料是国家林业局从 1973 年到 2003 年在全国范围内(不包括台湾省和西藏控制线以外的地区)对森林资源连续进行的 6 次清查数据,该系列资料为 1973~1976<sup>[19]</sup>(第一次全国森林资源清查)、1977~1981<sup>[20]</sup>(第二次全国森林资源清查)、1984~1988<sup>[21]</sup>(第三次全国森林资源清查)、1989~1993<sup>[22]</sup>(第四次全国森林资源清查)、1994~1998<sup>[23]</sup>年(第五次全国森林资源清查)和 1999~2003<sup>[24]</sup>年(第六次全国森林资源清查)6 个时段,记录了各省市林分树种和龄级的面积和蓄积量。由于森林清查资料的详细性和权威性,因而在计算国家或地区尺度碳平衡时最具有代表性,从而也越来越受到人们的欢迎<sup>[25]</sup>。

### 2.2 生物量实测资料

本研究中所用的生物量是指森林林木的生物量,包括干、枝、叶、根的总重量。由于森林清查资料并没有提供森林生物量信息,因此,由森林清查资料来推算生物量,必须建立生物量和蓄积量之间的换算关系。为此,我们在文献整理的基础上搜集了全国 2304 个森林样地生物量数据<sup>[26-29]</sup>,其空间分布如图 1 所示,该数据集详细记录了每块森林样地的位置、森林类型、优势树种、林龄、生物量和蓄积量。

### 2.3 生物量估算方法

近年来,以建立生物量与蓄积量关系为基础的植被碳储量估算方法已得到广泛应用<sup>[30]</sup>。本研究也采用该方法,不同的是首先根据搜集到的 2304 个森林样地的生物量资料按林龄级别依次分为幼龄林、中龄林、成熟林(包括近熟林、成熟林和过熟林)3 个龄组,并将其归并为

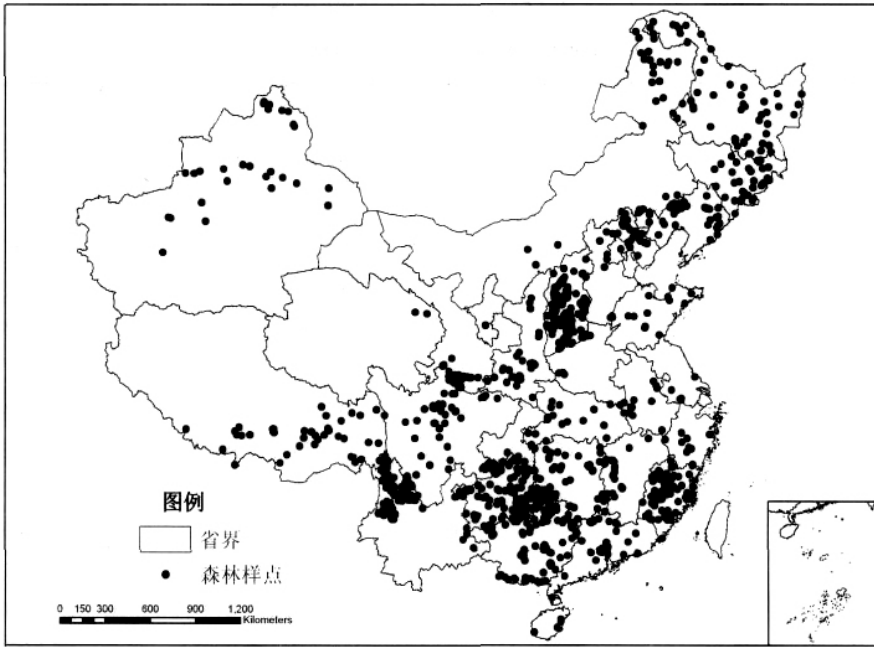


图 1 森林样地空间分布图

Fig. 1 Geographical distribution of the field sites (2304) used to develop age-based volume-to-biomass function in China

13 种森林类型, 然后利用样地实测的生物量和蓄积量资料, 通过统计回归分析建立不同森林类型、不同龄组的生物量——蓄积线性拟合方程 (1) (方程参数见表 1)。

$$B_{ij} = a + bV_{ij} \quad (1)$$

式中,  $B_{ij}$  为某一龄组、某一森林类型的生物量 ( $\text{Mgha}^{-1}$ );  $V_{ij}$  为某一龄组、某一森林类型的蓄积量 ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ );  $a, b$  为常数;  $i$  为某一森林类型 ( $i = 1, 2, 3, \dots, 13$ );  $j$  为某一龄组 ( $j = 1, 2, 3$ )。

