

中国森林生态系统植被固碳现状和潜力

吴庆标^{1,2}, 王效科^{1,*}, 段晓男¹, 邓立斌¹, 逯 非¹, 欧阳志云¹, 冯宗炜¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室 北京 100085; 2. 广西大学)

摘要:根据近 3 次森林资源普查资料和六大林业工程规划估算了中国森林植被的固碳现状和潜力。我国森林植物的碳贮量从第 4 次森林清查(1989~1994 年)的 4220.45 Tg C 增加到第 6 次森林清查(1999~2003 年)的 5156.71 Tg C, 平均年增长率为 1.6%, 年固碳量为 85.30 ~ 101.95 Tg·a⁻¹, 主要集中在西藏、四川、内蒙古、云南、江西、广东、广西、福建和湖南等省份。根据我国林业工程建设规划, 到 2010 年规划完成时, 林业工程每年新增的固碳潜力为 115.46 Tg·a⁻¹, 其中天然林资源保护工程、退耕还林工程、三北、长江流域等重点防护林建设工程、环北京地区防沙治沙工程和重点地区速生丰产用材林基地建设工程到 2010 年新增的固碳潜力分别为 16.25、48.55、32.59、3.75 和 14.33 Tg·a⁻¹。

关键词:森林; 六大林业工程; 固碳现状; 固碳潜力

文章编号:1000-0933(2008)02-0517-08 中图分类号:Q948.1, S718.5, X171.1 文献标识码:A

Carbon sequestration and its potential by forest ecosystems in China

WU Qing-Biao^{1,2}, WANG Xiao-Ke^{1,*}, DUAN Xiao-Nan¹, Deng Li-Bin¹, LU Fei¹, OUYANG Zhi-Yun¹, FENG Zong-Wei¹

1 State Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Guangxi University

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0517 ~ 0524.

Abstract: Forest ecosystems have a significant impact on the atmospheric CO₂ cycle. Based on latest three forest resource inventory and the plan of major forestry projects, the carbon sequestration status and potential of forest vegetation in China were estimated. The China forest carbon storage in the fourth (1989—1994), fifth and sixth (1999—2003) inventory increased from 4220.45, 4646.94 to 5156.71 Tg respectively. The annual carbon sequestration increment was 85.30—101.95 Tg·a⁻¹, mainly located in Tibet, Sichuan, Inner Mongolia, Yunnan, Jiangxi, Guangdong, Guangxi, Fujian and Hunan provinces. According to Chinese Forestry Project Construction Plan, the annual carbon sequestration potential in the six major forestry projects was estimated to be 115.46 Tg·a⁻¹ by 2010 when the plan ends, which will be 1.1—1.5 times the annual forest carbon sequestration at present in China. The annual carbon sequestration potential of the six major forestry projects are as follows: The Natural Forest Resources Protection Project (16.25 Tg·a⁻¹), The Returning of Cropland to Forest Project (48.55 Tg·a⁻¹), “Three Norths” and Yangtze River Forest Windbreak Projects (32.59 Tg·a⁻¹), Beijing-Tianjin Surrounding Sand-Storm Control Project (3.75 Tg·a⁻¹), The Fast Growing Timber Project (14.33 Tg·a⁻¹). The implementation of the six major forestry projects will greatly increase the forest carbon sequestration

基金项目:中国科学院创新工程重大资助项目(KZCX1-SW-01-17); 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2002CB412503)

收稿日期:2006-12-04; **修订日期:**2007-08-20

作者简介:吴庆标(1977~), 男, 广西玉林人, 博士生, 主要从事陆地生态系统碳循环研究. E-mail: wuqb2003@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxk@cees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by Key Project of Knowledge Innovation of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX1-SW-01-17) and National Key Basic Research Program (973) of China (No. 2002CB412503)

Received date: 2006-12-04; **Accepted date:** 2007-08-20

Biography: WU Qing-Biao, Ph. D. candidate, mainly engaged in land ecosystem carbon recycling. E-mail: wuqb2003@yahoo.com.cn

potential in China and accordingly contribute to the reduction of global atmospheric CO₂.