然后利用  $B_{ij}$  结合各省市不同树种不同龄组的森林清查资料来计算各省市的总生物量  $B_t$  (Mg):

$$B_t = \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^3 A_{ij} B_{ij} \quad (2)$$

式中,  $B$  为某省市的总生物量 (Mg);  $A_{ij}$  为某省市某一龄组、某一森林类型的面积 ( $\text{m}^2$ );  $B_{ij}$  为某一龄组、某一森林类型的生物量 ( $\text{Mgha}^{-1}$ ), 可以通过公式 (1) 计算。

最后在此基础上确定某省市的森林植被碳储量  $C$  (Mg) 和碳密度  $C_p$  ( $\text{Mgha}^{-1}$ ):

$$C = B_t \times C_c \quad (3)$$

式中,  $C$  为某省市的森林植被碳储量 (Mg);  $B_t$  为某省市的总生物量 (Mg), 通过公式 (2) 获得;  $C_c$  为森林植被碳含量, 该值在不同森林植被间变化不大, 为方便起见, 常采用  $0.5^{[31]}$ 。

$$C_p = C \div \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^3 A_{ij} B_{ij} \quad (4)$$

式中,  $C_p$  为某省市的森林植被碳密度 ( $\text{Mgha}^{-1}$ );  $C$  为某省市的森林植被碳储量 (Mg), 由公式 (3) 计算;  $A_{ij}$  为某省市某一龄组、某一森林类型的面积 ( $\text{m}^2$ )。

表 1 估算中国森林生物量的参数

Tab.1 Parameters used to estimate forest live-biomass

森林类型	龄组	公式 (1) 中的参数			
		a	b	n	R
常绿阔叶树	幼龄林( $\leq 40a$ )	17.5941	0.9501	212	0.89793
	中龄林(41-60a)	39.3752	0.8593	79	0.87157
	成熟林( $\geq 61a$ )	43.4173	0.8389	63	0.85043
红松	幼龄林( $\leq 40a$ )	33.2049	0.4834	24	0.87828
	中龄林和成熟林( $\geq 41a$ )	54.7293	0.4108	19	0.81886
华山松、黄山松和高山松	幼龄林( $\leq 30a$ )	15.6557	0.6333	29	0.8874
	中龄林(31-50a)	45.5374	0.4139	13	0.88483
	成熟林( $\geq 51a$ )	47.6751	0.4292	17	0.87098
桦木、杨树	幼龄林( $\leq 30a$ )	21.5600	0.5750	120	0.88449
	中龄林(31-50a)	39.9348	0.5917	67	0.87491
	成熟林( $\geq 51a$ )	29.6156	0.6257	45	0.89799
冷、云、铁杉	幼龄林( $\leq 60a$ )	49.0802	0.3422	28	0.92086
	中龄林(61-100a)	29.3993	0.4952	33	0.92218
	成熟林( $\geq 101a$ )	53.6120	0.3917	118	0.86682
柳杉、柏木、湿地松	幼龄林( $\leq 10a$ )	35.2538	0.4741	24	0.82247
	中龄林(11-20a)	47.6005	0.4741	23	0.96934
	成熟林( $\geq 21a$ )	69.3512	0.3930	29	0.88959
橡、栎及其他落叶阔叶树	幼龄林( $\leq 40a$ )	21.8281	0.7084	93	0.88907
	中龄林(41-60a)	22.2598	0.8398	76	0.91967
	成熟林( $\geq 61a$ )	55.4361	0.4265	41	0.87656
落叶松	幼龄林( $\leq 40a$ )	30.4438	0.6194	93	0.95598
	中龄林(41-80a)	14.3096	0.6425	22	0.97264
	成熟林( $\geq 81a$ )	33.7734	0.5558	29	0.92675
马尾松	幼龄林( $\leq 20a$ )	12.1063	0.5093	158	0.84717
	中龄林(21-30a)	38.6436	0.4934	98	0.80683
	成熟林( $\geq 31a$ )	21.2812	0.5497	35	0.91996
杉木	幼龄林( $\leq 10a$ )	14.6212	0.6765	83	0.8754
	中龄林(11-20a)	32.8777	0.3858	111	0.8887
	成熟林( $\geq 21a$ )	0.5264	0.5115	100	0.93833
油松	幼龄林( $\leq 30a$ )	14.4807	0.7106	125	0.91632
	中龄林(31-50a)	4.9498	0.8115	79	0.91841
	成熟林( $\geq 51a$ )	8.4727	0.6983	77	0.96866
云南松、思茅松	幼龄林( $\leq 30a$ )	31.7207	0.5070	22	0.95799
	中龄林(31-50a)	4.2304	0.7185	15	0.98616
	成熟林( $\geq 51a$ )	-10.0118	0.7892	20	0.99687
樟子松	幼龄林( $\leq 40a$ )	1.1302	1.1034	72	0.99975
	中龄林和成熟林( $\geq 41a$ )	55.7950	0.2545	12	0.96227