Key Words: forest; six major forestry projects; carbon sequestration status; carbon sequestration potential

森林生态系统在全球碳循环中具有重要的意义,主要表现在:(1)森林是陆地生态系统中最大的碳库,贮存了陆地生态系统总碳库的 56%^[1]; (2)森林单位面积的碳贮存密度很大,达到 198Mg hm⁻²^[1],森林的面积变化直接影响到陆地生态系统的碳源碳汇作用; (3)森林植被的碳积累速度快,即森林固定大气 CO₂ 的速率大^[2]。为此森林生态系统的固碳措施,包括造林、森林采伐和再造林,已经被纳入到旨在减少全球大气 CO₂ 排放的《京都议定书》中。世界各国科学家都在不断探讨和估算全球和区域的森林生态系统的固碳能力。

中国森林植被的固碳能力一直受到国际社会的高度关注,目前已经有不同的作者对中国森林植被的碳储量^[3~6]、固碳现状^[7~10]和潜力^[11]进行了估算,但这些研究大都基于 1998 年前的全国森林普查资料。近年来,随着我国社会经济的快速发展,林业在国民经济发展中的地位也发生了变化,从以木材生产为主的国民经济生产部门变成为以多种林产品生产和生态环境保护并重的经济部门。一系列新的林业举措,如森林禁采和限采政策的推行和六大林业工程(天然林资源保护工程、退耕还林工程、三北长江流域等重点防护林建设工程、环北京地区防沙治沙工程、全国野生动植物保护及自然保护区建设工程和重点地区速生丰产用材林基地建设工程)^[12]的展开,对森林资源的开发强度有所减缓,森林的面积逐步扩大。中国的森林覆盖率由 1998 年的 16.55% 增加到 2003 年的 18.21%^[13]。这些变化都会影响到森林生态系统的碳源碳汇特征和固碳潜力。本文根据近 3 次森林资源普查资料和六大林业工程规划估算了中国森林植被的固碳现状和潜力,为我国参与全球 CO₂ 减排的“后京都”谈判提供科学根据。

1 研究方法

1.1 资料来源

由于考虑到我国森林资源清查有关林地的定义标准在第 4 次森林资源清查结束前进行了修改,将第 4 次以后的森林资源清查资料和以前的清查资料比较上存在一定的困难,因此这里只采用了我国第 4、5 和 6 次森林资源清查数据的分省统计结果^[14],进行中国森林植被固碳现状的评价。并根据六大林业工程项目规划资料^[14],估算了 2010 年以后中国森林植被的固碳潜力。

1.2 估算方法

1.2.1 中国森林植被的地带分区

对于森林植物固碳现状和潜力的估算,以省市自治区为单位。考虑到估算过程中的参数资料的可获得性和中国森林植被的区域差异,在估算时将全国分成 4 个地带:寒温带温带、暖温带、亚热带和热带(表 1)。本研究中的植被分区和省区的划分原则主要是依据各省区的气候差异和典型地带性植被差异来确定的。

表 1 中国森林植被分区
Table 1 Distribution of forest vegetations in China

气候带 Climatic zone	省份 Provinces
寒温带温带 Cold and temperate	黑龙江、内蒙古、辽宁、吉林、新疆 Heilongjiang, Inner Mongolia, Liaoning, Jilin, Xinjiang
暖温带 Warm temperate	山西、陕西、天津、北京、甘肃、河北、青海、宁夏、山东、河南 Shanxi, Shaanxi, Tianji, Beijing, Gansu, Hebei, Qinghai, Ningxia, Shandong, Henan
亚热带 Subtropics	江西、福建、湖南、浙江、安徽、湖北、上海、江苏、西藏、四川、重庆、贵州、云南、广东、广西 Jiangxi, Fujian, Hunan, Zhejiang, Anhui, Hubei, Shanghai, Jiangsu, Tibet, Sichuan, Chongqing, Guizhou, Yunnan, Guangdong, Guangxi
热带 Tropic	海南 Hainan

1.2.2 森林植被固碳现状的估算

首先将森林资源清查资料统计中的森林蓄积量资料根据林木密度、树干与总生物量的比例、林木碳含量

转变成森林植物碳贮量(式1),然后将两次碳贮量的差值换算成森林植物的年碳库增量(式2)即可:

$$C_{pool} = V \times D / R \times Ca \quad (1)$$

式中, C_{pool} 、 V 、 D 、 R 和 Ca 分别是森林植物碳贮量、森林蓄积量、林木密度、树干与总生物量的比例和林木碳含量(取 0.5)^[4]。林木密度和树干与生物量的比例是基于我国各气候带主要林木的木材物理性质测定和主要林分生物量的调查资料(表 2)。

$$C = (C_{pool, i} - C_{pool, i-1}) / t \quad (2)$$

式中, C 为森林固碳现状, $C_{pool, i}$ 和 $C_{pool, i-1}$ 分别为 i 次森林清查的植被碳贮量与其前一次清查的植被碳贮量, t 为连续两次森林清查的时间间隔(5 a)。

表 2 中国各森林植被带的估算参数

Table 2 Parameters for estimating vegetation carbon by forest zones in China

森林植被带 Forest zone	林木密度 (Mg/m ³) Density	树干与总生物量的比例 (%) Percentile of stem biomass	林木碳积累速率 (Mg C/(hm ² ·a)) Carbon accumulation rate
寒温带温带 Cold and temperate	0.47	56.7	1.78
暖温带 Warm temperate	0.45	50.0	1.43
亚热带 Subtropic	0.47	54.8	2.84
热带 Tropic	0.60	58.1	2.51

本资料来自王效科博士论文,中国森林生态系统碳库和森林火灾释放的含碳痕量气体研究,中国科学院生态环境研究中心 Data source from Wang Xiaoke's doctoral dissertation titled as Carbon pool and fires-released carbon-containing gases in forest ecosystems of China, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences

1.2.3 森林植被固碳潜力的估算

森林植被固碳潜力的估算首先要依据各林业工程的规划林业建设面积(表 3)和各植被带的林木碳积累速率,再考虑到不同林业建设措施的差异引入修正因子。可用下式表示:

表 3 六大林业工程基本概况

Table 3 Introductions of Six Key Projects of Forestry

林业工程 Key projects of forestry	分布范围 Distribution	开始时间 Start year	规划目标(2000~2010) Plan goal
天然林资源保护工程 The natural forest resources protection project	长江、黄河上中游地区 Upper and Middle Reaches of Yangtze River and Yellow River	1998	天然林全面禁伐、新增森林面积 866 万 hm ² Logging of natural forest is strictly forbidden; 8.66 million hectares of land reforested
	东北、内蒙古等重点国有林区 Key State-owned Forest Areas in north-eastern China, Inner Mongolia	1998	调减木材产量 1990.5 万 m ³ Reducing wood production of 19.91 million m ³
退耕还林工程 The returning of cropland to forest project	24 个省区市 24 provinces and autonomous Region	2000	退耕还林 1466 万 hm ² , 宜林荒山荒地造林 1733 万 hm ² 14.66 million hectares farms returned to forests, 17.33 million hectares forest rebuilt
三北、长江流域等重点防护林建设工程 "Three Norths" and Yangtze River forest windbreak projects	中国“三北”地区 13 个省区市的 590 个县 13 provinces and autonomous region in "Three North" area	1978	造林 946 万 hm ² , 治理沙化土地 130 万 hm ² 9.46 million hectares reforestation and restoration of 1.30 million hectares sand land
环北京地区防沙治沙工程 Beijing-Tianjin surrounding sand control project	北京、天津、河北、山西、内蒙古 5 省区市 Beijing, Tianjin, Hebei, Shanxi, Inner Mongolia	2000	退耕还林 263 万 hm ² , 营林造林 494 万 hm ² Returning 2.63 million hectares farms returned to forest and 4.94 million hectares reforestation
全国野生动植物保护及自然保护区建设工程 Wild life and plants protection and nature reserve conservations project	重点物种分布区,重要森林,湿地 Key species and important forests and wetlands distributed area	2001	全国自然保护区总数达到 1800 个,其中国家级 220 个,自然保护区面积占国土面积的比例达到 16.14% The area of natural reserve accounts for 16.14% of total area of China
重点地区速生丰产用材林基地建设工程 The fast growing timber project	中国 400 mm 等雨量线以东的 18 个省区的 886 个县 Regions east to 400mm rainfall contour	2002	建立速生丰产用材林基地近 1333 万 hm ² 。工程建成后,每年能提供木材 1.3 亿 m ³ 0.13 billion m ³ timber production established