### 3 估算结果分析

#### 3.1 中国森林植被碳储量的时间变化

根据六次森林清查资料计算了中国各省区的森林总碳储量和平均碳密度, 表 2 给出了归纳的全国统计值。由表 2 可以看出从 20 世纪 70 年代初期到 2003 年我国森林林分面积由

表 2 中国森林面积、碳储量、碳密度及其变化

Tab.2 Forest area, total carbon storage, mean C density in five inventory periods in China

调查阶段	面积 ( $10^4\text{ha}$ )	蓄积 ( $10^6\text{m}^3$ )	生物量 (Pg)	碳储量 (Pg C)	碳储量变化 (Pg $\text{Cyr}^{-1}$ )	碳密度 ( $\text{Mgha}^{-1}$ )	碳密度变化 ( $\text{Mgha}^{-1}$ )
1973~1976	10822	8470	7.6975	3.8488	-	35.5640	-
1977~1981	9562	7978	7.3920	3.6960	-0.0306	38.6521	3.0881
1984~1988	10219	8091	7.5179	3.759	0.0090	36.7849	-1.8672
1989~1993	10864	9087	8.2275	4.1138	0.0710	37.8664	1.0815
1994~1998	12920	10086	9.3126	4.6563	0.1085	36.0398	-1.8266
1999~2003	14279	12098	11.0129	5.5064	0.1700	38.5641	2.5243

1.08  $\times 10^8\text{ha}$  增加到 1.43  $\times 10^8\text{ha}$ , 净增加 3.457  $\times 10^7\text{ha}$ , 森林植被碳储量由 3.8488 PgC 增加到 5.5064PgC, 净增加 1.6576PgC(表 2), 其中从 20 世纪 70 年代初期到 80 年代初期(第一次与第二次清查期间)森林碳储量出现下降趋势, 净减少 0.1528PgC, 年减少 0.0306PgCyr<sup>-1</sup>, 此后森林碳储量一直呈显著增长趋势, 从 80 年代初到 2003 年(第二次与第六次清查期间), 森林碳储量净增加 1.8104PgC, 平均年增长 0.0823 Pg Cyr<sup>-1</sup>, 其中 90 年代初期到 2003 年(第四次与第六次清查期间)森林碳储量年增长率最高, 达 0.1393PgCyr<sup>-1</sup>。中国森林植被碳库的这种变化趋势是与国家对森林资源的开发利用特点密切相关的, 从解放初到 70 年代末, 我国森林资源是以利用为主的阶段, 这一阶段的主要特征是以木材采伐利用为中心, 森林资源过量消耗, 其结果表现为 70 年代初到 80 年代初森林碳储量出现明显下降趋势。80 年代以后, 国家开始注重森林资源总量的扩张, 并在此基础上兼顾森林资源的综合利用, 人工造林的面积逐步增加, 实现了森林资源面积和蓄积的“双增长”, 该时期中国森林植被碳储量的稳步增长主要是由于人工林生长的结果。从中国森林碳密度的状况看, 全国森林平均植被碳密度介于 35~39Mgha<sup>-1</sup> 之间, 远低于世界的平均水平 86.00 Mgha<sup>-1</sup>[30]。从其变化看, 从 70 年代初期到 2003 年我国森林林分平均碳密度由 35.5640Mgha<sup>-1</sup> 增加到 38.5641Mgha<sup>-1</sup>, 净增长 3.0Mgha<sup>-1</sup>, 其中从 70 年代初期到 80 年代初期(第一次与第二次清查期间)碳密度增长最明显, 净增加 3.0881Mgha<sup>-1</sup>, 此后又出现降低趋势。