$$C_{\text{potential}} = A \times \Delta C \times \alpha \quad (3)$$

式中, A 、 ΔC 和 α 分别是规划林业建设面积、林木碳积累速率和修正因子。

规划的林业建设面积采用六大林业工程分省的规划面积。

林木碳积累速率是根据森林分类经营的林型差异分别估算。在我国的造林活动中,有生态林、经济林和用材林之分。对于生态林及用于大径级木材和人造板生产的用材林,可以采用根据我国现有的森林生物量调查资料推算的林木平均碳积累速率(表2)。经济林的生长周期较短,一般5~6 a后由于人类定向培育,生长非常缓慢,只具有短期的固碳能力,这里将不予以计算,其林木固碳速率设为0。经济林在造林中的比重,可直接采用六大林业工程规划中的分省市地区的数据^[14],天然林资源保护工程、三北长江流域等重点防护林建设工程和环北京地区防沙治沙工程的经济林比重缺乏统计,这里假设只有5%。在重点地区速生丰产用材林基地建设工程中,浆纸林的比重已经在六大林业工程规划明确给出,可以作为计算的根据。

修正因子要根据林业建设的方式设定。在我国六大林业工程规划,林业建设分为封山育林、飞播造林和人工造林3种措施。人工造林的合格率2004年为90.2%^[13],即修正因子取0.902。封山育林主要是通过减少人类活动干扰来提高林地的生产力,一般封山育林后的林木生长量比封山前要提高174%^[15]和198%^[16],为了简单起见,这里取其平均值为196%。据此,森林植被的固碳潜力估算时碳积累速率修正因子为0.66。飞播造林的效果是用飞播造林的有效面积表示的。有效面积是能够达到造林密度等要求的造林地面积。因此,在估算飞播造林的固碳潜力时也可以用造林有效面积比例作为修正因子。早期的飞播有效面积比例较小,甚至不到30%,现在由于飞播技术水平的提高和后期管理措施的加强,飞播的成活面积有了很大提高,平均可达70%左右^[17,18],因此,飞播造林的修正因子取0.7。在速生丰产林建设中,有一半多的林地是低产林改造。低产林改造后的森林碳积累速率的调查数据很少,这里仍然采用修正因子办法。根据经过改造后的灌木林材积年平均增加了13.6%^[19]和落叶松林材积年平均增加了3.4%^[20],取平均数8.5%。据此,速生丰林的森林植被的固碳潜力估算时碳积累速率修正因子为0.08。

2 结果

2.1 森林固碳现状

我国森林植物的碳贮量从第4次森林清查的4220.45 TgC增加到第6次森林清查的5156.71 TgC(表4),平均年增长率为1.6%。年固碳量为85.30~101.95 Tg·a⁻¹(表4)。第5、6次清查期间的固碳量比第4、5次清查的要高。从全国地区间差异看,在第5、6次清查间,黑龙江、天津和宁夏的年固碳量是负的(表4),表明这些省市区的森林植物是大气的一个源;此期间,森林植物固碳量较多的省市区依次为:西藏、四川、内蒙古、云南、江西、广东、广西、福建和湖南等,这9省市区的年固碳量均大于5 Tg·a⁻¹,占全国固碳量的84%。

2.2 森林固碳潜力

根据我国林业工程建设规划,到2010年规划完成时,林业工程每年新增的固碳潜力为115.46 Tg·a⁻¹,其中天然林资源保护工程、退耕还林工程、三北、长江流域等重点防护林建设工程、环北京地区防沙治沙工程和重点地区速生丰产用材林基地建设工程到2010年新增的固碳潜力分别为48.55、16.25、32.59、3.75 Tg·a⁻¹和14.33 Tg·a⁻¹。从全国区域分布看,内蒙古、四川、陕西、贵州、云南、甘肃、湖北、湖南、广西等省的新增固碳潜力均大于6 Tg·a⁻¹,总和占整个新增固碳潜力的55%。

3 讨论

3.1 中国森林植被碳库、固碳现状和固碳潜力

中国森林植被碳库及其变化已经有很多报道,由于各作者采用的方法和引用的参数差异,植被碳库一般介于3.2~5.4 PgC,植被碳积累量为0.02~0.5 Pg·a⁻¹^[21]。本研究植被碳库和碳积累的估算值分别为4.22~5.16 PgC和0.085~0.101 Pg·a⁻¹(表4),在现有的估算值的范围内,可以认为是基本反映了我国森林植被的碳库和固碳现状。

近些年来,我国社会经济的快速发展和国家经济势力的增强,林业生产实现了从提供木材向多种经营和

表 4 中国 1990 ~ 2000 年的森林植物碳库及其固碳现状

Table 4 Carbon storage and sequestration of forest vegetation during 1990 ~ 2000

森林植被带 Forest zone	省份 Province	碳库 (Tg C) Carbon storage			年固碳量 (Tg C/a) Annual carbon sequestration	
年份 Year		1990	1995	2000	1990 ~ 1995	1995 ~ 2000
寒温带和温带 Cold and temperature	黑龙江 Heilongjiang	558.52	584.68	569.89	5.23	-2.96
	内蒙古 Inner Mongolia	371.67	406.85	456.54	7.04	9.94
	辽宁 Liaoning	56.03	66.89	72.43	2.17	1.11
	吉林 Jilin	314.30	326.00	338.39	2.34	2.48
	新疆 Xinjiang	81.08	105.28	116.21	4.84	2.19
暖温带 Warm temperate	山西 Shanxi	20.17	25.40	27.90	1.05	0.50
	天津 Tianjin	0.71	0.72	0.63	0.00	-0.02
	北京 Beijing	2.01	3.09	3.78	0.22	0.14
	陕西 Shaanxi	125.63	136.20	138.49	2.11	0.46
	甘肃 Gansu	74.25	77.41	78.77	0.63	0.27
	河北 Hebei	23.60	26.77	29.29	0.63	0.51
	青海 Qinghai	13.32	14.72	16.17	0.28	0.29
	宁夏 Ningxia	2.61	2.63	1.77	0.00	-0.17
	山东 Shandong	6.75	6.66	14.41	-0.02	1.55
	河南 Henan	21.69	23.66	37.82	0.40	2.83
亚热带 Subtropic	江西 Jiangxi	77.57	95.67	139.39	3.62	8.75
	福建 Fujian	137.95	156.49	190.22	3.71	6.75
	湖南 Hunan	64.96	85.30	113.79	4.07	5.70
	浙江 Zhejiang	40.57	47.69	49.47	1.42	0.35
	安徽 Anhui	26.81	35.57	44.48	1.75	1.78
	湖北 Hubei	51.28	56.71	66.07	1.09	1.87
	上海 Shanghai	0.05	0.10	0.14	0.01	0.01
	江苏 Jiangsu	3.48	3.71	9.80	0.05	1.22
	西藏 Tibet	880.73	890.30	971.76	1.91	16.29
	四川 Sichuan	559.76	620.18	677.49	12.08	11.46
	贵州 Guizhou	40.27	60.25	76.31	4.00	3.21
	云南 Yunnan	473.98	550.47	600.06	15.30	9.92
	广西 Guangxi	91.60	118.79	156.43	5.44	7.53
	广东 Guangdong	69.68	84.59	121.64	2.98	7.41
热带 Tropic	海南 Hainan	29.41	34.15	37.15	0.95	0.60
总计 Total		4220.45	4646.94	5156.71	85.30	101.95