从各林龄组森林植被碳储量的变化看(表 3), 70 年代初到 80 年代初成熟林碳储量由 2.1201PgC 下降到 1.7178PgC, 净减少 0.4023PgC, 占森林林分碳储量下降总量的 89.68%, 可见该时期中国森林植被碳储量的降低主要是由于成熟林的大量采伐所导致。此后, 幼龄林、中龄林、成熟林碳储量均呈稳步增长趋势, 其中成熟林碳储量净增加 1.0015PgC, 占森林碳



表 3 不同龄组的森林碳储量及其变化

Tab.3 Forest area, total C storage, mean C density in different age groups in China

调查阶段	面积( $10^4$ ha)			碳储量(Pg C)			碳密度( $Mgha^{-1}$ )		
	幼龄林	中龄林	成熟林	幼龄林	中龄林	成熟林	幼龄林	中龄林	成熟林
1973~1976	4217.00	2851.00	3534.00	0.5999	1.0539	2.1201	14.2266	36.9729	59.9954
1977~1981	3345.04	3473.50	2743.63	0.5536	1.4246	1.7178	16.5607	41.0125	62.6412
1984~1988	3957.59	3258.96	3002.15	0.7353	1.2618	1.7618	18.5875	38.7391	58.6864
1989~1993	4133.31	3613.14	3117.37	0.7512	1.4296	1.933	18.198	39.5688	62.0088
1994~1998	4758.26	4430.43	3731.25	0.838	1.6639	2.1545	17.6185	37.5573	57.7422
1999~2003	4723.79	4964.37	4590.51	0.9218	1.8654	2.7193	19.5137	37.5751	59.2373

储量增长总量的 55%, 可见该时期成熟林碳储量的增长仍然是中国森林植被碳储量增长的主要因素。另外从碳密度的变化看, 从 70 年代初到 2003 年幼龄林与中龄林碳密度分别增长  $5.2871Mgha^{-1}$  和  $0.6022Mgha^{-1}$ , 而成熟林碳密度却降低了  $0.7581Mgha^{-1}$  (表 3), 这主要是由于 70 年代以来大规模的人工造林使幼龄林与中龄林的质量获得稳步提升, 但由于对成熟林资源管护不利使其质量下降, 从而表现为成熟林碳密度波动较大并且出现降低的趋势。

### 3.2 中国森林植被碳储量的空间分异

从中国各地区森林植被碳储量和碳密度的空间分布状况看, 中国森林植被碳储量和碳

表 4 中国各地区森林碳储量及其变化

Tab. 4 Forest area, total C storage, mean C density in different regions in China

项目	地区	时 段					
		1973~1976	1977~1981	1984~1988	1989~1993	1994~1998	1999~2003
碳储量 (Pg C)	东北	1.3525	1.1044	1.0432	1.1068	1.1707	1.1891
	华北	0.065	0.4822	0.5014	0.5288	0.5839	0.6577
	华东	0.3448	0.3313	0.3318	0.3723	0.4491	0.5387
	西北	0.299	0.2895	0.3094	0.3135	0.362	0.3726
	西南	1.3505	1.0491	1.1494	1.3269	1.5074	2.0295
	中南	0.4369	0.4396	0.4238	0.4654	0.5833	0.7189
碳密度 ( $Mgha^{-1}$ )	东北	76.1341	93.1876	85.1239	88.099	84.5334	42.0725
	华北	44.2178	65.0282	65.8313	66.0463	66.3083	32.8303
	华东	44.4381	54.4699	48.2871	48.9959	47.1746	26.5788
	西北	76.175	79.954	76.3707	81.8444	80.68	41.3832
	西南	108.1661	103.2095	97.8128	105.702	97.598	53.3784
	中南	40.8159	50.6567	49.5731	47.6538	46.683	26.4308