表 5 中国林业工程固碳潜力的估算

Table 5 Estimation of carbon sequestration of projects of forestry

森林植被带 Forest zone	省份 Province	固碳潜力 Carbon sequestration potential (2010) (Tg C/a)					合计 Summary
		退耕还林 The returning of cropland to forest project	天然林保护 The natural forest resources protection project	防护林体系 “Three Norths” and Yangtze River forest wind break projects	环北京 Beijing-Tianjin surrounding sand control project	速生丰产 The fast growing timber project	
寒温带和温带 Cold and temperature climatic belt	黑龙江 Heilongjiang	1.51		1.13		1.55	4.20
	内蒙古 Inner Mongolia	5.40	2.29	2.24	1.59	0.40	11.92
	辽宁 Liaoning	0.90		1.01		0.61	2.52
	吉林 Jilin	0.85		1.13		0.30	2.28
	新疆 Xinjiang	1.28		2.64			3.93

续表

森林植被带 Forest zone	省份 Province	固碳潜力 Carbon sequestration potential (2010) (Tg C/a)					合计 Summary
		退耕还林 The returning of cropland to forest project	天然林保护 The natural forest resources protection project	防护林体系 “Three Norths” and Yangtze River forest wind break projects	环北京 Beijing-Tianjin surrounding sand control project	速生丰产 The fast growing timber project	
暖温带 Warm temperate climatic belt	河南 Henan	1.33	0.19	1.11		0.60	3.23
	山西 Shanxi	1.62	0.93	1.34	0.37		4.25
	天津 Tianjin	0.01		0.03	0.02		0.06
	北京 Beijing	0.16		0.04	0.14		0.33
	陕西 Shaanxi	3.33	2.16	1.38			6.86
	甘肃 Gansu	2.33	0.89	1.09			4.31
	河北 Hebei	2.01	0.00	1.16	1.64	0.31	5.12
	青海 Qinghai	0.95	0.43	0.97			2.35
	宁夏 Ningxia	0.72	0.19	0.51			1.42
	山东 Shandong	0.57		0.34		0.43	1.35
亚热带 Subtropical belt	江西 Jiangxi	1.51		1.47		0.86	3.84
	福建 Fujian	0.61				0.62	1.23
	湖南 Hunan	3.18		1.74		1.24	6.16
	江苏 Jiangsu	0.24		0.56		0.22	1.01
	浙江 Zhejiang	0.84		0.62		0.42	1.89
	安徽 Anhui	1.44		0.79		2.39	4.62
	湖北 Hubei	2.12	0.80	2.87		0.80	6.59
	西藏 Tibet	0.24	0.03	0.04			0.30
	四川 Sichuan	4.54	4.70				9.24
	重庆 Chongqing	0.00	0.69				0.69
	贵州 Guizhou	3.92	0.70	3.32			7.94
	云南 Yunnan	3.50	2.28	2.56		0.21	8.54
热带 Tropical belt	海南 Hainan	0.23				0.60	0.83
	广西 Guangxi	2.57		2.07		2.28	6.93
	广东 Guangdong	0.61		0.43		0.48	1.51
总计 Total		48.55	16.25	32.59	3.75	14.33	115.46

生态环境建设的新林业转变。现有的森林资源保护得到了广泛重视,同时也开始了一系列重大的森林生态建设活动,特别是六大林业工程建设。本研究估算了我国六大林业工程建设为 $115.46 \text{ Tg} \cdot \text{a}^{-1}$,为我国目前森林植物碳积累量($0.085 \sim 0.101 \text{ Pg} \cdot \text{a}^{-1}$)的 $1.5 \sim 1.1$ 倍。这与 Zhang 和 Xu^[11] 的估计 2008 ~ 2012 年中国森林生态系统的固碳潜力($90.4 \sim 133 \text{ Tg} \cdot \text{a}^{-1}$)差别不大。

目前,国外有关森林固碳潜力的估算不同作者考虑了不同的条件和限制,估算结果差异很大。我国六大林业工程完成后的固碳潜力与 Gurney and Neff^① 对加拿大、美国和俄罗斯的森林施肥和森林防火的固碳潜力之和差别不大。

在我国未来森林固碳潜力估算时,森林禁伐和森林防火所减少的碳损失也应该是固碳潜力的重要一部分。但目前由于资料缺乏还难以估算。

3.2 估算结果的不确定性

尽管森林生态系统的造林、再造林和毁林已经被《京都议定书》纳入了全球 CO_2 减排技术措施考虑的范

① Gurney K, Neff J. Carbon sequestration potential in Canada, Russian and the United States under Article 3.4 of the Kyoto Protocol, WWF. 2000.

国内,但发达国家对森林固碳潜力的兴趣有限。主要原因除需要考虑到基线、泄露、人为活动、附加性及其监测等问题外^[23],区域固碳潜力估算的不确定性也是需要重点考虑的问题。在本研究中,森林生态系统的固碳潜力的估算同样存在很大的不确定性。主要是来源于以下方面:

(1)规划面积的重叠 尽管我国林业部门的林业发展规划有六大工程项目的提出,但从大的区域上,存在一定的重叠,如环北京地区防沙治沙工程与退耕还林工程和“三北”防护林工程有区域重叠。由于没有非常详细的地块规划,因而这种重叠的数量还难以估算。

(2)树种和立地条件的差异 在进行固碳潜力估算时,采用的是分地带的植物碳积累速率参数。事实上,同一气候带内,林木种类和立地条件的差异,可能会造成植物碳积累速率参数的较大差异。并且由于全国的林业工程规划中缺乏地块规划,因而也就难以确定具体造林地点的立地状况。

(3)森林清查资料的限制 在进行森林生态系统植物固碳潜力的估算时,主要根据森林资源清查资料的有商业价值的蓄积量统计资料。但由于森林清查中,缺少灌木林和经济林(果树)蓄积量的统计资料,在本文中计算中就不包括灌木林的植物碳库。还有,在一些林业工程中,如“三北”防护林建设工程中,有一部分造林是建造灌木林,由于灌木林的面积缺少统计资料,灌木林的生物量资料还比较少,这有可能造成固碳潜力的估算在部分地区偏小。

森林生态系统的固碳潜力还应该包括土壤碳库,考虑到造林后土壤碳库的积累速率远小于植被碳库的积累速率,因此,一般也就不需要估算森林土壤的固碳潜力。

References:

- [1] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystem. *Science*, 1994, 262: 185—190.
- [2] Houghton R A, Skole D L, Nobre C A. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 2000, 403: 301—304.
- [3] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, *et al.* Changes in forests biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292: 2320—2322.
- [4] Wang X K, Feng Z W, Ouyang Z Y. Vegetation Carbon Storage and Density of forest ecosystem in China. *Journal of Applied Ecology*, 2001, 12 (1): 13—16.
- [5] Zhao M, Zhou G S. Carbon Storage of Forest Vegetation and Its Relationship with Climatic Factors. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 50—54.
- [6] Zhou G S, Zhang X S. Study on NPP of Natural vegetation in China Under Global Climate Change. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(1): 11—19.
- [7] Fang J Y. Forest Productivity in China and its Response to Global Climate Change. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 513—517.
- [8] Liu G H, Fu B J, Fang J Y. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 (5): 733—740.
- [9] Houghton R A, Hackler J L, Lawrence K T. The US carbon budget: contributions from land-use change. *Science*, 1999, 285: 574—578.
- [10] Houghton R A. Why are the estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology*, 2003, 9: 500—509.
- [11] Zhang X Q, Xu D Y. Potential carbon sequestration in China's forests. *Environmental Science & Policy*, 2003, 6: 421—432.
- [12] Zhou S X. The hopeful decade-plan for leap-forward development of Chinese Forestry in new era. Beijing: Chinese Forestry Press, 2005.
- [13] State Forestry Administration. The report on Chinese forestry development. Beijing: Chinese Forestry Press, 2003.
- [14] Zhou S X. Chinese Forest Resources. Beijing: Chinese Forestry Press, 2005.
- [15] He Q H, Li Z L. Economic benefits analysis of Closed Forest. 2005. *Journal of Chongqing Forestry Science and Technology*, (2): 7—11.
- [16] Li T H, Xiang W H, Xu G Z. The Effect of Hill Closing for Forestation on Forest Growth and the Analysis of Its Ecological Benefits. *Journal of Central South Forestry University*, 2005, 25(5): 28—32.
- [17] Chen Z X. Use and problems of Aerial Seeding on Afforestation in Hunan Province. *Hunan Forestry Science and Technology*, 2001, 28(1): 14—17.
- [18] Li C Z. Investigation of aerial seeding on forestation in Loess Hilly and Gully Region of western Shanxi Province. *Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi*, 2005, 2: 31—35.

- [19] Wang S H, An F G, Wang T M. Introduction of near-natural cultivation of larch project. *Forest Investigation Design*, 2000, (2): 34—35.
- [20] Liu L J, Shi L S, Guo D L. Investigation of reconstruction of low-price shrub to high yield larch forest. *Modernizing Agriculture*, 2006, 322(5): 40—41.
- [21] Chen P Q, Wang X K, Wang L M. Carbon budget and policy for increasing carbon sink of terrestrial ecosystems. Beijing: Science Press, 2007.

参考文献:

- [4] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 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.
- [5] 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.
- [6] 周广胜, 张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究. *植物生态学报*, 1996, 20(1): 11~19.
- [7] 方精云. 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*, 2000, 24(5): 51~517.
- [8] 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. *生态学报*, 2000, 20(5): 733~740.
- [12] 周生贤. 充满希望的十年——新时期中国林业跨越式发展规划. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [13] 国家林业局. 中国林业发展报告. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [14] 周生贤. 中国森林资源. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [15] 何清华, 李宗林. 封山育林经济效益分析. *重庆林业科技*, 2005, (2): 7~11.
- [16] 李铁华, 项文化, 徐国祯, 喻勋林, 罗中太, 杨万里. 封山育林对林木生长的影响及其生态效益分析. *中南林学院学报*, 2005, 25(5): 28~32.
- [17] 陈兆先. 湖南飞播造林技术实践及存在问题和对策. *湖南林业科技*, 2001, 28(1): 14~17.
- [18] 李长征. 晋西黄土丘陵地区飞播造林成效调查. *山西水土保持科技*, 2005, (2): 31~35.
- [19] 王少怀, 安风刚, 王天民. 试论落叶松接近自然林改培工程. *林业勘察设计*, 2000, (2): 34~35.
- [20] 刘龙聚, 石兰生, 郭德龙. 低价灌木林改造落叶松高产林分初探. *现代化农业*, 2006, (5): 40~41.
- [21] 陈伴勤, 王效科, 王礼茂. 中国陆地生态系统碳收支与增汇对策. 北京: 科学出版社, 2007.