密度区域差异显著(表4、图2)。中国森林植被碳库主要集中于东北和西南地区,占全国森林植被碳库总量的一半以上。而人口密度较大的华东和中南地区以及干旱、半干旱的西北和华北地区森林碳库相对较小。我国森林的平均碳密度以西南、东北以及西北地区为大(图2),因为这些地区森林多为生物量较高的亚高山针叶林,而中南、华东和华北地区森林受人类活动影响强度大,森林类型多为人工林,森林碳密度较低(表4)。从各地区森林植被碳储量变化看,东北、西南地区碳储量变化较大,均呈现先降低后增长的趋势,从70年代初到80年代初(第一次与第二次清查期间)东北、西南地区碳储量分别减少了0.2481与0.3014PgC,是造成该时段中国森林植被碳储量降低的主要原因。从80年代初到2003年(第三次与第六次清查期间)各地区森林碳储量均呈现明显的增长趋势,其中西南地区森林碳储量增长最突出,净增加0.8801PgC。从各地区碳密度的变化看,从70年代初到80年代初(第一次与第二次清查期间)除了西南地区森林碳密度呈下降趋势区,其他各地区森林碳密度均呈明显的上升趋势,其中华北地区森林碳密度增长最显著,净增加10.4052Mgha<sup>-1</sup>;从80年代初到2003年(第三次与第六次清查期间)各地区森林碳密度变化幅度不大,其中西南地区森林碳密度增长最显著,净增加4.472Mgha<sup>-1</sup>,而东北地区森林碳密度下降最显著,减少0.4895Mgha<sup>-1</sup>。

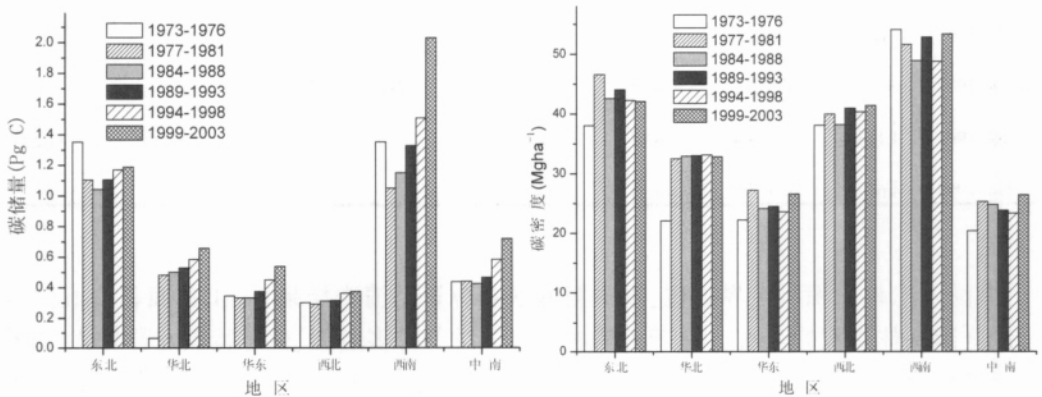


图2 中国各地区森林碳储量及其变化

Fig.2 Forest area, total C storage, mean C density in different regions in China

## 4 结论与讨论

建立森林生物量和蓄积量之间的换算关系是在国家或区域尺度上估算森林植被碳储量的关键环节。不同学者由于所采用的生物量—蓄积拟合关系不同,因此对中国森林植被碳储量的估算结果差异较大。我们将本文的研究结果与方精云等<sup>[12,32]</sup>、王效科等<sup>[13]</sup>、赵敏等<sup>[14]</sup>的估算结果进行了比较(表5),从比较结果看,方精云等的估算结果相对偏高,由第一至第五次清查资料估算的森林植被碳储量比我们的估算约偏高12~20%,而森林碳密度比我们的估算约偏高12~25%。研究表明某一森林类型生物量和蓄积之间的关系随着林龄、立地条件、林分密度、林分状况的不同而变化<sup>[10,32-34]</sup>,方精云等在建立生物量和蓄积拟合关系(BEF函数)的时候,可能因没有考虑不同森林类型林龄的影响,致使对中国森林植被碳储量估算的

结果偏高。王效科等的估算也是采用分林龄的生物量—蓄积函数关系,所估算的碳储量和碳密度与我们的研究结果比较接近(表 5)。赵敏等的估算是采用生物量—蓄积双曲线拟合关系,所估算的全国平均碳密度为  $41.32\text{Mgha}^{-1}$ ,比我们的估算高 9.12%。第四次森林清查期间我国森林林分面积为  $1.086 \times 10^8\text{ha}$ ,根据赵敏等计算的碳密度,该时期的碳储量是否应为  $4.487\text{PgC}$  从中国森林的状况看,80%以上的森林属于未成熟林,多数原始森林已经逐步退化为次生林,甚至低价的疏林<sup>[14]</sup>,森林整体质量不高,因此最好采用分龄组的生物量—蓄积函数关系估算森林植被碳储量。通过上面的初步分析证明利用不同森林类型和林龄的生物量—蓄积拟合关系可大大提高森林植被碳储量估算结果的准确性。

表 5 中国森林植被碳储量—不同估算结果的比较

Tab.5 Estimates of mean C density and C stock in China's forests

时段	本文作者的估算		方精云等的估算 <sup>[12]</sup>		王效科等的估算 <sup>[13]</sup>		赵敏等的估算 <sup>[14]</sup>	
	碳储量 (Pg C)	碳密度 (Mgha <sup>-1</sup> )	碳储量 (Pg C)	碳密度 (Mgha <sup>-1</sup> )	碳储量 (Pg C)	碳密度 (Mgha <sup>-1</sup> )	碳储量 (Pg C)	碳密度 (Mgha <sup>-1</sup> )
1973~1976	3.8488	35.564	4.44	43.83	-	-	-	-
1977~1981	3.696	38.6521	4.38	45.75	-	-	-	-
1984~1988	3.759	36.7849	4.45	43.58	3.7245	36.4468	-	-
1989~1993	4.1138	37.8664	4.63	42.58	-	-	3.778	41.32
1994~1998	4.6563	36.0398	4.75	44.91	-	-	-	-

中国人工林面积居世界首位,根据第 6 次森林资源清查结果,人工林面积为 0.53 亿公顷,占全国森林面积的 35%。由于天然林和人工林的许多生理、生态特点差异较大,如南方天然红松由幼龄林发展为中龄林大致需要 40 年,而人工红松林仅仅需要 20 年,因此在估算森林植被碳储量的过程中不考虑天然林和人工林的差异也将影响估算结果的准确性,我们下一步的研究将充分考虑天然林和人工林等因素的影响,对中国森林植被碳储量作出进一步的估算。

中国历次森林清查资料为研究和验证中国森林植被碳源汇功能提供了有效数据。本文研究结果进一步表明:20 世纪 80 年代以来,中国森林植被起着明显的碳汇作用,20 多年间净吸收  $1.8104\text{PgC}$  的  $\text{CO}_2$ ,平均每年增加  $0.0823\text{PgC}$ (表 2)。通过对我国森林碳密度的分析发现,20 世纪 70 年代以来我国森林植被平均碳密度增长了  $3.001\text{Mgha}^{-1}$ ,其中幼龄林与中龄林碳密度分别增长  $5.2871\text{Mgha}^{-1}$  和  $0.6022\text{Mgha}^{-1}$ ,而成熟林碳密度却降低了  $0.7581\text{Mgha}^{-1}$ ,可见中国森林的植被碳汇功能主要来自于人工林的贡献,而且随时间的变化,中国森林的幼龄林、中龄林植被碳储量和碳密度都有进一步上升的趋势,幼龄林、中龄林将发挥越来越大的固碳潜力,中国森林的碳汇功能将进一步增强。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 杨洪晓,吴一波等.森林生态系统的固碳功能和碳储量研究进展.北京师范大学学报(自然科学版),2005,41(2):172-176.



177.

- [3] 史军, 刘纪远等. 造林对陆地碳汇影响的研究进展. 地理科学进展, 2004, 23(2):58-67.
- [4] Houghton R A. Land-use change and the carbon cycle. *Global Change Biology*, 1995, 1:275-287.
- [5] Detwiler R P, Hall C S. Tropical forests and the global carbon cycle. *Science*, 1988, 239:42-47.
- [6] 耿元波, 董云社, 孟维奇. 陆地碳循环研究进展. 地理科学进展, 2000,19(4):297-306.
- [7] Schimel D S, House J I, et al. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*, 2001, 414: 169-172.
- [8] 陶波, 葛全胜等. 陆地生态系统碳循环研究进展. 地理研究, 2001, 20: 564-575.
- [9] 方精云, 柯金虎, 唐志尧等. 生物生产力的“4P”概念、估算及其相互关系. 植物生态学报, 2001, 25: 414-419.
- [10] 方精云. 北半球中高纬度的森林碳库可能远小于目前的估算. 植物生态学报, 2000, 24(5): 635-638.
- [11] 康惠宁, 马钦彦等. 中国森林C汇功能基本估计. 应用生态学报, 1996, 7(3):230-234.
- [12] Fang J Y, Chen A P, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292, 2320-2322.
- [13] 王效科, 冯宗炜等. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13-16.
- [14] 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. 地理科学, 2004, 24(1):50-54.
- [15] 周玉容, 于振良等. 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.
- [16] 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, 16:497-508.
- [17] 王绍强, 陈育峰. 陆地表层碳循环模型研究及其趋势. 地理科学进展, 1998,17(4):64-72
- [18] 张镜铨, 张玮等. 基于土地利用/覆被分类系统估算碳储量的差异—以海南岛森林为例. 地理科学进展, 2004,23(6): 63-70.
- [19] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计(1973—1976). 北京: 中国林业出版社, 1977.
- [20] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计(1977—1981). 北京: 中国林业出版社, 1982
- [21] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计(1984—1988). 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [22] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计(1989—1993). 北京: 中国林业出版社, 1994.
- [23] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计(1994—1998). 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [24] 中华人民共和国林业部. 全国森林资源统计(1999—2003). 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [25] Brown S L, Schroeder P E, Kern J S. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, 1999, 123:81-90.
- [26] 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型(博士论文). 中国科学院地理科学与资源研究所, 1996.
- [27] 史军. 造林对中国陆地碳循环的影响研究(博士论文). 中国科学院地理科学与资源研究所, 2005.
- [28] Zhao M, Zhou G. Estimation of biomass and net primary productivity of major planted forests in China based on forest inventory data. *Forest Ecol. Manag.* 2005 207, 295-313.
- [29] Zhou G, Wang Y, et al. Estimating biomass and net primary production from forest inventory data- a case study of China's Larix forests. *Forest Ecol. Manag.*, 2002, 169, 149-157.
- [30] Dixon R K, Brown S et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 262:185-190.
- [31] Johnson W C, Sharpe D M. The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research*, 1983, 13: 372-383.
- [32] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义. 植物学报, 2001, 43(9): 967-973.
- [33] Brown S L, Schroeder P E. Spatial patterns of aboveground production and mortality of woody biomass for eastern U.S. forests. *Ecol Appl*, 1999, 9: 968-980.
- [34] Schroeder P, Brown S et al. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *For Sci*, 1997, 43 :424-434.

## Temporal- Spatial Dynamics of Carbon Storage of Forest Vegetation in China

XU Xinliang, CAO Mingkui, LI Kerang

( Institute of Geographical Sciences and Nature Resources Research, CAS, Beijing 100101 )

**Abstract:** Forest is the first major form of terrestrial ecosystem and plays an important dominant role in global carbon cycle. In this study, we developed an age-based volume-to-biomass method to estimate the carbon storage of Chinese forests between 1973 and 2003 by using inventory data of six periods and forest biomass data obtained from direct field measurements. The results show that the total vegetation carbon storage of Chinese forests in the six periods (1973 ~ 1976, 1977 ~ 1981, 1984 ~ 1988, 1989 ~ 1993, 1994 ~ 1998 and 1999 ~ 2003) is 3.8488 PgC, 3.6960 PgC, 3.759 PgC, 4.1138 PgC, 4.6563 PgC and 5.5064 PgC, respectively. Although the results of different periods is fluctuates their trends are an increase with the time. Especially, since 1980s the total vegetation carbon storage of Chinese forests has increased 1.8104PgC and accumulated about 0.0823PgC per year. It means that Chinese forests play a role as a significant sink of atmospheric carbon dioxide in that period. On the other hand, the mean carbon density of Chinese forests has increased  $3.001\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  since 1970s, and that of young and middle-aged forests has increased 5.2871 and  $0.6022\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively, but that of mature forests has decreased by  $0.7581\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . This phenomenon suggests that the carbon fixation ability of Chinese forests primarily derives from forest plantation and it would be enhanced with carbon storage and carbon density increasing of young and middle-aged forests. The carbon stocks and densities of Chinese forests vary greatly in space. The larger carbon storage is primarily found in north eastern and south western regions, and higher C density mostly occurs in north eastern, south western and north western regions. These spatial distribution characteristics of carbon storage and mean C density in Chinese forests are prominently determined by human activities.

**Key words:** forest inventory data; forest ecosystem; carbon storage; carbon density